

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTAÖĞRETİM FEN VE MATEMATİK ALANLAR EĞİTİMİ
ANABİLİM DALI
KİMYA EĞİTİMİ



MADDENİN DOĞASI İLE İLGİLİ BÜYÜKLÜK VE ÖLÇEK
KONUSUNA İLİŞKİN ÖĞRENME İLERLEMESİNİN İNCELENMESİ

RİFAT KOBAK

DOKTORA TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nursen AZİZOĞLU (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Ruhan BENLİKAYA
Prof. Dr. Gülcan ÇETİN
Doç. Dr. Melis Arzu UYULGAN
Doç. Dr. Nalan AKKUZU GÜVEN

BALIKESİR, OCAK - 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Maddenin Doğası ile İlgili Büyüklük ve Ölçek Konusuna İlişkin Öğrenme İlerlemesinin İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Rifat KOBAK

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2016/111 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

MADDENİN DOĞASI İLE İLGİLİ BÜYÜKLÜK VE ÖLÇEK KONUSUNA İLİŞKİN ÖĞRENME İLERLEMESİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ
RIFAT KOBAK

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTAÖĞRETİM FEN VE MATEMATİK ALANLAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
KİMYA EĞİTİMİ
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. NURSEN AZİZOĞLU)

BALIKESİR, OCAK - 2023

Bu çalışmada, ortaöğretim ve lisans düzeyinde öğrenim gören öğrencilerin maddenin doğası ile ilgili büyüklük ve ölçek konusuna ilişkin bilgi ve öğrenme ilerlemelerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın örneklemini, devlete ait Fen Lisesinin 9, 10 ve 11.sınıflarında öğrenim gören 70 lise öğrencisi ve bir devlet üniversitesinin eğitim fakültesinde Biyoloji, Fen bilgisi, Kimya ve Fizik öğretmenliği lisans programlarının 1, 2, 3 ve 4.sınıflarında öğrenim gören 254 lisans öğrencisi oluşturmaktadır. Tüm öğrencilere Kelime İlişkilendirme Testi (KİT) ve açık uçlu dört farklı sorudan oluşan Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi uygulanmıştır. Ayrıca, lisans düzeyindeki örneklemden (1, 2, 3 ve 4.sınıflarından) seçilen 25 öğrenci ile yapılandırılmış görüşmeler yapılmıştır. Dördüncü bir veri kaynağı olarak da ortaöğretim ve üniversite düzeyindeki kimya, fizik ve biyoloji dersleri öğretim programları da incelenmiştir.

Sonuç olarak, Fen Lisesi 11.sınıf, biyoloji öğretmenliği 1. ve 3.sınıflar, fen bilgisi öğretmenliği 4.sınıf, kimya öğretmenliği 2.sınıf ve fizik öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerinin büyüklük ve ölçek konusu ile ilgili bilgi düzeylerinin daha iyi olduğu fakat birim dönüştürme ile ilgili soruda tüm sınıfların bilgi düzeylerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Büyüklük ve ölçek konusuna öncelikle biyoloji, fen bilgisi, kimya ve fizik gibi fen derslerinin öğretim programlarının içeriğinde daha fazla yer verilmesi önerilmektedir. Bu değişikliklerin kitap yazarları tarafından ders kitaplarının içeriğine, öğretmenler tarafından da öğretimlerine yansıtılmasının öğrencilerin nanobilimi daha iyi anlamalarına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Nanobilim eğitimi, maddenin doğası, büyüklük ve ölçek, öğrenme ilerlemeleri

ABSTRACT

INVESTIGATION OF LEARNING PROGRESSION REGARDING SIZE AND SCALE PERTAINING TO THE NATURE OF MATTER

**PH. D THESIS
RİFAT KOBAK**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF SECONDARY SCIENCE AND MATHEMATICS
EDUCATION**

**CHEMISTRY EDUCATION
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. NURSEN AZİZOĞLU)**

BALIKESİR, JANUARY - 2023

In this study, it is aimed to examine the learning progression of secondary school and undergraduate students regarding the size and scale subject as it relates to the nature of matter. Recent studies show that students have difficulties in many areas related to size and scale and they lack knowledge.

The sample of the study consists of 70 high school students studying in the 9th, 10th and 11th grades of a state-owned Science High School and 254 undergraduate students studying in the 1st, 2nd, 3rd and 4th grades of Biology, Science, Chemistry and Physics teaching undergraduate programs in the education faculty of a state university. The Word Association Test (WAT) and the Size and Scale Subject Knowledge Test consisting of four different open-ended questions were administered to all students. In addition, structured interviews were conducted with 25 undergraduate students (1st, 2nd, 3rd and 4th grades). As a fourth data source, the curricula of secondary and university level chemistry, physics and biology courses were examined.

It was found that, science high school 11th grade, biology teaching 1st and 3rd grade, science teaching 4th grade, chemistry teaching 2nd grade and physics teaching 2nd grade students had better knowledge levels about size and scale; but in the question about unit conversion, it was determined that the knowledge levels of the students of all classes were low.

It is suggested that the subject of size and scale should be included more in the curricula of science courses such as biology, science, chemistry and physics. It is thought that to emphasize more on the subject of size and scale in the content of the textbooks and in the classroom teachings will help the students to understand nanoscience better.

KEYWORDS: Nanoscience education, the nature of matter, size and scale, learning progressions

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xii
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem Durumu	1
1.2 Araştırmanın Amacı	8
1.3 Araştırmanın Önemi	8
1.4 Problem Cümlesi	9
1.5 Alt Problemler	9
1.6 Sayıtlar	10
1.7 Araştırmanın Kapsam ve Sınırlılıkları.....	10
1.8 Tanımlar..	11
2. KURAMSAL ÇERÇEVE	13
2.1 Nanobilim ve Nanoteknolojinin Tanımı	13
2.2 Nanobilim ve Nanoteknolojinin Tarihi ve Gelişimi	15
2.2.1 Simyadan Kimyaya Geçiş Sürecinde Nanobilim ve Nanoteknoloji	15
2.2.2 1900-2000 Yılları Arasında Nanobilim ve Nanoteknoloji.....	17
2.2.3 2000 Yılından Sonra Nanobilim ve Nanoteknoloji.....	20
2.3 Nanobilim ve Nanoteknoloji Eğitimi.....	22
2.3.1 Nanobilim ve Nanoteknolojide Büyüklük ve Ölçek Konusunun Önemi.....	26
2.3.2 Büyüklük ve Ölçek Konusunun Fen Bilimleri Eğitimindeki Rolü	29
2.3.3 Öğrencilerin Büyüklük ve Ölçek Konusunu Anlayışları	30
2.3.3.1 Sıralama	30
2.3.3.2 Gruplama	32
2.3.3.3 Göreceli Ölçek.....	33
2.3.3.4 Mutlak Büyüklük.....	35
2.3.4 Büyüklük ve Ölçek Konusunu Öğrenmede Zorluklar ve Kavram Yanılgıları	40
2.4 Öğrenme Teorileri ve Öğrenme İlerlemeleri	41
2.4.1 Öğrenme İlerlemelerinin Geliştirilmesi	50
2.4.2 Öğrenme İlerlemeleri İçin Yaklaşımlar	52
2.4.2.1 Artan Yaklaşım.....	53
2.4.2.2 Peyzaj Yaklaşım	55
2.5 İlgili Çalışmalar	57
2.5.1 Nanobilim ve Nanoteknoloji Eğitimi ile İlgili Çalışmalar	57
2.5.2.Öğrenme İlerlemeleri ile İlgili Çalışmalar.....	72
2.5.3 Nanobilim ve Nanoteknoloji Eğitiminde Öğrenme İlerlemeleri ile İlgili Çalışmalar	78

2.6 Büyüklük ve Ölçek Konusu İçin Öğrenme İlerlemeleri	79
3. YÖNTEM.....	81
3.1 Araştırma Modeli	81
3.2 Araştırmanın Örnekleme	82
3.3 Verilerin Toplanması	83
3.4 Verilerin Analizi	85
4. BULGULAR.....	89
4.1 Öğretim Programlarının İncelenmesi İle İlgili Bulgular.....	89
4.1.1 Fen Lisesi Öğretim Programlarının İncelenmesi İle İlgili Bulgular.....	89
4.1.2 Lisans Öğretim Programlarının İncelenmesi İle İlgili Bulgular	91
4.2 Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi İle İlgili Bulgular	98
4.2.1 Fen Lisesi Öğrencilerinin Sınıf Bazındaki Bulguları	98
4.2.2 Lisans Öğrencilerinin Sınıf Bazındaki Bulguları.....	105
4.2.3 Fen Lisesi ve Lisans Programı Öğrencilerinin Kavram Bazındaki Bulguları.....	120
4.3 Kelime İlişkilendirme Testi (KİT) İle İlgili Bulgular	138
4.3.1 Fen Lisesi Öğrencilerine Ait Bulgular	138
4.3.2 Biyoloji Öğretmenliği Öğrencilerine Ait Bulgular	143
4.3.3 Fen Bilgisi Öğretmenliği Öğrencilerine Ait Bulgular.....	147
4.3.4 Kimya Öğretmenliği Öğrencilerine Ait Bulgular	151
4.3.5 Fizik Öğretmenliği Öğrencilerine Ait Bulgular	155
4.4 İkili Görüşme İle İlgili Bulgular	158
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	188
5.1 Öğretim Programlarının İncelenmesi	188
5.2 Büyüklük ve Ölçek Bilgi Testi	189
5.3 Kelime İlişkilendirme Testi	193
5.4 İkili Görüşmeler	193
6. ÖNERİLER	197
7. KAYNAKLAR	199
EKLER	223
EK A: Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi	224
EK B: Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi Kazanım Tablosu.....	228
EK C: Kelime İlişkilendirme Testi	229
EK D: Görüşme Protokolü	237
EK E: KİT'deki Anahtar Kavramlarla İlişkilendirilen Kelime Listeleri	238
EK F: Tez İle İlgili Yayın Özeti	247
ÖZGEÇMİŞ	248

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Nesnelerin nano ve mikro ölçeklerde karşılaştırılması.....	13
Şekil 2.2: Lycurgus kabı. Cam, yansıyan ışıktta (A) yeşil ve iletilen ışıktta (B) kırmızı-mor görüntüsü.	16
Şekil 2.3: Nano taneciklerin vitray pencerelerin renkleri üzerine etkisi.	16
Şekil 2.4: Si atomlarının STM ile yüzey görüntüsü.....	18
Şekil 2.5: Otuz beş tane IBM logosunu oluşturmak için bir STM kullanılarak bir nikel yüzey üzerine yerleştirilmiş 35 ksenon atomu.....	19
Şekil 2.6: Bir C ₆₀ buckyball (Fulleren) (A) ve karbon nanotüp (B) şeması.....	20
Şekil 2.7: Her bir renk farklı konular olup ok yönü konunun anlaşılması daha zor olan yöne doğru	43
Şekil 2.8: Yinelemeli süreç, öğrenme ilerlemelerin artan yaklaşıma göre ilerlemeyi öğrenen öğrencilerin tanımlanması.....	54
Şekil 2.9: Öğrenme ilerlemeleri artan yaklaşımın görsel sunumu	55
Şekil 2.10: Yinelemeli süreç, öğrenme ilerlemelerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve doğrulanması.....	56
Şekil 2.11: Öğrenme ilerlemeleri için peyzaj yaklaşımının görsel sunumu	57
Şekil 4.1: Ortaöğretim programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.....	91
Şekil 4.2: Biyoloji öğretmenliği programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.....	93
Şekil 4.3: Fizik öğretmenliği programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.....	94
Şekil 4.4: Kimya öğretmenliği programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.....	95
Şekil 4.5: Fen bilgisi öğretmenliği programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.....	97
Şekil 4.6: Fen lisesi 9.sınıf öğrencilerinin 2.sorudaki çizim örnekleri	101
Şekil 4.7: Fen lisesi 9.sınıf öğrencilerinin 2.sorudaki çizim örnekleri	102
Şekil 4.8: Fen lisesi 9.sınıf öğrencilerinin 2.sorudaki çizim örneği.....	103
Şekil 4.9: Fen lisesi 9.,10. ve 11.sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri.	104
Şekil 4.10: Fen lisesi 9.,10. ve 11.sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri.....	105
Şekil 4.11: Biyoloji öğretmenliğinde sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri	115
Şekil 4.12: Biyoloji öğretmenliğinde sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri	116
Şekil 4.13: Fen bilgisi öğretmenliğinde sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri	117
Şekil 4.14: Fen bilgisi öğretmenliğinde sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri	117
Şekil 4.15: Kimya öğretmenliğinde sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri	118
Şekil 4.16: Kimya öğretmenliğinde sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri	119
Şekil 4.17: Fizik öğretmenliğinde sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri	119
Şekil 4.18: Fizik öğretmenliğinde sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri.....	120
Şekil 4.19: Soru 1-A için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği .	121
Şekil 4.20: Soru 1-A için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	121

Şekil 4.21: Soru 1-A için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği	122
Şekil 4.22: Soru 1-A için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	122
Şekil 4.23: Soru 1-A için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	123
Şekil 4.24: Soru 1-B için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği .	124
Şekil 4.25: Soru 1-B için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	124
Şekil 4.26: Soru 1-B için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği	125
Şekil 4.27: Soru 1-B için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	125
Şekil 4.28: Soru 1-B için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	126
Şekil 4.29: Soru 1-C için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği .	127
Şekil 4.30: Soru 1-C için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	127
Şekil 4.31: Soru 1-C için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği	128
Şekil 4.32: Soru 1-C için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	128
Şekil 4.33: Soru 1-C için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	129
Şekil 4.34: Soru 2 için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği	130
Şekil 4.35: Soru 2 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	130
Şekil 4.36: Soru 2 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	131
Şekil 4.37: Soru 2 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	131
Şekil 4.38: Soru 2 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	132
Şekil 4.39: Soru 3 için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği	133
Şekil 4.40: Soru 3 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	133
Şekil 4.41: Soru 3 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	134
Şekil 4.42: Soru 3 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	134
Şekil 4.43: Soru 3 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	135
Şekil 4.44: Soru 4 için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği	136
Şekil 4.45: Soru 4 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	136
Şekil 4.46: Soru 4 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	137
Şekil 4.47: Soru 4 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	137

Şekil 4.48: Soru 4 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevap grafiği.....	138
Şekil 4.49: Fen lisesi 9.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları	140
Şekil 4.50: Fen lisesi 10.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları	141
Şekil 4.51: Fen lisesi 11.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları	142
Şekil 4.52: Biyoloji öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	144
Şekil 4.53: Biyoloji öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	145
Şekil 4.54: Biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	146
Şekil 4.55: Biyoloji öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	147
Şekil 4.56: Fen bilgisi öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	148
Şekil 4.57: Fen bilgisi öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	149
Şekil 4.58: Fen bilgisi öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	150
Şekil 4.59: Fen bilgisi öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	151
Şekil 4.60: Kimya öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları	152
Şekil 4.61: Kimya öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları	153
Şekil 4.62: Kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları	154
Şekil 4.63: Kimya öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları	155
Şekil 4.64: Fizik öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	157
Şekil 4.65: Fizik öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.....	158
Şekil 4.66: 2.soruya ilişkin örnekler (KÖ7-FBÖ2)	170
Şekil 4.67: 2.soruya ilişkin örnekler (FBÖ3-FBÖ8)	171
Şekil 4.68: 2.soruya ilişkin çizimsiz bir örnek (BÖ3)	171
Şekil 4.69: 2.soruya ilişkin örnekler (FBÖ1-KÖ3)	172
Şekil 4.70: 2.soruya ilişkin örnekler (KÖ2-FÖ1)	174
Şekil 4.71: 2.soruya ilişkin bir örnek (FBÖ5)	174
Şekil 4.72: 2.soruya ilişkin örnekler (BÖ5- FBÖ2)	175
Şekil 4.73: 2.soruya ilişkin örnekler (FBÖ2-KÖ2)	177
Şekil 4.74: 2.soruya ilişkin örnekler (KÖ6-BÖ4)	179
Şekil 4.75: 3.soruya ilişkin örnekler (BÖ1-KÖ4)	181
Şekil 4.76: 3.soruya ilişkin örnekler (KÖ6-FBÖ1)	183

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: NBT eğitimcileri tarafından üzerinde anlaşılan konular ve kavramlar	25
Tablo 3.1: Büyüklük ve ölçek konusu bilgi testi için dereceli puanlama anahtarı	86
Tablo 4.1: Fen lisesi biyoloji dersi öğretim programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri ve kazanımları	89
Tablo 4.2: Fen lisesi fizik dersi öğretim programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri ve kazanımları	90
Tablo 4.3: Fen lisesi kimya dersi öğretim programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri ve kazanımları	90
Tablo 4.4: Biyoloji öğretmenliği programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri	92
Tablo 4.5: Fizik öğretmenliği programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri	93
Tablo 4.6: Kimya öğretmenliği programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri.....	95
Tablo 4.7: Fen bilgisi öğretmenliği programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri	96
Tablo 4.8: Fen lisesi öğrencilerin sınıflarına göre oranları	98
Tablo 4.9: Soru 1-A için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları ..	98
Tablo 4.10: Soru 1-B için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.	99
Tablo 4.11: Soru 1-C için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.	100
Tablo 4.12: Soru 2 için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre çıplak gözle yapılan çizimlerin doğru cevap oranları	100
Tablo 4.13: Soru 2 için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre optik mikroskobu ile yapılan çizimlerin doğru cevap oranları.	101
Tablo 4.14: Soru 2 için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre AFM ile yapılan çizimlerin doğru cevap oranları.	101
Tablo 4.15: Soru 3 için fen lisesi öğrencilerin sınıflarına göre doğru cevap oranları.	103
Tablo 4.16: Soru 4 için fen lisesi öğrencilerin sınıflarına göre doğru cevap oranları	104
Tablo 4.17: Büyüklük ve ölçek konusu bilgi testi için öğrencilerin programlarına ve sınıflarına göre oranları.....	106
Tablo 4.18: Soru 1-A için program ve sınıf düzeyinde doğru cevap oranları.	106
Tablo 4.19: Soru 1-B için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.....	107
Tablo 4.20: Soru 1-B için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.....	107
Tablo 4.21: Soru 1-B için kimya öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.....	107
Tablo 4.22: Soru 1-B için fizik öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.....	108
Tablo 4.23: Soru 1-C için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.....	108
Tablo 4.24: Soru 1-C için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.....	109
Tablo 4.25: Soru 1-C için kimya öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.....	109
Tablo 4.26: Soru 1-C için fizik öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.....	109
Tablo 4.27: Soru 2 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.....	110

Tablo 4.28: Soru 2 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.....	110
Tablo 4.29: Soru 2 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.....	110
Tablo 4.30: Soru 2 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları	110
Tablo 4.31: Soru 2 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin optik mikroskobu için yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.....	111
Tablo 4.32: Soru 2 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin optik mikroskobu için yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.....	111
Tablo 4.33: Soru 2 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin optik mikroskobu için yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları	111
Tablo 4.34: Soru 2 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin optik mikroskobu için yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları	111
Tablo 4.35: Soru 2 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin AFM için yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları	112
Tablo 4.36: Soru 2 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin AFM için yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları	112
Tablo 4.37: Soru 2 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin AFM için yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları	112
Tablo 4.38: Soru 2 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin AFM için yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları	112
Tablo 4.39: Soru 3 için program ve sınıf düzeyinde doğru cevap oranları	113
Tablo 4.40: Soru 4 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin doğru cevap oranları.....	114
Tablo 4.41: Soru 4 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin doğru cevap oranları.....	114
Tablo 4.42: Soru 4 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin doğru cevap oranları.....	114
Tablo 4.43: Soru 4 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin doğru cevap oranları.....	115
Tablo 4.44: Anahtar kavramlara fen lisesi öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları .	139
Tablo 4.45: Anahtar kavramlara biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları.....	143
Tablo 4.46: Anahtar kavramlara fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları	148
Tablo 4.47: Anahtar kavramlara kimya öğretmenliği öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları	151
Tablo 4.48: Anahtar kavramlara fizik öğretmenliği öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları	156
Tablo 4.49: Büyüklük ve ölçek konusu bilgi testine katılan öğrencilerin programlarına ve sınıflarına göre frekansları ve kodları.....	159
Tablo 4.50: Soru 1-A için görüşmeye katılan öğrencilerin cevap oranları	159
Tablo 4.51: Soru 1-B için görüşmeye katılan öğrencilerin cevap oranları.....	163
Tablo 4.52: Soru 1-C için görüşmeye katılan öğrencilerin cevap oranları.....	165
Tablo 4.53: Soru 2 için görüşmeye katılan öğrencilerin yaptıkları çizimlerine ait doğru cevap oranları.....	169
Tablo 4.54: Soru 2 için görüşmeye katılan öğrencilerin çıplak göze ait, optik mikroskobu ve AFM ile yaptıkları çizimlerine ait doğru cevap oranları	169

Tablo 4.55: Soru 2 için görüşmedeki öğrencilerin optik mikroskobu ile ilgili çizimlerine ait tema frekans ve yüzdeleri	173
Tablo 4.56: Soru 2 için görüşmedeki öğrencilerin AFM ile ilgili çizimlerine ait tema frekans ve yüzdeleri	177
Tablo 4.57: Soru 3 için görüşmedeki öğrencilere ait tema frekans ve yüzdeleri	180
Tablo 4.58: Soru 4 için görüşmedeki öğrencilerin doğru cevap oranları	183
Tablo 4.59: Soru 4 için görüşmedeki öğrencilere ait tema frekans ve yüzdeleri	184
Tablo E: Öğrencilerin Verilen Anahtar Kavramlarla İlişkilendirdikleri Kelime Tabloları	238

SEMBOL LİSTESİ

C	: Görüş birliği sağlanan konu veya terim sayısı
nm	: Nanometre
δ	: Görüş birliği sağlanmayan konu veya terim sayısı
Δ	: Güvenirlik katsayısı
φ	: Feynman (1 nm)

KISALTMALAR

AAAS	: American Association for the Advancement of Science (Amerikan Bilim İlerleme Derneği)
AFM	: Atomic Force Microscope (Atomik Kuvvet Mikroskobu)
KİT	: Kelime İlişkilendirme Testi
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
NAEP	: National Assessment of Educational Progress (Ulusal Eğitim İlerleme Değerlendirmesi)
NARST	: National Association for Research in Science Teaching (Ulusal Fen Eğitimi Araştırmaları Topluluğu)
NBT	: Nanobilim ve Nanoteknoloji
NCES	: National Center for Education Statistics (Ulusal Eğitim İstatistikleri Merkezi)
NCLT	: National Center for Learning and Teaching Nanoscale Science and Engineering (Nano Ölçekli Bilim ve Mühendislik Öğrenme Ulusal Merkezi)
NGSS	: Next Generation Science Standards (Yeni Nesil Fen Standartları)
NNI	: National Nanotechnology Initiative (Ulusal Nanoteknoloji Girişimi)
NRC	: National Research Council (Ulusal Araştırma Konseyi)
NSF	: National Science Foundation (Ulusal Bilim Vakfı)
NSTC	: National Science and Technology Council (Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi)
SI	: Uluslararası Birim Sistemi
STM	: Scanning Tunneling Microscope (Taramalı Tünelleme Mikroskobu)
TEM	: Transmission Electron Microscopy (Geçirimli Elektron Mikroskobu)
TTKB	: Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı

ÖNSÖZ

Doktora tezimde ve eğitimim süresince sürekli yardımcı olan danışmanım Doç.Dr. Nursen Azizoğlu'na ve tezimin düzeltmelerinde tavsiyelerde bulunan Necatibey Eğitim Fakültesi Dekan Yardımcısı Prof. Dr. Ruhan Benlikaya'ya bilgileri ve destekleri için içtenlikle çok teşekkür ederim. Öğrencilere testleri uygulamamda yol gösteren ve yardımcı olan doktora tezimde izleme komitesinde bulunan Doç. Dr. Serap Öz Aydın'a da çok teşekkür ederim.

Doktora eğitimim süresince dersini aldığım tüm hocalarıma çok teşekkür ederim. Test uygulamalarım için dersini feragat eden Fen Lisesindeki öğretmenlere ve Necatibey Eğitim Fakültesindeki öğretim üyelerine ve öğrencilerine çok teşekkür ederim.

Tezimi tamamlarken bana son derece yardımcı olan Dr.Eray Yılmaz'a çok teşekkür ederim.

Yoğun emek ve uzun süren çalışmanın sonucunda ortaya çıkan bu tez boyunca, büyük bir sabır ve güvenle beni destekleyen sevgili eşim Elif Kobak'a sonsuz teşekkürler...

Bu tezi aileme, eşime ve kızlarıma ithaf ediyorum!

Balıkesir, 2023

Rifat KOBAK

1. GİRİŞ

Bu bölümde, tezin problem durumu, araştırmanın amacı, önemi, problemi ve alt problemleri, kapsam ve sınırlılıkları, sayılıları ve araştırma ile ilgili temel kavramların tanımları verilmiştir.

1.1. Problem Durumu

Yaşadığımız yüzyılda değişim ve inovasyonlar bilimin her alanında meydana gelmektedir. Bilgi ve bilgi kaynaklarının giderek arttığı, fakat doğal kaynakların hızla tükendiği günümüzde temel gereksinim, elde edilen kaynakları verimli kullanmak ve yeni kaynaklar üretebilen nesiller yetiştirmektir. Öğrencilerin sadece bilimin ürünlerini değil, aynı zamanda bilim yapma sürecini de öğrenmeleri gerektiği konusunda bir fikir birliği vardır (Yeni Nesil Fen Standartları [NGSS] Lider Devletleri, 2013; Ulusal Araştırma Konseyi [NRC], 2012). Önemli teknolojik, ekonomik ve toplumsal beklentilerle bilginin sınırları genişlemektedir. Bütün bu gelişmeler sonucu nanobilim ve nanoteknoloji (NBT) önemli bir alan haline gelmiştir.

Bilim insanları, nanoteknolojinin pek çok farklı alanları kapsamasından dolayı yeni bir sanayi ve bilgi devrimi olacağını ve 21.yüzyıla imza atacağını söylemişlerdir (Bayda, Adeel, Tuccinardi, Cordani, & Flavio Rizzolio, 2019; Köse, 2021). Çok yakın bir zamanda, bir ülkenin gelişmişlik seviyesi nanoteknolojik yönden ilerlemesi ile doğru orantılı olarak gösterilecektir. Nanoteknolojinin fen bilimleri alanında gelişeceği, fakat moleküler elektronik alanında daha fazla gelişeceği düşünülmektedir. Nano materyallerin üstün özellikleri savunma, tekstil, otomotiv, inşaat ve ilaç sanayi sektörlerindeki gibi hemen hemen her alanda devrim yaratmaktadır.

Nanobilim; bilim, teknoloji, fen bilimleri ve mühendislik araştırmalarında en hızlı büyüyen alanlardan biridir. Nanoteknoloji ise nano materyallerden nano ara ürünlere ve nano-etkin ürünlere kadar tekstil, kozmetik, elektronikte endüstri alanlarının tasarlanması, üretilmesi ve kullanılmasını içerir (Jackman ve diğerleri, 2016; OECD, 2018). Avrupa Birliği, Temel Etkinleştirilen Teknolojilerden (Key Enabling Technologies) birisi olan nanoteknolojiden yeni bir sanayi devrimindeki itici güç olarak bahsetmektedir ve şu şekilde tanımlamıştır:

“Nanoteknoloji, materyal, elektronik ve kimyasallardan mühendisliğe, ulaşım ve ilaca kadar çok çeşitli uygulamalar ile süreçleri ve maddeleri keşfetmek ve geliştirmek için fizik, kimya ve biyolojiden bilimsel yaklaşımları birleştiren kesitsel bir teknoloji alanıdır.” (Avrupa Komisyonu, 2010, s.48).

NBT'nin hem kamu hem de özel yatırımlardaki ekonomik yönden hızlı gelişimi ve etkisi, politikacıları ve eğitimcileri nanoteknoloji eğitime odaklanmaya yönlendirmiştir (Laherto, 2010). NBT'nin potansiyel etkisi, günlük yaşamın kalitesinin artırılması için büyük öneme sahip bir parçası haline getirmiştir. Gelecekte olumlu gelişmeler, Ar-Ge'nin nano ölçeğinde yapmış oldukları çalışmalardan kaynaklanan yeni teknolojilerin benimsenmesinin ekonomik büyümeyi desteklerken, rekabet gücü ve ticaretin artırılması ile birlikte ülke ekonomisine olumlu yansıması muhtemeldir (İpek, Atik, Tan ve Erkoç 2020).

NBT, ekonomik, sosyal ve toplumsal açıdan önemli uygulamalara ve sonuçlara ilişkin çeşitli beklentilerle çağdaş, hızla gelişen bir alanı temsil etmektedir. İnsanoğlunun NBT ile ilgili konularda hem tüketici olarak bireysel düzeyde hem de NBT'nin gelecekteki yollarına ilişkin toplumsal ve küresel seviyede giderek daha fazla karar vermek zorunda kalacağı belirtilmiştir (Baird, Nordmann & Schummer, 2004). Bu sebeple, insanların kamusal tartışmaya katılabilmeleri ve ilgili konularda kararlar alabilmeleri için bu alanlara ait kamusal anlayışın geliştirilmesi gerektiğini (Castellini, Walejko, Holladay, Thiem, Zenner & Crone, 2007; Gilbert & Lin, 2013), güncel bilimsel okuryazarlıkla ilgili belirli bir seviyede anlaşılmasının önemini (Gardner, Jones, Taylor, Forrester & Robertson, 2010; Gilbert & Lin, 2013; Laherto, 2010; Stevens, Sutherland, Schank & Krajcik, 2009) ve anketlerden çıkan sonuçları halkın NBT'ye ilişkin farkındalığının ve bilgisinin oldukça düşük bir seviyede kaldığını ileri sürmüştür (Waldron, Spencer & Batt, 2006; Şahin ve Ekli, 2013). Ayrıca, halkın NBT ile ilgili farkındalığına ek olarak halkın katılımı çağrısında da bulunulmuştur. Özellikle, NBT ile ilgili önemli etik sorunlar, halkı NBT ve onun toplumla ilişkileri hakkında daha derin bir söylemle kamuoyunu meşgul etme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Laherto, 2010). Bu tür bir söylem, yalnızca temel bilimsel kavramların değil, aynı zamanda bunların altında yatan süreçlerin, yani maddenin doğası hakkında bilgi sahibi olmayı da gerektirmiştir (Allchin, 2011; Erduran & Dagher, 2014). Son yirmi yılda, bu istekler doğrultusunda NBT'yi genel olarak insanlara tanıtmak için çok

sayıda girişimde bulunulmuştur (Laherto, Tirre, Kampschulte, Parchmann & Schwarzer, 2018).

İlgili alan yazında sınıf seviyelerinin NBT'yi öğretmek için uygunluğuna ilişkin iki temel düşünce vardır. İlki, nesnelerin nanometre ölçeğini NBT olarak görülmesi geçerli bir gerekçedir ve nano ölçekli konuların anlaşılması için bilimsel arka plan desteklenerek NBT kavramlarının lisans düzeyinde verilmesi gerektiği belirtilmiştir (Kulik & Fidelus, 2007). Ayrıca, çıkan yayınlarda, programlarda ve öğretim materyallerinde belirtildiği gibi, yüksek öğretim düzeyindeki NBT öğretimi, orta öğretim düzeyine kıyasla popülerlik kazanmıştır (Bach & Waitz, 2012). İkincisi ise, öğrencilerin bilimsel okuryazarlık düzeylerini yükseltmek, onları gelecek için mümkün olan en iyi şekilde hazırlamak bir zorunluluk olduğundan, her sınıf düzeyinde NBT öğretilmesini önermektedir (Wansom ve diğerleri, 2009). Bilim okuryazarlığı; işlevsel bir yetenektir ve bilimsel bilgiyi gerçek hayattaki durumlarda kullanma yeteneği olarak kabul edilmiştir (Holbrook, 2010). Bu nedenle, gerekli bilgi toplumuyla ilgili olmalı ve anlamlı bağlamlarda yer alması gerektiği belirtilmiştir (Jenkins,1997; Roberts, 2007). İnsanların bilim ve teknoloji ile ilgili kişisel ve toplumsal sorunlar hakkında fikir oluşturma ve gerekçeli kararlar alma becerisine odaklanan işlevsel ve bağlamsal bir bilim okuryazarlığı yorumlanması beklenmektedir. Böyle bir vurgu, bilim okuryazarlığının PISA tanımında (OECD, 2007), Avrupa fen eğitimi politikalarında (Osborne & Dillon, 2008) ve Roberts (2007) tarafından önerilen "Vizyon II"de görülmektedir. Birçok bilim insanı ve teknoloji uzmanı, bilimsel okuryazarlığı desteklemeyi bilime ve teknolojiye yönelik kamusal ve politik desteği güçlendirmenin bir yolu olarak görmektedir (Laugksch, 2000). Bilimsel okuryazarlığı geliştirmenin yaygın olarak ifade edilen nedenlerinden biri, bilim insanları, mühendisler ve bilimle ilgili profesyonel tedariki sağlama ihtiyacı tespitinde bulunulmuştur (Roberts, 2007). Bilim ve teknoloji toplumun hemen hemen tüm yönlerine nüfuz ettiğinden, meslekten olmayan kişiler, bilimsel veya teknolojik temeli olan karar alma süreçlerine akıllıca ve bağımsız bir şekilde katılabildiği görüşüne varmıştır (Jenkins, 1997; Laugksch, 2000; McEneaney, 2003). Daha akıllı ve daha sorumlu kararlar alma olasılığı daha yüksek olduğu için, bilim okuryazarlığı genellikle sürdürülebilir kalkınmaya bir katkı olarak kabul edilmiştir (Holbrook, 2009). Bu yüzden, bilimsel okuryazarlığı geliştirmek, dünya çapında önemli bir eğitim hedefi olmuştur. Bu durum, hem kişisel hem toplumsal hem de ulusal ve uluslararası düzeylerde çeşitli bakış açıları ve faydalar olmak üzere, bilimsel okuryazarlığı teşvik etmenin altında yatan nedenlerin çeşitliliğinden kaynaklandığı tespit edilmiştir

(McEneaney, 2003). Bilim okuryazarlığını geliştirmek aynı zamanda bilim ve teknolojiyle ilgili bazı sosyal veya ekonomik adaletsizlikleri ve dengesizlikleri gidermenin başka bir yolu olmuştur (Jenkins, 1997). Bilimdeki ilerlemenin ve teknolojiadaki yeniliklerin ekonomik büyüme için bir temel oluşturması nedeniyle, bu nedenlerin her ikisi de genellikle ulusal ve ekonomik durumlara indirgenediği tespitinde bulunulmuştur (Laugksch, 2000; McEneaney, 2003). Bilimsel okuryazarlığı olan nesiller yetiştirmek ve onları geleceğe en iyi şekilde hazırlamak için ortaokul ve liselerde nanobilim ve nanoteknoloji eğitimine başlanması gerekmektedir (Schank, Krajcik & Yunker, 2007). İlk ve orta düzeylerde iyi bir NBT öğretimine sahip olmak, öğrencilerin akademik gelişimlerinde, gelecekteki kariyer seğimlerinde, halkın bilim ile iletişiminde etkili olacaktır (Karataş ve Ülker, 2014).

NBT'nin disiplinler arası doğası epistemolojik ilgiyi artırmıştır. NBT'nin biręok alanı, çoğunlukla fizik, kimya, biyoloji, materyal bilimi, tıp ve mühendislik olmak üzere iki veya daha fazla araştırma alanını açıkça birbirine bağlamaktadır. Bilimsel ve teknolojik okuryazarlık üzerine biręok yeni makale ve çalışma, bu tür disiplinler arası etkileşimi vurgulamaktadır (Roberts, 2007). Nanobilim ve nanoteknolojideki disiplinler arası araştırma, farklı alanlardan araştırmacılar için ortak zemin sağlayan iki düşünceye dayanmaktadır: 1) Nesnelerin büyüklüğu ve ölçeği, 2) Teknolojik vizyonlar (Schummer, 2004). Pek çok beklenti, nanobilim ve nanoteknolojinin ilerlemesinde belirleyici faktör olarak önerilen bu disiplinler arası düşünceye dayanmaktadır (Sabelli, Schank, Rosenquist, Stanford, Patton & Cormia, 2005). Gelecekteki bilimsel ve teknolojik atılımların büyük olasılıkla geleneksel bilimsel disiplinlerin kesişme noktalarında geręekleřeceđi fikri genel olarak kabul edilmektedir ve sinerjik etkilerin yenilikçi araştırmalara yol açacağına inanılmaktadır. Nano ölçekli araştırmalarla ilgili raporlar sıklıkla disiplinler arası çalışmaların gerekliliğini vurgulanmıştır (Schummer, 2004). Bazı bilim insanları ise disiplinler arası çalışmaların, nanobilim ve nanoteknolojinin iddia edilen yeniliğin merkezinde olduğunu savunmuştur. Kimyagerler, fizikçiler, biyokimyacılar ve hücre biyologları yüzyıllardır "nano ölçeği" inceledikleri için, nanobilim ve nanoteknolojiyi yeni kılan sadece disiplinler arası yaklaşım olabileceği belirtilmiştir (Sabelli ve diğerleri, 2005). Ayrıca nanobilim ve nanoteknoloji, doğa bilimlerinin daha basit olguları çözümlenerek anlaşılabilenleceği düşüncesi ile ilişkilendirilmiştir (Khushf, 2004). Bilimsel araştırmalar, yalnızca kuantum mekaniğini, katı hal fiziğini, anorganik kimyayı ve moleküler biyolojiyi

birbirine bağlamayı değil, aynı zamanda onları en azından kısmen nano ölçekte birleştirmeyi de amaçlamaktadır.

Epistemolojik konular dâhil olmak üzere maddenin doğasını anlamak önemli bir faktördür (Roberts, 2007; Holbrook, 2010). Bu nedenle, maddenin doğasını doğru bir şekilde açıklamak için NBT süreçlerindeki bazı özel özellikler ele alınmalıdır. NBT konusunun yeniliğinden dolayı, bu alanın köklü bir felsefesi henüz mevcut değildir; yayınların sayısı ve tutarlılığı, diğer disiplinler hakkındaki felsefi yayınlardan daha düşüktür (Laherto, 2010).

NBT halkın ve medyanın ilgisini çektiğinden, okulda bu konuları ele almak, gençleri genel olarak ilgili disiplinleri çalışmaya motive ederek dolaylı olarak bilimsel ve teknolojik okuryazarlığa da katkıda bulunabilir. Fen çalışmalarına olan ilginin azalmasının başlıca nedeni, okulda bilim ile öğrencilerin meşgul oldukları dersler arasındaki kopukluk ve ayrıca öğretim programında modern bilimlerin olmadığı belirtilmiştir (Osborne, 2007). Bu nedenle, NBT gibi yeni ortaya çıkan alanlar, bilimsel ve teknolojik okuryazarlığı yönlendiren motivasyon faktörleri açısından da dikkate değer olduğu saptanmıştır (OECD, 2007).

NBT öğretimi için ortaöğretim düzeyindeki öğretmenin bilgi boşlukları; öğretmenlerin bilgi düzeyleri ve tutumlarına ait bir ihtiyaç değerlendirmesi ile belirlenmelidir. Ancak o zaman daha fazla eğitim, geliştirilebilecek beceriler, nitelikli ve etkili programlar planlanabilir (İpek ve diğerleri, 2020). İlgili alan yazınlarda çeşitli hedef gruplara yönelik çoğunlukla durum bazında öğretmenlere (Sgouros & Stavrou, 2019), ilkökul öğrencilerine (Mandrikas, Michailidi & Stavrou, 2019) ve ortaöğretim öğrencilerine (Stravou, Michailidi, Sgouros & Dimitraidi, 2015) öğretim ve öğrenme stratejileri üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Ar-Ge kurumlarından nanobilimcilerle öğretmen, öğrenci ve lisans öğrencilerinin etkileşimleri, nano eğitim ile iş piyasasının beklentileri arasındaki boşluğu doldurabilir. Modeller, uygulanabilir etkinlikler, simülasyonlar, filmler, oyuna dayalı öğrenme, deneyler, görsel nanoteknoloji laboratuvarı gibi görsel tekniklerin NBT konularının öğretimini basitleştirmede etkili olduğu birçok çalışma göstermiştir (Gorghiu, Gorghiu & Petrescu, 2017; Zor ve Aslan, 2018). NBT üzerinde ilgi çekici görsellerden oluşan etkileşimli öğrenme videolarının kullanımı ve deneysel gösterimler nanobilim alanındaki öğretim yeniliklerini destekleyen çevrimiçi öğrenme etkinlikleri ile birlikte

öğrencilerin anlama seviyesini geliştirmesine ve öğretmenlerin de konuyu öğretmesine yardımcı olduğu görülmüştür (Nandiyanto, Asyahidda, Danuwijaya, Abdullah, Amelia, Hudha & Aziz, 2018).

Nanoteknoloji; nano ölçekte materyalleri oluşturmak, incelemek ve uygulamak için geleneksel disiplinlerin yakınsaması üzerine kurulmuştur (Holland, Carver, Veltri, Henderson & Quedado, 2018). Ortaokulla farklı bilim ve mühendislik alanlarının ara yüzünde yeni bir geniş alanı kapsayan bilimi işlemek önemlidir. Ancak, bu durum iyi tasarlanmış bir ortaöğretim fen bilgisi dersi için öğretim programına yayılabilir. Etkili bir öğretim için NBT konuları tüm bilim alanlarına dâhil edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Tessman, 2009). Erken araştırma deneyimleri için geniş alanı kapsayıcı eğitim ve öğretim ortamları, yeni nesil bilim insanlarını ve mühendisleri hazırlamak için çok önemlidir (Holland ve diğerleri, 2018). Nano ölçeği anlamak ve daha genç yaş grupları tarafından hayal etmek çok zor olabilir. Bu amaçla, eğitim politikaları ve planları ilkökul, ortaokul, lise ve üniversite düzeyinde gözden geçirilmesi gerekmektedir. NBT öğretiminde ele alınması gereken diğer bir konu ise, NBT'yi öğretmekten sorumlu öğretmenler gerekli eğitimi almamışlarsa, bu konuları öğretmenin onlar için çok zor olacağı saptanmıştır (Hingant & Able, 2010). Ulusal Bilim Vakfı tarafından finanse edilen NanoSense öğretim programı, öğretmenler NBT hakkında anlayış ve farkındalık geliştirdiklerinde bu konularla ilgili bilgileri öğrencilere aktarmak mümkün olmuştur (Blonder, Parchmann, Akaygün & Albe, 2014). Bu sebeple, öğrencileri nanoteknoloji çağına hazırlamadan önce, nanoteknoloji için öğretmen eğitiminde daha fazla araştırma yapılmalıdır. Ayrıca, NBT'deki öğretmen ve öğretmen adaylarının farkındalık ve bilgi düzeyini etkileyen faktörler, eğitim programları uygulanmadan önce belirlenmesi ve analiz edilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Hingant & Albe, 2010).

“Büyük Fikirler” adı verilen orta düzey için NBT öğretim programlarının geliştirilmesi ve öğrencilerin NBT kavramlarını algılamasının ve kavranmasının teşvik edilmesi, onları yeni bir teknoloji çağında toplumun gelecekteki zorluklara karşı hazırlamıştır (Stevens ve diğerleri, 2009; Wansom ve diğerleri, 2009). NBT öğrencileri tarafından en çok üzerinde anlaşılan konular ve kavramlar şunlardır: büyüklük ve ölçek, maddenin yapısı, yüzey alanı ve etkileşimler, kuantum etkileri, büyüklüğe bağlı değişen özellikler, kendi kendine düzenleme, araçlar, modeller ve simülasyonlar, bilim, teknoloji ve toplum (Hingant & Albe, 2010; Stevens ve diğerleri, 2009, Wansom ve diğerleri, 2009).

“Büyük fikirler” kapsamında nanobilim ilk konusu olan büyüklük ve ölçek konusu maddenin doğasını anlamalarını kolaylaştıracağından dolayı en başta öğrenilmesi ve bilinmesi gereken konudur. Büyüklük ifadesi, öğrencilerin çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük nesnelere çıplak gözle görülebilen küçük nesnelere arasında değişen doğrusal, tek boyutlu uzunluk ve genişlik ölçüsü hakkında nasıl düşündükleriyle ilgilidir. Hem teoride hem de gözlemde, büyüklük ve ölçek önemlidir. Teorik olarak, büyüklük, atomun klasik Yunan ve 17.yüzyıl Avrupa’sında madde teorilerinde sahip olduğu öne sürülen birkaç özellikten biriydi (Berryman, 2004; Chalmers, 2005). Maddenin atomik doğası tartışmasız en önemli bilimsel hipotezdir (Feynman, 1963). Gözlemlerle ilgili olarak, her fiziksel nesne üç özellik ile iyi bir şekilde tanımlanabilir: Büyüklük; materyal ve şekil ile betimlenir (örneğin, 5 cm çapında ve 10 cm yüksekliğinde demir bir silindir). Bilimsel bilginin uygulanmasında, ölçek en önemli özelliktir.

Var olan öğretim programı büyüklük ve ölçeğe başarılı bir şekilde değinmeyebilir. Çünkü araştırmalar, büyüklük ve ölçek ile ilgili öğrenenler için birçok zorluk veya bilgi eksikliği alanını tanımlamıştır (Castellini ve diğerleri, 2007; Tretter, Jones, Andre, Negishi & Minogue, 2006; Waldron ve diğerleri, 2006). Bunlardan biri, nesnelere gerçek büyüklüğünü ve ölçeğini anlamadaki öğrencilerin sınırlı olan kapasiteleridir. Öğrenciler, atomları ve molekülleri optik mikroskobu ile görebilmenin mümkün olduğuna ve çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük nesnelere uğraşmak için yeterince küçük araç bulunmadığına inanmaktadır. (Delgado, Stevens, Shin, Yunker, Cahill & Krajcik, 2007). Öğrenciler, taramalı tünelleme mikroskobu ile optik mikroskobunun aynı biçimde çalıştığını ve üretilen görüntülerin de aynı olduğunu düşünmektedir. Bundan dolayı, büyüklük ve ölçek için geliştirilmiş öğretim programı, ölçme ve değerlendirme ihtiyacı vardır.

Geçmişte yayınlanmış çalışmalarda “öğrenme ilerlemelerinin” etkili öğretim programı ve fen bilimleri için değerlendirmenin etkili gelişimine rehberlik edebileceğini ileri sürmüşlerdir (Duschl, Schweingruber, & Shouse, 2007; Smith, Wiser, Anderson & Krajcik, 2006; Wilson & Bertenthal, 2005). Öğrenme ilerlemeleri, öğrencilerin geniş bir zaman dilimi (örneğin, 6 ila 8 yıl) boyunca bir konuyu öğrenip inceledikleri için birbirini takip edebilecek bir konu hakkında birbirini takip eden daha karmaşık düşünme biçimlerinin tanımlarıdır. (Duschl ve diğerleri, 2007). Öğrenme ilerlemeleri “büyük fikirler” etrafında organize edilmelidir. Büyüklük ve ölçek, nano ölçekli bilim ve

mühendislik için dokuz büyük fikirden biridir (Stevens ve diğerleri, 2009). Öğrencilerin, çıplak gözle görülebilir çok küçük nesnelerin büyüklüğüne ilişkin bazı araştırmalar olsa da, bu bilginin nasıl geliştiğini sorgulayan bir araştırma yapılmamıştır. Bu yüzden, maddenin doğası ile ilgili büyüklük ve ölçek konusunun ortaöğretim ve lisans düzeyinde öğrenme ilerlemeleri incelenmek istenilmiştir. Bu durum büyüklük ve ölçek için öğrenme ilerlemesi, öğretim programı, ölçme ve değerlendirmenin tasarımını ve hizalanmasını yönlendirebileceği düşünülmektedir.

1.2 Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Fen Bilimleri öğretmen adayları ile ortaöğretim eğitimlerine devam eden öğrencilerin maddenin doğası ile ilgili büyüklük ve ölçek konusuna ilişkin öğrenme ilerlemelerini incelemektir.

1.3 Araştırmanın Önemi

Öğrencilerin fen bilimlerine karşı bakış açısının olumlu yönde olması önemlidir. Merak ve araştırma dürtüsü sebebiyle geleceğin bilim insanı olarak tanımlayabileceğimiz bu öğrencilerin, zamanla fen bilimlerine karşı ilgisinin azaldığı bilinmektedir (Gürkan ve Gökçe, 2000). Bu nedenle, öğrencilerin fen bilimlerine karşı tutum geliştirmeleri ve başarılı olmaları için yapılan araştırmalar ve bu araştırmaların sonuçları eğitim açısından büyük önem taşımaktadır.

NBT; 21. yüzyıl teknolojisi olarak düşünülmüştür (Meyyappan, 2004) ve son yıllarda alanını giderek genişleten sosyal, ekonomik ve etik konularla ilişkilendirilmiştir. Bu genişlemenin bir sonucu olarak, NBT öğretiminin çeşitli seviyelerde verilmesi gerektiği sıklıkla önerilmiştir. Bu talepler, kamu idarelerini, sivil ve toplum kuruluşlarını, akademisyenlerini, mühendislerini ve fen ve teknoloji öğretmenlerini içeren çeşitli destekçiler tarafından çeşitli bakış açılarıyla oluşturulmuştur (Laherto, 2010).

Modern bilimsel ve teknolojik okuryazarlık üzerine son zamanlarda yazılmış birçok çalışma, fizik, kimya, biyoloji, tıp ve mühendislik başta olmak üzere iki veya daha fazla araştırma alanını birbirine bağladığı vurgulanmaktadır (Kahkönen, Laherto, Lindell & Tala, 2016; Roberts, 2007). Nano ölçekli araştırmayla ilgili raporlar sıklıkla disiplinlerarası bağlantıların gerekliliğini vurgulamakla birlikte, NBT'deki disiplinlerarası bağlantının gerçek durumu hakkında da şüpheler devam etmekte, daha çok disiplinlerarası engelleri

ortadan kaldırmayan, çok çeşitli disiplini barındıran bir alan olarak tanımlamaktadır (Kähkönen ve diğerleri, 2016; Schummer, 2004).

Gelecekte NBT ile ilgili çok daha fazla gelişmeler yaşanacağı aşikârdır. Ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin bu tarzdaki ileri teknolojilerinin gelişmişlik seviyeleri ile değerlendirileceğini düşünmek zor olmamaktadır. NBT adına yapılan her gelişim o ülkeye katkı sağlamış olacaktır. NBT alanında yurtiçi yayınların çok fazla olmaması ve toplumun bilgi seviyesinin düşük olması nedeniyle bu konuda çalışmaların yapılması önemlidir. NBT'yi öğrenmek için madde doğasını iyi bilmek gerekmektedir. Maddenin doğasını, NBT'nin konusu olan büyüklük ve ölçeği anlamaları için öğrenme ilerlemesindeki bir dizi ve varsayımların geliştirilmesi açısından teorik inceleme yapılması gerekir. Büyüklük ve ölçek konusuna ilişkin yeterince çalışmanın olmadığı ve yapılan çalışmaların çok az veya çok yeni oldukları dikkate alındığında, bu çalışmanın önemi daha açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Maddenin doğası ile ilgili büyüklük ve ölçek konusu hakkındaki veriler toplanarak öğrenme ilerlemesi ülkemizdeki fen bilimleri dersleri öğretim programlarının, öğretiminin ve değerlendirmenin araştırmacılara, kitap yazarlarına, program geliştiricilere ve öğretmenlere yararlı olması düşünülmektedir.

1.4 Problem Cümlesi

Fen bilimleri (biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi) öğretmen adayları ile ortaöğretim eğitimlerine devam eden öğrencilerin NBT öğretiminde maddenin doğası ile ilgili büyüklük ve ölçek konusuna ilişkin öğrenme ilerlemeleri nasıldır?

1.5 Alt Problemler

1. Maddenin doğası ile ilgili büyüklük ve ölçek konusunun öğretimine yönelik,
 - a. Ortaöğretim biyoloji, fizik ve kimya dersi öğretim programlarında yer alan kavramlar nelerdir?
 - b. Öğretmen yetiştirme biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi öğretmenliği lisans programlarında yer alan kavramlar nelerdir?
 - c. İlgili programlardaki kavramların sınıf bazında ölçeklere göre dağılımı nasıldır?
2. Maddenin doğası ile ilgili büyüklük ve ölçek konusundaki,

- a. Ortaöğretim öğrencilerinin sınıf bazında bilgi ve anlama düzeyleri nasıldır?
 - b. Öğretmen adaylarının program bazında bilgi ve anlama düzeyleri nasıldır?
 - c. Bir program bazında öğretmen adaylarının sınıf seviyesine göre bilgi ve anlama düzeyleri nasıldır?
3. Maddenin doğası ile ilgili büyüklük ve ölçek konusunda,
 - a. Ortaöğretim düzeyinde konular ve anlama seviyeleri açısından öğrenme ilerlemesi nasıldır?
 - b. Lisans düzeyinde program bazında öğrenme ilerlemesi nasıldır?
 4. İlgili programlardaki kavramların sınıf bazında ölçeklere göre dağılımı ile ortaöğretim ve lisans düzeyindeki öğrencilerin öğrenme ilerlemeleri arasında bir ilişki var mıdır?

1.6 Sayıtlar

Fen bilimleri (biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi) öğretmen adayları ile ortaöğretim eğitimlerine devam eden öğrenciler, çalışmaya gönüllü olarak katılmış ve çalışma kapsamında uygulanan veri toplama araçlarına ve yarı yapılandırılmış görüşme sorularına dürüst ve samimi şekilde cevap verdikleri varsayılmıştır.

1.7 Araştırmanın Kapsam ve Sınırlılıkları

1- Çalışmada, Türkiye'deki ortaöğretim ve üniversite öğretim programları, öğrenme ilerlemesi ve NBT konusunun dokuz “büyük fikir”den ilki olan “büyüklük ve ölçek” konusu yer almaktadır.

2- Maddenin doğası ile ilgili Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi, büyüklük ve ölçek, nano ölçekte büyüklüğe bağlı değişen özellikler ve yüzey alanı etkisi ve etkileşimler ile birimlerin birbirlerine çevrilmesi konularını içermektedir.

3- Kelime İlişkilendirme Testi (KİT), maddenin doğasına ilişkin büyüklük ve ölçek konusu ile ilgili sekiz adet anahtar kavram bulunmaktadır.

4- 2017-2018 yılları arasında fen bilimleri (biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi) öğretmen adayları ile ortaöğretim eğitimlerine devam eden öğrenciler ile sınırlıdır.

5- Fen lisesi 12.sınıf ve fizik öğretmenliği programında 1. ve 4.sınıfta öğrenci bulunmadığından dolayı, fen lisesi 9., 10. ve 11.sınıf ile fizik öğretmenliği programında 2. ve 3.sınıfta bulunan öğrencilerle çalışma sınırlandırılmıştır.

1.8 Tanımlar

Nano: Yunanca'da "cüce" anlamına gelir ve ölçü birimlerinde önek olarak kullanıldığında "milyarda bir" büyüklüğünü belirtir (Bayda ve diğerleri, 2019).

Nanobilim: 1 ile 100 nanometre arasında değişen nanometre ölçeğindeki yapıların incelenmesidir (Erkoç, 2014).

Nanoteknoloji: Büyüklüğü 1-100 nanometre arasında değişen, işleyişi nano yapıları tarafından belirlenen, düzenli parçalardan oluşan materyallerin, cihazların ve teknik sistemlerin yaratılmasını ve kullanılmasını içerir (Sigov, Gladyshev & Yurasov, 2022).

Makro ölçek: Çıplak gözle görebilen büyüklük aralığıdır (You-qi, 2008).

Mikro ölçek: 1-100 µm büyüklüğündeki aralıktır (You-qi, 2008).

Nano ölçek: 1-100 nm büyüklüğündeki aralıktır (Karakasidis, 2011).

Öğrenme İlerlemesi (Learning Progression): Sadece bilginin ve anlamının nasıl geliştiği ile değil, aynı zamanda bilginin zaman içinde nasıl inşa edildiğini tahmin etme işlemidir (Ulusal Araştırma Konseyi [NRC], 2007). Öğrencinin bir fikri öğrenmesinde birbirini tutarlı bir şekilde takip edebilen sıra ile basitten karmaşıklığa doğru dizilimidir (Smith ve diğerleri, 2006).

Alt Çapa (The Lower Anchor): İlkokul veya ortaokuldaki öğrencilerin kavramlarla ilgili bilgisinin basit düzeyde olmasıdır (Salinas, 2009).

Üst Çapa (The Upper Anchor): Ortaöğretim veya üniversitedeki öğrencilerin kavramlarla ilgili bilgisinin karmaşık bilgi veya anlayış düzeyinde olmasıdır (Salinas, 2009).

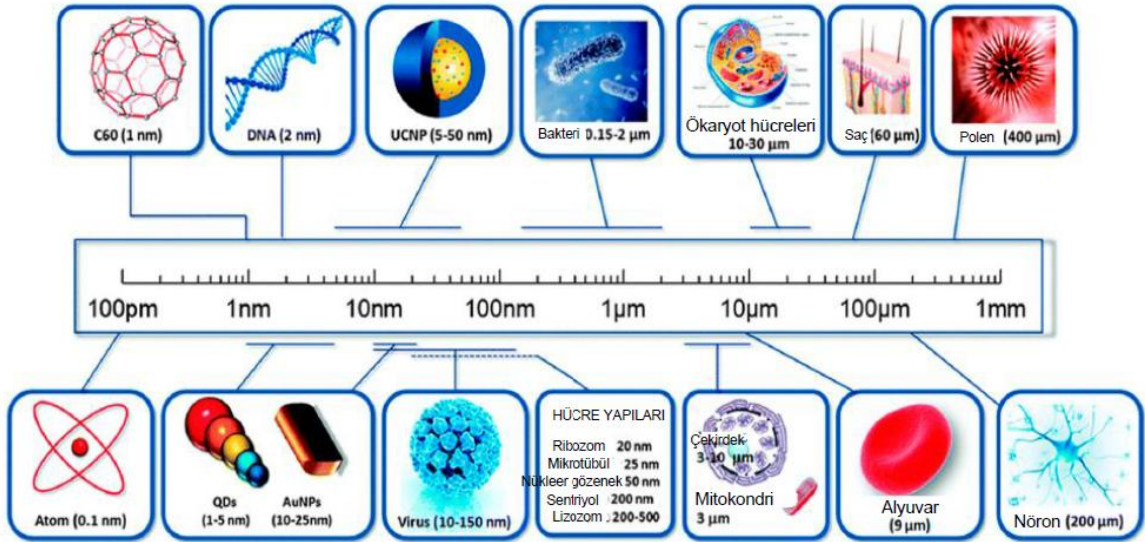
Kelime İlişkilendirme Testi: Bilişsel yapıyı, bilişsel yapıyı oluşturan kavramlar arasındaki bağıntıyı ve zihinde oluşmuş o bilgi ile alakalı ağız gözlemlenmesini sağlayan, hafızadaki kavramlar arasındaki ilişkilerin yeterli ve anlamlı olup olmadığını belirleyen ölçme değerlendirme tekniklerinden birisidir (Özatlı ve Bahar, 2010).

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde, bu tezin dayandığı kuramsal çerçeve ile ilgili açıklamalara ve alanyazın taramasına yer verilmiştir.

2.1 Nanobilim ve Nanoteknolojinin Tanımı

Yunancada, “nanos” kelimesinden türetilen nano “cüce” anlamına gelmektedir. “Nano” ön eki ilk defa 1947 senesinde XIV. IUPAC konferansında bir birimin milyarda biri şeklinde tanımlanmıştır. Uluslararası Birimler Sistemi’ne (SI) göre, 1 nanometre (nm) 1 metrenin milyarda biri olarak tanımlanır ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$) (Mansoori, 2005). Şekil 2.1’e göre bir alyuvarın büyüklüğü yaklaşık 9000 nm ve bir C_{60} (fulleren) 1 nm’lik bir çapa sahip olduğu anlaşılmaktadır (Gnach, Lipinski, Bednarkiewicz, Rybka & Capobianco, 2015).



Şekil 2.1: Nesnelerin nano ve mikro ölçeklerde karşılaştırılması (Gnach, Lipinski, Bednarkiewicz, Rybka & Capobianco, 2015).

“Nano” ön ekinin ölçek ile ilgili birçok tanım vardır (Whitesides & Love, 2007). Bu tanımlarda nano ölçekteki özelliklerin mikro ölçekteki özelliklerinden önemli ölçüde farklı olduğunu işaret etmektedir. Maddenin 1 ila 100 nanometre büyüklüklerinde anlaşılması ve kontrolünün yeni uygulamalara olanak sağladığını belirtilmektedir (Ulusal Nanoteknoloji Girişimi [NNI], 2007). Bu yeni uygulamalardan nanobilim, mühendislik ve teknolojiyi kapsayan, maddenin 1 ila 100 nanometre büyüklüğünde hayal edilmesi, ölçülmesi, modellenmesi ve işlenmesi şeklinde bahsedilmektedir (NNI, 2007). Bu tanım, diğer yazarların tanımlarına da benzemektedir (Bayda ve diğerleri, 2019; Mansoori, 2005;

Stevens ve diğeri, 2009). Nano ölçekli materyaller ve bunların özellikleri hakkındaki görüşler, uygulamalı bilimler ve teknolojiye yararlanan birçok disiplini barındıran bir alan olan nanoteknolojiye katkıda bulunmaktadır. Nanoteknolojinin en kısa ve en çok alıntı yapılan tanımı, ABD Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi'nin (NSTC, 2000) "Nanoteknolojinin özü, büyük yapılar oluşturmak için atom veya moleküler düzeyde çalışabilme becerisidir." şeklinde yaptığı açıklamadır. Ramsden (2009), nanoteknolojiyi çok kısa ve öz olarak, "Atomik hassaslıkta mühendislik" olarak tanımlamıştır. Nanoteknoloji, mikro ve makro materyalleri ve ürünleri atomik hassasiyetle üretme yeteneği de denilebilir. Nanobilim ise, nano ölçekte yoğunlaştırılmış materyallerin özellikleri ve davranışları, biyo-sistemlerin nano ölçekli olguların incelenmesi ve nanosistemlerin özelliklerini araştıran çalışmadır (Mansoori, 2005). Nanobilim ve nanoteknoloji; biyoloji, bilgisayar bilimi, kimya, materyal bilimi, elektrik mühendisliği ve katı hal fiziği gibi bir dizi alanın birleşimi olarak tanımlanmaktadır (Whitesides & Love, 2007). Nano ölçeklerde materyaller, makro veya mikro ölçekteki materyallerin özelliklerinden önemli ölçüde farklılık gösterebilecek bir dizi olağandışı kimyasal ve fiziksel özellik sergileyebilmektedir. Örneğin; altın nano tanecikleri, makro ölçekte oluşmayan bir davranış olan belirli aydınlatma koşullarında kırmızı ışığı yansıtmaktadır (Bayda ve diğeri, 2019).

Nano ölçekteki materyallerin diğeri materyallere göre farklı mekanik, optik, kimyasal ve elektriksel özelliklere sahip olduğu kanıtlanmıştır. Örnek olarak, 1-50 nanometre aralığındaki sınırlı sayıda molekülden oluşan makro moleküller ve tanecikler, farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. Döküm materyallerle karşılaştırıldığında, nano taneciklerin benzer uygulamalarda kullanıldıklarında gelişmiş performans özelliklerine sahip oldukları gösterilmiştir. Nano taneciklerin önemli bir uygulaması, nano katalizörler olarak bilinen yeni bir katalizör sınıfının üretimi olarak kabul edilmektedir. Yüzey morfolojisi, yüzey alanı / hacim oranı ve materyallerin elektronik özellikleri, tanecik büyüklüğündeki değişiklikler nedeniyle önemli ölçüde değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca, iletken özelliği gösteren bazı materyaller, nano ölçekte yarı iletken veya zayıf iletken olabilirken, yarı iletken olan bazı materyaller de iletken veya süper iletkenlik özelliği gösterebilirler. Nanoteknoloji, maddenin nano ölçekte sergilediği benzersiz kuantum ve yüzey olaylarından faydalanmak amacıyla endüstriyel süreçleri, materyalleri ve uygulamaları küçülterek iyileştirmiştir. Nanobilim ve nanoteknolojide hızla artan tarım, elektronik, enerji, tıp vb. uygulamalarla birlikte mevcut ve beklenen birçok ilerleme

bulunmaktadır (Mansoori, 2005; Mansoori, George, Assoufid & Zhang, 2007; Roco & Bainbridge, 2005).

Nanobilim ve nanoteknoloji (NBT) alanları önemli bir küresel görünürlük kazanmıştır ve hem kamu finansmanında hem de özel yatırımlarda bir patlama olmuştur. Hızla gelişen bu alanlar, kavramı anlamayı ve maddeyi atomlar ve moleküller düzeyinde geliştirmeyi amaçlayan araştırma, geliştirme ve üretime yönelik yeni yaklaşımlarla ilgilidir. Son on beş yılda, NBT alanları önemli toplumsal, ekonomik ve etik konularla giderek daha fazla ilişkilendirilmiştir (Laherto, 2010).

2.2 Nanobilim ve Nanoteknolojinin Tarihçesi ve Gelişimi

NBT'nin tarihi ve gelişimi yıllara göre ayrılarak açıklanmaya çalışılmıştır.

2.2.1 Simyadan Kimyaya Geçiş Sürecinde Nanobilim ve Nanoteknoloji

Bir kimyasalın özelliklerini açığa çıkarma düşüncesi en başta eski simyacılarla başlamıştır. Ölümsüzlük iksiri veya zengin olma düşüncesi ile formülü bulmak için çeşitli araştırmalar yapmış ve bunun sonucunda kimyasal tepkimelerin meydana gelebileceğine dair öncülük etmiştir. Bu eski simyacılar, istenen bileşikleri elde etmek için atomları açığa çıkararak kelimenin tam anlamıyla nanoteknoloji yapmaya çalıştıkları anlaşılmaktadır (Williams & Adams, 2007).

Tarihteki ilk nano materyal örnekleri, simyacıların deneysel algılarına ve materyallerin ortaya çıkmasına dayanmaktadır. Yeni özelliklere sahip bu materyalleri üretmek için oluşum basamaklarından biri olan yüksek ısı kullanmışlardır (Atabaş, 2012).

Nano tanecikli yapılar, antik dünyadaki nanoteknolojinin en ilginç örneklerinden birini sergileyen Roma tarafından IV. yüzyılda insanlar tarafından kullanılmıştır. British Museum koleksiyonundan Lycurgus kupası, eski cam endüstrisi olan dikroik camın en eski ünlü örneğidir. Dikroik cam, belirli aydınlatma koşullarında renk değiştiren iki farklı cam türünü tanımlar. Bu, bardağın iki farklı renge sahip olduğu anlamına gelir: Cam doğrudan ışıkta yeşil ve camdan ışık parladığında kırmızı-mor Şekil 2.2'deki gibi görünür (Freestone, Meeks, Sax & Higgitt, 2007).



Şekil 2.2: Lycurgus kabı. Cam, yansıyan ışıkta (A) yeşil ve iletilen ışıkta (B) kırmızı-mor görüntüsü.

VI.- XVIII. yüzyılları arasında nanobilimle ilgili olarak; altın klorür ve diğer metal oksit ve klorürlerin nano tanecikleri, Avrupa katedrallerinin vitray pencerelerine zengin renkler sağlamış olup, altın nano tanecikli fotokatalitik hava temizleyicileri gibi davranmışlardır. Şekil 2.3’de, farklı boyutlardaki bu nano taneciklerin vitray pencerelere etkisinin bir örneğini göstermektedir (Tolochko, 2009).



Şekil 2.3: Nano taneciklerin vitray pencerelerin renkleri üzerine etkisi.

IX ve XVII. yüzyıllar boyunca İslam dünyasında ve daha sonra Avrupa’da kullanılan parlayan, ışıltılı “parlak” seramik sırları gümüş (Ag) veya bakır (Cu) veya diğer nano tanecikleri içermektedir (Pradell, Climent- Font, Molera, Zucchiatti, Ynsa, Roura & Crespo, 2007). İtalyanlar ayrıca XVI. yüzyılda Rönesans çanak çömleğini oluşturmak için nano tanecikleri kullanmışlardır (Poole & Owens, 2003). Osmanlı tekniklerinden etkilenerek, XIII ve XVIII. yüzyılda “Şam” kılıç bıçakları üretmek ve güç, esneklik ve keskin bir kenar tutma yeteneği sağlamak için sementit nanoteller ve karbon nanotüpler kullanılmıştır (Reibold, Paufler, Levin, Kochmann, Pätzke & Meyer, 2006; Tolochko, 2009). Bu renk ve materyal özellikleri yüzlerce yıldır bilinçli olarak üretilmiştir. 1857’de

Michael Faraday, “Yakut” altının koloidal süspansiyonlarının hazırlanması ve özelliklerini incelemiştir. Optik ve elektronik özellikleri, onları en ilginç nano taneciklerden bazıları haline getirmektedir. Faraday, 100 nanometreden daha küçük altın nano taneciklerin belirli aydınlatma koşulları altında nasıl farklı renkli çözümler ürettiğini göstermiştir (Baalousha, How, Valsami-Jones & Lead, 2014).

2.2.2 1900-2000 Yılları Arasında Nanobilim ve Nanoteknoloji

Nano taneciklerin büyüklüklerini ölçen ve nanometre kavramını ilk defa kullanan Richard Zsigmondy 1925 yılında Nobel ödülü almıştır (Baalousha ve diğerleri, 2014).

Amerikalı fizikçi ve Nobel Ödülü sahibi Richard Feynman, 1959’da nanoteknoloji kavramını tanıtmıştır. Amerikan Fizik Derneği’nin yıllık toplantısı sırasında Feynman, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsünde (Caltech) “Aşağıda Bir Çok Yer Var” başlıklı bir konferans sunmuştur. Bu derste Feynman, “Britannica Ansiklopedisi’nin 24 cildinin tamamını bir iğne başına neden yazamıyoruz?” hipotezini ortaya atmış ve daha küçük makineler yapmak için ve moleküler düzeye kadar makinelerin kullanılması vizyonunu tanımlamıştır (Williams & Adams, 2007). Bu yeni fikir, Feynman’ın hipotezlerinin doğruluğunun kanıtlandığını ve bu nedenlerden dolayı modern nanoteknolojinin babası olarak kabul edilmiştir.

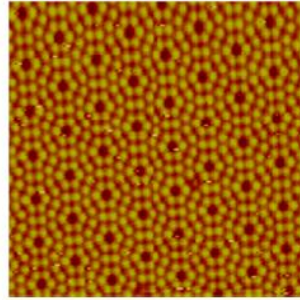
Nanometre ölçeğini Feynman’ın büyük katkısından sonra “Feynman (φnman) ölçeği” olarak adlandırmak uygun görülmüştür. Angstrom ölçeği için kullanılan Å ve mikron ölçeği için kullanılan μ gibi Feynman ölçeği için de “φ” gösterimini önerilmiştir (Mansoori, 2005). Buna göre;

Bir Feynman [φ] ≡ 1 Nanometre [nm] = 10 Angstrom [Å] = 10⁻³ Mikrometre [μm] = 10⁻⁹ Metre [m] şeklindedir (Mansoori, 2017).

1960’lı yılların başlarında ise, küçük sistemler üzerine, ancak farklı bir vurguyla devam eden başka araştırmalar da vardır. Buna iyi bir örnek, Terrell Hill’in “Küçük Sistemlerin Termodinamiği” üzerine iki kitabının yayınlanmasıdır. Küçük sistemlerin termodinamiği artık “nanotermodinamik” olarak adlandırılmaktadır (Hill 1964; 2001; Mansoori, 2005).

Japon bilim insanı Norio Taniguchi, 1974 yılında “nanoteknoloji” terimini ilk kullanan insan olmuştur ve nanoteknolojiyi şu şekilde tanımlamıştır: “Nanoteknoloji esas olarak materyallerin bir atom veya bir molekül tarafından ayrılması, birleştirilmesi ve deformasyonunun işlenmesinden oluşur.” 1977 yılında Eric Drexler moleküler nanoteknoloji kavramlarını Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT) başlatmıştır.

Feynman'ın ilk fikirlerinden bu yana, fizikçiler Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer'in IBM Zürih Araştırma Laboratuvarı'nda Taramalı Tünelleme Mikroskobu (STM) yeni bir mikroskop türü icat ederek nanoteknolojide ilerleme kaydedilmiştir. 1983 yılında, silikon atomlarının yüzeyini ilk kez STM kullanılarak görüntüsü yayınlanmıştır. Günümüzde Şekil 2.4'de gösterildiği gibi görüntülenmektedir (Filippino & Sutherland, 2012).



Şekil 2.4: Si atomlarının STM ile yüzey görüntüsü.

1983'de Feynman, daha küçük ölçekli bir kopyasını üretecek ölçeklenebilir bir üretim sisteminin yapılabileceğinden bahsetmiştir (Feynman, 1993).

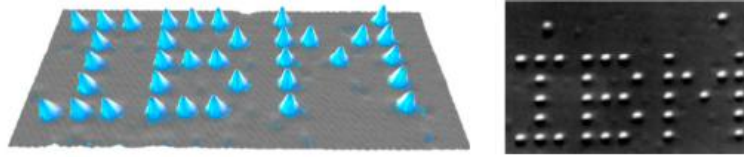
1985 yılında ise Rice Üniversitesi araştırmacıları Harold Kroto, Sean O'Brien, Robert Curl ve Richard Smalley, genellikle buckyball olarak bilinen ve tamamen karbondan oluşan ve formda bir futbol topu gibi görünen bir molekül olan Buckminsterfullerene (C_{60}) bulmuştur. Yeni karbon ailesine fullerenler adı verilmiştir (Williams & Adams, 2007). Araştırmacılar, fulleren molekülleri grubuna katkılarından dolayı 1996 Nobel Kimya Ödülü'nü kazanmıştır (Erkoç, 2014).

1986 yılında nanoteknoloji ile ilgili ilk kitap Eric Drexler tarafından “Motorların Yaratılışı: Nanoteknolojinin Yaklaşan Çağı (Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology)” başlığında yayınlanmıştır (Keiper, 2003). Aynı sene içerisinde Binnig

ve Rohrer tarafından atomik kuvvet mikroskopunu (Atomic Force Microscope- AFM) icat etmelerinden dolayı Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmışlardır. Bu buluş sayesinde günümüzde nanoteknoloji araştırmacıları için tercih edilen araçlar olan atomik kuvvet mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskoplarının (Scanning Probe Microscope- SPM) geliştirilmesine yol açmıştır (Köksal ve Köseoğlu, 2014).

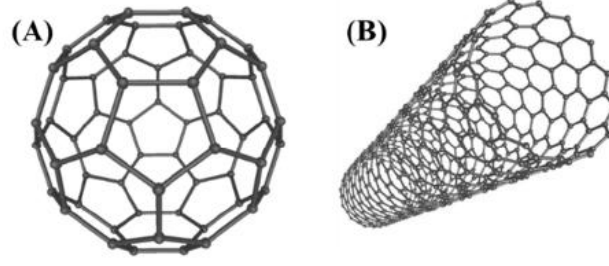
1989'da Nanophase Technologies, 1990'da Helix Energy Solutions Group, 1997'de Zyvex, 1998'de Nano-Tex (ABD'de) gibi ilk nanoteknoloji şirketleri çalışmaya başlamıştır. Buna bağlı olarak nanoteknoloji ile ilgili ilk dergi yayınlanmıştır (Atabaş, 2012).

1990 senesinde, Almaden'deki IBM'den Don Eigler ve arkadaşları, bir nikel yüzey üzerinde 35 ayrı ksenon atomunu işlemek için bir STM kullanmış ve IBM logosunun harflerini oluşturmuştur (Şekil 2.5). STM, yüzeyleri atomik ölçekte görüntülemek için icat edilmiş ve atomların ve moleküllerin yapılar oluşturmak için yönlendirildiği bir araç olarak kullanılmıştır (Bayda ve diğerleri, 2019).



Şekil 2.5: Otuz beş tane IBM logosunu oluşturmak için bir STM kullanılarak bir nikel yüzey üzerine yerleştirilmiş 35 ksenon atomu.

Birkaç yıl sonra, 1991'de Iijima ve arkadaşları fulleren ailesinin bir başka üyesini oluşturan Geçirimli Elektron Mikroskobu (Transmission Electron Microscopy-TEM) ile içi boş grafit tüpler veya karbon nanotüpler gözlenmiştir (Şekil 2.6). Karbon nanotüplerin gücü ve esnekliği, onları birçok nanoteknolojik uygulamada potansiyel olarak faydalı kılmaktadır. Günümüzde, karbon nanotüpler, dökme ürünün mekanik, termal elektriksel özelliklerini iyileştirmek için polimerlerde ve betonda kompozit fiberler olarak kullanılmaktadır. Ayrıca enerji depolama malzemeleri, katalizör ve moleküler elektronik bileşenler gibi potansiyel uygulamaları da bulunmaktadır (Bayda ve diğerleri, 2019).



Şekil 2.6: Bir C₆₀ buckyball (Fulleren) (A) ve karbon nanotüp (B) şeması.

1993 yılında nano kristallerin sentezi, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT)'den Mounji Bawendi tarafından geliştirilen bir yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde yüksek etkili aydınlatma ve fotovoltaiik için hesaplamadan biyolojiye kadar çeşitli uygulamalara izin vermiştir (Atabaş, 2012).

1998'de DNA tabanlı nano mekanik araç, 1999'da ise tek bir organik moleküle sahip bir elektronik anahtar ilk kez M.Reed ve J.M. Tour tarafından ilk kez icat edilmiştir (Ak, 2009).

2.2.3 2000 Yılından Sonra Nanobilim ve Nanoteknoloji

2003 senesinde Naomi Halas, Jennifer West, Rebekah Drezek ve Renata Pasqualin, Rice Üniversitesi'nden altın nano kabuklar geliştirmiştir. Radyasyon veya kemoterapi olmaksızın meme kanserinin keşfi, teşhisi ve tedavisi için birçok avantaj sağlamaktadır (Bayda ve diğerleri, 2019).

2004 yılında, Xu ve arkadaşları tek duvarlı karbon nanotüplerin saflaştırılması sırasında ilginç özelliklere sahip C-noktaları tespit etmişlerdir. Yeni bir nano karbon üyesi olarak düşük toksisite ve iyi biyo uyumluluk gibi üstün özelliklere sahip, biyo-görüntüleme, biyo-sensör ve ilaç dağıtımındaki uygulamalar için C-noktaları uygun malzemeler haline getirmektedir (Bayda, Hadla, Palazzolo, Kumar, Caligiuri, Ambrosi, Pontoglio, Agostini, Tuccinardi, & Benedetti, 2017). Mükemmel optik ve elektronik özelliklerine dayalı olarak, C-noktaları hassas iyon tespiti için kataliz, enerji dönüşümü, fotovoltaiik cihazlar ve nanoprobalar için heyecan verici fırsatlar sunabilmektedir (Wang, Cao, Lu, Meziani, Li, Qi, Zhou, Haru, Kermarrec, & Sun, 2009; Liu, Li, Zhan, Liu, & Huang, 2011). 2004 yılında grafenin keşfedilmesinden sonra, karbon bazlı malzemeler bilim ve mühendisliğin hemen hemen her alanının temeli haline gelmiştir.

2006'da James Tour ve Rice Üniversitesi'ndeki araştırmacılar tarafından nano ölçekli bir araba yapılmıştır. İlk defa dört tekerlekli nano araba modeli hareket ettirilmiştir (Ak, 2009; Atabaş, 2012).

Nanoteknolojinin moleküler biyolojiye en önemli uygulamalarından biri nükleik asitlerle ilgilidir. 2006 yılında Paul Rothemund, "tek pota" reaksiyonunda kendi kendine bir araya gelen DNA nano yapılarının karmaşıklığını ve büyüklüğünü artırarak gizli DNA origamiyi geliştirmiştir. DNA nanoteknolojisinin kavramsal temeli ilk olarak 1982 yılında Nadrian Seeman tarafından ortaya konmuştur. Fizik, kimya, malzeme bilimi, bilgisayar bilimi ve tıp alanlarındaki araştırmacıların nanoteknolojide gelecekteki zorluklara çözümler bulmak için bir araya gelmesiyle DNA nanoteknolojisi hali hazırda disiplinler arası bir araştırma alanı haline gelmiştir (Palazzolo, Hadla, Russo Spena, Caligiuri, Rotondo, Adeel, Kumar, Corona, Canzonieri, & Toffoli, 2019). Özellikle, yıllarca yapılan kapsamlı araştırmalar, DNA ve diğer biyopolimerleri algılama ve teşhis uygulamaları için doğrudan dizi teknolojilerinde kullanmayı mümkün kılmıştır.

2009 ve 2010 yıllarında Nadrian Selman ve meslektaşları tarafından New York Üniversitesi'nde DNA'ya benzer çeşitli robotik nano ölçekli montaj araçları icat etmişlerdir. 2011 yılında da DNA moleküllü robotlar herhangi bir yönde yürümeyi öğrenmiştir (Atabaş, 2012).

Günümüzde çok sayıda agresif kanser için geleneksel kemoterapi ilaçlarının etkinliğini artırarak nano onkoloji alanında da dikkate değer ilerlemeler kaydedilmiştir (Lee & Wong, 2011; Yuan, Gu, Yao, Luo & Yang, 2019). Bu ilerlemeler, tümör bölgesini nano tanecikler, antikolar ve sitotoksik ajanlar dâhil olmak üzere çeşitli fonksiyonel moleküllerle hedefleyerek elde edilmiştir. Bu nedenle, nano-onkoloji, nanobilimin dikkat çekici bir uygulamasıdır ve mevcut kemoterapi tedavileriyle ilişkili sistemik toksitte de önemli bir azalmaya ek olarak tümör yanıt oranlarının iyileştirilmesine izin vermektedir (Cordani & Somoza, 2019).

Ayrıca, nanoteknoloji; çevreyi iyileştirmek ve malzemelerin üretimi sırasında daha az kirlilik üretmek, rekabetçi bir maliyetle elektrik üreten güneş pilleri üretmek, yeraltı sularını kirleten organik kimyasalları temizlemek gibi daha verimli ve uygun maliyetli enerji üretmek için kullanılmıştır (Bayda ve diğerleri, 2019).

Yaklaşık kırk yıldan bu zamana kadar yapılan yoğun araştırmalar sonucunda nanoteknolojik ürünler insanlığın kullanımına açılmıştır. Her geçen yıl piyasada daha çok görünen yeni nanoteknolojik ürünler giderek artmaktadır.

2.3 Nanobilim ve Nanoteknoloji Eğitimi

Bilim ve teknolojiye çok hızlı gelişmelerin olduğu, bilimsel bilginin çoğalarak arttığı ve her geçen zaman daha yoğun bir biçimde teknoloji kullanılan bir yüzyıl yaşanılmaktadır. Ayrıca, küreselleşme sonucunda ülkeler arasında artan bir rekabet durumu söz konusudur. Başarılı olmak için ülkeler, bireylerini daha iyi eğitim verme yolunda birbirleriyle rekabet içerisinde dirler. (Milli Eğitim Bakanlığı Tebliğler Dergisi, 2000).

Bilimsel kültürün oluşturulmasında en önemli görev eğitim kurumlarına düşmektedir. Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin kavramayan ve anlamlandıramayan bireylerin, bilime ve teknolojiye katkı yapmaları zordur. Yaşadığımız yüzyılda diğer ülkelerle rekabet etmek ve var olmak için yeni teknolojileri kullanarak üretime kazandırmak gerekir. Sanayileşmemiş ülkeler, üretemediği materyalleri ithal etmek zorunda kalmışlardır. Çağımızda da aynı durum geçerli olduğundan, yeni teknolojik materyalleri üretmeyenlerin bu tür materyalleri kullanmaları zorlaşacaktır. Bundan dolayı, yeni teknolojik materyallerin ilk ve ortaokul düzeylerine indirgenerek bu teknoloji kültürünün öğrencilere aktarılması gerekir. Bunu gerçekleştirirken fen ve teknoloji eğitimi dersleri, yeni bilimsel gelişmeleri ve teknolojileri içermeli ve bilimsel bilginin aktarımına olanak sağlamalıdır (Akbaş, 2003). Çağımızın en yeni teknolojisi olan nanoteknolojinin okullarda öğretim programlarına dâhil edilmesi ve öğrencilerle buluşturulması şarttır.

NBT, maddeyi nano ölçekte kontrol ederek yeni ürünler ve teknolojiler sunmak adına hızla stratejiler geliştirmektedir. NBT araştırmalarından elde edilen yeni bilgi ve teknolojilerin, su, enerji, çevre, tarım, gıda ve sağlık başta olmak üzere birçok alanda gerçekleştirilecek toplumsal etkileri olmuştur ve olmaya devam edecektir. Ayrıca, nanobilim, fen bilimlerinin nano ölçekte bir yansıması olduğundan, toplum üzerinde bilimsel bilgideki önceki gelişmelerden çok daha büyük bir etkiye sahip olacağı belirtilmiştir (Stevens, Sutherland, Schank & Krajcik, 2006).

NBT, disiplinlerarası alanlar yaratmak için kimyanın, fiziğin, biyolojinin ve mühendisliğin yönlerini birleştirmektedir (Roco, 2001). Nanobilim ve nanoteknolojinin yanı sıra yeni ortaya çıkan bilimin çoğunu sınıfa getirmenin en büyük zorluklarından biri disiplinler arası doğasıdır ve öğrencilerin yanı sıra fen bilimleri öğretmenlerinin birçok nano ölçekli olguyu açıklamak için çeşitli konu alanlarından fikirleri aktarabilmelerini gerektirir. Bu nedenle, nanobilimi sınıfa tanıtmak öğretim, değerlendirme ve öğretim programı geliştirmede değişiklikler gerektirir. Okul öğretim programını sadece bireysel konuların öğrenilmesi değil, aynı zamanda bunlar arasındaki bağlantıları da vurgulamaya başlamalıdır ve böyle bir öğretim programını desteklemek için değerlendirmeler geliştirilmelidir. Ayrıca, mevcut fen öğretim programında geleneksel olarak yer almayan nanobilimden yeni fikirlerin nasıl yerleştirileceğini belirlenmelidir. Öğrencilerin belirli bir süre içinde bilgilerini nasıl oluşturduklarını açıklayan öğrenme ilerlemeleri, bu zorluğun üstesinden gelmeye yardımcı olabilir (NRC, 2007).

NBT, büyük ölçüde maddenin nano ölçekte yeni, genellikle beklenmedik özelliklerini keşfetmeye, açıklamaya ve uygulamaya dayanmaktadır. Altın, nano tanecik süspansiyonlarının altın renginde olmaması, yaklaşık 50 nanometreden küçük bakır parçacıklarının şekillendirilebilir olmaması ve bir gekonun tavanda yürüyebilmesi, nano ölçekle ilgili örneklerdir. Bunları açıklamak için, maddeyi, madde özelliklerini ve farklı koşullar altında nasıl davrandığını tam olarak anlamak gerekir. Atomlar, moleküller için yapı taşları iken, nano ölçekli yapılar ve düzenekler için yapı taşları atomlar, moleküller ve diğer nano ölçekli yapılar ve düzeneklerdir. Bu yapı taşlarının davranışını tanımlayan fiziksel yasalar aynıdır. Bu nedenle, nanobilim okuryazarlığının önemli bir yönü, yalnızca maddenin yapısının değil, aynı zamanda özelliklerinin ve bu özellikleri neyin belirlediğinin yanı sıra maddenin çeşitli koşullar altında nasıl davrandığı ve etkileşime girdiğinin de sağlam bir modelini içermelidir.

NBT eğitimi, dünya çapında fen eğitiminin ortaya çıkarmış olduğu alandır. Chank (2006), nanobilim eğitimi için itici bir güç olarak “nano” ifadesi gençlerin hayal gücünü ateşleyebileceğine, bilim ve teknolojiye olan ilgilerini artırabileceğine işaret etmektedir. Blonder ve Dinur (2012) nanoteknoloji konusunun birçok potansiyel uygulamasının ve araştırma konusu olması lise öğrencileri için çekici olma potansiyeline sahip olduğunu belirtmektedir. Schank, Wise, Stanford ve Rosenquist (2010), NBT ile ilgilenen öğrenci sayısının artması için lise öğrencilerine nanobilim konularında anlamlı ve ilgili deneyimler

sağlanmalı, bu da sonunda bu öğrencileri nanobilimle ilgili kariyerlere yönlendireceğini belirtmişlerdir.

NBT’de eğitimin farklı düzeylerde verilmesi sık sık tavsiye edilmiştir. Bu tavsiye ve talepler, hükümetler ve kamu idareleri, endüstri ve ticaret, sivil örgütler, nano bilimciler ve mühendisler, bilim ve teknoloji eğitmenleri ve sosyal bilimciler dâhil olmak üzere çeşitli savunucular tarafından çeşitli bakış açılarından yapılmıştır (Roco, 2003; Roberts, 2004; Avrupa Komisyonu, 2005; 2010; Brune, Ernst, Grunwald, Grünwald, Hofmann, & Krug, 2006). NBT eğitimine duyulan ihtiyaç, bilimsel ve teknolojik okuryazarlığa (Sabelli ve diğerleri, 2005; Zenner & Crone, 2008; Stevens ve diğerleri, 2009; Stevens, Delgado & Krajcik, 2010) ve dünya çapında öğretim programı geliştirme projelerinde oldukça etkili olan kavramlara (Laugksch, 2000; Roberts, 2007; Holbrook, 2010) atıfta bulunularak ifade edilmiştir. Bu iddialardaki temel fikir, insanların günlük yaşamları ilgili bazı önemli bilim temelli meselelerde gezinmek için yakında bir tür “nano okuryazarlığa” ihtiyaç duyacağıdır.

Nano okuryazarlığı, nano ölçekte maddenin etkileşimlerini, yapısını ve özelliklerini anlamayı ve nano ölçekli materyallerin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmeyi gerektirmektedir (Feather, 2011). Bu okuryazarlığı başarmak için nanobilim konularını öğrenirken önceki bilgilerle çelişebileceği görülmektedir. Tüm özelliklerin ölçekle değiştiği gerçeği, materyalin erime noktası, rengi, reaktifliği, sertliği, iletkenliği, şekillendirilebilirliği bağımsız olarak tanımlanan özellikler ile farklılık göstermektedir. Kimyasal ve fiziksel özellikler kavramı, yalnızca bir materyalin makro ve mikro ölçekli miktarları için geçerlidir, çünkü materyalin büyüklüğü nano ölçeğe doğru küçüldükçe, bu özelliklerin bazılarının da değişmeye başladığı görülür (Benlikaya, 2020).

Nanobilim öğrenmedeki kavramsal zorluklardan bir diğeri de öğrencilerin nesnelere gerçek büyüklüğünü ve ölçeğini anlama konusundaki sınırlı yeteneğe sahip olmalarıdır (Benlikaya, 2020). Xie ve Pallant (2011), öğrencilerin nano ölçekli nesnelere görüp yönlendirmelerinin mümkün olmadığını, böylece öğrencilerin nano ölçekte gerçek bir deneyime sahip olamayacaklarını veya nano ölçekli olayları incelemek için uygulamalı deneyler yapamayacaklarını belirtmiştir.

“Büyük Fikirler” adı verilen orta düzey için NBT eğitim programlarının geliştirilmesi ve öğrencilerin NBT kavramlarını algılamasının ve kavranmasının teşvik edilmesi, onları yeni bir teknoloji çağında toplumun gelecekteki zorluklarına hazırlayacaktır (Hutchinson, Bodner & Bryan, 2011; Stevens ve diğerleri, 2009; Tessman, 2009; Wansom ve diğerleri, 2009).

Ulusal Bilim Vakfı (NSF) tarafından desteklenen NanoLeap projesinin amacı, öğrencilere nano ölçekli bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik kavramlarının ortaöğretim programına nerede uyabileceğini keşfetme imkânı vermek olarak belirlenmiştir. Ayrıca nanobilim ve nanoteknoloji alanlarında yararlı öğretim materyallerinin geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Proje sonuçları; projenin sorgulamaya dayalı öğrenmeyi desteklediğini, bilimi öğrenmeye ilgi ve katılım düzeylerini arttırdığını, temel kavramlar, nano ölçekli bilim, teknoloji, mühendislik, matematik, kavramlar ve uygulamaların anlaşılmasını artırdığını göstermiştir. Proje, eğitim materyallerini Stevens ve diğerleri (2009) tarafından oluşturulan 7.sınıftan 12.sınıfa kadar ortaöğretim ve lisans düzeyi için “Büyük Fikirler” temelinde geliştirmiştir.

Tablo 2.1: NBT eğitimcileri tarafından üzerinde anlaşılan konular ve kavramlar (Hingant & Albe, 2010; Stevens ve diğerleri, 2009).

Ortaöğretim 7-12.sınıf düzeyi	Üniversite düzeyi
	Büyükölçek
Maddenin yapısı	Yüzey alanı / Hacim oranı
Kuvvetler ve etkileşimler	Yüzeyle Baskın Davranış
Kuantum etkileri	Kuantum Mekaniği
	Büyükölçüğe bağlı özellikler
	Kendiliğinden oluşum
	Araçlar
	Modeller ve simülasyonlar
Bilim, teknoloji ve toplum	Toplumsal Etki / Eğitim

Türkiye’deki ortaöğretim programında fen bilimleri eğitimini geliştirmek için bazı değişiklikler meydana gelirken, nanobilim gibi maddenin doğası gereği disiplinler arası olan yeni bilim alanlarından kaynaklanan bilimsel fikirlerin dâhil edilmesi gerekmektedir. Nanobilimde kimya, fizik ve biyolojiden gelen fikirlerin önemli olduğu görülmektedir. Türkiye’de ortaöğretim programını bu üç ana fen dersi altında göz önünde bulundurularak ve ayrıca 7.sınıftan 12.sınıf öğrencilerine kadar uygun görülen nanobilimin “Büyük Fikirleri”, çeşitli aktivitelerle temel kavramlar bu derslere eklenebilir. (Stevens ve diğerleri, 2009).

Büyüklik ve ölçek, Nanoscience’da tanımlanan “Büyük Fikirlerden” ilk konusudur. 2006 yılında NCLT tarafından düzenlenen Öğrenme Hedefi Çalıştayı’nda, Stevens ve diğeri (2009) büyüklüğü, bir şeyin gerçek kapsamı, kütlesi veya miktarı olarak tanımlamıştır. Ölçek ise, bir nesnenin büyüklüğünü, o büyüklüğün metre, gram, litre ve ışık yılı gibi geleneksel olarak tanımlanmış birimlerin sayısal bir temsilidir. Araştırmacılar ayrıca bu konuların nanobilimin diğeri tüm büyük fikirlerinin altında yattığını da eklemiştir. Büyüklüğün nano ölçeği tanımladığı ve ölçeğin maddenin davranışı hakkında belirttiği ortaya çıkmıştır. Büyüklik ve ölçek değıştikçe maddenin özellikleri değışir. Stevens ve diğeri, (2009), büyüklüğün yüzey alanı / hacim oranı üzerindeki etkisinden kaynaklanan nano ölçekte maddenin sergilediği özelliklere örnek vermiştir. Kimyada bunun yüzeydeki atomların sayısı ile materyaller ile ilgili olduğunu açıklamıştır.

2.3.1 Nanobilim ve Nanoteknolojide Büyüklik ve Ölçek Konusunun Önemi

Kimyadaki en büyük öğrenme güçlüğü ilk ve ortaöğretim öğrencilerinin günlük hayatlarına bakış açıları ve duyuları ile çelişen maddenin tanecikli doğasıdır. Öğrencilerin büyük bir bölümü maddenin tanecikli yapısını doğru bir şekilde kavrayamamaktadır. “Atomlar veya moleküller ışık mikroskobu ile görülebilir.”, “Maddeyi oluşturan tanecikler, o maddenin tüm özelliğini taşır.”, “Toz ve molekül aynı büyüklüktedir.”, “Tüm atomlar aynı büyüklüktedir.” gibi maddenin doğası ile ilgili öğrencilerin kavram yanılgılarına sahip olduklarını göstermektedir. Öğrenciler, atomun büyüklüğünü anlayamadıkları için, maddenin doğası ile ilgili öğrencilerin kavram yanılgılarına sahip olabilecekleri düşünülmektedir.

Maddenin doğasına ait derin bir anlayış oluşturmak için, öğrencilerin ilgili birçok fikri birbirine bağlayabilmesi gerekmektedir. Örneğin, bir tuzun (NaCl) ve iki atomlu bir gazın (Cl₂) oluşumu arasındaki farkı açıklamak için, atomların ve yapılarının nasıl etkileşim kurdukları ile ilgili birçok fikri anlamaları şarttır. Öğrenciler, öncelikle atomlar, maddenin temel yapı taşları olduğunu bilmelidir. Ayrıca, atomların bileşimini ve elektronların, özellikle de en dıştaki elektronların düzenini, atomların etkileştiğini ve biçimini etkilediğini bilmelidir. Atomların düzeninin maddenin özelliklerinin önemli bir belirleyicisi olduğunu ve elektrik kuvvetlerinin atomları ve molekülleri bir arada tuttuğunu ve bunun bağ enerjisini nasıl etkilediğini bilmesi gerekir. Buna ek olarak, bu kavramları elektronların nasıl davrandığına dair bilgiyle ilişkilendirmelidir. Özellikle, bir atomun fazladan bir elektron alma veya verme olasılığının periyodik tablodan tahmin edildiğini

anlamaları gerekir. Elektronları alma veya verme eğilimindeki fark, atomlar arasındaki etkileşimleri yöneten elektrik kuvvetlerinin türünde rol oynamaktadır. Bu nedenle, öğrencilerin bu iki maddenin oluşumunu açıklayabilmeleri için birkaç farklı konudaki fikirleri birleştirebilmeleri gerekmektedir. Bu fikirler bir anda geliştirilemez, zengin deneyimlerle birlikte zaman içinde oluşturulmalıdır. En önemlisi, öğrencilerin bu fikirleri anlamaları ancak diğer önemli yapı taşlarını kavramışlarsa gelişecektir.

Maddenin doğasına ilişkin olarak büyüklük ve ölçeğin tanımlanan iki bileşeni vardır: Büyüklük, bir nesnenin kapsamı veya miktarıdır. Büyüklük, her nesnenin bir özelliği olup bir nesnenin büyüklüğü, ölçek işlevi gören bir standartla karşılaştırılarak belirlenmektedir. Büyüklük, bir ölçeğe göre tanımlanır. Ölçek ise, bir nesnenin büyüklüğünü referans bir nesne ile karşılaştırılmasıdır. Ölçeğin tanımı ise, nesnelere ve süreçlere ölçmek ve incelemek için kullanılan uzamsal, zamansal, niceliksel veya analitik büyüklük olarak ifade edilmiştir (Gibson, Ostrom & Ahn, 2000).

1925'ten önce bilim adamları tüm evrenin Samanyolu galaksisinden oluştuğunu düşünüyorlardı. Edwin Hubble, o zamanlar var olan en büyüğü olan yeni bir 100 inçlik optik teleskop kullanarak, Samanyolu'na çok uzak olan bazı yıldızları tespit etti ve bunun neticesinde evren hakkındaki görüş değişikliğine yol açmıştır. Bugün bile, ortaya çıkan bilim çok büyük veya küçük ölçeklerde olma eğilimindedir. Şu anda yaşadığımız ve 1-100 nanometre olan nesnelere ilgilene nanoteknoloji devrimi, 1980'lerde geliştirilen atomik kuvvet mikroskopları sayesinde mümkündür. Yeni ölçeklerde çalışmak, böylelikle tamamen yeni fen alanlarının doğmasına neden olmuştur. Milyarlarca ışık yılı ile ölçülen astronominin uçsuz bucaksız mesafelerinden; çıplak gözle görülemeyen, biyolojinin küçük hücreleri ve bakterileri aracılığıyla; maddenin benzersiz özellikler sergilediği nano ölçekteki mantık dışı kuantum olayına dek büyüklüklerin ve mesafelerin ölçülmesi ve anlaşılması fen alanlarının temel bir bileşenidir (Delgado, 2009).

Yeni araçlar, yeni büyüklükteki bölgeleri bilimsel incelemeye yol açabilir, ancak büyüklük, tüm bilimsel olayları incelemek için gerekli araç ve model seçiminde oldukça önemlidir. Bir nesnenin büyüklüğü, onu çıplak gözlerimizle inceleyip inceleyemeyeceğimizi veya bir büyütme merceğinin, bir optik mikroskopun veya bir elektron mikroskopunun büyütmesini gerektirip gerektirmeyeceğini belirleyecektir. Bir modelin seçimi de büyüklükten etkilenir: Klasik Newton mekaniğinde bilardo toplarının

çarpışmasını modellemek yeterlidir, ancak nano ölçekteki gerçekleşen olaylar için kuantum etkilerini dikkate almak zorundadır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, bilim insanlarının yanı sıra diğer birçok meslek kuruluşlarının da ölçeği temel olarak gördüklerini doğrulamaktadır (Jones & Taylor, 2009).

Ortaöğretim kimya öğretim programının farklı konularında temel NBT konusu büyüklüğü ve ölçeği için birkaç ekleme noktası kimya öğretmenleri tarafından önerilmiştir. On tane kimya öğretim programı konusunun beşine (temel kavramlar, atomik yapı, kimyasal bağ, stokiyometri ve gıda kimyası) ve dördü (polimerler, fizikokimya, biyokimya ve çevre kimyası) isteğe bağlı öğretim programı modülüne yerleştirilmesini belirtmişlerdir (Blonder & Sakhnini, 2017).

“Maddenin doğası” ve “makroskobik ve mikroskobik seviyeler” konularını kimya öğretmenleri öğretirken kavram büyüklüğünü ve ölçeğini uyarlamayı önermişlerdir. Kavramı öğreterek, öğrenciler makro ve mikro büyüklükler ve ölçekler arasında ayırım yapabileceklerdir.

İkinci bir konu olarak atomik yapı konusu önerilmiştir. Öğretmenlere göre, öğrenciler atomun yapısını (protonlar, elektronlar, nötronlar, atomlar ve moleküller) öğrendiklerinde büyüklüklerini tahmin etmekte zorlandıklarını ve bu nedenle, öğrencilerin atomik yapıyı anlamlandırmaları için öğrencilerin her taneciğın büyüklük ve ölçeğindeki farklılıkları fark etmelerini sağlamak önemlidir. “Kimyasal bağlar” konusu, bir sonraki önerilen ekleme noktası olmuştur. Öğretmenler, kimyasal bağların uzunluğunu öğretirken bu kavramı bütünleştirmeyi önermişlerdir. Çünkü bu durum, öğrencilerin kimyasal bağ uzunluğu ve özellikleri ile ilgili yanlışlarının üstesinden gelmelerine ve bağ uzunluğu ile gücü arasındaki bağlantıyı anlamalarına yardımcı olacaktır. Önerilen bir başka ekleme noktası, “stokiyometri” konusunu öğretirken olmuştur. Öğretmenler, konsantrasyonları ve seyreltmeyi öğretirken ve aynı zamanda negatif üslerle, dolayısıyla küçük ölçekli sayılarla uğraşırken kavramı dâhil etmeyi önermişlerdir. Ama aynı zamanda, ayın dünyaya uzaklığı gibi büyük pozitif üslerle uğraşırken bu kavramı öğretmeyi de önermişlerdir. Bir sonraki önerilen ekleme noktası “gıda kimyası” konusudur. Öğretmenler, gıda makro moleküllerini (örneğin, sakkaritler, proteinler) “devasa” moleküller olarak öğretirken, büyüklük ve ölçek kavramının öğrencilere makro moleküller bağlamında “devasa” anlamını algılamalarına yardımcı olacak araçlar sağlayacağını açıkladılar (Blonder & Sakhnini, 2017).

2.3.2 Büyüklük ve Ölçek Konusunun Fen Bilimleri Eğitimindeki Rolü

Gattis (2001), uzamsal akıl yürütmeyi “daha ileri bilişsel süreçler için gerekli olan yeni yapıları inşa edilen bir platform” olarak kullanıldığını öne sürmüştür. Hatırlanması gereken unsurların uzamsal organizasyonu hafızayı koordine etmeye yardımcı olabilir; bir öğrencinin nesnelere arasındaki düzeni korumasını ve büyüklükler arasındaki ilişkileri tanımlamasını sağlamaktadır (Gattis & Dupeyrat, 1999). Uzamsal akıl yürütme bir platform olarak kullanıldığı bu varsayılmış yolların çoğu tek bir boyutu içerir ve düzeni zihinsel olarak tasvir etmek ve geçişli çıkarımlar yapmamıza yardımcı olmak için zihinsel uzamsal bir dizi oluşturur. Geçişlilik, A ile B arasındaki ilişki ve B ile C arasındaki ilişki biliniyorsa, örneğin, $A = B$ ve $B = C$ ise $A = C$ veya $A < B$ ise, A ve C arasındaki ilişkinin bilinmesini sağlar. Gattis (2001), uygun bir mekânsal yapının seçilmesi ve uyarlanmasının zorlu bir görev olduğunu belirtmektedir ve kıyaslamaların ne kadar sık ve soyut düşünceye yardımcı olmak için uzamsal şemaları kullanmanın ne kadar uygulanabilir olduğunu açıklamaktadır. Sağlam bir büyüklük ve ölçek kavramsal fikrinin oluşturulması, bu nedenle bilimde, matematiksel anlamının geliştirilmesinde ve hatta soyut düşüncenin geliştirilmesinde faydalı olabilir.

Bilimi kapsayan ölçek; konular ve sınıflar arasında öğrenci öğrenimini birleştirmek için kullanılabilen bir kavram olarak tanımlanır ve öğrencilerin dünyayı anlamalarına yardımcı olan bir araçtır (AAAS, 1993; NRC, 1996). Bilim okuryazarlığı için geliştirilecek özellikle önemli ölçek düşünceleri, kozmosun muazzam büyüklüğü ile moleküllerin çok küçük olmasıdır (AAAS, 1993). Kıyaslamalar ayrıca tüm maddelerin, doğrudan mikroskopla görülemeyecek kadar çok küçük olan atomlardan oluşuyor olması atomların önemli bir özelliği olarak büyüklüğünden de bahsedilmektedir.

Büyüklük ve ölçeğin iyi anlaşılması nano ölçekli bilim ve mühendisliğin araştırılması için bir gereklidir (Waldron ve diğerleri, 2005). Nano Ölçekli Bilim ve Mühendislik Öğrenme Ulusal Merkezi (NCLT)’nin araştırdığı alanlardan biri öğrencilerin bilgisi ile büyüklük ve ölçeğin öğrenilmesinin sağlanmasıdır. Büyüklük ve ölçek, NBT’nin büyük fikrini oluşturduğundan dolayı büyüklük yalnızca nano ölçeği tanımlamakla kalmaz, aynı zamanda belirli bir ölçekte nesnelere nasıl davranacağını tahmin eden fiziksel yasaları da belirlemektedir (Stevens ve diğerleri, 2009).

2.3.3 Öğrencilerin Büyüklük ve Ölçek Konusunu Anlayışları

Büyüklük ve ölçek konusu ile ilgili önceki araştırmalar, öğrencilerin büyüklük ve ölçek bilgilerinin organizasyonunu iki farklı şekilde kategorize etmeye yönelik bazı adımlar atmıştır. Birincisi, öğrencilerin nesnelerin büyüklüğünü tahmin etmek ve kavramsal büyüklükleri gruplamak için bilinen nesnelerin büyüklükleriyle diğer nesnelerin büyüklüklerini karşılaştırmayı incelemektedir. Bir diğeri, öğrencilerin bir tür büyüklük ve ölçek bilgisi hakkındaki bilgilerinin başka bir tür büyüklük ve ölçek bilgisi ile nasıl ilişkilendirildiğini araştırmaktadır (Delgado, 2009).

Büyüklük ve ölçek hakkında dört farklı düşünme yöntemi belirlenmiştir Bunlar, büyüklüğe göre sıralama, gruplama, göreceli ölçek ve mutlak büyüklüktür (Resnick, 1992).

2.3.3.1 Sıralama

Sıralama, değişkenlerin aldığı değerlerin büyükten küçüğe doğru bir sıraya konması ile yapılır. Seçenekler arasında büyüklük ve küçüklük ilişkisi vardır. Fakat seçenekler arasındaki farkların sayısal bir anlamı yoktur. Sıralama veya seri hale getirme ifadesi, seri olarak bağlı bir dizi asimetrik geçişli ilişkinin ürünüdür ve niteldir (Inhelder & Piaget, 1969). Sıralamaya örnek olarak, “bit < karınca < köpek < at < fil” verilebilir. Sıralamanın, örneğin A'nın B'den küçük olduğunu ve B'nin C'den daha küçük olduğunu belirleyen ardışık nesne çiftlerinin karşılaştırmalarından oluşmuştur. Bu durumda, $A < C$, $B < C$ ve $A < B$ ise $A < B < C$ sırası oluşturulur. Bununla birlikte, iki nesnenin karşılaştırılması, her ikisinin mutlak büyüklüklerinin karşılaştırılması, her birinin göreceli ölçeğinin üçüncü bir nesneyle ilişkili olarak karşılaştırılması gibi çeşitli şekillerde yapılabilir. Fen ve matematik alanlarında, ilkokul öğrencilerinin günlük nesnelere uzunluğa veya sayılara göre sıralayabilecekleri beklentisini içermektedir (AAAS, 1993; NCTM, 1989).

Öğrencilerin bilimdeki çeşitli nesnelere anlamasına odaklanan çalışmalar, genellikle bulgularından birinin nesnelerin büyüklüğünü doğru bir şekilde anlaşılmasından bahsetmektedir. Bu çalışmalar genellikle öğrencilerin nesnelerin büyüklüğüne ilişkin nitel hatalara atıfta bulunmaktadır; öğrencilerin hücrelerin büyüklüğünü atomların ve moleküllerin büyüklüğünde olduklarını tespit etmiştir (Flores, 2003). Bir başka benzer araştırmada ise, öğrencilerin hücreleri ve atomların büyüklüklerini karıştırdıklarına tanık olunmuştur (Harrison & Treagust, 1996). Ortaokul seviyesindeki öğrencilerin yalnızca %15'i büyüklüklerine göre mikrop, molekül ve atomu doğru şekilde sıralayabilmiştir

(Waldron ve diğeri, 2006). Başka bir çalışmada, 7 ila 90 yaşları arasındaki 495 katılımcının yalnızca %7'si atom, su molekülü, bakteri ve hücreyi doğru şekilde sıralayabilmiş; ankete katılanların %45'i en küçük olarak atomu belirtmiştir (Castellini ve diğeri, 2007). Tretter ve meslektaşları (2006) çalışmalarında 5., 7. ve 9.sınıf öğrencileri toplu olarak, tümünden daha küçük olan saç kalınlığı için ortalama bir sıralama oluşturmuşlardır. Makroskobik altı nesnelere atom, atom çekirdeği, hücre, bakteri ve virüs olarak belirlemişlerdir. Bu, saç makroskobik ve makroskobik altı nesnelere sınırında bir dönüm noktası olarak belirlemenin, öğrencilerin büyüklük ve ölçek anlayışındaki gelişmelerde önemli olabileceği anlamına gelebilmektedir. Bu çalışma aynı zamanda ilköğretim ve ortaokul sınıflarındaki öğrencilerin aynı büyüklükteki dikey ve yatay çizgileri karşılaştırmaları istendiğinde dikey çizgiyi daha büyük olarak algıladıklarını ortaya koymuştur. Bu durum, öğrencilerin dikey mesafeleri gerçekte olduklarından çok daha büyük olarak sıraladıkları görülmüştür. Sonuç olarak, ortaokul öğrencilerinden makroskobik nesnelere doğru bir biçimde sıralamaları beklenmemektedir ve bildikleri makroskobik nesnelere bile bazı problemler yaşanabilmektedir.

Castellini ve meslektaşlarının (2007), 6.sınıftan 8.sınıfa kadar olan öğrencilerin yaklaşık %15'inin, düşünebildikleri en küçük şey sorulduğunda %57'si atom ve yaklaşık %24'ü de mikroskobik nesnelere küçük görülebilir bir nesnenin bahsettiklerini tespit etmişlerdir. Waldron ve meslektaşları (2006), ortaokul seviyesindeki öğrencilerin %40'ından fazlasının makroskobik bir nesneyle yanıt verdiklerini bulmuşlardır. Bu durum, alt çapının makroskobik altı nesnelere hakkında bilgi sahibi olmadıklarını göstermektedir. Ayrıca, ortaokul öğrencilerinin çoğunun büyüklüğe göre milimetre, mikrometre ve nanometreyi doğru bir şekilde sıralayamadıklarını belirtmiştir. Başka bir çalışma, 7., 8. ve 9.sınıftaki kız öğrencilerin yalnızca %18'inin milimetreyi bir metrenin 1/1000'i olarak tanımlayabildiğini ve çok azının milimetreden küçük birimler hakkında bilgi sahibi olduğunu göstermiştir (Jones, Minogue, Broadwell, Wiebe & Carter, 2007). Sonuç olarak, alt çapının makroskobik altı birimler ve hatta milimetre bilgisine sahip olmadıkları tespit edilmiştir. İlkokul, ortaokul ve lisedeki öğrencilerin %57'si birimleri doğru bir şekilde sıralayamadıkları görülmüştür (Batt, Waldron & Broadwater, 2008). Lise öğrencilerine düşünebildikleri en küçük şey sorulduğunda %70'inden fazlası, atom veya diğer nano ölçekli nesnelere, %40'tan fazlası ise makroskobik altı nesnelere yanıt vermiştir (Castellini ve diğeri, 2007; Waldron ve diğeri, 2006). Bu nedenle üst çapa, lise

sonundaki tüm öğrencilerin, geliştirilmiş öğretim programı ile birlikte atom gibi küçük nesnelere bildiği kanısına varılmıştır.

Öğretmen adaylarına yönelik yapılan çalışmalarda ise virüs, molekül ve atom gibi gözle görülmeyen çok küçük nesnelere çoğunun doğru bir biçimde sıralayamadıkları görülmüştür (Akdeniz, 2017; Jones, Andre, Superfine & Taylor, 2003; Waldron ve diğerleri, 2006). Tretter ve meslektaşları (2006), lisans düzeyindeki öğrencilere nesnelere büyüklüklerini sıralamaları istenildiğinde kırmızı ışığın dalga boyunu çoğunlukla en büyük ya da en küçük olarak kabul ettiklerini belirlemişlerdir. Bu çalışmaya benzer biçimde Akdeniz (2017), kimya, fizik ve biyoloji öğretmen adayları kırmızı ışığın dalga boyunu en büyük olduğunu tespit etmiştir.

2.3.3.2 Gruplama

Gruplamada, nesnelere ya da gözlenen değişkenlerin ölçülen özellik bakımından birbirlerine benzeyip benzememelerine göre gruplara ayrılır. Burada yapılan işlem, belli bir özellik yönünden benzeyenlerin aynı gruba dâhil edilmesidir. Gruplamada belli bir başlangıç noktası ve tanımlı – tanımsız birimi yoktur.

Inhelder ve Piaget (1969), sıralamanın gelişmesinin, gruplama ile neredeyse tam olarak paralel olduğunu ve ondan adım adım önce gelme eğiliminde bulunduğunu belirtmiştir. Sıralamanın gelişimsel olarak gruplamadan önce gelmesi, sıralamanın gruplamadan daha kolay olduğu anlamına gelmemektedir. Büyüklüğe göre doğru bir şekilde gruplama, sıralamaktan daha kolay kısıtlamalar içermektedir. Çünkü büyüklükleri gruplamada belirli bir gruptaki nesnelere arasında büyüklük farkı çok fazla yoktur. Belirli bir nesne grubu için doğru gruplama, doğru sıralamaktan daha kolaydır. Dört veya daha fazla dizideki en küçük üç nesneyi düşünüldüğünde; bu üç nesnenin hepsi farklı büyüklükteyse, onları sıralamanın altı farklı kombinasyonu vardır ve bunlardan yalnızca biri doğrudur. Ancak, üçünün de bir arada gruplandırıldığını varsayarsak, gruplamanın tek bir yolu vardır ve bu da tamamen doğru olması gerekir.

Gruplama, benzer büyüklükteki nesnelere bir gruba ve farklı boyuttaki nesnelere farklı gruplara yerleştirmeyi içermektedir (Inhelder & Piaget, 1969). Büyüklüğe göre gruplamaya örnek olarak, {karbon atomu, su molekülü} < {deri hücresi, kırmızı kan hücresi} < {pire, karınca, tuz tanesi} < {kedi, köpek} şeklinde verilebilir. Ayrıca, sıralama gibi, gruplama da

nitelikselidir. Geçişlilik gruplamada rol oynar: B nesnesi A'dan büyük ancak C'den küçükse, B nesnesi A ve C ile aynı gruba yerleştirilmelidir (çünkü eğer $A < B$ ve $B < C$ ise $A < B < C$). Fen ve matematikte öğrencilerin niteliklere göre gruplama yapabilme beklentisini de içermektedir (AAAS, 1993; NCTM, 1989). Nesnelere büyüklük gibi sürekli bir özelliğe göre gruplamak, hayvan türleri gibi bir tür ayırımına göre gruplamaktan daha karmaşıktır. Bunun nedeni, herhangi iki eşit olmayan sayının yalnızca diğer sayılarla ilişkili olarak birbirine benzemesi veya benzememesidir. Ayrıca, farklı sayıda grup kullanarak nesnelere büyüklüklerine göre gruplamanın iyi tarafları da olabilir. Bazıları mutlak büyüklük veya göreceli ölçek içeren ve bazıları daha nitel olan birçok olası gruplama stratejisi bulunmaktadır.

Bilim insanları nesnelere kavramsal olarak, ölçü birimlerini ve bunları incelemek için kullanılan araçlarla şekillendirilen nesnelere halinde gruplandırmıştır (Tretter ve diğerleri, 2006). Her nesne için bir büyüklük aralığının örnekleri olan nesnelere şekillendirilmiştir. Uzmanlar için önemli makroskobik altı nesnelere, sırasıyla atom ve mikroskobik nesnelere içermektedir (Tretter ve diğerleri, 2006). Bu çalışma aynı zamanda büyüklük kategorileri için kavramsal sınırlar da bildirmektedir. Tüm yaş grupları, çeşitli büyüklüklerdeki makroskobik nesnelere, üç kategoriye ayrılacak şekilde toplu olarak kavramsallaştırmıştır. Ortaokul öğrencileri toplu olarak insandan daha küçük nesnelere için tek bir kategoriye sahipken, üstün yetenekli lise son sınıfları bunları toplu olarak küçük makroskobik, çok küçük makroskobik ve mikroskobik olarak ayırabilmişlerdir. Araştırmacılar, bilgi düzeyi yüksek olanların daha fazla grup oluşturdukları sonucuna varmışlardır, fakat toplu verilerin bireysel farklılıkları gizleyebileceğine de dikkat çekmektedirler. Bu nedenle alanyazın, alt ve üst çapalarda gruplama için nelerin dâhil edileceğine dair çok az rehberlik sağlamaktadır.

2.3.3.3 Göreceli Ölçek

Göreceli ölçek, başlangıç noktası sıfır olan ölçüm birimlerinin, isteğe bağlı bir başlangıç noktasına göre, eşit aralıklarla dizilmesiyle elde edilen ve değerler arasında matematiksel anlamların ortaya çıkarılmasına uygun olan bir ölçektir. Göreceli ölçekte değişkenlerin aldığı değerler sayılarla gösterilir. Seçenekler arasında hem büyüklük küçüklük ilişkisi vardır, hem de seçenekler arasındaki farkın sayısal anlamı vardır.

Göreceli ölçek, bilim insanlarının tanımlamış birimlere başvurmadan büyüklüğü hakkında üçüncü bir düşünce metodudur. Göreceli ölçek, bir nesnenin büyüklüğünü diğerine göre ifade etmektedir. Bir DNA sarmalının genişliği bir karbon atomunun çapından yaklaşık 20 kat daha büyüktür. Göreceli ölçek, sıralama ve gruplamadan farklı olarak niceldir. Ayrıca, göreceli ölçek, sıralamadan daha zor görünmektedir çünkü sıralamada sadece A nesnesi B nesnesinden daha büyüktür denilebilir ancak göreceli ölçek aynı zamanda göreceli farkın miktarını yani A nesnesinin B nesnesinden kaç kat daha büyük olduğunu belirlemektedir. Bir haritada, mimari planlarda veya krokilerde kullanılan ölçekler ve oyuncak arabalar göreceli ölçek içermektedir. Vergnaud (1988), ilkokul son sınıf öğrencilerinin “üç kat fazla” veya “üç kat az” gibi ifadeleri anlamadıklarını ve bunların çoğullayıcı nitelikte olduklarının çoğu kez farkında olmadıklarını belirtmiştir. Bu nedenle, öğrencilerin göreceli ölçek fikrini anlayacakları varsayılmamaktadır (Vergnaud, 1988).

Bilim insanları, güneş sisteminin çok uzak mesafelerini kolaylaştırmak için astronomik birimleri ve ışık yılı gibi birimleri tanımlamışlardır. Öğrencilerin fen bilimlerindeki çeşitli nesnelere anlamasına odaklanan çalışmalar, göreceli ölçeği yanlış anlamalarının temelinde nerelerden kaynaklandığını bahsedebilmektedir. Öğrencilerin atom çapının büyüklüğü hakkında iyi bir fikre sahip olmadıkları bulgusu çalışmalarda bulunmaktadır (Brook, Briggs, & Driver, 1984; Griffiths & Preston, 1992). Önceki çalışmalarda ise öğrencilerin genellikle Güneş’in büyüklüğüne göre Dünya’nın büyüklüğünü abarttığını göstermektedir (Phillips, 1991; Hapkievicz, 1999).

Tretter ve meslektaşları (2006), öğrencilerin vücut uzunlukları açısından birden çok nesnenin büyüklüğüne ilişkin tahminlerinin doğruluğunu araştırmıştır. Katılımcılardan, belirli büyüklükte bir nesne sağlamaları istenmiştir. Bilgi düzeyi yüksek olan lise son sınıf öğrencileri bile mikro ve nano ölçekteki nesnelere için yalnızca %20’si doğru bir biçimde cevaplandırabilmiştir. Batt ve meslektaşları (2008), öğrencilere bir örnek sunduktan sonra, öğrencilerden küçük, makroskobik nesnelere büyüklüğünü 100 milyon kat büyütülmüş şekliyle tahmin etmelerini istemiştir. Katılımcılara 100 milyon kat büyütülmüş bir golf topunun büyüklüğü söylenmiş ve bu ölçekte bir toplu iğne başının büyüklüğünü tahmin etmeleri istenmiştir. Doğru cevap oranı çoğu grup için %50’nin de altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, her iki çalışmada da göreceli ölçek kullanmanın öğrenciler için çok zor olduğu tespit edilmiştir.

Alt çapada, öğrencilerin milimetre aralığında veya altındaki nesnelerin göreceli ölçeğini tahmin etmeleri beklenmemektedir. Bu bulgular, lise son sınıf öğrencilerinin mevcut öğretim programlarında milimetre büyüklüğündeki nesneler için göreceli ölçeği tahmin edebildiklerini veya hesaplayabileceklerini göstermektedir. Ortaokul öğrencilerinin büyüklük ve ölçek odaklı bir öğretim programından sonra göreceli ölçek tahminlerinin doğru yapabilecekleri öngörülmektedir (Delgado, 2009).

2.3.3.4 Mutlak Büyüklük

Mutlak büyüklükte birimleri birbirine eşit olan ve gerçek (mutlak) bir sıfır noktası vardır. Mutlak büyüklükte sıfır noktası gerçek anlamda yokluğu, yani ölçülen özelliğin hiç olmadığını ifade eder. Bu nedenle en çok bilgiyi sağlayan düşünme yöntemidir.

Büyüklük ölçeğe göre belirlendiğinde, büyüklük daima görecelidir. Örnek olarak, 50 santimetre olarak tanımlanmış birimlerle ilişkili olarak kurulan büyüklükler “mutlak büyüklük” olarak isimlendirilmiştir (Graham, Ernhart, Craft & Berman, 1964). Beşinci sınıf öğrencileri, bir miktarın hem bir sayı hem de bir birimden oluştuğunu bilmeleri beklenmektedir (AAAS, 2009).

Wiedtke'nin (1990) ölçüm için temel fikirleri, yinelenen birimleri saymanın bir nesnenin uzunluğunu tanımladığı, bir nesneye bir uzunluğa atanabileceği ve geçişlilik fikrini içermektedir. Ek olarak, Clements ve Stephan (2004) bir nesnenin birimlere bölünebileceği ve korunabileceği fikri (bir nesnenin yerini değiştirmenin uzunluğunu değiştirmediği fikri) daha önce tanımlanmış ve çalışılmıştır (Piaget & Inhelder, 1971; Piaget, Inhelder & Szeminska, 1960).

Mutlak büyüklük, ölçüm dışındaki yollarla da elde edilebilir. Bir nesnenin mutlak büyüklüğü biliniyorsa ve bu nesnenin ikinci bir nesneye göreceli ölçeği de biliniyorsa, o zaman mutlak büyüklük de hesaplanabilir. Joram, Subrahmanyam ve Gelman (1998), mutlak büyüklük tahmini için, göreceli ölçeğe veya nesnenin yanındaki bir ölçüm aracını zihinsel olarak görselleştirmeye dayanan çeşitli stratejileri gözden geçirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Önceki araştırmalar, her yaşta öğrencinin, büyüklüğün uç noktalarında ve özellikle mikrometre aralığında veya altında daha düşük doğrulukla belirli mutlak büyüklüklerde

nesnelere bulmayı zor bulduğunu göstermiştir (Tretter ve diğerleri, 2006). Jones, Tretter, Taylor ve Oppewal (2008), aday öğretmenler ve deneyimli öğretmenler arasında benzer bir model bulmuştur.

Jones ve arkadaşları (2009) da benzer bir model bulmuşlardır, ancak görme engelli öğrenciler arasında daha yüksek doğruluk görülmüştür. Bilgi düzeyi yüksek lise son sınıf öğrencileri 1 milimetre ile 100 metre arasındaki nesnelere için %100'e yakın bir doğruluk oranına sahip olup, mikro ölçekte %40 ve nano ölçekte %20; ortaokul öğrencileri metre aralığında %100, milimetre aralığında %80 doğruluk oranı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle alt çapa, öğrencilerin yalnızca insan boyuna yakın nesnelere büyüklüğünü tahmin edebilecekleri beklentisini içerebilmektedir ve milimetre büyüklüğündeki nesnelere de üst çapada bulunabilir.

Mutlak büyüklük, algısal olarak göreceli ölçekten daha zor görünmektedir. Vasilyeva ve Huttenlocher (2004), ölçeklendirme yeteneklerini belirlemek için 4 ve 5 yaşındaki çocukların iki boyutlu haritaları yorumlama yeteneklerini incelemiştir. Bulgular sonucunda, birimlere yabancı olan ve henüz biçimsel orantılı akıl yürütmeyi kullanamayan küçük çocukların hala erken, nicel olmayan, algısal temelli ölçeklendirme yeteneklerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Graham ve meslektaşları (1964), 2 ila 4 yaş arasındaki çocuklar için aynı mutlak büyüklükten birini seçmektense aynı göreceli büyüklükte bir uyarıcı seçmeyi öğrenmenin daha kolay olduğunu bulmuşlardır. Ancak, göreceli ölçeğin veya mutlak büyüklüğün öğrenciler için hangisinin daha kolay olup olmadığı açık değildir. Tretter ve meslektaşları (2006), mutlak büyüklük veya göreceli ölçek olarak ifade edilen belirli bir büyüklük aralığındaki nesnelere gelen yanıtlayıcıların doğruluğunun tahmin edilebilir şekilde değişmediğini bulmuştur.

Tretter ve meslektaşları (2006), mutlak büyüklüğün, sıralama yapmaktan daha zor olduğunu belirtmişlerdir ve öğrencilerin nesnelere hakkındaki bilgileri organize etmenin bir yolu olduğunu öne sürdükleri kavramsal büyüklük kategorilerini araştırmışlardır. Her kategori, örnek olarak nitelenen nesnelere belirlenmiş ve bu kategoriler ilişkili bir ölçü birimi ilişkilendirilmiştir. Alanlarındaki bilgileri toplayarak, uzmanlar erişebilecekleri ölçekleri geliştirmişlerdir. Bir nesneyi belirli bir yerde kullanılabilir olan bir birim olarak tanımlayabilmektedir. Bu şekilde, bir öğrenci bir büyüklük bilgisi geliştirebilmektedir. Bu, uzmanların gruplamayı, nesnelere mutlak büyüklüğünü ve göreceli ölçeği

kullanabileceği ve ilişkilendirebileceği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, bu araştırma grubu, bireysel öğrencilerin gruplama, mutlak büyüklük ve göreceli ölçeği bağdaştırma becerisini doğrudan incelemiştir.

Jones ve Taylor (2009) tarafından yayınlanan bir makalede, ölçeğin öğrenilmesi için bir yörünge taslağı çizmiştir. Bu yörüngede, bilgisi az olanların sayı algılama ve ölçüm tahmin etme becerilerini geliştirdiği, göreceli büyüklükleri kavramsallaştırdığı ve ölçüm araçlarını kullanmayı öğrenmişlerdir. Bilgisi daha fazla olanlar, ölçümleri ve ölçekleri dönüştürebildiği, yüzey alanını hacim ile ilişkilendirebildiği, değişen ölçeklerin farkına vardığı, ölçüm ve tahmin için cetvelleri kullanabildiği, ölçekleri görselleştirebildiği ve farklı ölçek türlerini anlayabildiği ve orantılı akıl yürütme ve görsel uzamsal beceriler geliştirebilmişlerdir. Bilgi düzeyi en yüksek olan öğrenciler, doğru ve güvenilir ölçekler oluşturabildiği, bir ölçeği diğeriyle ilişkilendirebildiği, ölçeği kullanırken de doğruluğu geliştirebildiği ve ölçeği tahmin ederken kavramsal çapaları uygulayabilmektedir. Bu yörünge, uzmanların geniş bir beceri ve kavramlar dizisine ilişkin bilgi düzeylerine nasıl ulaştıklarına dair geniş bir açıklama sağlamaktadır ve bu çalışmada, tek boyutlu büyüklük ve ölçek anlayışının gelişimini incelemek için daha ince bir yaklaşım gerektirmektedir. Jones ve Taylor (2009) tarafından önerilen bu yörünge, kısmen uzmanların geçmişe dönük kişisel raporlarına dayanmaktadır ve burada oluşturulan öğrenme ilerlemesini ilgili büyüklük ve ölçek alanları (örneğin, yüzey alanı - hacim ilişkileri) ile birlikte çeşitli ölçüm tahmin tekniklerinin ve ölçeklerin oluşturulmasının önemine işaret etmede de yararlı olacağı düşünülmüştür.

Mutlak büyüklüklerin tahmini için Joram ve meslektaşları (1998) tarafından önerilen modelde dönüm noktası nesnelere de önemlidir. Dolayısıyla bu model, öğrencinin doğrudan etkileşime girdiği nesnelere için en uygun olanıdır. Bu modelde, bir öğrenci, bir insanın boyunu 1,7 metre veya başparmağın 5 santimetre uzunluğunda olması gibi bir dizi referans noktası veya ölçüt oluşturmaktadır. Karşılaştırmalar zihinsel olarak temsil edilen nesnelere dönüşür. Uzunlukları standart birimlerin uzunluklarını veya birimlerin katlarını temsil etmek için kullanılan standart olmayan birimlerden oluşur. Ölçüm kıyaslamaları, kişinin bilinmeyen miktarlar hakkında tahminler üretmesine izin verir (Joram, 2003).

Bu referans noktaları, öğrenciye daha tanıdık gelebileceği veya daha az yineleme gerektirebileceği için standart bir ölçü birimi kullanmaktan daha kullanışlı olabilmektedir.

Örneğin, 3 metrelik bir duvarın yüksekliğini tahmin etmek, 1,5 metrelik bir insandan iki adet olmasını gerektirir. Bu modelde, öğrenci, karşılık gelen konumlarda iyi bilinen referans noktalarına sahip zihinsel bir ölçüm çizgisi oluşturur. Joram ve meslektaşları (1998) “ölçeğin nasıl oluşturulduğuna dair bilgi” olarak adlandırdığı referans noktalarını zihinsel olarak yineleyerek orta büyüklükleri öğrenciler tahmin edebilir. Yapılan bu çalışmada, öğretmenleri tarafından zorlanmadıkları takdirde çocukların bir ölçüm çizgisi oluşturmak için referans noktalarını bilmenin ötesine geçemeyecekleri konusunda uyarılmaktadır. Buna göre, göreceli ölçeğin nasıl kullanılacağını ve öğrenileceğini de içermektedir.

Büyüklik ve ölçekte sıralama, gruplama, göreceli ölçek ve mutlak büyüklük mantıksal olarak birbirine bağlantılıdır. Örneğin; çeşitli sporlarda kullanılan topların çapları: pinpon topu (4 cm), tenis topu (6,5 cm), beyzbol topu (7,5 cm), voleybol topu (21 cm) ve futbol topu (22 cm). Spor toplarının mutlak büyüklüğünün bilinmesi, büyüklüğe göre sıralanmasını sağlar: pinpon <tenis <beyzbol <voleybol <futbol; aynı zamanda bir topun büyüklüğü diğerine göre hesaplanır (örneğin, futbol topunun çapı beyzbol topunun çapından $22 \text{ cm} / 7,5 \text{ cm} = 2,9$ kat daha büyüktür). Tersine, futbol topunun çapının bir topun çapıyla birlikte pinpon topundan 5,5 kat daha büyük olduğunu bilmek, birinin diğerinin mutlak büyüklüğünü hesaplamasını sağlar. Toplar ayrıca, göreceli veya mutlak büyüklüklerine göre {pinpon} <{tenis, beyzbol} <{voleybol, futbol} gibi gruplar halinde de düzenlenebilir. Büyüklik ve ölçeğin farklı yönleri arasındaki bağlantıların sadece mantıksal bir gereklilik olmadığını, aynı zamanda bu fikirlerin kavramsal bilgisinin önemli bir bileşeni olduğu düşünülmektedir (Delgado, 2009).

Bazı öğrenciler göreceli ölçek ve mutlak büyüklüğün birbiriyle ilişkili olmadığına inanmaktadır ve iki nesnenin göreceli ölçeğini (bir nesnenin diğerinden kaç kat daha büyük olduğu) ve bir nesnenin mutlak büyüklüğünü belirlediğini fark edemezler. Bu tür öğrenciler, aynı nesne için göreceli ölçek ve mutlak büyüklük ile ilgili tutarsız cevaplara sahip olma eğilimindedirler (Vosniadou, 2003).

Büyüklik ve ölçek ile ilgili bazı alanlarda yapılan araştırmalar, bu dört düşünme yolunun öğrenciler için önemsiz olabileceğini düşündürmektedir. Örneğin, beş nesneyi $A < B < C < D < E$ şeklinde sıralama yapan bir öğrenci, bunları {A, C} <{B, D, E} bu şekilde

grupluyorsa, $B < C$ yazarsa tutarsız bir yanıt vermiş olur. Bu, onun sıralamayı ve gruplamayı birbirine bağlayamadığını gösterdiği şeklinde yorumlanabilir.

$A < B < C$ olarak sıralanan üç nesne için, B, C'den 10 kat daha küçükse, A, C'den 10 kat daha küçük olmalıdır. Sıralama ve göreceli ölçek boyunca tutarlılık, birimin büyüklüğü ile birim sayısı arasındaki ilişkiyi veya Lehrer'in (2003) orantılılık fikri olarak adlandırdığı şeyi içermektedir. Yani, birim ne kadar küçükse, belirli bir mesafeyi kapatmak için o kadar çok birim gerekir. Örneğin, A nesnesi B nesnesinden daha küçük olduğundan, C'yi oluşturmak için B'den daha fazla A gerekir.

$A < B$ olarak sıralanan iki nesne için, A için tahmin edilen mutlak büyüklük B için tahmin edilen mutlak büyüklükten daha küçük olmalıdır. Öğrenciler, makroskobik altı nesnelere için uygun ölçü birimlerini bilmeyebilir ve bu onları, tanıdık birimlerin kesirlerine veya ondalıklarına çevirmeye zorlayabilmektedir. Ancak, rasyonel sayılar öğrenciler için zordur (Post, Cramer, Behr, Lesh, & Harel, 1993; Carpenter, Corbitt, Kepner, Lindquist, & Reys, 1980; Hiebert & Wearne, 1986). Yapılan araştırmalar, üniversite öğrencilerinin bile 0,02 gibi ondalık sayıları 100'de 2 yerine "200'de 1" anlamına gelecek şekilde yanlış yorumlayabileceklerini, muhtemelen 0,01'den 100'de 1 anlamına gelecek biçimde belirtmiştir (Cohen, Ferrell & Johnson, 2002). Ondalık sayıların anlamının bu yanlış yorumlanması, bazı öğrencilerin daha küçük nesnelere daha büyük birimler atmasına yol açabilir ve bu da sıralama ile mutlak büyüklük arasında tutarlılık olmamasına neden olabilmektedir. Tanıdık nesnelere ve birimlerle bile, öğrenciler tutarsız olabilir, örneğin bir arabanın genişliğini bir yolun genişliğinden daha büyük olarak tahmin edebilmektedir (Markovits, Hershkowitz & Bruckheimer, 1989). Ayrıca öğrencilerin büyüklük ve ölçek bilgisinin altında yatan ve tutarlı olmalarına yardımcı olan matematiksel becerilerin rolünü vurgulamaktadır.

A nesnesinin B nesnesinden (göreceli ölçek) 100 kat daha küçük olduğu tahmin ediliyorsa ve B nesnesinin mutlak büyüklüğü verilmişse (1 mm), A'nın mutlak büyüklüğü için bir tahmin de 100 kat olmalıdır. (1/100 mm veya 0.01 mm). Bu bağlantı, orantılı düşünmeyi gerektirir ve ilköğretim matematiğinin temel taşı olan ve takip edilen çok önemli bir kavramdır. (Lesh, Post & Behr, 1988). Bununla birlikte, çok sayıda araştırma oran-orantı kavramını düşünmenin öğrenciler için zor olduğunu göstermiştir (Lesh ve diğerleri, 1988).

Nesneler arasındaki büyüklük farklılıkları, genellikle birden fazla şekilde nesnelere gruplamak için kullanılabilir. Örneğin, uzunlukları 2 cm, 3 cm, 6 cm, 8 cm, 40 cm ve 50 cm olan nesnelere, mantıklı bir şekilde {2 cm, 3 cm}, {6 cm, 8 cm}, {40 cm, 50 cm} olarak gruplandırılabilir. Mutlak büyüklükle tutarlı olmayan alternatif gruplama stratejileri yapılabilir. Örneğin, {2 cm, 6 cm}, {3 cm, 8 cm}, {40 cm, 50 cm}. Aynı şekilde göreceli ölçek için de geçerlidir. Inhelder ve Piaget (1969), birçok küçük çocuğun gruplamaları istendiğinde kendiliğinden ölçüt değiştirdiklerini fark etmişlerdir. Bu nedenle bazı öğrenciler, sıralama ve göreceli ölçek veya sıralama ve mutlak büyüklükte tutarlı olmakta sorun yaşayabilmektedir.

Nesnelerin büyüklüğü hakkındaki olgusal bilginin doğruluğundan bağımsız olarak ölçülebilir. Örneğin, bir öğrenci yanlışlıkla bir virüsün çok hücreli küçük bir organizma olduğuna inanıyorsa (hücre veya bakteriden daha küçük olması gerekiyorken), nesnelere şu şekilde sıralayabilir: atom < karbondioksit molekülü < bakteri < kırmızı kan hücresi < virüs < toz akarı. Sıra yanlış olsa bile, öğrencinin gruplaması yine de sıralamayla tutarlılık açısından değerlendirilebilir. Öğrenci nesnelere {atom, karbondioksit molekülü}, {bakteri, kan hücresi}, {virüs, toz akarı} olarak gruplandırırsa, sıralama yanlış olsa da, gruplama tutarlıdır. Öğrenciler genellikle açık görünen bağlantıları kurmazlar; bilgiyi ayrı parçalar olarak ele alabilirler (Hiebert & Carpenter, 1992; diSessa, 1988). Başlangıçta öğrencilerin birbiriyle bağlantılı büyüklük ve ölçek bilgisine sahip olacağını varsayamayız. Büyüklük ve ölçek için bir öğrenme ilerlemesi oluştururken, hem bireysel olarak öğrencilerin nesnelerin büyüklüğü hakkındaki bilgilerinin doğruluğuna hem de büyüklük ve ölçek yönlerindeki tutarlılığına odaklanılması gerekir.

2.3.4 Büyüklük ve Ölçek Konusunu Öğrenmede Zorluklar ve Kavram Yanılgıları

Büyüklük ve ölçek konusu ile ilgili maddenin doğasına ilişkin bazı öğrenme zorlukları ve kavram yanılgıları tespit edilmiştir (Stevens ve diğerleri, 2009). Öğrenciler, genellikle iki nesnenin göreceli ve mutlak büyüklükleri birbiriyle bağlantılı olduğunu (Stevens ve diğerleri, 2007), atom ve molekülleri optik mikroskobu ile görmenin mümkün olduğunu (Griffiths & Preston, 1992) ve görülemeyecek kadar küçük şeylerle çalışmak için yeterince küçük gösterecek araç-gereç eksikliğinin bulunduğunu (Stevens ve diğerleri, 2009) belirtmişlerdir. Ancak, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve taramalı tünelleme mikroskobu (STM) gibi sondalı mikroskoplar sayesinde atomları görebilmeleri ve nano ölçeği anlayabilmeleri mümkündür. Her okul, bu pahalı ekipmanları satın almaya parası

yetmeyeceğinden yalnızca az sayıda öğrencinin bundan yararlanabileceği anlamına gelmektedir. Bu durum büyüklük ve ölçek konusunun öğrenmedeki zorluklardan biri anlamına gelmektedir (Benlikaya, 2020).

ABD'deki K-12 fen ve matematik öğretim programı, büyüklük ve ölçeye başarılı bir şekilde hitap etmemiştir, çünkü eğitim araştırmacıları, büyüklük ve ölçekle ilgili öğrenciler için birçok zorluk veya bilgi eksikliği olan alan böylelikle belirlenmiştir. ABD'deki araştırmada öğrencilerin uluslararası karşılaştırmalarda geometri ve ölçme konularında diğer matematiksel konulara göre daha kötü durumda oldukları görülmüştür (National Center for Education Statistics [NCES], 1996). 1996 yılında düzenlenmiş olan ABD'deki Ulusal Eğitim İlerleme Değerlendirmesi'nden (NAEP) elde edilen veriler, sekizinci ve on ikinci sınıf öğrencilerinin doğrusal ölçü birimleri arasındaki basit dönüşümlerde yüksek başarı oranlarına sahip olduğunu, ancak on ikinci sınıfın yaklaşık öğrencilerin yarısı, birden fazla dönüşümü içeren bir maddeyi başarıyla yanıtlayabilmişlerdir (Kenney & Kouba, 1997). Öğrenciler birimler arasındaki dönüşümler konusunda test edilmemişken, konuya hâkim olanlar bile bu gibi sorunlarla karşılaşmışlardır.

Dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde, önceki metrik sisteme dayanan SI sistemi kullanılmaktadır; bu sistem bilimde neredeyse evrensel olarak kullanılmaktadır. Örneğin; uzunluk için SI birimi metredir ve standart ön ekler (kilo-, santi-, mili-, mikro-... gibi) temel birimle birlikte kullanılabilir. Buna karşılık, Amerika Birleşik Devletleri'nde ise, önceki İngiliz sistemine dayanan Imperial (İmparatorluk birimleri) sistemi, inç, feet ve mil gibi uzunluk birimleri kullanılmaktadır (Prince, 2018). 1999 yılında, NASA'nın Mars'a göndermiş olduğu uydu kaybolmuştur çünkü iki farklı mühendislik ekibi, biri SI metrik sistemi, diğeri ise İngiliz metrik sistemi olmak üzere farklı ölçü birimi kullanmıştır (Lloyd, 1999).

2.4 Öğrenme Teorileri ve Öğrenme İlerlemeleri

Çok temel bir öğrenme anlayışı olan davranışçılık; öğrenciyi, öğrencinin ön bilgilerini dikkate almadan bilgiyle doldurulacak “boş bir kap” olarak ifade etmektedir (Skinner, 1971). Bu öğrenme modeli, anlamayı küçük, farklı gerçeklere dayalı veya hafızasında kalmış bilgilerden oluştuğunu düşünür. Davranışçı öğrenme anlayışları, Piaget'in öğrenme teorileri tarafından sorgulanmıştır; bu teori, öğrenciyi aktif olarak önceki bilgileri ve fikirleri üzerine bilgi inşa ettiklerini belirtmektedir (Ausubel, 1968). Piaget'nin öğrenme

görüşleri, üst düzey düşünme süreçlerini ve bilgi parçaları arasındaki bağlantıları ayrıcalıklı kılmaktadır. Bununla birlikte, Piaget'nin teorilerinin bir yönü, deneysel kanıtlara karşı pek uygun değildir: mantıksal yapılara dayanan akıl yürütmenin gelişim aşamalarının içerikten bağımsız olduğu varsayılmıştır (Chi & Ceci, 1987).

Olgusal bilgiye yeniden vurgu, davranışçılığa geri dönüş anlamına gelmez, çünkü aynı zamanda olgusal bilginin organizasyonunun anahtar olduğunu da bulmuştur; çeşitli alanlardaki uzmanların birbirleriyle iyi bağlantılı bilgilere sahip oldukları bulunmuştur (Chi & Ceci, 1987). Artık üst düzey kavramsal bilginin gerçekler arasındaki ilişkilerle ilgisi olduğu düşünülmektedir (Snir, Smith & Grosslight, 1993). Öğrencilerin bilgisi, zaten sahip oldukları kavramlar ve özellikler arasında daha fazla bağlantı kazandıkça artmaktadır. Yani, gelişimle, bilgi daha erişilebilir hale gelir çünkü bilginin farklı bileşenlerini birbirine bağlayan daha fazla bağlantı vardır (Chi & Ceci, 1987). Kavramsal bilgi tutarlı ve düzenlidir ve öğrencilerin bunları mevcut bilgilerine bağlayarak yeni fikirleri öğrenmelerine yardımcı olabilir (Kilpatrick, Swafford & Findell, 2001; Linn, Davis & Eylon, 2004).

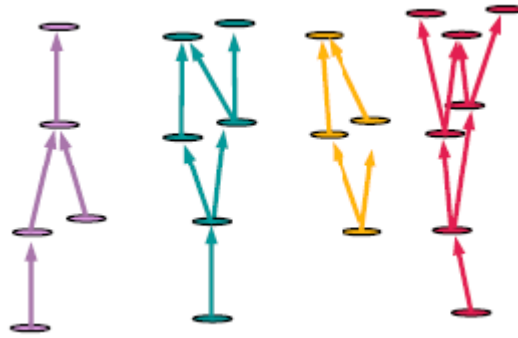
Son on beş yıldan beri öğrenme ilerlemeleri öğretim programı planlayıcılarına, öğretmenlere ve araştırmacılara köprü kurmak için yararlı bir araç olarak rehberlik etmek üzere fen eğitimi alanında (Alonzo & Steedle, 2008; Duschl, Maeng & Sezen, 2011) popülerlik ve önem kazanmıştır.

İnsanların öğrenme biçimi ile ilgili araştırmalardaki gelişmeler giderek öğretme uygulamalarına bağlamayı amaçlamaktadır (Bransford, Brown & Cocking, 2000). Öğrenme ilerlemesi ile ilgili çalışmalar, öğrenme ve sınıf uygulaması araştırmaları arasında bir köprü kurma potansiyeli nedeniyle önemlidir. Oldukça yeni bir terim olan, öğrenme ilerlemeleri, alan yazında bulunan farklı tanımlamalara bakılmaksızın, insanların belirli bir bağlamda bir fikri öğrenmedeki adımlarını tanımlamak için yararlı bir araçtır.

Anlamanın gelişmesi birçok faktöre bağlı olduğundan, yeni anlaşılacak bir konudan karmaşıklığa doğru hareket ederken öğrenciler çok çeşitli yolları izleyebilir (Smith, Wiser, Anderson, & Krajcik, 2006). En kritik iki faktör olan öğretim programı ve öğretim uygulaması ile ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak, öğrenciler farklı kişisel ve kültürel deneyimlerini sınıfta ve bunun gibi farklı ortamlarda geliştirirler. Ancak, öğretim

materyallerinin öğrencilerin ön bilgileri ile öğrencilerin ilgisini çeken ve öğrenmeyi teşvik edici diğer faktörler göz önüne alındığında, öngörülenden çok daha önce yani daha erken yaşta zorlu süreçlere öğrencinin öğrenmesi sağlanabilir.

Öğrenme ilerlemelerinin gelişimini hem öğretim hem de değerlendirme için “uygun seviye” olarak adlandırılan sistematik ölçümü neyin sağladığını bazı stratejiler belirleyebilir. Bilim okur-yazarlığı, NSES Standartlar (NRC, 1996) ve Testleri (AAAS, 1993) tarafından tanımlanan konular son derece geniş bir kapsamdadır. Özellikle NSES standartları, bu geniş konu yelpazesi içinde fikir bağı oluşturulabileceği ya da uzun bir süre boyunca birbirlerinin üzerine yapılandırılabilen hakkında herhangi bir bilgi sunmamaktadır. Bunun için AAAS (2001), verilen bir konunun anlaşılmasını sağlamak için fikirlerin mantıksal bir sıralama şeklinde iplikçik haritalar yaratmıştır (Şekil 2.7). Ancak, bazı sıralamalar öğrencilerin bilgi seviyesine neyin uygun olduğuna dayanırken, belirli bir konu içinde bilginin nasıl geliştiğini de belirtmiştir.



Şekil 2.7: Her bir renk farklı konularla olup ok yönü konunun anlaşılması daha zor olan yöne doğru.

Öğrenme ilerlemeleri, “öğrencilerin temel bilimsel kavramları ve açıklamaları anlama ve kullanma yeteneklerinin ve ilgili bilimsel uygulamaların uygun talimatla zaman içinde nasıl büyüdüğü ve daha karmaşık hale geldiği konusunda deneysel olarak temellenmiş ve test edilebilir hipotezler” olarak tanımlanır (Corcoran, Mosher & Rogat, 2009, s.15). Masters ve Forster (1996), öğrenme ilerlemelerini “öğrencilerin tipik olarak geliştiği dizideki beceriler, anlayışlar ve bilginin bir tanımını öğrendikçe takip ettiği yolu gösteren bir resim” olarak belirtmiştir. Roseman, Caldwell, Gogos ve Kuth (2006), onları ilkokullardan lise yıllarına kadar uzanan bir fikir dizisi olarak tanımlıyor. Duschl, Schweingruber ve Shouse (NRC, 2007) ise, “bir konuyu geniş bir zaman diliminde öğrenen ve araştıran birbirlerini takip edebilen bir konu hakkında birbiri ardına daha

karmaşık düşünme yolları” olarak tanımlamıştır. Stevens, Shin, Delgado, Krajcik ve Pellegrino (2007), “hem temel bir bilimsel fikre ilişkin düşünceler arasında bağlantı kuran hem de dallanmayı teşvik eden stratejik bir sıralama.” şeklinde öğrenme ilerlemelerini tanımlamıştır. Hess (2008), ilerlemeyi “insanların yanıtlarını genelleştiren veya kavramlar konusundaki anlayışlarını yaygınlaştırmaya yönlendiren öğrencilerin tanımlaması” olarak belirtmiştir. Diğer benzer tanımlar Merrit, Krajcik ve Shwartz (2008) tarafından da yapılmıştır; öğrenme ilerlemeleri, basitten karmaşık bir anlayışa doğru giderek gelişmiş fikirlerdir. Mohan, Chen ve Anderson (2009), “birbirlerini izleyen, yüksek dereceli gelişerek ilerleyen düşünme yollarıdır” şeklinde görüş belirtirken, Alonzo ve Steedle (2008), öğrenme ilerlemelerini “öğrencilerin belirli bir kavramı anlamaları için yapılan düzenli açıklamalar” olarak tanımlamışlardır. Öğrenme ilerlemeleri, kısaca “geniş bir zaman diliminde” öğrenci gelişimini tanımlar. Bu özellik, öğrenci ilerlemeleri ile ilişkili değerlendirilmenin geniş bir yaş aralığında ve değişen başarı seviyelerinde öğrencilerin düşüncelerini teşhis etmesini gerektirir (Jin & Anderson, 2012b).

Öğrenme ilerlemeleri yapılandırmacı öğrenme kuramı ile uyumludur ve bunları somutlaştırır. Araştırmacılar, son yıllarda farklı bilimsel fikirler ve bilimsel uygulamalar için öğrenme ilerlemeleri geliştirmiştir. Bu öğrenme ilerlemelerin çoğu, bir üst çapa, bir alt çapa ve bu iki çapayı birbirine bağlayan orta seviyeler ile anlayış seviyeleri olarak tanımlanmıştır. Öğrenme ilerlemeleri, öğrencilerin ilgi döneminin başında sahip oldukları tespit edilen bilgi ve mantığın bir açıklamasını içeren daha düşük bir çapa (Duschl ve diğerleri, 2007) dâhil edilerek önceki bilgilere değer vermektedir. Bir öğrenme ilerlemesinin üst çapası, toplumun okulda belirli bir noktanın sonunda öğrencilerden beklediği ve eğitim araştırmalarının mümkün olduğunu gösterdiği bilgiden oluşur (Smith ve diğerleri, 2006; Duschl ve diğerleri, 2007). Öğrenme ilerlemeleri, bu üst çapayı öğrenilecek gerçeklerle, bağlamdan arındırılmış ve soyut beceriler olarak değil, hem olgusal bilgiyi hem de üst düzey ve bilimsel araştırma becerilerini içeren öğrenme performansları olarak ifade eder (Smith ve diğerleri, 2006; Krajcik, McNeill & Reiser, 2008; Anderson, 2008). Öğrencilerin öğrenmesinin ayrıntılı bir tanımını sağlamak için, bazı araştırmacılar, öğrenme ilerlemesinin bir boyutundaki gelişimi detaylandıran her ilerleme değişkeni ile bir öğrenme ilerlemesinin birden çok ilerleme değişkenini tanımlanır (Wilson, 2009).

Yapılan tanımlar sonucunda ilerleme kelimesi; uzmanlık bilgisine ya da kavramsal anlayışları yaygınlaştıracak biçimde, düşüncenin gelişmişliğinde artan bir öğrenme dizisidir. Öğrenme ilerlemelerinin ortak özellikleri:

- Öğrenmenin nasıl geliştiğine dair araştırmaya dayandırılması,
- Tanımlanan öğrenme seviyelerinde artan öğrenme dizisi ima edilerek, çapanın uç seviyede olması,
- Öğrenmeyi göstermek için değerlendirmelere ihtiyaç duyulması,
- Tanımlanmış bir sürede meydana gelmesi,
- Farklı disiplin kaynaklarından öğeleri birbirine bağlayan alanlar veya “büyük fikirler” ile belirtilmiştir.

Bazı araştırmacılar için bu tanım, okul ya da sınıf ortamını içerdiği (Masters & Foster, 2006; Roseman ve diğerleri., 2006; Hess, 2008; Alonso & Steedle, 2008), diğerleri için ise içermediği görüşündedirler (Smith ve diğerleri, 2006; Duschl ve diğerleri, 2007; Merrit ve diğerleri, 2008; Mohan ve diğerleri, 2009).

Duncan ve Hmelo-Silver (2009), öğrenme ilerlemelerinin dört ana özelliğe sahip olduğuna işaret etmektedir:

- 1) Birkaç alanda fikir ve uygulamaya odaklanırlar.
- 2) Öğrencilerin ilerlemeye girdiklerinde ne bildiklerini ve neler yapabileceklerini açıklayan bir alt çapa ve neyi bilmeleri ve yapabilmeleri beklendiğini açıklayan bir üst çapa ile sınırlandırılırlar.
- 3) İki çapa arasındaki ara adımları temsil ederler.
- 4) Hedeflenen öğretim ile öğretim programı arasında bir köprü kurarlar.

Öğrenme ilerlemeleri, araştırmacıların görüşmelerde ve yazılı değerlendirmelerde öğrencilerin yanıtlarını yorumlamasına dayalı olarak geliştirilen bilişsel modellerdir. Öğrenci değerlendirmesi, öğretim programı, sınıf öğretim stratejileri, öğretmen mesleki gelişim materyalleri ve öğretmen bilgi ölçümleri dâhil olmak üzere koordineli bir bileşen setinin geliştirilmesi ve gözden geçirilmesine rehberlik etmek için kullanılmıştır. Öğrenme ilerlemeleri (örneğin öğrencilerin yeterliliği) öğretim programı, öğretim ve mesleki gelişim programlarını bilgilendirmek için kullanılmadan önce doğrulanmalıdır. Fen öğretimi için nicelleştirmenin önemi göz önüne alındığında, öğrencilerin bilimde nicelleştirmeyi ve

matematikselleştirmeyi aşamalı olarak nasıl öğrenebileceklerini incelemek çok önemlidir. Bu sorunu incelemek için öğrenme ilerlemesi yaklaşımı kullanılmaktadır.

“Parçalar halinde bilgi” görüşü, öğrencilerin fikirlerini zayıf bir şekilde bağlantılı bilgi parçaları olarak ele alır ve farklı bağlamlarda farklı fikirlerin harekete geçirilebileceğini iddia etmektedir (diSessa, 1993; Minstrell, 2000). “Teori olarak bilgi” görüşü, öğrencilerin fikirlerini tutarlı ve teoriye benzer olarak görür ve öğrencilerin olguları bağlamlar arasında açıklamak için saf teoriler kullandıklarını iddia etmektedir (Carey & Spelke, 1994; Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti, 2008). Öğrenme ilerlemeleri yaklaşımlarının başlatıcıları, çoğunlukla öğrenme ilerlemelerin geliştirilmesinde teori olarak bilgi bakış açısından fikirlerden yararlandılar (NRC, 2007; Smith ve diğerleri, 2006). Parçalar halinde bilgi ilkesinden gelen öğrenme ilerlemeleri araştırmasının önemli bir eleştirisi, öğrenme ilerlemelerin gelişimi doğrusal ve sıralı olarak sunma eğiliminde olmaları ve bu tür sunumların öğrenmenin dinamiklerini ve bağlamsal faktörlerini yakalayamamasıdır (Hammer & Sikorski, 2015).

Wilson ve meslektaşlarının yapmış oldukları araştırmalarda, fen bilimleri öğretim programı bir üniteyi öğrencilerin bilgi ve anlayışının gelişimini izlemek için bir değerlendirme yapmışlardır (Roberts, Wilson & Draney 1997; Wilson & Sloane 2001; Wilson 2005). Ancak, öğrencilerin çok daha uzun bir sürede öğrendiğini belirlemişlerdir. Smith ve meslektaşları (2006) ise ortaokuldaki öğrencilerin bir maddedeki tanecik modelini nasıl geliştirdiklerini öğrenme ilerlemesi ile açıklamışlardır.

Anderson (2008) fen öğretimi öğrenme ilerlemeleri için üç kriter önermiştir: kavramsal tutarlılık, mevcut araştırmalarla uyumluluk ve deneysel doğrulama. Kavramsal tutarlılık, başlangıçta öğrencilerin bir alanda nasıl geliştirebileceklerine dair anlaşılır ve makul mantıklı olması anlamına gelir. Mevcut araştırmalar genellikle belirli başarı düzeylerini geliştirmek için yeterli bilgi sağlamasa da, mevcut araştırmalarla uyumluluk, öğrencilerin öğrenmesine ilişkin mevcut bulguların üzerine inşa edilmesi gereken bir öğrenme ilerlemesi ihtiyacını ifade eder. Deneysel doğrulama, bir öğrenme ilerlemesinin gerçek öğrenciler hakkındaki deneysel verilere dayandırılması gerektiği anlamına gelir.

National Research Council (NRC) (2012), K-12 Fen Öğretimi İçin Bir Çerçeve’de fen öğretiminde öğrenme ilerlemelerinin rolünü şu şekilde özetlemektedir:

“Dünyanın bilimsel açıklamalarına ilişkin kapsamlı bir anlayış geliştirmek için, öğrencilerin temeldeki fikirlerle çalışmak ve bunları geliştirmek ve bu fikirlerin haftalar veya aylar yerine yıllarca süren bağlantılarını takdir etmek için sürekli fırsatlara ihtiyacı vardır. Bu gelişim duygusu, ilerlemeleri öğrenme fikrinde kavramsallaştırılmıştır. Bir bilim disiplinde bir ana fikre hâkim olmak nihai eğitim hedefi ise, o zaman iyi tasarlanmış öğrenme ilerlemeleri o hedefe ulaşmak için kullanılabilir yolların bir haritasını sağlar.” (NRC, 2012, s.203).

Bu tür yol haritaları, belirli bir alandaki bilgi yapısının incelenmesinin yanı sıra, öğrencilerin o alanda nasıl öğrendiklerine ilişkin araştırmalara da dayanmaktadır. Açıklanan herhangi bir öğrenme ilerlemesi, öğrencilerin bilim fikirlerini anlamaya doğru ilerlerken bireysel olarak izledikleri inanılmaz derecede karmaşık ilişkili fikirler ve yollar ağının bağlanmış bir versiyonu olması kaçınılmazdır. Ancak, öyle olsa bile, bu öğrenme ilerlemeleri, bilimi ayrı bilgi parçaları olarak kavramsallaştırmaktan uzaklaşarak ve odaklanmış bir dizi temel fikirdir (NRC, 2007). Öğrenme ilerlemeleri yaklaşımı, öğrencilerin fen okuryazarlığı yolunda ilerleme yolunda ilerlemelerine daha iyi yardımcı olmak için öğrencilerin nereden geldiklerine ve şu anda bilim anlayışının gelişiminde şu anda nerede olduklarına dikkat çekmektedir. Biçimlendirici değerlendirmelerle eşleştirildiğinde, öğrenme ilerlemeleri, öğretmenlerin anlayıştaki boşlukları teşhis etmek ve gelecek öğretim için yörüngelerin gelişimini bilgilendirmek için kullanabilecekleri güçlü araçlar haline gelmektedir (Heritage, 2008).

İlk olarak, fen bilgisi öğretimi karmaşık ve dinamikdir ve bu nedenle öğrenmenin parçalanmasını ve bağlamsallığını araştırmak anlamlıdır. Ayrıca, öğrenci öğretiminde ve gelişiminde belirgin eğilimler ve modeller vardır. Bu eğilimleri ve kalıpları yakalayan öğrenme ilerlemelerinin sınıf öğretimi için önemli etkileri vardır (Duncan & Rivet, 2013; Duschl ve diğerleri, 2011; Stevens, Gotwals, Jin & Barrett, 2015). Her iki bakış açısı da fen derslerine uygulanabilen bilişsel modeller geliştirmede güçlüdür, ancak ikisi de tek başına fen öğreniminin bir tanımını belirleyemez. Öğrenme ilerlemeleri, birçok farklı bilişsel model türünden yalnızca biridir. Hiçbir şekilde fen öğreniminin otoriter tasvirleri olarak görülmemelidirler.

İkinci olarak, öğrenme ilerlemesi araştırmasının sistematik bir incelemesinde, birçok araştırmacının öğrenme ilerlemeleri çeşitli başarı seviyeleri açısından sunduğu görülmüştür

(Jin, Mikeska, Hokayem & Mavronikolas, 2017; Hokayem, Hayat & Gotwals, 2016). Bu öğrenme ilerlemelerinde, her bir başarı seviyesi bir akıl yürütme modelini veya geniş bir kavramı tanımlanır. Birkaç araştırmacı, madde kavramı ile ilgili öğrenmenin dinamiklerini ve bağlamsal faktörlerini yakalamak için öğrenme ilerlemeleri geliştirmiştir (Johnson & Tymms, 2011; Stevens ve diğerleri, 2010). Johnson ve Tymms (2011) çalışmalarında öğrenme ilerlemesi, zorluk aralıkları ve kavramsal kategoriler açısından bir harita üzerinde düzenlenmiş bilgi parçalarıdır ve 52 fikir içermektedir. Örnek olarak, öğrencinin yanan bir mumla ilgili mantığını değerlendirecek olursak, üç fikir ortaya çıkar: Mumun kütlesi azalır, bir mum alevi su ve karbondioksit üretir. Bu bağlantıya özgü fikirler, farklı kavramsal kategorilere ayrılarak ve haritada farklı zorluk aralıklarına sahip olduğu görülmektedir. Geniş bir akıl yürütme modeli ile bağlantılı değildir. Kısaca, yukarıda bahsedilen örneğin gösterdiği gibi, birçok öğrenme ilerlemesi öğrenci düşünmesinin göze çarpan modellerine odaklandığını görülmesine rağmen, öğrenmenin parçalarını ve dinamiklerini yakalayan öğrenme ilerlemeleri bulunmaktadır.

Yazılı değerlendirmeler, büyük bir popülasyondan veri toplamada yararlı olsa ve nicel analizin temelini oluştursa da, öğrenciler tarafından sağlanan yazılı yanıtlar derinlemesine yorumlama için yeterli ayrıntı sağlamayabilir. Bu nedenle, sözlü görüşmeler genellikle doğrulamak için kullanılır. Sözlü görüşmelerde öğrencilere, yazılı bir öge veya görev üzerinde çalışırken ne düşündükleri hakkında yüksek sesle konuşmaları talimatı verilir. (Ericsson & Simon, 1980).

Öğrenme ilerlemeleri, öğrencilerin bilimde kavramsal yeterliliği geliştirmek için izleyebilecekleri öğrenme yollarını gösteren sıralı tanımlamalar dizisi olarak tanımlanır (Alonzo & Steedle, 2008). Örneğin, biyolojide, Mohan ve meslektaşları (2009), öğrencilerin karmaşık sosyo ekolojik sistemlerde karbon dönüşümü olaylarına (örneğin yanma, solunum) ilişkin algılarında artan karmaşıklık düzeylerini belirlemiştir. Bu sıralı açıklamalar, temel bilimsel fikirlerin öğrenilmesini yapılandırmak için araştırmaya dayalı bir çerçeveyi temsil eder (NRC, 2007; 2012). Öğretim programı ve öğretim etkinlikleri, öğrencinin akademik kariyeri boyunca fen kavramlarının neyi, nasıl ve ne zaman öğrenileceğini etkilemek için öğrenme ilerlemeleri ile eşleştirilebilir (Gotwals & Songer, 2010; Songer, Kelcey & Gotwals, 2009).

Bir öğrenme ilerlemesi, ilkokuldan liseye kadar öğrencilerin maddeyi ve enerjiyi karbon döngüsü ile ilgili konuları analiz etmek için kavramsal bir araç olarak nasıl kullandıklarını açıklamaktadır (Jin & Anderson, 2012a; Mohan ve diğerleri, 2009). İkinci bir öğrenme ilerlemesi olarak, orta öğretim öğrencilerinin ekosistemlerdeki organizmalar arasındaki karşılıklı bağımlı ilişkileri ve insanların bu etkileşimler üzerindeki etkilerini anlamalarına odaklanmıştır (Jin, Shin, Hokayem, Qureshi & Jenkins, 2017). Bu iki öğrenme ilerlemesi, karmaşık sosyo-ekolojik sistemleri anlamak için sistem düşüncesini kullanarak öğrenci gelişimini açıklamaktadır (Moore, Berkowitz, Covitt, Gunckel, Hartley, ... & Yestness, 2015; Moore & de Ruiter, 2012). Daha ayrıntılı olarak, ölçülebilir değişkenleri belirleyip kavramsallaştırarak ve değişkenler arasındaki ilişkiyi anlayarak konuyu analiz etme yeteneğini nicelendirmesidir.

Öğrenme ilerlemeleri, öğrencilerin bilimsel kavramlarda ustalaşmada muhtemelen belli bir süre boyunca izleyecekleri bilişsel yolları ve becerileri temsil eden öğretim programı ve öğretim etkinliklerini düzenlemek için sistematik bir yaklaşım sağlar (Alonso & Steedle, 2008; NRC, 2007). Öğrenme ilerlemeleri dizileri, bilişsel araştırmacıların deneysel araştırma bulgularından fen öğrenimi hakkında bildiklerine dayalı olarak yapılandırır (CPRE, 2009). Öğrenme ilerlemeleri üzerine araştırma, eğitim alanında hala biraz yenidir ve geliştirilmiş öğretme ve öğrenmenin kanıtını sağlamak için daha titiz bir şekilde yürütülen çalışmalara ihtiyaç vardır (CPRE, 2009). Bununla birlikte, fen eğitiminde öğretim programı ve öğretimi desteklemek için öğrenme ilerlemelerine olan ilginin artması, en son teknolojiyi iletirmekle ilgilenen birçok eğitimsel bilimsel alanda araştırmacıların sayısında kanıtlanmıştır (Alonso & Gotwals, 2012). Ayrıca, Yeni Nesil Bilim Standartlarının (NGSS) temelini oluşturan öğrenme ilerlemelerini test etme ihtiyacını kabul ederken, bu standartların bir öğrenme ilerleme pedagojisine dayandırılması, incelemeleri ve kullanımları için daha fazla destek sağlamaktadır.

Bir öğrenme ilerlemesinin başlangıç noktasına “alt çapa ya da alt dayanak” adı verilmiştir. Lacy, Tobin, Wiser ve Crissman (2014), ilkokul sınıflarında öğrenme ilerlemesi, değerlendirme amacıyla küçük çocukların yanılgıları da dâhil olmak üzere okula getirdiği tüm fikirleri hesaba katması gerektiği doğru olsa da, alt çapayı öğrencilerin ilkokul sonunda sahip olmaları beklenen doğru fikirlere odaklanmıştır.

Bir öğrenme ilerlemesi oluştururken, ilgili disiplin alanının mantıksal yapısını (yani, bazı fikirlerin zorunlu olarak diğerlerine bağlı olduğu gerçeği) ve ayrıca öğrencilerin öğrenimiyle ilgili mevcut araştırmaları dikkate alarak başlar. Bir kez ifade edildiğinde, varsayılmış ilerleme deneysel olarak doğrulanır. Doğrulama yaklaşımları, öğrencilerin öğrenebileceklerini belirlemek için sınıf müdahalelerini ve farklı seviyelerdeki öğrencilerin bildiklerinin mevcut durumunu gösteren kesitsel çalışmaları içerir (Duncan & Hmelo-Silver, 2009) .

Öğrenme ilerlemeleri araştırmasında genellikle birkaç doğrulama stratejisi kullanılır. Tasarım tabanlı araştırma yöntemi, yinelemeli döngülerde öğrenme ilerlemeleri revize etmek ve iyileştirmek için kullanılır (Anderson, de los Santos, Bodbyl, Covitt, Edwards, Hancock, ...& Welch, 2018; Breslyn, McGinnis, McDonald & Hestness, 2016). Öge Tepki Teorisi (IRT) analizi ve ilgili Wright Haritaları, öğrenme ilerleme seviyelerinin birbirinden farklı olup olmadığını ve doğru sırada olup olmadığını göstermek için kullanılır (Herrmann-Abell & DeBoer, 2018; Neumann, Viering, Boone & Fischer, 2013; Rivet & Kastens, 2012). Bazı çalışmalar, öğrenme ilerlemeleri hakkında yorumlayıcı bir argüman ve geçerlilik argümanı ifade etmektedir (Gotwals & Songer, 2013).

2.4.1 Öğrenme İlerlemelerinin Geliştirilmesi

Geliştirilmiş öğretim programı, öğretim ve değerlendirmelerin yanı sıra daha iyi öğrenci çıktılarına da yol açabilirler (Corcoran, Mosher ve Rogat, 2009). Bu öğrenme ilerlemesini oluşturmak için üç aşama oluşturulmuştur. İlk olarak, tarihin literatürüne ve bilim felsefesine dayalı nicelleştirme için varsayımsal bir öğrenme ilerlemesi geliştirilmiştir. İkinci olarak, Yeni Nesil Bilim Standartlarını (NGSS, 2013), K-12 eğitimiyle nasıl geliştiğine ilişkin varsayımlar analiz edilmiştir. NGSS’de açıklanan gelişimsel eğilimleri, miktar belirleme için varsayımsal öğrenme ilerlemesi ile karşılaştırılmıştır. Böylece, öğrenme ilerleme seviyelerini desteklediğine dair kanıt sağlamaktadır. Ancak aynı zamanda NGSS’de nicelleştirmenin tarif edilme biçiminde bir tutarsızlığa da işaret etmektedir. Üçüncüsü, öğrenme ilerleme seviyelerini göstermek için fizikte (enerji) ve yaşam bilimlerinde (ekosistemler) konu hakkında yazılı değerlendirme maddelerinden deneysel öğrenci verilerini kullanılmıştır. Miktar belirleme için bir öğrenme ilerlemesi oluşturarak, bu temel uygulamayı dâhil etmek ve öğretim programı geliştiricilerine ve öğrencileri sağlam bilimsel anlayışa yönlendirmekten sorumlu eğitime rehberlik etmek için gelecekteki standart geliştirme çabaları için zemin hazırlamaktadır.

Tüm öğrencilerin aynı yolu izleyen yeterlilikler geliştirmediğini ve öğrencilerin düşünmesine ve kavramı anlamasına bağlı olduğu kabul edilmesi gerekir. Öğrenciler, bir bağlamda gelişmiş şekillerde düşünebilir, ancak başka bir bağlamda düşünemeyebilirler ve ilerleme her zaman doğrusal olarak gerçekleşmeyebilir. Bu nedenle, bir öğrenme ilerlemesi geliştirmedeki amaç, kabul edilen bilimsel düşünceye benzerlik ve karmaşıklık derecesinde sıralanabilen nicelleştirmede kullanılan niteliksel olarak farklı akıl yürütme yollarını karakterize etmektir. Bu düzeyin belirlenmesi, öğretmenlere öğrenci fikirlerini tanımada rehberlik etmek, öğretim programı geliştiricilerine öğretim yaklaşımlarını belirlemede yardımcı olmak, standartlardaki sınıf grubu hedeflerini bildirmek ve öğrencilerin gidişatına ilişkin kural koyucu olmadan değerlendirme geliştirmek için kullanılabilir. İyi bir ilerleme, öğrencilerde haftalar, aylar ve hatta yıllar boyunca yavaş ve aşamalı olarak gerçekleşen anlamlı kavramsal değişimleri, zenginleştirme ve bütünleşme olarak tanımlanır (Jin, Mikeska, Hokayem & Mavronikolas, 2019). Öğrencilerin şu anda sahip olduğu anlayış türlerini bilmek, yalnızca belirli kavramla ilgili olarak öğrenmenin doğasını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda öğrencilerin diğer kavramı nasıl gördükleri ve öğrendiklerine dair bir mercek sağlayabilir.

Bilim tarihinde meydana gelen kavramsal değişimlere paralel olarak, öğrencilerin öğrenmesinde nicelendirme için bir öğrenme ilerlemesinin dört seviyesinin var olabileceğini varsayılmaktadır. Bu seviyeler:

Seviye 1. Bütünsel gözlem: Öğrenciler kavramı bir bütün olarak ele alırlar ve kavramın özelliklerini veya yönlerini tanımlamaz veya ayırt etmezler.

Seviye 2. Nitelikler: Öğrenciler bir kavramın özelliklerini günlük kavramları ışığında gözlem seviyesinde kalarak tanımlarlar. Bu düzeyde, öğrenciler bir kavramın niteliklerini ve özelliklerini belirler, ancak bunları ölçülebilir büyüklükler veya değişkenler olarak ölçmezler.

Seviye 3. Ölçülebilir Değişkenler: Öğrenciler bir kavramı ölçülebilir büyüklükler açısından analiz ederler ve miktar veya değişken sayısal değerler cinsinden ölçülebilir. Miktarlar arasındaki basit ilişkileri anlarlar, ancak karmaşık ilişkilerin bilimsel anlamını anlayamazlar Matematiksel kalıpları tanımlamak için gerekli olan tüm ilgili değişkenleri değil, bazılarını tanımlayabilirler. Bu seviyedeki öğrenciler, ilişkileri incelemelerine

yardımcı olmak için grafiklerin başlangıç anlayışını gösterirler. Grafikteki noktaların bilimsel anlamını anlarlar. Grafikteki matematiksel ilişkileri, kalıpları ve eğilimleri de belirleyebilirler. Ancak bu ilişkilerin, kalıpların ve eğilimlerin bilimsel anlamlarını bilememektedirler.

Seviye 4. İlişkisel Karmaşıklık: Öğrenciler farklı değişken türleri arasında ayırım yapar ve değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri bilimsel anlamları açısından anlar (örneğin, bileşik miktarları, değişim ve değişim oranı arasındaki ilişkiler, kapsamlı ve yoğun değişkenler arasındaki farklar, orantılı bir miktar ve bir miktarın karesi arasındaki ilişki). Ayrıca grafiklerdeki ilişkilerin, modellerin ve eğilimlerin bilimsel anlamlarına dair gelişmiş bir anlayış geliştirirler.

Mayes ve meslektaşlarının (2014) yaklaşımı ayrıntılar sağlarken, bu yaklaşım ile birlikte öğretmenlerin öğrencilerin öğrenmesini anlamaları için büyük bir resim sunmaktadır. Daha ayrıntılı bir biçimde, öğrenme ilerlemesinin çerçevesini (a) aşamalı olarak meydana gelen anlamlı kavramsal değişim kalıplarını yakalaması ve (b) öğretimsel olarak ilgili olması ancak aşırı derecede kısıtlayıcı olmaması amaçlanmıştır. Özellikle, ana hatlarını çizilen değişimler, öğrenme ilerlemesi boyunca gelişimi teşvik etmek için eğitici faaliyetler önermektedir. Seviyeler, öğretmenlerin öğrencilerin fikirlerini ve niceleme yaklaşımlarını tanıması ve bunlara uygun şekilde yanıt vermesi için güçlü bir kavramsal araç olmalıdır. Bu öğrenme ilerlemesinin bir diğer önemli özelliği, matematiksel düşünme ile bilimsel düşüncenin bütünleşmesidir. Tarihsel analizlerde gösterildiği gibi, bilim insanları matematiksel ilişkileri, kalıpları ve eğilimi bilimsel teorilere doğru kavramsallaştırmıştır. Bilginin ilerlemesinde matematikleştirmenin önemli bir rol oynamasına rağmen, bilimin tek önemli yönü olmadığını da belirtmek önemlidir.

2.4.2 Öğrenme İlerlemeleri için Yaklaşımlar

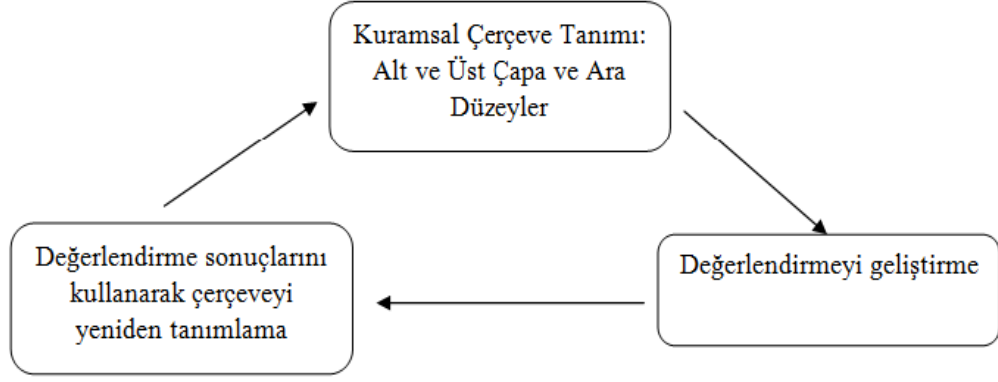
Öğrenme ilerlemeleri için önemli olan iki yaklaşım, onları oluşturma süreci veya çizilmiş aşamaların sunduğu özellikler nedeniyle tanımlanabilir. Bunlar, Artan Yaklaşım (Escalated Approach) ve Peyzaj Yaklaşımı (Landscape Approach) şeklinde belirtilmiştir (Salinas, 2009).

2.4.2.1 Artan Yaklaşım

Artan ya da tırmanan fikrini ileri seviyelere ilerletme veya yükseltme fikrini kullanır. Buna ek olarak, artış terimi, artan bir çatışmada olduğu gibi, yoğunluğun artmasına da işaret eder. Kavramsal değişim teorisinde, doğal bir olgu hakkında algılanan (bilinen) ile o olgunun bilimsel açıklaması arasında bir bilişsel tutarsızlık (çatışma) varsa, öğrenme tetiklenebilir (Driver, Asoko, Leach, Mortimer & Scott, 1994).

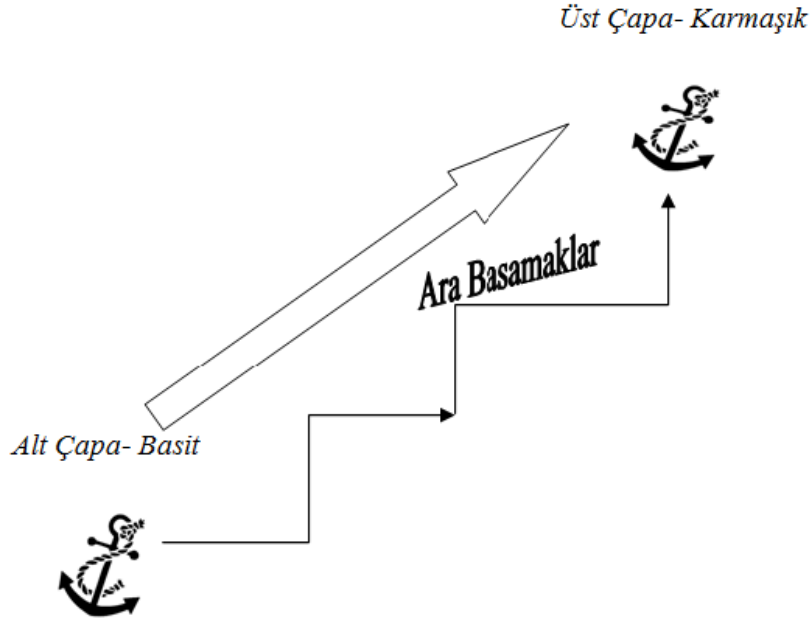
Öğrenme ilerlemelerinin geliştirilmesine yönelik artan yaklaşım, sekiz haftadan (Merritt, Krajcik & Schwartz, 2008) on bir yıla kadar (Mohan ve diğerleri, 2009) bu süre boyunca bir konuyla ilgili öğrencilerin anlayışlarının çoğunlukla doğrusal, tırmanan bir tanımını yapmaktadır. Bu, bir dizi seviyeye sahiptir ve adları *Alt* ve *Üst Çapalar* şeklindedir (Mohan ve diğerleri, 2009). Bu çapalar arasında bir veya daha fazla ara seviye vardır. Seviyeler arasındaki geçiş, öğrenme performanslarını açıklayan kanıtlara dayanır. Bu yaklaşımı kullanan öğrenme ilerlemelerinin tümü, dünyayı düşünmenin güçlü bir yolu olan bir ana alanı veya “Büyük Fikri” kapsar (Smith ve diğerleri, 2006). Artan yaklaşımın önemli bir özelliği, öğrencilerin fikirlerinin gelişimini izlemek için güçlü bir deneysel tabanın izlediği ilerlemeyi hipotez haline getiren ilk araştırma tabanlı bileşen olmasıdır.

Öğrenme ilerlemeleri için artan yaklaşımda, alt ve üst çapaları ile orta seviyeleri tanımlayan büyük bir fikir çerçevesinde belirtilir. Ardından öğrenme kanıtı toplamak için değerlendirme araçları geliştirilir. Değerlendirmelerden gelen veriler, öğrenme ilerlemelerinin ilk taslağını düzeltmek için kullanılır. Bu yinelemeli süreci, öğrencilerin standartlar dizisi göz önüne alınmadan öğrenmeyi bilgilendirmek için daha fazla yararlıdır, çünkü bir sınırlama amaçlamaktadır. Sonuç olarak, öğrencilerin öğrenme bağlamlarında ilerleme düzeyini nasıl sergilediği hakkında bilgi verecektir. Şekil 2.8 yinelenen süreci grafik olarak göstermektedir.



Şekil 2.8: Yinelemeli süreç, öğrenme ilerlemelerin artan yaklaşıma göre ilerlemeyi öğrenen öğrencilerin tanımlanması.

Bu yaklaşıma bakıldığında, gelişen bir süreç olduğu görülmektedir. Önce, Smith ve meslektaşları (2006) öğrenme ilerlemelerini kurmak için öğrencilerin öğrenmeyle ilgili mevcut araştırmaları kullanırken, sınırlamaları ve esnekliklerini de kabul etmişlerdir. İkinci olarak, Mohan ve meslektaşları (2008) öğrenme ilerlemelerini tasvir eden kanıtların ne olduğunu ortaya çıkarmak için kendi değerlendirme araçlarını kullanarak ilerlemiştir. Üçüncüsü, Merrit ve meslektaşları (2008) daha kısa sürede öğrenme ilerlemelerini bir öğretim deneyi bağlamında tasarlarken, Alonso ve Steedle (2008), artan yaklaşımı kullanarak öğrenme ilerlemelerinin yaratılmasına olanak tanıyan yinelemeli süreçle bağlantılı değerlendirmenin nasıl oluşturulacağı konusunda net ve açık bir örnek göstermiştir. Şekil 2.9’de ortaya çıkan yaklaşımın görsel bir sunumunu sağlamaktadır.



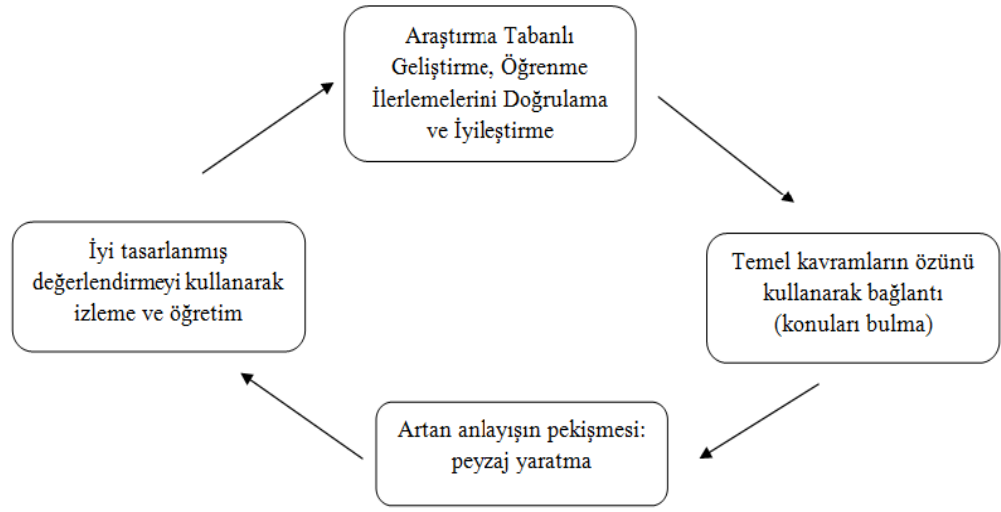
Şekil 2.9: Öğrenme ilerlemeleri artan yaklaşımın görsel sunumu.

2.4.2.2 Peyzaj Yaklaşım

Öğrenme ilerlemelerinin gelişimine yönelik bir başka yaklaşımı tanımlamak için, bir önceki bölümde artan yaklaşımda olduğu gibi “peyzaj” sözcüğü oluşturulmuştur. Bu terimin arkasındaki fikir, genel bir durumu şekillendirecek zengin ve bağlantılı bir dizi küme sağlamaktadır. Bu noktada, her iki yaklaşımın birbirinden ayrılmasının başlıca sebeplerinden biri, öğrenme ilerlemelerin üretilmesine yönelik süreçleri ve yol açtığı ürünün olması gerektiğini vurgulamasıdır.

Peyzaj yaklaşım, standartları kümelemek ve çekirdek kavramların tutarlı bir şekilde geliştirilmesini sağlayacak büyük fikirler etrafında organize edilen standartların veya toplumsal beklentilerin çerçevesini belirler. *Project 2061's Atlas of Science Literacy* (AAAS, 2006), peyzaj yaklaşımına uyan çalışmanın geliştirilmesi için bir merkez oluşturulmuştur. Artan yaklaşımdan farklı olarak, peyzaj yaklaşım, olguları, gözlemleri veya becerileri ilişkilendiren konuları tanımlayarak farklı içerik alanları arasında bağlantılar sunar. Bu konular, öğrencilerin daha yüksek seviyelere veya öğrenme seviyelerine ilerlemeleri için gerekli bağlantıları göstermektedir. Bu yaklaşım, ilerlemenin geliştirilmesi için güçlü bir analitik bileşene sahiptir ve yapılan araştırmalar, ilerlemenin nasıl geliştirileceğini ve bu yöndeki öğrenme ilerlemesini destekleyecek öğeleri tespit etmeyi amaçlamaktadır.

Hess (2008), değerlendirme bağlamında, öğrenme ilerlemelerinin birbiriyle ilişkili Kılavuz İlkelerine dayanan, öğrenme ilerlemeleri geliştirmek için aşağıdaki yinelemeli süreci önermiştir. İlk olarak, bilişsel, içeriğe özgü ve aksiyon araştırması üzerine bir literatür taraması yapılmalıdır. İkincisi, bağlantı parçalarını bularak içeriği ve süreçleri bağlamak, peyzajı ifade etmek olan üçüncü adıma gitmeyi sağlayacaktır. Dördüncüsü, farklı biçimlerde iyi geliştirilmiş biçimlendirici değerlendirme, öğrencilerin öğrenme ilerlemeyi anlamalarını, özümsemelerini veya doğrulamalarını izlemenize yardımcı olur. Şekil 2.10'da peyzaj yaklaşımının grafik gösterimi aşağıdaki gibidir.

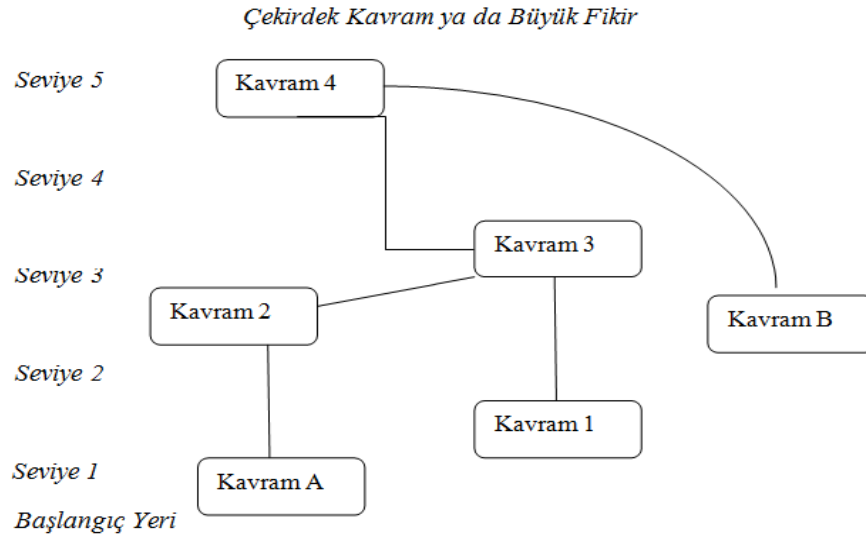


Şekil 2.10: Yinelemeli süreç, öğrenme ilerlemelerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve doğrulanması.

Peyzaj yaklaşımındaki bu yinelemeli süreç, artan yaklaşımdaki yaklaşımdan farklıdır çünkü faydası, öğrenme sırası veya önerilen ilerlemenin doğrulamasına daha çok önem vermektedir. Öğrenme ilerlemeleri öğretim ve değerlendirme amaçlı olarak öğrencilerin bilgilerini açıklamaktan çok kullanma fikrini vurgulamaktadır.

Özetlemek gerekirse, peyzaj yaklaşımı, öğrencilerin bilmeleri ve yönetmeleri gereken bilgi ve uygulamaları tanımlayarak öğrencilerin istenen bilgi seviyesindeki anlayışa ulaşmalarına yardımcı olacak destekleyici fikirleri tanımlayarak başlamaktadır. Bundan sonra, fikirler (içerik ve beceriler) ilerlemeyi temsil eden konuları kullanarak ilişkilendirilir. Elde edilen kanıtlar aslında ilerlemenin organizasyonunu desteklemek ve öğrencilerin ilerlemesini izlemek için toplanır. Peyzaj yaklaşımı, temel kavramların tutarlı bir şekilde geliştirilmesini sağlayacak büyük fikirler etrafında düzenlenen standartların

veya toplumsal beklentilerin çerçevesini korur. Farklı içerik alanları arasındaki bağlantı, olguları ilişkilendiren ya da daha yüksek seviyelere veya bantlara ilerlemek için gereken bir beceri setini temsil eden konular ilişkilendirilir. Öğrenme performansları; düzeyleri veya bantları tanımlamak için yaklaşımda çok önemli bir bölümdür. Şekil 2.11, öğrenme ilerlemeleri için peyzaj yaklaşımından kaynaklanabilecek olası ilerlemenin grafiksel gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.11: Öğrenme ilerlemeleri için peyzaj yaklaşımının görsel sunumu.

2.5 İlgili Çalışmalar

Nanobilim ve nanoteknoloji eğitimi, öğrenme ilerlemeleri ve nanobilim ve nanoteknoloji eğitimi ile ilgili öğrenme ilerlemelerine yönelik ulusal ve uluslararası çalışmalar üç kısımda incelenmiştir.

2.5.1 Nanobilim ve Nanoteknoloji Eğitimi ile İlgili Çalışmalar

Batt, Waldron ve Trauthmann (2004), 3.sınıf öğrencileri için hazırlanan ve özetleyici bir değerlendirme raporu hazırlayan “It’s a Nano World” bir uygulamalı müze ve uygulamalı gezici serginin etkilerini araştırmıştır. Serginin ana amacı, 5 yaşından 8 yaşına kadar olan çocukların ayı görmeleri ve çok küçük olan dünyayı öğrenmesiydi. Çocukların hangi içeriği kazandığını araştırmak için bir ön çalışma kullanmışlardır. New York’taki uygulamalı bilim müzesi olan Bilim merkezinde ve Florida’daki Innoventions Epcot’da iki bölümden oluşan bir özet değerlendirme gerçekleştirmiştir. Ziyaretçilerin, nano dünyasının eğlenceli ve ilgi çekici uygulamalı bir sergi olduğunu belirttiğini görmüştür. Ön test ve son

test bulguları; hücre, nano gibi temel bilim kelime dağarcığının anlaşılmasının arttığını göstermiştir.

Tretter, Jones ve Minogue (2006), doktora öğrencileri aracılığıyla 5.sınıftan gelen öğrencilerin nesnelere ölçeklerine göre kategoriler halinde nasıl düzenlediklerini araştırmışlardır. Genç yaşta öğrencilerin yaşça daha büyük öğrencilere kıyasla daha düşük doğruluk ve daha büyük farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir. Öğrencilerin nesnelere büyüklüklerine göre sıralamaları göreceli büyüklükleri düzenlemelerinden daha iyi bir sonuç ortaya çıkmıştır. Makro ve mikro arasındaki farkı bazı öğrencilerin anlamasında nesne büyüklüğünün ve görsel olarak algılama yeteneğinin bir engel oluşturduğu görülmüştür.

Light, Swarat, Park, Drane, Tevaarwerk ve Mason (2007) makalelerinde nano ölçek ile ilgili çalışmalar yapan öğrencilerin “büyüklük ve ölçek” kavramını anlama biçimlerini keşfetmeyi amaçlayan nitel bir çalışmanın bulgularını sunmuştur. Çalışma, Midwest Üniversitesi’nde mühendislik fakültesinde lisans öğrencileri ile iki grup halinde yapılmıştır. Bu derslerde nanobilim kavramlarına odaklanılırken, büyüklük ve ölçek ile yüzey alanı / hacim gibi fikirler ele alınmıştır. Sonuçlarda, öğrencilerin büyüklük ve ölçek kavramını anlamada büyük farklılıklar ve kavramı anlamada birçok öğrenci için sorun olduğu tespit edilmiştir.

Castellini ve meslektaşları (2007), nanoteknolojinin anlaşılmasına yönelik büyüklük ve ölçek kavramlarını da içeren yaklaşık 500 kişiden (7-91 yaş aralığında) oluşan bir anketi rapor etmiştir. Bu anketin sonucu olarak insanların makro ölçekteki nesnelere düzenlemeleri, gözle görülemeyecek kadar küçük nesnelere göre daha iyi olduğunu göstermektedir. Katılımcıların eğitim düzeyi arttıkça mikro ölçekteki nesnelere, atomlar ve atom altı parçacıkları hakkında bilgilerinin olduğu tespitinde bulunmuşlardır.

Jones ve meslektaşları (2007) ortaokul öğrencilerine yönelik yapmış olduğu çalışmada da gözle görülemeyen küçük nesnelere kısmında kavramsal güçlük bulunmuştur. Olası nedenler olarak küçük nesnelere görünmez doğasını üstel ifadedeki negatif sayı ve bu nesnelere için bilinmeyen ölçüm adlarından dolayı kaynaklandığı vurgulanmıştır.

Stevens ve meslektaşları (2007) yapmış oldukları çalışmada, orta ve lise öğrencilerinin nesnelerin büyüklüğündeki farklılıklarını nasıl daha büyük ve küçük olduğu konusunda kavramsallaştırmayı araştırmışlardır.

Daly, Hutchinson ve Bryan (2007) çalışmalarında NBT konusunda hangi konuların öğrencileri öğrenmeye teşvik edici olduğuna dair ilk ve ortaöğretimde kullanılmak üzere anket hazırlamıştır. Bu ankette elde edilen veriler; öğrencilerin cinsiyet, etnik köken gibi bazı değişkenlere göre incelemelerde bulunulmuştur.

Ak (2009), öğrencileri nano ölçekte kavramayı amaçlayan ve mühendislik ile toplum bağlantısını göz önünde bulundurarak “Lisede Nanoteknoloji Eğitiminin Uygulanması” adlı bir yüksek lisans tezi hazırlamıştır. Nanoteknolojinin ortaöğretim programına nasıl uyarlandığını göstermek için tarama yöntemini kullanmıştır. Lise öğrencilerine çalışma kâğıdı şeklinde yirmi bir etkinlik sunmuştur. Literatür araştırmaları sonucunda nanoteknolojinin üniversiteden lise düzeyine indirilmesini önermiştir.

Taylor ve Jones (2009) tarafından yapılan çalışmada, orantılı muhakeme yeteneği ile yüzey alanı / hacim ilişkilerini anlama arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır. Nedeni ise büyüklüğe bağlı özellikler üzerine yapılan çalışmalarda en yaygın tema, yüzey alanı ve hacim arasındaki ilişkidir, çünkü “yüzey alanı / hacim oranı” kavramı öğrencilerin büyüklüğe bağlı olanı anlamaları için bir ön koşul olarak tanımlanmış olmasıdır. 19 ortaokul öğrencisi ile çalışma yapılmıştır. “Yüzey alanı / hacim oranı” çalışması bir hafta boyunca öğrenciler üzerinde uygulanmıştır. Araştırma sonucunda araştırmacılar, aralarında önemli bir ilişki olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Ekli (2010), 6., 7. ve 8.sınıf ortaokul öğrencilerinin nanoteknoloji ile ilgili temel bilgi ve görüşlerini ve bazı değişkenler açısından teknolojiye yönelik tutumlarını incelemek amacıyla bir yüksek lisans tezi yapmıştır. Toplam 1396 öğrenci, 708 kız ve 688 erkek olmak üzere 23 devlet okulu ile veri toplamak için tutum ölçeği ve anket kullanmıştır. Öğrencilerin çoğunun teknolojiye ve nanoteknolojiye karşı olumlu tutumları olduğunu ve nanoteknoloji hakkında çok az bilgi sahibi olduklarını ve bu bilgileri çoğunlukla televizyon aracılığıyla elde ettiklerini görmüştür.

Swarat, Light, Park ve Drane (2010) çalışmalarında büyüklük ve ölçek konusu ile ilgili bilgi boşluğunu gidermek için, lisans nanobilim ve mühendislik dersleri bağlamında öğrencilerin “büyüklük ve ölçek” konusunu farklı şekillerde kavramalarını amaçlamıştır. Öğrenci anlayışının dört ana kategorisi (her biri içinde iki alt kategori ile) belirlenmiştir: Parçalı, doğrusal, orantılı ve logaritmik. Bu kavram kategorileri, betimleyen ve ayırt eden varyasyon yönleriyle birlikte bir tipolojide özetlenmiştir. Öğrencilerin anlayışını tanımlamak için bir tanı aracı olarak hizmet etmenin yanı sıra, bu tipoloji, öğrencilerin daha karmaşık bir “büyüklük ve ölçek” anlayışına doğru ilerlemelerini kolaylaştıran öğretimsel müdahalelerin geliştirilmesine rehberlik etmek için de kullanılabilceği görüşünde bulunulmuştur.

Knobel, Murriello, Bengtsson, Cascón ve Zysler (2010), çalışmalarında NBT'nin özünün anlaşılması için hem büyüklük ve ölçeğin esas alınması gerektiğini vurgulamıştır. Arjantin'de ve Brezilya'da çocukların ve gençlerin küçük ölçeği dikkate almakta zorlandıklarını ve maddenin oluşumu ile ilgili net bilimsel fikirlerinin olmadığını ortaya koymuştur. Sonuçlardan makroskobik yapıların büyüklüklerini tanımlamada zorluk çekilmediği görülmüştür. Katılımcıların önemli bir kısmı mikroskobik veya daha küçük büyüklükleri ayırt edemedikleri ortaya çıkmıştır. Ankete katılanlardan %60'ı nanobilim ve nanoteknoloji ifadelerini duyduklarını belirtmiştir. Bu katılımcılardan %31'i televizyonda veya sinemada, %18'i ise okulda bahsedildiğini dile getirmiştir.

Ekli ve Şahin (2010) Fen ve Teknoloji öğretmenleri ve öğretmen adayları ile yaptığı çalışmada, katılımcıların nanoteknolojinin risk algısı ve nanoteknoloji hakkındaki bilgi ve düşüncelerini dokuz maddeden oluşan nanoteknoloji anketi ile ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Katılımcıların birçoğu nanoteknoloji hakkında olumlu düşünceye sahip oldukları, daha çok çevrelerinden duyarak öğrendiklerini ve bilgilerinin yetersiz olduğu kanısına varılmıştır. Öğretmen ve öğretmen adaylarının nanoteknolojiye karşı tutumu olumlu olup, öğretim programında NBT ile ilgili konuların sunulması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca, potansiyel riskleri en aza azaltmaya yönelik alınacak gerekli tedbirler hakkında endişelerinin de olduğu tespit edilmiştir.

Hingant ve Albe (2010) fen eğitimindeki NBT konusu ile ilgili ortaokul ağırlıklı makaleler incelenerek alanyazın oluşturulmuştur. Yapılan alanyazın incelemesi sonucunda ortaokul eğitiminde nanobilimler ve nanoteknolojilerin tanıtımında genel bir açıklama sunulmuştur.

Nanobilim ve nanoteknoloji eğitimi konusunda araştırma eksikliğini işaret etmişlerdir. Ayrıca, nanobilim ve nanoteknoloji konusuna dair gelecek araştırmalar için öğretim programı geliştirme önerisinde bulunulmuştur.

Blonder (2010) kimya öğretmenlerinin nanobilim konusunu öğrenmeleri, onu anlamaları ve onu öğretmek için kendilerini daha iyi hissetmeleri gerektiğini vurguladığı çalışmasında, nanoteknoloji ile ilgili bir öğretim modeli sunmuştur. Araştırmasında kullandığı AFM öğretim modelinde, AFM'nin öğretmenler tarafından anlaşılmasının onları nasıl etkilediğini tartışmıştır ve bu modeli öğrencileri ile birlikte kullanırken ne hissettiklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Araştırma sonucunda, AFM öğretim modeli öğretmenlerin nanobilim konusunda bilgilerini geliştirdiği, nanobilimin kimya öğretimine karşı yönelik öğretmenlerin tutumlarını olumlu yönde etkilediğini tespit etmiştir.

Laherto (2010) makalesinde NBT'de algılanan eğitim ihtiyacına yanıt vermek için Eğitimsel Yeniden Yapılanma Modelini kullanan bir çalışmanın teorik bölümünü derlemiştir. NBT'nin eğitsel önemi, alan yazının iki alanını analiz ederek ve sentezleyerek incelemiştir. Bilimsel ve teknolojik okuryazarlığın kavramsallaştırılması ile nano ölçekli bilim ve teknolojinin doğası ve toplumsal etkileri üzerine çalışmalardır. NBT'nin çeşitli sosyal ve epistemolojik yönleri tanımlanmıştır. Böylece, bu alanları bilimsel ve teknolojik okuryazarlıkla alakalı hale getirmiştir. Genel olarak, fen eğitiminin; bilim, teknoloji ve toplumla ilgili önemli güncel konularda ilişkilendirmek ve bilimin doğası hakkında güncel görüşler sağlamak için NBT'yi bir konu olarak kullanabileceğini ileri sürmüştür.

Laherto (2011) NBT'nin ortaokul öğretim programına uygun olup olmadığını amaçladığı çalışmasında, Fen bilgisi öğretmenlerine hizmet içi eğitim kursu düzenlendikten sonra öğretmenlerin nanobilim ve nanoteknoloji konularının önemi ve öğretim programının dâhil olmasıyla ilgili açık uçlu sorularla kullanarak cevaplar irdelenmiştir. Analiz sonuçları, öğretmenlerin NBT konularının ortaokul öğretim programında olması gereken konular olduğunu, fakat öğretimin programının yenilenmesinde sorunlarla karşı karşıya kaldıklarını belirtmiştir.

Yurick (2011) doktora tezinde, nanoteknoloji ilköğretim öğrencilerinin bilim kavramsal anlayışında, bilime karşı tutumda ve toplumdaki bilim anlayışında web bağlantılı öğretimle Probleme Dayalı Öğrenmenin etkilerini araştırmıştır. Yaklaşık iki buçuk haftalık süre

içinde 46 beşinci sınıf ilkokul öğrencisi katılmıştır. Değerlendirme için ön test-son test ve görüşme kullanılmıştır. Öğrencilere bilime yönelik kavramsal anlayış ve bilime karşı tutum için bir ön test yönetilmiştir. Daha sonra mülakata yönelik olarak seçilmiş 6 kişiyle röportaj yapılmıştır. Bilim için kavramsal anlamının ve bilime yönelik tutumun önemli olduğunu göstermiştir. İki bağımsız değerlendirici, görüşme verilerini ve ortaya çıkan temaları kodlayıp analiz etti. “Risk ve Yararlar” ve “Sorunları Çözme” temaları, görüşülen öğrencilerin toplumdaki fen bilimlerdeki algıya verdikleri yanıtlardan ortaya çıkmıştır. “Riskler ve Yararlar” teması, öğrencilerin nanoteknolojinin toplum için risk ve yararlar getirdiğine dair olumlu bir algıya sahip olduğunu öne sürmüştür. “Sorunları Çözme” temaları ise, öğrencilerin nanoteknolojinin toplumun gereksinimleri tarafından yönetildiğine ve toplumun sorunlarını çözmek için kullanılabileceğine dair olumlu bir algıya sahip olduklarını göstermiştir. Sonuç olarak, nanoteknolojide web tabanlı eğitimin ile probleme dayalı öğrenmenin, bilimin kavramsal olarak anlaşılması, bilime yönelik tutum ve toplumun bilim algısı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, nanoteknoloji öğrenimi ilkokul öğrencilerinde başarılı olabileceği ve nanoteknoloji ilkokul düzeyinde fen öğretim programı çalışmalarına dâhil edilebileceği öngörüsünde bulunulmuştur.

Blonder ve Dinur (2012), lise öğrencilerine yönelik öğrenci merkezli nanoteknoloji programını sunan bir bildiri hazırlamışlardır. Öğrenci röportajı ve anket kullanarak öğrencilerin motivasyonunu ve algılarını değerlendirmişlerdir. Öğrencilerin LED, nanoteknoloji ve kimya hakkında daha fazla bilgi edinme motivasyonlarını arttırdığını keşfetmişlerdir. Bu çalışma sonucunda, lise düzeyinde nanoteknoloji gibi ileri bilimsel konuları öğretmenin önemli bir iş olduğunu göstermiştir.

Sockman, Ristvey ve Jones (2012)’un çalışmasında öğrencilerin (n=100) etkileşimli yüzeyler arasındaki kuvvetlerin dayanımını etkileyen faktörleri belirlemelerini sağlamak amaçlanmıştır. Araştırmacılar, öğrencilerin geckonun ayağının yüzeylerle nasıl etkileşime girdiğine ve etkileşen yüzeyler arasındaki kuvvetlerin kuvvetini etkileyen faktörlere ilişkin gözlem ve yorum yapmaları gereken NanoLeap adlı bir kurs geliştirmişlerdir. NanoLeap ünitesi için etkileşen yüzeyler arasındaki kuvvetlerin mukavemetini etkileyen faktörlerin belirlenmesi için hazırlanan etkinlikte öğrenciler, geckonun yüzeye yapışmasının altında yatan nedenlerin neler olduğuna dair kompozisyon yazmaları istenmiştir Yazılan bu

kompozisyonların değerlendirilmesi sonucu öğrencilerin en büyük yanlış anlamasının, elektriksel kuvvetlerin bilgisi ile ilgili olduğu tespit edilmiştir.

Bryan, Sedeberg, Daly, Sears ve Giordano'nun (2012) çalışmalarında öğretmenler, büyüklüğe bağlı özelliklerin değişikliğini çeşitli laboratuvar aktiviteleri (ferrofluid sentezi, altın biyosensör üretimi ve kuantum noktalarının sentezi) ile inceleme yapmak için 2 haftalık bir kursa katılmıştır. Araştırmada veri toplama araçları olarak kavramsal başarı testi ve kalıcılık testi uygulanmış ve ders planları incelenmiştir. Araştırma sonucunda öğretmenlerin ders planlarına ilişkin akademik başarılarının son test lehine arttığı ancak kalıcılık testi sonuçlarında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

Blonder ve Sakhini (2012), geniş bir öğretim yöntemi yelpazesi kullanarak 9.sınıfta bulunan 60 öğrenciye büyüklük ve ölçekte yüzey alanı / hacim oranı modülünü uygulamışlardır. Veri toplama aracı olarak kavramsal anlama testi, yapılandırılmış ikili görüşme formları ve öğrencilerin final proje sunum etkinlikleri kullanılmıştır. Bu çalışmada farklı öğretim yöntemlerinin kullanılmasının öğrencilerin anlayışını ve nanobilim ve nanoteknolojiye ilgilerinin arttırdığını göstermiştir.

Smidt (2012) araştırmasında, genel kimya sınıfına NBT'ye ilişkin bildikleri sorulduğunda, öğrencilerin hemen hemen yarısının nanoteknolojiyi hiç duymadıklarını belirtmişlerdir. Diğerleri ise, nanometre ve küçük boyut ile ilişkilendirdikleri görülmüştür. Öğrencilerin çok azı ise nanoteknolojiyi bilim kurgu film ve kitaplarla ilişkilendirdikleri görülmüştür.

2012 yılında Sagun-Gököz'ün yapmış olduğu doktora tezinde, bir Nanobilim ve Nanoteknoloji Atölyesi (NNA) geliştirerek öğrencilerin nanobilim ve nanoteknoloji konusu hakkındaki farkındalık değişimini ve nanobilim ve nanoteknoloji konusu ile ilgili kavramlar üzerindeki kavramsal değişimlerin araştırılabileceği bir etkinlik uygulaması amaçlamıştır. 11.sınıf öğrencileri ile yapılan etkinlikler öncesi, sırasında ve sonrasında ölçme araçlarının sonuçlarına göre atölye çalışmasına katılan öğrencilerin farkındalıkları ve nanobilim ve nanoteknoloji konusu hakkında kavramsal anlamalarında artış olduğu belirtilmiştir.

Ristvey ve Pacheco (2013), 21 lise öğretmenine, 2 haftalık kursta çeşitli örnekleri (mikroçip, Staphylococcus aureus, bir polimer ince film vb.) görüntülemek için mobil

AFM ve STM ile uygulamalı deneyimler sağlamıştır. Kursun yanı sıra nanobilim ve nanoteknoloji üzerine bir yıl süren pedagojik eğitim de verilmiştir. Ön testten son test değerlendirmelerine kadar ortalama puan %61'den %68'e yükseldiği görülmüştür. Araştırma sonucunda araştırmacılar, öğretmenlerin okul öğretim programında NBT kavramlarını başarıyla öğrendiklerini, NBT uygulamalarına ilişkin içerik bilgisi edindiklerini belirlemişlerdir.

Şahin ve Ekli (2013)'nin çalışmasında ortaokul öğrencilerine yönelik genel olarak nanobilim ve nanoteknoloji konusundaki farkındalık ve temel bilgileri bir anket aracılığı ile incelenmek istenmiştir. Öğrencilerin NBT hakkında bazı farkındalıklarının, çoğu öğrencide olumlu olduğu ve bu konu ile ilgili görüşlerinin olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda cinsiyet farklılığına göre anlamlı fark olmadığı fakat bazı demografik ve duyuşsal özellikler değişkenlerinde ve ders başarılarını etkilediği ortaya konmuştur.

Simonneaux, Panissal ve Brossais (2013) çalışmalarında lise öğrencilerinin nanoteknoloji ile ilgili risk algılarını belirlemek için tartışmalarda etkileşimlerini tespit etmiştir. Bu öğrenci tartışmalarında NBT'nin bireysel kullanımını içeren pozitif bir görüş ve NBT'nin kullanımını hakkında eleştirel ve hümanist bir görüş iki zıt eğilim olduğunu belirlemiştir.

Karataş ve Ülker (2014), çalışmasını kimya lisans ve kimya öğretmenliği programlarında öğrenim gören öğrencilerle gerçekleştirmiştir. Öğrencilere açık-uçlu sorular sorularak NBT konusu ile ilgili kavramları ve kimya ile ilgili bilgilerini NBT konuları ile bağlantı kurabilme düzeyleri araştırılmıştır. Kimya öğrencilerinin NBT konularını anlama düzeylerinin oldukça düşük olduğu ve kimya bilgilerini nanoteknoloji konularına yeterince transfer edemediklerini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, kimyada öğrenim gören lisans öğrencilerinin dahi çok fazla bilgisinin olmadığı ve eğitim sistemimizin hızla gelişmekte olan NBT alanına kendisini yeterince güncelleyemediği görülmüştür.

Ateş (2015) ortaöğretim kimya eğitiminde NBT'nin yerini araştırdığı tezinde, ortaöğretim Kimya Dersi Öğretim Programında ve Kimya ders kitaplarında öğrencilerinin nanobilim ve nanoteknoloji konusunda farkındalık düzeylerini Kimya dersi alan öğrencilerin cinsiyet, okul türü sınıf seviyesine göre anlamlı bir farklılık gösterdiği sonucuna ulaşmıştır. 12.sınıf öğrencilerinin farkındalık düzeyinin sırasıyla 10., 11. ve 9.sınıflarına göre daha yüksek

olduğunu tespit etmiştir. Bunun sebebi olarak öğrenci ve öğretmen görüşlerinin değerlendirilmesi ile Kimya ders programının incelenmesinde 12.sınıf kimya dersi öğretim programında NBT konularına yer verilmesi, 12.sınıf seviyesinin farkındalığının daha fazla olmasının sebebi olduğu düşünülmektedir. Öğrencilerin nanoteknolojiyi duymalarında medya en etkili araç olmuştur. Öğrencilerin nanoteknolojiye karşı merakı, öğrenme istekleri ve farkındalıkları, yapılan görüşmeler sonucunda ortaya çıkmıştır. Öğretim programındaki kazanımlar incelendiğinde özel olarak NBT'ye yönelik bir kazanım olmadığı belirtilmiştir.

Bryan, Magana ve Sederberg'in (2015) lisans öncesi öğrenci ve öğretmenlerin nano ölçekte bilim, mühendislik ve teknoloji eğitimine yönelik öğrenme verilerini ve analizini rapor eden 26 ampirik çalışmayı belirlemiş ve mevcut araştırma durumu belirlemek için bulguları sentezlemiştir. Bu çalışmalarda en çarpıcı büyük fikrin "büyüklük ve ölçek" olduğu kaydedilmiştir. Bunun nedenlerinden biri, büyüklük ve ölçeğin NBT öğrenmek için bir ön koşul olmasıdır. Diğerisi ise, NBT eğitimi üzerine çalışmak isteyenler tarafından diğer büyük fikirlerden daha kolay anlaşılabilmesidir. Büyüklük ve ölçek üzerine yapılan çalışmalar, özellikle bireylerin farklı kavramsallaştırmaları ve bu kavramsallaştırmaların yaşa, sınıfa, günlük deneyime, kültüre ve uzmanlığa göre nasıl değiştiğine bakılmıştır. Nano ölçekte bilim, mühendislik ve teknoloji eğitim öğrenim araştırmasına katılanların, üniversite öncesi öğretim programına uyarlaması nano ölçekte bilim, mühendislik ve teknolojinin daha geniş bir gündemi için temel oluşturmaya başladığı belirtilmiştir. Lisans öncesi düzeyde, öğrenciler ve öğretmenler, uygun öğretimsel müdahalelerde bulduklarında temel nano ölçekte bilim, mühendislik ve teknoloji kavramlarını ve uygulamalarını anlamalarını ve akılda tutmalarını artırabileceği görülmüştür. Tutarlı ve gelişimsel olarak uygun nano ölçekte bilim, mühendislik ve teknoloji içeriği ve uygulamalarının tasarımı önemli miktarda zaman ve çaba gerektireceği tespitinde bulunulmuştur.

Stravrou, Michailidi, Sgouros ve Dimitriadi (2015), çalışmalarında öğrencilerin büyüklük ve ölçek ile yüzey alanı / hacim ilişkileri hakkındaki anlayışı için muhakeme yeteneğinin gerekli olduğunu belirtmiştir. Öğrencilerin büyüklüğe bağlı özellikler hakkında hiçbir fikirlerinin olmadığı ve nesnelerin sabit özelliklere sahip olduklarına inandıkları görülmüştür. Öğrenciler özellikle mikro düzeyde büyüklükleri anlama ve karşılaştırmada zorluk çekmişlerdir. Bu durum nesnelerin günlük deneyiminin eksikliğinden ve

öğrencilerin çıplak gözle görülmeyen nesnelere mutlak ve göreceli büyüklüğünü anlamadaki zorluklarından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Yüzey alanı / hacim ilişkisinde orana odaklanmak yerine nesnelere küçüldükçe öğrenciler tarafından daha kolay anlaşılabilir yüzeyin artmasına önem verdikleri belirtilmiştir.

Akdeniz ve Benlikaya (2015), kimya öğretmen adaylarının büyüklüğe bağlı özellikler hakkındaki anlayışlarını incelemiştir. Bu çalışma 60 kimya öğretmeni adayı ile açık uçlu sorular içeren iki testi (A ve B) tek tek uygulanarak yapılmıştır. Öğretmenlerin en çok altın nano tanecik ve kuantum noktalarının renklerinin nedenlerini ve yarı iletken ile iletken arasındaki farkları açıklamakta zorlandıkları görülmüştür. Ayrıca, etkileşimlerdeki ve nano ölçekte yüzey alanındaki değişiklikleri hayal etmekle de mücadele etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara dayalı olarak öğretmen eğitimine yönelik konularla ilgili bazı alternatif fikirlerde bulunulmuştur.

Enil ve Köseoğlu (2016), 154 fen bilimleri öğretmen adaylarına yönelik nanoteknoloji farkındalığı, ilgi ve tutumlarının cinsiyet, yaş, mezun olduğu bölüm gibi değişkenler ile ilişkileri araştırılmıştır. Öğretmen adaylarının çoğunun nanoteknoloji hakkında bilgilerinin az olduğundan ve nanoteknoloji ile ilgili ilk bilgilerini daha çok TV programları aracılığı ile edindiklerine atfedilmiştir. Nanoteknoloji ile ilgili fen bilimleri öğretmenlerine dair ülkemizde yeterli sayıda araştırma bulunmadığı belirtilirken, bu konunun tanınmasına rağmen derinlemesine bir bilgi sahibi olmadıklarını, bu yüzden de Türkiye'deki üniversitelerde ve ortaöğretim kurumlarında detaylıca öğrencilere aktarılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ergün, Ocak ve Ergün (2017) fen bilimleri öğretmenlerinin nanoteknolojiye yönelik düşüncelerini araştırdığı nitel çalışmada, yedi adet açık uçlu sorudan oluşan görüşme formu kullanmıştır. Araştırmadan elde ettiği bulgulara göre, öğretmenlerin ancak yarısı nanoteknolojinin tanımını bilimsel bir yolla belirtebildiklerini açıklamıştır. Diğer bir yarısı ise nanoteknolojinin hayatımızın içerisinde çok fazla yer almadığını ve ihtiyaçtan çıktığını ifade etmişlerdir. Öğretmenlerin çoğunluğu nanoteknolojinin en fazla tekstil alanında kullanıldığını ve Türkiye'de nanoteknoloji ile ilgili çalışmaların olmadığını söylemiştir.

Akdeniz (2017) tez çalışmada, büyüklük ve ölçek, nano ölçekte büyüklüğe bağlı değişen özellikler ve yüzey alanı etkisi ve etkileşimler konularındaki kavramsal anlamayı

ölçen çoktan seçmeli bir test geliştirmek istemiştir. Bu çalışma sayesinde geliştirilen Nanobilim Kavramsal Anlama Testi toplam 32 madde içermektedir. Bu test maddelerinden 7 tanesi büyüklük ve ölçek kavramı, 7 tanesi yüzey alanı etkisi ve etkileşimler ve 18 tanesi de nano ölçekte büyüklük ile değişen özellikler ile ilgilidir. Çalışmanın sonucunda fen alanları öğretmen adaylarının nanobilimle ilgili kavramsal anlamalarını belirlemek için kullanılabilir geçerli ve güvenilir bir test geliştirilmiştir.

Laherto, Tirre, Parchmann, Kampschulte ve Schwarzer (2018) tarafından NBT araştırmalarının doğası ve iletişimindeki tercihleri hakkındaki görüşleri araştırılmıştır. Bu çalışma, bilim insanlarının eğitimdeki rolü olmak üzere, bilim iletişiminin araştırılması ve geliştirilmesi hakkında fikir vermektedir. NBT halkın ilgisini ve medyanın ilgisini arttırırken, anket sonuçları insanların alanlara ilişkin farkındalığının ve bilgisinin oldukça düşük bir düzeyde kaldığını göstermiştir. Ayrıca, NBT kamu iletişimde imgelerin ve görselleştirmenin önemini vurgulamışlardır.

Benlikaya, Kabaca, Yılmaz, Balcı, Korkusuz ve Erol (2018), büyüklük ve ölçek, yüzey alanı / hacim oranı (Etkinlik-1), mikroskoplar (Etkinlik-2), doğada nano yapılar (Etkinlik-3) ve nanoteknoloji uygulamaları (Etkinlik-4), orta öğretimde nanobilim öğretimi için yüksek öğretime temel oluşturmak üzere geliştirilmiştir. Bu etkinlikler 9., 10. ve 11.sınıflardan 11 ve 15 kişilik iki gruba üç saatlik periyotlarla uygulanmıştır. Bu etkinliklerin için ön test ve son test sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca etkinlik sonlarında verilen puanlama anahtarı ile öğrenciler tarafından değerlendirilmiştir. Her grubun son test ortalamalarında bir artış görülmüştür. Etkinlik değerlendirme sonuçlarına göre Etkinlik-3 ve Etkinlik-4 en yüksek puanlara sahipken, Etkinlik-1 en düşük puanı aldığı görülmüştür. Etkinliklerle ilgili yapılan öneriler, öğrencilerin dikkatini ve başarısını artırmanın önemini vurgulamıştır.

Erol (2020) tez çalışmasında, doğadaki mikro yapıların ve nano yapıların 3B baskılı modellerinin oluşturulması ve bu modellerin nanobilim kapsamında “Yüzey Özellikleri ve Etkileşimler” konusunun argümantasyon yöntemiyle öğretimde kullanılmasının lisans düzeyindeki öğrencilerin kavramsal anlamalarına etkisinin incelenmesi yapılmıştır. Çalışmanın örneklemini üniversitede “Nanobilim ve Nanoteknoloji” dersini seçen 29 öğrenci oluşturmuştur. Moleküller arası etkileşimler, büyüklük ve ölçek, lotus çiçeği, köpekbalığı ve gecko gibi doğadaki mikro yapılar ve nano yapılar üzerinden yüzey

özelliklerindeki değişim ve bu canlıların özellikleri konularını içeren etkinlikler, sekiz hafta süren bir öğretimle “kontrol”, “argümantasyon” ve “argümantasyon +3B Model” şeklinde adlandırılan gruplara uygulanmıştır. Veriler analiz edilerek testteki verilen yanıtlarla kavram yanılgılarını incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda yöntemlerin akademik başarıya katkıları arasında anlamlı farklılık olmadığı gözlemlenirken, ön test son test puan farklılığına ait ortalama değerler incelendiğinde, argümantasyon yöntemiyle gerçekleştirilen derslere katılan öğrencilerin ortalamasının diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Yavuz ve Bektaş (2020) çalışmalarında toplam 406 fen bilgisi ve sınıf öğretmeni adaylarına yönelik mikro ve nanoteknolojiyle ilgili dünyamızda yaşanan gelişmelerin farkında olup olmadıklarını, söz konusu teknolojileri ne düzeyde önemsediklerini sorgulayan geçerli ve güvenilir bir farkındalık ölçeğini geliştirmeyi amaçlamıştır.

İpek, Atik, Tan ve Erkoç (2020) çalışmalarında nanoteknolojideki gelişmeler dikkatleri nanoteknoloji eğitimine çekmiştir. Fen bilimleri (fizik, kimya ve biyoloji) öğretmenlerinin nanobilim ve nanoteknoloji konusundaki farkındalık, maruz kalma ve bilgi düzeylerini belirlemek amaçlanmıştır. Çalışma grubu ortaöğretimdeki öğretmenlerden (n=624) oluşturulmuştur. Veri analizlerinde betimsel yöntemler kullanılmıştır. Öğretmenlerin nanobilim ve nanoteknoloji ile ilgili farkındalık, maruz kalma ve bilgi düzeyleri arasındaki veya arasındaki farklar belirlenmiştir. Konu uzmanlığı ve eğitim düzeyleri açısından öğretmenlerin farkındalık, maruz kalma ve bilgi düzeylerinde anlamlı bir farklılık bulunmamış; ancak cinsiyet, kıdem, sınıf ve okul türü, hizmet içi eğitime katılım, bilimsel yayınları takip etme, belgesel izleme sıklığı ve okul yerleştirme değişkenlerinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Genel olarak öğretmenlerin nanobilim ve nanoteknoloji farkındalık, maruz kalma ve bilgi düzeyleri “nötr” düzeydedir. Bu çalışma, fen bilimleri öğretmenlerinin nanobilim ve nanoteknoloji konusunda daha fazla eğitim almaları, farkındalık ve bilgi düzeylerini arttırmaları ve bu konuyu öğretmeye hazırlıklı olmalarını sağlamaları gerektiğini göstermektedir.

Köse (2021), Bilim ve Sanat Merkezi’nde eğitim gören üstün yetenekli çocukların nanoteknoloji konusundaki bilgi ve farkındalıklarını belirlemek için betimsel tarama modeli kullanmıştır. 2018-2019 eğitim öğretim yılında Antalya ilinde bulunan iki Bilim ve Sanat Merkezinde eğitim gören 5., 6., 7. ve 8.sınıf öğrencilerinden toplam 160 öğrenci

çalışmaya dâhil edilmiştir. Araştırmada üstün yetenekli öğrencilerin nanoteknoloji bilgi düzeylerinin öğrencilerin cinsiyet, sınıf düzeyi, bilgi kaynağı, anne-baba eğitim düzeyi ve meslek değişkenlerine göre farklılaşıp farklılaşmadığını test edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre öğrencilerin nanoteknoloji bilgi ve farkındalıklarının cinsiyet değişkeni açısından anlamlı bir farklılık yaratmazken, sınıf düzeyi arttıkça bilgi ve farkındalık düzeylerinin de arttığı belirlenmiştir. Ayrıca velilerin eğitim düzeyi arttıkça öğrencilerin nanoteknoloji konusundaki bilgilerinin arttığı ve ebeveynleri mühendis veya doktor olan öğrencilerin bilgi ve farkındalıklarının diğer öğrencilere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

A. Radwan, W. Radwan ve E. Radwan (2021) okul öğrencileri arasında NBT ile ilgili mevcut bilgi ve tutum düzeylerinin yanı sıra çeşitli sosyo demografik özelliklerin etkilerini değerlendirdiği çalışmada, 7., 8. ve 9. sınıflarda öğrenim gören toplam 420 öğrenci katılmıştır. Sonuçlar, öğrencilerin NBT hakkında genel olarak iyimser bir bakış açısına ve tutuma sahip olmasına rağmen, güvenliği ve potansiyel riskleri hakkında hala endişelerin olduğunu göstermiştir. Öğrenciler, NBT ve uygulamalarının yanı sıra nano materyal içeren ürünlerin etiketlenmesi hakkında daha fazla bilgilendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Özellikle, NBT'ye yönelik farkındalığın ve tutumun yaştan etkilenmediği tespit edilmiştir. Notları iyi olan öğrencilerin bu konuda genel olarak daha eğitilmiş olmalarına rağmen, çeşitli eğitim seviyelerindeki öğrenciler arasında NBT'ye yönelik tutumlarda önemli farklılıklar olmadığı görülmüştür. Sonuçlar, kız öğrencilerin NBT'ye karşı daha olumlu bir tutuma sahip olduklarını ve NBT sorularında erkek öğrencilere göre biraz daha yüksek puan aldıklarını göstermiştir.

Şenocak, Özdemir, Yılmaz, Tayhan ve McNally (2021) çalışmalarında, lise öğrencilerinin temel NBT konu ve kavramlarına ilişkin farkındalıklarını ve akademik bilgilerini geliştirmek için geliştirilmiş bir eğitim programının ön uygulamasından elde edilen verileri tartışmaktadır. Ortaöğretim 10. sınıf öğrencileri teorik ve pratik bölümden oluşan üç günlük bir eğitim programına katılmışlardır. Programın etkililiği ön ve son testler yardımıyla test edilmiştir. Eğitim programından önce katılımcıların çok sınırlı akademik bilgiye ve temel NBT kavramlarına ilişkin farkındalığa sahip olduklarını göstermektedir. Eğitim programı değerlendirme formu ve kapalı uçlu görüşme tekniği kullanılmıştır. Eğitim programının ardından öğrencilerin hem akademik bilgilerinde hem de temel NBT kavramlarına yönelik

farkındalıklarında önemli bir gelişme gözlemlendiği görülmüştür. Çalışmada ayrıca katılımcıların programın uygulanmasına ilişkin görüşlerini de ortaya çıkarmıştır.

Yıldırım (2021) makalesinde, yurt içi ve yurt dışındaki alan yazın incelenerek NBT eğitim çalışmalarında kullanılan kavramlar/konular tematik olarak analiz edilmiş ve yapılan etkinlikler derlenip toparlanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda NBT eğitiminde en fazla kullanılan kelime kavram veya konular: Büyüklük ve ölçek, büyüklüğe bağlı özellikler, nano duyarlı aletlerin yapısı, nanoteknolojik uygulamalar, nano materyaller ve nano teknolojide etik. Bu konuların veya kavramların öğrenilmesine yönelik olarak farklı deneysel etkinlikler, modelleme çalışmaları, video ve görsel araçlar, bilim merkezi gezisi ve tartışma etkinlikleri yapıldığı görülmüştür.

Sigov, Gladyshev ve Yurasov (2022), Rus Teknoloji Üniversitesi'nde İleri Teknolojiler ve Endüstriyel Programlama Enstitüsü Nano Elektronik Bölümü (MIREA) nano elektronik ve nanoteknoloji alanında yüksek nitelikli uzmanların eğitimi için bir fikir geliştirmeyi amaçlamıştır. Nano endüstri alanındaki eğitimin üç temel bileşenini belirtmiştir: Gelecek vadeden yeni fiziksel etkilerin araştırılması, yeni ileri malzemelerin araştırılması ve sentezi ile ilgili materyal bilimi, bilişim (çeşitli nano-endüstri unsurlarını ve materyallerini modellemek için modern yazılım paketleri ve programlama dilleri). Nano endüstrideki eğitimin üç temel bileşeninin tümü, Nano-elektronik Bölümü'ndeki bilimsel laboratuvarlar ve merkezlerin birleştirilmesiyle etkin bir şekilde uygulanmıştır. Nano Elektronik Bölümü'nden mezun olduktan sonra, mezunlar Rusya'daki önde gelen bilimsel enstitüler ve teknik kuruluşlar için çalışabileceği, komşu ülkelerde ve diğer ülkelerde uzmanlaşmış kuruluşlarda staj yapabileceği, önde gelen üniversitelerde ders verebileceği belirtilmiştir.

Lukishova ve Bigelow (2022) çalışmalarında Optik Enstitüsü ve Nano sistemler Merkezi kaynaklarına dayalı olarak, Rochester Üniversitesi'nde nanobilim ve nano mühendislik alanında bir lisans eğitim programı tanımlamışlardır. Bu projenin üç ana sonucu vardır: Birincisi, bir öğretim programı geliştirmek ve Nanobilim ve Nano Mühendislik Sertifikası (CNSNE) sunmaktır. İkincisi, yerel Monroe Toplum Koleji'nin (MCC) katılımıyla, son teknoloji ürünü, pahalı deneysel tesislere sahip bir üniversite ile yakındaki iki yıllık bir koleji arasında nanoteknolojide örnek bir işbirliği modeli yaratmaktır. Üçüncüsü ise nanofotonik / kuantum nanofotonik, öğrenme materyalleri ve pedagojik yöntemler hakkında evrensel olarak erişilebilir “uygulamalı” deneyler (mini laboratuvarlar)

geliştirmektir ve bu bazı Optik Enstitüsü sınıflarında birinci sınıftan üst düzeylere kadar tanıtılması planlanmıştır. Burada açıklanan mini laboratuvarlar küçük kolejlerde kullanılabilir olması önemlidir. Bu projenin önemli bir sonucu, 41 CNSNE sertifika sahibinin yaklaşık %50'sinin mezun olduktan sonra kariyerlerine nanobilim ve nano mühendislik alanında devam edilmesi istenmektedir. CNSNE programı için, Rochester Üniversitesi öğrencileri Nano metroloji Laboratuvarı (bu program için özel olarak oluşturulmuş yeni bir ders) ile birlikte iki seçmeli dersi almak zorunda olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, öğrenciler nanobilim ve nano mühendislik alanlarında bir dönemlik bir araştırma veya tasarım projesi yürütmesi gerekmektedir. Toplam 52 MCC öğrencisi (fen bilimleri, teknoloji, mühendislik ve matematik programı öğrencileri dâhil) Rochester Üniversitesi'nde atomik kuvvet mikroskobu ve fotolitografi üzerine iki laboratuvara katılmıştır. Öğretim yöntemi olarak, öğrencilerin öğrenmelerinin ilerlemesi ve öğrencilerin NBT alanındaki kariyerlerini seçmeye yönelik tutum ve özyeterlikleri araştırılmış ve analiz edilmiştir.

Kottegoda, Silva, Alwis, Perera ve Koneswaran (2022) lise düzeyinde nanoteknolojinin yenilikçi ve etkileşimli öğretimi ve öğrenimi için bir NBT eğitim model kitinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu tasarımın temel amacı, teorik bilgileri gerçek yaşam durumlarına uyarlamak için ilgi uyandırarak yeni çalışma alanını öğrencilere kolayca aktarmaktır ve öğretmenleri arasında dağıtmak için model kitini çoğaltmaktır. Bu taşınabilir model kiti, nano ölçeği anlamak ve görselleştirmek için bulmacalar ve oyunlar, hazır kimyasallarla basit nano malzemelerin sentezi, nano ölçekli özellikleri anlamak için deneyler, doğadaki nanoteknolojik etkileri tanımlamaya yönelik etkinlikler gibi çeşitli etkileşimli etkinlikler içermektedir. Bu model kitini hem öğretmenlere hem de lise öğrencilerine tanıtmak ve alıştırmak için Sri Lanka Ulusal Bilim Vakfı'nın himayesinde çeşitli çalıştaylar yapılmıştır. Bu model kitinin üretim maliyeti düşük olduğundan, düşük gelirli ülkelerde bile dünyanın her yerindeki öğretmenler tarafından kullanılabilceği belirtilmiştir. Bu etkileşimli NBT model setinin geliştirilmesi, yalnızca lise öğretmenleri için değil, aynı zamanda ilgili öğrenciler için de yeni öğrenme fırsatları açmıştır.

Ead, Elsherif, Hassan ve Salah (2022) Kahire Üniversitesi'nde disiplinler arası farkındalık girişiminin mezunlara yönelik çevrimiçi bir anket gerçekleştirdiği çalışmalarında, halkın genelinin NBT'ye yönelik mevcut bilgi düzeylerini ve tutumlarını değerlendirmek ve farklı sosyo-demografik faktörlerin (örneğin, yaş, cinsiyet ve eğitim geçmişi açısından) bunu

nasıl etkileyebileceğini belirlemek istemişlerdir. Daha önceki çalışmalara dayanılarak hazırlanmış ve farklı fakültelerden ve kademelerden seçilen Kahire Üniversitesi'nden örneklem (n=343) dikkate alınmıştır. Halkın NBT'ye karşı genel olarak iyimser bir görüş ve olumlu bir tutum sergilerken, güvenliği ve olası riskleri konusunda endişeler olduğunu bulunmuştur. Farklı eğitim geçmişlerinden gelen katılımcıların arasında NBT'ye karşı tutumda önemli farklılıklar olmadığı görülmüştür.

2.5.2 Öğrenme İlerlemeleri ile İlgili Çalışmalar

Liu ve McKeough (2005), üç gruba ayırarak oluşan öğrencilerden (3. ve 4.sınıflar, 7. ve 8.sınıflar ve 12.sınıflar) TIMSS veritabanındaki 27 çoktan seçmeli ve kısa cevaplı maddeye verilen yanıtları kullanmıştır. Bu araştırmaların her biri, öğrencilerin enerji anlayışının dört kavramsal kategoride ilerlediği sonucuna varmıştır. Birincisi, öğrenciler enerjiyi etkinlik veya iş yapma yeteneği olarak algılamışlardır. Öğrencilerin anlayışları arttıkça, farklı enerji kaynaklarını ve enerji biçimlerini ayırt etmeye başlamıştır. Daha sonra enerji transferi anlayışı ve ardından enerji bozulması konusunda bir farkındalık oluşmuştur. Son olarak, ilerlemenin üst seviyesinde öğrenciler, son derece soyut olan enerjinin korunumu fikrini kabul etmişlerdir.

Smith ve meslektaşları (2006) mevcut ulusal standartları detaylandırmak ve sınıf değerlendirmelerini geliştirmek için çocukların muhakeme ve öğrenme üzerine araştırmaları kullanmanın yollarını önermiştir. Öğrenme ilerlemelerinin değerlendirmelerini geliştirmek için çocukların öğrenmesi üzerine araştırmaları kullanmanın yararlı olabileceğini öne sürmüşlerdir. Bu tür öğrenme ilerlemeleri, bir disiplinin temel kavramları ve ilkeleri (büyük fikirleri) etrafında düzenlenmesi ve bu büyük fikirlerin detaylandırılması, birbiriyle olan ilişkisi ve öğretimle dönüşümünün nasıl olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, bu büyük fikirleri, öğrencilerin onları anlamlı şekillerde kullanmalarına izin veren belirli uygulamalarda nasıl canlandırıldığını ve tanımladığını öğrenme ilerlemeleri olarak belirtmiştir. Böylece öğrenme ilerlemeleri, fen öğrenimi araştırmacıları ve ölçme- değerlendirme uzmanları arasında süregelen diyalog için bir temel sağlayabileceği ve fen öğrenimi araştırmalarını kaynak olarak kullanan öğretmenlere, öğretim programı geliştiricilere ve öğrencilere daha fazla anlam kazandıracak değerlendirmelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Önemli bir bilimsel konu olan madde ve atomik-moleküler teori için bir öğrenme ilerlemesi geliştirilerek ve bunu

örnek öğrenme ilerlemeleri ve değerlendirme öğeleri oluşturmak için argümanlar kullanılmıştır.

Salinas (2009) makalesinde, öğrenme İlerlemeleri ile ilgili bir alanyazın incelemesi sunmuştur. Öğrenme ilerlemelerine yönelik iki yaklaşım tanımlanmış, adlandırılmış ve sunulmuştur: Artan yaklaşım ve peyzaj yaklaşımı. İlk yaklaşım, uç noktaları alt çapa ve üst çapa olan ve ilerlemenin tasvirinde güçlü bir deneye dayalı bileşene sahip olan seviyeler açısından bir ilerleme inşa etmektedir. İkinci yaklaşım ise, ilerlemeyi tanımlamak ve inşa etmek için daha güçlü bir analitik bileşene sahiptir, ilerlemenin unsurları arasındaki bağlantıları seviyelere ve dizilere göre sunarken, öğrenme konusundaki ilerleme analizini doğrulamak için esas olarak önceki araştırmalara dayanmaktadır. Her bir yaklaşımın benzerlikleri, ana özellikleri ve belirlenen temel gerekçeleri tartışılmaktadır. Yaklaşımları temsil eden araştırma parçaları kısaca örnek olarak gösterilmiştir. Ayrıca yaklaşımlar arasındaki farklılıkların öğrenme ilerlemesi araştırmasını nasıl etkileyebileceği, öğrenme ilerlemelerini kullanmanın avantajları ve dezavantajları ve gelecekteki olası etkileri hakkında bir tartışma olarak sunulmaktadır.

Plummer, Flarend, Palma, Rubin ve Botzer (2013) çalışmalarında, büyük Güneş Sistemi oluşumu fikri etrafında astronomi için bir öğrenme ilerlemesi tanımlama sürecini açıklamıştır. Öğrenme sürecinin en karmaşık seviyesindeki öğrenciler, gezegenlerin dönen bir gaz ve toz bulutunun çökmesinden dolayı oluştuğunu göz önünde bulundurarak oluşum sürecinin mevcut Güneş Sistemine nasıl yol açtığını açıklayabilmektedir. Öğrenci ilerlemesini anlamaya yönelik bu ilk adımda, ortaokul, lise ve üniversite öğrencileriyle (n=44) görüşülmüş ve onlardan mevcut Güneş Sisteminin özelliklerini açıklamalarını ve Güneş Sisteminin nasıl oluştuğunu açıklamaları istenmiştir. Bulguların, öğrenme ilerlemesi içindeki potansiyel karmaşıklık seviyelerini ortaya koyarken, aynı zamanda ilerlemeye engel olabilecek ortak alternatif kavramları veya sınırlı anlayış alanlarını ortaya çıkarmıştır. Birçok öğrencinin Güneş Sistemi konusunu anlayışı, açıklamalarında yerçekimi hakkındaki alternatif fikirler ile sınırlı kalmıştır. Çok az öğrenci bilimsel düzeyde bir açıklamaya yaklaşmıştır, ancak yanıtları uygun öğretimle üzerine inşa edilebilecek olası basamakları ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, çalışmada Güneş Sistemi astronomisi konusundaki kritik eksikliklere işaret edilmiştir.

Duit (2014), klasik bir eğitim ortamında öğrenci performansının gösterdiği gibi bu fikirlerin zorluk derecesinin ilerlemesini test edilmiştir. Fikirlerin artan zorluğunu, fikirlerin öğrenilme sırasının bir göstergesi olarak kullanılmıştır. Çalışma, önerilen öğrenme ilerlemesindeki enerji fikirleri genelinde 359 çoktan seçmeli değerlendirme ögesindeki öğrenci puanlarına dayanılmıştır. Bu çalışma, genel olarak enerji kavramını oluşturduğu düşünülen dört geniş enerji fikri kategorisinin öğrenilme sırasını test etmiştir: Enerji Formları ve Dönüşümleri, Enerji Transferi, Enerjinin Yayılması ve Bozulması ve Enerji Tasarrufu. Daha sonra, öğrencilerin bu kategorilerin her birinde ve artan kavramsal karmaşıklığın üç seviyesinde daha ayrıntılı fikirleri anlamadaki gelişimini incelemiştir.

Mesutoğlu (2017) doktora tezinde, mühendislik eğitimi konusunda öğretmenlerin tutumlarını ve kavrayışlarını ölçmek ve izlemek için dizayn-temelli yöntem ile öğrenme ilerlemeleri geliştirmeyi amaçlamıştır. Veri toplama süreci bilişsel ve klinik görüşmeler, açık uçlu sorular ve çalışma kapsamında geliştirilen ölçek ile gerçekleşmiştir. Veri analiz döngüleri sonucunda öğrenme ilerlemelerinin üç farklı versiyonu ortaya konmuş ve incelenen alanyazın ile birlikte tartışılmıştır.

Yoon, Goh ve Yang (2019) 8.sınıftan 12.sınıfa kadar fen eğitiminde öğrenme deneyimlerine rehberlik edebilecek öğretim programı içeriğini geliştirme açısından çıkarımlar yapmayı amaçlamıştır. Yeni Nesil Bilim Standartlarının (NGSS) gelişimsel bir süreklilik boyunca öğretme ve öğrenmeye rehberlik eden öğrenme yolları çağrısına uygun olarak karmaşık sistemler hakkında düzenli bir şekilde öğrenmeye yönelik sistematik bir yaklaşımı benimsenmiştir. Öğrencilerin karmaşık sistemler hakkında ne bildikleri üzerine yakın zamanda yapılan araştırmalar, öğrencilerin doğrusal olmama, karmaşık nedensellik ve merkezi olmayan kontrol gibi belirli sistem fikirlerini anlamada tipik olarak zorluklar yaşadıklarını belirtmiştir. Öğrenme ilerlemeleri araştırmasının, karmaşık sistemleri anlama yetkinliğine giden bir öğrenme yolunu belirlemek için kavramsal bir çerçeve sağlayabileceği önerilmiştir. Bir ilerleme geliştirmenin ilk adımı olarak, bir madde yanıt teorisi modeli kullanarak öğrencilerin yazılı yanıtlarını analiz ederek, en basitinden en zoruna kadar bir dizi karmaşık sistem fikrini dile getirmiştir. Sonuçlar, anlaşılması en kolay fikirlerin, sistemler içindeki seviyeler ve sistemlerin birbirine bağlı doğası ile ilgili olan fikirler olduğunu göstermektedir. Kavranması en zor fikirler ise, sistemin merkezi olmayan ve etkileri öngörülemeyen veya belirlenemez doğası ile ilgili olanlar olduğu tespitinde bulunulmuştur.

Jin, van Rijn, Moore, Bauer, Pressler ve Yestness (2019) makalelerinde, fen öğrenme ilerlemelerinin geliştirilmesi ve kullanımına ilişkin araştırmalar için bir doğrulama çerçevesi sağlamıştır. Çerçeve, öğrenme ilerlemeleri araştırmasının beş aşamasında (geliştirme, puanlama, genelleme, ekstrapolasyon ve kullanım) yorumlayıcı bir argüman ve bir geçerlilik argümanı oluşturmak için çeşitli kaynaklardan elde edilen kanıtların nasıl kullanılabileceğini açıklamaktadır. Yorumlama argümanı, yorumlamayı (öğrenme ilerlemelerine dayalı olarak öğrencilerin yeterliliği hakkında oluşturulan sonuçları) ve öğrenme ilerlemelerinin kullanımını içermektedir. Geçerlilik argümanı, çeşitli kaynaklardan elde edilen kanıtların öğrenme ilerlemelerinin yorumlanmasını ve kullanımını nasıl desteklediğini belirtmektedir. Önceki ve mevcut araştırmalarındaki örnekler, beş aşamanın her birinde gerçekleştirilebilecek doğrulama faaliyetlerini ve analizlerini göstermek için kullanılmıştır. Bir öğrenme ilerlemeleri çalışması yürütürken, araştırmacılar kendi özel araştırmalarında teorik olarak gerekli ve pratik olarak uygulanabileceğini bir veya birden fazla doğrulama faaliyeti veya analizi kullanabileceğini belirtmiştir.

Jin ve meslektaşları (2019), geçtiğimiz on yılda birçok öğrenme ilerlemesi geliştirilmiş olmasına rağmen, öğretim ve öğretmen öğrenimi için öğrenme ilerlemelerinin kullanımını araştırmak için nispeten daha az çalışma yapıldığını bulmuştur. Öğrenme ilerlemesi araştırmasının amacı sınıflarda öğretme ve öğrenmeyi teşvik etmek olduğundan, öğretmenlerin öğrenme ilerlemelerini öğrenmesini ve kullanımını araştırmak için daha fazla araştırma çabasına ihtiyaç olduğu tespitinde bulunmuştur. Öğrenme ilerlemelerinin, öğrencilerin temel bir kavram, beceri veya süreci anlamalarındaki öğretimsel olarak ilgili kalıpları belirledikleri göz önüne alındığında, öğretmenlerin öğretim için içerik bilgilerinin geliştirilmesini veya derinleştirilmesini desteklemek için kullanılabileceği belirtilmiştir. Miktar belirleme (Kantifikasyon) öğrenme ilerlemesinin gelişim düzeylerinin anlaşılması, bir öğretmenin bilimsel bilgiyi derinlemesine anlamasına ve ortak öğrenci tepkilerini tahmin etmesine yardımcı olacağı sonucuna varılmıştır.

Taşkın ve Özgür (2019) fen eğitiminde öğrenme ilerlemeleri ile ilgili olan bu inceleme çalışması konuyla ilgili araştırma ve geliştirme hızla ilerlerken yurtiçinde alanyazın eksikliği, erişilebilir kaynakları artırmayı ve daha fazla araştırmacının dikkatini çekmeyi amaçlamıştır. Öğrenme ilerlemelerinin tanımı, genel özellikleri, potansiyel kullanım

alanları, öğrenme ilerlemelerinin geliştirilmesi, geçerliliği ve öğrenme ilerlemelerinin değerlendirmeler ile ilişkisine yönelik incelemelere yer verilmiştir.

Hui, Delgado, Bauera, Wyliea, Cisterna ve Llord (2019) bilimde nicelleştirme için varsayımsal bir öğrenme ilerlemesi yaratmaya yönelik makalelerinde ilk olarak, nicelme yeterliliğini tanımlamak ve öğrenme ilerlemesinin varsayımsal seviyelerini geliştirmek için bilim tarihi ve felsefesinden yararlanmışlardır. Ayrıntılı olarak, nicelme yeterliliği; ilgili ölçülebilir değişkenleri olgulardan ve gözlemlerden soyutlayarak, değişkenler arasındaki matematiksel ilişkileri araştırarak ve matematiksel ilişkileri açıklayan bilimsel fikirleri kavramsallaştırarak olguları analiz yapma yeteneğini ifade etmektedir. Niceliksel öğrenme ilerlemesi, artan karmaşıklığın dört seviyesini içerir: Bütünsel gözlem (Seviye 1); nitelikler (Seviye 2); ölçülebilir değişkenler (Seviye 3); ilişkisel karmaşıklık (Seviye 4). İkinci olarak, Yeni Nesil Bilim Standartlarındaki uygulamaları, K-12 eğitimi yoluyla nicelemenin nasıl geliştiği hakkındaki güncel, örtük varsayımlar için analiz edilmiştir. Birkaç kanıt, öğrenme ilerlemesini desteklerken, nicelemenin uygulamalar arasında tutarsız bir şekilde tanımlandığı görülmüştür. Üçüncüsü, nicelleştirme için varsayımsal öğrenme ilerlemesindeki seviyelerle uyumlu öğrenci düşüncesindeki nitel farklılıkları göstermek için fizik ve doğa bilimlerindeki öğelerin bir alan testinden elde edilen deneysel öğrenci verilerini kullanılmıştır. Nicelme için varsayımsal bir öğrenme ilerlemesi oluşturarak, bu temel uygulamayı dâhil etmek ve öğrencilerin sağlam bilimsel anlayış geliştirmelerine yardımcı olmak için öğretim program geliştiricileri ve öğretmenler için rehberlik sağlamak için gelecekteki standart geliştirme çabalarının temelini oluşturması düşünülmüştür.

He, Shin, Li ve Krajcik (2020) çalışmasında, ortaokul öğrencilerinin enerji alanındaki fen yeterliliklerini haritalamak için bir öğrenme ilerlemesi ve ilgili değerlendirmeler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Öğrenme ilerlemesinin tasarım ve geliştirme süreçlerini ve ilgili değerlendirme görevlerini göstermektedir. Öğrenme ilerlemenin bilişsel geçerliliğini ve değerlendirme görevlerini desteklemek için uzman incelemesini nasıl kullanıldığı tartışılmıştır. Makalenin tamamında, öğretimle ilgili öğrenme ilerlemeyi ve değerlendirmeleri doğrulamak için geçerliliğin çoklu bileşenleri (bilişsel, öğretimsel ve çıkarımsal geçerlilik), uzman incelemesi ve öğrenci bilişsel çalışmalarının verilerinin toplanması ve analiz edilmesi ve küçük ölçekli örneklem örnekleri ile yürütülmesi planlanmıştır.

Macaya (2020) çalışmasında, fizik ve fen bilgisi öğretmenlerinin biçimlendirici değerlendirme uygulamalarında öğrencilerin öğrenme ilerlemelerinin değerlendirilmesine dayalı bir fizik modülü geliştirmeyi amaçlamıştır. Veri toplamak için 11.sınıf öğrencileri ve ortaokul fen bilgisi öğretmenleri, modülün tasarımı ve geliştirilmesi için fen bilgisi öğretmenleri, modülün uygulanması için 11.sınıf öğrencileri ve fen bilgisi öğretmenlerinden oluşturulmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında iki araç seti kullanılmıştır: Fizikte Öğrenme İlerleme Testi (LPTP) ve Biçimlendirici Değerlendirme Uygulamaları Kontrol Listesi (FAPC). Sonuçlar, 11.sınıf öğrencilerinin bir nesnenin hareketinin ses hızını nasıl etkilediğini anlama, bırakma açısı ile merminin yüksekliği ve aralığı arasındaki ilişkiyi araştırma, akım arasındaki ilişkiyi çıkarsama becerilerinde uzmanlaşmadığını ortaya koymuştur. Bu arada, fen bilgisi öğretmenlerinin biçimlendirici değerlendirme stratejileri ise sınıf tartışması, problem çözme, gözlem, dereceli puanlama anahtarı, Venn şeması, çoktan seçmeli ve öz/akran değerlendirmeleridir. Fen bilgisi öğretmenleri, öğrencilerin öğrenmesi hakkında kanıt elde etmek ve öğretme ve öğrenme öğretimini değiştirmek veya ayarlamak için bu biçimlendirici değerlendirmelerin sonuçlarını kullanmıştır. İkinci aşamada, araştırmacı, belirlenen en az hâkim olan yeterliliklere ve fen bilgisi öğretmenlerinin biçimlendirici değerlendirme uygulamalarına dayalı olarak fizikte bir öğretim modülü tasarlamıştır. Modülün geliştirilmesi, ortaöğretim ve yükseköğretim fizik öğretmenlerinin katıldığı bir çalıştay aracılığıyla yapılmıştır. Modülün nihai taslağının uygulanması pilot testleri ile yapılmıştır. Genel olarak, geliştirilen modül öğretmenler tarafından hedefler, içerik, etkinlikler, değerlendirme, tasarım ve sunum açısından mükemmel olarak derecelendirilmiştir. Öğretmenlerin ve öğrencilerin modülü değerlendirmesi, hedeflerin belirli bir konuya, seviyeye ve öğrencilerin ihtiyaçlarına uygun olduğunu ve açık ve basit olduğunu ortaya koymaktadır. Modülün içeriği iyi, kolay anlaşılır, açık ve iyi organize edilmiştir. Etkinlikler, öğrenciler bağlamında ilgi çekici, eğlenceli, kendi kendini motive edici ve öğrencilerin bilgi, beceri ve dersi anlamalarına yardımcı olmuştur. Değerlendirmeler, öğrencileri eleştirel düşünmeye zorlamıştır. Bu nedenle, öğretim modülü, öğrencilerin fizikteki öğrenme ilerlemesindeki boşlukları kapatmak için öğretmenler için destek öğretim materyali olarak geliştirilmiştir. Bu sonuçlarla öğrencilerin, onları daha derin öğrenmeye ve bilgiyi uygulamaya en iyi şekilde taşıyacak günlük öğretim etkinliklerine katılmaları önerilmiştir. Ayrıca geliştirilen modül, öğrencilerin fizik derslerinde fikirlerin, kavramların ve becerilerin aşamalı olarak ustalaşmasına yönelik ek materyal olarak kullanılabilmesi öngörülmüştür.

Kinoshita ve Utani (2021), öğrenme ilerlemesini öğretime dâhil etmenin Japon ortaokul öğrencilerinin fen kavramlarını sistematik olarak anlamalarına yardımcı olup olmayacağını incelemiştir. Öğrenme ilerlemeleri kavramını içeren bir öğretim planı geliştirilmiştir. Daha sonra, Japonya’da (Hiroşima Eyaleti) bir devlet ortaokulunun 3.sınıftan 36 öğrencisi için “İyonlar ve Atomlar” ünitesinden bir ders yapılmıştır. Daha sonra derste kullanılan portfolyolar ve ders sonrası değerlendirme soruları incelenmiştir. Sonuçlar, bazı öğrencilerin öğrenme ilerlemelerinin belirttiği sınıf düzeyinde kavramları sistematik olarak anladıklarını göstermektedir; ancak, bazı öğrencilerin anlamadıkları görülmüştür. Öğretmenler, hedef ünitedeki uygun öğretim yöntemlerini incelemesi ve öğrencilerin öğrendikleri şeyle meşgul olmalarını sağlamak için öğretimi içermesi gerekmektedir. Öğrenciler ise, öğrenme ilerlemelere dayalı olarak hedef ünite ile ilgili alt düzey kavramları anlamalı ve anlama düzeyi yetersizse, öğretmenler kavramları gözden geçirmek ve yeniden oluşturmak için zaman ayırması önerilmiştir.

2.5.3 Nanobilim ve Nanoteknoloji Eğitiminde Öğrenme İlerlemeleri ile İlgili Çalışmalar

Batt ve meslektaşları (2008), sıralama ve göreceli ölçek arasındaki ilişkiyi yansıtmak için bir ölçek geliştirmiştir. Bu, kavramsal anlayışı açıklamaya yönelik bir adımdır. Kavramsal anlayışın nasıl betimlendiğini ve öğrenme ilerlemesinin alt ve üst çapalarına nelerin dahil edilmesi gerektiğini açıklamıştır.

Delgado (2009) doktora tezinde, büyüklük ve ölçek konusunun, bilimin uygulanmasında ve öğrenilmesinde önemli olduğunu belirtmiştir. Önceki araştırmalar, büyüklük ve ölçekle ilgili olarak öğrenciler için birçok zorluk veya bilgi eksikliği alanını göstermekte olduğunu tespit etmiştir. Bu nedenle, büyüklük ve ölçek için geliştirilmiş öğretim programı, ölçme ve değerlendirmeye ihtiyaç olduğunu ve büyüklük ve ölçek gibi “büyük fikirler” etrafında düzenlenen öğrenme ilerlemeleri, ölçme ve değerlendirmenin ilkeli gelişimine ve hizalanmasına rehberlik edebileceğini söylemiştir. Bu çalışmada, atom ve hücre gibi önemli bilimsel nesnelerin büyüklüğü hakkındaki bilginin doğruluğunu, büyüklük ve ölçeğin dört yönü olan büyüklüğe göre sıralama ve büyüklüğe göre gruplama, referans gösterilen nesneye göre büyüklüğü tahmin etme ve mutlak büyüklüğü tahmin etme aracılığıyla değerlendirilmiştir. Büyüklük ve ölçeğin bu dört yönünün, öğrencilerin çeşitli şekillerde bağlamsallaştırmalarına ve saklamalarına yardımcı olarak nesnelerin büyüklüğü hakkındaki bilgileri akılda tutmayı kolaylaştırılabileceği belirtilmiştir. Araştırmanın evreni,

düşük ve orta düzeydeki sosyo- ekonomik portföye sahip devlet okullarından ve özel okullarından 6.sınıf ila 11.sınıfa kadar toplam 96 öğrenci ve bir üniversiteden 5 lisans öğrenci oluşturmuştur. Öğrencilerin büyüklük ve ölçek yönleri arasındaki tutarlılığı daha önce değerlendirilmiş ve tahmin edilebilir bir ilerleme içinde geliştiği bulunmuştur. Büyüklük ve ölçeğe ilişkin kavramsal anlayışın gelişimini tanımlayan bir öğrenme ilerlemesi oluşturmak için öğrencilerin nesnelere büyüklüğü ile ilgili içerik bilgilerinin doğruluğu, tutarlılık düzeyleriyle eşleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları olarak mikrometre, nanometre gibi milimetreden daha küçük ölçü birimlerini öğrenmenin, öğrencilerin mikroskobik altı dünyayı öğrenmesi için güçlü araçlar olduğunu göstermiştir.

Stevens, Delgado ve Krajcik (2010), öğrenme ilerlemenin yönlerini test etmek için maddenin yapısı, özellikleri ve davranışına ilişkin kavramsal anlayışlarını ölçmek için ortaokul, lise, lisans gibi çeşitli düzeylerde öğrencilerle görüşmeler yapmıştır. Öğrencilerin, taneciklerin atom olduğu bağlantısını kurana kadar katıları oluşturan taneciklerin özellikleri hakkında sağlam fikirlere sahip olmadıklarını bulmuşlardır.

2.6 Büyüklük ve Ölçek Konusu için Öğrenme İlerlemeleri

Fen bilimlerini öğrenmede büyüklük ve ölçek kavramları önemlidir. Ölçek, ekolojide (Levin, 1992) temel bir kavramsal sorun olan ve “modern bilim dünyasının en önemli geçitlerinden biri” (Hawkins, 1978) “her fiziksel kuramın özlü yönü” olarak adlandırılmıştır (Bazant, 2002). Bilim, bilginin üretilmesi için bir süreçtir. Bu süreç, hem olguların dikkatli gözlemlerini yapmaya hem de bu gözlemlerden anlam çıkarmak için teorileri icat etmeye dayanır (Rutherford & Ahlgren, 1990). Bu yüzden, hem teoride hem de gözlemlerde, büyüklük ve ölçek önemlidir.

Bilim ve matematik alanındaki ABD standartları belgeleri, fen ve matematiğe hâkim olan ve disiplinler, konular ve sınıflar arasında öğrenci öğrenimini birleştirmek için dünyayı anlamalarına yardımcı olan araçlar kullanılarak ölçek veya ilgili ölçüm kavramını tanımlar. (Amerikan Bilim İlerleme Derneği [AAAS], 1993; Ulusal Araştırma Konseyi [NRC], 1996). Böylece, büyüklük ve ölçek, bilimdeki birçok geleneksel içerik alanında temel kavramsal araçlardır. Bilim ve teknolojinin yeni alanları ortaya çıktıkça, fen eğitimi ve öğretim programı materyalleri de buna göre değişmelidir. Bu yeni alanlardan biri de nano ölçekli bilim ve teknolojidir (Gilbert, De Jong, Justi, Treagust ve Van Driel, 2002). Nano

ölçekli çalışılan nesnelerin büyüklüğü bir metrenin 100 milyarda biri (1-100 nm) tarafından tanımlanır. Bu ölçekte nesnelere, alışık olduğumuz toplu (makro düzeydeki) materyallerden ve daha küçük atomik boyutlu nesnelere farklı davranır. Nano ölçekli nesnelerin büyük ölçüde artan yüzey alanı / hacim oranı - büyüklüğe bağlı miktar - bu nesnelerin ilginç özelliklerinin ve davranışlarının birçoğundan sorumludur. Nano ölçek bilimi ve mühendisliği ile ilgili herhangi bir inceleme için önkoşul olan bir büyüklük ve ölçek öncelikli bir konu olarak belirtilmiştir (Waldron, Sheppard, Spencer ve Batt, 2005).

Öğrenme ilerlemeleri, öğretmeyi düşünen umut verici bir yaklaşımdır, çünkü öğrenmenin uzun vadeli yönlerini dikkate alır ve öğrencilerin zamanla daha fazla nasıl bağlantı kurduklarına dikkat ederler.

Öğrencilere bu süreçte yardımcı olabilecek öğretim stratejileri ve ilerlemeyi ölçmek için değerlendirmeler içermektedir. Bir öğrenmenin ilerlemesi, yalnızca uzmanların içerik odaklı bir mantıksal sırayı belirlemesi tarafından yönlendirilemez, çünkü uzmanların öğrenci olarak karşılaştıkları kavramsal zorlukları ve bu zorlukları unutmuş olmaları olasıdır (Bransford, Brown & Cocking, 1999). Öğrenme ilerlemeleri, mümkün olduğunca öğrencilerin öğrenmesi üzerine araştırmalara dayanmalıdır (Smith ve diğerleri, 2006) ve “gerçek öğrenciler tarafından gözlemlenen gerçek performansları” içermelidir (Anderson, 2008, s.4).

Son olarak, öğrenme ilerlemeleri “büyük fikirler” etrafında düzenlenmelidir (Smith ve diğerleri, 2006). Büyüklük ve ölçek de dahil olmak üzere fen eğitimindeki büyük fikirlere odaklanmak, özellikle öğretim tabanlı araştırmanın bir öğrenme ilerlemesi tarafından yönlendiriliyorsa, bilginin parça parça aktarılmasına yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

3. YÖNTEM

Bu bölümde, araştırma modeli, örnekleme, veri toplama araçları ve verilerin çözümlenmesinde kullanılan yöntemlere yer verilmiştir.

3.1 Araştırma Modeli

Bu çalışmanın araştırma deseni, nicel araştırma desenlerinden kesitsel tarama araştırmasıdır. Mevcut koşulları betimlemek için tasarlanan araştırmalara betimsel veya tarama araştırmaları denir. Bu tür araştırmalar, konunun veya çalışma konusunun mevcut durumu hakkındaki soruları cevaplamak için veri toplamayı içerir (Gay & Airasian, 2000). Kesitsel tarama araştırması, tek bir zaman diliminde (katılımcılardan veri toplamak ne kadar sürerse sürsün) seçilen bireylerden veri toplanmasını içerir. Kesitsel tarama araştırması, tek başına bağımsız bir çalışmadır (Gay & Airasian, 2000). Bryman (2001)'e göre kesitsel tarama araştırmasının birden fazla durum, zamanın tek bir noktasında veri toplama, nicel veya ölçülebilir veriler ve değişkenler arası ilişkiler gibi bazı temel öğeleri vardır. Bu çalışmada bu temel öğelere nasıl yer verildiği aşağıda genel hatlarıyla açıklanmaktadır.

Kesitsel tarama deseninde farklılıklar ortaya çıkarılabilir. Bu farklılık insanlara, ailelere, organizasyonlara, ulus devletlere veya her ne ise ona göre olabilir. Farklılık ancak birden fazla durum incelenirken belirlenebilir (Bryman, 2001). Bu çalışmada seçilen örneklem, ortaöğretim ve üniversite düzeyinde farklı sınıf seviyelerinde okuyan öğrencilerden oluşmaktadır; ayrıca üniversite düzeyindeki öğrenciler bir fakültenin farklı bölümlerinden gelmektedir.

Kesitsel desen araştırmasında, ilgilenilen değişkenlere ilişkin veriler aşağı yukarı eş zamanlı olarak toplanır (Bryman, 2001). Bu çalışmada kullanılan veri toplama araçlarından iki tanesi aynı anda uygulanırken üçüncüsü de bir ay sonra uygulanmıştır. Bu üç ölçme aracı ile veri toplama zamanına yakın bir zamanda da ortaöğretim ve üniversite düzeyindeki kimya, fizik ve biyoloji dersleri öğretim programları da incelenmiştir.

Durumlar arasındaki farklılıkları tespit etmek için (ve ardından değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek için), farklılıkları ölçecek sistematik ve standart bir yöntemle sahip olmak gerekir. Nicel veri elde etmenin en önemli avantajlarından biri, araştırmacıya tutarlı

bir kıyaslama sağlamasıdır. Bu çalışmada incelenen kavramın (büyüklük ve ölçek) farklı boyutlarını içeren ölçme (veri toplama) araçları kullanılmıştır. Bu şekilde, farklı öğretim düzeylerinde ve sınıf seviyelerinde öğrenim gören öğrenciler arasındaki farklılıklar nicelleştirilebilmiş (frekans ve yüzde gibi betimleyici istatistikler kullanarak) ve karşılaştırılmıştır.

Bryman (2001)'e göre kesitsel bir desende sadece değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek mümkündür. Değişkenler için zaman sıralaması yoktur, çünkü onlarla ilgili veriler aşağı yukarı eş zamanlı olarak toplanır ve araştırmacı değişkenlerin hiçbirini manipüle etmez. Ancak bu desende, değişkenler arasında nedensel bir ilişki ortaya koymak oldukça güçtür (Bryman, 2001). Bu çalışmada da, ortaöğretim ve üniversite düzeyindeki öğretim programları incelenmiş ve elde edilen bilgiler üç veri aracından elde edilen verilerle ilişkilendirilmiştir; ancak bu değişkenler arasında (program içeriği ve öğrencilerin boyut ve ölçek kavramına dair bilgileri) neden sonuç ilişkisi aranmamıştır, mevcut durum betimlenmiştir. Bu üç ölçme aracı ile veri toplama zamanına yakın bir zamanda da ortaöğretim ve üniversite düzeyindeki kimya, fizik ve biyoloji dersleri öğretim programları da incelenmiştir.

Programlar incelenirken içerik analizi kullanılmıştır. İçerik analizi, belgelerin ve metinlerin (basılı veya görsel olabilir) içeriklerini önceden belirlenmiş kategorilere göre sistematik ve tekrarlanabilir bir şekilde ölçmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Çeşitli birbirinden farklı ortamlara uygulanabilen çok esnek bir yaklaşımdır (Bryman, 2001). Bryman'a göre, veri üretme aracından ziyade belge ve metinlerin analizine yönelik bir yaklaşım olduğu için, içerik analizi bir araştırma yöntemi değildir. İçerik analizi, ham bir materyalden kurallarla belirlenen kategorilere göre nicel betimlemeler üretme amacı olan nicel araştırma stratejisine sıkı sıkıya bağlıdır.

3.2 Araştırmanın Örnekleme

Örnekleme, amaçsal örnekleme yöntemlerinden biri olan kolay ulaşılabilir durum örneklemesine göre belirlenmiştir. Bu örnekleme yöntemi çalışmaya hızlilik ve çabukluk katmasının yanı sıra; yakın ve erişilebilirliği kolay olan bir durumu seçmektedir. Kolay ve ulaşılabilir örneklemeler daha az maliyetli olup çoğu zaman araştırmacının diğer örnekleme yöntemlerini kullanma durumunun az olduğu durumlarda kullanılmaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2011).

Araştırmanın evrenini ortaöğretimde eğitim-öğretim gören fen lisesi öğrencileri (9.,10. ve 11.sınıf) ve üniversitenin eğitim fakültesinde öğrenim gören biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi öğretmenliği programındaki öğrenciler ile fen lisesi için ortaöğretim biyoloji, kimya ve fizik dersleri öğretim programları ve biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi öğretmenliği öğretim programları oluşturmaktadır.

2017-2018 eğitim öğretim yılında bir üniversitenin eğitim fakültesi biyoloji (n=59), fizik (n=21), kimya (n=46) ve fen bilgisi (n=128) öğretmenliği programlarından toplam 254, fen lisesi 9.sınıf (n=29), 10.sınıf (n=25) ve 11.sınıf (n=16) seviyelerinde öğrenim gören toplam 70 öğrenciyle çalışma yapılmıştır. Fen lisesi öğrencileri seçilme nedenlerinden birisi kimya, fizik ve biyoloji derslerini her sınıf düzeyinde daha yoğun bir şekilde görmeleri ve öğrenci bilgi düzeylerinin liseye giriş puanı bakımından diğer lise türlerine yerleşen öğrencilere göre üst seviyede olmasıdır. Çalışma grubunda yapılandırılmış görüşmeye biyoloji (n=8), fizik (n=2), kimya (n=7) ve fen bilgisi (n=8) öğretmenliği programlarından katılan 25 öğrenci oluşturmaktadır. Araştırmaya katılımda gönüllük esasına dikkat edilmiştir.

3.3 Verilerin Toplanması

MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı tarafından 2018 yılında yayınlanan Ortaöğretim Biyoloji, Fizik ve Kimya Dersi (9., 10. ve 11.sınıflar) ile biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi öğretmenliği programlarına ait lisans öğretim programları incelenerek bu öğretim programlarında NBT ile ilgili ders ya da konu yer alıp almadığına dair doküman incelemesi yapılmıştır.

Bu çalışmada veri toplama araçları olarak kelime ilişkilendirme testi (KİT) ve Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi kullanılmıştır. Ayrıca Yapılandırılmış Görüşme Soruları Ölçeğinde öğrenciler Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde vermiş oldukları cevaplara göre açık uçlu sorulardan oluşmaktadır (Bkz. EK A).

Örnekleme oluşturan öğrencilere ilk olarak KİT uygulanmıştır. KİT; bilişsel bir yapıyı ve bu yapıyı oluşturan kavramlar arasındaki ilişkiyi, zihinde kurulmuş olan kavram ağının gözlemlenmesini sağlayan, hafızadaki kavramlar arasındaki kelime ilişkilerinin yeterince anlamlı olup olmadığını tespit etmeye yarayan ölçme ve değerlendirme tekniklerinden birisidir (Özatlı ve Bahar, 2010). Kelime ilişkilendirme testini oluşturmak için büyüklük,

ölçek, nanobilim ve nanoteknoloji konuları ile ilişkili sekiz adet anahtar kavram seçilmiştir. Seçilen bu sekiz anahtar kavram, konunun üzerine yapılandırılması ve önemli olduğu düşünülen kavramlardır. Kimya öğretmenliği programından iki öğretim elemanının ve bir kimya öğretmenin görüşü alınarak bu kavramlar belirlenmiştir. Anahtar kavramlar; Makroölçek, Taramalı Elektron Mikroskobu, Nanoölçek, Büyüklük, Optik mikroskobu, Taramalı Tünelleme Mikroskobu, Mikroölçek ve Birim Sistemi olarak seçilmiştir. Testte, her bir kavram için bir sayfa ayrılmış ve aynı kavram alt alta tekrarlı bir şekilde yazılarak sayfa düzeni hazırlanmıştır (Bkz. EK C).

KİT'in uygulanması ile ilgili yönerge hem yazılı olarak test üzerinde verilmiştir hem de sözlü olarak tekrar öğrencilere açıklama yapılmıştır. Her sayfada yer alan bir kavram için cevaplama süresi olarak öğrencilere 30 saniye verilmiştir. Alanyazındaki çalışmalar incelendiğinde ortaöğretimdeki öğrenciler için kelime ilişkilendirme testindeki her bir kavram için yaklaşık otuz saniye verildiği görülmektedir (Bahar, Johnstone & Sutcliffe, 1999; Bahar ve Özatlı, 2003). Kelime ilişkilendirme testindeki her bir kavram için eşit süre verilmiş ve süre tamamlandıktan hemen sonra bir sonraki anahtar kavrama geçilmiştir. Öğrencilerin verilen otuz saniyelik süre içerisinde anahtar kavramla ilişkili olduğunu düşündükleri kelimeleri alt alta yazmaları istenmiştir.

Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi ise KİT'ten sonra uygulanmıştır. Açık uçlu dört sorudan oluşan test, nanobilim ve nanoteknoloji konusunun bilinmesi gereken ilk başlığı olan "büyüklük ve ölçek" konusu ile ilgili kavramları kapsayacak biçimde hazırlanmıştır. İç güvenilirliğin sağlanması amacı ile süreç boyunca test soruları açık bir biçimde tanımlanmaya çalışılmış ve soruların tutarlı olması için üç öğretim elemanı ve bir kimya öğretmeni tarafından incelenmiştir. 2017-2018 eğitim öğretim yılı Balıkesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fakültesi kimya öğretmenliği programı 3.sınıfındaki 13 öğrenciye ve fen bilgisi öğretmenliği programı 1.sınıfındaki 38 öğrenciye pilot çalışması uygulanmıştır. Öğrencilerin belirtmiş olduğu eksiklikler ve uzman görüşleri göz önüne alınarak okunabilirlik, anlaşılabilirlik ve eksiklikler gibi gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra test gerçek örnekleme uygulanmıştır. Birinci soru üç şıklı olup, birinci şıkta verilen nesnelere küçükten büyüğe doğru sıralama yapmaları ile ilgilidir; ikinci şıkta ise aynı nesnelere tablo içerisine işaretleyerek büyüklüklerini tahmin etmeleri; üçüncü şıkta ise makro, mikro ve nano ölçeklere göre verilen nesnelere gruplamaları istenmiştir. İkinci soruda, klor gazı/molekülünü çıplak göz, optik (ışık) mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

ile nasıl görebileceklerine dair tahminde bulunup çizim yapmaları istenmiştir. Üçüncü soruda, kenar uzunlukları makro, mikro ve nano düzeyde olarak verilmiş olan küp şeklindeki şekerlerin suda çözünme hızlarının, yüzey alanı / hacim oranı ve küpler ile su arasındaki etkileşim dikkate alarak karşılaştırılması istenmiştir. Dördüncü soru ise verilen on şıktan oluşan birimlerin birbirine dönüştürülmesi ile ilgilidir.

Son olarak, lisans öğrencilerine yönelik Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde cevaplamış oldukları sorularla ilgili görüşlerini belirlemek amacı ile açık uçlu sorulardan meydana gelen yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır (Bkz. EK D). Yapılandırılmış görüşmede amaç, görüşülen kişilerin verdikleri bilgiler arasında farklılığı ve benzerliği belirlemek ve bunun neticesinde karşılaştırmaktır (Brannigan, 1985). Yapılandırılmış görüşme tekniğinde, görüşme önceden hazırlanmış görüşme protokolüne bağlı olarak devam ettirildiğinden daha sistematik ve karşılaşılabılır bilgi sunarak araştırmacıya büyük kolaylık sağlamaktadır. Görüşülen bireylerin görüşlerini doğruca yansıtmak için doğrudan alıntılara sıkça yer verilmesi gerekir. İçerik analizinde, elde edilen bulguların düzenlenerek ve yorumlanarak aktarılması amaçlanmaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2011).

3.4 Verilerin Analizi

Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı (TTKB) tarafından 01.02.2013 tarihinde yayınlanan Ortaöğretim Fen Lisesi Biyoloji, Fizik ve Kimya Dersi (9, 10, 11.sınıflar) Öğretim Programı ile Biyoloji, Fizik, Kimya ve Fen Bilgisi Öğretmenliği Lisans Programlarında sınıflara ait ünite, konu, kazanımlar ve açıklamalar temelinde NBT ile ilgili “büyüklük ve ölçek” konusu incelenmiştir.

Fen lisesi ve üniversitenin lisans programı öğrencilerine uygulanan testteki her bir soru ve soruya ait olan şıklar öğrenme ilerlemelerini belirlemek için sınıflandırılmıştır ve kazanım tablosu çıkarılmıştır (Bkz. EK B). Doğru cevap, sorunun cevaplanmasında geçerli kavramların kullanıldığını ve anlaşıldığını belirtmektedir. Bu nedenle, öğrencilerin testteki sorulara ve şıklarına vermiş oldukları cevaplar dereceli puanlama anahtarı (rubrik) hazırlanarak tek tek irdelenip tablolar şeklinde sunulmuştur (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Büyüklük ve ölçek konusu bilgi testi için dereceli puanlama anahtarı.

	Beklenen Cevap	Makro (1)	Makro + mikro (2)	Makro + mikro + nano + piko (3)
1.soru A şıkkı	Sofra tuzu<Karınca başı	x	-	-
	Alyuvar<Terliksi hayvan<Sofra tuzu<Karınca başı	-	x	-
	Hidrojen atomu<DNA<Alyuvar<Terliksi hayvan<Sofra tuzu<Karınca başı	-	-	x

	Beklenen Cevap	Makro (1)	Mikro (1)	Nano (1)	Piko (1)
1.soru B şıkkı	Sofra tuzu, Karınca başı	x	-	-	-
	Alyuvar, Terliksi hayvan	x	x	-	-
	DNA	x	x	x	-
	Hidrojen atomu	x	x	x	x

	Beklenen Cevap	Makro (1)	Mikro (1)	Nano (1)
1.soru C şıkkı	Sofra tuzu, Karınca başı	x	-	-
	Alyuvar, Terliksi hayvan	-	x	-
	DNA	-	-	x

	Çözünürlük	1 mm (1)	100 nm (1)	1 nm (1)	100 pm (1)
2.soru	Çıplak gözle	Görünmez	Görünmez	Görünmez	Görünmez
	Optik mikroskopu ile	Görünmez	Görünmez	Görünmez	Görünmez
	AFM ile	Görünmez	Çok küçük sayıda nano tanecik	En az iki atom	Atomun ¼'ü

	Beklenen Cevap	Seviye 1 (1)	Seviye 2 (2)	Seviye 3 (3)	Seviye 4 (4)
3.soru	Açıklama yapmadan sıralama	x	-	-	-
	Makro ölçekten örnekler verip sıralama yapma	x	x	-	-
	Yüzey alanı/Hacim ilişkisi açıklaması + sıralama	x	x	x	-
	Yüzey alanı/Hacim ilişkisi açıklaması + hesaplama + sıralama	x	x	x	x

	Beklenen Cevap	Birim Dönüştürme (1)
4.soru	Makro → mikro	x
	Piko → makro	x
	Makro → kozmik	x
	Nano → makro	x
	Makro → mili	x
	Makro → nano	x
	Mikro → makro	x
	Makro → piko	x
	Mikro → makro	x
	Kozmik → nano	x

Veri analizinin son aşaması olan bulguların doğrulanması, bulunan sonuçların deneyerek onaylanması ile mümkündür (Merriem, 1998). Bu durumda verilere tekrar bakılarak kontrol edilmesi önemlidir. Bireysel etkiden arındırılmış bir kodlama için uzmanlar tarafından kodlanan verilere dair benzerlik oranına bakılmaktadır ve bu oran aynı zamanda nitel araştırmanın güvenilirliğini belirlemektedir. Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde yer alan açık uçlu dört soruya ait cevaplar ve kazanımlar soru ölçütleri kullanılarak ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Her bir soru ve bu soruların şıkları ile ilgili cevap ve kazanımı içerip içermediğini kontrol etmek için, iki araştırmacı ve bir kimya öğretmeni tarafından ayrı ayrı incelenmiştir. İlgili soruya ilişkin cevap ve kazanım aynı ise (1), farklı ise (0) şeklinde kodlama yapılmıştır. Miles ve Huberman (1994) tarafından önerilen kodlayıcılar arasındaki görüş birliği olarak kavramsallaştırılan güvenilirlik , $\Delta = [C / (C+\delta)] \times 100$ şeklinde hesaplanmaktadır. Burada Δ , güvenilirlik katsayısını; C, görüş birliği sağlanan konu veya terim sayısını; δ , görüş birliği sağlanmayan konu veya terim sayısını belirtmektedir. Kodlayıcılar arasındaki görüş birliğinin en az %80 olması istenilmektedir (Miles & Huberman, 1994; Patton, 2002). Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testindeki dört açık uçlu sorunun çözümünün güvenilirliğini sağlamak için Kimya alanından iki öğretim üyesi bağımsız bir biçimde değerlendirme yapmıştır. Her iki kodlayıcıdan elde edilen veriler formüle göre yapılan hesaplamalar sonucunda, analizin güvenilirlik katsayısı %95 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, kodlayıcılar arasındaki görüş uyumunun yeterli düzeyde olduğunu göstermektedir.

KİT sonuçlarını değerlendirmek için anahtar kavramlara yazılan cevap niteliğindeki kelimeler belirlenmiş, alfabetik sıraya göre gruplandırılmış ve her kelimenin kaç kez tekrar edildiğini gösteren kelime tabloları oluşturulmuştur. KİT'e katılan öğrencilerin büyüklük ve ölçek konusu ile ilişkili verdikleri anahtar kelimeler tablolarda sıralanmıştır. Bu tablolardan elde edilen verilere göre öğrencilerin büyüklük ve ölçek konusunu ifade

etmeye uygun gördükleri ve en fazla tekrar ettikleri kelimeler kullanılarak her sınıf düzeyi için CMAP programı ile kavram ağları çizilmiştir.

Nitel araştırmada tutarlılık, aktarılabirlik, inandırıcılık ve teyit edilebilirlik kavramlarının kullanılması doğru bir yaklaşımdır. Farklı program ve sınıflardaki öğrenciler görüşmeye dâhil edilerek lisans öğrencilerin farklı görüşleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Tüm görüşmelerin ses kaydının olması inandırıcılığı sağlamak için yapılmıştır ve öğrenci görüşlerinden örnekler olduğu gibi yansıtılmıştır. Yapılandırılmış görüşmelerden toplanan veriler grup şeklinde ortaya çıkan temalara göre düzenlenmiştir. Elde edilen tüm ifadelerin hepsi direkt olarak hiçbir yorumlama yapılmadan sunulmuştur. Görüşülen bireylerin görüşlerinin gruplandırılması ile temaların oluşturulması ve bu temalar arası anlamlı ve tutarlı ilişkilerin ortaya çıkarılması ile analiz edilmiştir (Yıldırım ve Şimşek, 2011). Veriler kod ve gruplara göre düzenlenmiştir ve çözümlenen verilere ait frekans ve yüzde değerleri tablo şeklinde hazırlanarak yorumlanmıştır. Veri analizinde; lisans öğrencilerinin açıklamalarında dikkate değer noktalar bölümü ve öğrenci numarası (BÖ1, FÖ2, FBÖ3, KÖ4, ...) ile birlikte işareti içinde doğrudan alıntı yapılarak verilmiştir. Araştırmadan toplanan veriler ham ve çözümlenmiş halde bir uzman tarafından da incelenmiştir. Uzman görüşü alınarak, ham verilerin veri analiz sürecinde grup ve alt gruplar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

4. BULGULAR

Bu bölümde bulgular dört ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar; ders programları ile ilgili bulgular, büyüklük ve ölçek konusu bilgi testi ile ilgili bulgular, kelime ilişkilendirme testi ile ilgili bulgular ve öğrenci görüşmeleri ile ilgili bulgular şeklinde analiz edilmiştir.

4.1 Öğretim Programlarının İncelenmesi ile İlgili Bulgular

Ortaöğretim Fen Lisesi Biyoloji, Fizik ve Kimya dersleri öğretim programları ile Biyoloji, Fizik, Kimya ve Fen Bilgisi Öğretmenliği lisans programlarının ders içerikleri ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1.1 Fen Lisesi Öğretim Programlarının İncelenmesi ile İlgili Bulgular

Öğrencilerin fen lisesinde görmüş oldukları kimya, fizik ve biyoloji derslerine ait öğretim programları incelenerek NBT ile ilişkili ve nanobilimin öğrenilmesi için gerekli olan konular belirlenmiş ve ilgili ders içerikleri Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'te sunulmuştur.

Tablo 4.1: Fen lisesi biyoloji dersi öğretim programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri ve kazanımları.

Dersler	Biyoloji
9.sınıf	9.1.2. CANLILARIN YAPISINDA BULUNAN TEMEL BİLEŞİKLER 9.1.2.1. Canlıların yapısını oluşturan organik ve inorganik bileşikleri açıklar. 9.2.1. HÜCRE 9.2.1.1. Hücre teorisine ilişkin çalışmaları açıklar. 9.3.2. CANLI ÂLEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ 9.3.2.1. Canlıların sınıflandırılmasında kullanılan âlemleri ve bu âlemlerin genel özelliklerini açıklar. 9.3.2.2. Canlıların biyolojik süreçlere, ekonomiye ve teknolojiye katkılarını örneklerle açıklar. 9.3.2.3. Virüslerin genel özelliklerini açıklar.
10.sınıf	10.4.10. GÖZDE GÖRÜNTÜ OLUŞUMU 10.4.10.2. Net görüş elde etmeye yönelik bir optik sistem tasarımı yapar.
11.sınıf	

Buna göre, 9.sınıf biyoloji dersi için organik ve anorganik bileşikler konusunda DNA'nın yapısı, mikroskopta hücrenin görüntülenmesi, bakteri ve virüslerin genel özellikleri ve canlılardan esinlenerek geliştirilen teknolojik ekipmanlar konuları işlenmektedir. 10.sınıf biyoloji dersinde ise gözde görüntü oluşması konusu bulunmaktadır.

Tablo 4.2: Fen lisesi fizik dersi öğretim programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri ve kazanımları.

Dersler	Fizik
9.sınıf	9.1.3. FİZİKSEL NİCELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI 9.1.3.1. Fiziksel nicelikleri sınıflandırır. 9.2.1. MADDE VE ÖZKÜTLE 9.2.1.1. Özkütleyi, kütle ve hacimle ilişkilendirerek açıklar.
10.sınıf	
11.sınıf	

Tablo 4.2'deki 9.sınıf fizik dersi konularında ise, fiziksel niceliklerin sınıflandırılması, SI birim sistemi, kütle ve geometrik şekillerde hacim hesaplaması şeklindedir.

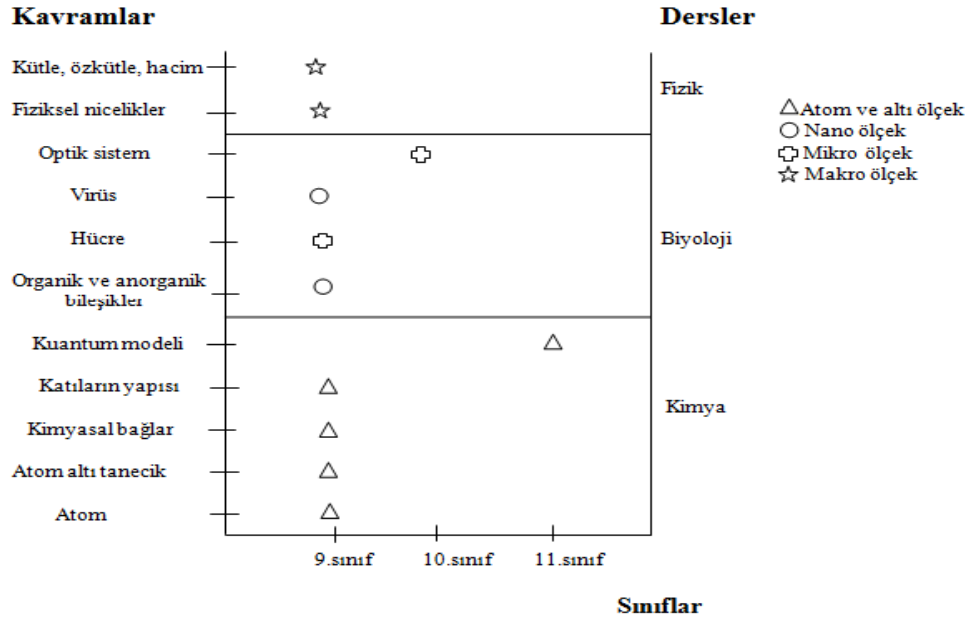
Tablo 4.3: Fen lisesi kimya dersi öğretim programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri ve kazanımları.

Dersler	Kimya
9.sınıf	9.1.2. KİMYA DİSİPLİNLERİ VE KİMYACILARIN ÇALIŞMA ALANLARI 9.1.2.1. Kimyanın ve kimyacıların günümüzdeki çalışma alanlarını açıklar. 9.2.1. ATOM MODELLERİ 9.2.1.1. Atom modellerini açıklar. 9.2.2. ATOMUN YAPISI 9.2.2.1. Atomun daha küçük parçacıklardan oluştuğuna işaret eden bulguları değerlendirir. 9.2.2.2. Atom altı taneciklerin temel özelliklerini karşılaştırır. 9.3.1. KİMYASAL TÜR 9.3.1.1. Kimyasal türleri ve bu türleri bir arada tutan kuvvetleri ayırt eder. 9.3.2. KİMYASAL TÜRLER ARASI ETKİLEŞİMLERİN SINIFLANDIRILMASI 9.3.2.1. Kimyasal türler arasındaki etkileşimleri, etkileşimlerin gücü temelinde sınıflandırır. 9.3.3. GÜÇLÜ ETKİLEŞİMLER 9.3.3.1. İyonik bağın oluşumunu iyonlar arası elektrostatik etkileşimle ilişkilendirerek açıklar. 9.3.3.3. Kovalent bağın oluşumunu atomlar arası elektron ortaklaşması ile ilişkilendirir. 9.3.3.5. Metalik bağın oluşumunu açıklar. 9.4.2. KATILAR 9.4.2.1. Katıların özelliklerini, yapılarını oluşturan türler arasındaki istiflenme şekli ve bağların gücüyle ilişkilendirir.
10.sınıf	
11.sınıf	11.1.1. ATOMUN KUANTUM MODELİ 11.1.1.1. Atomu kuantum modeliyle açıklar.

9.sınıf kimya dersi konularında nanoteknoloji ve yarı iletken teknolojiler, atom modelleri ve atomun yapısı, kimyasal türler arasındaki etkileşimler, iyonik, kovalent, metalik bağlar ve maddenin halleri konuları görülmektedir. 11.sınıf kimya dersinde ise, atomun kuantum modeli bulunmaktadır.

Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'ten görüldüğü gibi her dersin programında NBT konularına ilişkin kavramlar içeren çeşitli kazanımlara yer verilmiştir. Bu kazanımlar, “büyüklük ve ölçek” ile ilgili mikroskopta hücrenin görüntülenmesi, bakteri ve virüslerin genel özellikleri, gözde görüntü oluşması, fiziksel niceliklerin sınıflandırılması, SI birim sistemi, kütle ve geometrik şekillerde hacim hesaplaması, atom modelleri ve atomun yapısı olarak belirlenmiştir.

Öğrencilerin Fen Lisesi Ortaöğretim Programında görmüş oldukları kimya, fizik ve biyoloji derslerine ait ölçek bilgileri ile ilgili kavramlar incelenerek sınıf bazında dağılımları Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Ortaöğretim programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, ölçek bilgisi içeren kavramların 9.sınıfta oldukça yoğun bir biçimde işlendiği görülmektedir. 10.sınıfta optik konusundan dolayı sadece mikro ölçekte ile ilişkilendirilmiştir. 9. ve 11.sınıflarda nano ölçek ve atom-atom altı ölçek ile ilişkili olduğu düşünülen virüs, organik ve anorganik bileşikler, kuantum modeli gibi konular verilmektedir.

4.1.2 Lisans Öğretim Programlarının İncelenmesi ile İlgili Bulgular

Öğrencilerin üniversitede bulunmuş oldukları kimya, fizik, biyoloji ve fen bilgisi öğretmenliği programlarının derslerine ait öğretim programları incelenerek NBT ile ilişkili

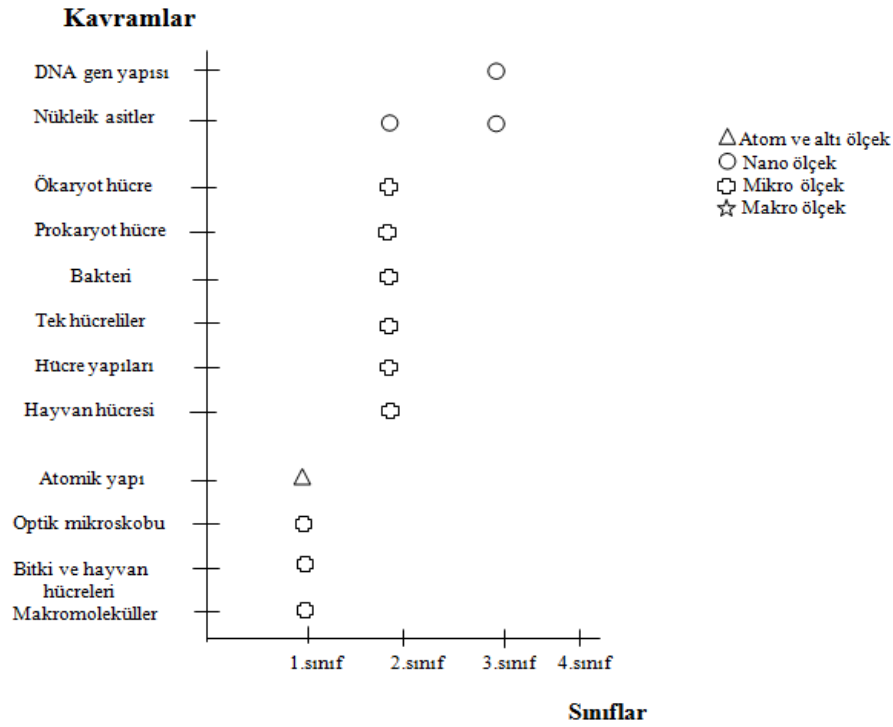
ve nanobilimin öğrenilmesi için gerekli olan konular belirlenmiş ve ilgili ders içerikleri Tablo 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7’de sunulmuştur.

Tablo 4.4: Biyoloji öğretmenliği programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri.

Sınıf	Biyoloji Öğretmenliği
1.sınıf	<p>GENEL BİYOLOJİ-1 Canlıların sınıflandırılması, canlılarda makro moleküllerin yapı ve işlevleri, hücrenin yapı ve fonksiyonu, kalıtımın moleküler temeli.</p> <p>GENEL BİYOLOJİ LAB-1 Mikroskobun kullanılması ve preparat hazırlama, bitki ve hayvan hücrelerinin incelenmesi.</p> <p>GENEL KİMYA Atomik yapı</p>
2.sınıf	<p>ZOOLOJİ-1 Hayvan hücresi, organellerinin yapı ve işlevleri.</p> <p>SİTOLOJİ Hücre kavramı; hücreleri inceleme yöntemleri; hücre altyapıları.</p> <p>ZOOLOJİ-2 Tek hücrelilerin anatomileri.</p> <p>BİYOKİMYA Nükleik asitlerin canlılardaki genel işlevleri, yapıları, sınıflandırılmaları ve metabolizmaları.</p> <p>MİKROBİYOLOJİ Prokaryotik ve ökaryotik hücre yapısı; bakteri genetiği.</p>
3.sınıf	<p>MOLEKÜLER BİYOLOJİ Nükleik asitlerin yapıları ve fonksiyonları.</p> <p>BOTANİK LAB-2 Derste işlenen tohumlu ve tohumlu bitkilere ait canlı gruplarına ilişkin bazı örneklerin mikroskopta incelenmesi.</p> <p>GENETİK DNA dizisinin organizasyonu; gen yapısı ve fonksiyonu; DNA rekombinasyonu,</p>
4.sınıf	

Tablo 4.4’e göre, biyoloji öğretmenliği programının 1.sınıfında canlılarda makro moleküllerin ve hücrenin yapısı, mikroskobun kullanılması ve bitki-hayvan hücrelerinin incelenmesi, atomik yapı konuları işlenmektedir. 2.sınıfta hayvan hücresi ve hücreleri incelemenin yöntemleri, bakteri genetiği, tek hücrelilerin anatomisi görülmektedir. Hem 2. hem de 3.sınıfta nükleik asitlerin yapıları ve işlevleri konuları bulunmaktadır. 3.sınıfta bitki gruplarının mikroskopta incelenmesi, DNA dizisi, gen yapısı ve fonksiyonu konuları işlenmektedir.

Biyoloji öğretmenliği programındaki öğrencilerin görmüş oldukları derslere ait ölçek bilgileri ile ilgili kavramlar incelenerek sınıf bazında dağılımları Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: Biyoloji öğretmenliği programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.

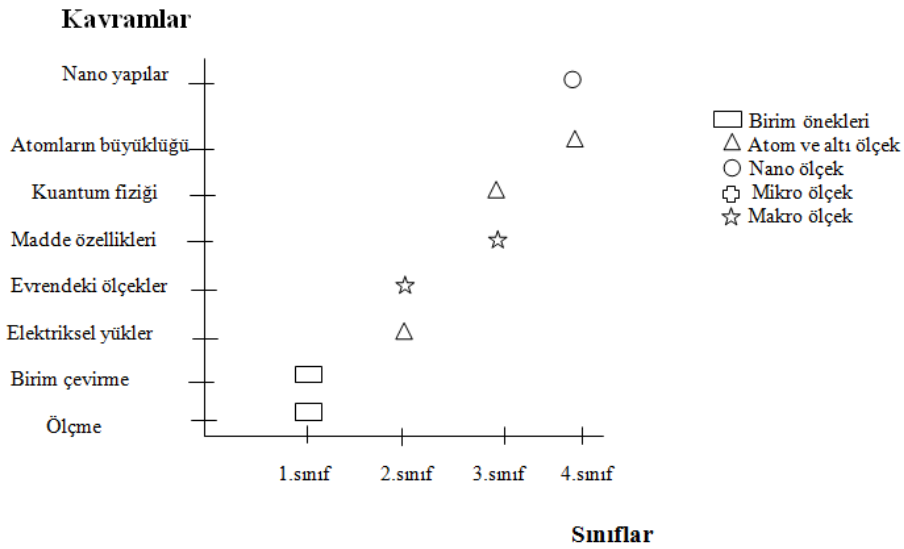
Şekil 4.2’de, ölçek bilgisi içeren kavramların 2.sınıfta oldukça yoğun bir biçimde işlendiği görülmektedir. Özellikle 3.sınıfta nükleik asitler ve DNA gen yapısı gibi kavramların nano ölçek ile ilgili kavramlar olduğu görülmektedir. Atom ve altı ölçek ile ilgili atomik yapı kavramı dışında çok fazla kavramın olmaması dikkati çekmiştir. Ayrıca, bakteri, hücresel yapı, hayvan hücresi gibi kavramlar ağırlıklı olarak 2.sınıfta işlendiği görülmüştür ve bu kavramların mikro ölçek ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5: Fizik öğretmenliği programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri.

Sınıf	Fizik Öğretmenliği
1.sınıf	MEKANİK-1 Ölçme-standartlar ve birimler, anlamlı rakamlar, yoğunluk ve boyut analizi, birim çevirme, skaler nicelikler.
2.sınıf	ELEKTRİK-1 Elektrik alanlar, elektrik yüklerinin özellikleri, elektrik alan çizgileri, yüklü parçacıkların düzgün elektrik alanda hareketi, elektrostatik dengedeki iletkenler. ASTRONOMİ Temel astronomik büyüklükler nelerdir? Evrendeki ölçekler.
3.sınıf	FİZİK ÖĞRETİMİNDE LAB. UYGULAMALARI Madde ve maddenin özellikleri. KUANTUM FİZİĞİ Belirsizlik İlkesi, Schrödinger Denklemi
4.sınıf	ATOM FİZİĞİ Atomların boyutu ve kararlılığı problemi, Schrödinger Dalga Denklemi KATI HAL FİZİĞİ Maddenin çeşitleri ve katıların sınıflandırılması; nano yapılar.

Tablo 4.5'e göre, fizik öğretmenliği programında 1.sınıf öğrencileri ölçme, standartlar ve birimler, boyut analizi, birim çevirme ve skaler nicelikler konularını görmektedir. 2.sınıfta elektriksel yükler ve özellikleri konusu ile temel astronomik büyüklükler ve evrendeki ölçekler konusu yer almaktadır. 3.sınıfta madde ve maddenin özellikleri, belirsizlik ilkesi ve Schrödinger denklemi görülmektedir. Son sınıfta ise atomların boyutu, Schrödinger dalga denklemi, maddenin çeşitleri, katıların sınıflandırılması ve nano yapılar konuları işlenmektedir.

Fizik öğretmenliği programındaki öğrencilerin görmüş oldukları derslere ait ölçek bilgileri ile ilgili kavramlar incelenerek sınıf bazında dağılımları Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3: Fizik öğretmenliği programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.

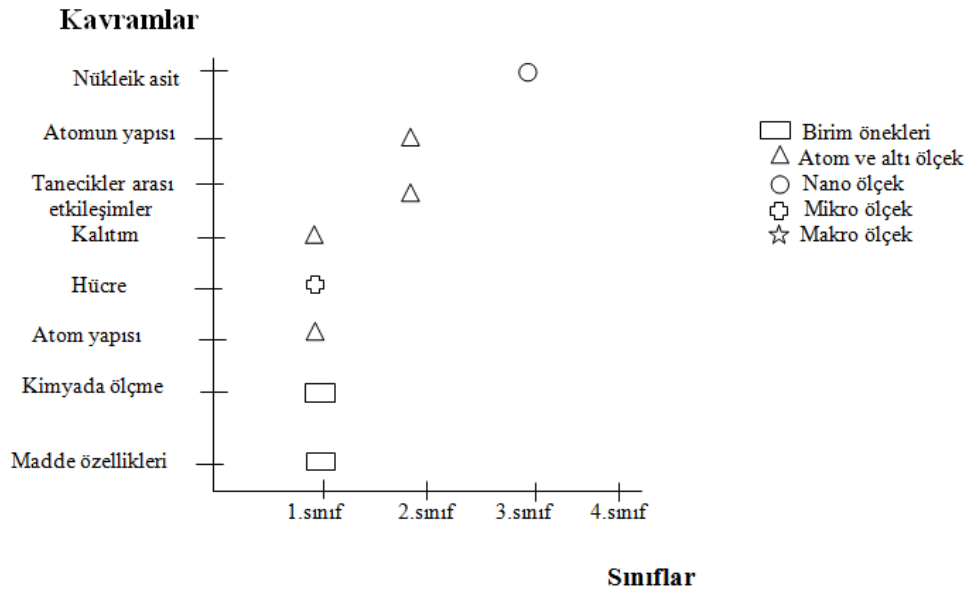
Şekil 4.3'e göre, ölçek bilgisi içeren kavramların 1.sınıfta birim dönüştürme ve ölçme gibi tüm ölçekleri içeren kavramlar işlenilmektedir. Son sınıfta görülen nano yapılar kavramı nano ölçek ile ve 2., 3. ve 4.sınıflarda kavramların genellikle atom ve altı ölçek ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Tablo 4.6: Kimya öğretmenliği programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri.

Sınıf	Kimya Öğretmenliği
1.sınıf	GENEL KİMYA-1 Maddenin özellikleri ve sınıflandırılması, kimyada ölçmenin önemi, atomun yapısı, kimyasal türler arası etkileşimler. GENEL BİYOLOJİ Canlıların çeşitliliği ve sınıflandırılması, hücre ve hücrenin yapısı; kalıtım.
2.sınıf	ANORGANİK KİMYA-1 Atomun yapısı, tanecikler arası etkileşimler.
3.sınıf	BİYOKİMYA Nükleik asitlerin yapıları ve sınıflandırılmaları, nükleik asit ve mineral madde metabolizması.
4.sınıf	

Tablo 4.6'ya göre, kimya öğretmenliği programının 1.sınıfında maddenin özellikleri ve sınıflandırılması, kimyada ölçmenin önemi, atomun yapısı, kimyasal türler arası etkileşimler, canlıların sınıflandırılması, hücre ve yapısı, kalıtım konuları, 2.sınıfında atomun yapısı ve tanecikler arası etkileşimler, 3.sınıfında ise nükleik asitlerin yapıları ve sınıflandırılmaları konuları işlenmektedir.

Kimya öğretmenliği programındaki öğrencilerin görmüş oldukları derslere ait ölçek bilgileri ile ilgili kavramlar incelenerek sınıf bazında dağılımları Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4: Kimya öğretmenliği programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.

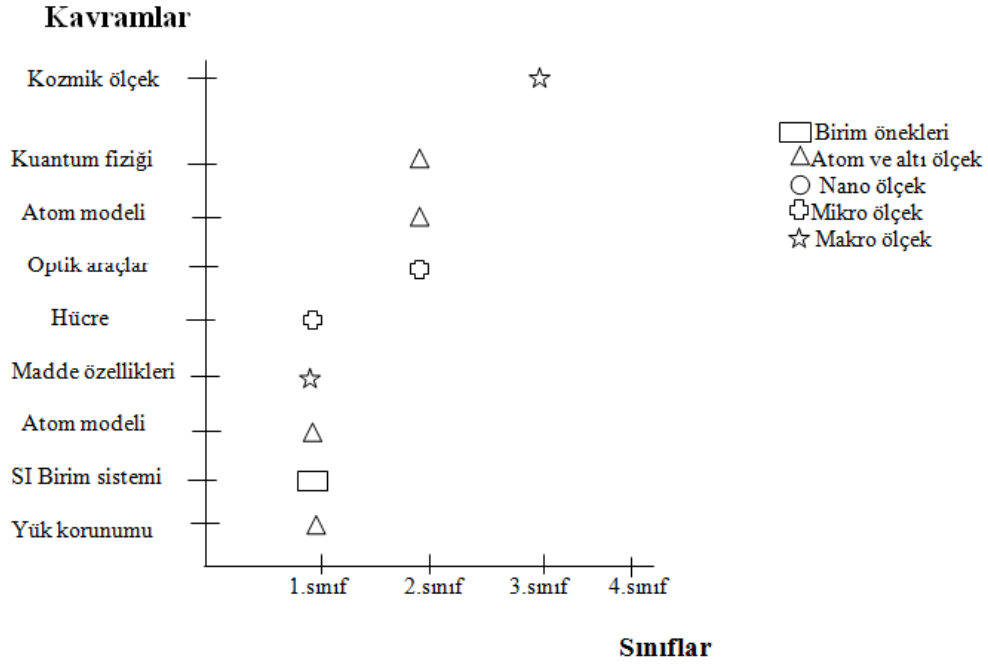
Şekil 4.4'te ölçek bilgisi içeren kavramların daha çok 1.sınıfta işlendiği görülmektedir. Kalıtım, nükleik asit gibi kavramlar nano ölçek ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Atom ve altı ölçekle ilişkilendirilen atom yapısı ve tanecikler arası etkileşimler kavramları ise 1. ve 2.sınıfta işlendiği görülmektedir.

Tablo 4.7: Fen Bilgisi öğretmenliği programındaki NBT ile ilgili ders içerikleri.

Sınıf	Fen Bilgisi Öğretmenliği
1.sınıf	FİZİK-1 SI birim sistemi, boyut analizi. KİMYA-1 Maddenin sınıflandırılması ve özellikleri, atom ve atomun elektron yapısı. FİZİK-2 Yük ve korunumu, elektriklenme, yalıtkanlar ve iletkenler. BİYOLOJİ-1 Canlıların çeşitliliği ve sınıflandırılması, hücre, hücrenin yapısı ve işlevi.
2.sınıf	FİZİK-3 Optik araçlar, büyüteç, gözlük, mikroskop, vb.; Atom modelleri, atomik ve moleküler spektrumlar; siyah cisim ışıması, dalga-parçacık ikilemi, De Broglie dalgaları, Heisenberg Belirsizlik ilkesi, Schrödinger dalgası.
3.sınıf	ASTRONOMİ Astronomide birimler.
4.sınıf	

Tablo 4.7’ye göre, fen bilgisi öğretmenliği programının 1.sınıfında SI birim sistemi, boyut analizi, maddenin sınıflandırılması ve özellikleri, atom ve atomun elektron yapısı, yük korunumu, elektriklenme, yalıtkanlar ve iletkenler, canlıların sınıflandırılması, hücre ve yapısı konuları görülmektedir. 2.sınıfta optik araçlar, büyüteçler, gözlükler ve mikroskoplar, atom modelleri, atomik ve moleküler spektrumlar, siyah cisim ışıması, De Broglie dalgaları, Heisenberg Belirsizlik İlkesi ve Schrödinger dalgası konuları bulunmaktadır. 3.sınıfta ise sadece astronomide birimler konusu olduğu tespit edilmiştir.

Fen bilgisi öğretmenliği programındaki öğrencilerin görmüş oldukları derslere ait ölçek bilgileri ile ilgili kavramlar incelenerek sınıf bazında dağılımları Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5: Fen Bilgisi öğretmenliği programında yer alan ölçek bilgilerine dair kavramların sınıf bazında dağılımı.

Şekil 4.5’de görüldüğü üzere, ölçek bilgisi içeren kavramların daha çok 1.ve 2.sınıflarda işlendiği görülmektedir. SI birim sistemi haricinde nano ölçek ile ilgili herhangi bir kavram tespit edilmemiştir. Atom ve altı ölçekle ilişkilendirilen atom modeli, kuantum fiziği ve yük korunumu kavramları ise yine 1. ve 2.sınıfta işlendiği görülmektedir.

Tablo 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7’den görüldüğü gibi her programın ders programında nanobilim ve nanoteknoloji konularına ilişkin kavramlar içeren çeşitli konulara yer verilmiştir. Bu konuların “büyüklük ve ölçek” ile ilgili canlılarda makro moleküllerin yapısı, hücrenin yapısı, mikroskopta bitki ve hayvan hücrelerinin incelenmesi, atomik yapı, nükleik asitlerin yapıları, bakteri genetiği, DNA yapısı, ölçme-standartlar ve birimler, boyut analizi, birim çevirme, skaler nicelikler, temel astronomik büyüklükler ve birimler, evrendeki ölçekler, atomların boyutu, maddenin özellikleri ve sınıflandırılması, kimyada ölçmenin önemi, kimyasal türler arası etkileşimler, optik araçlar olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5’e göre, kimya ve fen bilgisi öğretmenliği programında ölçek bilgisi ile kavramlar 1.sınıfta, biyoloji öğretmenliği öğretim programında öğrenim gören lisans öğrencilerine ölçek bilgisi ile ilgili kavramlar 2.sınıfta daha yoğun bir biçimde verildiği görülmektedir. Ancak, fizik öğretmenliği programındaki lisans öğrencilerine ise her sınıf düzeyine ait ölçek konusu ile ilgili kavramlar verilmektedir. Biyoloji

öğretmenliğinde öğrenim gören öğrenciler nano ölçek ile ilgili kavramların 1., 2. ve 3.sınıfta olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ile ilgili kavramların, fizik öğretmenliği öğretim programında 1. ve 4.sınıflarda; kimya öğretmenliği öğretim programında ise 1. ve 3.sınıflarda; fen bilgisi öğretmenliği programında sadece 1.sınıfta yer aldığı görülmektedir. Ayrıca, fizik öğretmenliği son sınıf öğrencileri “nano yapılar” konusunu görmektedir. Sonuç olarak, fizik öğretmenliği ve biyoloji öğretmenliği programlarında öğrenim gören öğrencilerin ölçek bilgisi ile ilgili en çok bilgilendirildiği programlar olmuştur.

4.2 Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi ile İlgili Bulgular

“Büyüklük ve Ölçek” konusu bilgi testi Fen Lisesi öğrencileri ile Biyoloji, Fizik, Kimya ve Fen Bilgisi Öğretmenliği lisans programlarında öğrenim gören öğrencilerin vermiş oldukları cevaplar incelenerek karşılaştırma yapılmıştır.

4.2.1 Fen Lisesi Öğrencilerinin Sınıf Bazındaki Bulguları

Nanobilimin giriş konusu olan “Büyüklük ve Ölçek” ile ilgili yapılan bilgi testine katılan sınıflardaki öğrencilerin sayısını ve yüzdesi Tablo 4.8’de sunulmaktadır.

Tablo 4.8: Fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre oranları.

Sınıf	f	%
9.sınıf	29	41
10.sınıf	25	36
11.sınıf	16	23
Toplam	70	100

Daha önce de açıklandığı gibi testte toplam dört adet açık uçlu soru yer almaktadır. Bu sorulara verilen cevapların analizinden elde edilen bulgular soru sırasına göre bu bölümde açıklanmaktadır.

Tablo 4.9: Soru 1-A için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Sınıf	f	%
9.sınıf	10	35
10.sınıf	6	24
11.sınıf	6	38
Toplam	22	100

Tablo 4.9'a göre, verilen nesnelere küçükten büyüğe sıralamaya yönelik 1.sorunun A şıkkına 9.sınıf öğrencilerinin %35'i (f=10), 10.sınıf öğrencilerinin %24'ü (f=6) ve 11.sınıf öğrencilerinin %38'i (f=6) doğru cevap vermişlerdir. Bütün öğrencilerin %31'i (f=22) doğru bir biçimde cevap verdikleri tespit edilmiştir. Buna göre, 11.sınıf öğrencileri verilen nesnelere küçükten büyüğe doğru Hidrojen atomu < DNA < Alyuvar < Terlikli hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı şeklinde sıralayarak yüzdeler bakımından en çok doğru cevabı veren sınıf olmuştur.

1.sorunun B şıkkında nesnelere büyüklüklerini tahmin etme ile ilgili öğrencilerin vermiş oldukları doğru cevapların oranları frekans ve yüzde olarak Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10: Soru 1-B için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	9.sınıf		10.sınıf		11.sınıf	
	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	11	38	15	60	9	56
DNA sarmalının genişliği	15	52	15	60	10	63
Küçük sofa tuzunun bir kenarının uzunluğu	20	69	22	88	12	75
Terlikli hayvanın boyu	15	52	15	60	8	50
Karınca başının genişliği	23	79	19	76	15	94
Hidrojen atomunun yarıçapı	23	79	23	92	12	75

Buna göre; 1.sorunun B şıkkında yüksek doğru tahmin yüzdesi; insan alyuvar çapı için 10.sınıf öğrencileri (%60), DNA sarmalının genişliği için 11.sınıf öğrencileri (%63), küçük sofa tuzunun bir kenarının uzunluğu için 10.sınıf öğrencileri (%88), terlikli hayvanının boyu için 10.sınıf öğrencileri (%60), karınca başının genişliği için 11.sınıf öğrencileri (%94) ve hidrojen atomunun yarıçapı için 10.sınıf öğrencileri (%92) olacak şekilde dağılım göstermiştir. Sonuç olarak 10. ve 11.sınıf öğrencilerinin ağırlıklı olarak daha doğru cevaplar verdikleri görülmüştür.

1.sorunun C şıkkında nesnelere ölçeklere (makro, mikro, nano) göre gruplama etme ile ilgili öğrencilerin vermiş oldukları doğru cevapların oranları frekans ve yüzde olarak Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11: Soru 1-C için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	9.sınıf		10.sınıf		11.sınıf	
	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	14	48	15	60	10	63
DNA sarmalının genişliği	16	55	17	68	10	63
Kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	19	66	20	80	11	69
Terliksi hayvanın boyu	19	66	17	68	9	56
Karınca başının genişliği	19	66	19	76	12	75
Hidrojen atomunun yarıçapı	1	3	0	0	1	6

1.sorunun C şıkkında; insan alyuvar çapını 11.sınıf öğrencileri (%63), DNA sarmalının genişliğini 10. sınıf öğrencileri (%68), kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğunu 10. sınıf öğrencileri (%80), terliksi hayvanının boyunu 10.sınıf öğrencileri (%68), karınca başının genişliğini 11.sınıf öğrencileri (%76), hidrojen atomunun yarıçapını 11.sınıf öğrencileri (%6) doğru şekilde gruplandırmıştır. Ancak, öğrenciler hidrojen atomunun yarıçapını nano ölçek kısmına yazarak yanlış cevaplamışlardır. Toplam 70 öğrenciden sadece iki tanesi, biri 9.sınıf diğeri de 11.sınıf öğrencisi, hiçbir bölümü işaretlemeyerek soruyu doğru cevaplamıştır. Genel olarak bakıldığında, C şıkkında da B şıkkında olduğu gibi 10. ve 11.sınıf öğrencileri daha doğru cevaplar vermişlerdir.

2.soruda, 1 mm, 100 nm, 1 nm ve 100 pm kenar uzunluklarında küp şeklindeki dört kaptaki bulunan klor gazının sırasıyla çıplak gözle, optik mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobuyla nasıl görülebileceğine dair öğrencilerin çizim yapmaları istenmiştir. Öğrenci çizimlerine ait bulgular Tablo 4.12, 4.13 ve 4.14’te verilmiştir.

Tablo 4.12: Soru 2 için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre çıplak gözle yapılan çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	9.sınıf		10.sınıf		11.sınıf	
	f	%	f	%	f	%
1 mm	3	10	9	36	9	56
100 nm	4	14	12	48	11	69
1 nm	4	14	12	48	10	63
100 pm	4	14	12	48	10	63

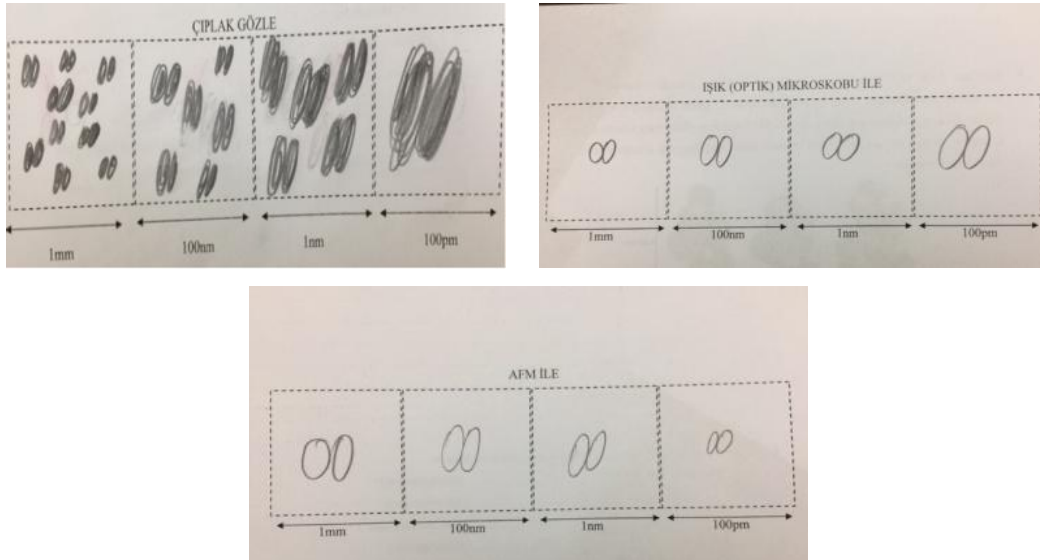
Tablo 4.13: Soru 2 için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre optik mikroskobu ile yapılan çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	9.sınıf		10.sınıf		11.sınıf	
	f	%	f	%	f	%
1 mm	1	3	0	0	4	25
100 nm	0	0	0	0	5	31
1 nm	0	0	0	0	2	11
100 pm	1	3	5	20	3	19

Tablo 4.14: Soru 2 için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre AFM ile yapılan çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	9.sınıf		10.sınıf		11.sınıf	
	f	%	f	%	f	%
1 mm	1	3	0	0	4	25
100 nm	0	0	0	0	0	0
1 nm	9	31	7	28	3	19
100 pm	1	3	0	0	1	6

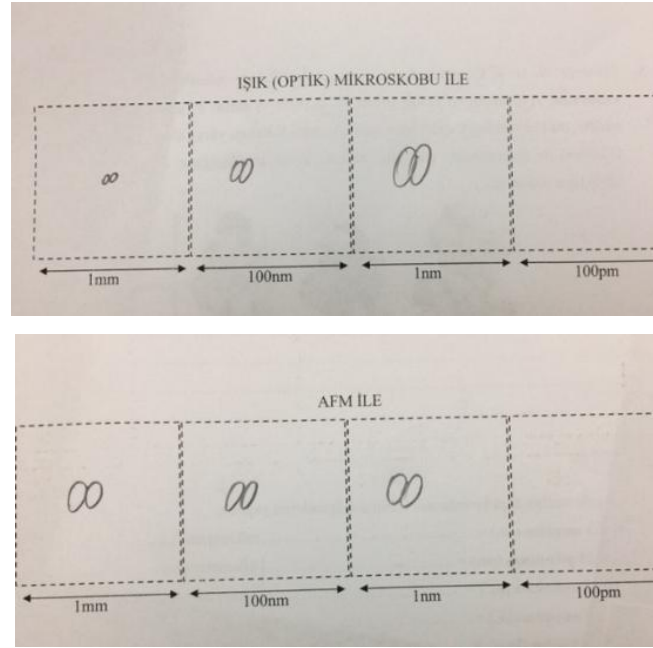
Tablo 4.12, 4.13 ve 4.14'e göre; çıplak göz ve optik mikroskop ile klor gazı için elde edilebilecek görüntülerin çiziminde en yüksek doğru cevap oranına sahip 11.sınıf öğrencileri olmuştur. AFM ile klor gazının incelenmesine ait çizimlerde ise 1 mm'de 11.sınıf, 1 nm'de 9.sınıf, 100 pm'de ise yine 11.sınıf öğrencileri en doğru çizimleri yaparken, 100 nm'de doğru bir çizime rastlanmamıştır.



Şekil 4.6: Fen lisesi 9.sınıf öğrencilerinin 2.sorudaki çizim örnekleri.

Fen lisesi 9.sınıf öğrencilerinden bazılarının 2.soru ile ilgili çıplak göz ve ışık mikroskobu için Şekil 4.6'deki örnek çizimlerinde, klor molekülünün büyüklüğünün kabın büyüklüğü

küçüldükçe büyüdüğü görülmüştür. AFM için yapılan çizimlerde ise tam tersi olarak klor molekülünün kabın büyüklüğü küçüldükçe küçültülerek çizildiği tespit edilmiştir. Klor molekülünün büyüklüğünün 400 pm olarak verilmesine rağmen, çıplak göz ve ışık mikroskobu ile her kap kesitinde klor molekülünün görülebileceğinin düşünülmesi 9.sınıf öğrencilerinin ölçekler arası farklılıkları ve birim öneklerini bilmediğini göstermektedir.



Şekil 4.7: Fen lisesi 10.sınıf öğrencilerinin 2.sorudaki çizim örnekleri.

Fen lisesi 10.sınıf öğrencilerinin yaklaşık yarısı çıplak gözle klor molekülünün hiçbir kapta görülemeyeceğini belirtmişlerdir. Öğrencilerin Şekil 4.7’de yapmış oldukları çizimlerde ise ışık mikroskobunda 1 mm kenar uzunluklu olan kapta 1 nm’ye göre daha büyük molekül çizimi yapıldığı görülürken, 100 pm kenar uzunluklu kapta ise hiçbir şey görülmeyeceği belirtilmiştir. Öğrencilerin AFM ile görebileceklerini çizdiklerinde kaplardaki moleküllerin büyüklüklerinde herhangi bir değişiklik olmadan aynı büyüklüklerde çizdikleri görülmüştür. 100 pm kenar uzunluklu kaptaki ışık mikroskobunda olduğu gibi hiçbir şey görülemeyeceği belirtilmiştir. Soruda çıplak göz, optik mikroskobu ve AFM’nin çözünürlükleri verilmesine rağmen, 10.sınıf öğrencilerinin sadece çıplak gözün görme sınırını anlayabildiği görülmüştür. Ayrıca 10.sınıf öğrencileri de 9.sınıf öğrencileri gibi ölçekler arası farklılıkları ve birim öneklerini bilmemektedir.



Şekil 4.8: Fen lisesi 11.sınıf öğrencilerinin 2.sorudaki çizim örneği.

Fen Lisesi 11.sınıf öğrencilerinin çoğu çıplak gözle ve ışık mikroskobunda klor molekülünün hiçbir kapta görülmeyeceğini belirtmişlerdir. AFM ile görebileceklerine dair çizim ise Şekil 4.8'deki gibidir. Bu sınıftaki öğrenci çizimlerinin diğer sınıflara göre daha doğru çizimler oldukları görülmüştür. 11.sınıf öğrencilerinin çıplak göz, optik mikroskobu ve AFM'nin çözünürlüklerini ve ölçekler arası farklılıkları 9. ve 10.sınıflara göre daha iyi anladıkları görülmektedir.

Tablo 4.15: Soru 3 için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Sınıf	f	%
9.sınıf	10	35
10.sınıf	7	28
11.sınıf	6	38
Toplam	23	

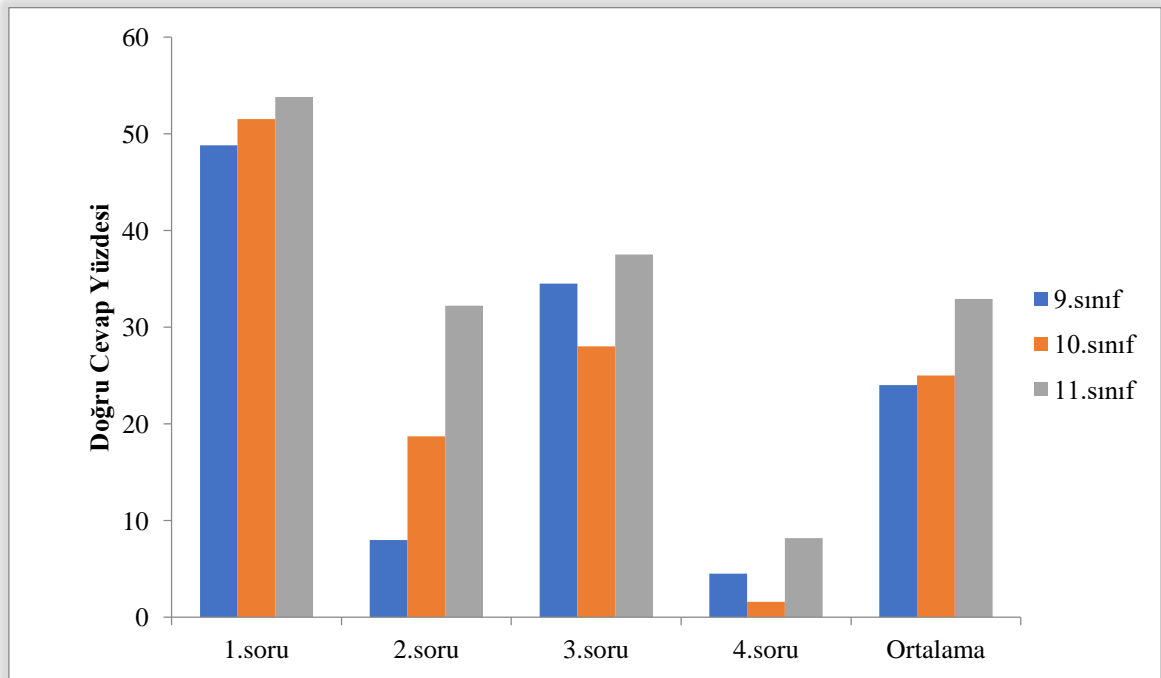
Öğrencilerin makro, mikro ve nano büyüklükteki küp şekerlerin suda çözünme hızlarını, yüzey alanı / hacim oranını ve şeker küpleri ile su arasındaki etkileşimi dikkate alınarak karşılaştırmalarına ait 3.soruya ilişkin Tablo 4.15'e göre, 9.sınıf öğrencilerinin %35'i (f=10), 10.sınıf öğrencilerinin %28'i (f=7) ve 11.sınıf öğrencilerinin %38'i (f=6) doğru cevap vermişlerdir. Buna göre, toplamda öğrencilerin %33'ü (f=23) cevaplarının doğru olduğu görülürken, doğru cevap yüzdesi en çok olan sınıf 11.sınıf öğrencileri olmasına rağmen, diğer sınıflarla arasında çok büyük bir farklılık göze çarpmamıştır.

Öğrencilerin birim dönüştürme ile ilgili 4.soruya verdikleri cevapların analizi Tablo 4.16'te verilmiştir.

Tablo 4.16: Soru 4 için fen lisesi öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Soru Şıkkı	9.sınıf		10.sınıf		11.sınıf	
	f	%	f	%	f	%
A	2	7	0	0	1	6
B	0	0	0	0	1	6
C	0	0	0	0	1	6
D	2	7	0	0	1	6
E	5	17	1	4	2	13
F	1	4	0	0	2	13
G	2	7	2	8	1	6
H	0	0	0	0	1	6
I	1	4	1	4	1	6
J	0	0	0	0	2	13

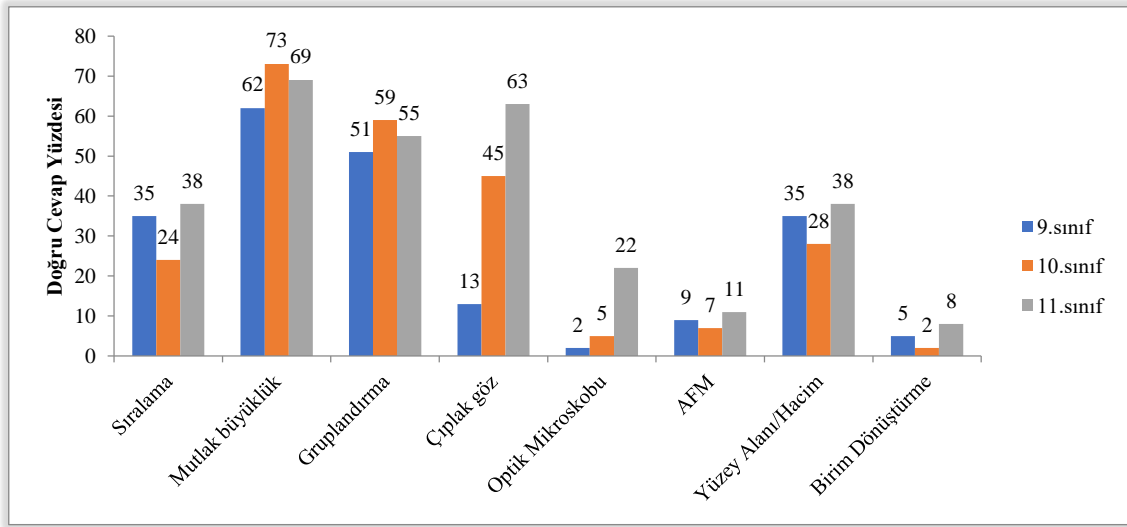
Tablo 4.16’da, 4.sorunun A, D ve E şıklarını 9.sınıf öğrencileri; G şıkkını 10.sınıf öğrencileri ve kalan şıkları 11.sınıf öğrencileri en yüksek oranda doğru cevap verecek şekilde yanıtlamışlardır. Birim dönüştürmede doğru cevap yüzdesinin tüm sınıflarda çok düşük olduğu görülmüştür. Bu durum 2.soruda farklı ölçeklerde verilen büyüklüklerin neden karıştırıldığını anlamamızda yardımcı olabilir.



Şekil 4.9: Fen lisesi 9.,10. ve 11.sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri.

Yukarıda açıklanan 4 soru için, 9., 10. ve 11.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdelerinin değişimi Şekil 4.9’da özetlenmiştir. Tüm test dikkate alındığında ise, 11.sınıf öğrencilerinin tüm sorularda daha çok sayıda doğru cevap verdikleri görülürken, birinci ve

ikinci sorularda 9.sınıf, üçüncü ve dördüncü sorularda ise 10.sınıf öğrencileri en az sayıda doğru cevabı veren sınıflar olmuşlardır.



Şekil 4.10: Fen lisesi 9.,10. ve 11.sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri.

Şekil 4.10’da ise, 4 sorunun ayrıntılı grafiği için, 9., 10. ve 11.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdeleri gösterilmiştir. 11.sınıf öğrencileri, nesnelere sıralamada, klor gazının çıplak gözle, optik mikroskopu ve AFM ile görülmesinde, yüzey alanı / hacim ilişkisinde ve birim dönüştürme de diğer sınıflara göre başarılı oldukları görülmüştür. 10.sınıf öğrencileri, nesnelere mutlak büyüklüğünü ve gruplamayı daha başarılı bir biçimde yaptıkları görülürken, 9.sınıf öğrencileri her bir kategoride diğer sınıf öğrencilerinden düşük seviyede kalmıştır.

4.2.2 Lisans Öğrencilerinin Sınıf Bazındaki Bulguları

Nanobilimin giriş konusu olan “Büyüklik ve Ölçek” konusu bilgi testine katılan sınıflardaki öğrencilerin sayısı ve yüzdesi Tablo 4.17’de sunulmaktadır.

Tablo 4.17: Büyüklük ve ölçek konusu bilgi testine katılan öğrencilerin programlarına ve sınıflarına göre oranları.

Programlar	Sınıf	f	%
Biyoloji Öğretmenliği	1.sınıf	11	4
Biyoloji Öğretmenliği	2.sınıf	11	4
Biyoloji Öğretmenliği	3.sınıf	20	8
Biyoloji Öğretmenliği	4.sınıf	17	7
Fen Bilgisi Öğretmenliği	1.sınıf	38	15
Fen Bilgisi Öğretmenliği	2.sınıf	35	14
Fen Bilgisi Öğretmenliği	3.sınıf	42	17
Fen Bilgisi Öğretmenliği	4.sınıf	13	5
Kimya Öğretmenliği	1.sınıf	11	4
Kimya Öğretmenliği	2.sınıf	10	4
Kimya Öğretmenliği	3.sınıf	13	5
Kimya Öğretmenliği	4.sınıf	12	5
Fizik Öğretmenliği	2.sınıf	13	5
Fizik Öğretmenliği	3.sınıf	8	3
Toplam	14 sınıf	254	100

Tablo 4.17'ye göre biyoloji öğretmenliği programından toplam 59 öğrenci, fen bilgisi öğretmenliği programından toplam 128 öğrenci, kimya öğretmenliği programından toplam 46 öğrenci ve fizik öğretmenliği programından toplam 21 öğrenci bu araştırmaya katılmıştır. Fizik öğretmenliğinde 1. ve 4.sınıflarda yeterli sayıda öğrenci bulunmadığından dolayı bu sınıflar araştırmaya dâhil edilmemiştir.

1. sorunun A şıkkında nesnelerin büyüklüklerini sıralamaları ile ilgili öğrencilerin vermiş oldukları doğru cevapların oranları frekans ve yüzde olarak Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.18: Soru 1-A için program ve sınıf düzeyinde doğru cevap oranları.

Programlar	Sınıf	f	%
Biyoloji Öğretmenliği	1.sınıf	4	36
Biyoloji Öğretmenliği	2.sınıf	4	36
Biyoloji Öğretmenliği	3.sınıf	9	45
Biyoloji Öğretmenliği	4.sınıf	2	18
Fen Bilgisi Öğretmenliği	1.sınıf	9	24
Fen Bilgisi Öğretmenliği	2.sınıf	14	40
Fen Bilgisi Öğretmenliği	3.sınıf	15	36
Fen Bilgisi Öğretmenliği	4.sınıf	5	39
Kimya Öğretmenliği	1.sınıf	2	18
Kimya Öğretmenliği	2.sınıf	4	40
Kimya Öğretmenliği	3.sınıf	3	23
Kimya Öğretmenliği	4.sınıf	0	0
Fizik Öğretmenliği	2.sınıf	1	8
Fizik Öğretmenliği	3.sınıf	0	0
Toplam		72	28

Tablo 4.18'e göre, verilen nesnelere küçükten büyüğe sıralamaya yönelik 1. sorunun A şıkkına biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %45'i (f=9) doğru cevap verirken, kimya öğretmenliği 4.sınıf ve fizik öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinden hiçbiri soruyu doğru cevaplayamadıkları görülmüştür. Programlardaki tüm öğrencilerin %28'i (f=72) doğru bir biçimde cevap verdikleri tespit edilmiştir.

1.sorunun B şıkkında nesnelere büyüklüklerini tahmin etme ile ilgili öğrencilerin vermiş oldukları doğru cevapların oranları frekans ve yüzde olarak Tablo 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22'de verilmiştir.

Tablo 4.19: Soru 1-B için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	2	18	4	36	10	50	6	35
DNA sarmalının genişliği	4	36	5	46	18	90	5	29
Kübik soda tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	7	64	8	73	12	60	8	47
Terlikli hayvanın boyu	5	46	5	46	15	75	11	65
Karıncanın başının genişliği	8	73	8	73	19	95	10	59
Hidrojen atomunun yarıçapı	8	73	10	91	19	95	12	71

Tablo 4.20: Soru 1-B için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	10	26	13	37	10	24	3	23
DNA sarmalının genişliği	14	36	20	57	19	45	3	23
Kübik soda tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	18	47	18	51	23	55	7	54
Terlikli hayvanın boyu	12	32	18	51	24	57	6	46
Karıncanın başının genişliği	25	66	23	66	37	88	10	77
Hidrojen atomunun yarıçapı	26	68	27	77	36	86	7	54

Tablo 4.21: Soru 1-B için kimya öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	3	27	4	40	6	46	2	17
DNA sarmalının genişliği	8	73	5	50	7	54	6	50
Kübik soda tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	6	55	6	60	11	85	8	67
Terlikli hayvanın boyu	6	55	4	40	9	69	6	50
Karıncanın başının genişliği	10	91	9	90	11	85	7	58
Hidrojen atomunun yarıçapı	8	73	9	90	11	85	8	67

Tablo 4.22: Soru 1-B için fizik öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	2.sınıf		3.sınıf	
	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	2	15	3	38
DNA sarmalının genişliği	5	39	1	13
Kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	8	62	3	38
Terliksi hayvanın boyu	7	54	2	25
Karınca başının genişliği	10	77	8	100
Hidrojen atomunun yarıçapı	9	69	4	50

Buna göre; birinci sorunun B şıkında yüksek doğru tahmin yüzdesi; insan alyuvar çapı için biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %50'si (f=10), DNA sarmalının genişliği için biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %90'ı (f=18), kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu için kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %85'i (f=11), terliksi hayvanının boyu için biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %75'i (f=15), karınca başının genişliği için fizik öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %100'ü (f=8) ve hidrojen atomunun yarıçapı için biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %95'i (f=19) olacak şekilde dağılım göstermiştir. Sonuç olarak biyoloji, kimya ve fizik öğretmenliği programlarındaki 3.sınıf öğrencilerinin ağırlıklı olarak daha doğru cevaplar verdikleri görülmüştür.

1.sorunun C şıkında nesnelere ölçeklere (makro, mikro, nano) göre gruplama etme ile ilgili öğrencilerin vermiş oldukları doğru cevapların oranları frekans ve yüzde olarak Tablo 4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.23: Soru 1-C için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	6	55	8	73	12	60	9	53
DNA sarmalının genişliği	9	82	9	82	17	85	13	77
Kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	9	82	7	64	16	80	15	88
Terliksi hayvanın boyu	9	82	7	64	19	95	13	77
Karınca başının genişliği	11	100	10	91	17	85	16	94
Hidrojen atomunun yarıçapı	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 4.24: Soru 1-C için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	19	50	12	34	27	65	7	54
DNA sarmalının genişliği	21	55	19	54	27	65	7	54
Kübik sofra tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	26	68	20	57	34	81	10	77
Terliksi hayvanın boyu	20	53	18	51	31	74	9	69
Karınca başının genişliği	29	76	24	69	40	95	11	85
Hidrojen atomunun yarıçapı	1	3	2	6	1	2	0	0

Tablo 4.25: Soru 1-C için kimya öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	3	27	5	50	11	85	8	67
DNA sarmalının genişliği	6	55	6	60	7	54	5	42
Kübik sofra tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	8	73	6	60	10	77	8	67
Terliksi hayvanın boyu	5	46	3	30	9	69	7	58
Karınca başının genişliği	9	82	8	80	10	77	11	92
Hidrojen atomunun yarıçapı	1	9	0	0	0	0	1	8

Tablo 4.26: Soru 1-C için fizik öğretmenliği öğrencilerinin sınıflarına göre doğru cevap oranları.

Büyüklik	2.sınıf		3.sınıf	
	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	2	15	4	50
DNA sarmalının genişliği	4	31	3	38
Kübik sofra tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	6	46	5	63
Terliksi hayvanın boyu	6	46	3	38
Karınca başının genişliği	5	39	6	75
Hidrojen atomunun yarıçapı	0	0	1	13

Buna göre; 1.sorunun C şıkında yüksek doğru tahmin yüzdesi; insan alyuvar çapı için kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %85'i (f=11), DNA sarmalının genişliği için biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %85'i (f=17), kübik sofra tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu için biyoloji öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerinin %82'si (f=9), terliksi hayvanının boyu için biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %95'i (f=19), karınca başının genişliği için biyoloji öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerinin %100'ü (f=11) ve hidrojen atomunun yarıçapı için fizik öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin %13'ü (f=1) olacak şekilde dağılım göstermiştir. Sonuç olarak biyoloji öğretmenliği 1. ve 3.sınıf

öğrencileri ile kimya öğretmenliği 4.sınıf ve fizik öğretmenliği programlarındaki 3.sınıf öğrencilerinin ağırlıklı olarak daha doğru cevaplar verdikleri görülmüştür.

2.soruda, 1 mm, 100 nm, 1 nm ve 100 pm kenar uzunluklarında küp şeklindeki dört kaptaki bulunan klor gazının sırasıyla çıplak gözle nasıl görülebileceğine dair öğrencilerin çizim yapmaları istenmiştir. Öğrenci çizimlerine ait bulgular Tablo 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.

Tablo 4.27: Soru 2 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	3	27	1	9	12	60	1	6
100 nm	3	27	1	9	13	65	2	12
1 nm	3	27	1	9	15	75	2	12
100 pm	3	27	2	18	15	75	2	12

Tablo 4.28: Soru 2 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	6	16	9	26	21	50	5	39
100 nm	13	34	16	46	26	62	9	69
1 nm	13	34	16	46	28	67	9	69
100 pm	14	37	16	46	28	67	9	69

Tablo 4.29: Soru 2 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	3	27	6	60	9	69	3	25
100 nm	4	36	4	40	10	77	3	25
1 nm	4	36	4	40	10	77	4	33
100 pm	6	55	4	40	10	77	4	33

Tablo 4.30: Soru 2 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	2.sınıf		3.sınıf	
	f	%	f	%
1 mm	5	38	0	0
100 nm	5	38	0	0
1 nm	5	38	0	0
100 pm	6	46	0	0

Tablo 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30 göre, çıplak göz ile klor gazı için elde edilebilecek görüntülerin çiziminde en yüksek doğru cevap oranına sahip kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencileri olmuştur.

2.soruda, 1 mm, 100 nm, 1 nm ve 100 pm kenar uzunluklarında küp şeklindeki dört kaptaki bulunan klor gazının sırasıyla optik mikroskobu ile nasıl görülebileceğine dair öğrencilerin çizimleri Tablo 4.31, 4.32, 4.33 ve 4.34’te belirtilmiştir.

Tablo 4.31: Soru 2 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin optik mikroskobu ile yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	1	9	0	0	2	10	0	0
100 nm	1	9	1	9	3	15	0	0
1 nm	1	9	1	9	3	15	0	0
100 pm	1	9	1	9	5	25	0	0

Tablo 4.32: Soru 2 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	1	3	8	23	2	5	2	15
100 nm	3	8	9	26	4	10	3	23
1 nm	4	11	9	26	4	10	3	23
100 pm	7	18	12	34	2	5	2	15

Tablo 4.33: Soru 2 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	1	9	1	10	5	39	1	8
100 nm	1	9	1	10	5	39	1	8
1 nm	1	9	1	10	4	31	1	8
100 pm	2	18	1	10	4	31	1	8

Tablo 4.34: Soru 2 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin çıplak gözle yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	2.sınıf		3.sınıf	
	f	%	f	%
1 mm	2	15	0	0
100 nm	3	23	0	0
1 nm	3	23	0	0
100 pm	3	23	0	0

Tablo 4.31, 4.32, 4.33 ve 4.34'e göre, optik mikroskop ile klor gazı için elde edilebilecek görüntülerin çiziminde en yüksek doğru cevap oranına sahip kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencileri olmuştur.

2.soruda, 1 mm, 100 nm, 1 nm ve 100 pm kenar uzunluklarında küp şeklindeki dört kaptaki bulunan klor gazının sırasıyla atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile nasıl görülebileceğine dair öğrencilerin çizimleri Tablo 4.35, 4.36, 4.37 ve 4.38'te verilmiştir.

Tablo 4.35: Soru 2 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin AFM ile yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	1	9	1	9	0	0	0	0
100 nm	0	0	0	0	0	0	0	0
1 nm	0	0	0	0	0	0	0	0
100 pm	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 4.36: Soru 2 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin AFM ile yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	2	5	4	11	2	5	2	15
100 nm	0	0	0	0	0	0	0	0
1 nm	4	11	0	0	8	19	2	15
100 pm	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 4.37: Soru 2 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin AFM ile yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
1 mm	1	9	1	10	4	31	1	8
100 nm	0	0	0	0	1	8	0	0
1 nm	0	0	1	10	1	8	4	33
100 pm	0	0	0	0	0	0	1	8

Tablo 4.38: Soru 2 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin AFM ile yaptıkları çizimlerin doğru cevap oranları.

Kenar Uzunlukları	2.sınıf		3.sınıf	
	f	%	f	%
1 mm	0	0	0	0
100 nm	0	0	0	0
1 nm	0	0	0	0
100 pm	0	0	0	0

Tablo 4.35, 4.36, 4.37 ve 4.38’de AFM ile klor gazının incelemesine dair çizimlerinde ise 1 mm ve 100 nm’de kimya öğretmenliği 3.sınıf, 1 nm ve 100 pm’de kimya öğretmenliği 4.sınıf öğrencileri en doğru çizimleri yapmıştır.

Tablo 4.39: Soru 3 için program ve sınıf düzeyinde doğru cevap oranları.

Programlar	Sınıf	f	%
Biyoloji Öğretmenliği	1.sınıf	7	63
Biyoloji Öğretmenliği	2.sınıf	4	36
Biyoloji Öğretmenliği	3.sınıf	7	35
Biyoloji Öğretmenliği	4.sınıf	4	24
Fen Bilgisi Öğretmenliği	1.sınıf	11	29
Fen Bilgisi Öğretmenliği	2.sınıf	8	23
Fen Bilgisi Öğretmenliği	3.sınıf	18	43
Fen Bilgisi Öğretmenliği	4.sınıf	7	54
Kimya Öğretmenliği	1.sınıf	5	46
Kimya Öğretmenliği	2.sınıf	7	70
Kimya Öğretmenliği	3.sınıf	3	23
Kimya Öğretmenliği	4.sınıf	5	42
Fizik Öğretmenliği	2.sınıf	5	39
Fizik Öğretmenliği	3.sınıf	2	25
Toplam		93	37

Öğrencilerin makro, mikro ve nano büyüklükteki küp şekerlerin suda çözünme hızlarını, yüzey alanı / hacim oranını ve şeker küpleri ile su arasındaki etkileşimi dikkate alınarak karşılaştırmalarına ait 3.soruya ilişkin Tablo 4.39’a göre, en çok doğru cevabı kimya öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerinin %70’i (f=7), en az doğru cevabı fen bilgisi 2.sınıf %23’ü (f=8) ve kimya öğretmenliği 3.sınıf %23’ü (f=3) vermişlerdir. Buna göre, toplamda öğrencilerin %37’si (f=93) cevaplarının doğru olduğu görülürken, doğru cevap yüzdesi en çok olan kimya öğretmenliği 2.sınıf ile biyoloji öğretmenliği 1.sınıf öğrencileri olmasına rağmen, diğer sınıflarla arasında çok büyük bir farklılık göze çarpmamıştır.

Öğrencilerin birim dönüştürme ile ilgili 4.soruya verdikleri cevapların analizi Tablo 4.40, 4.41, 4.42 ve 4.43’te verilmiştir.

Tablo 4.40: Soru 4 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin doğru cevap oranları.

Soru Şıkkı	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
A	0	0	1	9	0	0	0	0
B	1	9	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	2	18	0	0	0	0
E	1	9	0	0	0	0	2	12
F	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 4.41: Soru 4 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin doğru cevap oranları.

Soru Şıkkı	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
A	0	0	4	11	0	0	0	0
B	3	8	5	14	0	0	0	0
C	2	5	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0
E	3	8	7	20	1	2	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0
G	1	3	1	3	0	0	1	8
H	0	0	0	0	1	2	0	0
I	2	5	2	6	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0

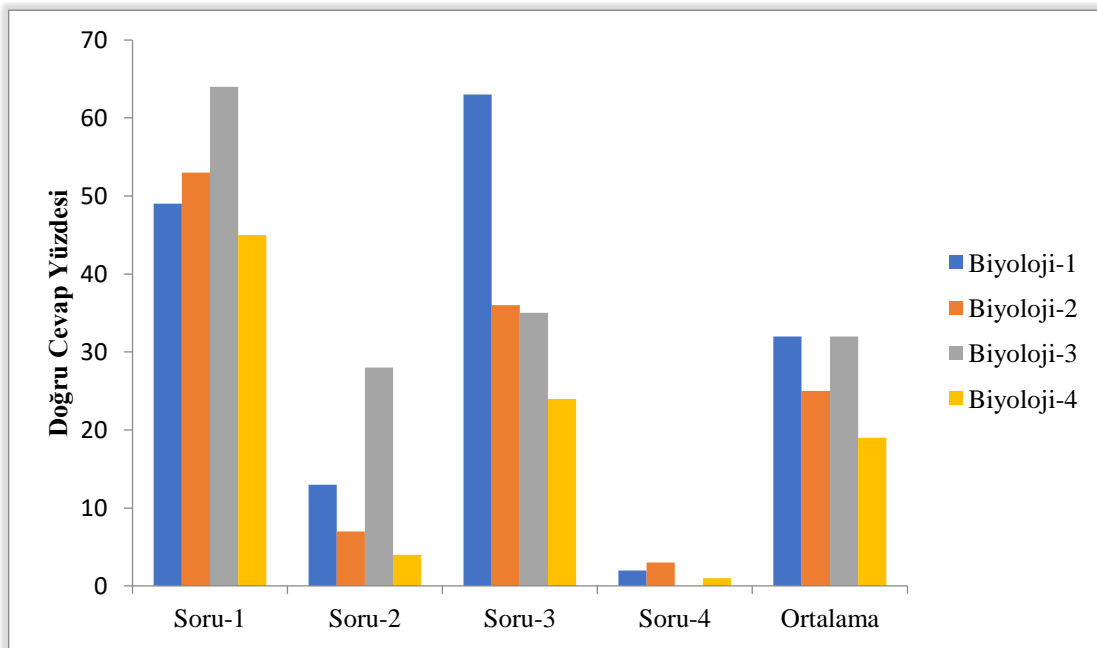
Tablo 4.42: Soru 4 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin doğru cevap oranları.

Soru Şıkkı	1.sınıf		2.sınıf		3.sınıf		4.sınıf	
	f	%	f	%	f	%	f	%
A	0	0	0	0	0	0	0	0
B	2	18	3	30	0	0	1	8
C	0	0	0	0	1	8	1	8
D	1	9	2	20	1	8	2	17
E	1	9	2	20	4	31	2	17
F	1	9	1	10	0	0	0	0
G	1	9	2	20	0	0	3	25
H	0	0	1	10	1	8	1	8
I	2	18	2	20	0	0	2	17
J	0	0	1	10	0	0	0	0

Tablo 4.43: Soru 4 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin doğru cevap oranları.

Soru Şıkkı	2.sınıf		3.sınıf	
	f	%	f	%
A	0	0	0	0
B	0	0	0	0
C	0	0	0	0
D	0	0	0	0
E	1	8	0	0
F	0	0	0	0
G	1	8	0	0
H	0	0	0	0
I	1	8	0	0
J	0	0	0	0

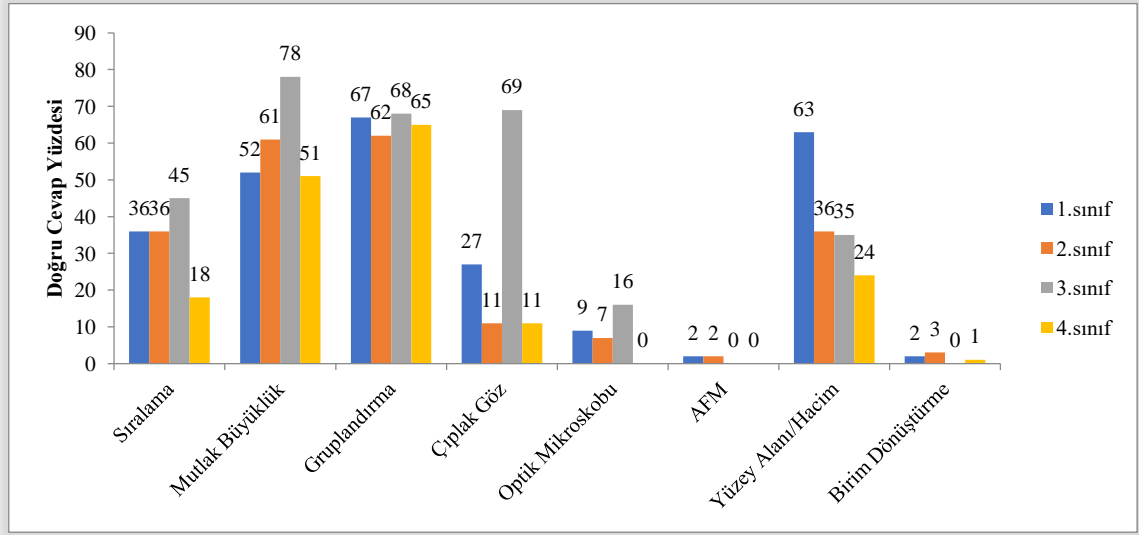
Tablo 4.40, 4.41, 4.42 ve 4.43’de 4.sorunun B, D, F, H, I ve J şıklarını kimya öğretmenliği 2.sınıf öğrencileri; C ve E şıklarını kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencileri; C ve G şıklarını kimya öğretmenliği 4.sınıf öğrencileri; A şıkkını ise fen bilgisi öğretmenliği 2.sınıf öğrencileri en yüksek oranda doğru cevap vermişlerdir. Birim dönüştürmede doğru cevap yüzdesinin tüm sınıflarda çok düşük olduğu görülmüştür. Bu durum 2.soruda farklı ölçeklerde verilen büyüklüklerin neden karıştırıldığına anlaşılmasında yardımcı olabilir.



Şekil 4.11: Biyoloji öğretmenliğinde sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri.

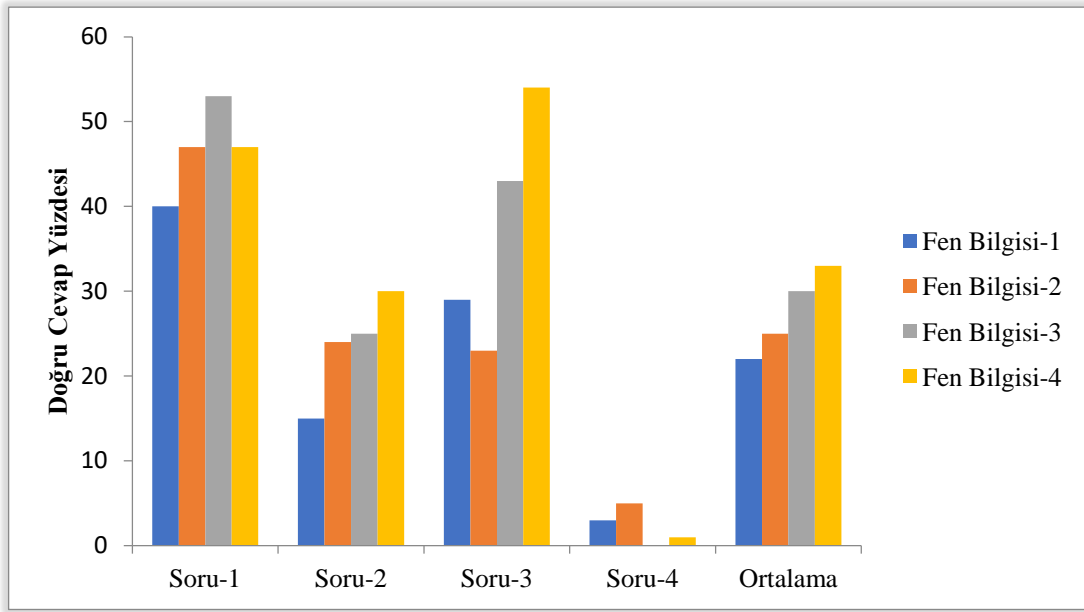
Biyoloji öğretmenliği programı öğrencilerine sorulan dört soru için, 1., 2., 3. ve 4.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdelerinin değişimi Şekil 4.11’de özetlenmiştir. Tüm test dikkate alındığında ise, 1. ve 3.sınıf öğrencilerinin tüm sorularda en çok sayıda doğru

cevap verdikleri görülürken, 1., 2. ve 3.sorularda 4.sınıf; 4.soruda ise 3.sınıf öğrencileri en az sayıda doğru cevabı veren sınıflar olmuşlardır.



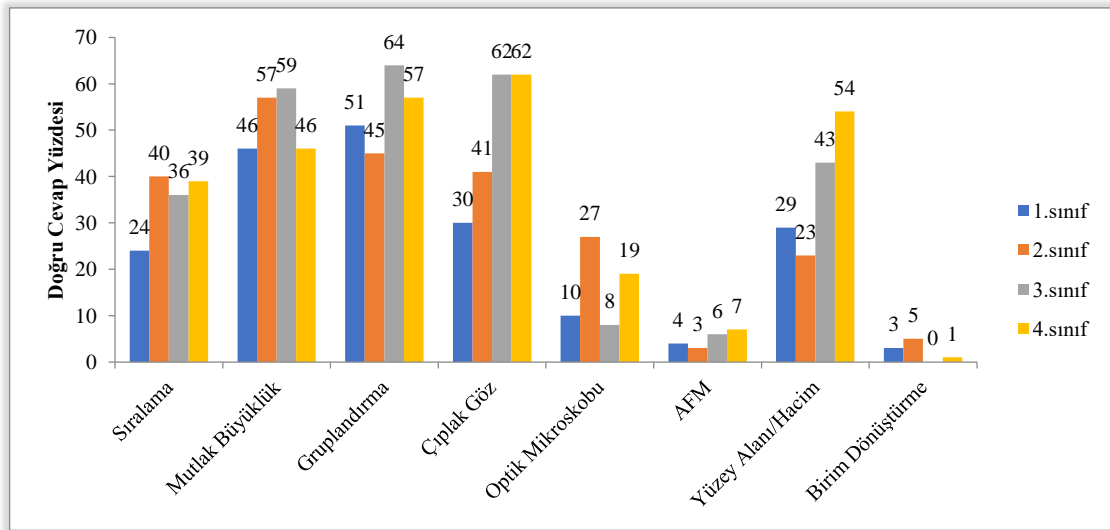
Şekil 4.12: Biyoloji öğretmenliğinde sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri.

Şekil 4.12’de ise, 4 sorunun ayrıntılı grafiği için, 1., 2, 3. ve 4.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdeleri gösterilmiştir. 3.sınıf öğrencileri, nesnelere sıralama, mutlak büyüklük ve gruplamada, klor gazının çıplak gözle, optik mikroskopu ile görülmesinde başarılı olmuştur. 1.sınıf öğrencileri yüzey alanı / hacim ilişkisinde, 2.sınıf öğrencileri ise birim dönüştürmede diğer sınıflara göre başarılı oldukları görülmüştür. Son sınıf öğrencileri ise her bir kategoride diğer sınıf öğrencilerinden düşük seviyede kalmıştır.



Şekil 4.13: Fen bilgisi öğretmenliğinde sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri.

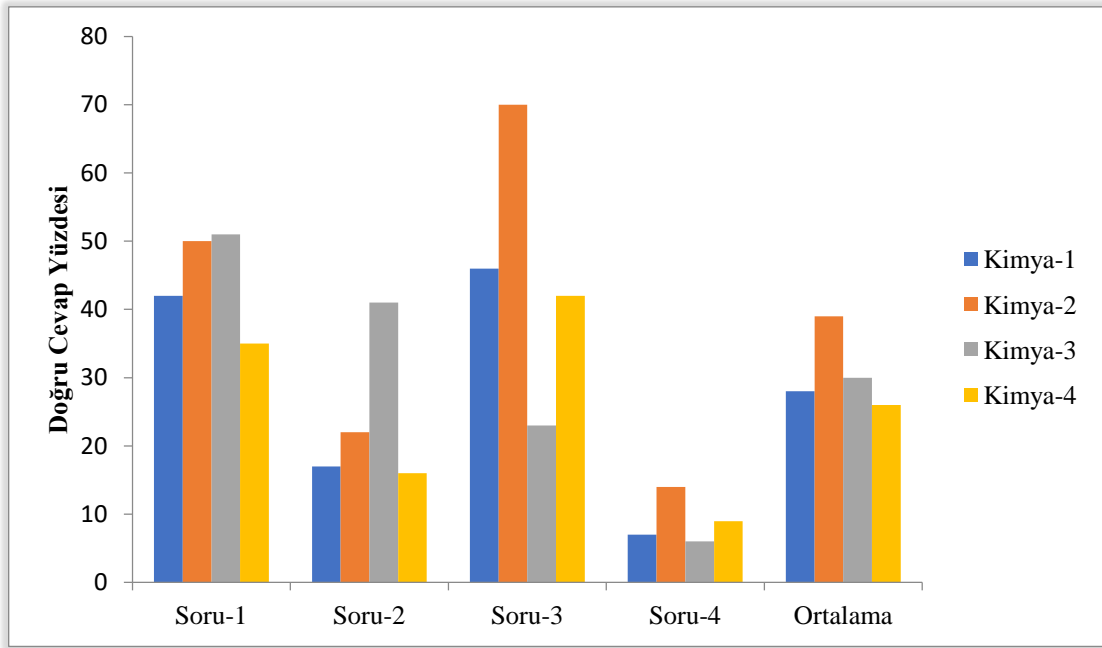
Fen Bilgisi öğretmenliği programı öğrencilerine sorulan 4 soru için, 1., 2., 3. ve 4.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdelerinin değişimi Şekil 4.13’de özetlenmiştir. Tüm test dikkate alındığında 4.sınıf öğrencilerinin tüm sorularda en çok sayıda doğru cevap verdikleri görülürken; 1.ve 2.sorularda 1.sınıf, 3.soruda 2.sınıf ve 4.soruda ise 3.sınıf öğrencileri en az sayıda doğru cevabı veren sınıflar olmuşlardır.



Şekil 4.14: Fen bilgisi öğretmenliğinde sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri.

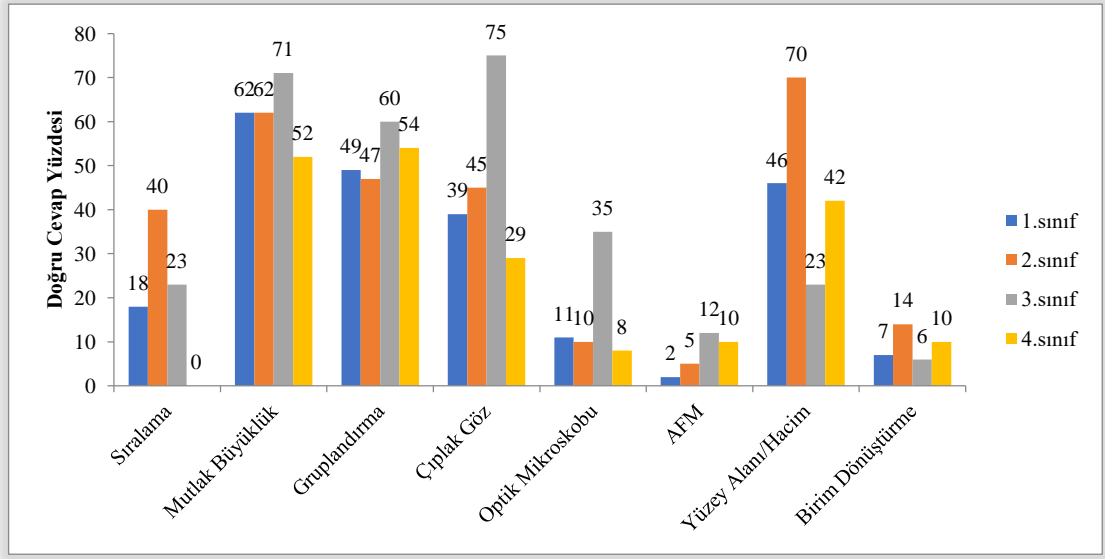
Şekil 4.14’de ise, dört sorunun kategorilere ayrılarak hazırlanmış grafikte, 1., 2., 3. ve 4.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdeleri gösterilmiştir. 3.sınıf öğrencileri,

nesnelerin mutlak büyüklüğü ve gruplandırılmasında; 2.sınıf öğrencileri, nesnelerin sıralanması, klor gazının optik mikroskobu ile görülmesi ve birim dönüştürmede; 4.sınıf öğrencileri ise, klor gazının AFM ile görülmesi ve yüzey alanı / hacim ilişkisinde başarılı olduğu görülmüştür. Ancak, 1.sınıf öğrencileri, her bir kategoride diğer sınıflardan düşük seviyede kalmıştır.



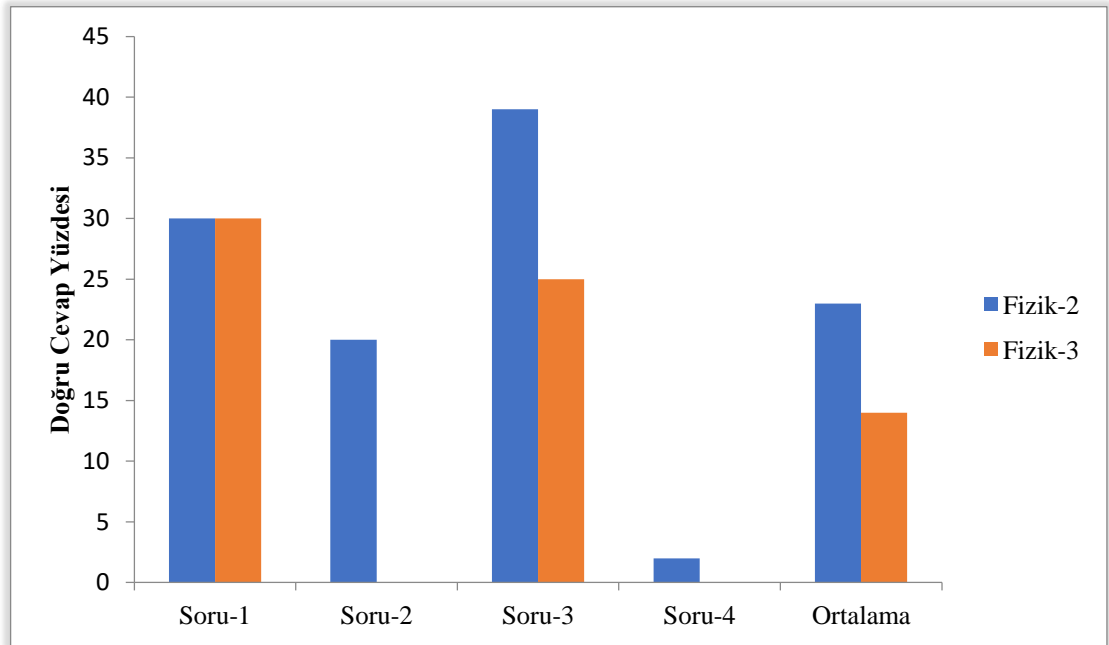
Şekil 4.15: Kimya öğretmenliğinde sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri.

Kimya öğretmenliği programı öğrencilerine sorulan 4 soru için, 1., 2., 3. ve 4.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdelerinin değişimi Şekil 4.15’de özetlenmiştir. Tüm test dikkate alındığında 2.sınıf öğrencilerinin tüm sorularda en çok sayıda doğru cevap verdikleri görülürken; birinci ve ikinci sorularda 4.sınıf, üçüncü ve dördüncü sorularda ise 3.sınıf öğrencileri en az sayıda doğru cevabı veren sınıflar olmuşlardır.



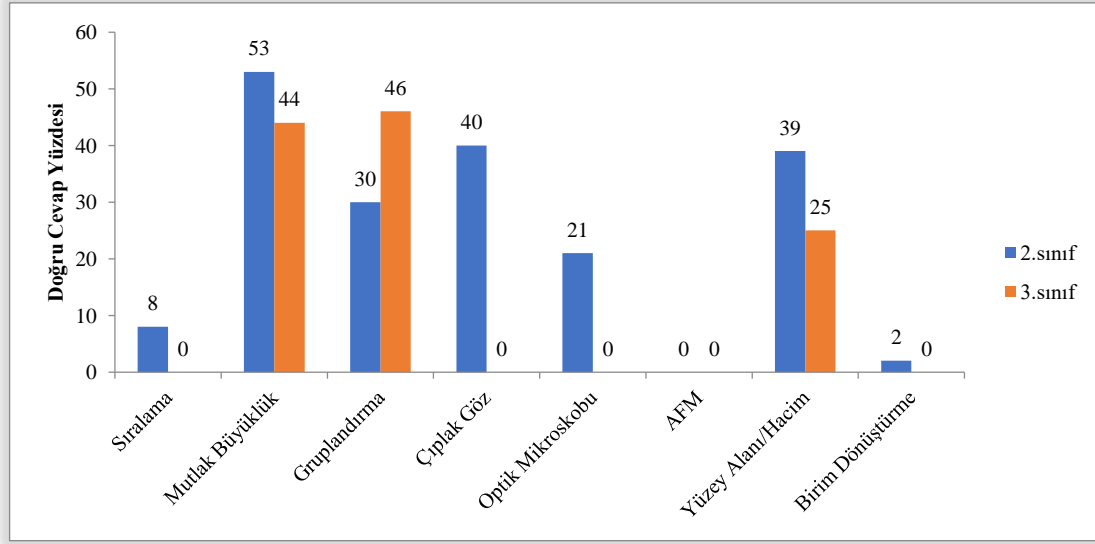
Şekil 4.16: Kimya öğretmenliğinde sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri.

Şekil 4.16’da ise, dört sorunun içindeki kategorilere göre, 1., 2., 3. ve 4.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdeleri gösterilmiştir. 3.sınıf öğrencileri, nesnelerin mutlak büyüklüğünde, gruplandırılmasında ve klor gazının çıplak gözle, optik mikroskopu ile ve AFM ile görülmesinde; 2.sınıf öğrencileri ise, nesnelerin sıralanması, yüzey alanı / hacim ilişkisi ve birim dönüştürmede başarılı olmuştur. 1. ve 4.sınıf öğrencileri ise, her bir kategoride diğer sınıf öğrencilerinden düşük seviyede kalmıştır.



Şekil 4.17: Fizik öğretmenliğinde sınıfların doğru cevap ve ortalama doğru cevap yüzdeleri.

Fizik öğretmenliği programı öğrencilerine sorulan 4 soru için, 2. ve 3.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdelerinin değişimi Şekil 4.17’de özetlenmiştir. Tüm test dikkate alındığında 2.sınıf öğrencilerinin tüm sorularda en çok sayıda doğru cevap verdikleri görülürken; 1., 2., 3. ve 4.sorularda 3.sınıf öğrencileri en az sayıda doğru cevabı veren sınıflar olmuşlardır.

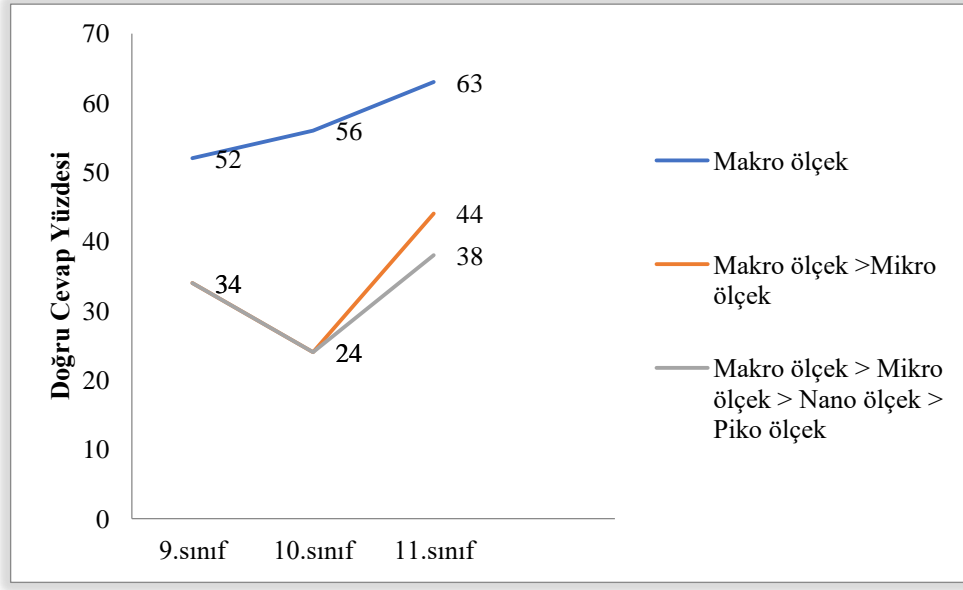


Şekil 4.18: Fizik öğretmenliğinde sınıfların doğru cevaplara ilişkin yüzdeleri.

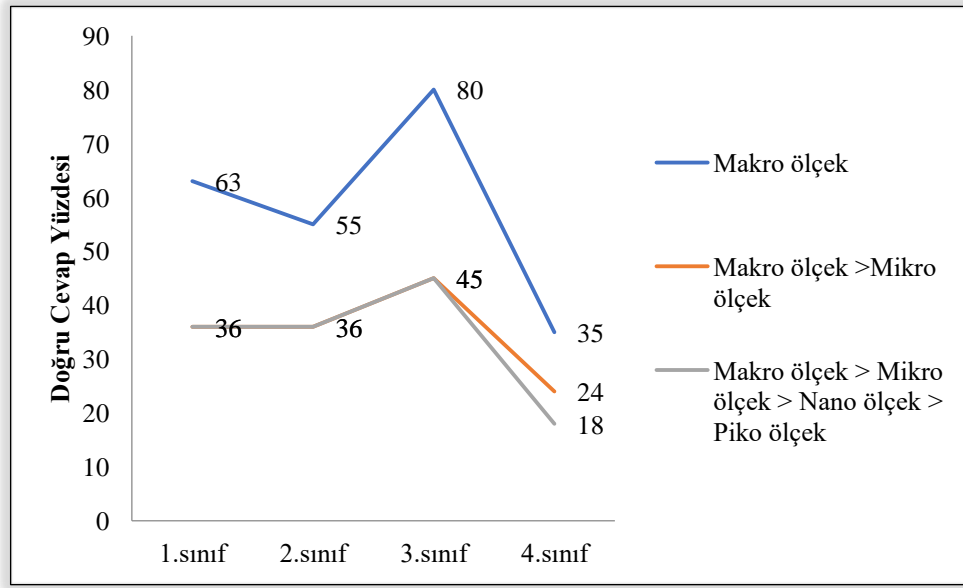
Dört sorunun oluşturduğu kategorilere göre, 2. ve 3.sınıfların vermiş oldukları doğru cevap yüzdeleri Şekil 4.18’de gösterilmiştir. 2.sınıf öğrencileri, nesnelerin sıralanmasında, mutlak büyüklüğünde, klor gazının çıplak gözle, optik mikroskopu ile görülmesinde, yüzey alanı / hacim ilişkisi ve birim dönüştürmede başarılı olmuştur. 2.sınıf öğrencileri ise, sadece nesnelere gruplamada 3.sınıf öğrencilerinden daha doğru cevap yüzdesine sahip olmuştur. Fizik öğretmenliği programındaki öğrencilerin hiç biri klor gazının AFM ile görülmesine doğru cevap verememiştir.

4.2.3 Fen Lisesi ve Lisans Programı Öğrencilerinin Kavram Bazındaki Bulguları

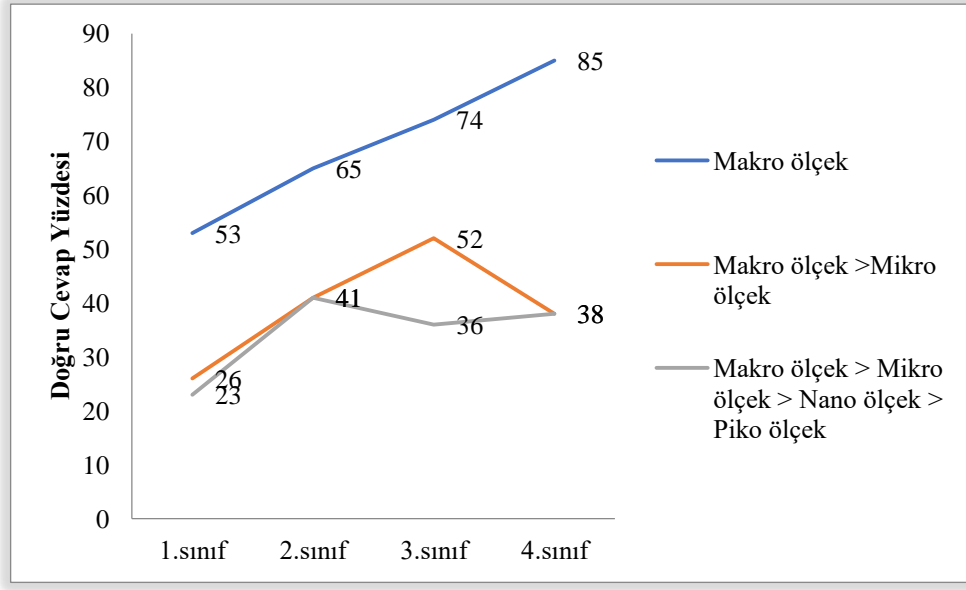
Fen lisesi ve lisans programındaki öğrencilerin Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde nesnelere sıralamaları istenildiği 1.sorunun A şıkkı ile ilgili kavramlar bazında vermiş oldukları doğru cevapların yüzdesi Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23’de verilmiştir.



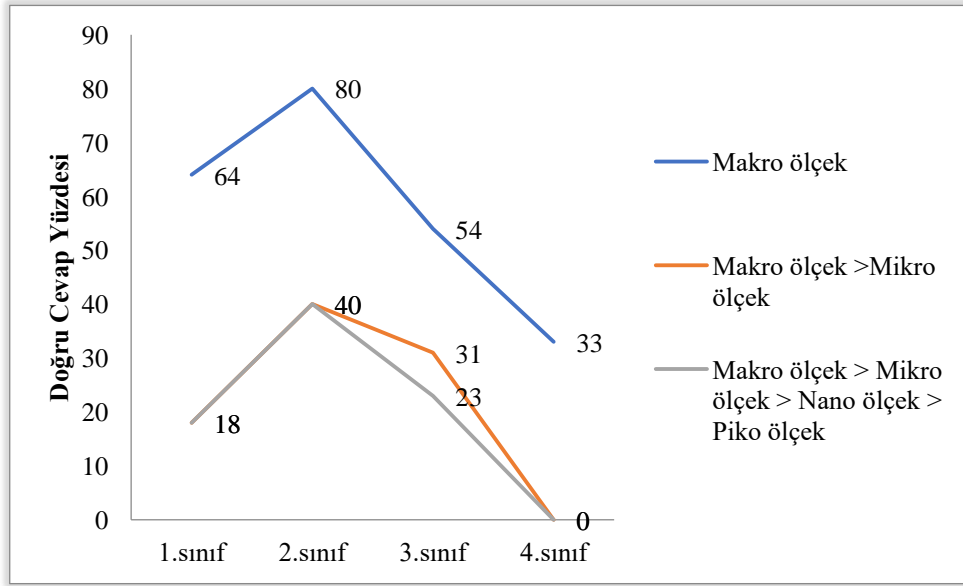
Şekil 4.19: Soru 1-A için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



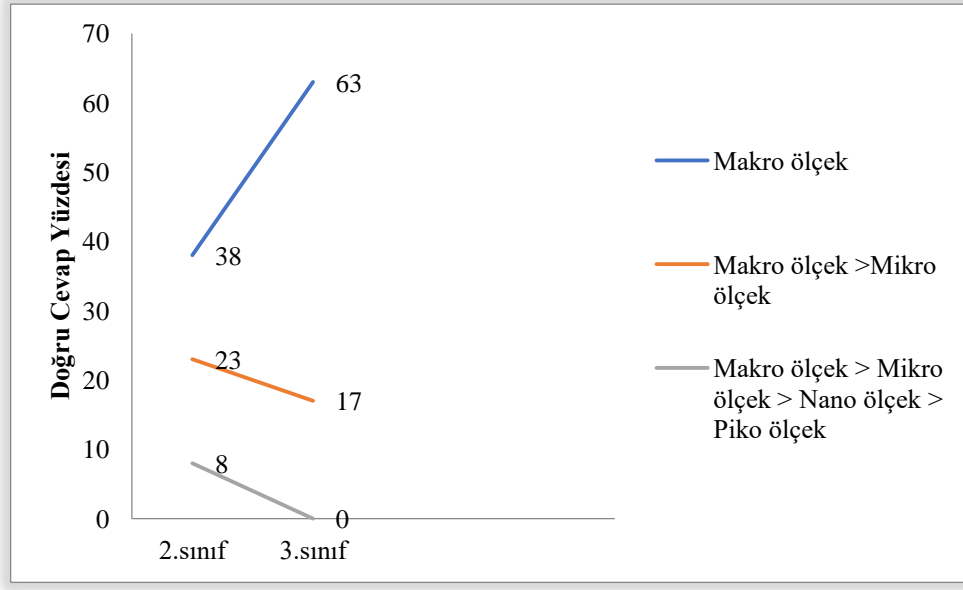
Şekil 4.20: Soru 1-A için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



Şekil 4.21: Soru 1-A için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



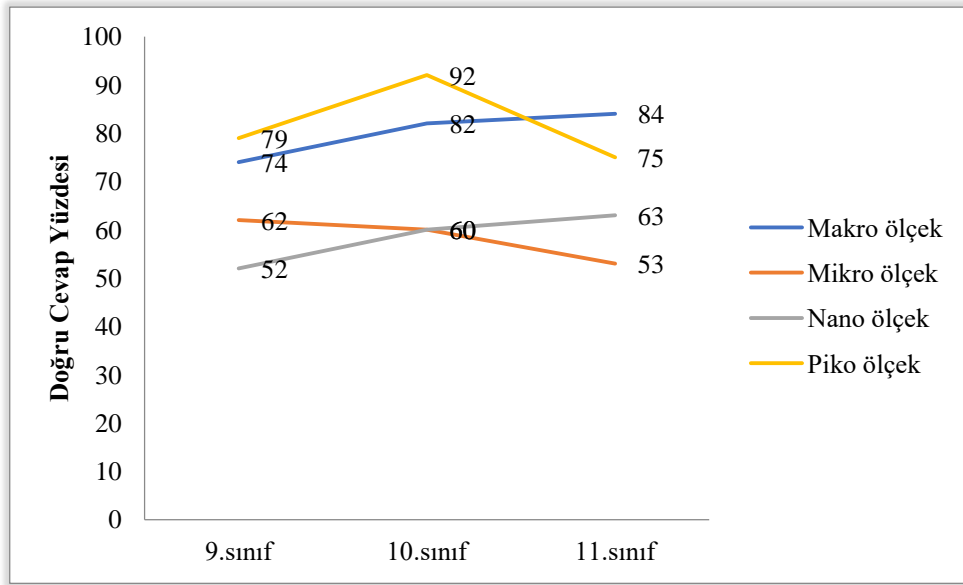
Şekil 4.22: Soru 1-A için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



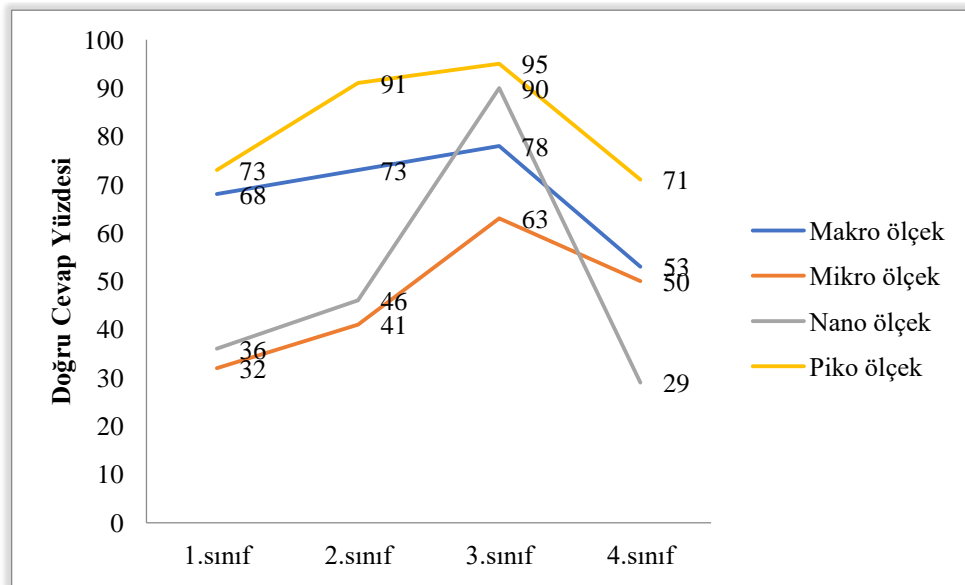
Şekil 4.23: Soru 1-A için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.

Yukarıdaki grafiklerde nesnelerin sıralamalarına ilişkin öğrencilerin doğru cevapları dikkate alındığında, makro ölçekte sıralama doğru cevap yüzdesi en çok olurken makro>mikro>nano>piko ölçekte sıralama en az olmuştur. Fen lisesi 11.sınıf, biyoloji öğretmenliği programı 3.sınıf, fen bilgisi öğretmenliği programı 4.sınıf, kimya öğretmenliği programı 2.sınıf ve fizik öğretmenliği programı 2.sınıf öğrencilerinin nesneleri sıralamada diğer sınıflara göre daha başarılı oldukları görülmüştür. Fen lisesi 9. sınıf, biyoloji öğretmenliği programı 4.sınıf, fen bilgisi öğretmenliği programı 1.sınıf, kimya öğretmenliği programı 4.sınıf ve fizik öğretmenliği programı 3.sınıf öğrencilerinin nesneleri sıralamada başarısız oldukları tespit edilmiştir.

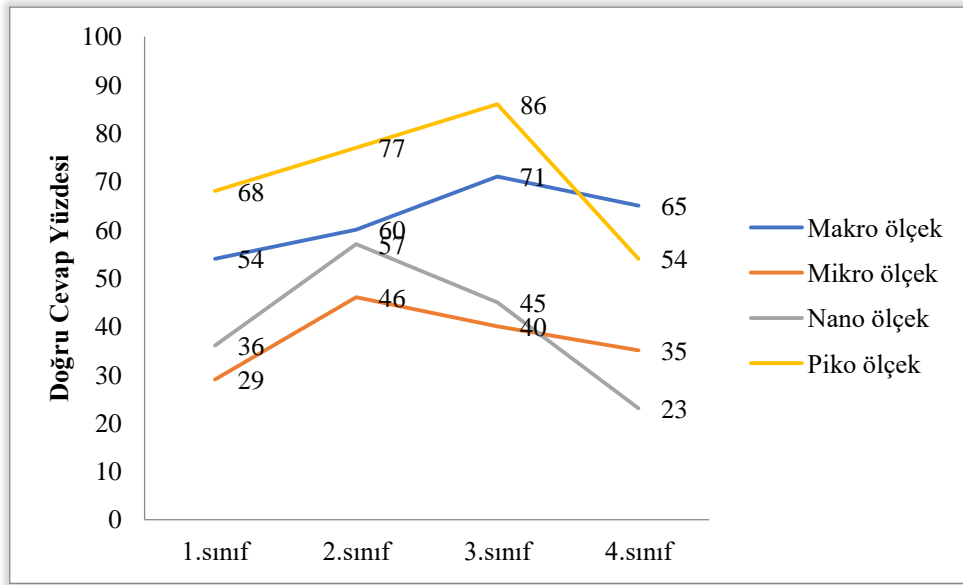
Fen lisesi ve lisans programındaki öğrencilerin Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde nesneleri mutlak büyüklükleri işaretlemeleri istenildiği 1.sorunun B şikkında kavram bazında vermiş oldukları doğru cevapların yüzdesi Şekil 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28'de verilmiştir.



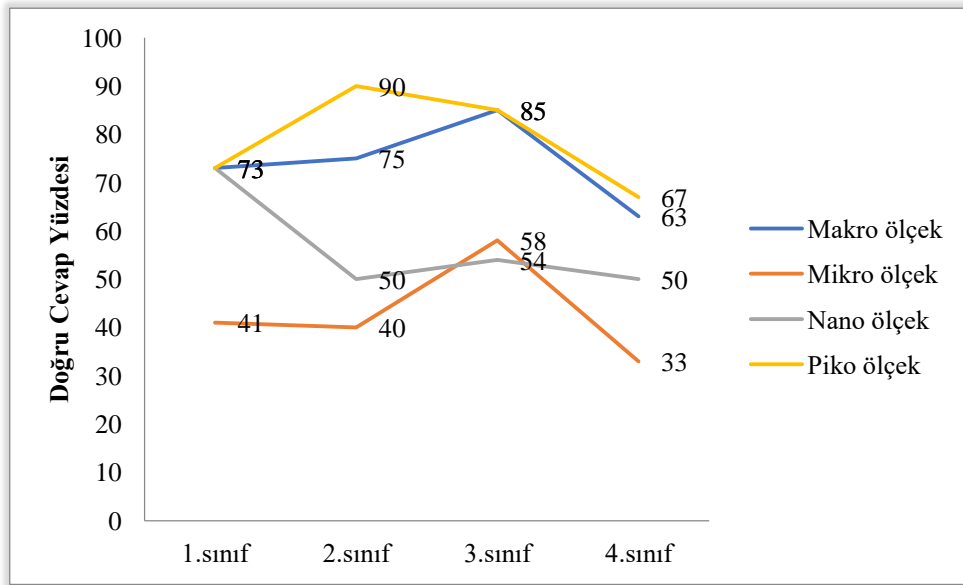
Şekil 4.24: Soru 1-B için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



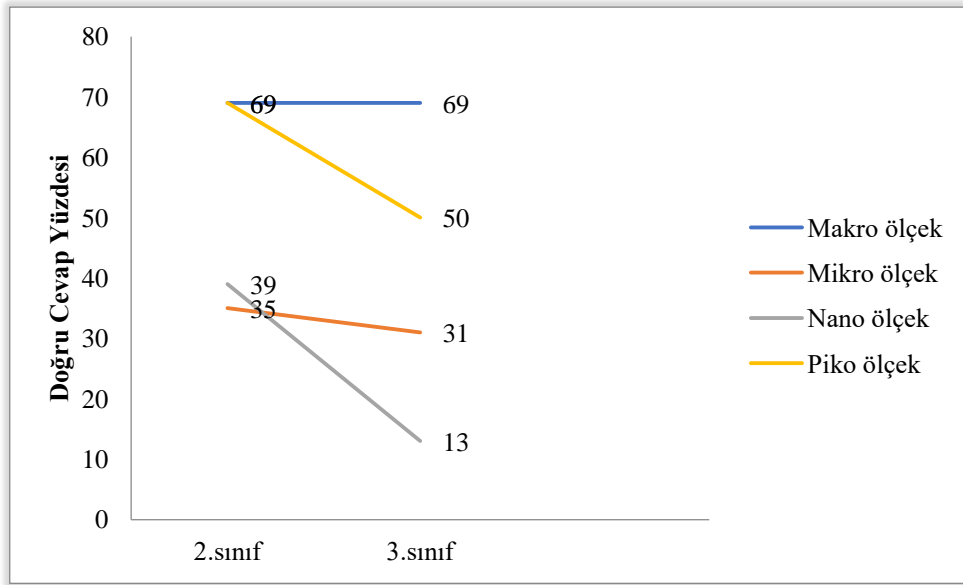
Şekil 4.25: Soru 1-B için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



Şekil 4.26: Soru 1-B için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



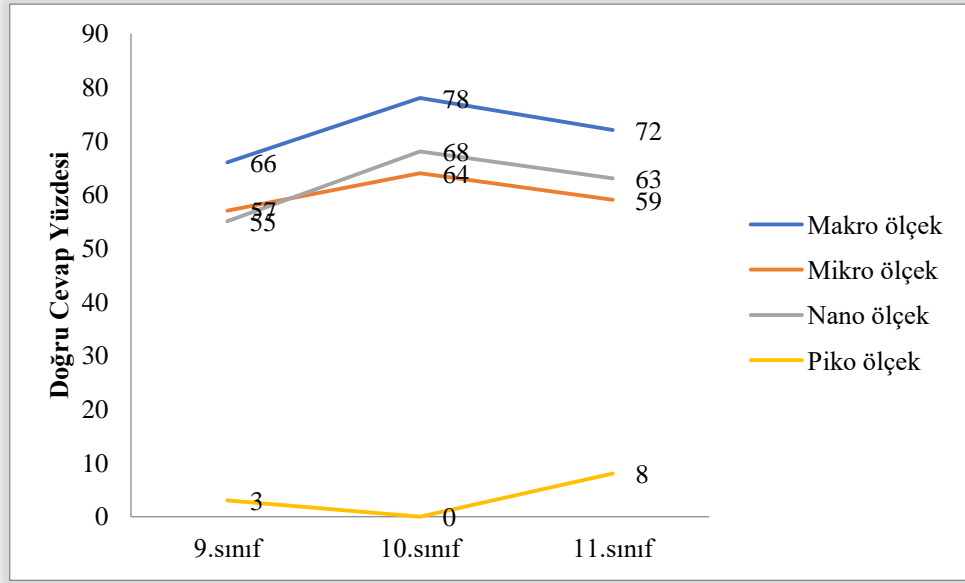
Şekil 4.27: Soru 1-B için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



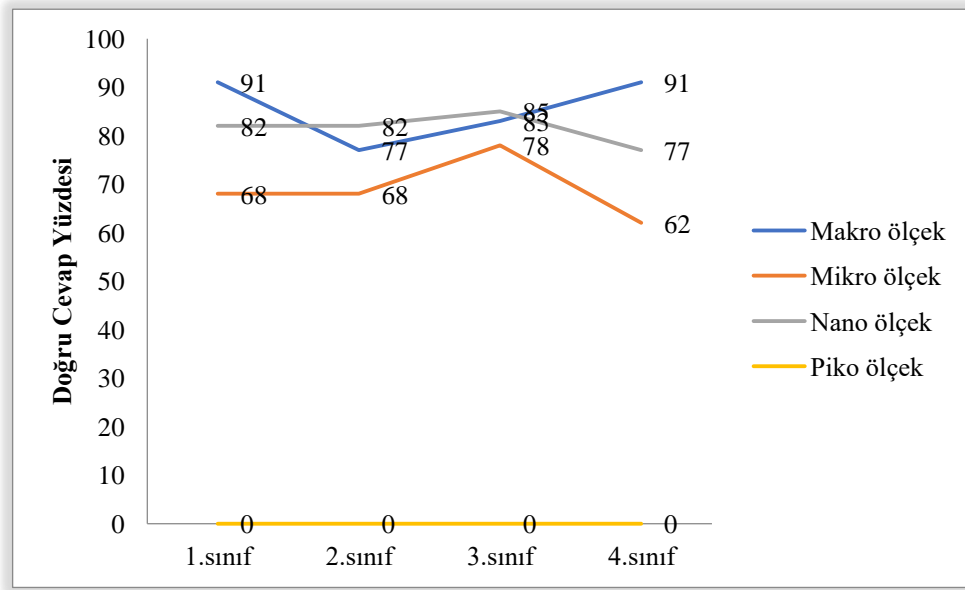
Şekil 4.28: Soru 1-B için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.

Grafiklere göre, nesnelerin mutlak büyüklüklerine ilişkin öğrencilerin doğru cevapları dikkate alındığında, piko ölçekteki hidrojen atomunun yarıçapını en fazla doğru işaretledikleri tespit edilirken; mikro ölçekte ise en az olmuştur. Piko ölçeği işaretlemeye, fen lisesi 10.sınıf, biyoloji öğretmenliği programı 3.sınıf, fen bilgisi öğretmenliği programı 3.sınıf, kimya öğretmenliği programı 2.sınıf ve fizik öğretmenliği programı 2.sınıf öğrencilerinin nesneleri mutlak büyüklüklerini tahmin etmede diğer sınıflara göre daha başarılı oldukları görülmüştür. Mikro ölçekteki mutlak büyüklükleri, fen lisesi 11.sınıf, biyoloji öğretmenliği programı 1.sınıf, fen bilgisi öğretmenliği programı 1.sınıf, kimya öğretmenliği programı 4.sınıf ve fizik öğretmenliği programı 3.sınıf öğrencilerin başarısız oldukları tespit edilmiştir.

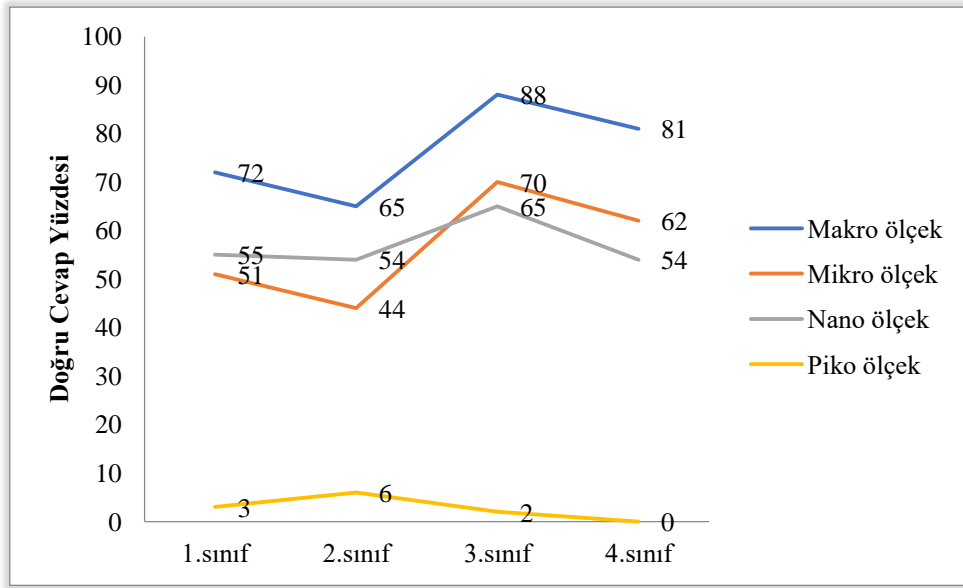
Fen Lisesi ve lisans programındaki öğrencilerin Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde nesneleri gruplamaları istenildiği 1.sorunun C şikkında kavram bazında vermiş oldukları doğru cevapların yüzdesi Şekil 4.29, 4.30, 4.31, 4.32 ve 4.33’de verilmiştir.



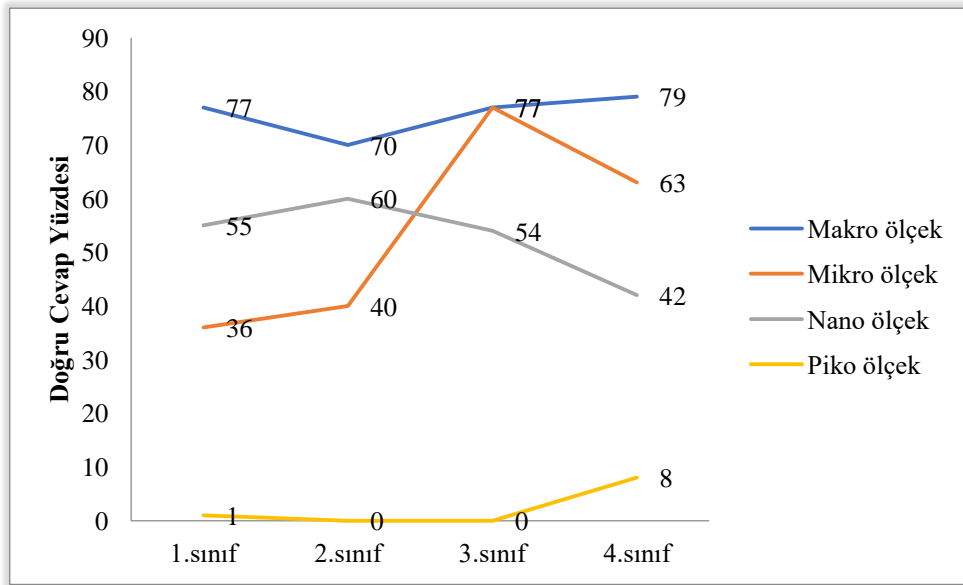
Şekil 4.29: Soru 1-C için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



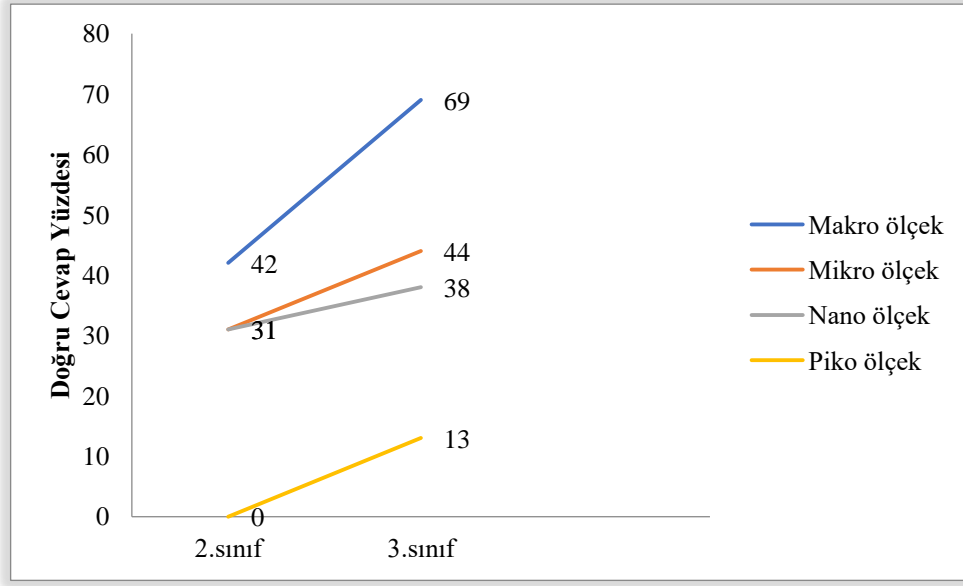
Şekil 4.30: Soru 1-C için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



Şekil 4.31: Soru 1-C için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



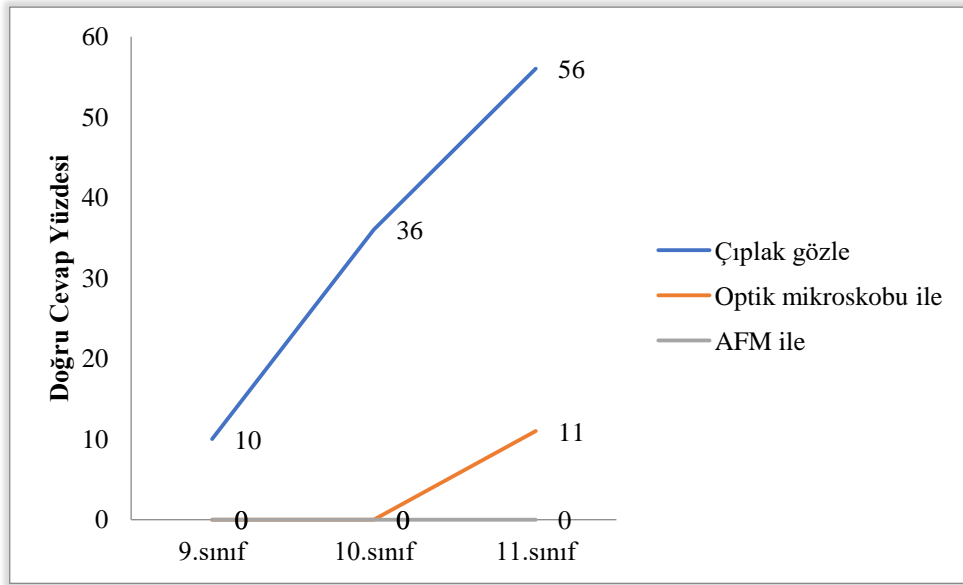
Şekil 4.32: Soru 1-C için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



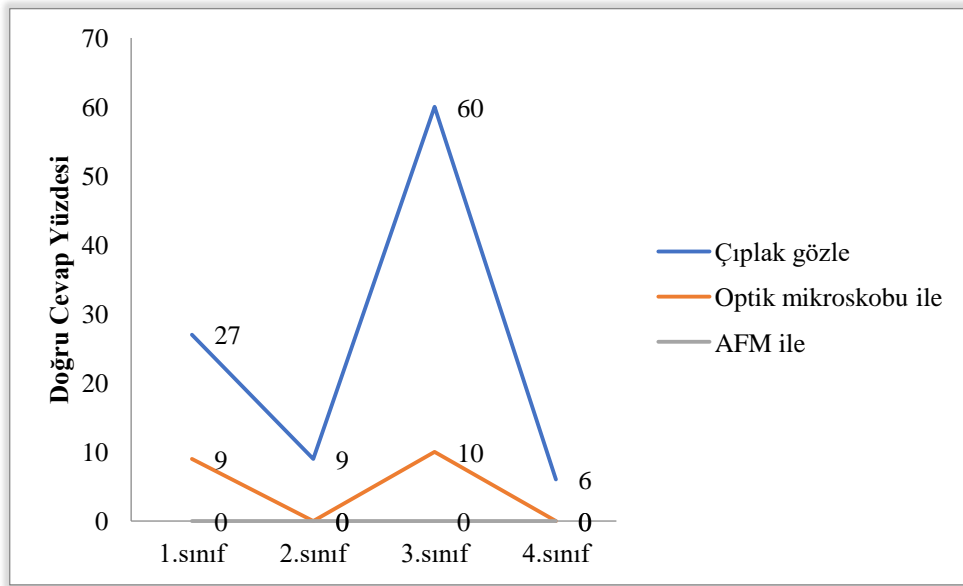
Şekil 4.33: Soru 1-C için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.

Grafiklere göre nesnelerin gruplanmasına ilişkin öğrencilerin doğru cevapları incelendiğinde, makro ölçekteki nesneleri daha doğru gruplandırırken; piko ölçekte en az olduğu tespit edilmiştir. Makro ölçeği gruplamada, fen lisesi 10.sınıf, biyoloji öğretmenliği programı 4.sınıf, fen bilgisi öğretmenliği programı 3.sınıf, kimya öğretmenliği programı 4.sınıf ve fizik öğretmenliği programı 3.sınıf öğrencilerinin nesneleri gruplamada diğer sınıflara göre daha başarılı oldukları görülmüştür. Piko ölçeği gruplamada, fen lisesi 10.sınıf, biyoloji öğretmenliği programı tüm sınıflar, fen bilgisi öğretmenliği programı 4.sınıf, kimya öğretmenliği programı 2. ve 3.sınıflar ve fizik öğretmenliği programı 2.sınıf öğrencilerin hiç doğru cevap veremedikleri tespit edilmiştir.

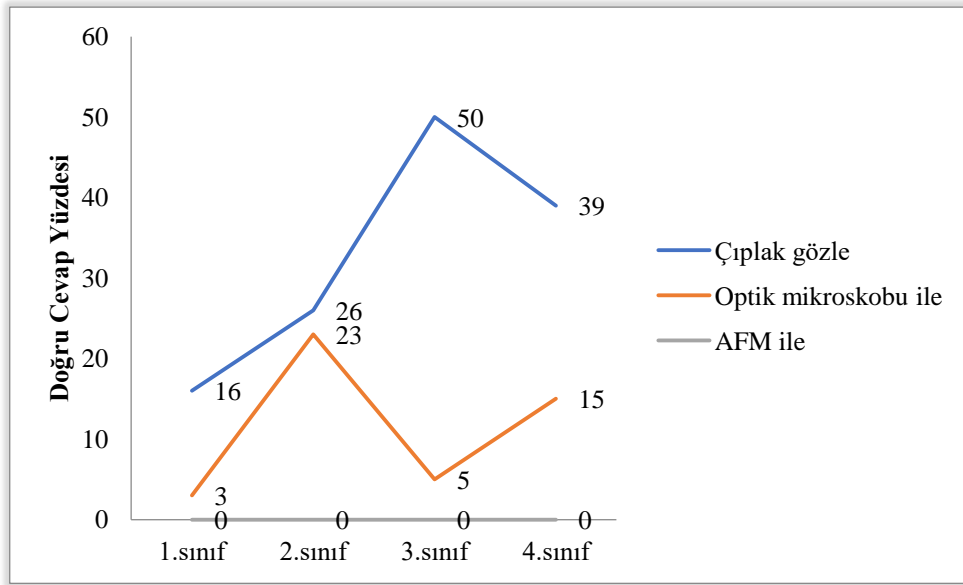
Fen lisesi ve lisans programındaki öğrencilerin Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde klor gazının göreceli ölçek yardımıyla çizim yapmaları istenildiği 2.soruda kavrama ilişkin vermiş oldukları doğru cevapların yüzdesi Şekil 4.34, 4.35, 4.36, 4.37 ve 4.38’de verilmiştir.



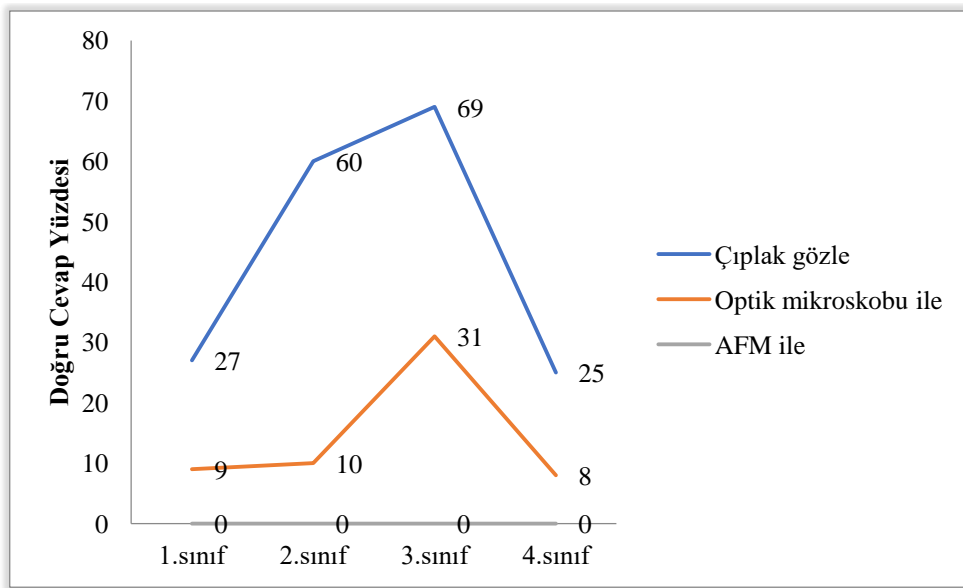
Şekil 4.34: Soru 2 için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



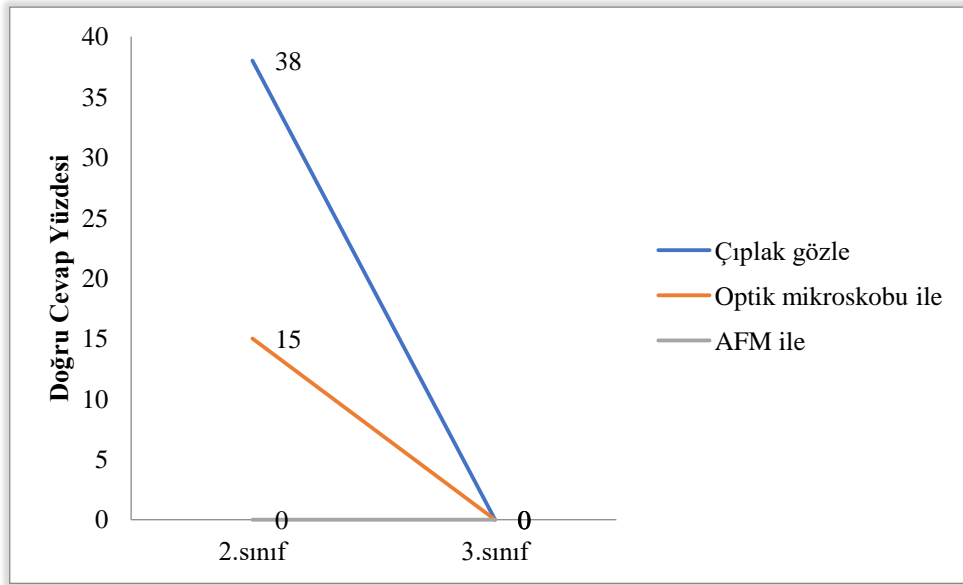
Şekil 4.35: Soru 2 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



Şekil 4.36: Soru 2 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



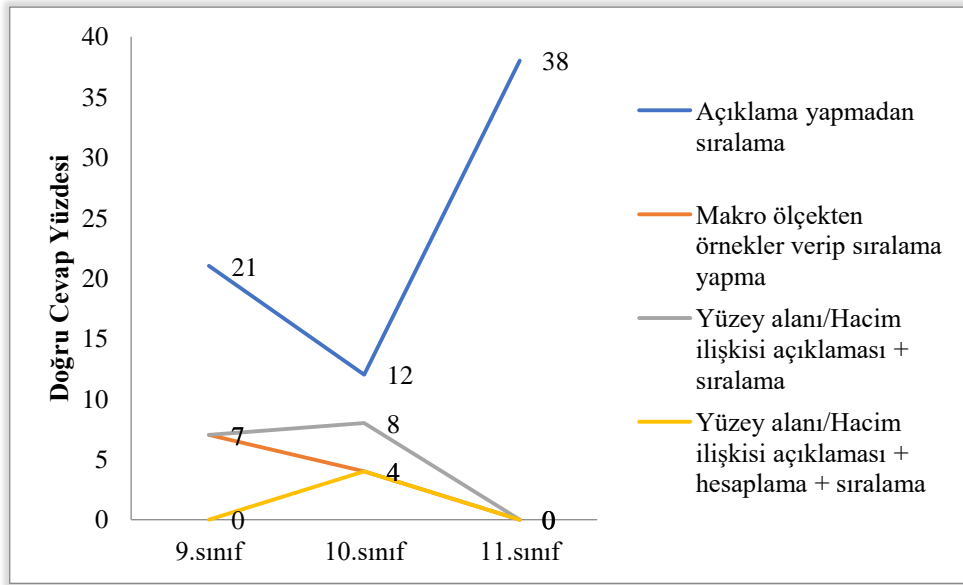
Şekil 4.37: Soru 2 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



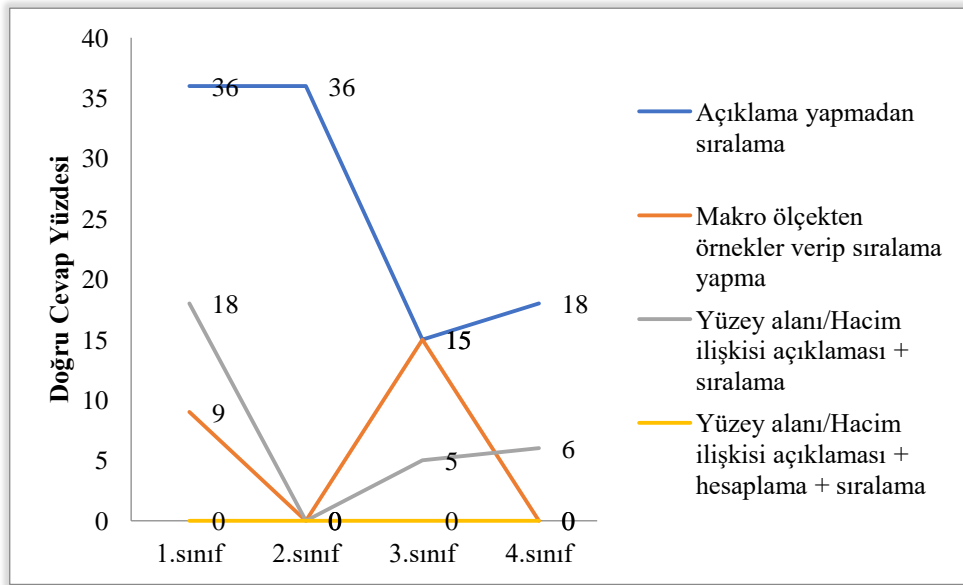
Şekil 4.38: Soru 2 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.

Grafiklerde; klor gazının göreceli büyüklükte görülmesine ilişkin öğrencilerin doğru cevapları incelendiğinde, klor gazının çıplak gözle en çok doğru çizimin; AFM ile ise en az doğru çizimin olduğu görülmüştür. Klor gazının çıplak gözle yaptıkları çizimlerine dair fen lisesi 11.sınıf, biyoloji öğretmenliği programı 3.sınıf, fen bilgisi öğretmenliği programı 3.sınıf, kimya öğretmenliği programı 3.sınıf ve fizik öğretmenliği programı 2.sınıf öğrencilerinin diğer sınıflara göre daha başarılı oldukları tespit edilmiştir. Klor gazının AFM'ye dair yaptıkları çizimlerde ise fen lisesinden ve lisans programından hiçbir öğrencinin doğru çizim yapamadıkları görülmüştür.

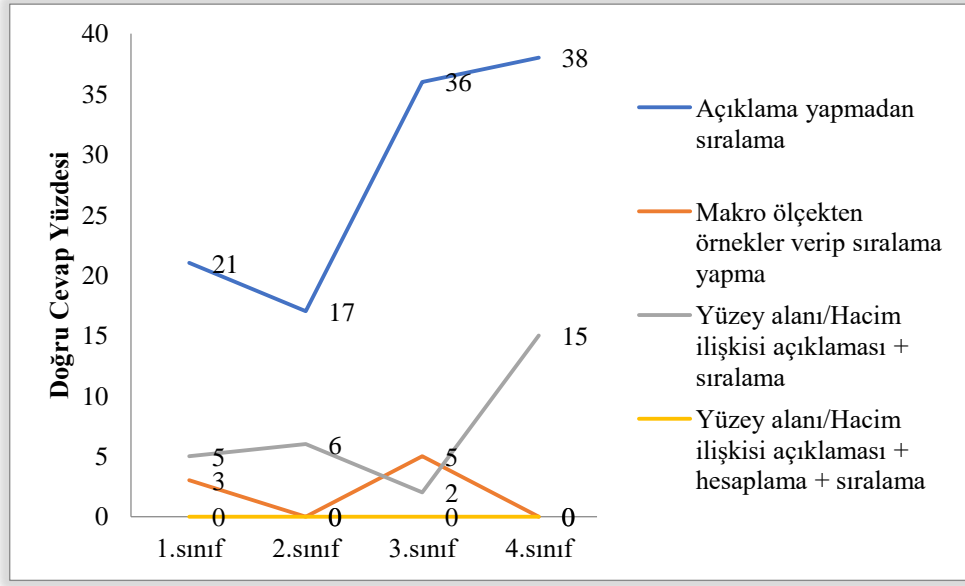
Fen lisesi ve lisans programı öğrencilerine Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde farklı kenar uzunluklarına sahip küp şekerin yüzey alanı / hacim ilişkisinin ölçüldüğü 3.sorudaki kavrama ilişkin vermiş oldukları doğru cevapların yüzdesi Şekil 4.39, 4.40, 4.41, 4.42 ve 4.43'de verilmiştir.



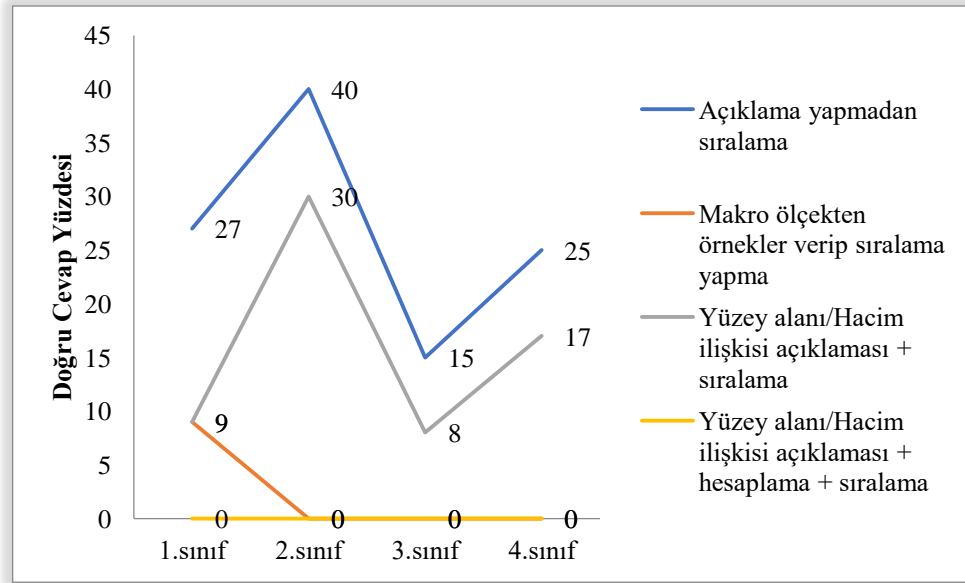
Şekil 4.39: Soru 3 için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



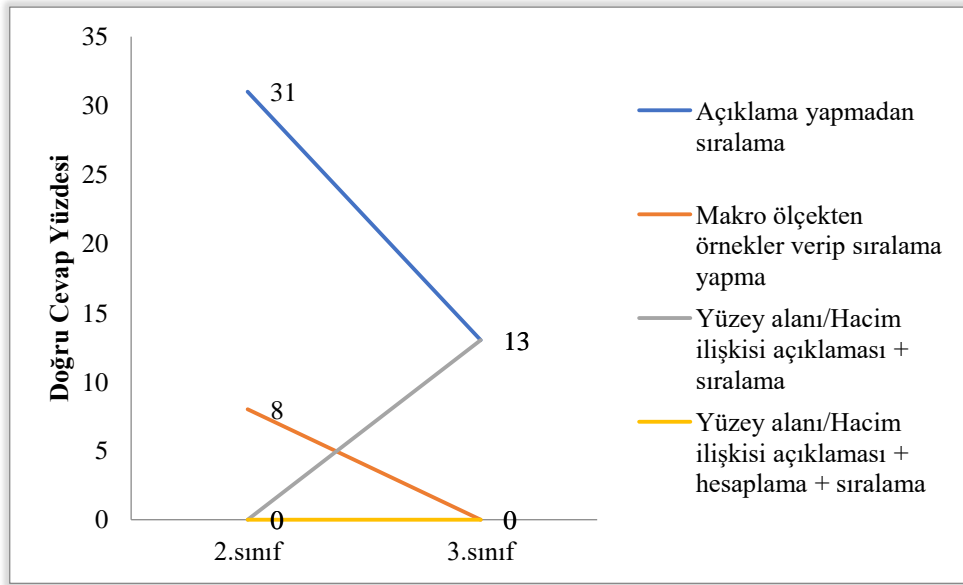
Şekil 4.40: Soru 3 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



Şekil 4.41: Soru 3 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



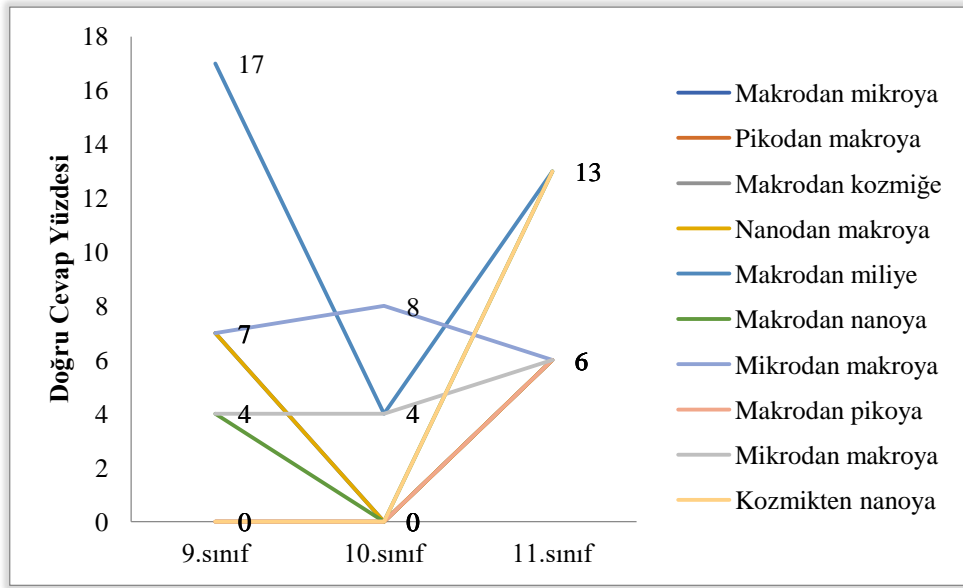
Şekil 4.42: Soru 3 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



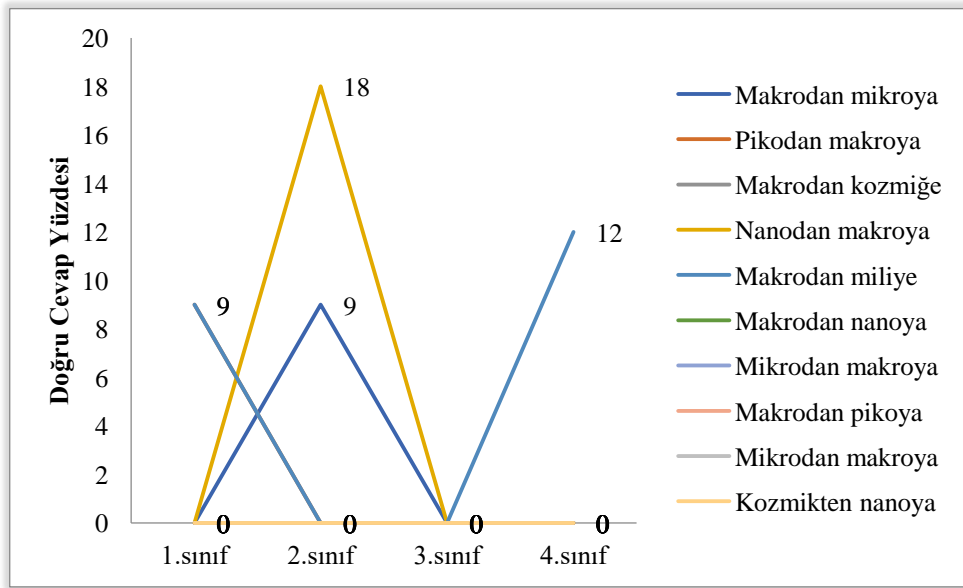
Şekil 4.43: Soru 3 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.

Grafiklerde öğrencilerin farklı kenar uzunluklarına sahip küp şekerin yüzey alanı / hacim ilişkisine dair doğru cevapları incelendiğinde, açıklama yapmadan direk sıralamayı yazanların oranı daha fazla olduğu görülürken; yüzey alanı / hacim ilişkisi ile birlikte hesaplama yapılarak sıralama en düşük seviyede kalmıştır. Açıklama yapmadan direk sıralamaya dair fen lisesi 11.sınıf, biyoloji öğretmenliği programı 2.sınıf, fen bilgisi öğretmenliği programı 4.sınıf, kimya öğretmenliği programı 2.sınıf ve fizik öğretmenliği programı 2.sınıf öğrencilerinin diğer sınıflara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fen lisesi 10.sınıftan bir öğrenci dışında ve lisans programındaki öğrencilerde dâhil olmak üzere hiçbir öğrencinin yüzey alanı / hacim ilişkisi ile birlikte hesaplama yaparak sıralamayı yapamadıkları görülmüştür.

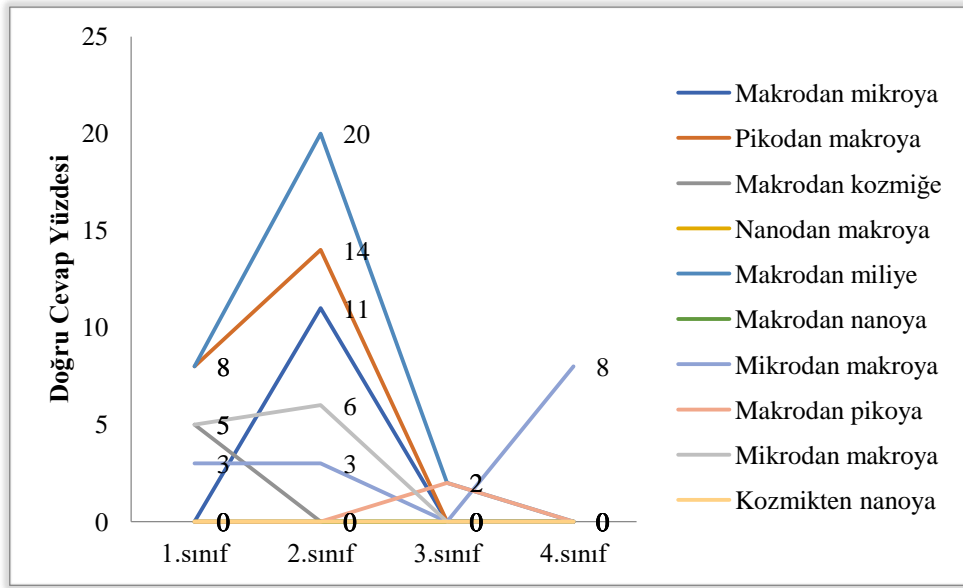
Fen lisesi ve lisans programı öğrencilerine Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testinde birim dönüştürme ile ilgili 4.sorudaki kavrama ilişkin vermiş oldukları doğru cevapların yüzdesi Şekil 4.44, 4.45, 4.46, 4.47 ve 4.48’de verilmiştir.



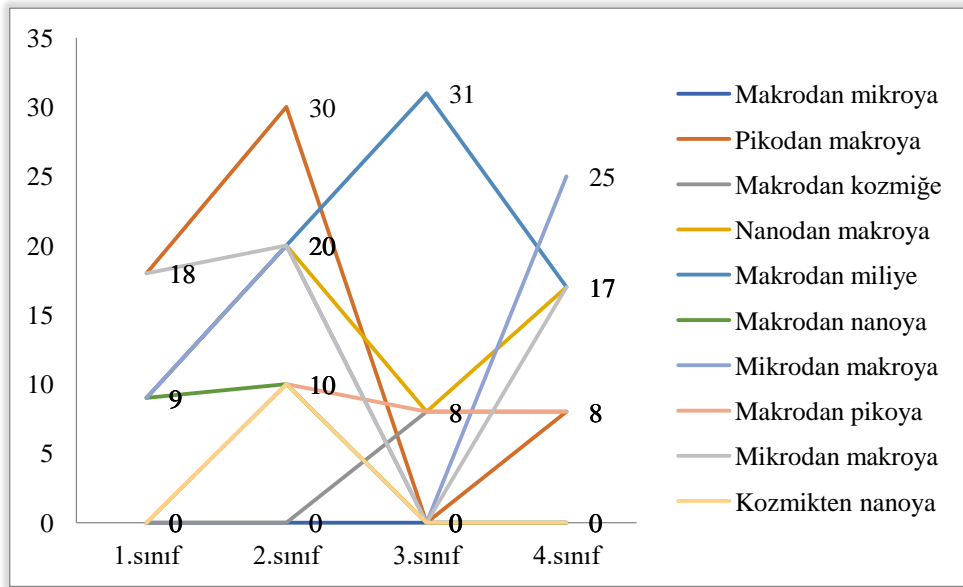
Şekil 4.44: Soru 4 için fen lisesi öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



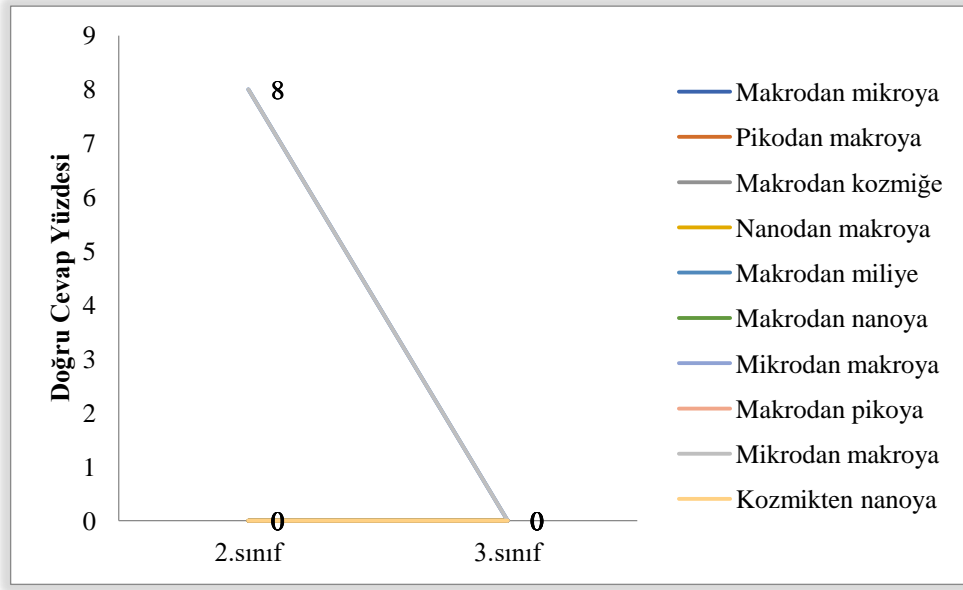
Şekil 4.45: Soru 4 için biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



Şekil 4.46: Soru 4 için fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



Şekil 4.47: Soru 4 için kimya öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.



Şekil 4.48: Soru 4 için fizik öğretmenliği öğrencilerinin kavram bazında doğru cevaplara ilişkin grafiği.

Grafiklere göre öğrencilerin birim dönüştürmelerine dair doğru cevaplara bakıldığında, makro ölçekte yapılan hesaplamaların yüzdesi daha çok olduğu görülürken; kozmik ölçekten nano ölçeğe dönüştürme hesaplaması en düşük seviyede kalmıştır. Makro ölçekte (E) yapılan hesaplamaların dair fen lisesi 9. ve 11.sınıflar, biyoloji öğretmenliği programı 2.sınıf, fen bilgisi öğretmenliği programı 2.sınıf, kimya öğretmenliği programı 2.sınıf ve fizik öğretmenliği programı 2.sınıf öğrencilerinin diğer sınıflara göre daha fazla cevap yüzdesinde sahip oldukları tespit edilmiştir. Kozmik ölçekten nanoya dönüştürmede (J) fen lisesi 11.sınıftan 2 öğrenci ve kimya öğretmenliği programı 2.sınıftan 1 öğrenci dışında fen lisesi ve lisans programındaki öğrencilerde dâhil olmak üzere hiçbir öğrencinin doğru işlem yapamadıkları görülmüştür.

4.3 Kelime İlişkilendirme Testi (KİT) ile İlgili Bulgular

“Büyüklik ve Ölçek” konusu ile ilgili Kelime İlişkilendirme Testi (KİT) Fen Lisesi öğrencileri ile Biyoloji, Fizik, Kimya ve Fen Bilgisi Öğretmenliği lisans programlarında öğrenim gören öğrencilerin vermiş oldukları cevaplar incelenerek kelime tabloları oluşturulmuş ve kavram ağı çıkarılmıştır.

4.3.1 Fen Lisesi Öğrencilerine Ait Bulgular

KİT’deki her anahtar kavram için üretilen cevap kelimelerin sayısı bu teknikteki verilerin değerlendirilmesinde kullanılan metotlardan birisidir. Bir kavramla ilişkilendirilen

kelimelerin sayısı ve niteliği o kavramın anlaşılıp anlaşılmadığını belirlemekte kullanılabilir.

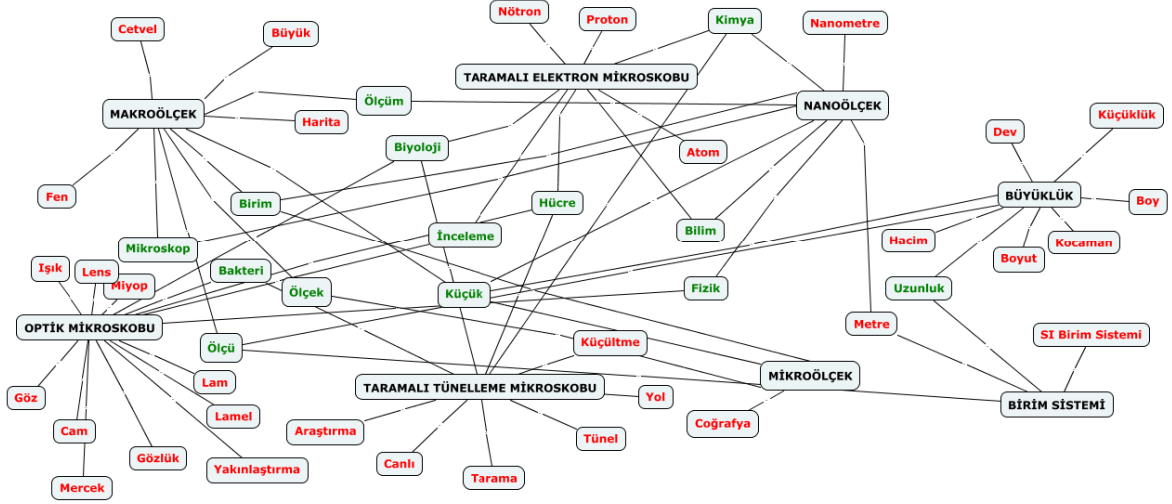
Fen lisesi öğrencilerinin KİT’te yer alan anahtar kavramlara verdikleri cevap kelime sayıları ve görülme sıklıkları frekans olarak Tablo 4.44’te verilmiştir.

Tablo 4.44: Anahtar kavramlara fen lisesi öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları.

Anahtar Kavramlar	9.Sınıf	10.sınıf	11.Sınıf
Makroölçek	92 (3.17)	82 (3.28)	53 (3.31)
Taramalı Tünelleme	89 (3.07)	129 (5.16)	46 (2.88)
Mikroskobu			
Nanoölçek	95 (3.28)	93 (3.72)	52 (3.25)
Büyüklik	85 (2.93)	102 (4.08)	67 (4.19)
Optik Mikroskobu	137 (4.72)	130 (5.20)	69 (4.31)
Taramalı Tünelleme			
Mikroskobu	73 (2.52)	63 (2.52)	25 (1.56)
Mikroölçek	75 (2.59)	79 (3.16)	40 (2.50)
Birim Sistemi	49 (1.69)	70 (2.80)	25 (1.56)
TOPLAM	695 (23.97)	748 (29.92)	377 (23.56)

Bu çalışmada 10.sınıf öğrencileri 748 adet kelime ile en fazla kelime kullanan sınıf, 11.sınıf öğrencileri ise 377 kelime ile en az kelime kullanan sınıf olmuştur. En çok sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram optik mikroskobu (336), en az sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram ise birim sistemi (144) olarak belirlenmiştir.

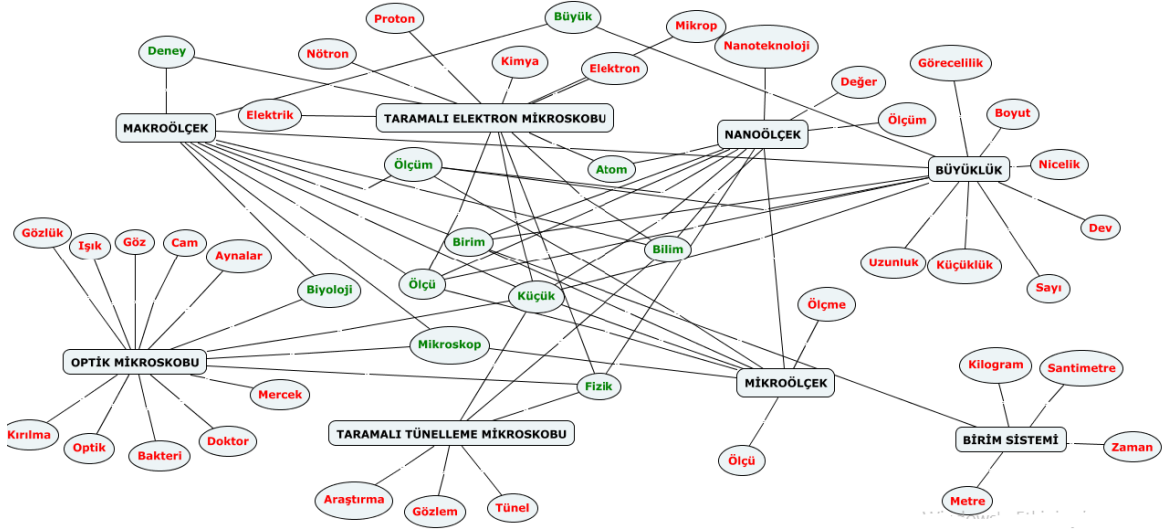
Tablo 4.44’deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fen lisesi 9.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.49). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısından dolayı kesme noktası 3 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.1’de verilmiştir.



Şekil 4.49: Fen lisesi 9.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.49'deki fen lisesi 9.sınıf öğrencilerinin optik mikroskopu, taramalı tünelleme mikroskopu, büyüklük ve mikro ölçek ile küçük; taramalı elektron mikroskopu, taramalı tünelleme mikroskopu ve nanoölçek ile kimya; makroölçek, mikroölçek ve nanoölçek ile birim; optik mikroskopu, taramalı elektron mikroskopu ve taramalı tünelleme mikroskopu ile biyoloji; makroölçek, büyüklük ve birim sistemi ile ölçü kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Ayrıca, mikroölçek, makroölçek ve nanoölçek ile küçük, taramalı elektron mikroskopu ile atom; büyüklük ile boyut; optik mikroskopu ile cam ve gözlük; taramalı tünelleme mikroskopu ile biyoloji; birim sistemi ile metre kelimeleri kavramlara yazılmıştır. Öğrencilerin en çok kelimeyi optik mikroskopu kavramına, en az kelimeyi ise birim sistemi kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

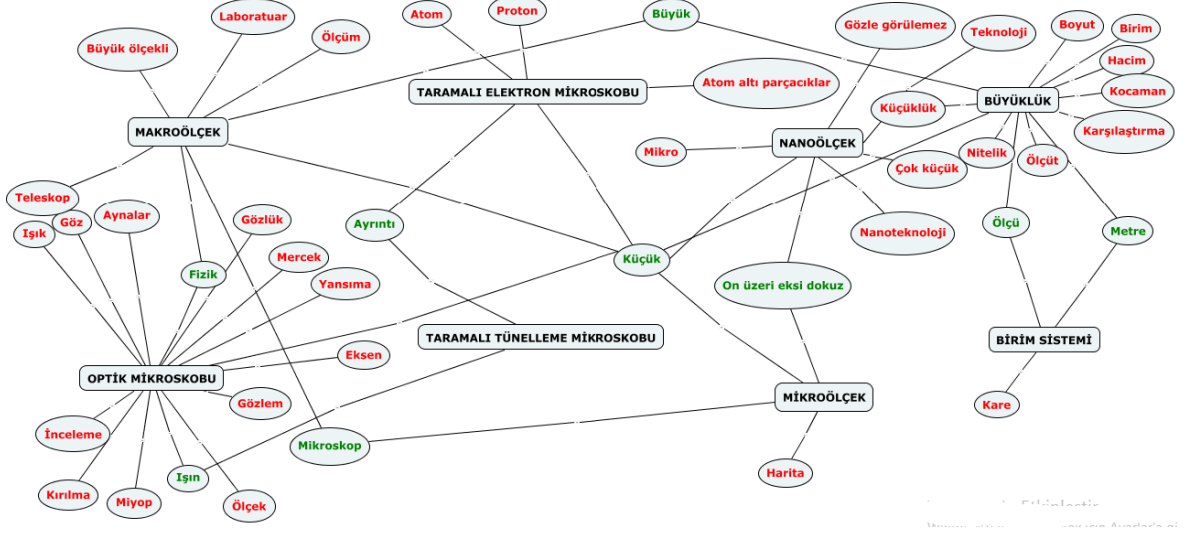
Tablo 4.44'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fen lisesi 10.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.50). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısından dolayı kesme noktası 3 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.2'de verilmiştir.



Şekil 4.50: Fen lisesi 10.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.50'ye göre, fen lisesi 10.sınıf öğrencilerinin makroölçek, nanoölçek, büyüklük, optik mikroskopu ve mikroölçek ile küçük; mikro ölçek, büyüklük, nano ölçek ve makro ölçek kavramları ile ölçüm; makroölçek, nanoölçek ve taramalı elektron mikroskopu ile bilim; makroölçek, nanoölçek ve Mikroölçek ile birim; makroölçek, nanoölçek ve taramalı elektron mikroskopu, mikroölçek ve büyüklük ile ölçü; makroölçek, mikro ölçek ve optik mikroskopu ile mikroskop; optik mikroskopu, nanoölçek, taramalı tünelleme mikroskopu ve taramalı elektron mikroskopu ile fizik kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Ayrıca, makroölçek ile büyük, taramalı elektron mikroskopu ile proton; nanoölçek ve mikroölçek ile küçük; optik mikroskopu ile gözlük; taramalı tünelleme mikroskopu ile araştırma; birim sistemi ile metre kelimeleri en çok yazılmıştır. Öğrencilerin en çok kelimeyi taramalı elektron mikroskopu ile optik mikroskopu kavramına, en az kelimeyi ise taramalı tünelleme mikroskopu kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

Tablo 4.44'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fen lisesi 11.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.51). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısından dolayı kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.3'te verilmiştir.



Şekil 4.51: Fen lisesi 11.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.51'e göre, fen lisesi 11.sınıf öğrencilerinin makroölçek ile büyük, büyük ölçekli, küçük ve mikroskop; taramalı elektron mikroskobu ile atom, küçük ve proton; mikro ölçek ve nano ölçek kavramları ile küçük; büyüklük kavramı ile boyut; optik mikroskobu ile ışık; taramalı tünelleme mikroskobu ile ayrıntı; birim sistemi ile metre, kare ve ölçü kelimeleri en çok yazılmıştır. Ayrıca, makroölçek, taramalı tünelleme mikroskobu, nanoölçek, büyüklük, optik mikroskobu ve mikroölçek ile küçük; makroölçek ve büyüklük ile büyük; makroölçek ve mikroölçek ile mikroskop; makroölçek ve optik mikroskobu ile fizik; taramalı elektron mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobu ile ayrıntı; nanoölçek ve mikroölçek ile on üzeri eksi dokuz; büyüklük ve birim sistemi ile ölçü; optik mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobu ile ışın; büyüklük ve birim sistemi ile metre en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi taramalı elektron mikroskobu ile optik mikroskobu kavramına, en az kelimeyi ise taramalı tünelleme mikroskobu kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

Fen lisesi 9.sınıf öğrencilerinin kavram ağında "kimya" kelimesini makroölçek, mikro ölçek, nano ölçek, taramalı tünelleme mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskobu ile en çok ilişkilendirilmiştir. Ancak, coğrafya ve lejant gibi kelimelerde makroölçek ve mikro ölçek ile ilişkilendirilmesi öğrencilerin bu kavramları coğrafya dersinde de gördüklerini işaret etmektedir. 10.sınıf ve 11.sınıf öğrencilerinin, ortaya çıkan kavram ağlarında "küçük" kavramını makroölçek, mikro ölçek, nano ölçek, büyüklük, taramalı tünelleme mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskobu ile ilişkilendirdikleri tespit edilmiştir. Ayrıca, 11.sınıf öğrencileri en az anahtar kavramlarla

kelimelerin ilişkilendirildiği sınıf olmuştur. Bu durum sınıf mevcudunun en az olmasından dolayı kaynaklanmış olması muhtemeldir.

4.3.2 Biyoloji Öğretmenliği Öğrencilerine Ait Bulgular

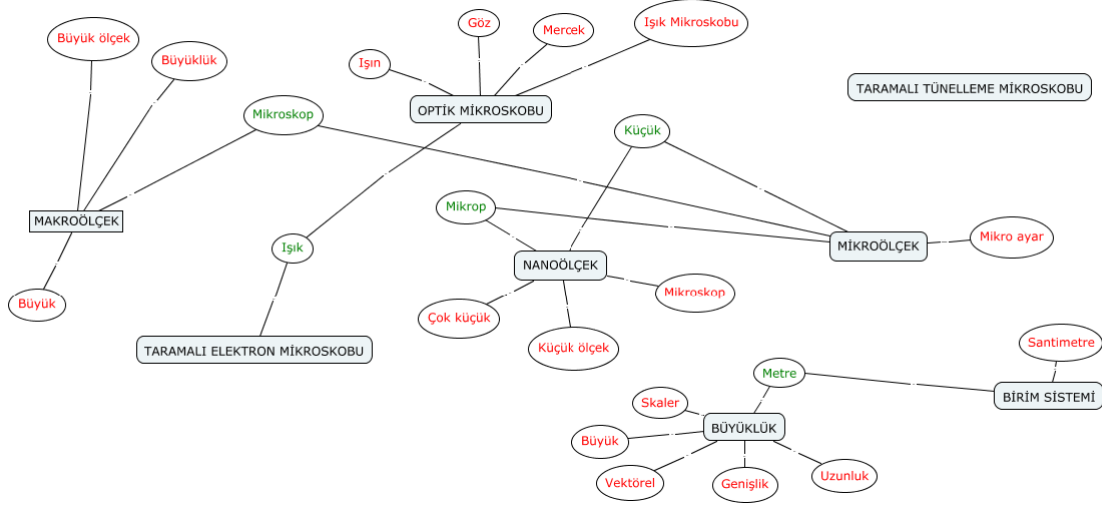
Biyoloji öğretmenliği programı öğrencilerinin KİT’te yer alan anahtar kavramlara verdikleri cevap kelime sayıları ve görülme sıklıkları frekans olarak Tablo 4.45’te verilmiştir.

Tablo 4.45: Anahtar kavramlara biyoloji öğretmenliği öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları.

Anahtar Kavramlar	1.Sınıf	2.sınıf	3.Sınıf	4.sınıf
Makroölçek	25 (2.27)	21 (1.91)	51 (2.55)	36 (2.12)
Taramalı Tünelleme Mikroskobu	26 (2.36)	22 (2.00)	49 (2.45)	50 (2.94)
Nanoölçek	30 (2.73)	17 (1.55)	38 (1.90)	29 (1.71)
Büyüklik	39 (3.55)	30 (2.73)	42 (2.10)	51 (3.00)
Optik Mikroskobu	39 (3.55)	33 (3.00)	53 (2.65)	53 (3.12)
Taramalı Tünelleme Mikroskobu	15 (1.36)	18 (1.64)	35 (1.75)	36 (2.12)
Mikroölçek	26 (2.36)	27 (2.45)	41 (2.05)	42 (2.47)
Birim Sistemi	23 (2.10)	19 (1.73)	39 (1.95)	46 (2.71)
TOPLAM	203 (18.45)	187 (17.00)	309 (15.45)	343 (20.18)

Tablo 4.45’e göre, biyoloji öğretmenliği 4.sınıf öğrencileri 343 adet kelime ile en fazla kelime kullanan sınıf, 2.sınıf öğrencileri ise 187 adet kelime ile en az kelime kullanan sınıf olmuştur. En çok sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram optik mikroskobu (178), en az sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram ise taramalı tünelleme mikroskobu (104) olarak tespit edilmiştir.

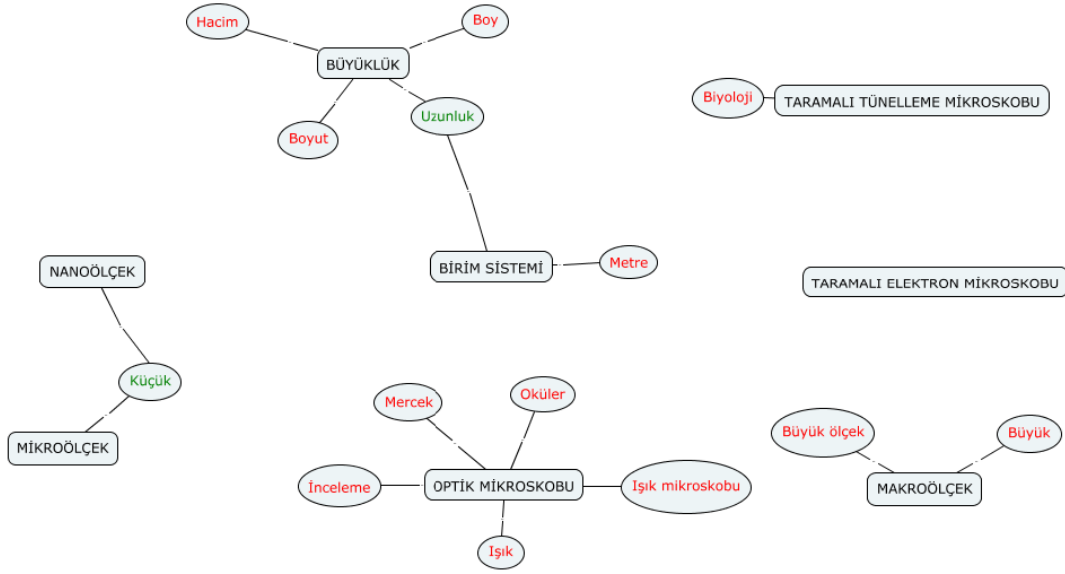
Tablo 4.45’deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili biyoloji öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.52). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısından dolayı kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.4’de verilmiştir.



Şekil 4.52: Biyoloji öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.52'ye göre, biyoloji öğretmenliği programı 1.sınıf öğrencilerinin nano ölçek ve mikro ölçek ile mikrop ve küçük; makroölçek ve mikro ölçek ile mikroskop; optik mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile ışık; birim sistemi ve büyüklük ile metre kelimeleri en çok yazılan kelimelerdir. Ayrıca, makroölçek ve mikroölçek ile mikroskop; nanoölçek ve mikroölçek ile küçük ve mikrop; büyüklük ve birim sistemi ile metre; optik mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile ışık kelimeleri kavramlarla en çok ilişkilendirilen kelimeler olmuştur. Öğrenciler en çok kelimeyi optik mikroskobu ve büyüklük kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobuna yazdıkları görülmüştür.

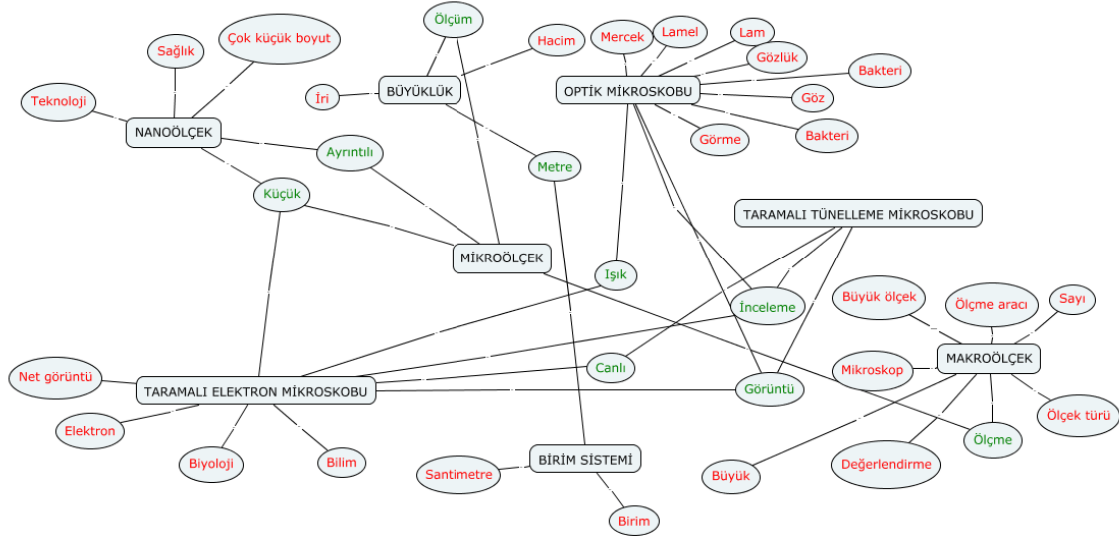
Tablo 4.45'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili biyoloji öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.53). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.5'de verilmiştir.



Şekil 4.53: Biyoloji öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.53'e göre, biyoloji öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerinin büyüklük ve birim sistemi ile uzunluk; nanoölçek ve mikroölçek ile küçük kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelime olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi optik mikroskobu kavramına, en az kelimeyi de nano ölçek kavramına yazdıkları görülürken taramalı tünelleme mikroskobu hakkında hiç kelime yazılmadığı tespit edilmiştir.

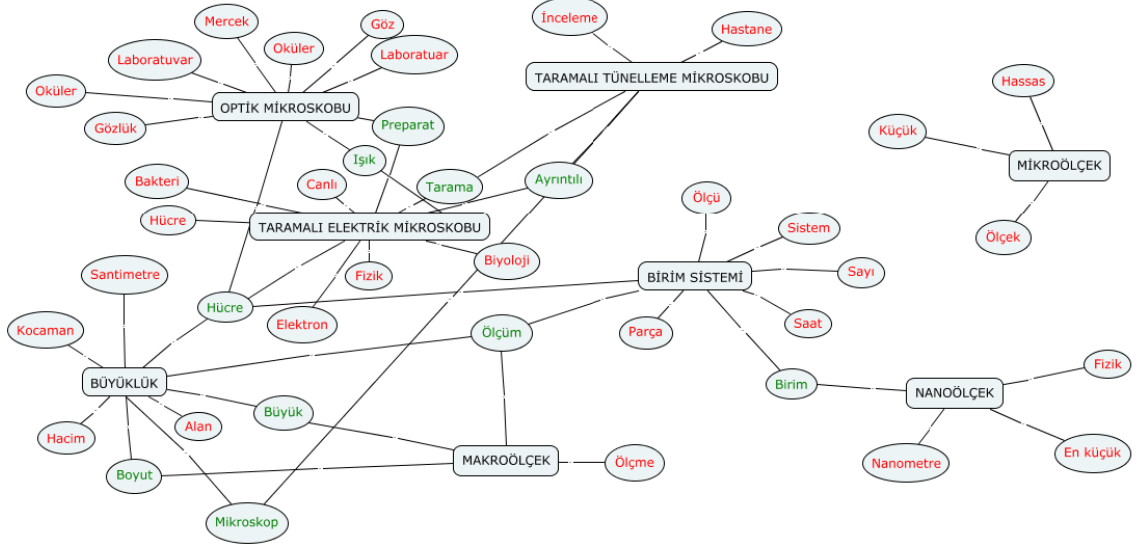
Tablo 4.45'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.54). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.6'da verilmiştir.



Şekil 4.54: Biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağı.

Şekil 4.54'e göre, biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin büyüklük ve mikro ölçek ile ölçüm; nano ölçek ve mikro ölçek ile ayrıntılı; nano ölçek, mikro ölçek ve taramalı elektron mikroskobu ile küçük; birim sistemi ve büyüklük ile metre; optik mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile ışık; optik mikroskobu, taramalı tünelleme mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile inceleme; taramalı tünelleme mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile canlı ve görüntü; makroölçek ve mikro ölçek ile ölçme kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi optik mikroskobu kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobuna yazdıkları görülmüştür.

Tablo 4.45'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili biyoloji öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.55). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.7'de verilmiştir.



Şekil 4.55: Biyoloji öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.55'e göre, biyoloji öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerinin büyüklük ve makroölçek ile büyük ve boyut; büyüklük, makroölçek ve birim sistemi ile ölçüm; optik mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile preparat ve ışık; optik mikroskobu, birim sistemi ve büyüklük ile hücre; taramalı tünelleme mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile tarama ve ayrıntılı; birim sistemi ve nanoölçek ile birim kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi optik mikroskobu kavramına, en az kelimeyi de nano ölçek kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

4.3.3 Fen Bilgisi Öğretmenliği Öğrencilerine Ait Bulgular

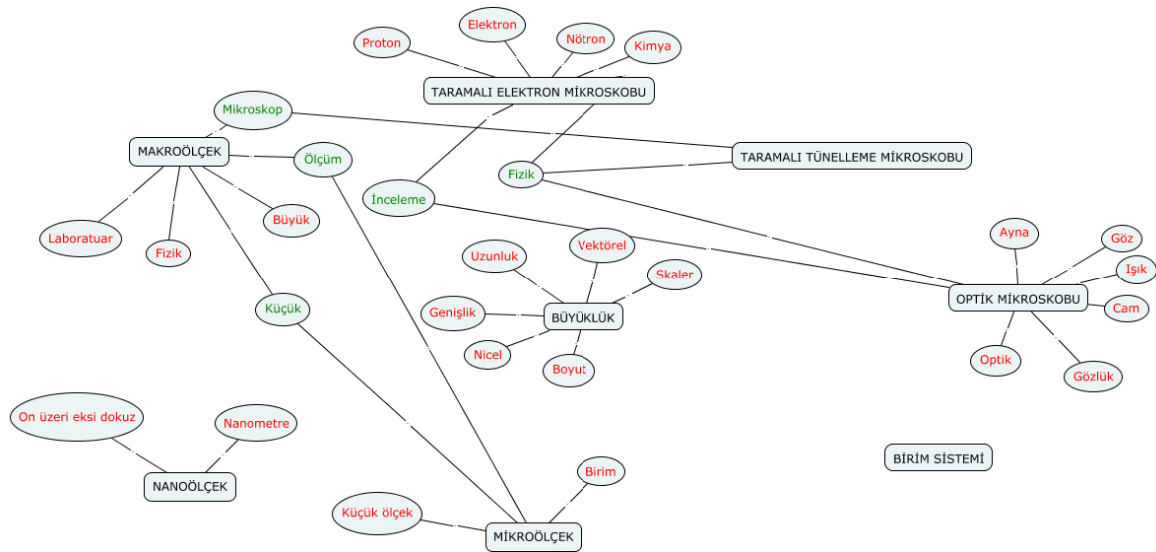
Fen bilgisi öğretmenliği programı öğrencilerinin KİT'te yer alan anahtar kavramlara verdikleri cevap kelime sayıları ve görülme sıklıkları frekans olarak Tablo 4.46'da verilmiştir.

Tablo 4.46: Anahtar kavramlara fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları.

Anahtar Kavramlar	1.Sınıf	2.sınıf	3.Sınıf	4.sınıf
Makroölçek	88 (2.32)	137 (3.91)	113 (2.69)	52 (4.00)
Taramalı Tünelleme Mikroskobu	98 (2.58)	132 (3.77)	91 (2.17)	39 (3.00)
Nanoölçek	82 (2.16)	104 (2.97)	98 (2.33)	47 (3.62)
Büyüklik	108 (2.84)	120 (3.43)	146 (3.48)	61(4.69)
Optik Mikroskobu	107 (2.82)	147 (4.20)	134 (3.19)	53 (4.08)
Taramalı Tünelleme Mikroskobu	66 (1.74)	91 (2.60)	79 (1.88)	29 (2.23)
Mikroölçek	93 (2.45)	117 (3.34)	139 (3.31)	60 (4.62)
Birim Sistemi	69 (1.82)	96 (2.74)	108 (2.57)	48 (3.69)
TOPLAM	711 (18.71)	944 (26.97)	908 (21.62)	389 (29.92)

Tablo 4.46'ya göre, fen bilgisi öğretmenliği 2.sınıf öğrencileri 944 adet kelime ile en fazla kelime kullanan sınıf, 4.sınıf öğrencileri ise 389 adet kelime ile en az kelime kullanan sınıf olmuştur. En çok sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram optik mikroskobu (441), en az sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram ise taramalı tünelleme mikroskobu (265) olarak tespit edilmiştir.

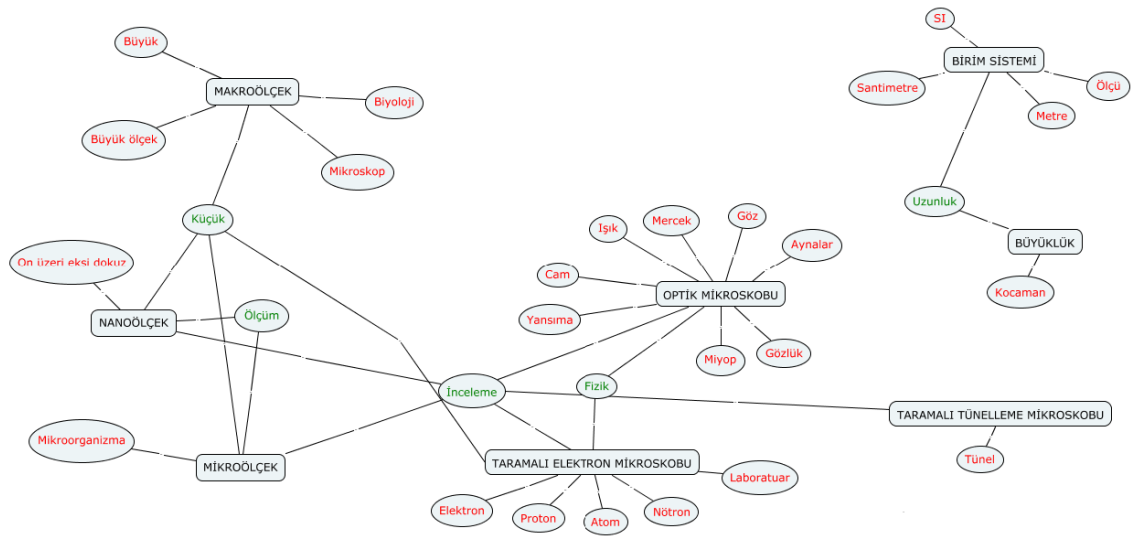
Tablo 4.46'daki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fen bilgisi öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.56). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 4 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.8'de verilmiştir.



Şekil 4.56: Fen bilgisi öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.56'ya göre, fen bilgisi öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerinin taramalı elektron mikroskobu, optik mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobu ile fizik; makroölçek ve mikro ölçek ile küçük ve ölçüm; makroölçek ve mikro ölçek ile küçük ölçek; makroölçek, ve taramalı tünelleme mikroskobu ile mikroskop; taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskobu ile inceleme kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi büyüklük kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobu kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

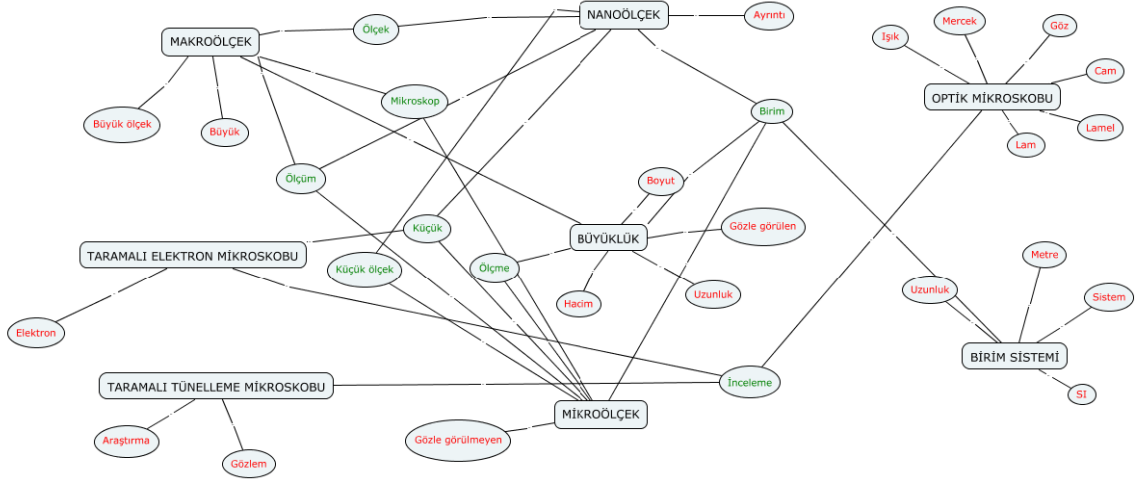
Tablo 4.46'daki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fen bilgisi öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.57). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 4 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.9'da verilmiştir.



Şekil 4.57: Fen bilgisi öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.57'de, fen bilgisi öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerinin taramalı elektron mikroskobu, mikro ölçek, makro ölçek ve nano ölçek ile küçük; nano ölçek ve mikro ölçek ile ölçüm; optik mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu, nano ölçek, taramalı tünelleme mikroskobu ve mikro ölçek ile inceleme; taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskobu ile fizik; büyüklük ve birim sistemi ile uzunluk kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi optik mikroskobu kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobu kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

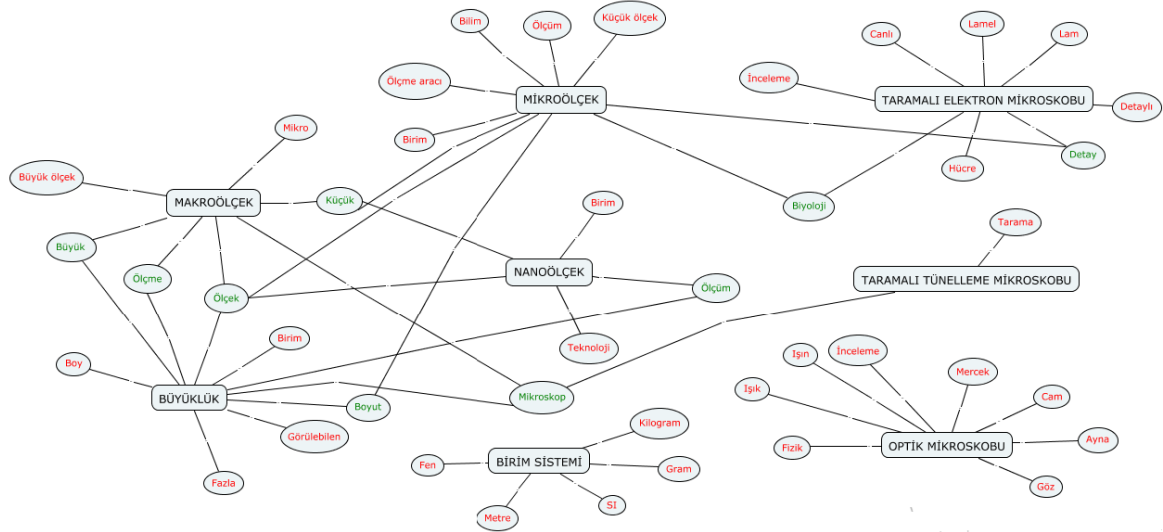
Tablo 4.46'daki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fen bilgisi öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.58). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 4 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.10'da verilmiştir.



Şekil 4.58: Fen bilgisi öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait kit kavram ağları.

Şekil 4.58'e göre, fen bilgisi öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin makroölçek, mikro ölçek ve nano ölçek ile ölçüm; mikro ölçek ve büyüklük ile ölçme; makroölçek ve nano ölçek ile ölçek; makroölçek ve mikro ölçek ile mikroskop; makroölçek, taramalı elektron mikroskobu, taramalı tünelleme mikroskobu ve optik mikroskobu ile inceleme; büyüklük, mikro ölçek, birim sistemi ve nano ölçek ile birim; taramalı elektron mikroskobu, nano ölçek ve mikro ölçek ile küçük; mikro ölçek ve nano ölçek ile küçük ölçek kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Ayrıca, kavramlar arası ifadelerde ise makro ölçek ile büyüklük kavramlarının ilişkilendirildiği tespit edilmiştir. Öğrencilerin en çok kelimeyi büyüklük kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobu kavramına yazdıkları görülmüştür.

Tablo 4.46'daki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fen bilgisi öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.59). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.11'de verilmiştir.



Şekil 4.59: Fen bilgisi öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.59’da, fen bilgisi öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerinin makroölçek ve büyüklük ile büyük ve ölçme; makroölçek, büyüklük, nano ölçek ve mikro ölçek ile ölçek; makroölçek, büyüklük ve taramalı tünelleme mikroskobu ile mikroskop; makroölçek, nano ölçek ve mikro ölçek ile küçük; büyüklük ve mikro ölçek ile boyut; nano ölçek ve büyüklük ile ölçüm; mikro ölçek ve taramalı elektron mikroskobu ile biyoloji ve detay kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi büyüklük kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobu kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

4.3.4 Kimya Öğretmenliği Öğrencilerine Ait Bulgular

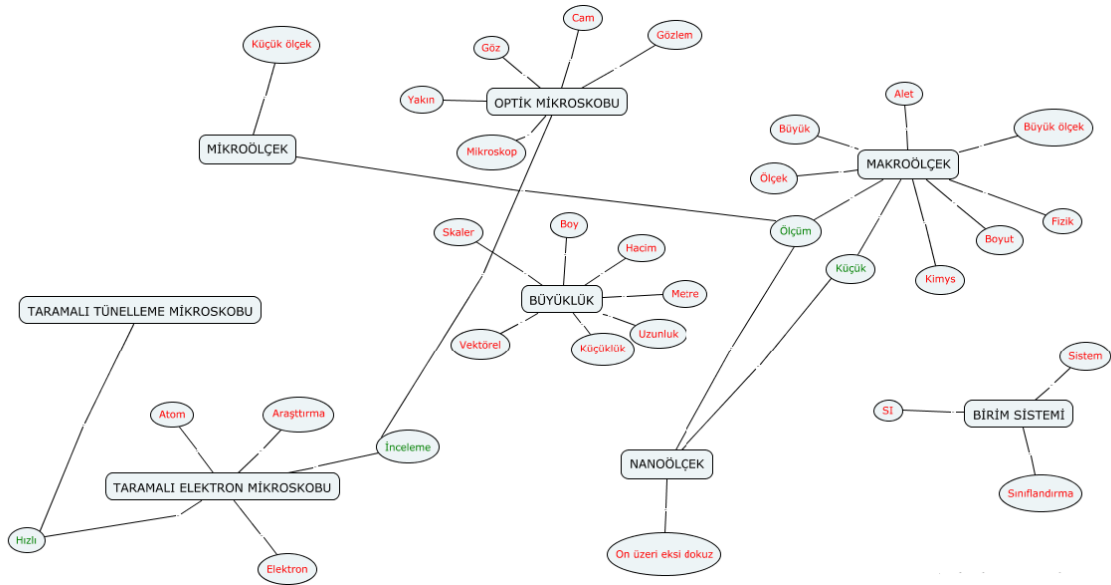
Kimya öğretmenliği programı öğrencilerinin KİT’te yer alan anahtar kavramlara verdikleri cevap kelime sayıları ve görülme sıklıkları frekans olarak Tablo 4.47’de verilmiştir.

Tablo 4.47: Anahtar kavramlara kimya öğretmenliği öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları.

Anahtar Kavramlar	1.Sınıf	2.sınıf	3.Sınıf	4.sınıf
Makroölçek	39 (3.55)	23 (2.30)	44 (3.38)	44 (3.67)
Taramalı Tünelleme Mikroskobu	37 (3.36)	29 (2.90)	56 (4.30)	39 (3.25)
Nanoölçek	37 (3.36)	20 (2.00)	32 (2.46)	35 (2.92)
Büyüklük	33 (3.00)	30 (3.00)	55 (4.23)	34 (2.83)
Optik Mikroskobu	41 (3.73)	20 (2.00)	48 (4.69)	46 (3.83)
Taramalı Tünelleme Mikroskobu	18 (1.64)	21 (2.10)	37 (2.85)	29 (2.42)
Mikroölçek	29 (2.64)	25 (2.50)	40 (3.08)	39 (3.25)
Birim Sistemi	20 (1.82)	18 (1.80)	49 (3.77)	35 (2.92)
TOPLAM	256 (23.27)	186 (18.60)	377 (23.56)	301 (25.08)

Tablo 4.47'ye göre, kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencileri 377 adet kelime ile en fazla kelime kullanan sınıf, 2.sınıf öğrencileri ise 186 adet kelime ile en az kelime kullanan sınıf olmuştur. En çok sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram taramalı elektron mikroskobu (161), en az sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram ise taramalı tünelleme mikroskobu (105) olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.47'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili kimya öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.60). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.12'de verilmiştir.

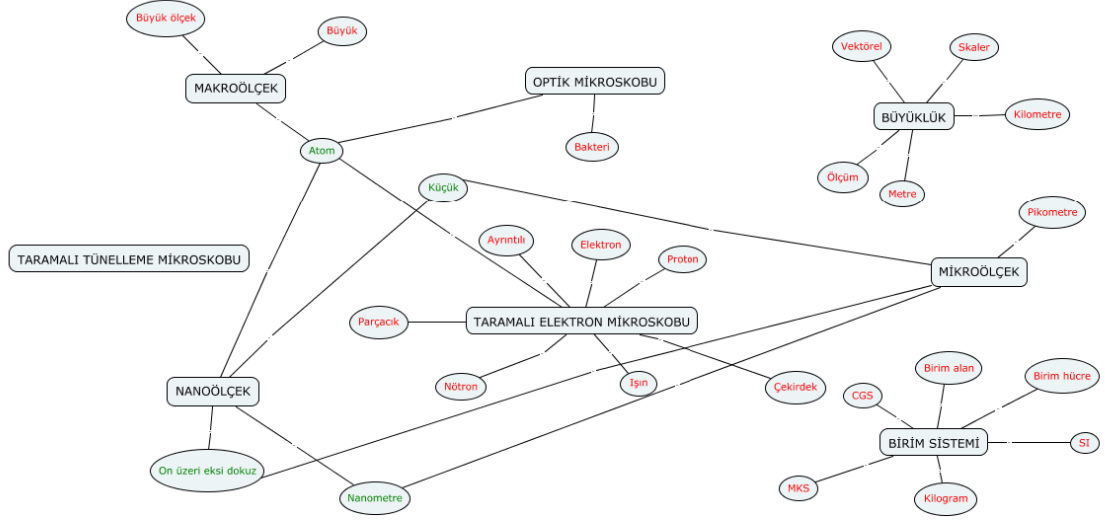


Şekil 4.60: Kimya öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.60'a göre, kimya öğretmenliği 1.sınıf öğrencilerinin mikro ölçek, makroölçek ve nano ölçek ile ölçüm; optik mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile inceleme; taramalı elektron mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobu ile hızlı; makroölçek ve nano ölçek ile küçük kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi optik mikroskobu kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobu kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

Tablo 4.47'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili kimya öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin

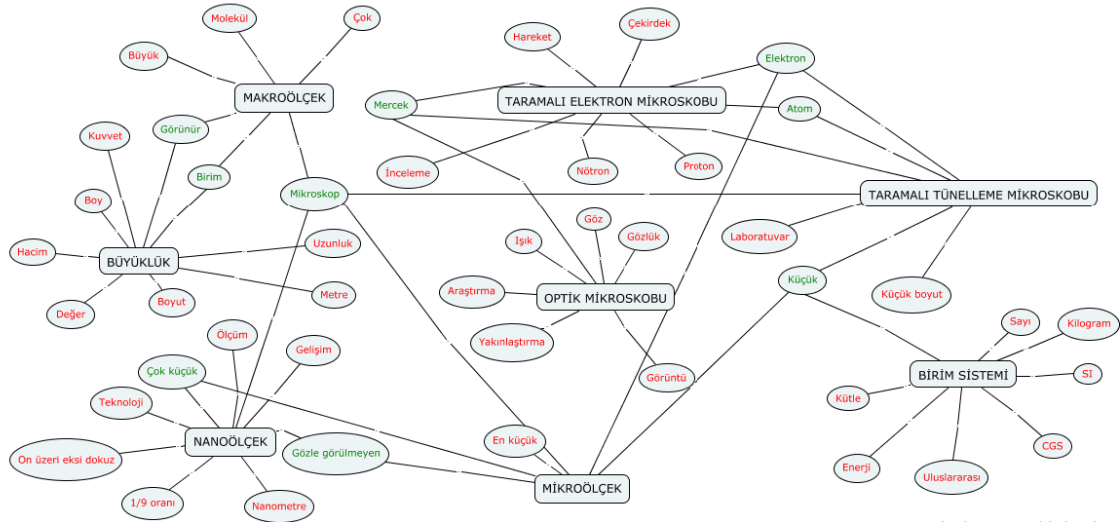
yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.61). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.13’de verilmiştir.



Şekil 4.61: Kimya öğretmeni 2. sınıf öğrencilerine KİT kavram ağı.

Şekil 4.61’e göre, kimya öğretmeni 2. sınıf öğrencilerinin optik mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu, makroölçek ve nano ölçek ile atom; nano ölçek ve mikro ölçek ile nanometre, küçük ve on üzeri eksi dokuz (10^{-9}) kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi büyüklük kavramına, en az kelimeyi de birim sistemi kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

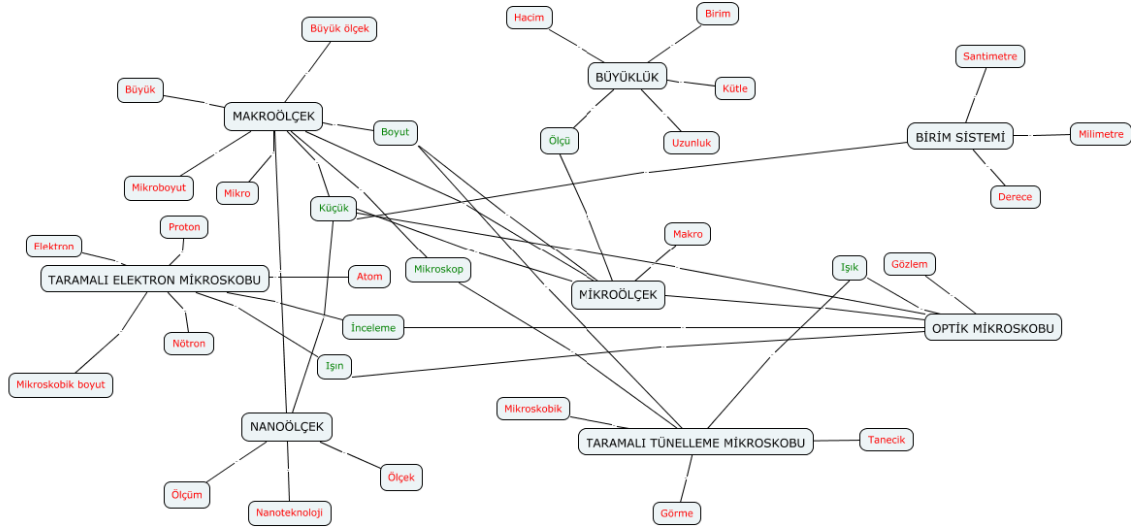
Tablo 4.47’deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili kimya öğretmeni 3. sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.62). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.14’de verilmiştir.



Şekil 4.62: Kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.62'ye göre, kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin makroölçek ve büyüklük ile birim ve görünür; makroölçek, nano ölçek ve taramalı tünelleme mikroskobu ile mikroskop; nano ölçek ve mikro ölçek ile gözle görülmeyen ve çok küçük; taramalı tünelleme mikroskobu, optik mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu ile mercek; taramalı elektron mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobu ile atom; taramalı elektron mikroskobu, taramalı tünelleme mikroskobu ve mikro ölçek ile elektron; taramalı tünelleme mikroskobu, mikro ölçek ve birim sistemi ile küçük kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi taramalı elektron mikroskobu kavramına, en az kelimeyi de nano ölçek kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

Tablo 4.47'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili kimya öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.63). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.15'de verilmiştir.



Şekil 4.63: Kimya öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.63'e göre, kimya öğretmenliği 4.sınıf öğrencilerinin mikro ölçek, makroölçek ve taramalı tünelleme mikroskobu ile boyut; makroölçek ve taramalı tünelleme mikroskobu ile mikroskop; makroölçek, nano ölçek, optik mikroskobu, mikro ölçek ve birim sistemi ile küçük; taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskobu ile ışın ve inceleme; taramalı tünelleme mikroskobu ve optik mikroskobu ile ışık; büyüklük ve mikro ölçek ile ölçü kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Ayrıca, mikro ölçek kavramı ile optik mikroskobu kavramı; makroölçek kavramı ile mikroölçek kavramı; mikroölçek kavramı ile de nanoölçek kavramlarının ilişkilendirildiği görülmüştür. Öğrencilerin en çok kelimeyi optik mikroskobu kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobu kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

4.3.5 Fizik Öğretmenliği Öğrencilerine Ait Bulgular

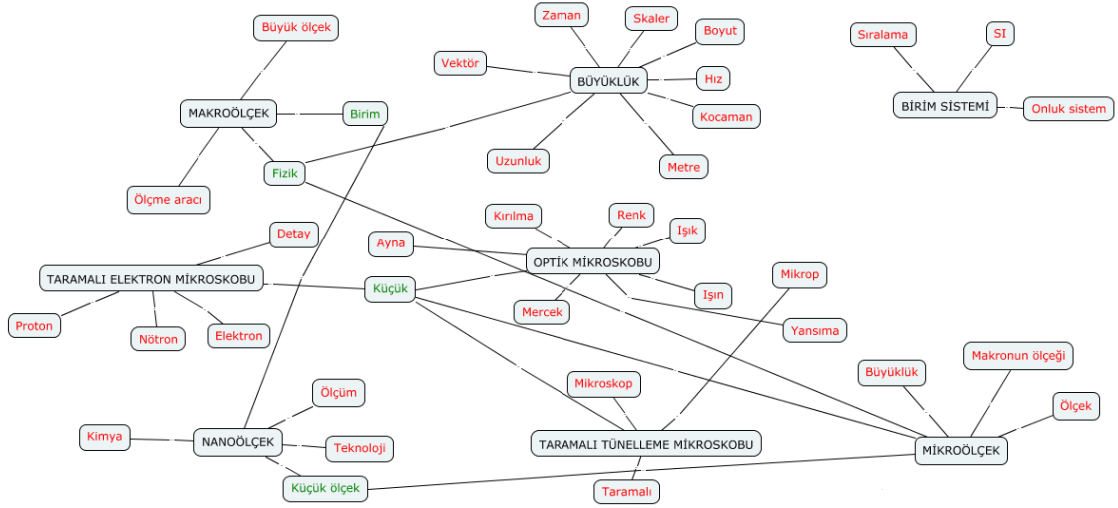
Fizik öğretmenliği programı öğrencilerinin KİT'te yer alan anahtar kavramlara verdikleri cevap kelime sayıları ve görülme sıklıkları frekans olarak Tablo 4.48'de verilmiştir.

Tablo 4.48: Anahtar kavramlara fizik öğretmenliği öğrencilerinin kelime sayısı ve ortalamaları.

Anahtar Kavramlar	2.sınıf	3.Sınıf
Makroölçek	35 (2.69)	13 (1.63)
Taramalı Tünelleme Mikroskobu	44 (3.38)	2 (0.25)
Nanoölçek	31 (2.38)	7 (0.88)
Büyüklik	47 (3.61)	30 (3.75)
Optik Mikroskobu	56 (4.31)	12 (1.50)
Taramalı Tünelleme Mikroskobu	32 (2.46)	1 (0.17)
Mikroölçek	38 (2.92)	6 (0.75)
Birim Sistemi	35 (2.69)	6 (0.75)
TOPLAM	285 (21.92)	77 (9.63)

Tablo 4.48'e göre, fizik öğretmenliği 2.sınıf öğrencileri 285 adet kelime ile en fazla kelime kullanan sınıf, 2.sınıf öğrencileri ise 77 adet kelime ile en az kelime kullanan sınıf olmuştur. En çok sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram büyüklik (77), en az sayıda cevap kelime türetilen anahtar kavram ise taramalı tünelleme mikroskobu (33) olarak tespit edilmiştir.

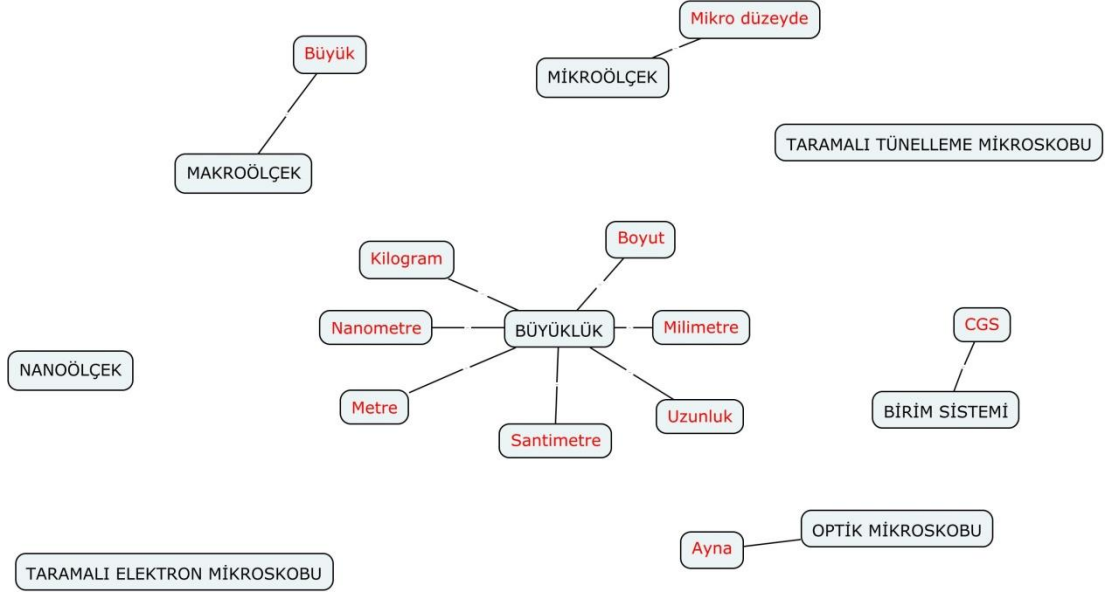
Tablo 4.48'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fizik öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.64). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.16'da verilmiştir.



Şekil 4.64: Fizik öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.64'e göre, fizik öğretmenliği 2.sınıf öğrencilerinin makroölçek ve nano ölçek ile birim; makroölçek, büyüklük ve mikro ölçek ile fizik; mikro ölçek, taramalı elektron mikroskobu, optik mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobu ile küçük; mikro ölçek ve nano ölçek ile küçük ölçek kelimeleri en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Öğrencilerin en çok kelimeyi optik mikroskobu kavramına, en az kelimeyi de nano ölçek kavramına yazdıkları tespit edilmiştir.

Tablo 4.48'deki frekans tablosuna göre anahtar kavram ile ilişkilendirilen kelimelerle ilgili fizik öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait aşağıdaki kavram ağı ve bu ağa ilişkin yorumlar yer almaktadır (Şekil 4.65). Öğrenci sayısı ve yazılan toplam kelime sayısı göz önünde bulundurularak kesme noktası 2 ve yukarısı için oluşturulan kavram ağı ayrıntılı frekans tablosu Tablo E.17'de verilmiştir.



Şekil 4.65: Fizik öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerine ait KİT kavram ağları.

Şekil 4.65'e göre, fizik öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin hiçbir kelime ile ilişkilendirmedikleri görülmüştür. Öğrencilerin en çok kelimeyi büyüklük kavramına, en az kelimeyi de taramalı tünelleme mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu ve nano ölçek kavramlarına yazdıkları tespit edilmiştir.

4.4 İkili Görüşmeler ile İlgili Bulgular

“Büyüklük ve Ölçek” kavramları bilgi testi ile ilgili görüşmeye katılan sınıflardaki öğrencilerin sayısı Tablo 4.49’da sunulmaktadır.

Tablo 4.49: Büyüklük ve ölçek konusu bilgi testine katılan öğrencilerin programlarına ve sınıflarına göre frekansları ve kodları.

Programlar	Sınıf	f	Öğrenci Kodu
Biyoloji Öğretmenliği	1.sınıf	2	BÖ1-BÖ2
Biyoloji Öğretmenliği	2.sınıf	2	BÖ3-BÖ4
Biyoloji Öğretmenliği	3.sınıf	2	BÖ5-BÖ6
Biyoloji Öğretmenliği	4.sınıf	2	BÖ7-BÖ8
Toplam		8	
Fen Bilgisi Öğretmenliği	1.sınıf	2	FBÖ1-FBÖ2
Fen Bilgisi Öğretmenliği	2.sınıf	2	FBÖ3-FBÖ4
Fen Bilgisi Öğretmenliği	3.sınıf	2	FBÖ5-FBÖ6
Fen Bilgisi Öğretmenliği	4.sınıf	2	FBÖ7-FBÖ8
Toplam		8	
Kimya Öğretmenliği	1.sınıf	2	KÖ1-KÖ2
Kimya Öğretmenliği	2.sınıf	2	KÖ3-KÖ4
Kimya Öğretmenliği	3.sınıf	2	KÖ5-KÖ6
Kimya Öğretmenliği	4.sınıf	1	KÖ7
Toplam		7	
Fizik Öğretmenliği	2.sınıf	1	FÖ1
Fizik Öğretmenliği	3.sınıf	1	FÖ2
Toplam		2	
Toplam	14 sınıf	25	

1. sorunun A şıkkı olan “verilen nesnelerin küçükten büyüğe sıralanması” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin cevapları Tablo 4.50’de belirtilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi öğrenciler 15 farklı cevap yazmıştır.

Tablo 4.50: Soru 1-A için görüşmeye katılan öğrencilerin cevap oranları.

Tema	f	%
Hidrojen atomu < DNA < Alyuvar < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı	7	28
Hidrojen atomu < DNA < Terliksi hayvan < Alyuvar < Sofra tuzu < Karınca başı	3	12
Hidrojen atomu < Alyuvar < DNA < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı	3	12
Hidrojen atomu < DNA < Alyuvar < Terliksi hayvan < Karınca başı < Sofra tuzu	1	4
Hidrojen atomu < DNA < Alyuvar < Sofra tuzu < Karınca başı < Terliksi hayvan	1	4
Hidrojen atomu < Alyuvar < Terliksi hayvan < DNA < Sofra tuzu < Karınca başı	1	4
Hidrojen atomu < Alyuvar < DNA < Terliksi hayvan < Karınca başı < Sofra tuzu	1	4
Hidrojen atomu < Karınca başı < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < DNA < Alyuvar	1	4
Hidrojen atomu < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı	1	4
DNA < Alyuvar < Hidrojen atomu < Terliksi hayvan < Karınca başı < Sofra tuzu	1	4
DNA < Terliksi hayvan < Alyuvar < Sofra tuzu < Karınca başı	1	4
DNA < Alyuvar < Hidrojen atomu < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı	1	4
Alyuvar < Hidrojen atomu < DNA < Terliksi hayvan < Karınca başı < Sofra tuzu	1	4
Alyuvar < DNA < Hidrojen atomu < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı	1	4
Karınca başı < DNA < Hidrojen atomu < Sofra tuzu < Alyuvar < Terliksi hayvan	1	4

Tablo 4.50 incelendiğinde nesnelerin sıralamasını öğrencilerin en çok “Hidrojen atomu < DNA < Alyuvar < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı” (%28), “Hidrojen atomu <

DNA < Terliksi hayvan < Alyuvar < Sofra tuzu < Karınca başı” (%12) ve “Hidrojen atomu < Alyuvar < DNA < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı” (%12) yazdıkları tespit edilmiştir.

Hidrojen atomu < DNA < Alyuvar < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı:

Örneğin, “Lisede öğrendiğimiz bilgilere göre yaptım.” (BÖ2)

“Hidrojen atomu küçüktü. Çok küçük, onu ilk başa yazdım. ...Tuz tanesinin büyüklüğü zaten görülebilir bir şey yani. ...Bir karınca başının genişliği, ondan sonraya yazdım. ...”

(BÖ3)

“...sofra tuzunu ve karıncayı görebiliyorum. O yüzden bunlar daha büyük diye düşündüm. ...terliksi hayvan boyu daha içinde hücreyi bulundurduğu için bunlardan daha küçüktür ama diğerlerinden daha büyüktür ...alyuvar insanın kanında bulunuyor. Bu yüzden bunu da DNA sarmalı ve hidrojen atom çapından daha büyüktür ... En küçük de atomun çapı diye düşündüm çünkü atom bizim en küçük yapı birimimizdir ...DNA sarmalının genişliği de ondan bir büyüktür diye düşündüm.”(FBÖ3)

“Öncelikle daha önceden de gördüğümüz bilgilere göre hangisi küçük hangisi daha büyük bunları düşündüm. Sonra hepsini küçükten büyüğe doğru sıraladım.” (FBÖ4)

“Sıralamaları yaparken ben en küçüğe hidrojen atomu dedim. Tek tanecik olduğu için onun en küçük olduğunu düşündüm. ...DNA'nın gelebileceğini düşündüm. ...Sonra alyuvar hücresi var. Bu da sonuçta bir gen içeriyorsa diye düşündüm. ...tek hücreli canlı terliksi hayvan ve sofr tuzu, karınca başı da zaten gözle görülebilir oldukları için bu şekilde sıralama yaptım ben.” (FBÖ5)

“Bunları cevaplarken genelde lise bilgilerimi falan kullandım. Yani eğitimde aldığım bilgileri kullanarak yaptım.” (KÖ2)

“...hücreleri biz küçükten büyüğe sıralayın dedikleri için bilgilerim doğrultusunda ...hücrelerin en küçük olduğunu düşünerek en küçükten en büyüğe doğru kendi bildiğime göre sıraladım.” (FÖ1)

Hidrojen atomu < DNA < Terliksi hayvan < Alyuvar < Sofra tuzu < Karınca başı:

Örneğin, “...Bildiğim kadarıyla en küçükleri, ilk başı küçükten büyüğe yazdığı için. En sona da en büyüğü yani gözle görülebilirden gözle görülemez olana sıraladım. Çünkü atomlar hücreleri oluşturur. Hücreler organizmaları. Organizmalar da daha gözle görülebilir organizmaları. ...Karınca başı ya da terliksi hayvan daha küçük gözle

göremediğimiz organizmalarda olduğu için onları düşünerek bu şekilde bir sıralama yaptım.” (FBÖ6)

“Yani, burada atom demiş, direk ona ben en küçük dedim. Gözle görülmeyecek kadar küçük şeyler. Sonra DNA bir DNA sarmalının genişliği demiş. Orada da DNA yine resmen pek çok iyi bildiğimden değil ama mantık yürüterek yaptım. Sonra ...en büyük dedim, sofru tuzu tanesine. Göz görebileceğimiz ...Sonra kalanları da rastgele gibi yaptım. Yaklaşık olarak. Karınca başı büyüklüğü...En büyük bu.”(KÖ4)

“Burada küçükten büyüğe yaptığımız sıralamada ... bildiğimiz kimya ve yani buradaki genel biyoloji bilgisinden kaynaklı, ben en küçüğü mesela atomun çapı olarak düşündüm. Daha sonra DNA sarmalı, terliksi hayvanın boyutu beni açıkçası birazcık karıştırdı. Çünkü çok hatırlamıyorum. Az çok büyüklüklerine göre sıraladım.” (KÖ5)

Hidrojen atomu < Alyuvar < DNA < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı:
Örneğin, “Yani genel bilgilerime göre sıraladım, atomun en küçük yani hücrenin atomun en küçük yapı taşı olduğunu biliyorum. ... atom yarıçapı küçüktür. Alyuvar çapı dedim. DNA, terliksi hayvan, sofru tuzu. Yani, evet. Mikrodan makroya doğru sıralamışım.” (BÖ6)

“Büyüklüğüne, genişliklerine göre dikkate aldım....Ona göre sıralama düzenledim.” (BÖ8)
“Atom numaralarına göre sıraladım.” (KÖ1)

Hidrojen atomu < DNA < Alyuvar < Terliksi hayvan < Karınca başı < Sofra tuzu:
Örneğin, “Yani görülebilirlik, görünemeyen bağlar. Derste işlediğimiz şeylere göre yaptım. Karınca başı daha büyük olur diye düşündüm. Sofra tuzu daha büyük olur diye düşündüm.” (BÖ7)

Hidrojen atomu < DNA < Alyuvar < Sofra tuzu < Karınca başı < Terliksi hayvan:
Örneğin, “1. soruda mikroskopta gördüğümüz canlıları ya da diğer düşünce tarzlarımızı birimleri düşünerek o şekilde ele aldım kendi çapımda ama kafamda hangisi daha büyükse sıraladım.” (BÖ4)

Hidrojen atomu < Alyuvar < Terliksi hayvan < DNA < Sofra tuzu < Karınca başı:
Örneğin, “Daha çok hani kendi gözümdeki biyoloji alanında aldığım eğitimdeki bilgilerden ...düşününce de atom, hücreler pek çok atomdan meydana geldiği için en küçük

onun olduğunu şey yaptım. Öyle biyoloji bilgilerimden kaynaklanarak yaptım ben bunun sıralamasını.” (BÖ1)

Hidrojen atomu < Alyuvar < DNA < Terliksi hayvan < Karınca başı < Sofra tuzu:

Örneğin, “...İlk önce büyükleri eledim. Yani gözle görebileceğim şeyleri eledim. ... Atomu tam olarak biz böyle mikroskoplarda tam olarak göremiyoruz. ...en küçük bunun olduğunu düşündüm. Çünkü insan alyuvarları mikroskoplarda daha iyi görülebiliyor. Bazı mikroskopta görebiliyoruz ama atomu göremiyoruz. ...DNA sarmalını açıkçası yani pek bi fikrim olmadan oraya yerleştirdim. Diğerlerinde terliksi hayvanın boyu, sofrta tuzu, zaten bunları da büyükten küçüğe böyle sıraladım.” (KÖ7)

Hidrojen atomu < Karınca başı < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < DNA < Alyuvar:

Örneğin, “...Yani tam göz göremediğim için normal tahmin yaptım yani. Hidrojenin yarıçapı küçüktür işte, karınca başı genişliği küçüktür, terliksi hayvanın boyu küçüktür, sofrta tuzu tanesinin büyüklüğü küçüktür, DNA sarmalının genişliği en küçüktür. İnsan alyuvarının çapı.” (FBÖ1)

Hidrojen atomu < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı:

Örneğin, “Bunu sıralarken hani atomun en küçük yapı taşı olduğunu, atomdan sonraki hayvanları düşündüm. Sonrasında sofrta tuzu, sonrasında işte karınca başı sofrta uzundan daha büyük olabileceğini düşündüm. Burada atom hani en küçük zaten. ...Terliksi hayvan da sadece hani mikroskopta görülebileceğini düşünerekten sıraladım.”. (FBÖ8)

DNA < Alyuvar < Hidrojen atomu < Terliksi hayvan < Karınca başı < Sofra tuzu:

Örneğin, “Maddelerin büyüklüğünü göz önüne aldım. Ona göre yaptım yani.” (BÖ5)

DNA < Terliksi hayvan < Alyuvar < Sofra tuzu < Karınca başı:

Örneğin, “Öncelikle bende çağrıştırdığı boyutlara bakarak bu şekilde bir sıralama yapmayı düşündüm. Sofra tuzu tanesinde falan böyle aklıma daha küçük şeyler geldiği için onu falan daha sonra yazdım. Hidrojen atomunu yarıçapı, bence olursa ortada bir yerlerde olabilir. Yani insan alyuvarı çapıyla sofrta tuzu tanesi arasında.” (FÖ2)

DNA < Alyuvar < Hidrojen atomu < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı:

Örneğin, “Boyut olarak, aslında tam olarak mantiken yapmaya çalıştım. Tam bilgilerim

olmadan. ...Alyuvar çapı hidrojen atomu yarıçapından daha küçüktür diye düşündüm. Birbirlerine göre aslında uyarladım.” (FBÖ7)

Alyuvar < Hidrojen atomu < DNA < Terliksi hayvan < Karınca başı < Sofra tuzu:

Örneğin, “Yani gözle görünüp görünmeyeceğini ilk önce dikkate aldım. Büyük, gözle görülenleri büyük olarak sıraladım. Diğerlerini daha mikroskop ile ölçülebilenleri küçük olarak sıraladım. Belki terliksi hayvan daha büyük olabilir. Ya da insan alyuvar çapı ile DNA sarmalı şekline yakın olabilir çünkü onu da mikroskopla görüyoruz ve daha küçük nano ölçekle ölçülüyor diye düşündüm şu an. O yüzden belki daha küçük olabilir. ... Kesin bir şey bilmiyorum ama şu an böyle düşündüm.” (FBÖ2)

Alyuvar < DNA < Hidrojen atomu < Terliksi hayvan < Sofra tuzu < Karınca başı:

Örneğin, “Küçükten büyüğe doğru sıralama yaptım. Tahminde bulundum. Yani tam emin değildim. Ona göre sıralama yaptım yani.” (KÖ3)

Karınca başı < DNA < Hidrojen atomu < Sofra tuzu < Alyuvar < Terliksi hayvan:

Örneğin, “Hangi boyutların daha küçük olduğunu canlandırmaya çalıştım.” (KÖ6)

1.sorunun B şikkında “nesnelerin mutlak büyüklüklerini tahmin etme” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin vermiş oldukları cevaplar frekans ve yüzde olarak Tablo 4.51’de verilmiştir.

Tablo 4.51: Soru 1-B için görüşmeye katılan öğrencilerin cevap oranları.

Büyüklik	10 ⁻³		10 ⁻⁶		10 ⁻⁹		10 ⁻¹²	
	f	%	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	2	8	9	36	10	40	3	12
DNA sarmalının genişliği	0	0	4	16	12	48	9	36
Kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	16	64	7	28	1	4	1	4
Terliksi hayvanın boyu	2	8	12	48	10	40	1	4
Karınca başının genişliği	18	72	4	16	2	8	1	4
Hidrojen atomunun yarıçapı	2	8	0	0	3	12	19	76

Tablo 4.51’e göre, görüşmeye katılan öğrenciler insan alyuvar çapını (%36), DNA sarmalının genişliğini (%48), kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğunu (%64), terliksi hayvanın boyunu (%48), karınca başının genişliğini (%72) ve hidrojen atomunun yarıçapını (%76) doğru bir biçimde işaretlemişlerdir.

Buna göre, verilen nesnelerin büyüklüklerinin tahmini değerini; hepsini doğru yapan öğrencilerin %16'sı (f=4), beş tanesini doğru yapan öğrencilerin %16'sı (f=4), dört tanesini doğru yapan öğrencilerin %16'sı (f=4), üç tanesini doğru yapan öğrencilerin %16'sı (f=4), iki tanesini doğru yapan öğrencilerin %24'ü (f=6), bir tanesini doğru yapan öğrencilerin %8'i (f=2) ve hiç doğru yapamayan öğrencilerin %4'ü (f=1) şeklinde dağılım göstermiştir.

Hepsini doğru yapan: Örneğin, “Hayal ederek, tahminle doldurdum. Net bir bilgim yok.”

(BÖ7)

“...zaten sayıları az çok biliyorum. Hangisinin küçük hangisinin büyük olduğunu. Onları düşünerek bu sıralamaya göre yaptım.” (FÖ1)

“Biraz tahmini oldu. ..., o aralarda olabileceklerini düşündüm. O yüzden de öyle işaretlemeler yaptım.” (KÖ2)

“Tam olarak bilmeme rağmen hangisi bu boyut olabilir, işte verilen en küçüğü ve en büyüğü önce yerleştirdim. Ondan sonra aradakileri yerleştirdim, sıralamayı yaptım.” (FBÖ4)

Beş tanesini doğru yapan: Örneğin, “...yani en küçük hidrojen atomunun yarıçapını atto olarak düşündüm en küçük ferto atto öyle düşündüm, ...Çünkü sıralamam o şekildeydi.”

(KÖ7)

“B’de gene yukarıda A şıkkında doldurduğum şekilde az çok tahmin etmeye çalışarak doldurdum.” (KÖ5)

“Bir karınca başını 10 üzeri eksi 3, evet. Sofra tuzunun büyüklüğü de yaklaşık olarak böyle. ...En büyük en küçük de hidrojen atomunun yarıçapı demişim.” (KÖ4)

“...sıralamalara göre büyüklüklerin bu şekilde olabileceğini düşündüm. Ona göre tahmini işaretleme yaptım. Sofra tuzunu gözle görebiliyoruz biz. Karınca başını görebiliyoruz. Diğerleri mikroskop altında...” (FBÖ5)

Dört tanesini doğru yapan: Örneğin, “Terliksi hayvanı daha küçük hatırladığım için Alyuvar çapını daha büyük yaptım. Evet, sıralamayı dikkate alarak tabloyu doldurdum. En büyükten en küçüğe gittim.” (FBÖ6)

“Burada da tahminde bulundum yani. Hangisi daha küçüktür hangisi ona göre daha büyüktür yani. Yukarıdaki sıralamayı da biraz göz önüne aldım.” (KÖ2)

Üç tanesini doğru yapan: Örneğin, “Yukarıdaki yaptığım sıralamaya göre tabloyu doldurdum.” (KÖ1)

“Yukarıdakini baz alarak düşündüm. Yukarıdakine göre, az buçuk, ona göre yaptım.” (FBÖ3)

“Bana göre şimdi insan alyuvarının çapı 10 eksi 6 metre herhalde. Sonra DNA sarmalının genişliği 10 eksi 9 metre. Terliksi hayvanın boyu da 10 eksi 6 metre.” (BÖ3)

İki tanesini doğru yapan: Örneğin, “... Sıralama yaparak. Büyükleri küçük olarak almışım. Küçükleri büyük olarak almışım. Dikkat etmemişim yukarıdakilere. ...” (FBÖ8)

“Yukarıdakine göre doldurmaya çalıştım aslında ama yine böyle bazıları tam olmadı. ...Ama tam emin olarak yapmadım.” (KÖ6)

“Bu da yine aynı şekilde düşünüyorum. Mesela hidrojen atomunun en küçük olması lazım diye düşünüyorum.” (BÖ1)

Bir tanesini doğru yapan: Örneğin, “İnsan alyuvarı çapı ben onu 10 üzeri eksi 6 yapıp silmişim. Hidrojen yarıçapı da o değerde olabilir.” (FÖ2)

Hiçbirini doğru yapamayan: Örneğin, “...10 üzeri eksi 6 dediğimiz de DNA sarmalının genişliği, karınca başının genişliğini almam gerekiyordu. Burada bir hata yapmışım. Nano ölçekte de 10 üzeri eksi 9’da sofr tuzu tanesinin büyüklüğüyle hidrojen atomunun yarıçapını nano ölçeğe almam gerekiyordu.” (FBÖ1)

1.sorunun C şikkında “nesnelerin büyüklüklerini ölçeklerine göre gruplama” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin vermiş oldukları cevaplar frekans ve yüzde olarak Tablo 4.52’de verilmiştir.

Tablo 4.52: Soru 1-C için görüşmeye katılan öğrencilerin cevap oranları.

Büüklük	Makroölçek		Mikroölçek		Nanoölçek		Boş	
	f	%	f	%	f	%	f	%
İnsan alyuvar çapı	2	8	14	56	9	36	0	0
DNA sarmalının genişliği	1	4	6	24	16	64	2	8
Kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğu	19	76	4	16	1	4	1	4
Terliksi hayvanın boyu	4	16	15	60	5	20	1	4
Karınca başının genişliği	21	84	3	12	1	4	0	0
Hidrojen atomunun yarıçapı	0	0	7	28	18	72	0	0

Tablo 4.52 incelendiğinde görüşmeye katılan öğrencilerin insan alyuvar çapını (%56), DNA sarmalının genişliğini (%64), kübik sofr tuzu tanesinin bir kenarının uzunluğunu (%76), terliksi hayvanın boyunu (%60), karınca başının genişliğini (%84) ve hidrojen atomunun yarıçapını (%0) doğru bir biçimde işaretlemişlerdir.

Buna göre, verilen nesnelerin büyüklüklerinin tahmini değerinin; hepsini doğru yapan öğrencilerin %0'ı (f=0), beş tanesini doğru yapan öğrencilerin %20'si (f=5), dört tanesini doğru yapan öğrencilerin %28'i (f=7), üç tanesini doğru yapan öğrencilerin %28'i (f=7), iki tanesini doğru yapan öğrencilerin %20'si (f=5), bir tanesini doğru yapan öğrencilerin %4'ü (f=1) ve hiç doğru yapamayan öğrencilerin %0'ü (f=0) şeklinde dağılım göstermiştir.

Beş tanesini doğru yapan: Örneğin, “Daha büyük nesnelere bunlara göre. Bunlar arasında en orta olan mikro. ...Mikro ölçek dediğimiz 10 üzeri eksi 9 eksi, 10 üzeri eksi 6 da olabilir....nano ölçek daha küçüktür.” (BÖ2)

“Makroölçek büyük ölçek. Mikro ölçek 10 eksi 6 ile 10 eksi 9'u kapsar. Nano ölçek 10 eksi 12 metre. DNA sarmalının genişliği mikro ölçek tarafında olması gerekiyor.” (BÖ3)

“Yine bu büyüklüklerine göre düşündüm makro ölçekte. Sonuçta makro ölçeklerde dedim ki ben gözle görebiliriz o zaman. ... Nano ölçekte yine mikroskopla görmekte zorlandığımız daha detaylı inceleme gerektirdiği için hidrojen atomu, DNA sarmalı. Hidrojen atomunu nano ölçek diye düşündüm ben.” (FBÖ5)

“Bir atomun yarıçapını ya da bir DNA sarmalının genişliğini biz makro ölçekte ölçemeyiz. Ya da mikro ölçekte de ölçebileceğimizi düşünmüyorum. Bunlar çok çok küçük olduğu için nano ölçekle ölçülebilir. Zaten 10 üzeri eksi 12 de nano ölçekle ölçülebilecek bir değer. Bu yüzden sıralamama göre bunları nano, mikro ve makro ölçeğe yerleştirdim. Hidrojen atomunun yarıçapı nanoölçekte olması gerekiyor bence. ...önceki bilgileri harmanlayarak böyle bir sıralamaya yaptım.” (FBÖ4)

Dört tanesini doğru yapan: Örneğin, “Tabloya göre doldurdum ben. Makro büyüklüklerine göre, o şekilde işaretledim. Hidrojen atomunun yarıçapı bence nano ölçek.” (BÖ7)

“Daha büyük makro. Görebiliriz ...Yukarıdakilere göre yaptım aşağıdaki ölçüleri. ... medyada gördüğümüz fotoğraflar oluyor ya karınca başıyla alakalı çok detaylı gösteriyor. O yüzden mikro ölçek diye düşündüm. Karınca başı makro ölçek olabilir. ...hangi değerler arasında olur, bilemedim.” (BÖ5)

“Makroölçek bana daha çok çıplak gözle görebileceğimiz şeyler gibi geldi. Mikroölçek, mikroskop tarzı bir araçta görebileceğimiz şeyler. Nano ölçek daha üst düzey yani. Daha küçük.” (FÖ2)

“Makro ölçek daha böyle yakın...10 üzeri eksi 3 makro ölçek dedim. Daha böyle mikroskobik olarak, daha böyle küçük detaysal... nano ölçek 10 üzeri eksi 12 yapmışım.” (FBÖ7)

“Makroölçek büyük bir ölçek. Yani mikro ve nano ölçeğe göre daha büyük bir ölçek. ...Makroölçek 10 üzeri eksi 3 olur. Daha büyük olduğu için. Mikro ölçek daha küçük bir ölçekle olacağı için ...Nano 10 üzeri eksi 12,” (FBÖ8)

“Hidrojen atomu nano ölçekte olması gerekirdi.” (BÖ8)

“Nano, daha 10 üzeri eksi 12 gibi, bunlar daha büyük oluyor. ... Mikro ölçekte insan alyuvarının çapı, hidrojen atomunun yarıçapı.” (KÖ4)

“...makro daha büyük, mikro daha küçük. Nano daha da küçük. O şekilde yerleştirdim. Burada hidrojen atomuna mesela 10 üzeri eksi 12 demişim. ...Yani burada en küçük nano ölçek olduğu için ben de hidrojen atomunu nano ölçeğe yazdım. Yani ben aslında atto olarak biliyorum yarıçapını. Yanlış biliyorum olabilirim. Belki gerçekte nano ölçektir. Ama 10 üzeri eksi 12’lerde,” (KÖ7)

Üç tanesini doğru yapan: Örneğin, “... Makro en büyük, nano en küçük. Onu göz önünde bulundurarak yaptım. ...Nano ölçekte en küçük, 10 üzeri eksi 12. Hidrojen atomunun yarıçapı, DNA sarmalının genişliği. ...” (BÖ1)

“...gözle gördüğüm büyük bir ölçek. Bunu da zaten sofraya tuzu, karınca başını görürüz. Onlar geliyor diye düşündüm. Mikro küçük ölçek. Bunları da daha işte alyuvar çapı, DNA sarmalı, mikroskopla görebildiğimiz tarzda bir şey diye düşündüm. Nano ölçek de en küçük ...terliksi hayvan yazdım. Biyoloji kitaplarında da vardı ...” (FBÖ2)

“...Nano en küçük, mikro daha ondan büyük, makro da büyük olarak düşündüm ...makro, karınca büyük ama sofraya tuzu ona göre daha küçük olduğu için bence mikro en küçük diye düşündüm.” (FBÖ3)

“Makro yani, nano ve mikroya göre daha büyük. ... DNA ve terliksi hayvanı biz mikroskopta görüyoruz ...Nano da, o da gözle görülemeyecek kadar küçük. 10 üzeri eksi 12 olur herhalde. ...10 üzeri eksi dokuz mikro ile nano arası olabilir ama nanoya daha yakın olabilir. 10 üzeri eksi 12 nano.” (BÖ6)

“Makro ölçek deyince benim aklıma nano ve mikrodan daha büyük bir ölçek aklıma geldi. ...Mikro da daha küçük olduğu için insan alyuvarının çapı olacak dedim, ...En küçük

ölçekte hidrojen atomunun çapı demiştim. ... Terliksi hayvanın boyutunu ...mikroya yazardım. DNA'yı da mikroya yazardım. 10 üzeri eksi 12 de nano ölçek olarak düşündüm.” (KÖ5)

İki tanesini doğru yapan: Örneğin, “... Makro ölçek deyince 10 üzeri eksi 3 oluyor yani bir maddenin binde biri kadar olarak algıladım ben. Normal mikroskop ve normal gözle göremediğim için 10 üzeri eksi 3, makro ölçek cinsinden tahmin ettim. ... Ama makro ölçeği daha, biraz daha somut bir şekilde görebiliriz gibime geliyor. Bence karınca başının genişliği, sofr tuzu tanesinin büyüklüğünü normal çıplak gözle, insan alyuvarının çapını biraz mikroskop gerekebilir. Görebiliyorsak daha büyük olması gerekiyor. ... Hidrojen atomunu, sofr tuzu tanesini mikro ölçeğe aldığımızı göre hidrojen atomunun yarıçapını diye düşünüyorum ilk başta.” (FBÖ1)

“Makro ölçek yani burada makro, mikro, nano. Bence büyükten küçüğe doğru sıralanmış olabilir.” (KÖ3)

“Ölçeklerin içinde yerleştirmede makro daha büyük. ... ölçek olarak da makro ölçek dedim. Mikroda daha küçük, hani mikroskop veya makroskoptan türettim ...” (FBÖ6)

“...mikro daha küçük, makro mikrodan bir tık daha büyük olduğu için sofr tuzu tanesini görebiliriz ama hidrojen atomunun yarıçapını göremeyiz daha küçük olduğunu düşünüyorum. ...küçüklük sayıların hangisi daha küçük hangisi daha büyük diye doldurdum.... o ölçekleri tam olarak bilmediğim için....” (FÖ1)

Bir tanesini doğru yapan: Örneğin, “Ben kendi adıma biyoloji öğrencisi olduğum için mikroskopta makro ölçekle ayarlanabilecek anlamında işaretlemiştim. Mikroskopta da mikro ölçekle ayarlayabileceğimiz olarak düşündüm. Nanoyu elektron mikroskopuyla inceleriz” (BÖ4)

İkinci soruda, 1 mm, 100 nm, 1 nm ve 100 pm kenar uzunluklarında küp şeklindeki dört kapta bulunan klor gazının sırasıyla çıplak gözle, optik mikroskopu ve atomik kuvvet mikroskopu ile nasıl görülebileceğine dair (göreceli ölçek) görüşmedeki öğrencilerin çizimlerine ait bulgular Tablo 4.53’de verilmiştir.

Tablo 4.53: 2.soru için görüşmeye katılan öğrencilerin yaptıkları çizimlerine ait doğru cevap oranları.

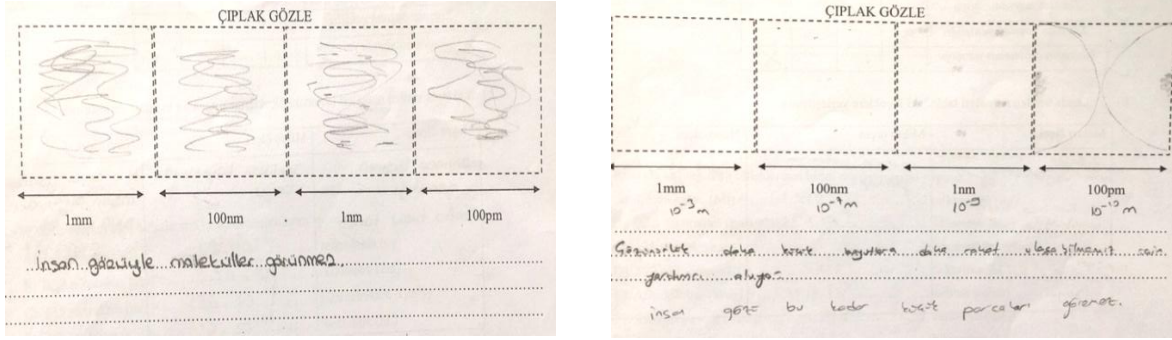
Kenar Uzunlukları	Çıplak Gözle		Optik Mik.		AFM	
	f	%	f	%	f	%
1 mm	9	36	4	16	1	4
100 nm	12	48	4	16	1	4
1 nm	13	52	5	20	8	32
100 pm	13	52	6	24	0	0

Tablo 4.53 incelendiğinde, görüşme yapılan öğrencilerin klor gazını çıplak gözle en doğru çizimlerin 1 nm ve 100 pm’de (%52), optik mikroskobu ile ilgili en doğru çizimlerin 100 pm’de (%24), AFM ile ilgili en doğru çizimlerin ise 1 nm’de (%32) olduğu tespit edilmiştir.

2.soruda “klor gazını dört farklı kenar uzunluklu kapta çıplak gözle nasıl çizdikleri” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin çizmiş oldukları cevaplar frekans ve yüzde olarak Tablo 4.54’de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, öğrencilerin ikinci soruya ait açıklamalar 5 ana tema altında toplanmıştır: 4 adet doğru çizim, 3 adet doğru çizim, 2 adet doğru çizim, 1 adet doğru çizim ve 0 adet doğru çizim.

Tablo 4.54: Soru 2 için görüşmeye katılan öğrencilerin çıplak gözle çizimlerine ait temaların oranı.

Tema	f	%
4 adet doğru çizim	9	36
3 adet doğru çizim	3	12
2 adet doğru çizim	1	4
1 adet doğru çizim	0	0
0 adet doğru çizim	12	48



Şekil 4.66: 2.soruya ilişkin örnekler (KÖ7-FBÖ2).

Dört adet doğru çizim: Örneğin, “Tabi ki de göremiyoruz yani, atomları göremeyiz. Boş yani hiçbir etkisi yok. ...” (KÖ7, Şekil 4.66)

“Ben göremeyiz yazdım çünkü görmüyoruz.” (FBÖ2, Şekil 4.66)

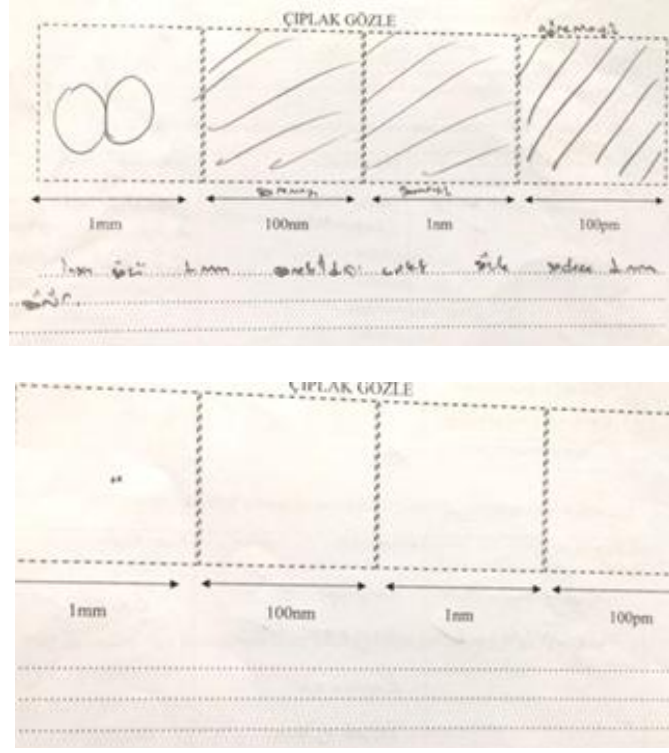
“Ben alttaki birimleri kullanandıktan öncelikle birimleri çevirmek daha kolayıma geldi. ...Onlara bakarak ya da bakıp o arada görebiliyorsam nasıl görebilirim gibisinden. Öyle bir yorumlama yapmaya çalıştım.” (KÖ2)

“Bir atomu gözle göremeyiz. Öncelikle, yani 1 milimetrelik alanda göremeyiz. ... Ama 100 konusunda kararsızım. Bir nanometrede görülebileceğini düşünüyorum. Nanometrelik bir şeyi gözle göremeyiz.” (FBÖ4)

“Molekül olarak göremeyiz atomik çapta gözlerimiz görmüyor.” (FBÖ6)

“Klor gazının hani klor atomlarını çıplak gözle göremeyeceğimizi düşündüm. Bu yüzden de burada verilen ölçüklerin hiçbirinde klor molekülünü göremeyeceğimizi düşündüm ben.” (KÖ5)

“Çıplak gözle görülemez tabi ki.” (BÖ6)

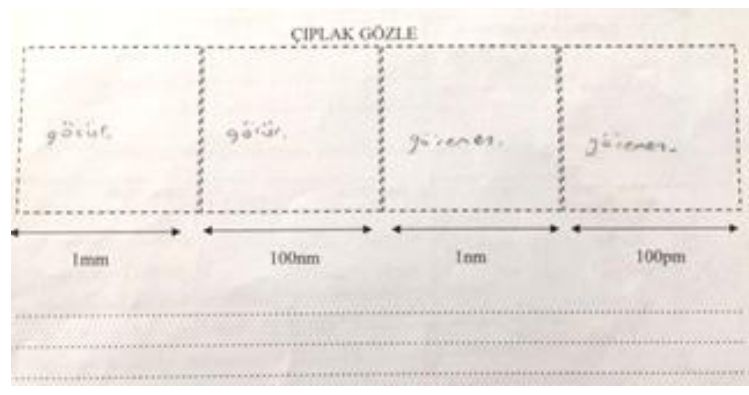


Şekil 4.67: 2.soruya ilişkin örnekler (FBÖ3-FBÖ8).

Üç adet doğru çizim: Örneğin, “...100 nanometre, pikometre, bunları biz göremeyiz bence diye düşündüm. Bunlar çok küçük rakamlar, 10 üzeri eksili rakamlar olduğu için göremeyiz” (FBÖ3, Şekil 4.67)

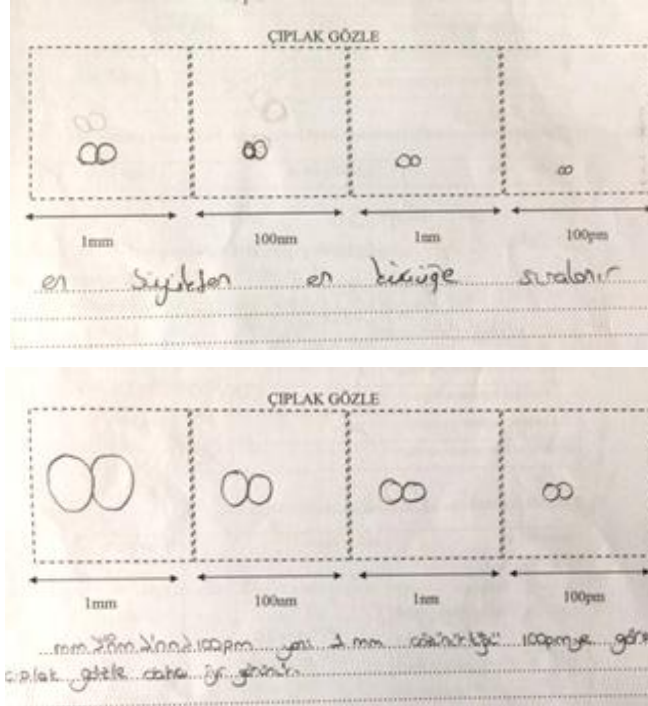
“Aslında hiç görünmez ama ne bileyim 1 milimetre görülebilir diye düşünmüşüm demek ki.” (FBÖ8, Şekil 4.67)

“Aslında çıplak gözle ben görülebilir demişim molekülü ama görülemez. Milimetre boyutunda bile olsa yani.” (FBÖ5)



Şekil 4.68: 2.soruya ilişkin çizimsiz örnek (BÖ3).

İki adet doğru çizim: Örneğin, “1 milimetrede ve 100 nanometrede görebiliriz. Çizimi valla, ayrıntılı göremeyiz. Nokta gibi bir şey görüntüsü. 1 nanometre ve 100 pikometrede daha küçük oldukları için görülemez yani.” (BÖ3, Şekil 4.68)



Şekil 4.69: 2.soruya ilişkin örnekler (FBÖ1-KÖ3).

Sıfır adet doğru çizim: Örneğin, “...Onu görebilmemiz için bayağı bir mikroskop falan kullanmalıyız. Normal gözle, çıplak gözle görebileceğimizi sanmıyorum.” (FBÖ1, Şekil 4.69)

“Çıplak gözle görülür derken, burada ölçekler verilmiş. Onlara göre yaptım.” (KÖ3, Şekil 4.69)

“...100 nanometre daha büyük görünür gibi düşündüm. Sonra 1nanometrede, sonra 100 pikometrede, sonra da 1 milimetre daha küçük görünür diye düşündüm. Çok bir bilğim yok büyüklük konusunda. Biz klor atomlarını görebiliyoruz.” (BÖ5)

“Hiçbir bilğim yok.” (FÖ2)

“O gün öyle demişim ama şu an tam tersi olduğunu düşünüyorum. Onları hiç göremeyiz.” (BÖ4)

“Çıplak gözle görmemiz çok zor. ...mesela mikroskopta o 1 milimetreyi biz daha böyle büyük göreceğiz mikroskopta. Ona göre ...yaparak çizdim. ...” (BÖ1)

“Yani tam olarak ayrılmış çizmemin de yine bilgili olarak yapmadım ...Yani gittikçe daha büyük görürüz ...Ayrı ayrı görürüz diye düşündüm.” (FBÖ7)

“Ölçümler hemen geçerli küçülüyor. Bizim de haliyle görmemiz daha da azalır. ...mesela 1 santimetre görmemiz rahattır ama 1 milimetreyi görmemiz daha sıkıntılıdır diye mantıken düşünerek, ölçeklerim her geçen gün birimler küçüldükçe ben de küçülttüm.” (FÖ1)

“Burada görebileceğimizi düşünüyorum.” (KÖ1)

“Gözükmemesi gerekiyordu.. ...alttakilerde de milimetre falan, nanometre var. Onları kıyasladım birbiriyle. Ona göre yaptım.” (KÖ6)

2. soruda “klor gazını dört farklı kenar uzunluklu kapta optik mikroskobu ile nasıl çizdikleri” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin çizmiş oldukları cevaplar frekans ve yüzde olarak Tablo 4.55 'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, öğrencilerin ikinci soruya ait açıklamalar 5 ana tema altında toplanmıştır: 4 adet doğru çizim, 3 adet doğru çizim, 2 adet doğru çizim, 1 adet doğru çizim ve 0 adet doğru çizim.

Tablo 4.55: Soru 2 için görüşmeye katılan öğrencilerin optik mikroskobu ile çizimlerine ait temaların oranı.

Tema	f	%
4 adet doğru çizim	3	12
3 adet doğru çizim	0	0
2 adet doğru çizim	1	4
1 adet doğru çizim	1	4
0 adet doğru çizim	20	80



Şekil 4.70: 2.soruya ilişkin örnekler (KÖ2-FÖ1).

Dört adet doğru çizim: Örneğin, “Optik mikroskopu zaten yani mesela dokuya baktığımızda bile zar zor yani belli ayrıntılar görebildiğimiz için bir moleküle baktığımız için göremeyeceğimizi düşündüm ve hiçbir şekilde yani çizim yapmaya gerek duymadım. Çünkü görüş aralığı çok düşük yani.” (KÖ2, Şekil 4.70)

“Ölçekte eğer burada da küçülüyor dedim. ...ilk baktığımızda dağınık görürüz. Daha sonra küçüldükçe ışın gibi görmeye başlarız, noktasal olarak görmeye başlarız. ...” (FÖ1, Şekil 4.70)

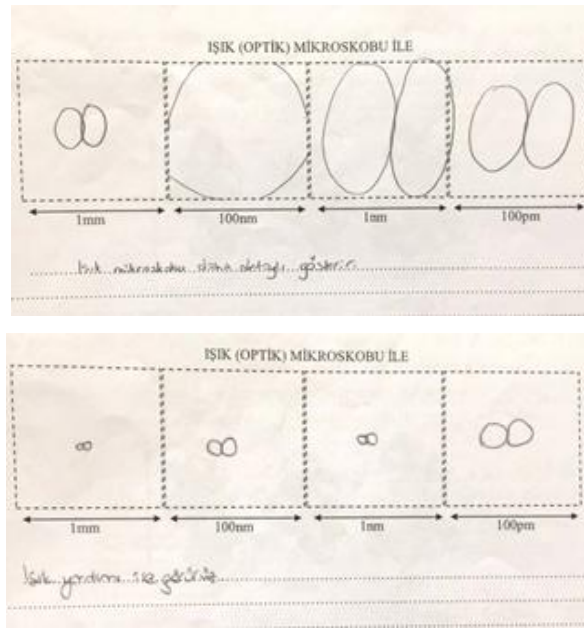
“Elektron mikroskopunda görebiliriz. Optik mikroskopunda göremeyiz. Optik mikroskopunda ancak hücre boyutundaki şeyleri görebiliriz. ...” (FBÖ4)



Şekil 4.71: 2.soruya ilişkin örnek (FBÖ5).

İki adet doğru çizim: Örneğin, “Mümkün değil. Işık mikroskobu ile biz moleküler yapıları göremiyoruz.” (FBÖ5, Şekil 4.71)

Bir adet doğru çizim: Örneğin, “..., mikrometre görebileceğimizi söylüyor. Nanometrede ...az çok görebiliriz. Nanometrenin üstündeki değerleri gene görebiliriz ama nanometrenin altındaki değerleri göremeyiz diye düşündüm ben.” (KÖ5)



Şekil 4.72: 2.soruya ilişkin örnekler (BÖ5- FBÖ2).

Sıfır adet doğru çizim: Örneğin, “Detaylı olur tabi ki de, mikroskopla gördüğümüz için. Çünkü çıplak gözle göre birazcık daha burada ışık mikroskobunda daha büyük çizimler var. ...büyüklük bakımından.” (BÖ5, Şekil 4.72)

“Tek başına klor yok diye biliyorum doğada. O yüzden 2 tane var diye öyle çizdim. Işık yardımı ile de görürüz bence diye düşünüyorum. Dikkate almıştım ama büyüklüğünü dikkate almış olabilirim ama çözünürlüğünü dikkate almadım. ...” (FBÖ2, Şekil 4.72)

“Optik mikroskobunda milimetre en büyük olduğu için orada belki normal çıplak gözle gördüğümüzden biraz daha büyük bir şekilde çıkabilir. ...O yüzden 100 pikometre olarak ele alırsak eğer, pikometre daha büyük bir şekilde görünebilir mikroskopta. O yüzden küçükten büyüğe şeklinde” (FBÖ1)

“Onu hiç bilmediğim için yapmadım hani. Nasıl olabilir diye düşünemediğim için yazmadım.” (FBÖ3)

“Yani bir nokta şeklinde görürüz ...Sonra da arkayı çevirip çözünürlüklerine bakmışımdır. Ona göre bir şey kurdum herhalde kafamdan. ... çizimi, çözünürlüklerine bakarak çizmişimdir. ...ışık mikroskobu bizim laboratuvarlarımızda da olduğu için hani klorür molekülünü ne bileyim, şu an görmek de biraz mantıksız geldi.” (BÖ6)

“...her mikroskopla görünmüyor. Işık mikroskopları ile o sırada hani, emin değilim açıkçası ama her mikroskopta görülmediğini biliyorum. Bu sırada böyle görünür olarak çizmişim. Yani yanlış çizmiş olabilirim ama ben böyle çizdim yani. Emin değilim. ...” (KÖ7)

“Yani, görürüz bence. Yani bu şeylerde de büyüyor işte, milimetre nanometre.” (KÖ4)

“Görüntü görünür ama tam ayrıntılı değil ...Nanometre, milimetreden daha küçük olduğu için daha ayrıntılı gösterir diye düşündüm. 100 nanometre daha büyüktür. Bence 1 nanometre daha büyüktür.” (BÖ2)

“1 milimetre çok fazla büyütür ...O yüzden daha net görürüz bunu da. 100 pm’de de çok hani belli belirsiz olur diye ya daha şey çizdim sarmalsı bir yapı çizdim.” (FBÖ6)

“Optik olarak düşününce hani %1’de daha mı fazla? Yani bu şekilde düşündüm.” (FBÖ8)

“1 nm’de görülür, 100 nm’de görülür, 1 milimetrede görülür. 1 milimetrede büyük görürüz.” (BÖ3)

“Optik mikroskopla bence görürüz. Bileşik olmadığı için yuvarlak yuvarlak, tek teker teker moleküller şeklinde olabilir.” (FÖ2)

“1 milimetrede daha küçük dedim. 100 nanometrede biraz daha büyük, 1000 nanometrede daha büyük, 100 pm’de de daha büyük olarak, hani yakınlaştırma anlamında düşündüm” (BÖ4)

“Işık mikroskopunda mümkün olabilir çünkü yani tam bir bilgim yoktu ... Biyolojik laboratuvarında hocamız küçük şeyleri, ışık mikroskobu bir tane var demişti. Boyama yöntemi ile galiba küçük şeyler gözüküyor. Onu düşünüp o yüzden görülebilir diye düşünüyorum yani ışık mikroskopuyla.” (BÖ1)

“Görebiliriz. Aynı şekilde demişim zaten. Ayrı olarak düşündüm. Sonra daha çok ayrılıyor ve daha çok büyüyor. Büyük görmemizi sağlıyor.” (FBÖ7)

“Daha net görebiliriz mikroskopla.” (KÖ3)

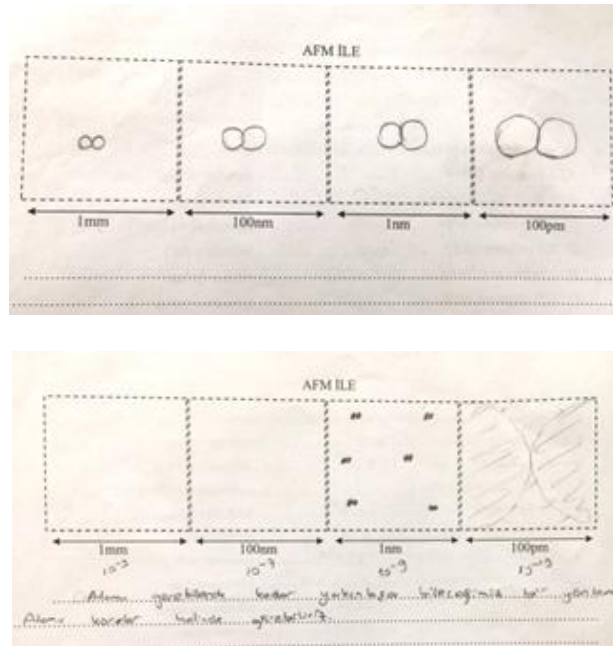
“Mikroskop ile incelediğimizde büyüklüklerine göre görebiliriz.” (BÖ8)

2. soruda “klor gazını dört farklı kenar uzunluklu kapta atomik kuvvet mikroskobu ile nasıl çizdikleri” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin çizmiş oldukları cevaplar frekans ve yüzde olarak Tablo 4.56’da verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, öğrencilerin ikinci soruya

ait açıklamalar 5 ana tema altında toplanmıştır: 4 adet doğru çizim, 3 adet doğru çizim, 2 adet doğru çizim, 1 adet doğru çizim ve 0 adet doğru çizim.

Tablo 4.56: Soru 2 için görüşmeye katılan öğrencilerin AFM ile ilgili çizimlerine ait temaların oranı.

Tema	f	%
4 adet doğru çizim	0	0
3 adet doğru çizim	0	0
2 adet doğru çizim	0	0
1 adet doğru çizim	12	48
0 adet doğru çizim	13	52



Şekil 4.73: 2.soruya ilişkin örnekler (FBÖ2-KÖ2).

Bir adet doğru çizim: Örneğin, “AFM ne, şu an tam bilmiyorum. ... mikroskobun daha çok büyütüp görürüz diye düşündüm. O yüzden daha büyük görürüz diye düşündüm.” (FBÖ2, Şekil 4.73)

“Görebileceğimizi düşündüm ve ona göre bir işaretleme yaptım yani. Yine benzer bir çizim yaptım.” (KÖ2, Şekil 4.73)

“... AFM’de daha farklı. Flüoresansta ışık mikroskobuna göre daha çok şey görebiliyoruz. Çözünürlük falan daha farklı ama nasıl çizeceğimi bilemedim. Ama farklı olduğunu biliyorum yani.” (KÖ7)

“Görürüz diye düşünmüştüm1 milimetreden 100 nanometreye geçerken azalıyor diye düşünüyorum ve ikisi birleşik gibi hemen hemen ve burada da çok az, aslında tek gibi de

görünüyor. Ve de şu an netlik azalmış diye düşünüyorum. Yani büyüklüklerde herhangi bir farklılık yok ama molekül sanki gittikçe böyle atomsu bir görüntü kazanır. ...100 pikometre daha küçük görürüz 1 milimetreye göre. Ayrıntı daha az olur.” (FBÖ6)

“...atomik kuvvet mikroskobu, ışık mikroskobundan biraz daha küçük, çok çok daha küçük maddeleri gözlemleyebiliriz. ...1 milimetrede bir şeyde mikropta biraz daha büyük olup 100 pikometrede daha küçüğe doğru gidebilir. Ama ışık mikroskobundan biraz daha hassas diye tahmin ettim. ...O yüzden atomik kuvvet mikroskobu da çok çok daha küçük, küçük bir şeyi daha büyüklükte görebiliriz diye düşündüm. Ama pikometre tabii küçük olduğu için küçük gösterebilir aslında.” (FBÖ1)

“AFM 0.1 nanometre kadar gösterebilen bir değermiş. Bu yüzden de nanometre değerlerini gene gayet güzel bir şekilde görebileceğimizi, pikometre değerinde de çok ufak bir şekilde görebileceğimizi düşündüm...” (KÖ5)

“1 milimetrede daha büyük bir alan olduğu için daha küçük görürüz diye düşünmüşüm ...Alan küçüldükçe yani 100 nanometre, 1 nanometre ve 100 nanometreye gittikçe alan daraldıkça daha iyi görürüz diye düşünmüşüm ve alanı daha büyük çizmişim.” (FBÖ4)

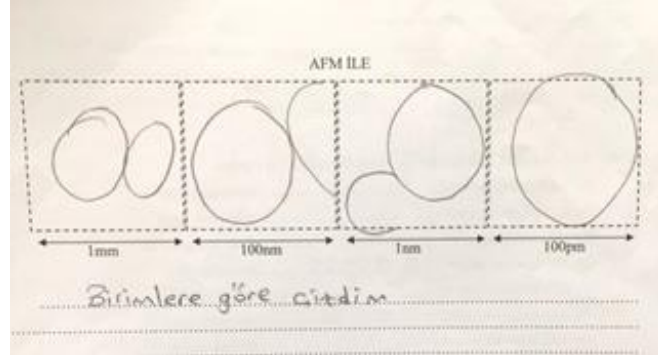
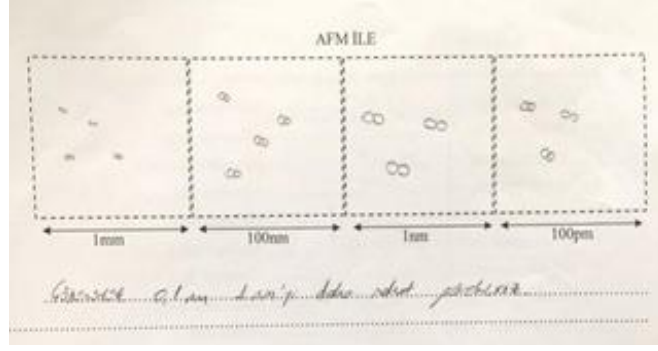
“Görme şansımız var çünkü nanometre cinsinden yaklaştırdığı için sanırım görebiliriz. Pikometre çok küçük, nanometre ve milimetre büyük olduğu için bunu hepsini göremeyiz, yarısını görebiliriz diye düşündüm. Çünkü diğerine göre daha büyük olduğu için bunların ikisi de nanometre cinsinden olmuş. ... Pikometre en küçük olduğu için zaten nanometre küçük, ama pikometre daha küçük olduğu için bunu göremeyiz ...” (FBÖ3)

“AFM nasıl bir mikroskop, onu bilmiyorum ama tahmin yürüttüğüme göre ışık mikroskobundan biraz daha ayrıntıyı gösteren bir mikroskop büyük ihtimal. ... Milimetre daha büyük olduğu için daha bir hani yakınlaştıracığını düşündüm.” (FBÖ8)

“...daha küçük görürüz. Sonra büyür ama birleşir diye düşündüm. Bu sefer de şey olarak moleküller birleşik vaziyette ve daha büyük bir şekilde görürüz. Çok bilgim olmadığı için AFM ile ilgili” (FBÖ7)

“AFM'nin ne olduğunu bilmediğim için. Açıklamaya göre yani, şey diye düşünmüş olabilirim. Mikroskoba göre bununla daha iyi görebilirim.” (KÖ3)

“Orada daha ayrıntılı görebiliriz.” (KÖ1)



Şekil 4.74: 2.soruya ilişkin örnekler (KÖ6-BÖ4).

Sıfır adet doğru çizim: Örneğin, “AFM’nin ne olduğunu tam olarak bilmiyordum. Oradaki 0.1 nanometre oranına göre yaptım.” (KÖ6, Şekil, 4.74)

“Sanırım bu birimleri bilmediğimiz için de en azından nanometre ya da kelimenin tam açılımını ya da AFM’nin tam bilmediğimiz için pm sanırsam milyonda 1 miydi?” (BÖ4, Şekil 4.74)

“AFM’nin ne olduğunu bilmiyorum.” (BÖ5)

“AFM’yi çok kullanmadım ama yani fazla duymadım da. Yani, demek ki çok küçük şeyler görebildiğimiz içi, o şeyden dolayı küçük yaptım onu. Çok küçük şeyler incelendiği için.” (BÖ1)

“...AFM ile de görülebilir o zaman. Çünkü atomik bir mikroskop ise moleküler yapıyı rahat inceleyebiliriz. ...boyutları farklı ve biz ne kadar büyükse o kadar mikroskopta daha yakın görüyoruz ya, hemen hemen bu şekilde görülme ihtimali var bence. 1 milimetrede daha büyük bir şekilde görürüz. 100 pikometrede ise çok çok küçük görürüz ... Detayını fazla göremeyiz.” (FBÖ5)

“...Sonuçta bu daha küçük diye düşünerek ölçümlemlerimi daha gözün görünürlüğü daha çok küçülttüm. Hatta burada neredeyse görünmeyecek kadar.” (FÖ1)

“AFM sanırım, ışık mikroskopuna göre daha iyi gösteren bir cihaz. Hani bu, bu, buna göre daha küçük bir şey. ...100 pikometre daha büyük gözükmesi gerekir. Yani aralarında devasa bir fark olmaz diye düşünüyorum.” (BÖ6)

“AFM’yi tam olarak kafamda canlandıramadım ama. Daha iyi gösterir yani, daha büyük gösterir atomu. Daha ayrıntılı.” (BÖ2)

“Görürüz demişim. Çok az miktarda büyür demişim.” (KÖ4)

“1 milimetrede en büyük, 100 pikometrede en küçük şekilde görürüz.” (BÖ3)

“Orada sanki flu gibi iken daha net. Işık mikroskopunda flu gibi iken AFM’de daha netleşir ama 1 milimetreden 100 pikometreye doğru molekül tanesi küçülerek şey olur.” (FÖ2)

“AFM’de daha ayrıntılı görürüz. Işıktaki biraz daha, nasıl diyebilirim. Daha üstten, daha düz. Daha düz bir şekilde. Daha düz derken daha flu. AFM ile...Daha net.” (BÖ8)

“Daha büyük görmemiz lazım, daha net.” (BÖ7)

3. soruda “üç farklı büyüklükteki küp şekerlerin su ile etkileşmelerinin karşılaştırılması” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin vermiş oldukları cevaplar frekans ve yüzde olarak Tablo 4.57 ’de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, öğrencilerin üçüncü soruya ait açıklamalar 5 ana tema altında toplanmıştır: $A < B < C$, $C < B < A$, $A < C < B$, $B < C < A$ ve $B < A < C$.

Tablo 4.57: Soru 3 için görüşmeye katılan öğrencilere ait temaların oranı.

Tema	f	%
$A < B < C$	19	76
$C < B < A$	3	12
$A < C < B$	1	4
$B < C < A$	1	4
$B < A < C$	1	4

Tablo 4.57’ye göre, görüşmeye katılan öğrencilerin $A < B < C$ (%76), $C < B < A$ (%12), $A < C < B$ (%4), $B < C < A$ (%4) ve $B < A < C$ (%4) şeklinde cevaplamışlardır.

$C > B > A$ En küçükten en büyüğe doğru sıraladım.

Suda çözünme hızları $C > B > A$
Yüzey alanı / hacim oranı $C > B > A$
Su ile arasındaki etkileşim $A > B > C$

Şekil 4.75: 3.soruya ilişkin örnekler (BÖ1-KÖ4).

$A < B < C$: Örneğin, “ ... Mesela küçük olan büyük küp şekeri atsak sıcak suya daha çabuk çözüldüğü için küçük olan daha çabuk çözünecek diye düşündüm. O yönden sıraladım küçükten büyüğe doğru.” (BÖ1, Şekil 4.75)

“Yüzey alanı / hacim hesaplanmasını yapmadım. Yani, temas yüzeyi diyeceğim ama şu an resmen şeklin durumundan yapmışım herhalde.” (KÖ4, Şekil 4.75)

“Nanometre, mikrometre, onlara bakarak yaptım. Nanometre daha küçük olduğu için daha çabuk çözünür. O yüzden C, B, A diye sıralama yaptım.” (BÖ2)

“Küçük moleküller daha hızlı çözünür. Yüzey alanı / hacim oranı şöyle oluyor: C büyüktür B büyüktür A.” (BÖ3)

“Küçük olan nanometre oluyor. Bu nanometre daha hızlı çözünür çünkü küçük parçacık da olduğu için. Santimetre biraz daha geç çözünür o zaman.” (FBÖ5)

“10 santimetre neyle çözülebileceğine kanaat getirdim. Sonra 10 mikrometrenin, sonra da 10 nanometre...” (BÖ4)

“...Nanometre bana daha büyük geldi. Yüzey alanı en az olan daha hızlı çözünür diye düşündüm. Nanometrenin daha hızlı olduğunu düşündüm, hesaplama yapmadım.” (BÖ5)

“...birimlerinden yola çıkarak karşılaştırma yaptım. Sanki 10 santimetrelilik 10 santimetre olan daha geç çözülmüş gibi geldi. Onları metre olan en hızlı çözünür dedim.” (FÖ2)

“...yüzey alanı, hacim oranı göz olarak, göz kararı düşündüm. A'da daha fazla büyük olduğu için daha yavaş çözünür. Küçük olan daha hızlı bir şekilde çözünür diye düşündüm.” (FBÖ7)

“Hesaplama yapmadım. ...Boyutu büyük olan daha yavaş çözüneceğini düşündüm. Sonrasında işte diğer mikro, 10 mikrometre işte daha yavaş sonrasında nanometre daha

yavaş olarak düşündüm. ...Yüzey alanı daha küçük olacağı için bu sefer hacmi de küçük olacak” (FBÖ8)

“Evet, yüzey alanı / hacim yaptım. Dediğim gibi bundan da tam emin değilim ama bunu nanoteknoloji dersi aldığım için derste çok uzun süre tartıştığımızı hatırlıyorum ... Ama böyle bir hesaplama olduğuna eminim. Hacim mi emin değilim ama yüzey alanı ile bunun değiştiğini kesinlikle biliyorum ...Yüzey alanı / hacim oranı arttıkça çözünme hızı azalır yazmışım. ...C daha fazla gösteriyor dedim. ...” (KÖ7)

“Yani hesaplama tam olarak yapmasam da mantık olarak düşünmüşümdür. Zaten santimetre en büyük olan. ... yüzey alanı da küçük, o yüzden daha küçük, daha çabuk çözünür diye düşündüm.” (FBÖ2)

“Mesela küp şeker, normal ezilmiş şekerle göre daha geç çözünüyor. Yani yüzey alanına bağlı olarak değişiyor. ... ne kadar yüzey alanı geniş olursa o kadar çabuk etki eder. O kadar çabuk erir diye düşünerekten yüzey alanına bakarak düşündüm” (FBÖ3)

“Yani çaya büyük bir şeker atsam ya da küçük bir şeker atsam ... A büyüktür B, B büyüktür C. ...yüzey alanı / hacimden ...bilmiyorum yani. Yüzey alanı büyük olandan mı hızlı çözünecek?” (BÖ6)

“...ben burada yüzey alanı / hacim yapmadım. Şu şekilde düşündüm. Şekille düşünerek yaptım ...En küçük olan C olduğu için nanometre cinsinden verildiği için en önce C'nin olacağını, sonra B'nin, sonra da A'nın dolacağını düşündüm” (KÖ5)

“Hesaplama yapmadım ... daha düşük boyutta kendinden düşük boyutta olduğu için daha yüksek çözünürlüklerde daha kolay hesaplamalar yapılabileceğimi düşünerekten yani çözünürlük değerine baktım sadece. Boyutu küçük olanın daha hızlı çözüneceğini düşündüm.” (KÖ2)

“...en küçük olanı daha fazla çözeriz diye çözünme hızı en yüksek C demiştim.” (FBÖ7)

“...Bir hesaplama yapmadım o sırada. Ama büyük olanın çözülmesi daha yavaştır. Sonuçta boyut olarak büyük ama diğerleri boyut olarak küçük olduğu için hızlı çözünür. Çünkü birim alana düşen şeyi birim alanına düşen tanecik sayısı daha çok azalıyor ...çözülmesi daha zordur. Diğerlerinden küçüktür diye C, B, A diye sıralamıştım.” (FÖ1)

“Çünkü kenarına göre 10 nanometre, diğerlerinininki 10 santimetre mesela. O daha çok oluyor. Büyük, o yüzden.” (BÖ8)

..A>B>C... / birimleri... metre... çevirsem... yüzey alanı... en büyük... A...
...olacağından... sıralama... şekilde... olur... diye... düşünüyorum...

Şekil 4.76: 3.soruya ilişkin örnek (KÖ6).

C<B<A: Örneğin, “Yüzey alanı / hacim hesaplaması yapmamışım birimleri çevirerek sonuca varmışım. Hepsini metreye çevirmişim, aynı cinsten olsun diye sanırım. Verilen değerleri ona göre yapmışım.” (KÖ6, Şekil 4.76)

“...C küpünün en küçük kenarı, en küçük olan. Sonra B'nin mikro, o biraz daha ondan biraz daha büyük olacak. En büyükte de A küpü kenarı olacak. ...Bence 10 nanometre olan daha çok çözünür gibi mi geliyor. Çünkü daha küçük yapıldığı daha çok çözünecek Yüzey alanı / hacim hesabı yapacak olsaydık en büyük olanı herhalde A küpü olurdu. ...10 nanometre olan daha küçük olduğu için daha çabuk çözünmesini bekleriz.” (FBÖ1)

“...yüzey alanı / hacim ve şey yani bir hesaplama yapacak olursak yine A çıkması gerekir.” (FBÖ4)

B<C<A: Örneğin, “...daha çok orada sıranın üzerine yazmıştım sıralamayı yaparken. En hızlı çözünme A olarak bulmuştum. Sonra C ve sonra B demiştim.” (KÖ1)

4. soruda “birim dönüştürme” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin vermiş oldukları cevaplar frekans ve yüzde olarak Tablo 4.58 'de verilmiştir.

Tablo 4.58: Soru 4 için görüşmeye katılan öğrencilerin doğru cevap oranları.

Soru Şıkkı	f	%
A	1	4
B	2	8
C	0	0
D	1	4
E	7	28
F	1	4
G	5	20
H	1	4
I	1	4
J	0	0

Tablo 4.58'e göre, görüşmedeki öğrencilerin en çok E şıkkına (%28) ve G şıkkına (%20) şıkkına doğru bir biçimde cevap vermiştir. C ve J şıklarına hiçbir öğrenci doğru cevap vermediği görülmüştür.

4. soruda “birim dönüştürme” ile ilgili görüşmeye katılan öğrencilerin vermiş oldukları cevaplar frekans ve yüzde olarak Tablo 4.59’da verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, öğrencilerin dördüncü soruya ait açıklamalar 11 ana tema altında toplanmıştır: 10 adet doğru cevap, 9 adet doğru cevap, 8 adet doğru cevap, 7 adet doğru cevap, 6 adet doğru cevap, 5 adet doğru cevap, 4 adet doğru cevap, 3 adet doğru cevap, 2 adet doğru cevap, 1 adet doğru cevap ve 0 adet doğru cevap.

Tablo 4.59: Soru 4 için görüşmeye katılan öğrencilere ait temaların oranı.

Tema	f	%
10 adet doğru cevap	0	0
9 adet doğru cevap	0	0
8 adet doğru cevap	0	0
7 adet doğru cevap	0	0
6 adet doğru cevap	1	4
5 adet doğru cevap	0	0
4 adet doğru cevap	0	0
3 adet doğru cevap	1	4
2 adet doğru cevap	4	16
1 adet doğru cevap	2	8
0 adet doğru cevap	17	68

6 adet doğru cevap: Örneğin, “...C’de metrekareden kilometrekareye, genelde karşılaştığımız çevirmeler olduğu için o sırada yapamadım. Diğerlerinde zorlanmadım” (KÖ2)

3 adet doğru cevap: Örneğin, “...Hepsini bu yanda yazdıklarımı sonra çevirmeleri yaptım. ... Gigajoule çevrilmesi çünkü o daha üstlerde. Biz genelde küçüklerle çalıştığımız için kimyacı olduğumuzdan küçükler daha çok aklımızda. Böyle mesela mega ton vermiş. Onlar yukarıda olduğu için onları çevirmekte biraz zorlandım ama çevirdim. ...En çok zorlandığım J’ydi.” (KÖ5)

2 adet doğru cevap: Örneğin, “...O şekilde çevirdim. ...Yani şöyle, metreye çevirdikten sonra aşağı dönüyorum. Megadan nanoya direk geçmiyorum. İlk önce metreye geçiyorum, sonra nanoya geçiyorum. Matematikte kendime çok güveniyorum açıkçası. O yüzden sıkıntı olmuyor.” (KÖ7)

“...zaten birkaçını neredeyse bayağısını ben görmedim. Bilmediklerimi yaptım, ... metrekare, gigametrekare bunu da daha büyük olarak düşündüm ama nasıl çevrilmesi gerektiğini bilmiyorum. Hangisi daha büyük konusunda bir fikir sahibi olabiliyorum ama nasıl çevirmem konusunda bir fikir sahibi olamıyorum. Çünkü sırasını bilmediğim için. ...Büyürken, virgül kaydırmaktansa sıfır atmak daha kolay geliyor.” (FBÖ3)

“D’yi de bilmiyorum. E’yi bilmiyorum. F’yi de bilmiyorum. Büyükten küçüğe. Bunları bilmediğim için zorlandım. ...” (BÖ3)

“Zorlandım. ... Megaton. Nanolitre duymamıştım daha önce. ...nanometreyi falan biliyordum ...Desikandela, kandelayı biliyordum ama desikandela bilmiyordum. Giga joule bilmiyordum. Bu tarafa geçtiğimde de mesela giga joule, nano joule. ...Burada büyükten küçüğe doğru çevirirken zorlanmışımdır. ...” (FBÖ6)

1 adet doğru cevap: Örneğin, “Pikokandela ve nanolitre biraz zorlanmış olabilirim. Şimdi, küçükten yükseğe çıkarken mesela ... A şıkkında zorlanmış olabilirim.” (KÖ3)

“Şurada mikroamperi şey yapmamışım. Ama şu an bunları biliyorum yani. O zamanlar işte... Büyükten küçüğe doğru çevirirken zorlandım. C, gigametre vardı orada. H, İ, yine bir de J.” (KÖ6)

0 adet doğru cevap: Örneğin, “Bilmediğim mesela desikandela vardı. Yani bilmiyorum onu, yani biliyorumdur da liseden. Yani belki bir kere gördüğüm için unutmuşumdur. Megawatt falan, onu da bilmiyorum mesela. Küçükten büyüğe doğru çevirirken zorlandım. ...” (BÖ6)

“Öncelikle çoğunu yapmamışım. Yaptığım E, G ve İ olmuş. Tam olarak sanırım dönüşümleri bilmediğimi fark ettim şu an. Üçü hariç diğerlerinde zorlanmışım. ...Beni küçükten büyüğe dönüştürmek daha çok zorlar. ...” (FBÖ4)

“Piko kandela vardı mesela, onu ilk defa duymuştum. Desi kandela vardı yanlış mesela. Onu da ilk defa duymuştum. Büyükten küçüğe çevirirken zorlandım. ...” (KÖ1)

“Desikandela duymadım. Gerçi desi - pikoya çevirmede belki bir şeyler yapmış olabilirim ...Şu gigametrekareyi hiç duymadım. Desiyi çevirdim. ...Metrekareyi işte gigaya, gigayı tam bilmediğim için o yüzden orada biraz hata yapmış olabilirim. Mega, mikrodan büyük galiba. Ben bir tek burada gigayı bilmiyordum. Sanırım küçükten büyüğe doğru çevirirken biraz daha zorlanmış olabilirim. Çünkü daha büyükten küçüğe çevirince daha küçük bir değer. ... küçükten büyüğe çevirdiğimiz zaman hani kaç katına çıkartmam gerektiğini pek hesaplayamamıştım. C kısmında metrekareyi gigametreye çevirirken. ...Ama gigametre de

yani çok küçük değil. Megametre biraz daha küçük gigadan diye düşünüyorum, ... O yüzden C kısmında zorlandım.” (FBÖ1)

“Fazla duymadığım var. Piko kandela. Piko metre kare. Kiloamper. Bunu duydum ama günlükte çok karşılaştığım bir şey değil. Bununla ilgili yine megawatt, bunlar... Büyükten küçüğe çevirirken zorlandım. H’dekinde ve F’dekinde zorlandım. ...” (BÖ8)

” ...biz genelde mililitre litre kullanıyoruz. Hektolitreyi görünce mesela biraz daha önce fazla kullanmadığım için. Biz genelde hep biyolojide mililitre, litre çevrimi yapıyoruz, ...Mesela H şikkında. Pikocandela var. Onlarda zorlandım çünkü hani benim bilgim mesela, kiloamper hani fizik’ten ...kilogram falan bunları bildiğimiz için cevapladım ama. Önce kullanmadığım şeyler gelince karşıma zorlandım. Küçükten büyüğe çevirirken daha çok zorlandım. Sıfırla falan eksiltiyoruz. ...Küçükken daha çok zorlanıyordum. D bölümünde nanoyu hektoya çeviremedim.” (BÖ1)

“Bilmediğim ölçü birimi F’deki megawatt. Yine duymuşumdur ama bu şekilde yazıldığını bilmiyordum. ... Desikandela. Ben bunların hepsinde zorlanıyorum. ... Birim çevirmelerin hepsinde zorlandım.” (KÖ4),

“Nanolitre, megaton. Bunları hiç duymadım. Megawatt. Mantiğıma nasıl geliyorsa öyle yaptım ama bilmeyerek yaptım. Hiçbirini kolay yapmışım gibi gelmiyor çünkü çoğunu bilmiyorum.” (FBÖ2)

“...kendi bölümümde bu kadar çok birim çevirme yoktu. ... o yüzden yani hiçbirini yapamadım diyebilirim... Watt, litre, metrekare, kilometre, gram. Bunları biliyoruz ama başında işte mikro gibi giga gibi kelimeler geldiği zaman iş karışıyor. Büyükten küçüğe doğru çevirmek daha zor.” (FÖ2)

“Nanometre, kilowatt, megawatt, mikroamper, desikandela, mikromol, gigajoule, onları bilmiyordum. Mol duydum kimyada. Mikro ifadesi olunca, mikromol biraz böyle değişik geldi. Mikro duydum, ikisini ayrı ayrı duydum ama birleştirerek duymamıştım. Kandelayı da ışık şiddeti, öyle bir şeylerde duydum ama desikandelayı bilmiyordum. Bence küçükten büyüğe doğru daha zordu. Bence en zor F.” (BÖ2)

“Hiç duymadığım hemen hemen yok. ...Ama birim çevirmede sıkıntı yaşadım çünkü o sırada her birim birimlerini 10 üzeri eksi 12 mi kaç olduğunu bilmiyordum açıkçası. ... eğer birimi bilseydim küçükten büyüğe, büyükten küçüğe diye zorlanacağımı zannetmiyorum. ...Ben birime hâkim olmadığım için birim küçültmede de büyütmede de bir zorluk çektim. Çünkü birimlerinde bir bilgim yok. ...” (FÖ1)

“Megatonu ben çok bilmiyordum. Megawatt’ı işte biraz. Ondan sonra desikandelayı bilmiyordum. Yani tahmini olarak ...çok bilerek yapmadım bu hesaplamaları. ... Daha çok

küçükten büyüğe doğru çevirirken zorlandım. B şikkında biraz zorlandım. Yine İ'de. Bunlar küçükten büyüğe doğru olduğu için birazcık daha sıkıntılı. Bu eksi yazımlar, işte -16 gibi. Bunlarda biraz daha zorlandım.” (FBÖ5)

“Megatonu bilmiyorum. Nanolitre, mikroamper, desikandela, mikromol. Bazılarını ilk defa duydum. Bazılarını biliyorum ama dönüşümlerini bilmiyorum. Milibar, gigametrekare. Büyükten küçüğe doğru da küçükten büyüğe doğru da ikisinde de zorlandım. Bazılarını bilmediğim için.” (BÖ5)

“Neredeyse ölçü birimlerinin hiçbirini bilmiyorum. Hesaplama yaparken, kelimeleri bilmeyince küçükten büyüğe de, küçükten büyüğe de zorlanıyoruz.” (BÖ4)

“Genelde bilmediklerim var. ...megaton, piko, yani bunları biliyorum. Açıkçası onları biraz salladım. Büyükten küçüğe doğru zorlandım. Daha zor geldi. Şu İ şikkını yaparken zorlandım çünkü sayı büyük. Başka, B kısmını. Bir de J kısmını.” (FBÖ7)

“Mega işte mikrodan daha büyük olduğu için biraz daha büyük olabileceğini düşündüm ben. 10 üzeri eksi 9 olarak, hani küçük olacak mikro. O yüzden 10 üzeri eksi 9 olarak düşündüm. Diğerinde ise hani küçüklük, büyüklük, piko işte daha küçük olduğu için diğerinin daha büyük olabileceğini düşündüm. ... Yani küçükten büyüğe doğru çevirirken daha zorlandım....” (FBÖ8)

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

5.1 Öğretim Programlarının İncelenmesi

Fen lisesi ortaöğretim ders programları incelendiğinde büyüklük ve ölçek ile ilgili doğrudan bir kazanımın bulunmadığı ancak ilişkilendirilen konuların veya kavramların daha çok 9.sınıfta yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4.1). Fen lisesi 9.sınıf biyoloji dersinde virüs kavramı ile virüsün büyüklüğü hakkında nano ölçeğin kullanıldığı düşünülmektedir. Ayrıca, 11.sınıfta gösterilen “Atomun Kuantum Modeli” konusunda dalga büyüklüğünün birimi olan nanometreden bahsedilirken atom ve altı ölçek ile çok küçük ölçekler olan nano ve piko ölçekleri de içerdiği görülmektedir.

Biyoloji öğretmenliği öğretim programında büyüklük ve ölçek konusu ile ilgili herhangi bir kazanım yoktur. Fakat bu konu ile ilgili ilişkilendirilen kavramlara bakıldığında programın 2.sınıfında ölçek bilgilerinin daha yoğun bir biçimde olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Konu ve kavramların daha çok mikro ölçekte olduğu, nano ölçekte de DNA/RNA gen yapıları gibi konularda işlendiği düşünülmektedir. Ayrıca, 1.sınıfta mikro ve nano ölçekler, 2.sınıfta mikro, nano ve atom ve altı ölçekler, 3.sınıfta nano ölçek ile ilişkilendirilen kavramlar bulunmaktadır. Son sınıfta ise büyüklük ve ölçek konusuna dair herhangi bir konu ya da kavram ilişkilendirilememiştir (Şekil 4.2).

Fizik öğretmenliği öğretim programında büyüklük ve ölçek konusu ile doğrudan ilgili ölçme, evrendeki ölçekler, birim çevirme, nano yapılar gibi konuların işlendiği görülmektedir (Tablo 4.5). Bu konuların 1.,3, ve 4.sınıflara konulduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 1.ve 3. sınıfta tüm ölçekler, 2.sınıfta makro ve atom ve altı ölçekler, 4.sınıfta nano ve atom ve altı ölçekler bulunmaktadır (Şekil 4.3). Konu ve kavramların genellikle atom ve altı ölçekte konumlandığı görülmektedir fakat 1.sınıftaki ölçme ve birim çevirme gibi konuların tüm ölçekleri içermektedir.

Kimya öğretmenliği öğretim programında büyüklük ve ölçek konusu ile doğrudan ilgili 1.sınıfta kimyada ölçme konusu işlendiği görülmektedir (Tablo 4.6). İlişkilendirilen kavram veya konuların daha çok 1.sınıfta bulunduğu tespit edilerek son sınıfta ilişkilendirilebilecek herhangi bir konu veya kavram olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, 1.sınıfta tüm ölçeklerin, 2.sınıfta atom ve altı ölçeğin, 3.sınıfta ise nano ölçeğin yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.4).

Fen bilgisi öğretmenliği öğretim programında büyüklük ve ölçek konusunun doğrudan yer aldığı kavram veya konular: SI birim sistemi, kozmik ölçek, astronomide birimler (Tablo 4.7). İlişkilendirilen konu veya kavramların ağırlıklı olarak 1.sınıfta bulunduğu ve son sınıfta ise büyüklük ve ölçek ile ilgili herhangi bir kazanımın olmadığı görülmektedir. Ayrıca, 1.sınıfta tüm ölçeklerin, 2.sınıfta nano ve atom ve altı ölçeklerin, 3.sınıfta ise sadece makro ölçegin yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.5).

5.2 Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi

Fen lisesi öğrencilerinin nanobilim ve nanoteknoloji ile ilgili olan büyüklük ve ölçek konusuna ilişkin bilgi testinde sınıf seviyesi arttıkça öğrencilerin sorulara daha çok doğru cevap verdikleri görülmüştür. 11.sınıf öğrencileri sorulara daha doğru cevap vermekle birlikte tüm sınıflardaki öğrencilerin büyüklük ve ölçek hakkındaki bilgi seviyelerinin düşük olduğu ve nanobilimle ilgili konulara yatkın olmadıkları belirlenmiştir. 11.sınıf öğrencilerinin büyüklük ve ölçek konusu bilgi testine daha doğru cevaplar vererek 9., 10. ve 11.sınıfta biyoloji, fizik ve kimya derslerinde nanobilim ve nanoteknoloji ile ilgili konuları görmüş olduklarından öğrenmede ilerleme kaydedilmiştir.

1.soruda verilen nesnelere sıralamaları istenildiğinde 11.sınıf öğrencilerinin diğer sınıflara göre daha doğru cevap verdiği görülmüştür. Öğrencilerin en çok makro ölçekte kübik sofa tuzunun bir kenarının uzunluğu ile karınca başının genişliğini sıralarken hata yaptıkları tespit edilmiştir. Öğrencilerin (özellikle 9.ve 10.sınıf) bu hatayı yapmasının sebebi gözle görülebilir iki nesnenin büyüklüğünün birbirine yakın olmasından kaynaklanabilmektedir. Aynı nesnelere ölçekleri gruplamaları istenildiğinde ise karınca başının büyüklüğü çıplak gözle görebildiğinden dolayı fen lisesindeki tüm sınıflarda öğrencilerin çoğu doğru cevapladıkları tespit edilmiştir. Özellikle mikro ölçekteki nesnelere gruplamada 10. ve 11.sınıf öğrencilerinin başarılı bir biçimde yaptıkları görülmüştür. Ancak, hidrojen atomunun yarıçapının büyüklüğünü tüm sınıflarda çoğu öğrenci pikometre (10^{-12}) şeklinde işaretlemesine rağmen nano ölçek bölümüne yazmaları nano ve pikoyu karıştırdıkları ve ölçeklendirmede hata yaptıkları görülmüştür.

Klor gazının çıplak gözle, optik mikroskobu ile ve AFM ile nasıl gördüklerine dair fen lisesi 11.sınıf öğrencileri daha doğru çizimler yaparken; 9.sınıf öğrencileri çok daha fazla yanlış çizimler yaptıkları görülmüştür. Bu soruya ilişkin çıplak gözle ve optik mikroskobu ile ilgili öğrencilerin çizimlerinde sınıf bazında bir öğrenme ilerlemesinin görüldüğü tespit

edilmiştir. Büyüklük ve ölçek konusuyla ilgili örnek kavramlar 9.sınıf fizik, kimya ve biyoloji öğretim programında bulunmasına rağmen yanlış çizimler yapmaları öğrencilerin bilişsel seviyesi ile ilişkilidir. Bu durum kavramlar arasında ilişki kuramamalarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu ilişkiyi kurmada yardımcı olacak doğrudan “Büyüklük ve Ölçek” konusunun öğretim programında olması daha doğru olacaktır.

3.soru olan nesnelere büyüklüklerine göre sudaki etkileşimleri ile ilgili tüm sınıflardaki öğrencilerin yaklaşık üçte biri doğru cevap vermişlerdir. 11.sınıf öğrencilerinin bu bölümde de daha doğru cevap verdikleri görülmüştür. Öğrencilerin, yüzey alanındaki molekül sayısının hacimdeki atom sayısına oranının nesne küçüldükçe arttığını, yüzey alanındaki molekül sayısı arttıkça etkileşimlerin nasıl değiştiğini ve yüzey enerjisinin arttığı ile ilgili çok fazla bilgilerinin olmadığı tespit edilmiştir.

4.soruda öğrencilerin birim dönüştürmelerinde 11.sınıf öğrencilerinin 9. ve 10.sınıf öğrencilerine göre daha doğru cevap vermiştir. Fen lisesi öğrencileri olmalarına rağmen oldukça zorlandıkları ve çok az sayıda öğrencinin birimleri doğru bir biçimde çevirebildiği görülmüştür. Birim dönüştürme konusunda öğrencilerin büyük eksiklikleri olduğu tespit edilmiştir.

Lisans programı öğrencilerinin nanobilim ve nanoteknoloji ile ilgili olan büyüklük ve ölçek konularına ilişkin bilgi testinde sadece fen bilgisi öğretmenliği programında sınıf seviyesi arttıkça öğrencilerin sorulara daha çok doğru cevap verdikleri görülmüştür. 4.sınıf öğrencileri sorulara daha doğru cevap vermekle birlikte tüm sınıflardaki öğrencilerin büyüklük ve ölçek hakkındaki bilgi seviyelerinin düşük olduğu belirlenmiştir. 4.sınıf öğrencilerinin bilgi testine sırasıyla 1., 2. ve 3.sınıflarına göre daha doğru cevaplar vererek öğrenmenin ilerlemesi görülmüştür. Biyoloji öğretmenliği programında 1. ve 3.sınıf, kimya öğretmenliği programında 2.sınıf, fizik öğretmenliği programında 2.sınıf öğrencilerinin daha doğru cevaplar verdiği ve bu yüzden bu programlarda öğrenme ilerlemelerinin olmadığı tespit edilmiştir.

1.soruda biyoloji öğretmenliği, fen bilgisi öğretmenliği ve kimya öğretmenliği 3.sınıf öğrencilerinin diğer sınıflara göre daha doğru cevap verdiği görülmüştür. Fizik öğretmenliği 2. ve 3.sınıf öğrencileri eşit yüzde de en düşük doğru cevap veren bölüm olmuştur. Biyoloji öğretmenliği 3.sınıf öğrencileri diğer programlara nazaran daha yüksek

doğru cevap yüzdesine sahiptir. Karınca başının büyüklüğü çıplak gözle görebildiğinden dolayı biyoloji, fen bilgisi, kimya ve fizik ğretmenliği programlarındaki tüm sınıflarda öğrencilerin çoğu doğru cevapladıkları görülmüştür. Ancak, hidrojen atomunun yarıçapının büyüklüğünü biyoloji ğretmenliği programındaki öğrencilerin hiçbiri doğru olarak ölçeklendirme yapamamıştır. Diğer programlardaki öğrencilerin de çoğu 10^{-12} metre kısmını işaretlemesine rağmen nano ölçek bölümüne yazmaları nano ve pikoyu karıştırdıkları ve ölçeklendirmede hata yaptıkları görülmüştür.

2.soru ile ilgili klor gazının çıplak göz, optik mikroskopu ve AFM ile nasıl gördüklerine dair biyoloji ve kimya ğretmenliği 3.sınıf öğrencileri, fen bilgisi ğretmenliği 4.sınıf öğrencileri kendi programlarında daha doğru çizimler yaparken; fizik ğretmenliği 3.sınıf öğrencileri çok daha fazla yanlış çizimler yaptıkları görülmüştür. Bu soruda cevap yüzdesi en yüksek kimya ğretmenliği 3.sınıf öğrencileri olmuştur. Bu soruya ilişkin fen bilgisi ğrencilerinin çıplak gözle ilgili çizimlerinde bir öğrenme ilerlemesinin olduğu tespit edilmiştir.

3.sorudaki nesnelere büyüklüklerine göre sudaki etkileşimleri ile ilgili biyoloji ğretmenliği 1.sınıf öğrencileri, fen bilgisi ğretmenliği 4.sınıf öğrencileri, kimya ğretmenliği ve fizik ğretmenliği 2.sınıf öğrencileri kendi programlarında daha doğru cevap vermişlerdir. Bu soruda cevap yüzdesi en yüksek biyoloji ğretmenliği 1.sınıf öğrencileri olurken, fen bilgisi ğretmenliği 2.sınıf ve kimya ğretmenliği 3.sınıf öğrencileri en düşük doğru cevap yüzdesine sahiptir.

4.soruda lisans programı ğrencilerinin birim dönüştürme sorusunda yapmakta zorlandıkları ve programlarda çok az sayıda öğrencinin doğru cevapladığı görülmüştür. Biyoloji ve fizik ğretmenliği 3.sınıf öğrencileri hiçbir şıkka doğru cevap veremedikleri tespit edilmiştir. Kimya ğretmenliği 2.sınıf öğrencileri diğer programlardaki öğrencilere oranla daha çok doğru cevap yüzdesine sahip olmuştur. Bu sebeple, birim dönüştürme konusunda öğrencilerin büyük eksiklikleri olduğu tespit edilmiştir.

zet olarak sınıf bazında incelendiğinde, fen lisesi 9., 10. ve 11.sınıf öğrencileri ile biyoloji ğretmenliği programı 1., 2., 3. ve 4.sınıf öğrencileri arasında; Fen lisesi 11.sınıf öğrencileri en yüksek cevap yüzdesine sahipken, biyoloji ğretmenliği 4.sınıf öğrencileri en düşüktür. Fen lisesi 9., 10. ve 11.sınıf öğrencileri ile fen bilgisi ğretmenliği programı

1., 2., 3. ve 4.sınıf öğrencileri arasında; fen bilgisi öğretmenliği 4.sınıf ve Fen Lisesi 11.sınıf öğrencileri en yüksek yüzdeye sahip sınıf olurken, fen bilgisi öğretmenliği 1.sınıf öğrencileri en düşük yüzdeye sahip sınıf olmuştur. Fen lisesi 9., 10. ve 11.sınıf öğrencileri ile kimya öğretmenliği programı 1., 2., 3. ve 4.sınıf öğrencileri arasında; kimya öğretmenliği 2.sınıf öğrencileri en çok doğru cevap yüzdesine sahipken, Fen lisesi 9.sınıf öğrencileri en düşük cevap yüzdesine sahiptir. Fen lisesi 9., 10. ve 11.sınıf öğrencileri ile fizik öğretmenliği programı 2. ve 3.sınıf öğrencileri arasında; Fen Lisesi 11.sınıf öğrencileri en çok doğru cevap yüzdesine sahip olurken, fizik öğretmenliği 3.sınıf öğrencileri en düşük cevap yüzdesine sahip olmuştur. Sonuç olarak, büyüklük ve ölçek konusu bilgi testi ile ilgili fen lisesi öğrencilerinin ile biyoloji, fen bilgisi, kimya öğretmenliği programı öğrencileri arasında doğru cevap yüzdelerinde çok büyük farklılıklar görülmezken, fizik öğretmenliği programı öğrencilerinin daha düşük yüzde ile doğru cevapladıkları tespit edilmiştir.

Kavram bazında büyüklük ve ölçek konusu bilgi testi için öğrenme ilerlemeleri incelendiğinde; 1.sorunun sıralama ile ilgili kısmında Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23'e göre alt çapa makro ölçekteki nesnelere, üst çapa ise makrodan pikoya kadar doğru sıralama yapılan nesnelere olarak görülmüştür. 1.sorunun mutlak büyüklüğü ile ilgili kısmında ise Şekil 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28'e göre piko ölçekteki nesne (hidrojen atomunun yarıçapı) bilginin alt çapasını, mikro ölçekteki nesnelere ise üst çapasını oluşturmuştur. Öğrencilerin mikro ve nanoölçekteki nesnelere daha çok karıştırdıkları görülmüştür. 1.sorunun gruplama ile ilgili kısmında ise Şekil 4.29, 4.30, 4.31, 4.32 ve 4.33'e göre alt çapa makro ölçekteki nesnelere, üst çapa ise piko ölçek olarak bulunmuştur. Testin 2.sorusunda Şekil 4.34, 4.35, 4.36, 4.37 ve 4.38'de klor gazının çıplak gözle ilgili olan çizimleri alt çapayı, AFM ile ilgili olan çizimleri ise üst çapayı oluşturmuştur. Yüzey alanı / hacim ilişkisi ile ilgili olan 3.soruda Şekil 4.39, Şekil 4.40, 4.41, 4.42 ve 4.43'e göre alt çapayı açıklama yapmadan sıralama, üst çapayı ise yüzey alanı / hacim ilişkisini hesaplama yaparak sıralama olarak tespit edilmiştir. Birim dönüştürme ile ilgili son soruda ise Şekil 4.44, 4.45, 4.46, 4.47 ve 4.48 incelendiğinde makro ölçek içindeki (kilodan miliye) birim dönüştürme alt çapa, makro veya kozmik ölçekten nano ya da pikoya varan birim dönüştürmeler ise üst çapa olarak bulunmuştur.

Fen lisesi 9., 10. ve 11.sınıflar; biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi öğretmenliği programındaki sınıflar kavram bazında büyüklük ve ölçek konusu bilgi testi ile ilgili

cevaplara ilişkin basitten karmaşıklığa doğru olduğu tespit edilerek öğrenme ilerlemeleri yaklaşımlarından artan yaklaşım sergilemiştir.

5.3 Kelime İlişkilendirme Testi

Bu çalışmada bir tanılama aracı olarak uygulanan kelime ilişkilendirme testi, öğrencilerin bilişsel yapısında konu ile ilgili kavramlar arasındaki bağlantıları nasıl kurdukları görülmüştür. Fen lisesi öğrencilerinin en çok “optik mikroskobu” en az “birim sistemi” anahtar kavramlarına kelime üretirken, “kimya” ve “küçük” kelimeleri anahtar kavramlar arasında en çok ilişkilendirilen kelimeler olmuştur. Biyoloji öğretmenliği programı ve fen bilgisi öğretmenliği programı öğrencilerinin en çok “optik mikroskobu” en az “taramalı tünelleme mikroskobu” anahtar kavramlarına kelime türetmiştir. Biyoloji öğretmenliği programı öğrencileri “Ölçüm”, “hücre” ve “metre” gibi kelimeleri en çok ilişkilendirirken, fen bilgisi öğretmenliği programı öğrencileri ise “küçük”, “fizik”, “ölçüm” ve “inceleme” kelimelerini anahtar kavramlarla bağdaştırmıştır. Kimya öğretmenliği programı öğrencilerinin en çok “taramalı elektron mikroskobu”, en az “taramalı tünelleme mikroskobu” anahtar kavramlarına kelime yazmışlardır. “Küçük”, “mikroskop” ve “mercek” kelimelerini en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olmuştur. Fizik öğretmenliği programı öğrencileri en çok “büyüklük”, en az “taramalı tünelleme mikroskobu” kavramlarına kelime yazdıkları görülmüştür. “Fizik”, “birim” ve “küçük” kelimeleri 2.sınıf öğrencilerinin en çok ilişkilendirdikleri kelimeler olurken, 3.sınıf öğrencilerinin hiçbir kelime ile ilişkilendirmedikleri tespit edilmiştir. Fen Lisesi ve üniversite öğrencilerinin çoğunun “taramalı tünelleme mikroskobu” kavramına diğer kavramlardan çok daha az kelime türettikleri görülmüştür. Bu durum, öğrencilerde yanlış anlama ya da kavram yanılgısından daha çok konu hakkında farkındalık düzeyinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Öğrencilerin günlük yaşamlarında büyüklük, ölçek ve nanobilim ile ilgili kavramların fazla bir yer tutmadığı, büyüklük ve ölçek kavramları ile birlikte hızla gelişen alan olan nanoteknoloji hakkında çok fazla bilgisinin olmadığı ve ortaöğretim programında gelişmekte olan bu alana uyarlanmadığı belirlenmiştir.

5.4 İkili Görüşmeler

Araştırmada görüşmeye katılan 25 öğrencinin 7’si, 1.sorunun A şikkını doğru cevaplayan öğrencilerin önceki bilgilerden yola çıkarak en büyük ve en küçüğü belirledikten sonra diğer nesnelere sıraladıklarını belirtmişlerdir (Tablo 4.53). 1.sorunun B ve C şıklarında görüşmeye katılan öğrenciler makro ölçekteki nesnelere çok daha doğru bir biçimde

ölçeklendirmişlerdir (Tablo 4.51, Tablo 4.52). 1.sorunun B şıkkını tümüyle doğru yapan öğrenciler, tahmini boyutlarını düşünerek ve A şıkkındaki sıralamayı dikkate alarak doldurduklarını söylemişlerdir. 1.sorunun C şıkkında beş nesneyi doğru bir biçimde ölçeklendiren öğrenciler, makroölçeğin görülebilir bir ölçek olduğunu, mikroölçekte mikroskopla nesnelerin görülebildiğini ve nanoölçekte ise mikroskopla görmekte zorlandığımız nesnelere belirtmiştir. Fakat hidrojen atomunun yarıçapını nanoölçek olarak düşünmüştür.

2.soruda görüşmeye katılan öğrencilerin yaklaşık üçte biri çıplak gözle gördükleri klor molekülü çizimlerinin hepsini doğru bir biçimde yapmışlardır (Tablo 4.54). Çıplak gözle klor molekülünün görülemeyeceğini “Ama ben masayı görebiliyorum sadece, üstündeki atomları göremiyorum...boş yani hiçbir etkisi yok...” gibi ifadeler kullanarak belirtmişlerdir. Öğrencilerin aynı soruda optik mikroskobu ile ilgili çizimleri çok daha düşük oranlarda kalmıştır (Tablo 4.55). Optik mikroskobu ile ilgili doğru çizimlerine dair ifadeleri “...elektron mikroskobunda görebiliriz. Optik mikroskobunda göremeyiz.”, “...bir moleküle baktığımız zaman göremeyeceğimizi düşündüm.” şeklinde olmuştur. AFM ile ilgili çizimlerinde ise hepsini doğru bir biçimde çizebilen öğrenci olmadığı görülmüştür (Tablo 4.56). “AFM ne, şu an bilmiyorum.”, “Görebileceğimizi düşündüm.” gibi ifadeler öğrencilerin AFM’yi bilmediklerini ve çok küçük ölçeklerle ilgili bilgilerinin eksik olduğu ile ilgilidir.

3.soruda görüşmeye katılan öğrencilerin çoğunluğu doğru bir biçimde sıralama yapmıştır (Şekil 4.57). Öğrencilerin birçoğu hesaplama yapmadan “Nanometre daha küçük olduğu için daha çabuk çözünür.”, küçük küp şekeri sıcak suya atsak küçük olan daha çabuk çözünecek...” şeklinde bir varsayımda bulunmuşlardır.

4.soruda ise öğrencilerin birim dönüştürmede son derece zorlandıkları ve doğru cevap oranlarının çok düşük olduğu görülmüştür (Tablo 4.58). En çok doğru yaptıkları E (kilo-mili) ve G (mikro-kilo) şıkları olmuştur. C (metre-giga) ve J (giga-nano) şıklarına hiçbir öğrencinin doğru cevap veremediği tespit edilmiştir. Bir öğrencinin “genelde derslerde gördükleri birimleri dönüştürmede zorlanmadıklarını” fakat çoğu öğrencinin birçok birimi hiç duymadığını (nanolitre gibi) ve dönüştürürken çok zorlandıklarını belirtmişlerdir.

Daha önceden yapılmış çalışmalarda benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Delgado (2009) çalışmasında ortaokuldan üniversite düzeyine kadar başlangıçta pek çok öğrencinin makro ölçekteki bir nesneyle yanıt verdiğini ve görülemeyecek kadar küçük bir nesneyi yönlendirdikten sonra yalnızca atom ve altı tanecikleri, hücreleri veya mikroorganizmaları düşündüğünü belirtmiştir. Bu durum, alt çapanın, ortaokul öğrencilerinin sahip olmaya yatkın olduğu ön bilgi olarak küçük makroskopik nesnelere dikkate alması gerektiği yönündedir. Öğrenme ilerlemesi, makro ölçekteki dünya için bilinmesi gereken nesnelere olarak, atomu ve hücreyi öğrenmeye veya oluşturmaya yardımcı olacak öğretim etkinliklerini içermesi gerekir. Büyüklük ve ölçek konusuna odaklanılmış öğretim programı, bu düzeyde yanıt veren lise ve üniversite öğrencilerin yüzdesini artıracığından, atom ve altı tanecikler üst çapaya dahil edilmiştir. Bulgular sonucunda ortaya çıkan durum birçok çalışma ile örtüşmektedir (Castellini ve diğerleri, 2007; Waldron ve diğerleri, 2006).

Delgado (2009) tez çalışmasında öğrencilere verilen nesnelere sıralamaları ile ilgili soruya yanıt verenler benzer zorluktaki önceki anket tabanlı araştırmalara göre daha iyi performans göstererek %60'ının atomu doğru bir şekilde en küçük nesne olarak tanımladığını ancak geri kalan nesnelere sıralamada hata yaptığını bulmuştur. Castellini ve meslektaşları (2007) ise buna benzer bir sıralamadaki öğrencilerin ancak %45'inin dört makroskopik nesneyi büyüklüğüne göre doğru şekilde sıralayabildiğini belirtmiştir.

Ortaöğretim Fen Lisesi öğrencilerinin ve lisans düzeyindeki biyoloji, fizik, kimya ve fen bilgisi öğretmenliği öğrencilerinin “büyüklük ve ölçek” kavramına ilişkin öğrenme ilerlemeleri incelenmesinin amaçlandığı bu çalışmada elde edilen bulgular sonucu nanobilim ve nanoteknoloji ile ilgili “büyüklük ve ölçek” konusunun yeterince anlaşılmadığı görülmüştür. İlgili alan yazın çalışmalarında da benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Light ve meslektaşlarının (2007), mühendislik fakültesi öğrencilerine yaptıkları araştırmada da büyüklük ölçek bilgisi ile yüzey alanı / hacim ilişkisini anlamada sorun teşkil ettiğini belirtmiştir. Castellini ve meslektaşları (2007), katılımcıların makro ölçekteki nesnelere düzenlemede mikro ölçeğe göre daha başarılı olduklarını ve eğitim düzeyinin artması neticesinde atom ve altı ölçeklerle ilgili bilgilerinin bulunduğu tespitinde bulunmuştur. Küçük ölçekleri öğrencilerin anlamakta güçlük çektiklerini makroskopik yapıları ise daha iyi tanımladıkları belirtilmiştir (Knobel ve diğerleri, 2010; Stavrou ve diğerleri, 2015).

Gelişmiş ülkelerde NBT eğitiminde büyüklük ve ölçek konusu ile ilgili ilkokuldan başlayan öğretim programlarının planlaması yapılırken, ülkemizde öğretim programlarında NBT gerektiği kadar önemsenmediği görülmektedir. NBT eğitimi okullarda verilerek bilgi, beceri ve farkındalık kazanımının erken yaşlarda oluşması gerektiği bildirilmiştir (Gököz Sagun ve Akaygün, 2014). NBT'nin konusu olan büyüklük ve ölçek farkındalığını arttırmak için ilkokuldan yükseköğretime kadar eğitim öğretim faaliyetlerinin planlı ve bilinçli bir şekilde programlanması gerekmektedir. Buradaki en önemli etken öğrencilerin öğrenme ilerlemelerinin tespitini yapmaktır. Öğrencilerin nanobilim ve nanoteknolojinin giriş konusu olan maddenin doğası için büyüklük ve ölçek hakkındaki öğrenme ilerlemelerinin belirlenmesi sonucunda yararlı olacağı düşünülmektedir.

6. ÖNERİLER

Araştırmadan elde edilen bulgular ve sonuçlar değerlendirildiğinde öğrencilerin maddenin doğasına ilişkin büyüklük ve ölçek konusu hakkında öğrenme ilerlemeleri ile ilgili araştırmacılara, kitap yazarlarına, program geliştiricilere ve öğretmenlere faydalı bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

Öğrenme sürecindeki öğretim etkinlikleri, atom ve hücreler dahil olmak üzere makro ölçekte olmayan nesnelere hedeflenmelidir. Öğrenme ilerlemesinin önemli bir amacının, öğrencilerin var olan büyüklük ve ölçek bilgisine ilişkin anlayışlarını genişletmek anlamına gelmektedir. Öğrencilerin, çok küçük nesnelere arasında bile çok büyük göreceli ölçek farklılıkları hakkında bir fikir oluşturmalarına izin veren uygun ve ilgi çekici öğretim etkinliklerinin geliştirilmesi gerekir.

Öğrenme ilerlemeleri ile ilgili araştırmalar gitgide artmaktadır. Ancak, Türkiye’de bu konuyla ilgili yeterince bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Bir konunun daha ayrıntılı bir biçimde detayına inilerek yeni öğrenme ilerlemelerinin geliştirilmesi yararlı olacaktır.

Bu araştırma bir fen lisesinde öğrenim gören öğrencilere ve bir üniversitenin biyoloji, fen bilgisi, kimya ve fizik öğretmenliği programlarında öğrenim gören öğrencilere farklı lise türlerine göre ya da fen liselerine ve farklı üniversitelerdeki aynı programlara uygulayarak elde edilen bulgu ve sonuçların güvenilirliğini arttıracaktır.

Nanoteknoloji ve nanobilim, bütün alanlarla içli dışlı olduğundan ortaöğretim sınıflarında ve lisans programı fizik, kimya, biyoloji ve fen bilgisi öğretmenliği sınıflarında verilen kimya, biyoloji ve fizik gibi geleneksel fen bilimlerinin birbirleriyle ilişkilendirilmesi için öğretim programının yapılandırılmasında fayda vardır. Ayrıca, fizik, kimya ve biyolojide konu veya kavram sıralaması kozmik ölçekten atom ve altı ölçeğe kadar verilerek maddenin doğasını anlamada yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Bu araştırma sonucu, ortaöğretim ve lisans programlarındaki derslere “Nanobilim ve Nanoteknoloji” konu başlıklı yeni bir bölüm eklenerek bu bölüm altında “büyüklük ve ölçek” konusunun işlenmesi gerekmektedir. Biyoloji, fizik ve kimya derslerinde birim ön eklerinin ve birim dönüştürmeleri daha çok kullanılmasının sağlanması ile nanobilimi

anlamak için temel adımlardan birisi olacağı düşünülmektedir. Öğrencilerin maddenin doğasına ilişkin büyüklük ve ölçek konusu hakkında bilgi düzeylerinin geliştirilmesi, konuya ilişkin öğrencilerin ilgilerini çekebilmek ve bilgilendirmek için bilim fuarı, atölye çalışması gibi çeşitli etkinliklerin düzenlenmesi, fen ve matematik öğretim programının daha büyük bir uyumuna yönelik olası işbirliğine gidilmesi önerilmektedir.

Fizik, kimya ve biyoloji derslerine ilişkin farklı konularda yapılan öğrenme ilerlemeleri ile ilgili çalışmaların bulgu ve sonuçları değerlendirilerek ortaöğretim ve yükseköğretime uyarlanması sayesinde yapılandırılan yeni bir öğretim programının önemli bir adım olacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Ak, N. (2009). *Nanoteknoloji Eğitiminin Lise Düzeyine Uyarlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Akbaş, O. (2003). Ulusal Teknoloji Politikaları ve İlköğretimde Teknoloji Eğitimi. *Milli Eğitim Dergisi*. 160, 75-88.
- Akdeniz, N. (2017). *Fen bilimleri öğretmen adaylarına yönelik nanobilim kavramsal anlama testinin geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.
- Akdeniz, N. ve Benlikaya, R. (2015). Öğretmen adaylarının nanobilimi anlayışı: boyut ve büyüklük. IV. Ulusal Kimya Eğitimi Kongresi, BAÜN Necatibey Eğitim Fakültesi, 07-10 Eylül 2015, Balıkesir.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95 (3), 518-542.
- Alonzo, A. C. & Steedle, J. T. (2008). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*. 93(3), 389-421.
- Alonzo, C. A. & Gotwals, A. W. (2012). *Learning progressions in science: Current challenges and future directions*. The Netherlands: Sense Publishers.
- American Association for the Advancement of Science [AAAS]. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science [AAAS].. (2006). *Atlas of science literacy: Mapping K-12 learning and goals*. Washington: Author.
- American Association for the Advancement of Science. (2009). *Benchmarks for science literacy*. Erişim adresi: <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php?chapter=3>. Erişim tarihi: 23.01.2020
- Anderson, C. W. (2008). *Conceptual and empirical validation of LPs*. East Lansing, MI: Michigan State University.
- Anderson, C. W., de los Santos, E. X., Bodbyl, S., Covitt, B. A., Edwards, K. D., Hancock, I.,...& Welch, M. M. (2018). Designing educational systems to support enactment of the next Generation science standards. *Journal of Research in Science Teaching*, 55, 1026–1052.
- Atabaş, Ü. (2012). *A Study For Training and Raising Awareness of Elementary School Students About Nanotechnology and Biotechnology Subjects*. Master Science in Biology, Fatih University, Istanbul.

- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Baalousha, M., How, W., Valsami-Jones, E., & Lead, J.R. (2014). Overview of Environmental Nanoscience. In Lead, J.R., Valsami-Jones, E. (Eds.), *Nanoscience and the Environment*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Bach, A.M. & Waitz, T. (2012). *International activities in nanoscale science and engineering education*. Paper presented at the annual meeting of the 2nd International Conference New Perspectives in Science Education, Florence, Italy.
- Bahar, M. ve Özatlı, S. (2003). Kelime İletişim Testi Yöntemi ile Lise 1. Sınıf Öğrencilerinin Canlıların Temel Bileşenleri Konusundaki Bilişsel Yapılarının Araştırılması, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5, 75-85.
- Bahar, M., Johnstone, A.H., & Sutcliffe, R.G. (1999). Investigation of students' cognitive structure in elementary genetics through word association tests. *Journal of Biological Education*, 33, 134-141.
- Baird, D., Nordmann, A., & Schummer, J. (eds.) (2004) *Discovering the nanoscale*. Amsterdam: IOS Press.
- Batt, C. A., Waldron, A. M., & Broadwater, N. (2008). Numbers, scale and symbols: the public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(7), 1141-1148.
- Batt, C., Waldron, A., & Trauthmann, C. (2004). *It's a Nanoworld A Study of Use Findings from a Summative Study*, Summative Report, Edu, Inc.
- Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Flavio Rizzolio, F. (2019). The history of nanoscience and nanotechnology: From chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112.
- Bayda, S., Hadla, M., Palazzolo, S., Kumar, V., Caligiuri, I., Ambrosi, E., Pontoglio, E., Agostini, M., Tuccinardi, T., & Benedetti, A. (2017). Bottom-up synthesis of carbon nanoparticles with higher doxorubicin efficacy. *J. Control. Release*, 248, 144–152.
- Bazant, Z. P. (2002). *Scaling of structural strength*. New York: Taylor & Francis Books.
- Benlikaya, R. (2020). Nanoscience Education. *Educational Sciences.*, 35. Erişim adresi: https://academicworks.livredelyon.com/edu_sci/35. Erişim tarihi: 24.01.2021.

- Benlikaya, R., Kabaca, A., Yılmaz, M., Balcı, B., Korkusuz, M. E., & Erol Işık, D. (2018). *The Activities to be used for Teaching Nanoscience In Secondary Education*, International Necatibey Educational and Social Sciences Research Congress (UNESAK 2018) Balıkesir, Turkey, 26-28 October 2018. Proceeding book ISBN: 978-605-258-241-1.
- Berryman, S. (2004). Democritus. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2004 Edition)*, E. N. Zalta (Ed.).
- Blonder R. & Sakhnini S. (2017). Finding the connections between a high-school chemistry curriculum and nano-scale science and technology. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 18, 903–922.
- Blonder, R. & Dinur, M. (2012). Teaching Nanotechnology Using Student Centered Pedagogy for Increasing Students Continuing Motivation. *Journal of Nano Education*, Volume 3, 51–61.
- Blonder, R. (2010). The Influence of a Teaching Model in Nanotechnology on Chemistry Teachers' Knowledge and Their Teaching Attitudes. *Journal of Nano Education*, Volume 2, Numbers 1-2, June/December 2010, pp. 67-75(9).
- Blonder, R., Parchmann, I., Akaygun, S., & Albe, V. (2014). Nanoeducation: Zooming into teacher professional development programmes in nanoscience and technology. In C. Bruguière., A. Tiberghien., & P. Clément. (Eds.), *Topics and Trends in Current Science Education* (pp. 159–174). 9th ESERA Conference Selected Contributions. New York: Springer.
- Brannigan, G.G. (1985). The research interview. In A. Tolor (Ed.), *Effective Interviewing*. Illinois: Charles C. Thomas Publisher.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington, DC: National Academy Press.
- Breslyn, W., McGinnis, J. R., McDonald, R. C., & Hestness, E. (2016). Developing a learning progression for sea level rise, a major impact of climate change. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(10), 1471–1499.
- Brook, A. Briggs, M., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Leeds: University of Leeds And Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education.
- Brune, H., Ernst, H., Grunwald, A., Grünwald, W., Hofmann, H., & Krug, H. (2006). *Nanotechnology. Assessment and perspectives*. Berlin Heidelberg: Springer.

- Bryan, L. A., Magana, A. J., & Sederberg, D. (2015). Published research on pre-collge students“ and teachers“ nanoscale science, engineering and technology learning. *De Gruyter Nanotechnology Review*, 4(1), 7-32.
- Bryan, L.A., Sederberg, D., Daly, S., Sears, D., & Giordano, N. (2012). Facilitating teachers” development of nanoscale science, engineering, and technology content knowledge. *Nanotechnology Review*, 1, 85–95.
- Bryman, A. (2001). *Social Research Methods*. Oxford University Press.
- Carey, S. & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 169–200). Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Carpenter, T. P., Corbitt, M. K., Kepner, H. S., Jr., Lindquist, M. M., & Reys, R. E. (1980). National assessment: A perspective of students’ mastery of basic mathematics skills. In M. M. Lindquist (Ed.), *Selected issues in mathematics education* (pp. 215-227). Chicago: National Society for the Study of Education and Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Castellini, O. M., Walejko, G. K., Holladay, C. E., Theim, T. J., Zenner, G. M., & Crone, W. C. (2007). Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 183–189.
- Chalmers, A. (2005). Atomism from the 17th to the 20th century. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2005 Edition). E. N. Zalta (Ed.).
- Chi, M. T. H. & Ceci, S. J. (1987). Content knowledge: Its role, representation and restructuring in memory development. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 20, pp. 91-142). New York: Academic Press.
- Cohen, D., Ferrell, J., & Johnson, N. (2002). What very small numbers mean. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(3), 424-442.
- Consortium for Policy Research in Education [CPRE]. (2009). *Learning progressions in science: An evidence-based approach to reform (CPRE Research Report # RR-63)*. New York: Teachers College Columbia University.
- Corcoran, T., Mosher, F. A., & Rogat, A. (2009). *Learning progressions in science: An evidence based approach to reform (CPRE Research Report #RR-63)*. Philadelphia, PA: Consortium for Policy Research in Education.

- Cordani, M. & Somoza, Á. (2019). Targeting autophagy using metallic nanoparticles: A promising strategy for cancer treatment. *Cell. Mol. Life Sci.*, 76, 1215–1242.
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design choosing among five approaches*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Daly, S., Hutchinson, K., & Bryan, L. (2007). Incorporating nanoscale science and engineering concepts into middle and high school curricula, *Purdue University West Lafayette, IN*.
- Delgado, C. (2009). *Development of a Research-Based Learning Progression for Middle School through Undergraduate Students' Conceptual Understanding of Size and Scale*, Ph.D. Dissertation, University of Michigan.
- diSessa, A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2–3), 105–225.
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the Computer Age* (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Driver, R., Leach, J., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1994). Young people's understanding of science concepts: Implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, 75–100.
- Duit, R. (2014). Teaching and learning the physics energy concept. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (Eds.), *Teaching and learning of energy in K-12 education* (pp. 67–85). New York: Springer.
- Duncan, R. G. & Rivet, A. E. (2013). *Science Learning Progressions* (pp. 396–397).
- Duncan, R.G. & Hmelo-Silver, C.E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 606–609.
- Duschl, A., Schweingruber, H., & Shouse A. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- Duschl, R., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123–182.
- Ead, H., Elsherif, R., Hassan, H., & Salah, A. (2022). Egyptian perception, awareness, and knowledge of nanotechnology: A study based on an Egyptian University approach. PREPRINT (Version 1) available at Research Square.

- Ekli, E. & Şahin, N. (2010). Science teachers and teacher candidates' basic knowledge, opinions and risk perceptions about nanotechnology. In: World Conference on Educational Sciences - Innovation and Creativity in Education, İstanbul, Turkey, 4-8 February 2010 *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2, 2667-2670 (2010).
- Ekli, E. (2010). *İlköğretim ikinci kademe öğrencilerinin nanoteknoloji hakkındaki temel bilgi ve görüşleri ile teknolojiye yönelik tutumlarının bazı değişkenler açısından araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Enil, G. ve Köseoğlu Y. (2016). Fen Bilimleri (Fizik, Kimya ve Biyoloji) Öğretmen Adaylarının Nanoteknoloji Farkındalık Düzeyleri, İlgileri ve Tutumlarının Araştırılması. *International Journal of Social Sciences and Education Research* , 2(1), 61-77.
- Erduran, S. & Dagher, Z. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories*. Dordrecht: Springer.
- Ergün, S.S., Ocak, İ., ve Ergün, E. (2017). Fen Bilimleri Öğretmenlerinin Nanoteknoloji Hakkında Görüşleri. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 6(4), 272-282.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87(3), 215.
- Erkoç, Ş. (2014). *Nanobilim ve nanoteknoloji*, Ankara: ODTÜ yayıncılık, 3-7.
- Erol Işık, D. (2020). *Doğadaki mikro ve nanoyapıların 3B baskılı modellerinin oluşturulması ve argüman temelli nanobilim öğretiminde kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.
- European Commission (2005). *Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009*. Belgium: European Communities.
- European Commission (2010). *European Competitiveness in Key Enabling Technologies*. Centre for European Economic Research (ZEW).
- Feather, L. & Aznar, M. (2011). *Nanoscience Education, Workforce Training, and K-12 Resources*, USA: CRC Press, 77-96.
- Feynman, R. (1993). Infinitesimal machinery. (1983) Lecture reprinted in the Journal of Microelectromechanical Systems, 2: 1, 4.
- Filipponi, L. & Sutherland, D. (2012). *Nanotechnologies: Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities*. European Union, Luxemburg, 2012.

- Flores, F. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: an integrated view. *International Journal of Science Education*, 25(2), 269-286.
- Freestone, I., Meeks, N., Sax, M., & Higgitt, C. (2007). The Lycurgus Cup-A Roman Nanotechnology. *Gold Bulletin*. 40. 270-277.
- Gall, M., Borg, W., & Gall, J. P. (1996). *Educational research an introduction (6th Edition)*. USA. Longman Publisher.
- Gardner, G., Jones, M. G., Taylor, A., Forrester, J., & Robertson, L. (2010). StudeNST' Risk Perceptions of Nanotechnology Applications: Implications for science education. *International Journal of Science Education*. Vol. 32, Iss. 14, pages 1951-1969.
- Gattis, M. (2001). Space as a basis for abstract thought. In M. Gattis (Ed.), *Spatial schemas and abstract thought*. Cambridge, MA: MIT Press. (pp. 1-12).
- Gattis, M. & Dupeyrat, C. (1999). Spatial strategies in reasoning. In W. Schaeken, G. De Vooght, & A. Vandierendonck (Eds.), *Deductive reasoning and strategies*. (pp. 153-175).
- Gay, L. R. & Airasian, P. W. (2000). *Educational Research: Competencies for Analysis and Application* (6th ed). Prentice-Hall.
- Gibson, C., Ostrom, E., & Ahn, T. K. (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics* (32) 2, 217-239.
- Gilbert, J. K., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., & Van Driel, J. H. (2002). Research and development for the future of chemical education. In J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Toward research-based practice* (pp. 391-408). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Press.
- Gilbert, J. K. & Lin, H. (2013). How might adults learn about new science and technology? The case of nanoscience and nanotechnology. *International Journal of Science Education, Part B*, 3(3), 267–292.
- Glesne, C. (2012). *Nitel araştırmaya giriş*. (A. Ersoy ve P. Yalçınoğlu, Çev.). Ankara: Anı Yayıncılık.
- Gnach, A., Lipinski, T., Bednarkiewicz, A., Rybka, J., & Capobianco, J.A (2015). Upconverting nanoparticles: Assessing the toxicity. *Chem. Soc. Rev.*, 44, 1561–1584.

- Gorghiu, L. M., Gorghiu, G., & Petrescu, A. M. A. (2017). Digital resources designed for increasing the Romanian students' interest for nanoscience and nanotechnology. *Journal of Science and Arts*, 1(38), 155-162.
- Gotwals, A. W. & Songer, N. B. (2010). Reasoning and down a food chain: Using an assessment framework to investigate students' middle knowledge. *Science Education*, 94, 259–281.
- Gotwals, A. W. & Songer, N. B. (2013). Validity evidence for LP-based assessment items that fuse core disciplinary ideas and science practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 50, 597– 626.
- Graham, F. K., Ernhart, C. B., Craft, M., & Berman, P. W. (1964). Learning of relative and absolute size concepts in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1, 26-36.
- Greenberg, A. (2009). Integrating nanoscience into the classroom: Perspectives on nanoscience education projects. *ACS Nano*, 3(4), 762-769.
- Griffiths, A.K. & Preston, K.R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611-628.
- Gürkan, T. ve Gökçe, E. (2000). İlköğretim Öğrencilerinin Fen Bilgisi Dersine Yönelik Tutumları IV. *Fen Bilimleri Eğitimi Kongresi*. Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi 6-8 Eylül 2000, Ankara.
- Hammer, D., & Sikorski, T-R. (2015). Implications of complexity for research on learning progressions. *Science Education*, 99(3), 424–431. doi:10.1002/sce.2015.99.issue-3
- Hapkiewicz, A. (1999). Naïve Ideas in Earth Science. *MSTA Journal* 44(2), 26-30.
- Harrison, A.G., & Treagust, D.F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education* 80(5), 509- 534.
- Hawkins, D. (1978). Critical Barriers to Science Learning. *Outlook* 29, 3-23.
- He, P., Shin, N., Li, T., & Krajcik, J. (2020). Developing an Integrated Learning Progression and Assessments to Measure Middle School Student Proficiency of Energy. Paper presented at the annual meeting of the *NARST-A Worldwide Organization for Improving Science Teaching and Learning through Research*, Portland.
- Heritage, M. (2008). *Learning progressions: Supporting instruction and formative assessment*. Washington, D.C.: Council of Chief State School Officers.

- Herrmann-Abell, C. F. & DeBoer, G. E. (2018). Investigating a learning progression for energy ideas from upper elementary through high school. *Journal of Research in Science Teaching*, 55, 68–93.
- Hess, K. (2008). Developing and Using Learning Progressions as a Schema for Measuring.
- Hiebert, J. & Carpenter, T. (1992). Learning and teaching with understanding. In Grouws, D. (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning*. New York: Macmillan.
- Hiebert, J. & Wearne, D. (1986). Procedures over concepts: The acquisition of decimal number knowledge. In J. Hiebert (Ed.), *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (pp. 199-223). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hill, T. (1964). *Thermodynamics of Small Systems*. Vol I, WA Benjamin, New York, NY.
- Hill, T. (2001). A different approach to nanothermodynamics. *Nano Letters* 1(5): 273-275.
- Hingant, B. & Albe, V. (2010). Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: A review of literature. *Studies in Science Education*, 46(2), 121-152.
- Hokayem, H. & Gotwals, A. (2016). Early elementary students' understanding of complex ecosystems: A learning progression approach. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(10), 1524–1545.
- Holbrook, J. (2009). Meeting challenges to sustainable development through science and technology education. *Science Education International*, 20(1/2), 44-59.
- Holbrook, J. (2010). Education through science as a motivational innovation for science education for all. *Science Education International*, 21(2), 80-91.
- Holland, L. A., Carver, J. S., Veltri, L. M., Henderson, R. J., & Quedado, K. D. (2018). Enhancing research for undergraduates through a nanotechnology training program that utilizes analytical and bioanalytical tools. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410, 6041-6050.
- Huffman, D., Ritsrey, J., Tweed, A., & Palmer, E. (2015). Integrating nanoscience and technology in the high school science classroom. *Nanotechnology Reviews*, 4(1), 81-102.
- Hutchinson, K., Bonder, G., & Bryan, L. (2011). Middle and high school students' interest in nanoscale science and engineering topics and phenomena. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 1(1), 30-39.

- Inhelder, B. & Piaget, J. (1969). *The early growth of logic in the child: Classification and seriation* (E. A. Lunzer and D. Papert, Trans.) New York: W. W. Norton & Co.
- İpek, Z., Atik, A. D., Tan, Ş., & Erkoç, F. (2020). Study of the validity and reliability of Nanotechnology Awareness Scale in Turkish Culture. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 7(4), 674-689.
- Jackman, J. A., Cho, D. J., Lee, J., Chen, J. M., Besenbacher, F., Bonnell, D. A., ... & Cho, N. J. (2016). Nanotechnology education for the global world: Training the leaders of tomorrow. *ACS Nano*, 10, 5595–5599.
- Jenkins, E. (1997). Scientific and technological literacy for citizenship: What can we learn from the research and other evidence? In S. Sjøberg & E. Kallerud (Eds.), *Science, technology and citizenship. The public understanding of science and technology in science education and research policy*. Norwegian Institute for Studies in Research and Higher Education, Report No. 7/1997.
- Jin, H., & Anderson, C. W. (2012a). Development of assessments for a learning progression on carbon cycling in socio-ecological systems. In A. Alonzo, & A. W. Gotwals (Eds.), *Learning progressions in science: Current challenges and future directions* (pp. 151–182). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Jin, H., & Anderson, C. W. (2012b). A learning progression for energy in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1149–1180.
- Jin, H., Delgado, C., Bauer, M. I., Wylie, E. C., Cisterna, D. I., & Llort, K. F. (2019). A hypothetical learning progression for quantifying phenomena in science. *Science & Education*.
- Jin, H., Mikeska, J. N., Hokayem, H., & Mavronikolas, E. (2019). Toward coherence in curriculum, instruction, and assessment: A review of learning progression literature. *Science Education*, 103(5), 1206-1234.
- Jin, H., Mikeska, J., Hokayem, H., & Mavronikolas, E. (2017). Learning progression research: Toward the coherence in teaching and learning of science. Paper presented at the annual conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), San Antonio, TX.
- Jin, H., Shin, H.-J., Hokayem, H., Qureshi, F., & Jenkins, T. (2017). Secondary students' understanding of ecosystems: A learning progression approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, doi:10.1007/s10763-017-9864-9

- Jin, H., van Rijn, P., Moore, J. C., Bauer, M. I., Pressler, Y., & Yestness, N. (2019). A validation framework for science learning progression research. *International Journal of Science Education*. DOI: 10.1080/09500693.2019.1606471
- Johnson, P. & Tymms, P. (2011). The emergence of a learning progression in middle school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 849–877.
- Jones, M. G., Andre, T., Superfine, R., & Taylor, R. (2003). Learning at nanoscale: the impact of students' use of remote microscopy on concepts of viruses, scale, and microscopy, *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 303-322.
- Jones, M. G. & Taylor, A. R. (2009). Developing a sense of scale: Looking backward. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(4), 460-475.
- Jones, M. G., Taylor, A., Minogue, J., Broadwell, B., Wiebe, E., & Carter, G. (2007). Understanding scale: Powers of ten. *Journal of Science Education and Technology*, 16(2), 191-202.
- Jones, M.G., Tretter, T., Taylor, A., & Oppewal, T. (2008). Experienced and novice teachers' concepts of spatial scale. *International Journal of Science Education*, 30(3), 409-429.
- Joram, E. (2003) Benchmarks as tools for developing measurement sense. In D. H. Clements and G. Bright (Eds.), *Learning and teaching measurement: 2003 yearbook* (pp. 57-67). Reston, VA: NCTM.
- Joram, E., Subrahmanyam, K., & Gelman, R. (1998). Measurement estimation: Learning to map the route from number to quantity and back. *Review of Educational Research*, 68(4), 413-449.
- Kähkönen, A., Laherto, A., Lindell, A., & Tala, S. (2016). Interdisciplinary nature of nanoscience: Implications for education. In K. Winkelmann, & B. Bhutan (Eds.), *Global perspectives of nanoscience and engineering education* (pp. 35-81). Science Policy Reports. Switzerland: Springer.
- Karakasidis, T. E. (2011) "Incorporation of nanotechnology in the curriculum of civil engineering education", *First EUCEET Association Conference: New Trend and Challenges in Civil Engineering Education*, Patras.
- Karataş, F. Ö. & Ülker, N. (2014). Kimya öğrencilerinin nanobilim ve nanoteknoloji konularındaki bilgi düzeyleri [Undergraduate chemistry students' understanding level of nano-science and nano-technology]. *Journal of Turkish Science Education*, 11(3), 103-118.

- Keiper, A. (2003). The Nanotechnology Revolution. *A journal of Technology and Society*, 1(2), 17-34.
- Kenney, P. A. & Kouba, V. L. (1997). What do students know about measurement? In P. A. Kenney & Sliver, E. A. (Eds.), *Results from the sixth mathematics assessment of the National Assessment of Educational Progress* (pp. 141-164). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Khushf, G. (2004). A hierarchical architecture for nano-scale science and technology: Taking stock of the claims about science made by advocates of NBIC convergence. In D. Baird, A. Nordmann & J. Schummer (Eds.), *Discovering the nanoscale* (pp. 21- 34). Amsterdam: IOS Press.
- Kilpatrick, J., Swafford, J., & Findell, B. (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. Washington, DC: National Academies Press.
- Kinoshita, H. & Utani, R. (2021). Learning progressions in lower-secondary school science education in Japan. *Journal of Baltic Science Education*, 20(5), 775-789.
- Knobel, M., Murriello, S. E., Bengtsson, A., Cascón, A., & Zysler, R. (2010). The perception of nanoscience and nanotechnology by children and teenagers. *Journal of Materials Education Vol. 32* (1-2): 29-38.
- Köksal F. ve Köseoğlu R. (2014). Nanobilim ve Nanoteknoloji. *Nobel Akademik Yayıncılık*, 351s, Ankara.
- Köse, M. (2021). The Knowledge and Awareness Levels of Gifted Children on Nanotechnology. *The Asian Institute of Research Education Quarterly Reviews (Primary and Secondary Education)*, 4(1), 157-168.
- Kottegoda, N., Silva, M., de Alwis, A., Perera, C., & Koneswaran, M. (2022). Interactive Tool Kit for Teaching-Learning Nanoscience and Nanotechnology for High School Students. Erişim adresi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1631659/v1>. Erişim tarihi: 21.11.2022.
- Krajcik, J. S., McNeill, K. L., & Reiser, B. J. (2008). Learning-goals-driven design model: Developing curriculum materials that align with national standards and incorporate project-based pedagogy. *Science Education*, 92(1), 1-32.
- Kulik, T. & Fidelus, J. D. (2007). Education in the field of nanoscience. *Nanotechnology Gateway Warsaw*. Erişim adresi: www.nanoforum.org. Erişim tarihi: 18.01.2020.

- Lacy, S., Tobin, R. G., Wiser, M., & Crissman, S. (2014). Looking through the energy lens: A proposed learning progression for energy in grades 3–5. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (Eds.), *Teaching and learning of energy in K-12 education* (pp. 241–265). New York: Springer.
- Laherto, A. (2010). An analysis of the educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy. *Science Education International*, 21(3), 160-175.
- Laherto, A. (2011). Incorporating nanoscale science and technology into secondary school curriculum: Views of nano-trained science teachers. *NorDiNa - Nordic Studies in Science Education*, 7(2), 126-139.
- Laherto, A., Tirre, F., Kampschulte, L., Parchmann, I., & Schwarzer, S. (2018). Scientists' Perceptions on the Nature of Nanoscience and Its Public Communication. *Problems of Education in the 21. St Century* 76 (1): 2538–7111.
- Laugksch, R. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84(1), 71-94.
- Lee, P.Y. & Wong, K.K.Y. (2011). Nanomedicine: A new frontier in cancer therapeutics. *Curr. Drug Deliv.*, 8, 245–253.
- Lehrer, R. (2003). Developing understanding of measurement. In J. Kilpatrick, W. G. Martin, & D. Schifter (Eds.), *A research companion to Principles and Standards for School Mathematics*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics. (pp. 179-192)
- Lesh, R., Post, R., & Behr, M. (1988). Proportional reasoning. In J. Hiebert and Behr, M. (Eds.), *Number concepts and operations in the middle grades* (Vol. 2). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Levin, S.A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 73(6): 1943- 67.
- Li, Y., Hu, Y., Zhao, Y., Shi, G., Deng, L., Hou, Y., & Qu, L. (2011). An Electrochemical Avenue to Green-Luminescent Graphene Quantum Dots as Potential Electron-Acceptors for Photovoltaics. *Adv. Mater.*, 23, 776–780.
- Light, G., Swarat, S., Park, E. J., Drane, D., Tevaarwerk, E., & Mason, T. (2007). *Understanding undergraduate students' conceptions of a core nanoscience concept: Size and scale*. Proceedings of the First International Conference on Research in Engineering Education. June 2007, Honolulu, HI.

- Linn, M. C., Davis, E. A., & Eylon, B.-S. (2004). The scaffolded knowledge integration framework for instruction. In M. C. Linn, E. A. Davis & P. Bell (Eds.), *Internet Environments for Science Education* (pp. 47-72). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Liu, X. & McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493–517.
- Lloyd, R. (1999). "Metric mishap caused loss of NASA orbiter." CNN.com. Erişim adresi: <http://www.cnn.com/TECH/space/9909/30/mars.metric.02/>. Erişim tarihi: 18.09.2019.
- Macaya, Anthony M. (2020). *Learners' Learning Progression and Science Teachers' Formative Assessment Practices: Bases for the Development of a Module in Physics*. Dissertation for Doctor of Philosophy in Science Education major in Physical Science, West Visayas State University, La Paz, Iloilo City.
- Mahan, N. & Ekli, E. (2013). Nanotechnology awareness, opinions and risk perceptions among middle school students. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(4), 867-881.
- Mandrikas, A., Michailidi, E., & Stavrou, D. (2019). Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science & Technological Education*.
- Mansoori, G. (2005). Principles of Nanotechnology. *World Sci Pub Co, Hackensack, NJ*.
- Mansoori, G. (2017). An Introduction to Nanoscience & Nanotechnology. *Nanoscience and plant-Soil Systems M. Ghorbanpour, K. Manika, A. Varma (Ed's), Springer Soil Biology Series, Vol. 48 (1), 1-20*.
- Mansoori, G., George, T., Assoufid, L., & Zhang, G. (2007). Molecular Building Blocks for Nanotechnology: From Diamondoids to Nanoscale Materials and Applications. *Topics in Applied Physics #109, Springer*.
- Markovits, Z., Hershkowitz, R., & Bruckheimer, M. (1989). Number sense and nonsense. *The Arithmetic Teacher*, 36 (6), 53-55.
- Masters, G. & Forster, M. (1996). *Progress Maps*. (Part of the *Assessment Resource Kit*), Melbourne, Australia: The Australian Council for Educational Research, Ltd. 1-58.
- Mayes, R. L., Forrester, J., Christus, J. S., Peterson, F., & Walker, R. (2014). Quantitative reasoning learning progression: The matrix. *Numeracy: Advancing Education in Quantitative Literacy*, 7(2), 1–20.

- McEneaney, E. H. (2003). The worldwide cachet of scientific literacy. *Comparative Education Review*, 47(2), 217-237.
- Merriam, S. B. (1998). *Qualitative Research and Case Study Applications in Education. Revised and Expanded from "Case Study Research in Education."*. Jossey-Bass Publishers, 350 Sansome St, San Francisco, CA 94104.
- Merrit, J. D., Krajcik, J., & Shwartz, Y. (2008) Development of a Learning Progression for the Particle Model of Matter. Erişim adresi: http://hice.org/presentations/documents/Merrit_et_al_ICLS_2008_vFINAL.pdf. Erişim tarihi: 22.04.2019.
- Mesutoğlu, C. (2017). *Developing teacher learning progressions for K-12 engineering education: teachers' attitudes and their understanding of the engineering design*. Ph.D. Dissertation, Middle East Technical University, Ankara.
- Miles, M. B. & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded Sourcebook*. (2nd ed). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Milli Eğitim Bakanlığı Tebliğler Dergisi (2000). *Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı*, Cilt:63, Sayı:2518.
- Minstrell, J. (2000). Student thinking and related assessment: Creating a facet-based learning environment. In Committee on the Evaluation of National and State Assessments of Educational Progress, N. S. Raju, J. W. Pellegrino, M. W. Bertenthal, K. J. Mitchell, & L. R. Jones (Eds.), *Grading the nation's report card: Research from the evaluation of NAEP* (pp. 44–73). Washington, DC: National Academy Press.
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a Multi-year Learning Progression for Carbon Cycling in Socio-Ecological Systems. Submitted to *Journal of Research in Science Teaching*. Erişim adresi: http://edr1.educ.msu.edu/EnvironmentalLit/publicsite/files/General/ProjectPaper/6_08_Multi_Carbon_Final.pdf. Erişim tarihi: 08.05.2020.
- Moore, J. C & de Ruiter, P. C. (2012). *Energetic Food Webs: An analysis of real and model ecosystems*. Oxford, UK: Oxford University Press. doi:10.1093/acprof:oso/9780198566182.001.0001
- Moore, J. C., Anderson, C. W., Berkowitz, A., Covitt, B. C., Gunckel, K., Hartley, L.,... & Yestness, N. (2015). *Learning pathways to environmental science literacy*. Paper presented at the meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Chicago, IL.

- Morin, J., Shirai, Y., & Tour, J. (2006). En Route to a Motorized Nanocar. *Org. Lett.*, 8, 1713–1716.
- Nandiyanto, A. B. D., Asyahidda, F. N., Danuwijaya, A. A., Abdullah, A. G., Amelia, N., Hudha, M. N., & Aziz, M. (2018). Teaching “Nanotechnology” for elementary students with deaf and hard hearing. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(5), 1352-1363.
- National Center for Education Statistics [NCES] (1996). *Pursuing excellence: Initial findings from the Third of International Mathematics and Science Study*. Washington, DC: National Center for Education Statistics.
- National Council of Teachers of Mathematics. [NCTM] (1989). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- National Nanotechnology Initiative, (2007). *Strategic Plan*, Erişim adresi: http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/nni_strategic_plan_2007.pdf. Erişim tarihi: 12.12.2021.
- National Research Council [NRC] (2007). Learning Progressions. In Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., Shouse, A. W. (Eds.) *Taking Science to Schools. Learning and Teaching Science in Grades K-8*.(pp. 213-250) Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council [NRC]. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press. OECD (2018) *Asymmetric decentralisation: trends, challenges and policy implications*, OECD, Paris.
- National Science and Technology Council [NSTC] (2000). National Nanotechnology Initiative: Leading to the Next Industrial Revolution. *A Report by the Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology Committee on Technology*, Washington, DC.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162–188.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington: The National Academies Press.
- OECD (2007). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006*. Paris: OECD Publications.

- Osborne, J. & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections. A report to the Nuffield Foundation*. London: The Nuffield Foundation.
- Osborne, J. (2007). Engaging young people with science: Thoughts about future direction of science education. In C. Linder, L. Östman & P. Wickman (Eds.), *Promoting scientific literacy: Science education research in transaction* (pp. 105- 112). Uppsala, Sweden: Geotryckeriet.
- Özatlı, N. S. ve Bahar, M. (2010). Öğrencilerin Boşaltım Sistemi Konusundaki Bilişsel Yapılarının Yeni Teknikler ile Ortaya Konması. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Dergisi*, 10(2), 9-26.
- Palazzolo, S., Hadla, M., Russo Spena, C., Caligiuri, I., Rotondo, R., Adeel, M., Kumar, V., Corona, G., Canzonieri, V., & Toffoli, G. (2019). An Effective Multi-Stage Liposomal DNA Origami Nanosystem for In Vivo Cancer Therapy. *Cancers*, 11, 1997.
- Patton, M.Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3rd Ed.). London: Sage Publications, Inc.
- Phillips, W.C. (1991). Earth science misconceptions, *Science Teacher*, 58(2), 21-23.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1971). *The child's conception of space*. (F. J. Langdon & J. L. Lunzer, Trans.). London: Routledge & Kegan Paul Ltd.
- Piaget, J., Inhelder, B., & Szeminska, A. (1960). *The child's conception of geometry*. (E.A. Lunzer, Trans.). New York: Basic Books.
- Plummer, J.D., Flarend, A., Palma, C., Rubin, K., & Botzer, B. (2013). Development of a learning progression for the formation of the Solar System. Presented at the annual meeting of the *National Association for Research in Science Teaching*, Rio Grande, PR.
- Poole, C.P. & Owens, F.J. (2003). *Introduction to Nanotechnology*; John Wiley & Sons: New York, NY, USA.
- Post, T. R., Cramer, K. A., Behr, M., Lesh, R., & Harel, G. (1993). Curriculum Implications of research on the learning, teaching, and assessing of rational number concepts. In T. P. Carpenter, E. Fennema, & T. A. Romberg (Eds.) *Rational numbers: An integration of research*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pradell, T., Climent-Font, A., Molera, J., Zucchiatti, A., Y, M.D. Roura, P., & Crespo, D. (2007). Metallic and nonmetallic shine in luster: An elastic ion backscattering study. *J. Appl. Phys.*, 101, 103518.

- Prince, D. (2018). *Measurement and Evaluation in Psychology and Education*. ED-Tech Press; (1st Edition), London.
- Radwan, A., Radwan, W. & Radwan E. (2021). School students' perceptions and knowledge on nanotechnology. *XI. UMTEB International Congress On Vocational & Technical Sciences*. September 3-5, 2021 Ankara, Turkey.
- Ramsden, J., (2009). *Nanotechnology*. (Nanoteknolojinin Esasları).Çeviren: Alper İnce. 1. Basım Ekim 2011 ODTÜ Yayıncılık.
- Reibold, M., Paufler, P., Levin, A.A., Kochmann, W., Pätzke, N., & Meyer, D.C. (2006). Materials: Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, 444, 286.
- Resnick, L.B. (1992). From protoquantities to operators: Building mathematical competence on a foundation of everyday knowledge. In G. Leinhardt, R. Putnam, & Hattrup, R. (Eds.), *Analysis of arithmetic for mathematics teaching*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ristvey, J.D. & Pacheco, K.A.O. (2013). Atomic force microscope mobile lab inspires high school teachers participating in NanoTeach workshops. *Journal Nano Education*, 5(2), 148–153.
- Rivet, A. E. & Kastens, K. A. (2012). Developing a construct-based assessment to examine students' analogical reasoning around physical models in earth science. *Journal of Research in Science Teaching*, 49, 713–743.
- Roberts, D. (2007). Scientific literacy/Science literacy. In S. K. Abell, & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Roberts, J. (2004). Deciding the future of nanotechnologies: Legal perspectives on issues of democracy and technology. In D. Baird, A. Nordmann & J. Schummer (Eds.), *Discovering the nanoscale* (pp. 247-256). Amsterdam: IOS Press.
- Roberts, L., Wilson, M., & Draney, K. (1997). *The SEPUP Assessment System: An Overview*. BEAR Report Series, SA-97-1, University of California, Berkeley.
- Roco, M. C., (2003). Converging Science and Technology at the Nanoscale: Opportunities for Education and Training, *National Biotechnology*, Vol. 21, pp. 1247-1249.
- Roco, M. C. & Bainbridge, W. S. (2005). Societal implications of nanoscience and nanotechnology: Maximizing human benefit. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(1), 1–13.

- Roseman J. E., Caldwell, A., Gogos, A., & Kuth, L. (2006). Mapping a Coherent Learning Progression for the Molecular Basis of Heredity. Project 2061, American Association for the Advancement of Science. Erişim adresi: <http://www.project2061.org/publications/articles/papers/narst2006.pdf>. Erişim tarihi: 28.02.2020.
- Rothmund, P. (2006). Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns. *Nature*, 440, 297–302.
- Rutherford, F. J. & Ahlgren, A. (Eds.) (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- Sabelli, N., Schank, P., Rosenquist, A., Stanford, T., Patton, C., Cormia, R., et al. (2005). *Report of the workshop on science and technology education at the nanoscale. Draft, October*. Technical Report. Menlo Park, CA: SRI International.
- Sagun-Gököz, B. ve Akaygün. S. (2012). *Nanobilim ve nanoteknoloji atölye çalışması tasarımı ve uygulanması: 11. sınıf öğrencilerinin nanobilim ve nanoteknoloji farkındalığının ve kavramsal anlamalarının incelenmesi* (Doktora Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalı, Kimya Öğretmenliği Bilim Dalı.
- Şahin, N. & Ekli, E. (2013). Nanotechnology awareness, opinions and risk perceptions among middle school students. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(4), 867–881.
- Salinas, I. (2009). Learning progressions in science education: Two approaches for development. *Paper presented at the Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference*, Iowa City, IA.
- Schank, P., Krajcik, J., & Yunker, M. (2007). Can nanoscience be a catalyst for educational reform. *Nanoethics: The ethical and social implications of nanotechnology*, 277-290.
- Schummer, J. (2004). Interdisciplinary issues in nanoscale research. In D. Baird, A. Nordmann & J. Schummer (Eds.), *Discovering the nanoscale* (pp. 9-20). Amsterdam: IOS Press.
- Seeman, N. (1982). Nucleic acid junctions and lattices. *J. Theor. Biol.*, 99, 237–247.
- Şenocak, E., Özdemir, T., Yılmaz, F., Tayhan, Y., & McNally, H. A. (2021). A nanoscience and nanotechnology educational program for high school students: examination of preliminary trials. *Journal of Materials Education*, Vol. 43 (1-2): 93-108.

- Sgouros, G. & Stavrou, D. (2019). Teachers' professional development in nanoscience and nanotechnology in the context of a community of learners. *International Journal of Science Education*, 41, 2070–2093.
- Sigov, A. S., Gladyshev, I. V., & Yurasov, A. N. (2022). Nanoelectronics and nanotechnology: promising approaches in the educational process. *Russian Technological Journal*, 10(4), 93–100.
- Skinner, B. F. (1971). *Beyond freedom and dignity*. New York: Knopf.
- Smidt, S. (2012). Review of The Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering: A Guidebook for Secondary Teachers Laramie County Community College, Albany County Campus, Laramie, Wyoming 82070, United States.
- Smith, C. L., Wisner, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic molecular theory. Focus Article. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 14, 1-98.
- Snir, J., Smith, C., & Grosslight, L. (1993). Conceptually enhanced simulations: A computer tool for science teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 2(2), 373-388.
- Sockman, B. R., Ristvey, J., & Jones, C. S. (2012). Student understanding of nanoscience through the Gecko's surface to surface interactions. *International Journal of Engineering Education*, 28(5), 1068-1077.
- Songer, N. B., Kelcey, B., & Gotwals, A. W. (2009). How and when does complex reasoning occur? Empirically driven development of a learning progression focused on complex reasoning about biodiversity. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 610–631.
- Stavrou, D., E. Michailidi, G. Sgouros, & K. Dimitriadi. (2015). "Teaching High-School Students Nanoscience and Nanotechnology." LUMAT (2013–2015 Issues) 3 (4): 501–511.
- Stevens, S. Y., Gotwals, A. W., Jin, H., & Barrett, J. (2015). Learning progressions research planning and design. In M. Solem, N. Huynh, & D. Boehm (Eds.), *Learning progressions for maps, geospatial technology, and spatial thinking: A research handbook* (pp. 22–43). Newcastle, UK: Cambridge Scholars Publishing.

- Stevens, S. Y., Shin, N., Delgado, C., Krajcik, J., & Pellegrino, J. (2007). Developing a Learning Progression for the Nature of Matter as it Relates to Nanoscience. Erişim adresi: www.hi-ce.org/presentations/documents/UM_LP_AERA_2007.pdf. Erişim tarihi: 17.06.2017.
- Stevens, S. Y., Sutherland, L., Schank, P., & Krajcik, J. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Stevens, S., Delgado, C., & Krajcik, J. (2010). Developing a hypothetical multi dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687-715.
- Stevens, S., Shin, N., Delgado, C., Cahill, C., Yunker, M., & Krajcik, J. (2007). "Fostering students' understanding of interdisciplinary science in a summer science camp", *National Association for Research in Science Teaching Annual Conference*, New Orleans, LA.
- Stravrou, D., Michailidi, E., Sgouros, G., & Dimitriadi, K. (2015). Teaching high-school students nanoscience and nanotechnology. *LUMAT*, 3(4), 501-511.
- Swarat, S., Light, G., Park, E. J., & Drane, D., (2010). A typology of undergraduate students' conceptions of size and scale: Identifying and characterizing conceptual variation. *Journal of Research Science Teaching*, 48(5), 512–533.
- Taniguchi, N., Arakawa, C., & Kobayashi, T. (1974). On the basic concept of nanotechnology. In *Proceedings of the International Conference on Production Engineering*, Tokyo, Japan,
- Taşkın, N. R. ve Özgür, S. (2018). Fen Öğrenme Progresyonları Üzerine Bir İnceleme. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi (EFMED)* 12(2), 620-648. ISSN: 1307-6086
- Taylor, A. & Jones, G. (2009). Proportional Reasoning Ability and Concept of Scale: Surface area to volume relationships in science. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1231-1247.
- Tessman, J. M. (2009). *Students' conceptions of nanoscience phenomena: The beginning of a nanoscience concept inventory* (Master's thesis). Purdue University, West Lafayette: IN.
- Tolochko, N. K. (2009). History of Nanotechnology. In: Kharkin, V., Bai, C., Awadelkarim, O.O, Kapitsa, S. (Eds.), *Nanoscience and Nanotechnology*. UNESCO, Oxford, UK, EOLSS, Encyclopedia for Life Support Systems.

- Tretter, T. R., Jones, M. G., Andre, T., Negishi, A., & Minogue, J. (2006). Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 282-319.
- URL, (2018). Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), *Ortaöğretim ders öğretim programları*. <http://mufredat.meb.gov.tr/Programlar.aspx>, 18 Aralık 2018 tarihinde erişilmiştir.
- Vasilyeva, M. & Huttenlocher, J. (2004). Early development of scaling ability. *Developmental Psychology*, 40, (5), 682-690.
- Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In J. Hiebert & M. Behr (Eds.), *Number concepts and operation in the middle grades* (pp. 141-161).
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3–34). New York: Routledge.
- Waldron, A. M., Spencer, D., & Batt., C. A. (2006). The current state of public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 8, 569-575.
- Waldron, A., Spencer, D., & Batt, C. (2006). The Current State of Public Understanding of Nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 8, 569-575.
- Wang, X., Cao, L., Lu, F., Meziani, M., Li, H., Qi, G., Zhou, B., Harruff, B., Kermarrec, F., & Sun, Y. (2009). Photoinduced electron transfers with carbon dots. *Chem. Commun.*, 25, 3774–3776.
- Wansom, S., Mason, T. O., Hersam, M. C., Drane, D., Light, G., Cormia, R., ... & Bodner, G. M. (2009). A rubric for post-secondary degree programs in nanoscience and nanotechnology. *International Journal of Engineering Education*, 25(3), 615-627.
- Whitesides, G. M. & Love, J. (2007). The Art of Building Small, *Scientific American*, Vol. 17, pp. 12-21.
- Wiedtke, W. (1990). Measurement. In J. N. Payne (Ed.), *Mathematics for the young child* (pp. 229-249). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Williams, L. & Adams, W. (2007). *Nanotechnology Demystified*, The McGraw-Hill Companies, USA, 2007.
- Wilson, M. (2005). *Constructing measures: An Item response modeling approach*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.
- Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 716–730.

- Wilson, M. & Bertenthal, M.(Eds.) (2005). *Systems for state science assessment*. Washington, DC: National Academies Press.
- Wilson, M. & Sloane, K. (2001). From principles to practice: an embedded assessment system. *Applied Measurement in Education* 13(2), 181-208.
- Xie, Q. & Pallant A. (2011). The molecular workbench software: an innovative dynamic modeling tool for nanoscience education. *Models and Modeling*, 121-129. 10.1007/978-94-007-0449-7_6.
- Yavuz, S. ve Bektaş, M. (2020). Fen bilgisi öğretmen adayları için mikroteknoloji ve nanoteknolojiye yönelik farkındalık ölçeğinin geliştirilmesi. *Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 9(1), 121-153.
- Yıldırım, T. (2021). Nanoteknoloji Öğretimi Üzerine Yapılan Çalışmaların Uluslararası Literatür Kapsamında Tematik İncelenmesi. *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, sayı 52, s.77-96.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2011). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (8.Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4. Baskı). Thousand Oaks: Sage Publication.
- Yoon, S., Goh, S., & Yang, Z. (2019). Toward a Learning Progression of Complex Systems Understanding. *An International Journal of Complexity and Education*. 16(1), 1-19.
- You-qi, Y.(2008). Microscale and nanoscale process systems engineering:challenge and progress, *The Chinese Journal of Process Engineering*, 8(3), 616-624.
- Yuan, Y., Gu, Z., Yao, C., Luo, D., & Yang, D. (2019). Nucleic Acid–Based Functional Nanomaterials as Advanced Cancer Therapeutics. *Small*, 15, 1900172.
- Yurick, K. A. (2011). *Effects of Problem Based Learning with Web-Anchored Instruction in Nanotechnology on the Science Conceptual Understanding, the Attitude Towards Science, and the Perception on Science in Society of Elementary Students*. Ph.D. Thesis, Florida Atlantic University.
- Zenner, G. & Crone, W. (2008). Introducing nanotechnology and society issues into the classroom. In A. E. Sweeney, & S. Seal (Eds.), *Nanoscale science and engineering education* (pp. 622-647). Stevenson Ranch, CA: American Scientific Publishers.

Zor, T. Ş. & Aslan, O. (2018). The effect of activity-based nanoscience and nanotechnology education on pre-service science teachers' conceptual understanding. *Journal of Nanoparticle Research*, 20(3), 1-22.

EKLER

EKLER

EK A: Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi

1- Bir insan alyuvarının çapı, bir DNA sarmalının genişliği, sofr tuzu tanesinin büyüklüğü, bir terliksi hayvanın boyu, bir karınca başının genişliği ve bir hidrojen atomunun yarıçapını,

a) Küçükten büyüğe doğru sıralayınız.

.....
.....

b) Tahmini değerlerini tabloda (x) işareti ile doldurunuz.

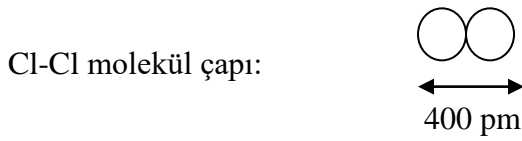
Büyüklük (metre)	10^{-3} m	10^{-6} m	10^{-9} m	10^{-12} m
İnsan alyuvarının çapı				
DNA sarmalının genişliği				
Sofra tuzu tanesinin büyüklüğü				
Terliksi hayvanın boyu				
Karınca başının genişliği				
Hidrojen atomunun yarıçapı				

c) Yukarıda verilen nesnelere tablodaki ölçeklerine uygun bir biçimde yerleştiriniz.

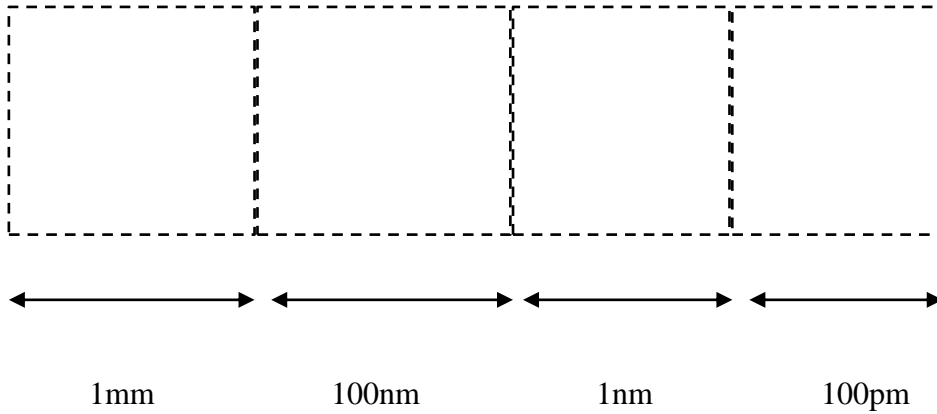
Makro ölçek	Mikro ölçek	Nano ölçek

2- Bir tüpteki klor gazı aynı koşullar altında kenar uzunlukları 1 mm, 100 nm, 1 nm ve 100 pm küp şeklindeki dört kap içersine konulduğu varsayılarak önce bu kaplara sırasıyla çıplak gözle, ışık mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) çözünürlüğüne sahip bir gözlükle bakılıyor. Bu gördüklerinizin iki boyutlu çizimlerini yapınız ve açıklayınız.

Ek bilgi: Gözün çözünürlüğü: 0.1 mm (İnsan gözünün ayırt edebildiği en yakın iki çizgi arasındaki uzaklık); Işık mikroskobunun çözünürlüğü: 0.4 μm ; AFM çözünürlüğü: 0.1 nm; Ayırt etme gücü (Çözünürlük): Bir görüntüleme cihazının enine ve boyuna kaç farklı pikseli (görüntü cihazının kontrol edilebilir en küçük elemanı) gösterebildiğini tanımlar.

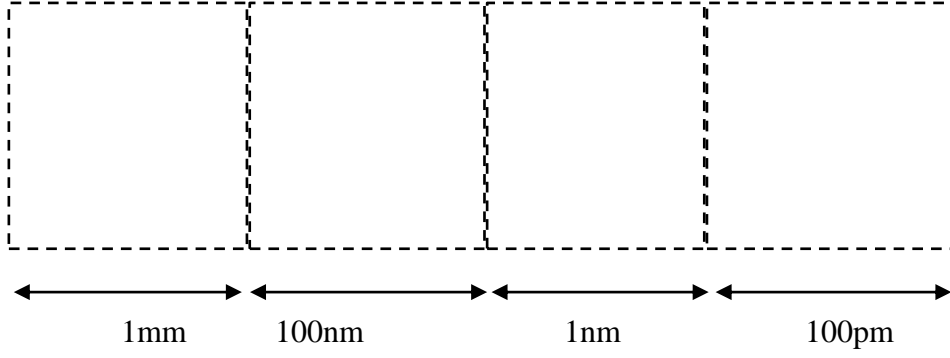


ÇIPLAK GÖZLE



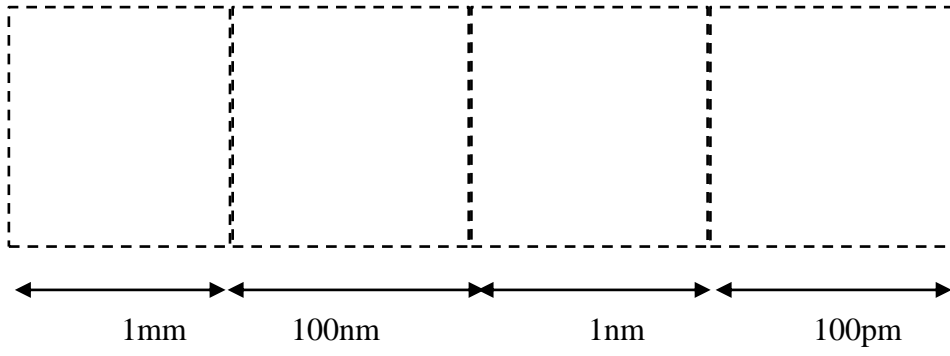
.....
.....
.....

IŞIK (OPTİK) MİKROSKOBU İLE



.....
.....
.....

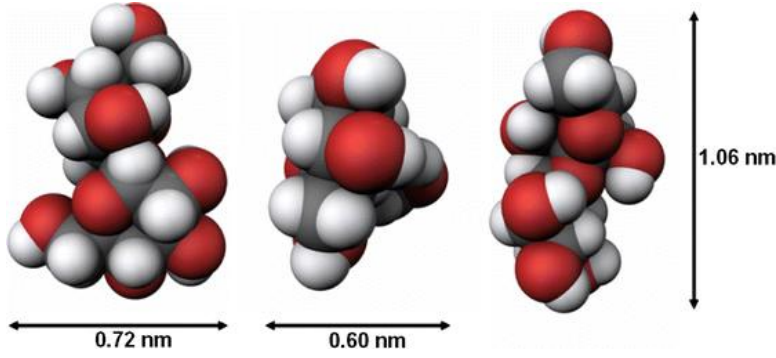
AFM İLE



.....
.....
.....

3- Elimizde A, B ve C olmak üzere üç farklı büyüklükte şekerden oluşmuş küplerin olduğunu varsayalım. A küpünün bir kenarı 10 cm, B küpünün bir kenarı 10 μm ve C küpünün bir kenarı 10 nm'dir. Bu küp şeklindeki şekerlerin suda çözünme hızlarını, yüzey alanı / hacim oranını ve A, B ve C küpleri ile su arasındaki etkileşimi dikkate alarak karşılaştırınız.

(Şekerin molekül yarıçapı 0.4 nm.'dir.)



.....

.....

.....

.....

.....

4- Aşağıda verilen ölçü birimlerinin birim dönüşümlerini yapınız.

- A) 1,3 megaton (Mt) = mikrogram (μg)
- B) 0,25 pikometre (pm) = kilometre (km)
- C) 135 metrekare (m^2) = gigametrekare (Gm^2)
- D) 500 nanolitre (nL) = hektolitre (hL)
- E) 5,76 kilobar (kbar) = milibar (mbar)
- F) 2,89 megawatt (MW_t) = nanowatt (nW_t)
- G) 8,42 mikroamper (μA) = kiloamper (kA)
- H) 14 desicandela (dc) = pikocandela (pc)
- İ) 3600 mikromol (μmol) = kilomol (kmol)
- J) 1 gigajoule (GJ) = nanojoule (nJ)

EK B: Büyüklük ve Ölçek Konusu Bilgi Testi Kazanım Tablosu

Sorular	Kazanımlar
Soru-1: Sıralama- Mutlak büyüklük- Gruplama	<ul style="list-style-type: none">- Nesneleri büyüklüklerine göre sıralar.- Nesnelerin büyüklüklerini tahmin eder.- Nesneleri bulunduğu ölçeklere göre gruplar.- Maddenin makro veya mikro ölçekte özelliklerinin aynı olduğunu bilir.- Taneciklerin hangi ölçekte olduğunu bilir ve büyüklüğünü söyler.
Soru-2: Gerçek ölçek	<ul style="list-style-type: none">- Atomların çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük olduğunu bilir.- Verilen herhangi bir nesnenin makro, mikro ve nano ölçeklerde hangi mikroskopla görülebileceğine karar verir.- Maddenin tanecikli yapısını ve büyüklüğünü bilir.- Çıplak göz, optik mikroskobu ve AFM'nun çözünürlüklerini bilir.- Birim örneklerini bilir ve birim dönüşümlerini yapar.
Soru-3: Yüzey alanı / Hacim ilişkisi	<ul style="list-style-type: none">- Maddenin taneciklerden oluştuğunu bilir.- Maddeyi oluşturan tanecikler arasında etkileşim olduğunu bilir.- Yüzey alanındaki atom veya molekül sayısı arttıkça etkileşimlerin nasıl değiştiğini bilir.- Yüzeydeki atom ve molekül sayısının hacme göre daha fazla olması yüzey enerjisini arttıracaklarını bilir.- Yüzeydeki atom veya molekül sayısının hacimdeki atom sayısına oranının tanecik sayısı küçüldükçe artacağını bilir.
Soru-4: Birim dönüştürme	<ul style="list-style-type: none">- Birim sistemini bilir.- Birim örneklerini bilir ve birim dönüşümlerini yapar.- Üslü sayılarda işlem yapmayı bilir.- Uzunluk, alan ve hacim için birim değişimlerini bilir.

EK C: Kelime İlişkilendirme Testi (KİT)

YÖNERGE

- Sayfada verilen anahtar kelimeyi gördüğünüzde aklınıza gelen kelimeleri yanlarındaki boşluklara yazınız.
- Diğer sayfadaki anahtar kelimeye geçmeniz söyleninceye kadar hızlıca işleme devam ediniz.
- Kelimeleri yazmak için 30 saniyeniz vardır.
- Anahtar kelimelerin size çağrıştırdığı kelimelerle ilgili kesin doğru cevaplar yoktur. Bu yüzden seçim yapmadan kelimeleri yazınız.

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MAKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

MİKROÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

NANOÖLÇEK:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

OPTİK MIKROSKOBU:

TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:
TARAMALI TÜNELLEME MIKROSKOBU:

TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:
TARAMALI ELEKTRON MIKROSKOBU:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BÜYÜKLÜK:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

BİRİM SİSTEMİ:

EK D: Görüşme Protokolü

Öğrencilerin anlamaları gereken bilgi, arzulanan seviyeyi kanıtlamak için seçilen kanıtlarla açıklığa kavuşturulmuştur Bunlar Ek A'da gösterilenden daha ayrıntılı bir talep alanı alıntısıdır.

- 1- A. Neleri dikkate alarak sıralama yaptınız?
B. Yukarıdaki sıralamaya göre mi tabloyu doldurdunuz?
C. Yukarıdaki tabloya göre mi ölçeklendirdiniz?
- 2- Çıplak gözle (0.1 mm) Cl atomu ya da Cl₂ molekülü görebilir miyiz? A mikroskobu (0.25 µm) kullanarak atomu veya molekülü görebilir miyiz? B mikroskobu (0.1 nm) kullanarak atomu ya da molekülü görebilir miyiz?
- 3- Yüzey alanı / hacim hesaplaması yaptınız mı? Yaptıysanız nasıl bir sonuca vardınız? Bu sonuç size hangi küpte şeker molekülü su molekülü etkileşiminin daha fazla olduğunu gösterir?
- 4- Ölçü birimlerini dönüştürürken zorlandığımız veya bilmediğiniz ölçü birimi var mıydı? Büyükten küçüğe doğru çevirirken mi yoksa, küçükten büyüğe doğru çevirirken mi zorlandınız? En çok zorlandığımız birim çevirme var mı? Varsa hangisi?

EK E: KİT’deki Anahtar Kavramlarla İlişkilendirilen Kelime Listeleri

Tablo E.1: Fen lisesi 9. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 3).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Küçük (9)	Atom (8)	Küçük (13)	Boyut (5)	Cam (11)	Biyoloji (5)	Küçük (13)	Metre (4)
Büyük (5)	Bilim (5)	Nanometre (6)	Kocaman (5)	Gözlük (11)	Hücre (4)	Birim (3)	Ölçü (4)
Birim (3)	Biyoloji (5)	Fizik (4)	Boy (4)	Göz (9)	Kimya (4)	Coğrafya (3)	Uzunluk (4)
Cetvel (3)	Hücre (5)	Mikroskop (4)	Hacim (4)	Işık (8)	Tarama (4)	Ölçek (3)	SI Birim Sistemi (3)
Fen (3)	İnceleme (4)	Birim (3)	Küçük (4)	Hücre (6)	Tünel (4)		
Harita (3)	Kimya (4)	Bilim (3)	Uzunluk (4)	Yakınlaştırma (6)	Araştırma (3)		
Mikroskop (3)	Nötron (4)	Kimya (3)	Dev (3)	Bakteri (5)	Bakteri (3)		
Ölçek (3)	Proton (3)	Metre (3)	Küçüklük (3)	Bakteri (5)	Canlı (3)		
Ölçü (3)		Ölçüm (3)	Ölçü (3)	Biyoloji (5)	Küçültme (3)		
Ölçüm (3)				Fizik (5)	Yol (3)		
				İnceleme (3)			
				Lam (3)			
				Lamel (3)			
				Lens (3)			
				Mercek (3)			
				Miyop (3)			

Tablo E.2: Fen lisesi 10. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 3).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (11)	Proton (14)	Küçük (11)	Küçük (7)	Gözlük (10)	Araştırma (4)	Küçük (17)	Metre (6)
Ölçüm (6)	Atom (12)	Nanoteknoloji (7)	Boyut (4)	Işık (9)	Bilim (3)	Ölçüm (4)	Kilogram (4)
Bilim (5)	Nötron (10)	Atom (3)	Ölçü (4)	Mercek (9)	Fizik (3)	Ölçme (4)	Santimetre (4)
Küçük (4)	Kimya (8)	Bilim (3)	Ölçüm (4)	Fizik (8)	Gözlem (3)	Birim (3)	Zaman (3)
Mikroskop (4)	Elektron (7)	Birim (3)	Büyük (3)	Göz (8)	Tünel (3)	Mikroskop (3)	
Ölçü (4)	Fizik (6)	Değer (3)	Dev (3)	Cam (6)		Ölçü (3)	
Birim (3)	Deney (5)	Fizik (3)	Görecelik (3)	Aynalar (5)			
Biyoloji (3)	Küçük (5)	Ölçü (3)	Küçüklük (3)	Küçük (5)			
Deney (3)	Mikrop (4)	Ölçüm (3)	Nicelik (3)	Kırılma (4)			
	Bilim (3)		Sayı (3)	Optik (4)			
	Elektrik (3)		Uzunluk (3)	Bakteri (3)			
				Biyoloji (3)			
				Doktor (3)			
				Mikroskop (3)			

Tablo E.3: Fen lisesi 11. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (4)	Atom (4)	Küçük (11)	Boyut (7)	Işık (5)	Ayrıntı (3)	Küçük (8)	Kare (2)
Büyük ölçekli (4)	Küçük (4)	On üzeri eksi dokuz (6)	Ölçü (6)	Fizik (4)	Işın (2)	On üzeri eksi dokuz (2)	Metre (2)
Küçük (4)	Atom altı parçacıklar (3)	Mikro (3)	Birim (5)	Göz (4)		Hanta (2)	Ölçü (2)
Mikroskop (4)		Çok küçük (2)	Hacim (3)	Küçük (4)		Mikroskop (2)	
Fizik (2)	Ayrıntı (2)	Gözle görülemez (2)	Karşılaştırma (3)	Gözlük (3)			
Laboratuvar (2)		Nanoteknoloji (2)	Büyük (2)	Mercek (3)			
Ölçüm (2)		Teknoloji (2)	Kocaman (2)	Yansıma (3)			
Teleskop (2)			Küçüklük (2)	Eksen (2)			
			Metre (2)	Gözlem (2)			
			Nitelik (2)	Işın (2)			
			Ölçüt (2)	İnceleme (2)			
				Kırılma (2)			
				Miyop (2)			
				Ölçek (2)			

Tablo E.4: Biyoloji Öğretmenliği 1. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (6)	Işık (2)	Küçük (4)	Metre (3)	Işık (7)	-	Küçük (5)	Santimetre
Büyük ölçekli (2)		Küçük ölçek (3)	Skaler (3)	Göz (4)		Mikroskop (3)	(3)
Mikroskop (2)		Mikrop (2)	Uzunluk (3)	Mercek (4)		(3)	Metre (2)
		Mikroskop (2)	Vektörel (3)	Işın (2)		Mikrop (2)	
		Çok küçük (2)	Genişlik (2)	Işık mikroskobu (2)		Mikro ayar (2)	
			Büyük (2)				

Tablo E.5: Biyoloji Öğretmenliği 2. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük ölçek (4) Büyük (3)	-	Küçük (2)	Hacim (2) Boy (2) Uzunluk (2) Boyut (2)	Işık (3), Mercek (3), Oküler (2), İnceleme (2), Işık mikroskobu (2)	Biyoloji (2)	Küçük (6)	Uzunluk (3) Metre (2)

Tablo E.6: Biyoloji Öğretmenliği 3. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2)

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (8) Mikroskop (3), Sayı (3) Ölçme aracı (2) Ölçme (2) Ölçek türü (2) Değerlendirm e (2) Büyük ölçek (2)	Işık (5) Küçük (5) Biyoloji (3) Net görüntü (2) İnceleme (2) Görüntü (2) Elektron (2) Canlı (2) Bilim (2)	Teknoloji (3) Sağlık (2) Küçük (2) Çok küçük boyut (2) Ayrıntılı (2)	Ölçüm (3) Metre (2) İri (2) Hacim (2)	Işık (7) Göz (4) Mercek (4) Görüntü (3) Lamel (2) Lam (2) İnceleme (2) Gözlük (2) Görme (2) Bakteri (2)	İnceleme (4) Görüntü (2) Canlı (2)	Küçük (9) Ölçüm (3) Ölçme (2) Ayrıntılı (2)	Metre (3) Santimetre (2) Birim (2)

Tablo E.7: Biyoloji Öğretmenliği 4. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (9)	Elektron (4)	En küçük (3)	Mikroskop (3)	Mercek (6)	Ayrıntılı (5)	Küçük (10)	Parça (4)
Ölçme (3)	Bakteri (3)	Birim (3)	Santimetre (2)	Işık (4)	Mikroskop (3)	Hassas (2)	Birim (3)
Ölçüm (2)	Tarama (2)	Fizik (2)	Ölçüm (2)	Gözlük (4)	Tarama (2)	Ölçek (2)	Sistem (2)
Boyut (2)	Preparat (2)	Nanometre (2)	Kocaman (2)	Göz (3)	İnceleme (2)		Sayı (2)
	Hücre (2)		Hücre (2)	Hücre (2)	Hastane (2)		Saat (2)
	Işık (2)		Hacim (2)	Laboratuvar (2)			Ölçüm (2)
	Fizik (2)		Büyük (2)	Oküler (2)			Ölçü (2)
	Canlı (2)		Boyut (2)	Preparat (2)			Hücre (2)
	Biyoloji (2)		Alan (2)				
	Ayrıntılı (2)						

Tablo E.8: Fen Bilgisi Öğretmenliği 1. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 4).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (8)	Proton (10)	Küçük (9)	Uzunluk (11)	Göz (10)	Fizik (5)	Küçük (14)	Metre (5)
Küçük (7)	Elektron (9)	10^{-9} (5)	Vektörel (7)	Işık (8)	Mikroskop (4)	Ölçüm (6)	Uzunluk (5)
Ölçüm (7)	Nötron (7)	Nanometre (4)	Skaler (7)	Cam (8)		Birim (4)	Birim (5)
Laboratuvar (5)	Kimya (6)		Genişlik (5)	Gözlük (7)		Küçük ölçek (4)	SI (5)
Fizik (4)	Fizik (5)		Nicel (4)	Fizik (7)			Fizik (4)
Mikroskop (4)	İnceleme (4)		Boyut (4)	Ayna (5)			
				Optik (4)			
				İnceleme (4)			

Tablo E.9: Fen Bilgisi Öğretmenliği 2. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 4).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (12)	İnceleme (11)	Küçük (8)	Uzunluk (8)	Işık (14)	İnceleme (9)	Küçük (14)	Metre (7)
Mikroskop (9)	Elektron (11)	10^{-9} (7)	Kocaman (5)	Mercek (7)	Tünel (5)	İnceleme (10)	Santimetre (6)
Biyoloji (5)	Proton (9)	Ölçüm (6)		İnceleme (6)		Mikroorganizma (5)	Uzunluk (5)
Küçük (5)	Atom (7)	İnceleme (4)		Göz(6)		Ölçüm (4)	SI (4)
Büyük ölçek (4)	Fizik (5)			Aynalar (5)			
	Nötron (5)			Cam (5)			
	Laboratuvar (5)			Gözlük (5)			
				Yansma (4)			
				Miyop (4)			
				Fizik (4)			

Tablo E.10: Fen Bilgisi Öğretmenliği 3. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 4).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (15)	Elektron (7)	Küçük (11)	Boyut (10)	Işık (24)	İnceleme (6)	Küçük (17)	Uzunluk (7)
Büyük ölçek (12)	İnceleme (4)	Küçük ölçek (6)	Uzunluk (7)	Mercek (9)	Araştırma (4)	Küçük ölçek (10)	Metre (6)
Ölçüm (9)	Küçük (4)	Ölçüm (6)	Hacim (6)	Göz (5)	Gözlem (4)	Ölçüm (7)	Sistem (5)
Ölçek (5)		Ölçek (4)	Birim (5)	Cam (5)		Gözle görülmeyen (7)	Birim (4)
Mikroskop (5)		Birim (4)	Gözle görülen (4)	Lamel (4)		Mikroskop (6)	SI (4)
Büyüklik (4)		Ayrımtı (4)	Ölçme (4)	Lam (4)		Ölçme (5)	
				İnceleme (4)		Birim (4)	

Tablo E.11: Fen Bilgisi Öğretmenliği 4. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (6)	Hücre (4)	Küçük (8)	Boyut (4)	Işık (4)	Tarama (2)	Küçük (7)	Metre (4)
Mikroskop (3)	Detay (4)	Ölçek (2)	Görülebilir (3)	Mercek (4)	Mikroskop (2)	Küçük ölçek (3)	SI (3)
Ölçme (3)	Biyoloji (3)	Ölçüm (2)	Büyük (3)	Ayna (2)		Boyut (3)	Fen (2)
Büyük ölçek (2)	Canlı (2)	Teknoloji (2)	Birim (3)	Cam (2)		Ölçüm (3)	Kilogram (2)
Küçük (2)	Lam (2)		Boy (2)	Fizik (2)		Ölçek (2)	Gram (2)
Mikro (2)	Lamel (2)		Fazla (2)	Göz (2)		Ölçme aracı (2)	
Ölçek (2)	İnceleme (2)		Ölçüm (2)	Işın (2)		Detay (2)	
			Ölçme (2)	İnceleme (2)		Bilim (2)	
			Ölçek (2)			Birim (2)	
			Mikroskop (2)			Biyoloji (2)	

Tablo E.12: Kimya Öğretmenliği 1. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Ölçüm (4)	Atom (5)	10^{-9} (5)	Skaler (3)	Göz (5)	Hızlı (2)	Ölçüm (3)	Sistem (2)
Alet (3)	Araştırma (2)	Küçük (4)	Boy (2)	Cam (4)		Küçük ölçek (2)	Sınıflandırma (2)
Büyük (3)	Elektron (2)	Ölçüm (3)	Hacim (2)	Gözlem (3)			SI (2)
Ölçek (2)	Hızlı (2)		Küçüklük (2)	Yakın (2)			
Küçük (2)	İnceleme (2)		Metre (2)	Mikroskop (2)			
Kimya (2)			Uzunluk (2)	İnceleme (2)			
Fizik (2)			Vektörel (2)				
Büyük ölçek (2)							
Boyut (2)							

Tablo E.13: Kimya Öğretmenliği 2. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük ölçek (3)	Atom (6)	Nanometre (4)	Ölçüm (3)	Atom (3)	Atom (5)	10^{-9} (3)	Birim alan (2)
Atom (2)	Elektron (4)	10^{-9} (3)	Vektörel (2)	Bakteri (2)	Küçük	Küçük (3)	Birim hücre (2)
Büyük (2)	Proton (2)	Atom (3)	Skaler (2)		parçacık (2)	Nanometre (2)	SI (2)
	Parçacık (2)	Küçük (2)	Metre (2)		Elektron (2)	Pikometre (2)	Kilogram (2)
	Nötron (2)		Kilometre (2)		Ayrıntılı (2)		MKS (2)
	Işın (2)						CGS (2)
	Çekirdek (2)						
	Ayrıntılı (2)						

Tablo E.14: Kimya Öğretmenliği 3. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (8), Molekül (2)	Elektron (10)	1/9 oranı (3)	Metre (4)	Işık (4)	Atom (2)	Küçük (7)	SI (4)
Mikroskop (2)	Proton (4)	Teknoloji (2)	Uzunluk (3)	Mercek (4)	Elektron (2)	Çok küçük (2)	CGS (3)
Görünür (2), Çok (2), Birim (2).	Atom (4)	Ölçüm (2)	Birim (3)	Gözlük (3)	Kuçük (2)	En küçük (2)	Sayı (2)
	Nötron (3)	Nanometre (2)	Boy (2)	Göz (3)	Küçük boyut (2)	Elektron (2)	Uluslar arası (2)
	Çekirdek (2)	Mikroskop (2)	Boyut (2)	Yakınlaştırma (2)	Laboratuvar (2)	Gözle görülemeyen (2)	Kütle (2)
	Hareket (2)	Gözle görülmeyen (2)	Değer (2)	(2)	Mercek (2)	(2)	Küçük (2)
	İnceleme (2)	(2)	Görünür (2)	Görüntü (2)	Mikroskop (2)	Mikroskop (2)	Kilogram (2)
	Mercek (2)	Gelişim (2)	Hacim (2)	Araştırma (2)			Enerji (2)
		Çok küçük (2)	Kuvvet (2)				
		10^{-9} (2)					

Tablo E.15: Kimya Öğretmenliği 4. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Mikroölçek (4)	Elektron (3)	Ölçüm (2)	Hacim (2)	Işık (5)	Görme (2)	Küçük (4)	Santimetre (3)
Boyut (3)	Atom (3)	Ölçek (2)	Uzunluk (2)	İnceleme (3)	Işık (2)	Boyut (2)	Milimetre (2)
Küçük (3)	Işın (2)	Nanoteknoloji (2)	Birim (2)	Gözlem (3)	Mikroskobik (2)	Makro (2)	Küçük (2)
Büyük ölçek (3)	İnceleme (2)	(2)	Kütle (2)	Mikroölçek (2)	Tanecik (2)	Makroölçek (2)	Derece (2)
Mikroskop (2)	Mikroskobik boyut (2)	Makroölçek (2)	Ölçü (2)	Küçük (2)	Mikroskop (2)	Ölçü (2)	
Mikro boyut (2)	Nötron (2)	Küçük (2)		Işın (2)			
Mikro (2)	Proton (2)						
Büyük (2)							

Tablo E.16: Fizik Öğretmenliği 2. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Ölçme aracı (4)	Nötron (5)	Ölçüm (3)	Skaler (4)	Işık (8)	Taramalı (3)	Küçük ölçek (4)	Sralama (3)
Büyük ölçek (3)	Elektron (4)	Küçük ölçek (3)	Zaman (3)	Işın (6)	Küçük (2)	Ölçek (2)	SI (3)
Fizik (2)	Proton (4)	(3)	Boyut (2)	Mercek (4)	Mikrop (2)	Makronun küçüğü (2)	Onluk Sistem (2)
Birim (2)	Detay (2)	Teknoloji (2)	Fizik (2)	Küçük (3)	Mikroskop (2)	Küçük (2)	
	Küçük (2)	Kimya (2)	Hız (2)	Yansma (3)		Fizik (2)	
		Birim (2)	Kocaman (2)	Renk (2)		Büyüklik (2)	
			Metre (2)	Kırılma (2)			
			Uzunluk (2)	Ayna (2)			
			Vektör (2)				

Tablo E.17: Fizik Öğretmenliği 2. Sınıf öğrencilerin verilen anahtar kavramlarla ilişkilendirdikleri kelimeler (Kesme Noktası 2).

Makroölçek	Taramalı Elektron Mikroskobu	Nanoölçek	Büyüklik	Optik Mikroskobu	Taramalı Tünelleme Mikroskobu	Mikroölçek	Birim Sistemi
Büyük (2)	-	-	Metre (4) Santimetre (4) Boyut (2) Kilogram (2) Milimetre (2) Nanometre (2) Uzunluk (2)	Ayna (2)	-	Mikro düzeyde (2)	CGS (2)



Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi (EFMED)
Cilt 13, Sayı 2, Aralık 2019, sayfa 1083-1110. ISSN: 1307-6086

Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of Science and Mathematics Education
Vol. 13, Issue 2, December 2019, pp. 1083-1110. ISSN: 1307-6086

Araştırma Makalesi / Research Article

An Analysis of Learning Progression of Science High School Students' Conceptual Understanding of Size and Scale Concepts

Rifat KOBAK ¹, Nursen AZİZOĞLU ², Ruhan BENLİKAYA ³

¹ Albay Cafer Tayyar Nuran Oğuz Anatolian High School, Balıkesir,
leibniz76@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4564-1429>

² Balıkesir University, Necatibey Faculty of Education, nursen@balikesir.edu.tr,
<http://orcid.org/0000-0003-0562-9126>

³ Balıkesir University, Necatibey Faculty of Education, ruhan59@hotmail.com,
<http://orcid.org/0000-0002-1731-8846>

Received : 12.05.2019 Accepted : 29.12.2019

Doi: 10.17522/balikesirnef.563457

Abstract – The issue of “size and scale” is considered as the first among the nine most important topics for nanoscience education. The aim of this study is to examine the learning progression of Science High School 9th, 10th and 11th grade students' conceptual understanding of size and scale concepts. The total of 70 students at 9th, 10th and 11th grade levels in a public Science High School consisted the sample of the study. As data gathering tools a word association test and a Size and Scale Concepts Test were used. The data obtained from the tests were used to determine the level of associating knowledge acquired from the science courses (chemistry, physics and biology) with the size and scale concepts. The results showed that 11th grade students are more aware of and accomplished better than the others on the size and scale concepts. Although the Science High School students get intensive science and mathematics training the level of achievement on the concepts of size and scale was found to be low. It is thought that by including the issue of “size and scale” within the titles of the science courses such as chemistry, physics and biology will help to better understand not only the science subjects but also the size and scale concepts.

Key words: Nanoscience, nanotechnology, size and scale, learning progression

Corresponding author: Rifat KOBAK, Albay Cafer Tayyar Nuran Oğuz Anatolian High School, Balıkesir, leibniz76@hotmail.com (The study is a part of PhD Thesis of Rifat KOBAK and supported by Balıkesir University: BAP Project No: 2016/111)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Rifat KOBAK
Doğum tarihi ve yeri : 09.05.1976 /Balıkesir
e-posta : rifatkobak@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi//Kimya Eğitim	2013
Lisans	Ortaoğu Teknik Üniversitesi/Kimya Öğretmenliği	1999
Lise	M.Hasbi Koray Lisesi	1993

Yayın Listesi

- Kobak, R. (2013). Ortaöğretim kimya ders kitaplarında yer alan analogjilerin analog-hedef haritalama yapılarının incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kobak, R. ve Azizoğlu, N. (2016). Ortaöğretim kimya ders kitaplarında yer alan analogjilerin sınıflandırılması. VIII. Uluslararası Eğitim Araştırmaları Kongresi, 5-8 Mayıs 2016, Çanakkale.
- Kobak, R. ve Pekdağ, B. (2016). Eski ve yeni basım 12. sınıf kimya ders kitaplarındaki “Alkoller ve Eterler” konusunun transpozisyon didaktik teorisine göre karşılaştırılması. VIII. Uluslararası Eğitim Araştırmaları Kongresi, 5-8 Mayıs 2016, Çanakkale.
- Kobak, R., Azizoğlu, N. ve Benlikaya, R. (2018). Büyüklük ve ölçek kavramlarına yönelik öğrenme ilerlemesinin incelenmesi: Fen lisesi öğrencileri örneği. Uluslararası Necatibey Eğitim ve Sosyal Bilimler Araştırmaları Kongresi (UNESAK 2018), 26-28 Ekim 2018, Balıkesir. [Tezden türetilmiştir]

Kobak, R., Azizoğlu, N. ve Benlikaya, R. (2019). Fen lisesi öğrencilerinin büyüklük ve ölçek kavramları ile ilgili öğrenme ilerlemesinin analizi. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitim Dergisi (EFMED) Cilt 13, Sayı 2*, Aralık 2019, sayfa 1083-1110. ISSN: 1307-6086 **[Tezden türetilmiştir]**