

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



BETON YOL KAPLAMALARINDA BOR VE ÜRÜNLERİNİN
KULLANILMASI

EMEL DEMİRYILMAZ

DOKTORA TEZİ

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Ayşe TURABİ (Tez Danışmanı)**
Prof. Dr. Mesut TİĞDEMİR
Dr. Öğr. Üyesi Şengül Figen KALYONCUOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Füsun ÜÇER ÇİFTÇİ
Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ

BALIKESİR, OCAK - 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Beton Yol Kaplamalarında Bor ve Ürünlerinin Kullanılması**” 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.

Emel DEMİRYILMAZ

**Bu tez alışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
2013-07 nolu proje ile desteklenmiřtir.**

ÖZET

BETON YOL KAPLAMALARINDA BOR VE ÜRÜNLERİNİN KULLANILMASI
DOKTORA TEZİ
EMEL DEMİRYILMAZ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR.ÜYESİ AYŞE TURABİ)
BALIKESİR, OCAK - 2023

Türkiye, doğal yeraltı kaynaklarından olan bor rezervinin %73 'ne sahiptir ve dünyanın bor ihtiyacının %50'sini sağlamaktadır. Bu çalışmada bor ürünlerinden olan kolemanit ve üleksit mineralleri çimentoya katılarak beton üzerindeki etkisi araştırılmıştır. %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında kolemanit ve üleksitin çimentoyla yer değiştirmesiyle Su/Çimento oranı 0,47 olan numuneler üretilmiştir. Basınç dayanımı değerinin C30/37 olması hedeflenmiştir. Numuneler küp, silindir ve prizmatik kalıplara dökülmüştür. 7, 28 ve 90 günlük priz süresine sahip beton numuneler üzerinde Schmidt Çekici, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. 90 günlük numuneler üzerinde donma- çözülme ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde kolemanit katkısı içeren numunelerde basınç dayanımlarının arttığı gözlenirken, üleksit katkılı numunelerde dayanımların düştüğü görülmüştür. Ultrases hızı deneylerinin sonuçlarına göre katkılı numunelerde beton kalitesinin mükemmel olduğu gözlenmiştir. Donma- çözülme deneylerinde katkılı betonlarda ağırlık kaybı yaşanmıştır. Numuneler eğilme deneylerinde gevrek kırılma göstermişlerdir. Bunun sebebi numunelerde lif kullanılmamasıdır. Sonuç olarak bor tiplerinden kolemanitin basınç ve eğilme dayanımını arttırdığı için beton yollarda kullanılabileceği; üleksitin ise dayanımı büyük oranda düşürdüğü için katkı malzemesi olarak kullanılamayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bor minerallerinin beton karışım suyunu hızlıca çektiği ve beton prizini geciktirdiği de gözlenmiştir. Bu çalışmada seçilen % 2, %4, %6,%8 ve %10 kolemanit katkısı aynı zamanda beton için hedeflenen C30/37 basınç dayanım sınıfını da sağlamıştır. Betonun dayanım özelliği göz önüne alındığında optimum kolemanit katkısının %8 olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Kolemanit, üleksit, beton, beton yol, dayanım.

Bilim Kodları : 91125, 91127, 91130

Sayfa Sayısı : 76

ABSTRACT

THE USE OF BORON MINERALS IN CONCRETE PAVEMENTS
PH.D THESIS
EMEL DEMIRYILMAZ
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. AYŞE TURABİ)
BALIKESİR, JANUARY - 2023

Turkey has 73% of the boron reserve, which is one of the natural underground resources provides 50% of the world's boron needs. In this study, colemanite and ulexite minerals, which are boron products are substituted with cement. %2, %4, %6, %8 and %10 colemanite and ulexite were replaced with cement. Concrete samples were prepared with water/cement ratio of 0.47. The concrete designs were made of for C30/37. The samples were poured into cube, cylinder and prismatic molds. Schmidt Hammer, ultrasonic pulse velocity and compressive strength experiments were performed on concrete samples with 7, 28 and 90 days of setting time. Freezing-thawing and flexural strength tests were carried out on 90th day samples. When the experimental results were evaluated, it was observed that the samples containing colemanite increased the compressive strengths but the samples containing ulexite decreased the compressive strength. According to the results of the ultrasonic pulse velocity test, it was observed that the concrete quality of the samples containing colemanite and ulexite were “excellent”. At the end of the freezing-thawing test weight loss has been experienced with the samples containing colemanite and ulexite. In flexural strength tests brittle fracture was formed on the concrete samples. The cause of the brittle fractures is that fiber is not used in the samples. As a result, colemanite mineral can be used on concrete pavements because it increases concrete’s compressive and flexural strength. At the same time ulexite lowers the compressive and flexural strength values of concrete so ulexide mineral can not be used in concrete mixtures. It has also been observed that boron minerals reduce the amount of water in concrete mixture and delay the setting time of concrete mixture. % 2, %4, %6, %8 and %10 colemanite substitution also provided the target compressive strength in concrete class C30/37. In this study, The results of compressive strength tests shows that the optimum colemanite value in concrete is %8.

KEYWORDS: Colemanite, ulexite, concrete, concrete pavements.

Science Codes : 91125, 91127, 91130

Page Number : 76

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Beton Yollar	4
1.1.1 Beton Yolların Tanımı ve Tarihçesi.....	4
1.2 Beton Yol Kaplamalarında Bor Katkılı Beton	8
1.2.1 Borun Tarihçesi	8
1.2.2 Borun Genel Özellikleri ve Bor Mineralleri.....	8
2. LİTERATÜR TARAMASI	11
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
3.1 Materyal	24
3.1.1 Çimento	24
3.1.2 Bor.....	24
3.1.2.1 Üleksit.....	25
3.1.2.2 Kolemanit	26
3.1.3 Agregalar	27
3.1.4 Katkı Maddesi (Süper Akışkanlaştırıcı)	27
3.1.4 Betonda Kullanılan Karışım Suyu	27
3.2 Yöntem	28
3.2.1 Agrega Deneyleri.....	29
3.2.2 Beton Tasarımı ve Karışımların Hazırlanması	30
3.2.2.1 Beton Karışım Hesapları ve Numunelerin Hazırlanması	31
3.3 Deneyler.....	33
3.3.1 Schmidt Çekici Deneyi.....	33
3.3.2 Ultrases Hızı Deneyi.....	36
3.3.3 Donma Çözülme Deneyi	41
3.3.4 Basınç Dayanım Deneyi	42
3.3.4.1 Kolemanit İle Hazırlanan Numunelerin Deney Sonuçları.....	44
3.3.4.2 Üleksit İle Hazırlanan Numunelerin Deney Sonuçları	46
3.3.4.3 Kolemanit ve Üleksit İçeren Numune Dayanımlarının Karşılaştırılması.....	48
3.3.5 Eğilme Dayanımı Deneyi	50
4. SONUÇLAR	64
5. KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Esnek üstyapı tip enkesiti.	4
Şekil 1.2: Beton yola ait kesit (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).....	4
Şekil 1.3: Yük iletimi açısından yol kaplamalarının karşılaştırılması (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).	6
Şekil 1.4: Beton yol çeşitleri (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).....	7
Şekil 3.1: Agregalara ait granülometri eğrisi.	29
Şekil 3.2: Beton karışımında kullanılan agregalar.	30
Şekil 3.3: Beton karışımında kullanılan laboratuvar tipi beton mikseri.....	31
Şekil 3.4: Standart küp numuneler ve kiriş numuneler.	32
Şekil 3.5: Kür havuzunda bekletilen numuneler.	32
Şekil 3.6: Çalışmada kullanılan Schmidt Çekici.	34
Şekil 3.7: Schmidt Çekici ile elde edilen 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları.	35
Şekil 3.8: Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı.	37
Şekil 3.9: Üleksit katkılı betonların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı deney sonuçları.	38
Şekil 3.10: Kolemanit katkılı betonların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı deney sonuçları.	39
Şekil 3.11: Üleksit ve kolemanit katkılı betonların karşılaştırmalı 7 günlük ultrases hızı deney sonuçları.	39
Şekil 3.12: Üleksit ve kolemanit katkılı betonların karşılaştırmalı 28 günlük ultrases hızı deney sonuçları.	40
Şekil 3.13: Üleksit ve kolemanit katkılı betonların karşılaştırmalı 90 günlük ultrases hızı deney sonuçları.	40
Şekil 3.14: Donma-çözülme deney aleti.	41
Şekil 3.15: 90 günlük numunelerde donma-çözülme deney sonrası ağırlık kayıpları.	42
Şekil 3.16: Beton presi ve küp numunelerin kırımı için kullanılan presin ekran görüntüsü.	43
Şekil 3.17: Kırılmış küp numuneler.	43
Şekil 3.18: Kolemanit içeren numunelerde 7 günlük gerilme-yük grafiği.....	44
Şekil 3.19: Kolemanit içeren numunelerde 28 günlük gerilme-yük grafiği.....	45
Şekil 3.20: Kolemanit içeren numunelerde 90 günlük gerilme-yük grafiği.....	45
Şekil 3.21: Üleksit içeren numunelerde 7 günlük gerilme- yük grafiği.....	46
Şekil 3.22: Üleksit içeren numunelerde 28 günlük gerilme-yük grafiği.....	47
Şekil 3.23: Üleksit içeren numunelerde 90 günlük gerilme yük-grafiği.....	47
Şekil 3.24: Kolemanit ve üleksit içeren numunelerin 7 günlük gerilme yük grafiği değerlerinin karşılaştırılması.	48
Şekil 3.25: Kolemanit ve üleksit içeren numunelerin 28 günlük gerilme yük grafiği değerlerinin karşılaştırılması.	49
Şekil 3.26: Kolemanit ve üleksit içeren numunelerin 90 günlük gerilme yük grafiği değerlerinin karşılaştırılması.	49
Şekil 3.27: Kiriş numunelerinin dökümü için hazırlanan karışım.	51
Şekil 3.28: 150x150x550 mm kiriş numuneleri.	51
Şekil 3.29: Hidrolik pres.	52
Şekil 3.30: Kiriş numunesinin prese yerleştirilmesi.	52
Şekil 3.31: Kırılmış kiriş numunesi.	53

Şekil 3.32: Referans betonu kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.....	54
Şekil 3.33: Kırılmış referans kiriş numunelerinde çatlak yerleri.....	55
Şekil 3.34: %2 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.....	56
Şekil 3.35: %2 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinde çatlak yerleri.....	56
Şekil 3.36: %4 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.....	57
Şekil 3.37: %4 oranında kolemanit içeren kırılmış kiriş numunelerinde çatlak yerleri.....	58
Şekil 3.38: %6 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.....	59
Şekil 3.39: %6 oranında kolemanit içeren kırılmış kiriş numunelerinde çatlak yerleri.....	59
Şekil 3.40: %8 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.....	60
Şekil 3.41: %8 oranında kolemanit içeren kırılmış kiriş numunelerinde çatlak yerleri.....	61
Şekil 3.42: %10 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.....	62
Şekil 3.43: %10 oranında kolemanit içeren kırılmış kiriş numunelerinde çatlak yerleri....	62
Şekil 3.44: Kolemanit içerikli kiriş numunelerinin ortalama eğilme dayanımları.....	63

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Beton yolların dünyadaki tarihsel gelişimi (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2019).	6
Tablo 1.2: Ticari açıdan önemli bor mineralleri (Ediz ve Özdağ, 2001).....	9
Tablo 3.1: Çimentonun fiziksel, kimyasal ve basınç dayanım özellikleri.....	24
Tablo 3.2: Bigadiç öğütülmüş üleksit (-75 mikron)'in kimyasal özellikleri (Etimaden, 2020).....	25
Tablo 3.3: Bigadiç öğütülmüş üleksit (-75 micron)'in tane boyut dağılımı boyut (mm) ..	25
Tablo 3.4: Bigadiç öğütülmüş kolemanit (-75 micron)'in kimyasal özellikleri.	26
Tablo 3.5: Bigadiç öğütülmüş kolemanit (-75 micron)'in tane boyut dağılımı boyut (mm).	27
Tablo 3.6: Chryso Premia 518 süper akışkanlaştırıcıya ait teknik özellikler.	27
Tablo 3.7: Beton karışım suyuna ait tahlil sonuçları (BASKİ, 2022).	28
Tablo 3.8: Agregalara yapılan fiziksel deneyler.....	29
Tablo 3.9: Agregalara ait fiziksel özellikler.	30
Tablo 3.10: Referans betonu, üleksit ve kolemanit içeren numuneler için karışım hesabı.	31
Tablo 3.11: Ultrases geçiş hızları ve betonun kalitesi arasındaki ilişki.....	36
Tablo 3.12: Kiriş numuneleri için karışım oranları.	50

SEMBOL LİSTESİ

Al₂O₃	: Aliminyum oksit
B	: Bor
B₂O₃	: Bor oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
Fe₂O₃	: Demir oksit
f_c	: Beton basınç gerilmesi (MPa)
kgf	: Kilogram force
km/s	: Kilometre/saat
M	: Eğilme momenti
MPa	: Megapascal
MgO	: Magnezyum oksit
Na₂O	: Sodyum dioksit
SiO₂	: Silisyum dioksit
SO₄	: Sülfat
SrO	: Stronsiyum oksit
W	: Mukavemet momenti
φ	: Numune çapı
σ	: Eğilme dayanımı
μ	: Mikron
%	: Yüzde

KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society for Testing and Materials
BASKİ	: Balıkesir Su ve Kanalizasyon İdaresi
CEM I 42.5 R	: Portland Çimentosu
C75	: Elek altı
EN	: Avrupa Standartları (European Norm)
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
K2	: %98 Çimento ve %2 Kolemanit
K4	: %96 Çimento ve %4 Kolemanit
K6	: %94 Çimento ve %6 Kolemanit
K8	: %92 Çimento ve %8 Kolemanit
K10	: %90 Çimento ve %10 Kolemanit
PÇ	: Portland Çimentosu
R	: Referans Numune, Bağlayıcı Miktarı %100 Çimento
RCC	: Silindir ile sıkıştırılan beton
S/Ç	: Su/Çimento
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TS-EN	: Türk Standardı kısaltması (European Norm) Avrupa Normları
U2	: %98 Çimento ve %2 Üleksit
U4	: %96 Çimento ve %4 Üleksit
U6	: %94 Çimento ve %6 Üleksit
U8	: %92 Çimento ve %8 Üleksit
U10	: %90 Çimento ve %10 Üleksit

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, tez sürecinin zorlukları ve Covid- 19 Pandemisi gibi öngörülemeyen dış etkenlerin sebep olduğu olumsuzluklara rağmen, çok sayıda kişinin özverili katkılarıyla başarı ile tamamlanabilmiştir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneyler için sağladığı imkanlardan dolayı Balıkesir Üniversitesi (BAÜ) İnşaat Mühendisliği Bölümü Prof.Dr. Şerif Saylan Yapı Mekaniği Laboratuvarı'na ve Bursa Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarına teşekkür ederim. Çalışma için gerekli olan deney malzemeleri için Etimaden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'ne ve Sarsılmaz İnşaat firmasına katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

2021 yılının Eylül ayında aniden aramızdan ayrılan ve bizleri üzüntüye boğan ilk danışmanım Prof. Dr. Turgut Özdemir'e, daha sonrasında sağladığı moral ve motivasyonla gelişmeye katkı sağlayan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Turabi'ye ve ilk günden beri çalışmalarına yön vererek, desteğini ve katkısını hiç esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sayın Prof. Dr. Mesut Tığdemir'e en içten teşekkürlerimi sunar, öğrencileri olmaktan ve beraber çalışabilmekten gurur duyduğumu belirtmek isterim.

Deneysel çalışmalarda kendi vaktinden ödün verip benimle önemli ölçüde ilgilenen, her sorunumu çözmeye çalışan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Altuğ Yavaş'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmalarının değerlendirilmesi süresince katkıda bulunarak desteğiyle yanımda olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Oğuz Köse'ye yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Tez kapsamındaki deneysel çalışmalarda bana yardımcı olan Ali Özen'e teşekkür ederim. Tez çalışmasının farklı aşamalarında yardımcı olan öğrenci arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak beni bu günlere getiren ve hayatımdaki her şeyi borçlu olduğum sevgili aileme, değerli eşim Ahmet Osman Demiryılmaz ve tez süresince büyümesini izlediğim zaman zaman da kaçırdığım canım kızım İdil Demiryılmaz'a bana karşı gösterdikleri ilgi ve sabır için minnettarlığımı sunarım.

Balıkesir, 2023

Emel DEMİRYILMAZ

1. GİRİŞ

Yaşadığımız zaman diliminde ulaşım, insanların zorunlu ihtiyaçları arasında yer almaktadır. “Kişilerin ve eşyaların bir noktadan başka bir noktaya hareketi” olarak tanımlanan ve sosyo-ekonomik gelişmenin en temel itici güçlerinden olan ulaşım günümüzde; karayolları, demiryolları, denizyolları, boru hatları ve havayolları gibi alt sistemlerle sağlanmaktadır. Bahsedilen ulaştırma modlarından ülkemiz için en yaygın olarak kullanılanı karayolu ulaştırmasıdır. Karayolu taşımacılığının ulaştırma sektörü içindeki payı giderek artan bir eğilim göstermektedir. Bu nedenle en önemli altyapı yatırımlarından biri olan karayolları giderek ağırlaşan bir yük altındadır. Çağdaş ulaşım sistemleri olmadan yaşamın sürdürülmesi düşünülemez bir hal almıştır. Sağlık, eğitim, yiyecek, giyecek vb. gereksinimlerin karşılanabilmesi ve insanların bir yerden bir yere gitme mecburiyetleri, ulaşım hizmetlerinin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Osmanlı İmparatorluğu Türkiye Cumhuriyeti’ne, 13.900 km'si stabilize şose (taş kırıkları kum döşenip üzerine silindir geçirilerek yapılan yol) ve 4.450 km'si toprak olmak üzere 18.350 km uzunluğunda bakıma muhtaç bir yol ağı ve 94 adet köprü bırakmıştır. Yol ülkelerin kalkınmasındaki en önemli altyapı yatırımlarından birisidir. Bu göz önüne alındığında; 1929 yılında Nafia Vekaleti (Bayındırlık Bakanlığı) içinde günümüzdeki Karayolları Teşkilatının temelini oluşturan Şose ve Köprüler Reisliği kurulmuştur. Bu kurumca çıkarılan bir yol kanunu ile karayolu çalışmalarına ağırlık verilmeye başlanmıştır. Yollar ilk yıllarda insan gücüne dayalı bir biçimde yapılırken, İkinci Dünya Savaşı ’ndan sonra iş makinelerinin teknolojilerindeki yeniliklerin ve gelişmelerin artmasıyla makineli yol yapımına geçilmiştir. Teknolojideki bu gelişmeler, getirdiği hızlı ve ucuz sisteme dayalı olarak yol yapımında bir nevi devrim yaratmıştır. Aynı dönemde motorlu taşıt sanayisindeki gelişmelerde görülen artış, ülkenin karayolu yapımının daha dinamik ve yetkin bir teşkilatla sürdürülmesi gereğini ortaya koymuştur. Bu amaçla 1950 yılında Şose ve Köprüler Reisliği yeniden yapılandırmış ve Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) kurulmuştur. 1950 yılından itibaren daha farklı bir kalkınma modelinin benimsenmesi sebebiyle, İstanbul ilini ve batıda bulunan kentleri hedefleyen hızlı bir iç göç başlamıştır. Bunun sonucu olarak, durmadan devam eden plansız ve denetimsiz bir kentleşme (yapılaşma) sürecine girilmiştir. Nüfus artışına paralel olarak artan ulaşım ve taşımacılık ihtiyacının karşılanmasına yönelik planlamalarda ise karayolu ulaşımı ilk tercih olarak belirgin bir hal almıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2022).

Karayolu taşımacılığının akıcı şekilde yapılabilmesi için yolların hızlı bir şekilde inşa edilmesi gerekmektedir. Bunun sonucu olarak yol inşası da kendi içinde iki gruba ayrılmış; altyapı ve üstyapı kavramlarını ortaya çıkarmıştır. Altyapı kavramı; yol güzergahının belirlenerek araziye uygulanması ve arazinin belirlenen geometrik değerlerle, boykesit ve enkesitler dikkate alınarak şekillendirilmesidir. Altyapı aynı zamanda yarma, dolgu kesimlerini ve sanat yapılarını kapsamaktadır. Üstyapı ise, altyapı üzerine yolun taşıyıcı tabakalarının inşa edilmesidir.

Yol üstyapısı; taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamalıdır. Üstyapı; diğer yandan karayolu üstyapısına gelen trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değerlere indirmelidir. Altyapının dış etkilerden korunabilmesi amacıyla altyapı üzerine inşa edilen ve kaplama, temel, alt temel tabakalarını içine alan yol yapısı üstyapıdır.

Üstyapı trafiğe açılırken hedef, işletme maliyetinin düşürülmesi, güvenlik ve konforun yeterli miktarda olmasının sağlanmasıdır. Ekonomik açıdan kazanç sağlanabilmesi için, üstyapının proje ömrü boyunca fonksiyonunu kaybetmemesi, araçlara hasar vermemesi ve araçların işletme maliyetlerini minimumda tutması gerekmektedir. Konfor da üstyapının geometrik özellikleri ve yüzey (kaplama) tabakasının özellikleri ile ilgilidir (Tığdemir,1999).

Son yıllarda yapılan en büyük atılımlardan biri de; yüksek standartlı karayoluna (otoyol) ve bölünmüş yol ağının genişletilmesine hız verilmesi olmuştur. Dünya standartları ile paralel ve çağdaş bir karayolu ulaşım ağına doğru gidilmesi zorunluluğu beraberinde daha ileri teknolojilere yer verme gereğini de ortaya koymaktadır. Bu nedenle ülkemizde kullanılan asfalt yol yerine beton yol uygulamasına geçme gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Bunun için yeterli ve gerekli koşulların sağlandığı ortak görüşüne varılmakta ise de; gelişmiş ülkelerde geniş bir kullanım alanına sahip olmasına karşın beton yol henüz Türkiye’de deneme aşamasından öteye geçilememiştir.

Türkiye’de, son yıllarda şehirler arası ve kent içi karayollarında bakım-onarım harcamalarının giderek artması, bu sorunu, ülkenin kendi kaynaklarını daha fazla kullanarak uygun bir şekilde çözüme zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Bugün karayollarına ayrılan sınırlı bütçenin büyük bir bölümünün yalnızca bakım-onarım giderlerinde kullanılabilmesi, Türkiye’de, bundan böyle daha dayanıklı, uzun yıllar bakım onarım gerektirmeden

kullanılabilecek yolların yapılması ile mümkün olacaktır. Bu durumda akla gelen ilk seçenek beton yol olmaktadır. Ayrıca ülkemizde ağır dingil yüklerinden ve yoğun ağır vasıta trafiğinden kaynaklanan asfalt yol hasarları ciddi boyutlardadır. 1985 yılında yürürlüğe giren 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun yönetmeliği ile, yasal tekil dingil yükü 10 tondan 13 tona, çift (tandem) dingil yükü ise 16 tondan 19 tona çıkarılmıştır. Karayollarımızda denetimsiz seyahat eden aşırı yüklü taşıtlar nedeniyle öngörülen süreden önce bozulmaya başlamaktadır. KGM 2021 yılı itibariyle; toplam 18 Bölge Müdürlüğü'nden alınan verilere göre, 1 km yolun bakımı için (emanet+ ihale) harcanan yıllık ortalama rakamı 119.328 TL ve karayolu ağımızda toplam harcama dağılımı rakamını da 7.309.565.693 TL olarak açıklamışlardır (KGM, 2021). Sık aralarla yapılan onarım ve bakım giderleri, yüksek bir maliyet yaratmaktadır. Bakım giderleri çok az olan ve daha uzun süre hizmet veren beton yollar, günümüzde asfalt yollara oranla daha ekonomik bir çözüm getirmektedir.

Türkiye'de bugün yük ve yolcu taşımacılığında demiryolu ve denizyolunun payı dünyadaki pek çok ülkeye göre düşüktür. Türkiye'de bugün karayollarının yük taşımacılığındaki payı % 92, yolcu taşımacılığındaki payı ise % 95'tir. Karayolları Genel Müdürlüğü (2022); 01.01.2022 tarihi itibariyle 3532 km. otoyol, 34.029 km. il yolu ve 30.965 km. devlet yolu olmak üzere toplam yol ağının 68.526 km. ye ulaştığını açıklamıştır. Yine 01.01.2022 tarihi itibariyle ülkemizde 3532 km. otoyol, 30965 km. devlet yolu ve 2149 km. il yolu olmak üzere 26973 km. otoyol bulunmaktadır (KGM, 2022).

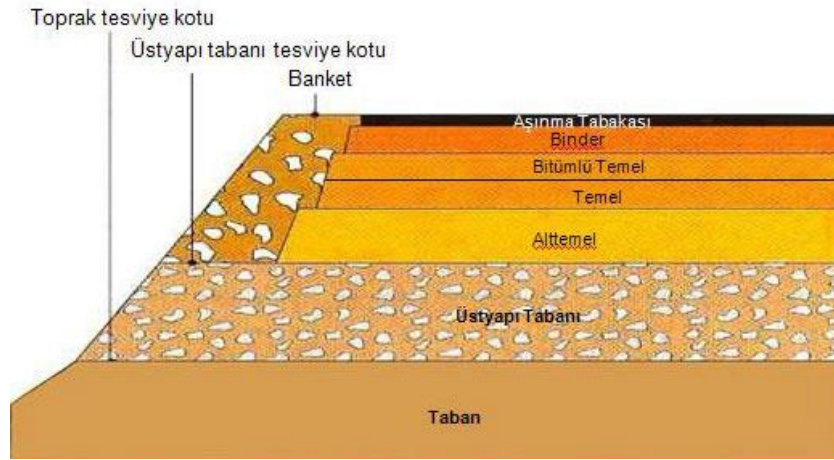
Tamamen yerli kaynakları kullanan, gelişmiş ve aynı zamanda da uzun vadede ekonomik olan, buna rağmen uygulanmasına yer verilmemiş beton yol teknolojisinin dikkate alınmaması, bu konuda ön hazırlıklar yapılmaması, büyük bir hata ve eksiklik olarak değerlendirilmekte, büyük bir bölümü ekonomik ömrünü doldurmuş olan ülkemiz karayollarında, üstyapı çalışmalarında, yeni yol, özellikle de yeni otoyol yapımında beton yol seçeneğine yer verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Esnek üstyapıların servis ömrünü kısaltan, sık sık onarım ve takviyesine gereksinim gösteren gerek hacim gerekse ağırlık olarak sürekli artış gösteren trafik, bir noktadan sonra esnek üstyapılı karayollarında büyük sorunlar olabilecek düzeye gelirken, bu trafiğin beton kaplamalı yollarda daha sorunsuz taşınabilecek olması, dikkate alınması gereken ilk parametre sayılmaktadır. Üstyapı bakım ve onarım giderlerinin, esnek kaplamalı yollarda daha yüksek olması nedeniyle daha az onarım ve bakım masrafı gösteren yol yapım tekniklerine gereksinme duyulması, buna

alternatif seçenek olarak da, beton yol yapımına yönelinmesi gereği ortaya çıkmaktadır (Ecevit, 2007).

1.1 Beton Yollar

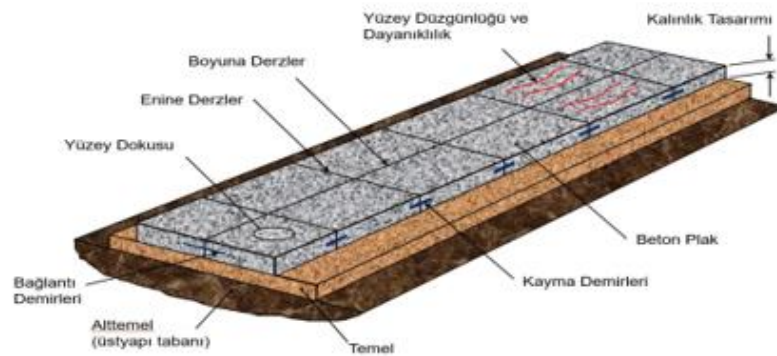
1.1.1 Beton Yolların Tanımı ve Tarihçesi

Karayolu üstyapıları genel olarak esnek üstyapılar ve rijit üstyapılar olmak üzere iki gruba ayrılır. Esnek kaplamalar, taşıtlar için gerekli performans (sürüş konforu ve emniyeti sağlayabilme özelliğine) ve taşıtların yarattığı gerilmelere karşı yeterince stabiliteye (deformasyona karşı dirence) sahip olacak şekilde yapılan ve değişik özellikler taşıyan farklı tabakalardan yapılan çok tabakalı esnek bir yapıdır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Esnek üstyapı tip enkesiti.

Beton yollar, çok yüksek trafik hacmine ve ağır trafiğe sahip karayollarında ve havaalanlarında taşıtlar için gerekli sürüş konforu ve sürüş emniyetini temin etmek amacıyla yapılan yüksek standartlı rijit üstyapılardır. Beton yollar, yeterli mukavemete sahip zeminler üzerine belirli bir kalınlıkta serilen granüler alttemel tabakası ile derzli donatılı, derzli donatısız veya sürekli donatılı beton plaklardan meydana gelir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Beton yola ait kesit (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

Çimento betonu ile yapılan kaplamalara "Beton Yollar" adı verilir. Rijit üstyapı olarak da adlandırılan beton yollar yüksek eğilme direncine sahiptir. Beton ile yapılmış tek tabakalı plak aracılığı ile yükler taban zeminine dağıtılır. Beton yolların yapısal ömrü uzun (30-40 yıl) olur. Uzun yıllar bakım onarım gerektirmeden kullanılabilirler. Mevsim ve hava koşulları gözetilmeksizin yapılabilirler. Yol kaplaması olarak kullanılan betonun görevi, trafik sonucu oluşan şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve yükler iletilirken de tabanın deforme olmasını engellemektir. Bu durum, betonun rijit yapısının sağladığı bir sonuçtur. Beton, yapısal olarak çekme direnci düşük olan bir malzemedir. Betonda oluşan deformasyonlar ile gerilmeler arasındaki bağıntı lineer değildir. Yükler kalktıktan bir süre sonra da betonda kalıcı deformasyonlar görülebilir. Bir süre geçtikten sonra beton yavaş yavaş ilk durumuna döner. Tekerlek yükü, beton bir plak üzerinden geçerken çekme, basınç ve eğilme gerilmeleri oluşur. Tekerlek geçtikten sonra gerilmeler yön değiştirir ve ardından kaybolur. Özellikle ağır taşıt trafiğinin yoğun olarak bulunduğu yükü taşıyan bir beton yolda, gerilme değişimleri kısa zaman aralıkları ile gerçekleşerek sürekli olarak kendini gösterir. Bu durum, beton plakta çekme ile basınç arasında değişen sürekli gerilmeler oluşturur ve bu da zamanla beton malzemenin yorulmasına neden olur. Bu sebeple bu gerilmelerin, betonun sürekli direncinin üstüne çıkmaması ve hatta oldukça altında kalması gerekir. Diğer malzemelerde olduğu gibi betonun da sıcaklık değişimlerinden etkilendiği bilinmekte ve buna bağlı olarak genişlemekte veya büzüşmektedir. Bu bağlamda kaplamaların alt ve üst yüzeylerinde nemlilik farklarından kaynaklı ya da günlük ve mevsimlik sıcaklık değişimleri nedeniyle eğilme ve bükülmeler oluşur.

Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakalarının özellikleri ve kaplama altına serilen alt temel ve temel tabakaları ile mevcut taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, projelendirme sırasında, beton kaplamanın davranışını etkileyen taban toprağı, temel malzemesi, betonu oluşturan kum, çakıl, çimento ve betonarme demiri gibi malzemelerin fiziksel özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir (Arslan, 2007).

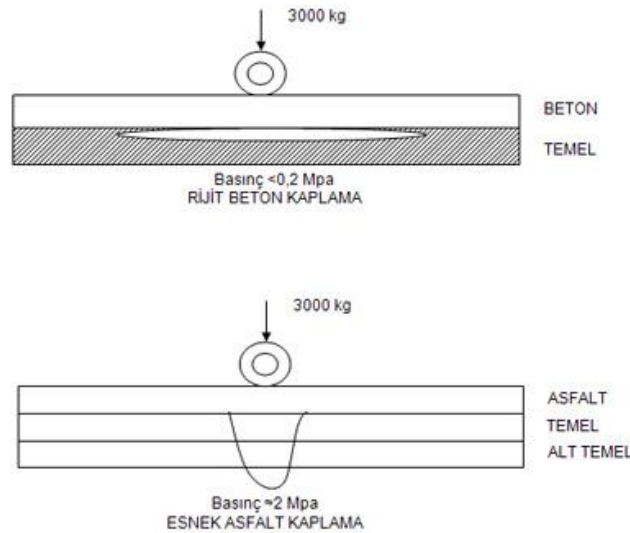
Betonun en çok bilinen avantajlarından biri, üstün dayanıklılık ve uzun yapısal ömürdür. 1998'de ERES Consultants Inc. araştırma raporundaki bir karşılaştırmada asfalt yolun beklenen ömrü 17 yıl iken, beton yol için ömrün 34 yıl olduğu açıklanmıştır.

Beton yolların dünyadaki tarihsel gelişimi aşağıda verilen Tablo 1.1.deki gibidir (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2019).

Tablo 1.1: Beton yolların dünyadaki tarihsel gelişimi (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2019).

Yıl	Gelişim
M.Ö. I. YY	Romalılar çimentoya benzeyen puzolanik bağlayıcılar kullanarak yol yapmışlardır.
1865	İskoçya’da ilk beton yol denemeleri yapılmıştır.
1880	Avustralya’da ilk beton yollar yapılmaya başlanmıştır.
1891	Ohio’da Amerika’nın ilk beton yolu yapılmıştır ve günümüzde de kullanılmaktadır.
1913	Arkansas’ta Amerika’nın ilk beton otoyolu yapılmıştır.
1914	Amerika’da 3.500 km beton yol yapımı tamamlanmış; yol yapımında “Silindirle Sıkıştırılan Beton” (Roller Compacting Concrete) kullanılmaya başlanmıştır.
1924	Fransa’da beton yol yapımı programı başlatılmıştır.
1930	Almanya’da 4.000 km uzunluğunda beton otoyol yapımına başlanmıştır. İsviçre ve Belçika başta olmak üzere, diğer Avrupa ülkelerinde de beton yol yapımına başlanmıştır.
1950	Kayar kalıp kullanılarak beton yol yapımında hız ve kalite artmıştır.
1960 -1970	ABD ve Kanada’da beton yol yapımı artmıştır. ABD’de 70.000 km beton yol yapılmıştır.
1990	Beton teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde beton yol yapımında yeni gelişmeler kaydedilmiştir. Betonda lif kullanımı, öngerme teknolojisi, akıcı-kuru kıvamlı kullanım ön plana çıkmıştır.

Şekil 1.3’ de gösterildiği üzere, rijit kaplama esnek bir malzeme olmadığı için, üzerindeki yükü daha geniş bir alana yayar ve alt temeldeki yükü azaltır. Esnek üstyapılarda kaplama tabakası daha düşük elastik yapılarından dolayı yükü geniş alana yayamaz, bu nedenle daha çok sayıda alt tabakaya gerek duyulur.



Şekil 1.3: Yük iletimi açısından yol kaplamalarının karşılaştırılması (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

Rijit üstyapı tasarımının sağlıklı olarak gerçekleştirilebilmesi için üstyapının kaplamasında kullanılacak betonun ve betonu meydana getiren bileşenlerin özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir.

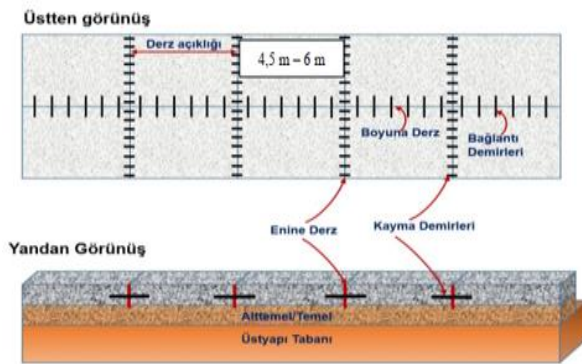
İdeal bir beton için aşağıdaki üç özellik aynı anda sağlanmalıdır:

- Mukavemet
- İşlenebilirlik
- Durabilite

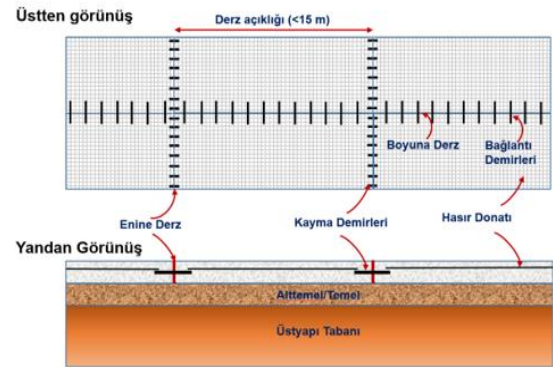
Bu temel özellikleri sağlayan en ekonomik üstyapı betonunun üretilmesi esastır.

Beton yollar dört çeşide ayrılabilirler (Şekil 1.4) ;

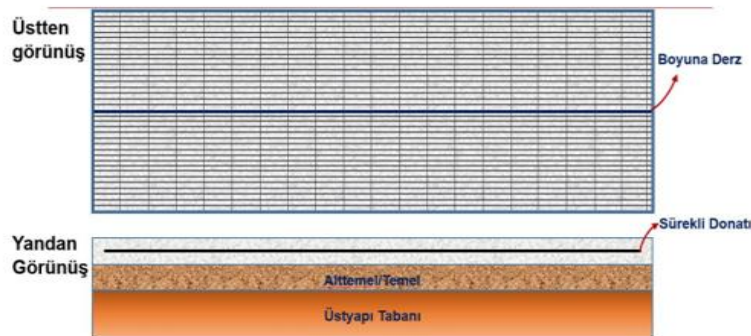
- a) Derzli donatısız beton kaplama
- b) Derzli donatılı beton kaplama
- c) Derzsiz (Sürekli) donatılı beton kaplama
- d) Kompozit donatılı beton kaplama: Kompozit kaplamalarda beton plak üstüne asfalt tabaka veya asfalt kaplama üstüne beton tabaka uygulamaları yapılabilmektedir.



a) Derzli donatısız beton kaplama



b) Derzli donatılı beton kaplama



c) Derzsiz (Sürekli) donatılı beton kaplama

Şekil 1.4: Beton yol çeşitleri (Karayolları Beton Yol Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2019).

1.2 Beton Yol Kaplamalarında Bor Katkılı Beton

1.2.1 Borun Tarihçesi

Tarihte ilk kez 4000 yıl önce Babiller Uzak Doğu' dan boraks ithal etmişlerdir. Boraksı altın işletmeciliğinde de kullanmışlardır. Mısırlıların da bor mineralini, mumyalamada, tıp alanında ve metalurji (malzeme bilimi) uygulamalarında kullandıkları bilinmektedir. İlk boraks kaynağı Tibet Gölleri 'nde bulunmuştur. Borik asit ise; 1700 'lü yılların başında borakstan elde edilmiş, 1800 'lü yılların başında da elementer bor yapılmıştır. Elementer bor 1808 yılında Fransız Kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humpry Davy tarafından bulunmuştur. Genel söylemde bor içeren doğal minerallere boratlar denir. Boratlar binlerce yıldır insanoğlu tarafından kullanılmaktadır. Modern bor endüstrisi ise 13. yy'da borun Marco Polo tarafından Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesiyle başlamıştır. 1771 yılında, İtalya'nın Tuscani bölgesinde bulunan sıcak su kaynaklarında sassolit (borik asit ürünü) bulunduğu anlaşılmıştır. Sassolite aynı zamanda katı borik asit de denir ve kolemanitten elde edilmektedir. Sanayi ve endüstri alanında kullanılmak üzere boraks madenciliği ilk olarak 1852'de Şili'de başlamıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Nevada, California, Caliko Mountain ve Kramer yöresindeki yatakların keşfedilerek işletilmeye alınmasıyla Amerika Birleşik Devletleri dünya bor gereksinimini karşılayan birinci ülke haline gelmiştir. Türkiye'de çalışmaya başlayan ilk işletmenin 1861 senesinde çıkarılan Maadin Nizannamesi uyarınca, 1865 yılında bir Fransız şirketine 20 yıllık işletme ayrıcalığı verilmesiyle başladığı bilinmektedir (Yenialaca, 2009).

1.2.2 Borun Genel Özellikleri ve Bor Mineralleri

Bor periyodik tabloda B simgesiyle gösterilir. Atom numarası 5, atom ağırlığı 10,811 gram/mol, yoğunluğu 2,84 gr/cm³ 'tür. Periyodik tablodaki yeri 3A grubundadır. Ergime noktası 2300 °C ve kaynama noktası 2550 °C olarak ölçülmüştür. Metaller ve ametaller arasında bulunur ve yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir. Bor, genellikle doğada tek başına bulunmaz. Başka elementlerle bileşikler halinde bulunur. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali vardır. Oksijenle bağ yapmaya yatkın olması nedeniyle pek çok değişik bor-oksijen bileşimi bulunmaktadır. Bor-oksijen bileşimlerine genel olarak borat adı verilir (Etimaden, 2019).

Bor elementi, tabiatta farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içerir. Bu elementin 250'den fazla mineralin yapısında yer aldığı bilinmektedir (Kılıç, 2004). Fakat ekonomik açıdan önem taşıyan bor mineralleri doğada kalsiyum, sodyum, magnezyum elementleri ile birlikte ve hidrat bileşikleri halinde bulunur. Bor minerallerinin sınıflandırılması element içeriklerine göre yapılır. Bor minerallerinden ticari açıdan değer sahibi olanlar, tinkal, kolemanit, üleksit, propertit, borasit, pandemit, szaybelit, hidroborasit ve kernittir (Kamu Emekçileri Sendikaları Konfederasyonu, 2003).

Tablo 1.2'de bor minerallerinin, içerdiği B_2O_3 yüzdesi ve bulunduğu yer verilmiştir.

Tablo 1.2: Ticari açıdan önemli bor mineralleri (Ediz ve Özdağ, 2001).

Mineralin Formülü	% B_2O_3	Bulunduğu Yer
Boraks(Tinkal)	36.6	Kırka,Emet,Bigadiç,A.B.D
Kernit(Razorit)	51.0	Kırka, A.B.D., Arjantin
Üleksit	43.0	Bigadiç,Kırka,Emet,Arjantin
Propertit	49.6	Kestelek, Emet, A.B.D
Kolemanit	50.8	Emet, Bigadiç, A.B.D
Pandemit	49.8	Sultançayır, Bigadiç
Borasit	62.2	Almanya

Türkiye, dünyada bor rezervlerinin %73'üne sahiptir. Aynı zamanda, dünyada yapılan üretimin de %32'sini ülkemiz tarafından gerçekleştirilmektedir. Türkiye dışındaki ülkelere bakılacak olursa, bor rezervlerinin ömrünün son 50 yılını yaşamakta oldukları bilinmektedir. Ülkemiz, dünya üzerindeki tüm bor ihtiyacını 450-500 yıl kadar karşılayabilecek bor rezervlerine sahip durumdadır. Türkiye'de devlete ait olan Eti Holding A.Ş., Ocak 2004 yılında gerçekleşen yeniden yapılandırma ile Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü adını almıştır. Bor madenleri, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından Balıkesir ilinde Bandırma, Burhaniye, Sındırgı, Savaştepe, Susurluk, Dursunbey, Bigadiç, Sultançayır, Bursa'da Kestelek, Kütahya'da Emet ve Kırka (Eskişehir) gibi bölgelerde 1 milyon 700 bin hektarlık bir bor maden rezervleri alanı kamulaştırılmıştır. Bu alanlarda bulunan rezervler dikkate alındığında bor minerali açısından yaklaşık 2.5 milyar tonluk kapasiteyle dünyanın en zengin yataklara sahip ülkesi Türkiye olmaktadır. Ekonomik olarak değerlendirildiğinde bor, Türkiye için 1 trilyon dolardan daha fazla zenginlik getirmektedir. Türkiye, bor madenlerinin %50'lik bölümünü ham madde olarak, diğer %50'sini ise işlenmiş olarak satmaktadır.

Hammaddesi bu kadar çok olan bir kaynağın, beton yol ve asfalt yolda katkı malzemesi olarak denenmesinin ülke ekonomisine yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde bor konsantresi üretilirken kullanılan yöntemlerden olan kırma, yıkama, sınıflandırma ve triyaj gibi zenginleştirme işlemleri esnasında önemli miktarlarda atık oluşmaktadır. Büyük miktarlarda ortaya çıkan bu atıkların değerlendirilmesi doğal kaynakların maksimum seviyede kullanılması ve stoklanması açısından önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında beton yol kaplamalarında kullanılacak olan bor mineralleri katkı olarak değerlendirilecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Özdemir ve Uğurlu (2009) yaptıkları bir çalışmada boraks üretiminde ortaya çıkan katı atıkların çimento içerisinde uçucu kül ve volkanik tuf ile birlikte katkı maddesi olarak değerlendirilmesini ele almışlardır. Boraks üretiminde tınkalin elde edilmesi sırasında her yıl 400.000 ton katı atık ortaya çıkmakta ve çevreye verilmektedir. Bu atık kil pestili olarak adlandırılmaktadır. Araştırmacılar tarafından daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda, kil pestilinin çimento içerisinde ancak %5 oranında kullanılabileceği ortaya konmuştur. Bu düzeyde bir kil pestili kullanımının verimli olmayacağı düşüncesinden hareketle bu çalışmada puzolanik açıdan daha aktif olan uçucu kül ve volkanik tuf gibi puzolanlar ile çimentodaki kil pestili kullanım oranının artırılması amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda önce kil pestili ile uçucu kül ile ve daha sonra da volkanik tuf ile değişik karışımlar üzerinde deneyler gerçekleştirilerek en iyi puzolan+kil pestili karışımları saptanmıştır. Sonuçta, kil pestilinin çimento içerisinde bu puzolanlar ile %10-15 oranında kullanılabileceği belirlenmiştir.

Uğurlu ve diğerleri (2004) bu çalışmalarında, kil pestili atıklarının çimentoda katkı olarak kullanılıp kullanılamayacağını araştırmışlardır. Kil pestili tınkalin üretim aşamasında boraks minerali konsantre hale getirilirken ortaya çıkar. Kil pestili katı bor atığıdır. Boraks minerali saflaştırılırken her sene binlerce ton katı atık ortaya çıkmaktadır. Bu katı atıklar depolanırken hem ekonomik açıdan hem de teknik yönden büyük problemler ortaya çıkmaktadır. Boraks atıkları ve kil minerali aynı bileşenleri içermektedir. Bu sebeple kil atıklarının hafif bir puzolanik özellik taşıdığı söylenebilir. Kil atıklarının bu özelliği göz önüne alındığında, çalışmada sözü edilen atık malzemenin çimento içerisine katıldığında ne gibi bir davranış gösterdiği incelenmiştir. Kil pestili atığı çimento inceliğinde öğütülerek Portland Çimento ile hazırlanan harcın içine değişik oranlarda katılmıştır. Hazırlanan örnek numuneler üzerinde taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Kil pestili atığının çimento içerisinde nasıl bir davranış gösterdiği ve hazırlanan karışımdan elde edilen örnek numuneler üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar referans numunelerle ve Türk Standartları (TS) ile karşılaştırılarak bu çalışma ortaya çıkarılmıştır.

Yıldırım ve Ekinci (2006) çalışmada, polipropilen, cam ve çelik lifli betonların dona dayanıklılıklarını araştırmışlardır. Deneyler için, lifsiz, polipropilen, cam, çelik ve karışık lifli 12 farklı beton üretilmiştir. Beton karışımında mikro yapılı çapı 50 µ, boyut oranı 400

polipropilen ve çapı 14 µ, boyut oranı 857 olan cam lifler ile makro yapılı çapı 0.75 mm, boyut oranı 80 olan çelik lifler kullanılmıştır. %0,5, 0.75 ve %1 hacimsel oranında çelik lifler, beton içinde %0.1 hacimsel oranında polipropilen ve cam liflerle karışık ve ayrı ayrı kullanılmıştır. Deneyle ASTM C 666 standardından havada hızlı donma-çözölme koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. 30 donma-çözölme çevrimi sonucunda hazırlanan numuneler üzerinde ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı ve dayanıklılık faktörü değerleri belirlenmiştir. Deneyle sonuçları, betonda kullanılan lif tipine göre değerler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Yazıcı (2005) çalışmasında, yüksek oranda C sınıfı uçucu kül içeren beton karışımlarının bazı fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini incelemiştir. Su içerisinde kür ve havada kür olmak üzere iki farklı kür yöntemi kullanılmıştır. Çimento yerine % 40, % 50, % 60 ve % 70'e kadar uçucu kül ikame edilerek hazırlanan; beton numunelerinin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü, sülfürik asit etkisine karşı dayanıklılığı, harç çubuğu örneklerinin hacim sabitliği ve bağlayıcı hamurların priz süreleri ölçülmüştür. Sonuçlar bağlayıcı olarak sadece Portland çimentosu içeren kontrol betonu ile kıyaslamalı olarak sunulmuştur.

Kula ve diğerleri (2001) bir çalışmasında, kırıcıdan alınan kömür alt külünün, kolemanit cevheri atıklarının, uçucu külün, çimento + kül karışımlarının, çimento + kolemanit cevheri atıklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 5 farklı yüzdede bu malzemeler, yine 5 farklı yüzdede Portland Çimentosu ile karıştırılarak priz süresi, hacim genleşmesi ve basınç dayanımı gibi fiziksel özellikleri belirlenmiş; 2,7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ölçülmüş; Türk Standartlarına göre ve hazırlanan referans numune ile karşılaştırma yapılmıştır.

Binici ve diğerleri (2011) yaptıkları diğer bir çalışmada bazaltik pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu kullanılarak hazırlanan numunelerin betonun önemli mekanik dayanımlarından olan basınç dayanımını ve sülfata dayanıklılığını incelemiştir. Harçlarında çimento ve Rilem-Cembureau standart kumu yerine farklı oranlarda pomza, barit, kolemanit minerali ve yüksek fırın cürufu kullanılmışlardır. Katkı miktarının ve katkı çeşidinin harç numuneleri üzerinde oluşturduğu etkiler mekanik, fiziksel ve kimyasal olarak incelenmiştir. Katkılı numuneleri 7, 28 ve 180 günlük basınç ve eğilme dayanımları

ölçülmüştür. Aynı numunelerin 180. ve 360. gün sülfat dirençleri de incelenmiştir. Deney sonuçları şahit numuneye ve katkı cinsine göre yorumlanarak ortaya konmuştur.

Yalçın (1996) tezi için yaptığı çalışmada, betonarme demirlerinde meydana gelebilecek korozyonu önlemek amacıyla beton karışımı içine farklı miktarlarda kolemanit minerali ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) karıştırmıştır. Çalışmalar 3 grup deney numunesi üzerinde yapılmıştır. Beton numuneleri içine çimento ağırlığının %0.25, %0.5, %1.0, %2.0, %5 ve %10'u oranında kolemanit katılmıştır. Kolemanit katkısının betonun fiziksel özellikleri üzerine etkisini belirlemek üzere aynı oranda kolemanit katkılı çimentoların standart fiziksel özellikleri tayin edilmiştir. Deneyler sonunda %0,5'ten az kolemanit katkısının betonarme demirlerinin korozyonu üzerine inhibitif etki göstermediği, %2,0'den fazla kolemanit katkısının ise, çimentonun fiziksel özellikleri üzerinde bozucu etki yaptığı, en uygun kolemanit katkısının %1,0 olduğu belirlenmiştir.

Kula ve diğerleri (2002) betonun kısmen değiştirilmesinde tinkal cevheri atıkları (TW), kömür taban külü (BA) ve uçucu kül (FA) kullanma olasılığı bir takım testler aracılığıyla incelemiştir. İncelenen özellikler arasında priz süresi, basınç dayanımı, harç genleşmesi, harcın su tutarlılığı ve mikro yapı bulunmaktadır. 90. günde kömür taban külü + tinkal cevheri atıkları ve uçucu kül + tinkal cevheri atıkları ile hazırlanan harçların sağladığı dayanım, ağırlığının %3 ü kadar tinkal cevheri atığı ile değiştirilmiş Portland çimentosundan hazırlanan harcın dayanımından fazla çıkmıştır. Portland çimentosunun ağırlığının % 3-5 oranında tinkal cevheri atığı ile değiştirilmesi sonucunda harcın dayanımı kontrol harcına oranla düşmüştür. Bununla birlikte elde edilen sonuçlar Türk Standartları ile sınırlıdır. Tinkal cevheri atığı ile kömür taban külü veya uçucu kül eklemek sadece tinkal cevheri atığının oranı ile ilişkili olarak performansı arttırmıştır. Tinkal cevheri atığının oranını arttırmak priz süresini daha yükseğe çıkarmaktadır. Sonuç olarak; tinkal cevheri atığı, kömür taban külü ve uçucu kül örnekleri çimento hazırlama malzemesi olarak kullanılabilir.

Boncukçuoğlu ve diğerleri (2002), eklenen tromel eleğinden geçen borajips ve konsantratör tesislerinden alınan kolemanit atığı içeren çimento harçlarının özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında bor atığı miktarının artmasıyla radyasyon geçirgenliği miktarının azaldığını, priz başlangıcı ve priz sonu süresini de arttırdığını ortaya koymuşlardır. Yapılan ve yapılmış olan bu araştırmalar içinde bor atığı barındıran malzemelerin betonda yapay puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliğini kanıtlamışlardır.

Boncukcuoğlu ve diğerleri (2002) yaptıkları diğer bir çalışmada, tinkal atığı, bor balçığı, konsantratör atığı, TSW (tromel elek atığı) Portland Çimentosu ile ikame edilerek belirli oranlarda karışımlar hazırlamışlardır. Bu karışımlar 2.,7. ve 28. gün çekme ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. Buna göre TSW katkılı çimento betonun geleneksel çimentolu betona göre mekanik dayanımının daha iyi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca TSW katkısının ağırlıkça % 25'e kadar kullanılabilceği öne sürülmektedir.

Targan ve diğerleri (2002) tarafından yapılan çalışmada çimento üretiminde uygun puzolanların ve uygun miktarlarının bilinçli olarak kullanılması hem çevresel hem de ekonomik yararlar sağlamakta olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, doğal puzolan olan Kula cürufu, bentonit ve bor minerallerinden birisi olan kolemanit konsantratör atığının birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada söz konusu doğal puzolanlar ve atıklar çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bu sayede çimento üretiminde enerji tasarrufu sağlanması ve atık maddelerin çevreye verebilecekleri olumsuz etkilerin giderilmesi de amaçlanmıştır. Kula cürufu-kolemanit konsantratör atığı ve bentonit-kolemanit konsantratör atığı varyasyonları (Kula cürufu ve bentonitin kütlece % 5, 10, 15, 20, 25, 30'luk oranları) katkı maddesi olarak denenmiştir. Katkıların, çimento priz süresi, hacim genleşmesi, eğme dayanımı, basınç dayanımı gibi özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Çimento karışımlarının fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Türk Standartları'yla uyum halindedir. Buna göre, bu çalışmada kullanılan katkılar çimento üretiminde kullanılabilir.

Targan ve diğerleri (2003) yaptıkları bir diğer çalışmada doğal bir puzolan olan kolemanit cevheri atığının, kömür uçucu külünün ve kömür altı külünün çimento ve betonun özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Basınç dayanımını, eğilme dayanımını, hacimde genleşmeyi ve priz süresi gibi parametreleri araştırmışlardır. Çalışmada Portland Çimentosu yerine %5-%30 aralığında NP (Kula'dan temin edilen volkanik birikinti ve Etibor Madeni'nden temin edilen kolemanit atığı karışımı) kullanılarak belirlenmiş miktarlarda örneğin %10 uçucu kül, %10 kömür altı tozu, %4 kolemanit cevheri atığı karıştırılarak birkaç adet çimento hazırlanmıştır. Sonuçlar; NP çimentonun bir kısmıyla yer değiştirdiğinde çimento hamurlarının son priz süresinin ivmelendiğini göstermektedir. Sonuçlar aynı zamanda %5 seviyesinde NP içeriğinin PÇ ile yer değiştirdiğinde, numunelerin kontrol numunelerine göre basınç dayanımlarının arttığını göstermektedir. %10- %15 aralığında NP'nin yanında iyileştirilmiş kalitede kolemanit cevheri atığının PÇ'nin yerine konması 60

günlük külden sonra kontrol numuneleriyle karşılaştırılan numunelerin eğilme dayanımlarını geliştirmektedir.

Bentonit, kolemanit minerali atığı, kömür uçucu külü ve kömür alt külü gibi malzemelerin çimento ve beton üzerindeki etkisi bir dizi test aracılığıyla incelenmiştir. Targan ve diğerleri (2002) bu çalışmalarında priz süresini, eğilme dayanımını, hacimce genleşmeyi, basınç dayanımını ve harcın su içeriği özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak çimentonun yerine bir kısım bentonit konulduğunda çimento priz zamanının genellikle hızlandığı görülmüştür. Düşük orandaki bentonit kolemanit cevheri atığı kombinasyonu Portland Çimentosu'nda kullanıldığında önemli geciktirici etki gösterirken, yüksek oranda kullanıldığında hızlandırıcı etki göstermiştir. Ancak bentonitin % 5- %10 oranında eklenmesi erken yaş basınç dayanımında artışa sebep olurken, diğer materyaller ile kombine kullanımı basınç dayanımını azaltmıştır.

Endüstriyel bor atıkları tinkal cevherinden bor üretilmesi sırasında katı atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar değişik çevre problemlerine ve yüksek boroksit içeriğinden dolayı ekonomik kayba neden olmaktadır. Elbeyli (2004) yaptığı çalışmada, bor atıklarından boroksitin giderilmesini ve bor atıklarının düşük bor içeriğiyle çimento katkı maddesi olarak kullanmayı amaçlamaktadır. Bunun için bor atıklarının su ile işleme sokularak bor oksitin giderilmesi ve toksik etkilerin azaltılması sağlanmıştır. Yıkama işleminden sonra işlem görmüş işlem görmüş ve işlem görmemiş bor atıkları Portland Çimentosuna (PÇ 42.5) % 5 oranında eklenmiştir. Ortaya çıkan numuneler basınç dayanımı, priz süresi, Le Chatelier genleşmesi deneylerine tabi tutulmuş ve sonuçlar PÇ özellikleri ve Avrupa Standartları'na (EN 196) göre karşılaştırılmıştır. Sonuçlar yüksek bor seviyesi içeren bor atıklarının basınç dayanımında azalmanın olduğunu PÇ'deki genleşme iyileşmesinde artış olduğunu göstermektedir. Bor atıklarının, boroksit ve saflığı bozucu madde miktarı azaltıldıktan sonra çimento katkısı olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Özdemir ve Öztürk (2003), yaptıkları çalışmada bor içerikli kil atıklarının çimento katkı maddesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Kil atıklarının, çimentoya ait mekanik ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi klinkere kil atığı ve jips eklenip hazırlanmasıyla belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Portland Çimentosu özellikleri ve Türk Standartları değerleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan basınç ve çekme dayanımı deneylerine göre seçilen

farklı kil atıklarından ikisinin % 5 ve % 10 aralığında klinkere eklenerek çimento katkı maddesi olarak kullanılması önerilmiştir.

Boncukçuoğlu ve diğerleri (2005) bu çalışmalarında, tinkalden bor üretiminde ortaya çıkan tromel eleği atığının iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Eklenen tromel eleği atığının mekanik özellikler üzerindeki etkisi ve klinkere tromel atığı eklenerek hazırlanmış katkılı çimentonun radyoaktif aktarımı araştırılmıştır. Tromel eleği atığının katkı olarak elde edilmesine sebep olan özellikler test edilmiş ve normal Portland çimentosu ile karşılaştırılmıştır.

Çimentolu malzemelerin erken basınç dayanımı hakkındaki bilgiler inşaat projelerinin ilerlemesi ve güvenliği için önemli bir faktördür. Voigt ve diğerleri (2006) yaptıkları çalışmada harcın plastik halden şekli değiştirilebilir sertleştirilmiş duruma geçişini incelemek amacıyla ram ekstrüder (viskozimetre) ile üretilen silindirik numuneleri kullanmışlardır. Buna ilaveten priz ve sertleşme süresince mikroyapıdaki değişimler hakkında daha çok bilgi elde etmek için P ve S dalgaları ile yansıma ölçümleri ve dalga aktarımları iletimi yapılmıştır. Deneyler; haddeden çekilmiş harç numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç testlerinin yeşil beton dayanımını değerlendirmek için yararlı bir araç olduğunu göstermektedir ve bununla birlikte test edilen malzemenin başlangıç ve sonraki basınç dayanımlarındaki gelişmeleri göstermektedir. P dalgalarının yayılımının test edilen harç numunelerinin iç yapısını örneğin, kil parçacıklarının eklenmesiyle gösterdiği bulunmuştur. Aktarımda ve yansıma modunda kullanılan S dalgaları iç parça bağlanmasının çimento hidrasyonu ve basınç dayanımındaki artış ile ortaya çıktığını hassasiyetle kanıtlamıştır.

Bor içeren (CW) çimento ile yer değiştirilerek kullanılması betonun uzun vadedeki dayanımını arttırmaktadır. Bu faydaya rağmen; kullanımı betonun düşük erken dayanımından dolayı sınırlandırılmıştır. Olgun ve diğerleri (2007) bu problemi ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalarında deneysel kısım iki aşamada anlatılmaktadır. İlk aşamada birkaç test ile doğal jips yerine kolemanit cevheri atığının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. İkinci aşamada ise bazı kimyasal aktifleştiricileri kullanmışlardır. Sonuçlar, doğal jips yerine kolemanit cevheri atığının kullanımının çimentonun ilk ve son priz süresinin kabul edilebilir değerlerde olduğunu ve bu harcın uzun vadede basınç dayanımının arttığını göstermektedir. Kimyasal aktifleştiricilerin sisteme eklenmesi puzzolonik reaksiyonu ivmelendirmiş ve harcın erken dayanımını da oldukça arttırmıştır. Sonuçlar, kimyasal aktifleştiricilerin

çimento hamurunun hidratasyon oranını değiştirmekle kalmadığını, harcın mikroyapısının da iyileştiğini göstermektedir.

Bu çalışmada Kavas ve diğerleri (2005), borojips, uçucu kül ve Portland Çimentosu klinkeri ile yapılan karışımların ayarı ve sertleştirilmesini anlatmaktadırlar. Uçucu kül-çimento matrisinde doğal jips yerine borojips kullanılma olasılığı birçok test ile araştırılmıştır. Ayrıca karbonatlı kum taşının çimentonun priz zamanına ve harcın dayanımına etkisi de çalışılmıştır. Doğal jips borojips ile değiştirildiğinde çimentonun priz zamanı gecikmiştir. Karbonatlı kum taşı borojips ile kombine olarak çimentoda kullanıldığında oldukça önemli derecede geciktirici etki göstermiştir. %0,1' lik seviyede sisteme karbonatlı kum taşı eklenmesi harcın erken dayanımında azalma ile sonuçlanmıştır. Ancak 7. günde harç dayanımını önemli ölçüde arttırmıştır. Genellikle borojips ile hazırlanan çimento ile doğal jips ile hazırlanan çimentonun dayanım özellikleri aynı bulunmuştur ve sisteme karbonatlı kum taşı eklenmesi numunenin dayanımını 7. günden sonra önemli ölçüde arttırmıştır.

Türkiye'nin batısında bulunan Kırka Bor Plenti'nden bor içerikli atıklardan dört farklı çeşit seçilerek yapay hafif agreganın oluşturulması için yapılan bir araştırmada Kavas ve diğ. (2011) kimyasal, mineralojik ve termal analizleri içeren karakterizasyonun yanı sıra ısı mikroskobu aracılığıyla bu atıkların şişkinlik davranışı testlerini incelemiştir. Şişkinlik davranışı bulunan atıklarla hazırlanan karışımlara sırasıyla kil karışımı ve kuvars kumu+kil karışımı eklenmiştir. İki farklı yakma modu kullanılarak elde edilen yığın yoğunlukları; Karışım1 için 1.2g/cm³, Karışım2 için 0.9 g/cm³ bulunmuştur. Elektron mikroskobu ile yapılan mikroyapı analizinde camsı bir faz matrisi ve içten bağlı izole olmuş, uzamış kapalı gözenekli formlu yapı ortaya çıkmıştır. Sonuçlar, bor elek atığının ve suyu alınmış bor atığının kil karışımı ve kuvars kumu ile birlikte kullanıldıklarında hafif agrega üretiminde değerli olduklarını göstermiştir.

Yüksek fırın cürufu agrega yüksek dayanımlı beton üretmek için kullanılmaktadır. Bu betonlar 460-610 kg/m³ çimento malzemesi içeriğiyle yapılmaktadır. Bu çalışmada Demirboğa ve Gül (2006), betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını ve diğer özellikleri gözlemleyebilmek için farklı Su/Çimento oranlarını (0,30, 0,35, 0,40, 0,45, 0,50) kullanmışlardır. Yüksek fırın cürufu agrega betonunu iyileştirmek için silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çalışma boyunca çökme sabit tutulmuştur. Yüksek dayanımlı beton elde etmek için %10 silis dumanı sıradan Portland çimentosu yerine eklenmiştir. Silis

dumanı son derece etkili dolgu malzemesi ve puzolonik katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Sırasıyla %2, %1.5, %1, %0.5 ve %0 dozajlarında süperakışkanlaştırıcı, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50 su/çimento oranlarında standart Portland çimentosuna karıştırılmıştır. Sonuçlar; yüksek fırın cürufu agrega betonlarının basınç dayanımının farklı su/çimento oranlarındaki kontrol betonlarına göre yaklaşık %60-%80 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu betonlar aynı zamanda düşük emilime ve yüksek yarmada çekme dayanım değerlerine sahiptir. Çalışmada yüksek fırın cürufu agregaların tamamlayıcı ya da ek çimento malzemeleriyle birlikte kullanımının yüksek dayanımlı beton yapımında kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Madhkan ve diğerleri (2012) çalışmalarında puzolan ve liflerin silindirle sıkıştırılabilen beton (RCC) ların mekanik özellikleri üzerine etkilerini ele almışlardır. Mekanik özellikler; optimum nem ile farklı miktarlarda puzolanlar çelik ve polipropilen lifler kullanılarak gözlenmiştir. Puzolanların kullanımında basınç dayanımındaki en fazla artışın 28 ve 90. günlerde meydana geldiği; kopma modülünün azaldığı fakat tokluk indislerinin önemli ölçüde değişmediği saptanmıştır. Çelik liflerin basınç dayanımı üzerindeki etkisinin polipropilen liflere göre genellikle daha büyük olduğu aynı zamanda çelik liflerin kullanımının betonun tokluk indisini arttırdığı fakat, puzolanlardan bağımsız olarak ne çelik ne de polipropilen liflerin kopma modülünün artışına katkı sağlamadığı ortaya çıkmıştır.

Hindistan'da yıllık yaklaşık 95 milyon ton uçucu kül ortaya çıkmaktadır ve bu uçucu külün çoğunluğu F sınıfıdır. Bunların dışında uçucu külün sadece yaklaşık %15-20'si çimento üretiminde ve Çimento/beton faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Geniş hacimli uçucu külün çeşitli beton uygulamalarında kullanımı genellikle pratik hale geldiğinden beri polyester lifli yüksek hacimli uçucu kül betonunun basınç dayanımı ve aşınma direnci için araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Siddique ve diğerleri (2012) bu çalışmalarında %30, %40, %50 çimento yerine kullanılarak yapılan yüksek hacimli uçucu kül betonunun aşınma direncini, basınç dayanımı ile olan bağıntısı açısından değerlendirmişlerdir. Karşılaştırma sıradan Portland çimentosu ve uçucu kül betonu arasında yapılmıştır. Sonuçlar; uçucu külün %30'a kadar çimento yerine kullanılan betonun aşınma dayanımının uçucu kül olmadan normal beton karışımıyla kıyaslanabilir olduğunu göstermektedir. %30'dan daha fazla uçucu külün çimento yerine kullanımında uçucu kül betonu, uçucu kül içermeyen betona göre daha düşük bir aşınma direnci sergilemektedir. Polyester liflerin yüksek hacimli uçucu kül betonlarında kullanımı aşınma dayanımını geliştirmiştir. Sonuçlar; betonun aşınma dayanımının basınç

dayanımıyla yakından ilgisi olduğunu ve aşınma dayanımı ile basınç dayanımı arasında uçucu küle, test zamanına ve polyester lif yüzdesine bağlı olan iyi bir korelasyon değerine sahip olduğunu göstermektedir.

Yarmada çekme dayanımı, yapısal tasarımda kullanılan betonun mekanik özelliklerinden biridir. Basınç dayanımı, su/bağlayıcı oranı ve beton yaşını da içeren birçok parametre ile ilişkilendirilebilir. Bugüne kadar çoğu araştırmacı yarmada çekme dayanımını basınç dayanımı verilerinden tahmin ediyordu. Zain ve diğerleri (2002), bu çalışma yarmada çekme dayanımını basınç dayanımı, su/bağlayıcı oranı, beton yaşı ile ilişkilendiren bir formül önermektedirler. Tahmin edilen yarmada çekme dayanımı bu formül ile doğru elde edilebilmektedir. Beton yaşı denklemi parametresinin yüksek performanslı betonun yarmada çekme dayanımını tahmin için kullanılabilceğini önermektedir.

Bir ametal element olan bor, doğada birçok çeşit mineralin yapısında ve insanların kullandığı birçok endüstriyel ürünün içinde bulunmaktadır. Bu elementin önemi; nükleer santrallerden gelen su akıntılarında bor bileşikleri görülmesinde ve borla çözünen tuzların Portland çimentosunun hidrasyonunu değiştirerek priz ve sertleşmeyi geciktirmesinde ve dayanıklılığını negatif yönde etkilemesinde yatmaktadır. Böylece bu araştırmanın ana unsuru aktif alkali uçucu küller üzerine kurulmuş borlu katılaştırma sistemlerinin verimliliğine karşı bir çalışma yapmak olmuştur. Sonuçlar borun yeni matrislerin sertleşme sürecini önemli ölçüde değiştirmedeğini göstermektedir. Bor varlığı aktif alkali uçucu küllerin mekanik güçlerini değiştirmekte ve ayrıca bor liç testleri bu sabitleme/katılaştırma sisteminin geleneksel olana göre çok daha etkili olduğunu göstermektedir (Palomo ve Fuente, 2003).

Bu çalışmada Yang ve Jiang (2003), karayolunda kullanılan geçirimli bir beton kaplama malzemesi tanıtmışlardır. Ortak bir malzeme ve yöntem kullanıldığında geçirimli betonun mukavemeti düşüktür. Geçirimli betonda küçük boyutlu agrega, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanıldığında geçirimli betonun mukavemeti artmaktadır. Yüzey tabakası ve taban katmanından oluşan geçirimli bir kaplama malzemesi hazırlanmıştır. Kompozit basınç dayanımında 50MPa' ya ve esneklik dayanımında 6 MPa' ya ulaşılmıştır. Ayrıca malzemelerin su penetrasyonu, aşınmaya direnci, donma-çözülme dayanımı da çok iyi olduğu görülmüştür. Buna göre elde edilen malzemelerin hem yaya hem taşıt yoluna uygulanabilir çevre dostu bir malzeme olduğu gözlemlenmiştir.

Jips kristalleri, B₂O₃ ve bir takım saflığı bozucu maddeden oluşan borojips; önemli bir mineral olan kolemanitten borik asit üretimi sırasında oluşur. Elbeyli ve diğerleri (2003), bu çalışmada borojipsin ve kalsine borojipsin Portland çimentosunun fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Borojipsin yapısı ve doğal jipsdeki kalsinasyon sıcaklığı ve dönüşümler diferansiyel termal analiz, termogravimetrik analiz ve x ışınları kırınımı teknikleri ile belirlenmiştir. Termal deneyler 100C min-1 ısıtma hızına sahip hava atmosferinde ortam sıcaklığı ve 5000 °C arasında yapılmıştır. Dönüşüm sıcaklıklarının belirlenmesi ve entalpi hesaplamalarından sonra, borojips (%5 ve %7), hemihidrat borojips (%5) ve doğal jips (%5) ayrı ayrı Portland çimentosu klinkerine eklenmiştir. Nihai ürünlerin Avrupa standartlarına göre kimyasal analizleri, basınç dayanımları, priz süresi, Le Chatelier genleşme ve incelik testleri yapılmıştır. Sonuçlara göre Portland çimentosundaki borojips oranını %5' ten %7' ye çıkartmak priz zamanını arttırırken, genleşme iyileşmesi ve basınç dayanımını azaltmıştır. %5 borojips ile hazırlanan çimento dayanım açısından doğal jips ile elde edilenlerle benzer özellikler göstermiştir. Oysa %5 hemihidrat borojips içeren karışım 28. Günde sıradan Portland çimentosu kontrol karışımlarına göre %25 daha fazla basınç dayanımı sergilemiştir. Bu sebeple çimento uygulamalarında kalsine borojipsin işlenmemiş borojipse göre daha iyi sonuç vermesi beklenmiştir. Hemihidrat borojips endüstride Portland çimentosu geciktiricisi olarak kullanılabilir. Bu da çevre kirliliğini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır.

Bu araştırma çalışmalarının amacı Portland çimentosu klinkeri üretiminde hammadde olarak jorosit-alunit kimyasal çökeltisi ve yeni hidrometalurjik işlemler sonucu oluşan kirli atıkların işlenmesi ile elde edilen nikel oksit cevherlerinin eklenebilme olasılığıdır. Bu sebeple Tsakiridis ve diğerleri (2005), biri sıradan hammaddelerden diğeri %1 jorosit-alunit çökeltisi ile 2 hammadde hazırlamışlardır. Her iki hammadde de 14500C' de sinterlenmiştir. Kimyasal ve mineral analizler, mikroskopik inceleme jorosit-alunit çökeltinin Portland çimentosu klinkerinin mineral yapısını etkilemediğini göstermiştir. Ayrıca her iki klinker; öğütülebilirlik, priz zamanı, basınç dayanımı ve genleşme yönünden test edilmiştir. Hidrasyon ürünleri 2, 7, 28 ve 90. günlerde XRD analizi ile incelenmiştir. Fiziko mekanik testlerin sonuçları jorosit-alunit çökeltinin eklenmesinin üretilen çimentonun kalitesini olumsuz yönde etkilemediğini göstermiştir.

Kimya ve süreç mühendisliğinin temelini klinkerizasyon süreci teşkil etmekteyken son yıllarda mühendislik alanındaki gelişmeler hızlı tepki, enerji verimli, kirlilik azaltıcı, piro-

proses gibi çok kimyasal kavramı içine almıştır. Klinker fazları için soğutucu tasarımları başarılı olsa da istenen soğutma hızına henüz ulaşamamıştır. Termal verimlilikteki yeniliklere rağmen piro-proses sistemleri mühendisliği olduğu yerde saymaktadır. Bununla birlikte geçici döngülerin oluşumu, proses ve kalite kontrolü sistemik parametrelerle yönetilmektedir. Bu çalışma piro-prosesin bugünkü durumunu tasvir etmek ve gelecekte yatan imkanları belirtmek için yapılmıştır (Chatterjee, 2011).

Bir çalışmada (Li ve diğerleri, 2007), kaplama için nano parçacıklar içeren betonun esneme-yorulma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Nano TiO₂ ve nano SiO₂ sırasıyla katkı malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Karşılaştırma amaçlı olarak düz betonun esneme-yorulma performansı yanında polipropilen lif içeren beton da bu çalışmada incelenmiştir. Test sonuçları nano partiküller içeren betonun yorulma durumunun çift parametre Weibull dağılımını takip ettiğini göstermiştir. Nano parçacıklar içeren betonun esneme-yorulma performansı önemli ölçüde artarken stres değişiminin sebep olduğu yorulma durumunun da arttığı gözlemlenmiştir. Nano parçacıklar içeren betonun yorgunluk durumu farklı ölçülerde gelişmiştir. Artan stres yorgunluk durumunu da arttırmıştır. Bağlayıcının ağırlığına göre %1 miktarında nano TiO₂ içeren beton esneme-yorulma testlerinde polipropilen lifleri içeren betona göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Bağlayıcı ağırlığına göre %1 miktarında nano TiO₂ içeren beton teorik stres düzeyinde düz beton ile karşılaştırılmış ve yorulma hata sayısı 106 ' ya eşit çıkmıştır.

Bir çalışmada (Abali ve diğerleri, 2006) tinkal atık, uçucu kül, betonit ve volkanik tüfün çimento karışımına eklenmesi değerlendirilmiştir. Priz zamanı, genleşme, su ihtiyacı, spesifik yüzey ve basınç dayanımı bakımından çimento karışımları incelenmiştir. Sonuç olarak tinkal atığın priz süresini yükseltmesinden dolayı, tinkal atığın arttırıldığı karışımın erken basınç dayanımı düşmüştür. Karışımdaki tinkal atık ve volkanik tüf arttırıldığında basınç dayanımında düşüş gerçekleşmiştir. Tinkal atık arttırıldıkça priz süresi daha da artmakta bunun sebebi de içeriğindeki yüksek orandaki B₂O₃ ve MgO olarak açıklanmıştır. Tinkal atık ve uçucu kül arttırıldığında genleşme de artmıştır. Çimento karışımlarının Blaine inceliği arttıkça su ihtiyaçları da artmıştır. Sonuçlar standartlarla karşılaştırıldıktan sonra 5 grup karışım standartlara uyumlu olarak önerilmiştir.

Yapılan bir çalışmada (Cho ve Lin, 2005) uygun, tek katmanlı, tercihen sonlu kalınlıkta harç levhasının çimento harcı basınç dayanımını tahribatsız olarak değerlendirebilmek için

güncellenmiş yüzey dalgası spektral analizi metodu sunulmaktadır. Testler 91.44 x 91.44 x 10.16 cm levha örneklerinde yapılmıştır. Çeşitli frekanslarda yüzey dalgaları oluşturabilmek için etki kaynağı olarak çelik bilyeler kullanılmıştır. Yansıyan basınç dalgaları alıcılara geldiğinde sadece dalga formlarını toplayarak sınır yansıma etkileri çalışmadan çıkarılmıştır. Yüzey dalga hızı ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon, levha numunelerine farklı yaşlarda yüzey dalgası spektral analizi yapılarak elde edilmiştir. Sonuçlar inşaat aşamasında erken yaştaki betonun kalite kontrolünde uygulanabileceğini göstermiştir.

Beton özelliklerinin uygun malzemeler eklenerek modifiye edilmesi beton araştırmalarının popüler bir alanıdır. Bu çalışma betonda kumun bir kısmını demir ve çelik endüstrisi atıkları ile değiştirerek kullanmayı amaçlamıştır. Bu araştırma çalışmasında Alweli ve Nadziakiewics (2012), betonlarda ham kum yerine çelik talaşları koymuşlardır. Kumun ağırlığının farklı oranlarında (%25, %50, %75 ve %100) kumun yerine bu atıklar kullanılmıştır. Bu çalışmada amaç beton yapımında kumun bir kısmı yerine çelik talaşı kullanarak betonun basınç dayanımını ve gamma radyasyonunu emme özelliklerinin incelenmesidir. Test sonucunda çelik talaşı kullanılarak hazırlanan beton ile geleneksel beton karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar atıkların betona katılmasının gamma radyasyonunu emmeyi artırırken diğer teknik özellikleri değiştirmediğini göstermiştir. Veriler çelik talaşlı betonun geleneksel betona oranla daha dayanımlı olduğunu göstermiştir ancak %25 oranında çelik talaşı kullanılan betonun mukavemeti düşmüştür. %75 ve %100 oranında çelik talaşı kullanılan betonların gamma radyasyonunu emme sonuçları çok iyi çıkarken diğer oranlarda iyi ve tatminkar sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuç olarak çelik talaşı bulunan betonlar binaların dışına gamma radyasyonuna karşı koruyucu olarak tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada geleneksel beton yerine kullanılacak olan koruyucu betonun kalınlığı da hesaplanmıştır.

Coşkun ve Sarıışık (2021), bu çalışmalarında, pomza hafif agregası ile değişik oranlarda çimento dozajını arttırarak oluşturdukları harç karışımlarına tinkal atığı eklemişlerdir. Beton harçları için 0-4 mm boyutundaki Nevşehir yöresi asidik pomza agregası kullanılmıştır. Karışımların su/çimento oranı 0.50 hesaplanarak sabit tutulmuştur. Üç farklı çimento dozajında her dozajda kontrol ve tinkal atığı katkılı olmak üzere toplam 6 karışım oluşturulmuştur. Çeşitli denemeler sonucu optimal tinkal atık oranı %1 olarak belirlenmiştir. Her karışımdan 10×10×10 cm küp boyutlu numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra 7 ve 14 günlük su kürüne tabi tutulmuşlardır. Numuneler üzerinde

fiziksel ve mekanik deneyler, termal iletkenlik deneyleri, TGA-DTA ve XRD analizleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Materyal

Bu tez çalışmasında; CEM I 42,5 R çimentosu, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nden alınan öğütülmüş üleksit ve öğütülmüş kolemanit minerali, Balıkesir Altıntaş Taş Ocağı'na ait agrega, katkı maddesi, şebeke suyu kullanılmıştır. Beton sınıfı C30/37 olarak seçilmiştir.

3.1.1 Çimento

Çalışmada beton numunelerin üretilmesi için bağlayıcı malzeme olarak CEM-I 42,5 R Portland Çimentosu seçilmiştir. Portland Çimentosu, portland klinkerinin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilir. İçeriğinde %95 portland çimento klinkeri+ %5 minör bileşen+ %5 alçıtaşı bulunmaktadır. TS EN 197-1:2012 standartlarına uygun olarak üretilen CEM-I 42,5 R Portland çimentosu Akçansa Çanakkale Çimento Fabrikası A.Ş'den tedarik edilmiştir. Bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve basınç dayanımı özellikleri firmadan temin edilerek Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Çimentonun fiziksel, kimyasal ve basınç dayanım özellikleri.

Analiz	Oksit	Değer(%)	Analiz	Deneyle	Değer
Kimyasal Özellikler	CaO	62,64	Fiziksel Özellikler	Özgül yüzey (cm ² /g)	3269
	Al ₂ O ₃	4,56		Hacim Genleşmesi (mm)	2,0
	Fe ₂ O ₃	3,36		Yoğunluk (g/cm ³)	3,12
	SiO ₂	19,05		Priz başlama süresi (dakika)	150
	SO ₃	2,88		Priz bitiş süresi (dakika)	210
	MgO	2,98		Deney Zamanı	MPa
	Na ₂ O	0,15	2. gün	32,5	
	Kızdırma kaybı	3,02	7. gün	43,4	
	Çözünmeyen kalıntı	0,30	28. gün	53,6	

3.1.2 Bor

Bor ürünlerinden olan üleksit ve kolemanit; çalışmada kullanılmak üzere Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nden tedarik edilmiştir. Öğütülmüş minerallerin çimento ile yer değiştireceği düşünüldüğünden mineral boyutu -75 mikron olarak seçilmiştir.

3.1.2.1 Üleksit

Üleksit, Türkiye’de Emet, Kırka ve Bigadiç bor yataklarında yaygın olarak bulunur. Mineral bakımından oldukça zengin bir bor çeşididir. Eti Maden tarafından saf halde çıkarılan üleksit; masif, karnabahar, lifsel, koni, rozet, pamuk yumağı ve çubuk görünümüyle tabiatta bulunmaktadır. Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 2,5, özgül ağırlığı 1,95-2 gr/cm³’tür. Üleksit minerali dünyada ise Arjantin’de görülmektedir (Eti Maden, 2020). Çalışmada öğütülmüş üleksit kullanılmıştır. Tablo 3.2’de öğütülmüş üleksit mineralinin kimyasal özellikleri verilmiştir. Üleksit mineralinin boyutu -75 mikrondur. Mineral, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü’nde üretilen en ince dane boyutuna sahiptir.

Tablo 3.2: Bigadiç öğütülmüş üleksit (-75 mikron)’in kimyasal özellikleri (Etimaden, 2020).

İçerik	Birim	Değer
B ₂ O ₃	%	37,00+/-1,00
CaO	%	20,00 Max.
SiO ₂	%	4,00 Max.
SO ₄	%	0,25 Max.
As	ppm	40,00 Max.
Fe ₂ O ₃	%	0,04 Max.
Al ₂ O ₃	%	0,25 Max.
MgO	%	2,50 Max.
SrO	%	1,00 Max.
Na ₂ O	%	3,50 Min.
Nem	%	1,00 Max.
Dökme Yoğunluğu	ton/m ³	1,00 Max.

Tablo 3.3’de öğütülmüş üleksit mineralinin tane boyut dağılımı verilmiştir. Öğütülmüş üleksit minerali dane boyutunun minimum %82’si, 75 µm (C-75) elek altında kalan malzemeden oluşmaktadır (Etimaden, 2020).

Tablo 3.3: Bigadiç öğütülmüş üleksit (-75 micron)’in tane boyut dağılımı boyut (mm).

İçerik	Birim	Değer
+ 150	%	0,50 Max.
- 75	%	82,00 Min.

3.1.2.2 Kolemanit

Kolemanit; ülkemizde Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında bulunur. Kolemanit de mineral açısından oldukça zengin bir bor çeşididir ve mono klinik sistemde kristallenir. Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 4-4,5; özgül ağırlığı 2,42 gr/cm³'tür. Bor bileşiklerinde en yaygın kolemanittir. Doğada killer içinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur. Saf kolemanit suda yavaş, hidroklorik asitte hızlı çözünür. Dünyada Amerika Birleşik Devletleri 'nde bulunur (Etimaden, 2020).

Tablo 3.4 'de öğütülmüş kolemanit mineralinin kimyasal özellikleri verilmiştir. Kimyasal özellikler incelenirken kolemanit mineralindeki bileşik miktarları tayin edilmiştir. Kolemanit mineralinin boyutu -75 mikrondur. Mineral, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nde üretilen en ince dane boyutuna sahiptir. Çalışmada beton üretimi yapılırken Bigadiç yataklarından alınan öğütülmüş kolemanitten yararlanılmıştır.

Tablo 3.4: Bigadiç öğütülmüş kolemanit (-75 micron)'in kimyasal özellikleri.

İçerik	Birim	Değer
B ₂ O ₃	%	40,00+/-0,50
CaO	%	27,00+/-1,00
SiO ₂	%	4,00-6,50
SO ₄	%	0,60 Max.
As	ppm	35 Max.
Fe ₂ O ₃	%	0,08 Max.
Al ₂ O ₃	%	0,40 Max.
MgO	%	3,00 Max.
SrO	%	1,50 Max.
Na ₂ O	%	0,50 Max.
Kızdırma Kaybı	%	25,00 Max.
Nem	%	1,00 Max.
Dökme yoğunluğu	ton/m ³	1,00 Max.

Tablo 3.5'de öğütülmüş kolemanit mineralinin tane boyut dağılımı görülmektedir. Öğütülmüş kolemanit minerali dane boyutunun minimum % 82'si, 75 µm (C-75) elek altı malzemesinden meydana gelmektedir (Etibor, 2020).

Tablo 3.5: Bigadiç öğütülmüş kolemanit (-75 micron)'in tane boyut dağılımı boyut (mm).

İçerik	Birim	Değer
+ 150	%	0,50 Max.
- 75	%	82,00 Min.

3.1.3 Agregalar

Hazırlanan deney numunelerinde kullanılan agregalar, Balıkesir ilinde bulunan Altıntaş Taş Ocağı'ndan tedarik edilmiştir.

3.1.4 Katkı Maddesi (Süper Akışkanlaştırıcı)

Numunelerde katkı olarak Chryso Premia 518 süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Katkı maddesinin teknik özellikleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: Chryso Premia 518 süper akışkanlaştırıcıya ait teknik özellikler.

Testler	Birim	Test Sonucu	Test Metodu
Görünüm	-	Homojen	Gözle
Renk	-	Kahverengi	Gözle
Yoğunluk	gr/cm ³	1,075	ISO 758
pH	-	3,97	ISO 4316
Katı Madde Miktarı	%	33,23	EN 480-8
Etkin Bileşen	Min. 99,0	0,01	EN 480-8
Suda Çözünebilir Klor	%	99	En 480-10

3.1.4 Betonda Kullanılan Karışım Suyu

Betonda hidratasyonun gerçekleşebilmesi ve betonun işlenebilirliği için suya ihtiyaç olduğu bilinmektedir. Beton karma suyunun, betonun özellikleri üzerinde olumsuz etki göstermemesi gerekmektedir. Beton karışımlarında kullanılan suyun yabancı ve toksik maddeler içermemesi, doğal olması, temizliği ve içilebilir özellikte olması önem teşkil etmektedir. Betonda karışım suyu olarak kullanılan Balıkesir ili Altıeylül ilçesi şebeke suyuna ait analiz sonuçları Tablo 3.7'de görülmektedir. Beton karışımlarında ve numunelerin kür işleminde aynı şebeke suyu kullanılarak beton harcı hazırlanmıştır.

Tablo 3.7: Beton karışım suyuna ait tahlil sonuçları (BASKİ, 2022).

Parametreler	Birim	Limit Değer		Analiz Metodu
		Nisan 2005 TS-266	# Limit Değerler	
ph		6,5- 9,5	6,5- 9,5	Elektrometrik
Renk	mg/l	20	-	Fiziksel
Bulanıklık	ntu	5	-	Nefelometrik
Toplam Sertlik	Fr ⁰	-	-	Titrimetrik
Toplam Demir	µgFe/l	200	200	Spektrofotometrik
Toplam Mangan	µMn/l	50	50	Spektrofotometrik
Nitrat	mgNO ₃ /l	50	50	Spektrofotometrik
Nitrit	mgNO ₂ /l	0,5	0,5	Spektrofotometrik
Amonyum	mgNH ₄ /l	0,5	0,5	Spektrofotometrik
İletkenlik	µs/cm	2500	2500	Elektrometrik
Organik Madde	mgO ₂ /l	5	5	Titrimetrik
Alüminyum	µgAl/l	200	200	Spektrofotometrik
Serbest Klor	mg/l			Spektrofotometrik
Koliform	100	0	0	Membran Filtreleme
Bakteri	ml/adet			
Koku	-	-	-	Fiziksel
Tad	-	-	-	Fiziksel

3.2 Yöntem

Çalışma süresince gerçekleştirilen deneyler Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Prof. Dr. Şerif Saylan Yapı Mekaniği Laboratuvarı ve Bursa Uludağ Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Beton numunelerin tasarımı için fiziksel özellikleri belli agregalar kullanılmış ve beton tasarımı yapılarak karışımlar hazırlanmıştır. Beton karışımları hazırlandıktan sonra 150x 150x 550 mm 'lik prizmatik, ø100x200 mm 'lik silindirik ve 150x150x150 mm boyutlu küp kalıplara dökülmüşlerdir (TS EN 12390-1 2013; TS EN 13892-3 2015). Hazırlanan prizmatik numunelerden karotlar alınarak silindirik numunelerin çoğaltılması sağlanmıştır. Karışım ve referans numuneler 7, 28 ve 90 gün boyunca kür havuzunda bekletilmiştir. Beton numunelere Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılarak sonuçlar gözlenmiştir. 90. günün sonunda donma- çözülme çevrimi sonrası ağırlık kaybı ve eğilme dayanımları belirlenmiştir.

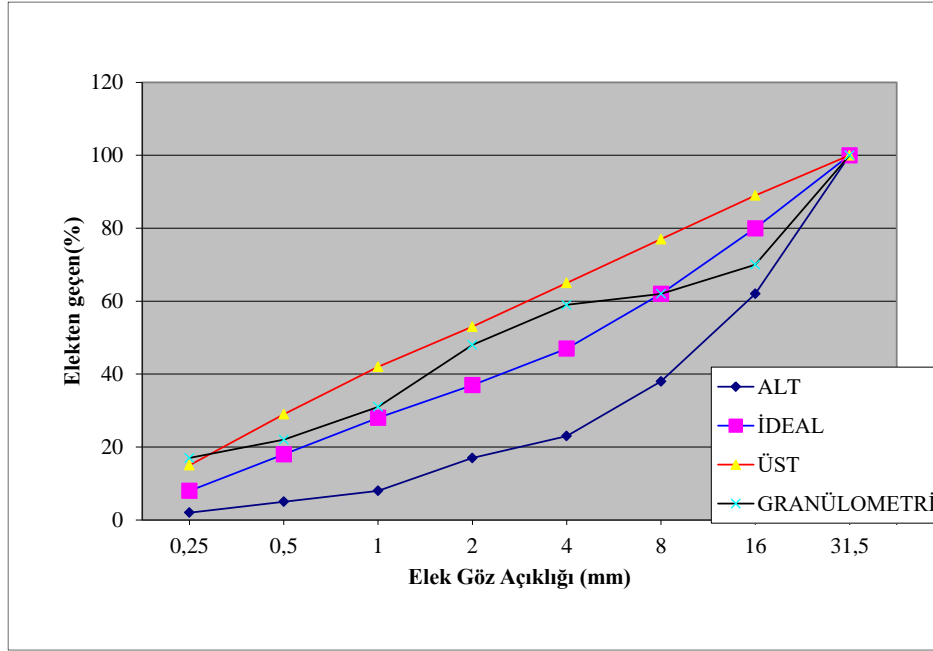
3.2.1 Agregada Deneyleri

Balıkesir Altıntaş Taş Ocağı'ndan temin edilmiş agregalara ait deneyler Altın Beton Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Agregalara uygulanan fiziksel deneyler Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8: Agregalara yapılan fiziksel deneyler.

Yapılan Deneyler	Kullanılan Standartlar
İnce malzeme tayini	TS EN 933-10, 2015
Tane yoğunluğu	TS EN 1097-6
Su emme oranının tayini	TS EN 1097-6 EK D & EK B
Gevşek yığın yoğunluğu	TS EN 1097-3
Boşluk hacminin tayini	TS EN 1097-3

Agregalar için hazırlanan granülometri eğrisi Şekil 3.1'de verilmiştir. Eğride görülen tane dağılımının, alt ve üst eğrilerle sınırlanan alanın içerisinde kalmış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1: Agregalara ait granülometri eğrisi.

Beton karışımında agregada olarak kullanılan taş tozu (0 mm-3 mm) ve (0 mm-4 mm) kırma kum, orta irilikte agregada (4 mm-11,2 mm) kırma taş ve kaba agregada (11,2 mm- 22,4 mm) kırma taş üzerinde Altın Beton Laboratuvarı tarafından agregalara ait fiziksel deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.9'da görülmektedir.

Tablo 3.9: Agregalara ait fiziksel özellikler.

Agrega Boyutu (mm)	Kuru Tane Yoğunluğu (g/cm ³)	Gevşek Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)	Boşluk Yüzdesi (%)
Taş Tozu (0-3 mm)	1560,37	1574,58	0,91
Kırma Kum (0-4 mm)	1421,04	1497,10	5,35
Agrega 1 (4-11.2 mm)	1226,26	1278,86	4,29
Agrega 2 (11.2-22.4 mm)	1162,28	1247,58	7,34

3.2.2 Beton Tasarımı ve Karışımların Hazırlanması

Numunelerin üretiminde kullanılan betonun hedef basınç dayanımı $f_c^{*} = 30$ MPa seçilerek karışım hesapları gerçekleştirilmiştir. Beton karışımında agrega olarak ince agrega (0 mm-3 mm) ve (0 mm-4 mm) kırma kum, orta irilikte agrega (4 mm-11,2 mm) kırma taş ve kaba agrega (11,2 mm- 22,4 mm) kırma taş, bağlayıcı olarak ise CEM I 42,5N (özgül ağırlığı 3,17 g/cm³) çimento kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Beton karışımında kullanılan agregalar.

3.2.2.1 Beton Karışım Hesapları ve Numunelerin Hazırlanması

Yapılan karışım hesabı sonucunda betonun su/çimento oranı 0.47'dir. Her numune serisi için toplam beton döküm miktarı 48 dm³'tür. Beton dökümü çalışmalarında reçeteye uygun şekilde malzeme tartımları tek tek yapılarak ayrı kaplarda hazır hale getirilmiştir. Tablo 3.10 'da verilen değerler; referans betonu, üleksit ve kolemanit içeren numuneler için karışım hesaplarını göstermektedir. Tabloya göre verilen değerler gram cinsindedir. (Tablo 3.10). Harç, beton mikserinde sabit dönme hızı ile karıştırılarak yapılmıştır (Şekil 3.3).

Tablo 3.10: Referans betonu, üleksit ve kolemanit içeren numuneler için karışım hesabı.

Beton Türü	Çimento	Bor	Su	Katkı	a1	a2	a3	a4
R	17280	0	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
K2	16934	346	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
K4	16589	691	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
K6	16243	1037	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
K8	15898	1382	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
K10	15552	1728	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
U2	16934	346	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
U4	16589	691	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
U6	16243	1037	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
U8	15898	1382	8160	172,8	23280	18960	16800	28320
U10	15552	1728	8160	172,8	23280	18960	16800	28320

a1= ince agregası (0 mm-3 mm)

a2= kırma kum (0 mm-4 mm)

a3= orta irilikte agregası (4 mm-11,2 mm)

a4= kırma taş ve kaba agregası (11,2 mm- 22,4 mm)



Şekil 3.3: Beton karışımında kullanılan laboratuvar tipi beton mikseri.

Numuneler sırasıyla %2, %4, %6, %8, %10 oranında, çimentonun kolemanitle yer değiştirmesiyle 150x150x150 mm' lik standart küp numuneler olarak her bir karışımdan 3'er adet hazırlanmıştır. Ayrıca donma-çözülme deneyi için karışım, 100x100x500 mm'lik kiriş numune kalıplarına dökülmüştür (Şekil 3.4).

Her reçete karışımını betonyere aktarmadan önce betonyer temizlenerek karışımın titizlikle hazırlanması sağlanmıştır. Betonyerden kalıplara aktarılan karışımlar içeriklerine göre numaralandırılıp döküm tarihleri üzerine yazılmıştır. Numuneler uygun bir ortamda 48 saat bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler 7, 28, 90 günlük basınç dayanım testleri için bekletilmek üzere kür havuzuna alınmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.4: Standart küp numuneler ve kiriş numuneler.



Şekil 3.5: Kür havuzunda bekletilen numuneler.

3.3 Deneyler

Borun farklı tiplerinden olan üleksit ve kolemanit içeren numuneler içerdikleri bağlayıcı miktarına göre (örneğin %98 Çimento ve %2 üleksit = U2) U2, U4, U6, U8, U10, K2, K4, K6, K8, K10 olmak üzere isimlendirilmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek için katkısız beton numuneleri hazırlanmış ve referans beton olarak adlandırılmıştır. 150x150x150 mm küp, 100x100x500 mm prizmatik numunelerden karot alınarak hazırlanan ø100x100 mm silindirik numuneler elde edilmiştir. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde tahribatlı ve tahribatsız deneyler gerçekleştirilmiştir. Beton numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyleri için 7., 28. ve 90. günlerde yapılmak üzere 3'er adet numune kullanılmıştır. Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızı deneyleri için de 7, 28 ve 90. günlerde gerçekleştirilmek üzere numuneler üretilmiştir. Donma çözülme çevrimi ve eğilme dayanımları için 90 günlük numunelerin ölçümleri yapılmıştır.

Tahribatsız deney yöntemlerinden olan Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızı deneyleri sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini değerlendirmek için kullanılabilir. Schmidt çekici deneyi beton numunelerin yüzey sertliği hakkında bilgi verirken, ultrases geçiş hızı deneyi ise beton numunelerin boşluk yapısıyla alakalı veriler alınmasını sağlayabilir. (Qasrawi, 2000; Abo-Qudais, 2005). Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızı deneyleri beton hakkında kati sonuçlar veremeyebilir. Ancak bu deneyler benzerlik gösteren beton numuneler ele alındığında çabuk ve kolay bilgiler sağlamak için oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadırlar.

3.3.1 Schmidt Çekici Deneyi

Schmidt çekici, numunelerin yüzey sertliği ile ilgili bilgiler verebilen bir test cihazıdır. Aynı zamanda basınç dayanımının yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi için sık kullanılan bir yöntemdir (Bungey vd., 2006; ; Malek ve Kaouther, 2014). Yapılan çalışmada kullanılan Schmidt çekici Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Schmidt çekici; İsviçreli bir mühendis olan Ernst Schmidt tarafından geliştirilmiştir ve alete, beton tabancası adı da verilmektedir. Beton test çekicinin çalışma prensibi, aletin içinde bulunan çelik bir kütlelerin sertleşmiş betonun yüzeyine fırlatılarak beton yüzeyine çarpan kütlelerin geri sıçramasıdır. Alet üzerinde bulunan gösterge sayesinde kütlelerin geri sıçrama miktarı belirlenir. Yüzey sertliği fazla olan betonlarda, kütleyle ait geri sıçrama miktarı da yüksek çıkmaktadır (Baradan ve diğerleri, 2012).



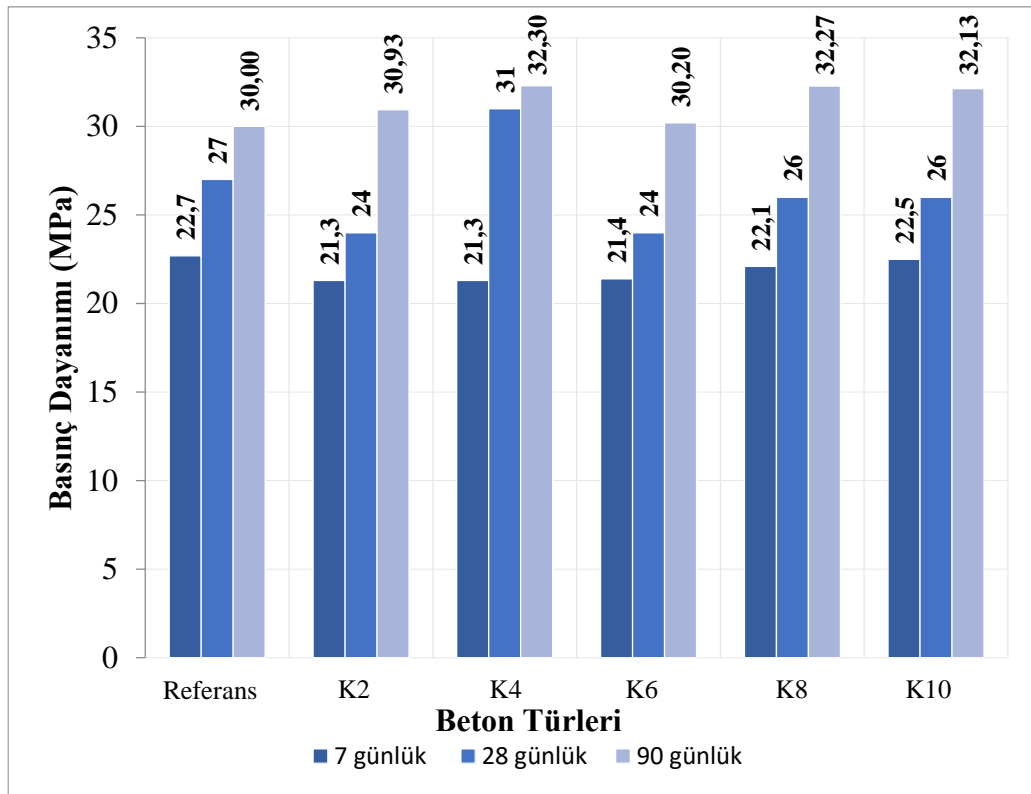
Şekil 3.6: Çalışmada kullanılan Schmidt Çekici.

Schmidt (1954), çalışmasında betonların yüzey sertliği ile basınç dayanımı arasında nasıl bir ilişki bulunduğunu araştırmak istemiştir. Yaptığı deneyler için, ürettiği 20 cm boyutunda 700 tane küp numuneden yararlanmışır. Küp numuneler farklı şantiyelerde bulunan betonlardan, çeşitli su/çimento oranlarıyla ve birbirinden farklı özelliklere sahip agregalarla üretilmiştir. Priz süreleri 7-90 gün arasında olan numuneler seçilerek deneyler uygulanmıştır. İlk önce numunenin yüzeyinde belirlenen değişik bölgelere test çekici ile 20 'şer darbe vurulmuştur. Sonrasında her numuneden elde edilen geri sıçrama değerleri kaydedilmiş ve geri sıçrama değerler ortalaması ortaya çıkmıştır. Daha sonra her numune üzerinde basınç dayanım deneyi uygulanarak basınç dayanımları hesap edilmiştir. Son olarak basınç dayanım test cihazı kullanılarak elde edilen basınç dayanımları ile beton test çekici kullanılarak bulunan ortalama geri sıçrama değerleri arasında bir korelasyon yapılmıştır.

Schmidt çekici ile elde edilmiş olan yaklaşık basınç dayanımları 7, 28, 90 günlük olarak ölçülmüştür. Değerler Şekil 3.7'de görülmektedir. Schmidt çekici deneyi yalnızca kolemanit katkılı betonlarda ölçülmüştür. Üleksit katkılı numunelerin beton dayanımları çok düşük olduğundan Schmidt çekici deneyi kolemanit katkılı betonlara uygulanmıştır. 7. günde yapılan Schmidt çekici ölçümlerine göre; kolemanit katkılı betonlarda numunelerin içerdiği kolemanit yüzdesinin artmasıyla dayanımların da arttığı ortaya çıkmıştır. Diğer bir sonuç da

bütün kolemanit katkılı beton türlerinin dayanımlarının referans beton türünden daha düşük olduğudur. 28 günlük Schmidt çekici sonuçları incelendiğinde ise, K4 (%4 kolemanit içerikli) betonunun referans beton türüne göre dayanımı artan tek beton türü olduğu görülmüştür. Diğer katkı oranları incelendiğinde dayanımın; referans beton türünden daha düşük olduğu bulunmuştur. Burada farklı içeriklerde kolemanit minerali katkısı ile hazırlanan betonlarda gözlemlenen erken yaş dayanımlarının düzensizlik gösterdiği görülmektedir.

90 günlük dayanım sonuçlarına bakıldığında katkılı betonlardan %6 kolemanit içerikli K6 betonunun diğer türlere göre en düşük dayanımı verdiği kaydedilmiştir. Diğer sonuçlar incelendiğinde farklı oranlarda kolemanit katkısı içeren numunelerde görülen dayanım değerlerinin referans beton türüne göre daha yüksek olduğu Şekil 3.7' de görülmektedir. Schmidt çekici ile belirlenmiş en yüksek basınç dayanım değeri %4 kolemanit katkısı içeren K4 beton türünün olmuştur. Sonuç olarak; en yüksek dayanımın K4 beton türü ile elde edildiği ve referans beton türüne göre de %7.67 yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Kolemanit katkısının kullanılması ile Schmidt çekici değerlerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 3.7: Schmidt Çekici ile elde edilen 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları.

3.3.2 Ultrases Hızı Deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyi, Scmidth çekici deneyi ile benzer olarak laboratuvarında ve sahada kullanılabilen tahribatsız bir deney yöntemi olarak bilinmektedir. Betonun iç yapısındaki değişiklikleri değerlendirebilmek için ultrasonik ses ölçüm yönteminden yararlanılabilir (Hwang vd., 2018). Yapılan çalışmalarda ultrases geçiş hızı yöntemi genel olarak beton dayanımını ve özelliklerini tahmin edebilmek ve değerlendirebilmek için kullanılmaktadır. Ultrases geçiş hızı deneyi, aynı zamanda betonun iç kısmında bulunan örneğin çatlaklar gibi kusurları bulabilmek için de kullanılmaktadır (Kalyan ve Kishen, 2013).

Ultrases geçiş hızı, çimento bazlı kompozitlerin karakterize edilebilmesi için de önemli bir tekniktir. Çimentonun hidratasyonu ve prizi için, yapılardaki kusurları tespit edebilmek, yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra hasarın değerlendirilebilmesi ve farklı agrega türlerinin betona katılabilmesi gibi amaçlar için ultrases geçiş hızı yöntemi uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu yüzden ultrases geçiş hızı yöntemi, hızlı ve güvenilir sonuçlar verebilen, betona zarar vermeyen önemli bir tekniktir (Panzera vd., 2011).

Ultrases geçiş hızı deneyi bize, betonun homojenliği, betonda çatlak oluşumu ve boşluk yapısı hakkında bilgi vermektedir. Aynı zamanda bu deney benzer betonları karşılaştırabilmek, kalite kontrol bilgisi, bozulma durumu ve dayanım belirleyebilmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Tablo 3.11 'de ultrases geçiş hızı ölçümleri için değerler verilmiştir. Bu değerler sayesinde ultrases geçiş hızı sonuçlarına göre betonun kalitesi belirlenmektedir (Qasrawi, 2000).

Tablo 3.11: Ultrases geçiş hızları ve betonun kalitesi arasındaki ilişki.

Ultrases Geçiş Hızı (km/s)	> 4,5	3,5~4,5	3,0~3,5	2,0~3,0	< 2,0
Beton Kalitesi	Mükemmel	İyi	Şüpheli	Zayıf	Çok zayıf

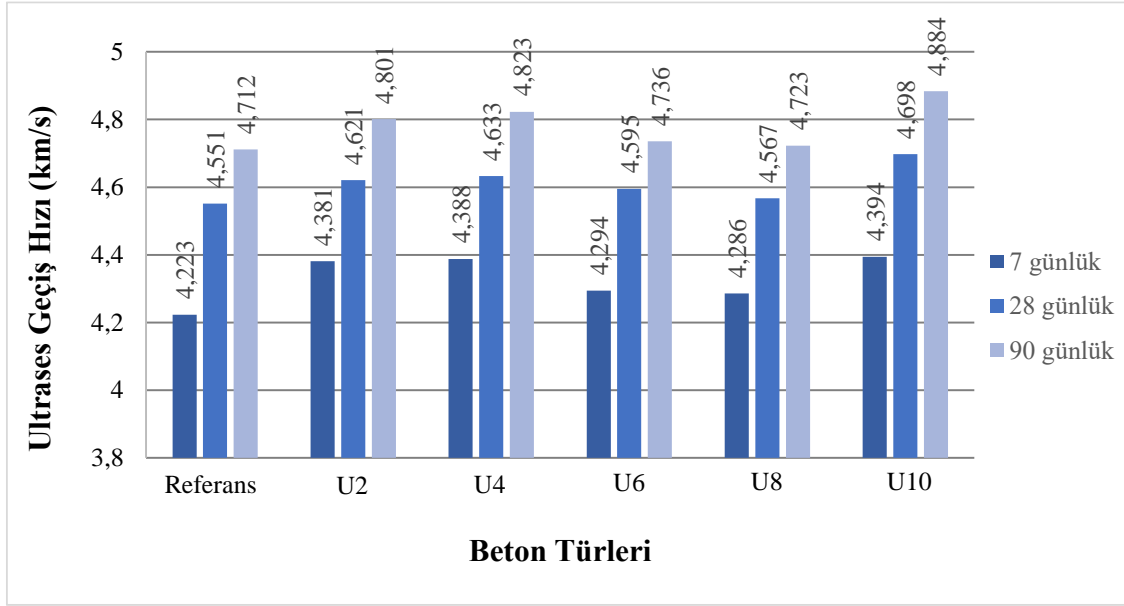
Betonun mekanik özelliklerini etkileyen değişkenler boşluk miktarları, su/çimento oranı, agrega tipi ve diğer değişkenler olabilmektedir. Betonun dayanımını ve ultrases geçiş hızı arasında iyi bir ilişki bulunduğu bilinmektedir (Lorenzi vd., 2007).

Beton numunelerin ultrases hızı deneyi, her gruptan alınan 10 cm. yüksekliğinde ve 10 cm çapındaki üçer adet karot numune üzerinde yapılmıştır. Şekil 3.8'de görülen ultrases geçiş hızı cihazı ile numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları ölçülmüştür.



Şekil 3.8: Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı.

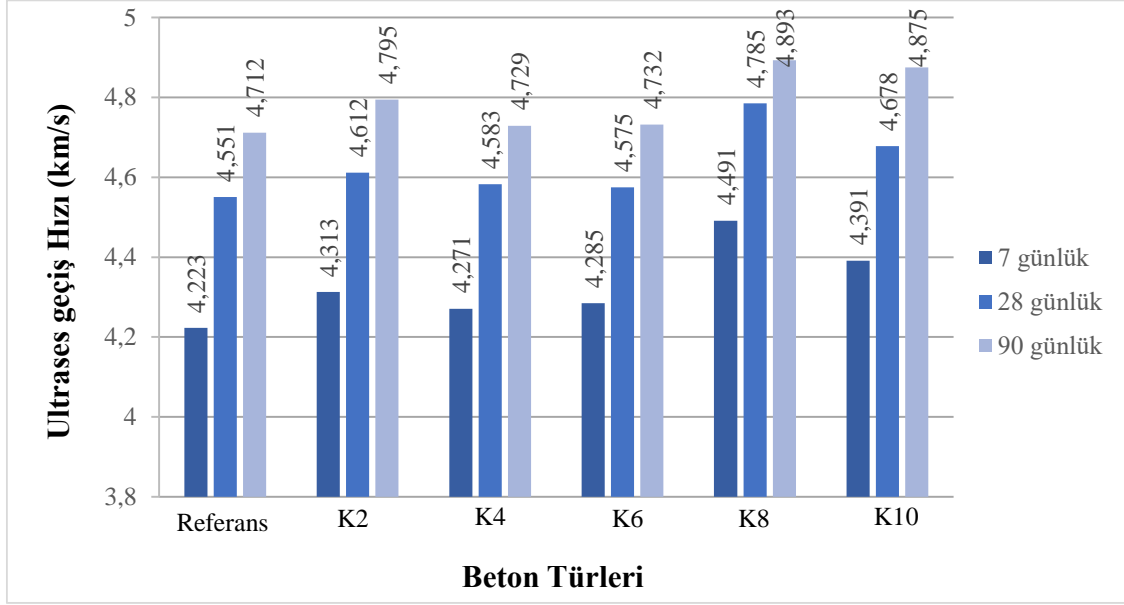
Ultrases hızı deneyi her iki tip katkıyı içeren numunelere uygulanmıştır. Böylece üleksit ve kolemanitin beton türlerinin kalitesine olan etkisi gözlemlenebilmiştir. Şekil 3.9 'da üleksit katkılı beton numunelerinin 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük ultrases geçiş hızları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük ultrases geçiş hızlarında, üleksit katkılı beton numunelerinin hepsi referans numuneye göre artış göstermiştir. Tablo 3.11'e göre yapılan değerlendirmede 7 günlük numunelerin ultrases geçiş hızları 3.5 ~ 4.5 km/s aralığında ölçüldüğü için beton kalitesi "iyi" olarak değerlendirilmektedir. 28 ve 90 günlük üleksit katkılı numunelerin ultrases geçiş hızlarının hepsi >4.5 km/s olduğundan beton kalitesi mükemmel olarak nitelendirilmektedir. %10 üleksit katkılı beton numunelerinin (U10) 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük ultrases geçiş hızları diğer beton numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır.



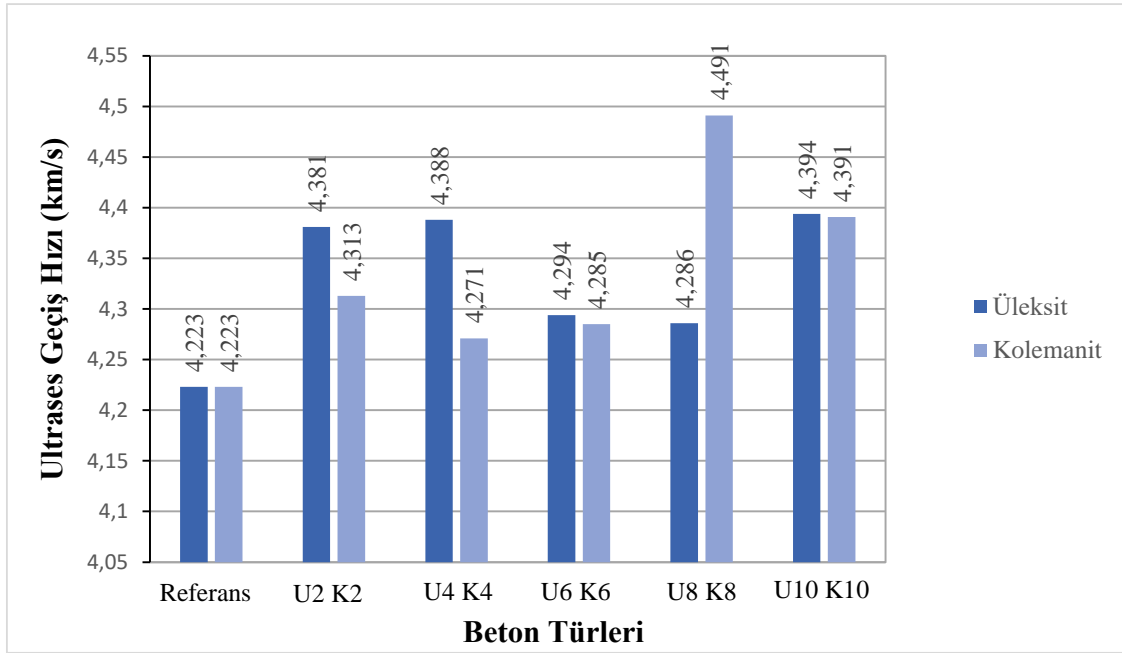
Şekil 3.9: Üleksit katkılı betonların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı deney sonuçları.

Şekil 3.10'da kolemanit katkılı beton numunelerinin 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük ultrases geçiş hızı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük ultrases geçiş hızlarında, kolemanit katkılı beton numunelerinin hepsi referans numuneye göre artış göstermiştir. Tablo 3.11'e göre yapılan değerlendirmede 7 günlük numunelerin ultrases geçiş hızları 3.5 ~ 4.5 km/s aralığında ölçüldüğü için beton kalitesi "iyi" olarak değerlendirilmektedir. 28 ve 90 günlük üleksit katkılı numunelerin ultrases geçiş hızlarının hepsi >4.5 km/s olduğundan beton kalitesi "mükemmel" olarak nitelendirilmektedir. %8 kolemanit katkılı beton numunelerinin (K8) 28 günlük ve 90 günlük ultrases geçiş hızları diğer beton numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. Kolemanit ve üleksit katkılı tüm beton numunelerinin değerleri incelendiğinde ultrases geçiş hızının betonun yaşlanması ile artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 3.11'de üleksit ve kolemanit katkılı betonların 7 günlük karşılaştırmalı ultrases geçiş hızı deney sonuçları görülmektedir. Grafiğe göre üleksit katkılı beton numunelerinin ultrases geçiş hızlarının, kolemanit katkılı betonların ultrases geçiş hızlarından yüksek olduğu görülmüştür. Yalnızca %8 kolemanit katkılı beton numunesinde artış gözlenmiştir. Numunelerin ultrases geçiş hızları 3.5 ~ 4.5 km/s aralığında ölçüldüğü için beton kalitesi "iyi" olarak değerlendirilmektedir.



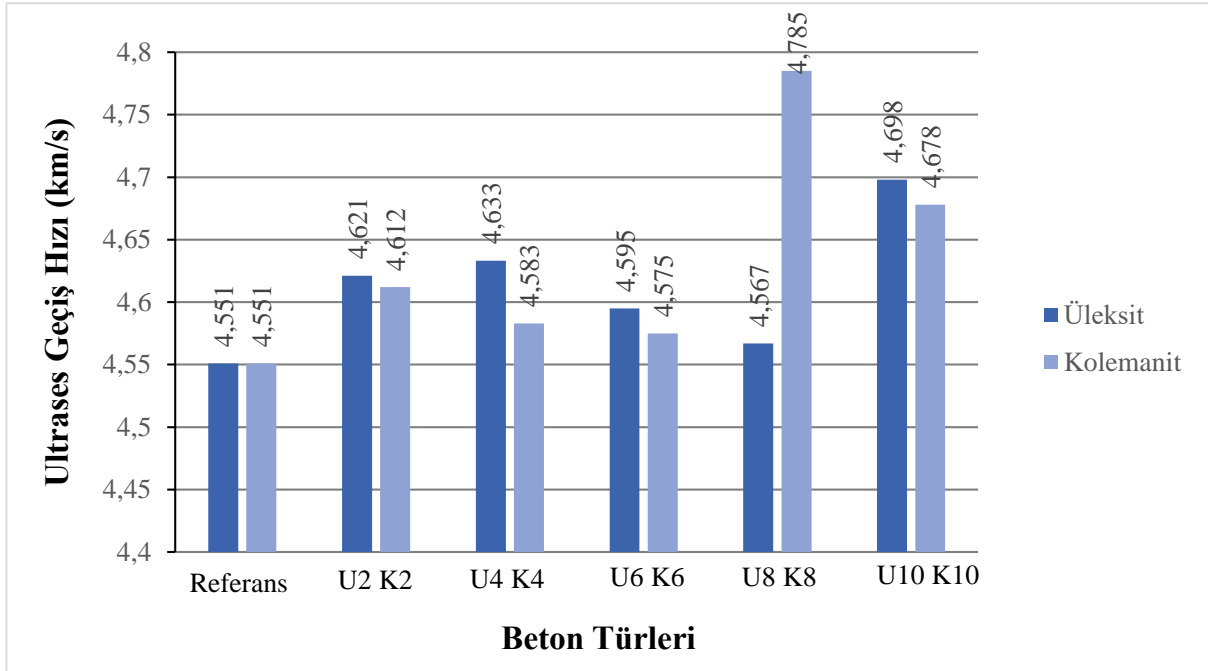
Şekil 3.10: Kolemanit katkıli betonların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı deney sonuçları.



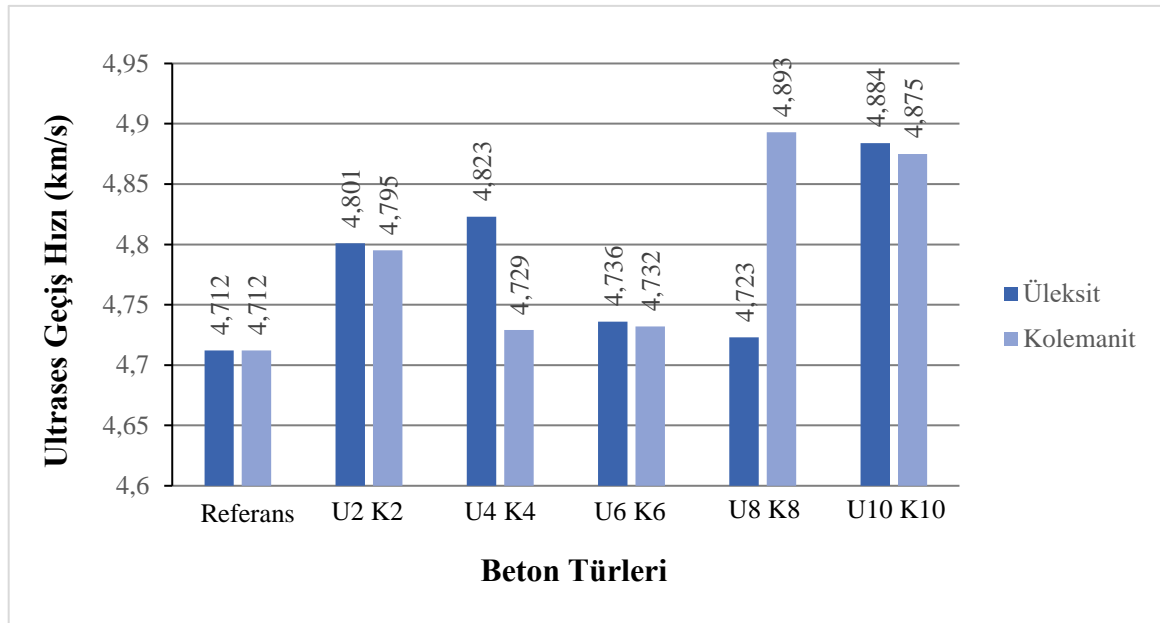
Şekil 3.11: Üleksit ve kolemanit katkıli betonların karşılaştırmalı 7 günlük ultrases hızı deney sonuçları.

Şekil 3.12 'de üleksit ve kolemanit katkıli betonların 28 günlük karşılaştırmalı ultrases geçiş hızı deney sonuçları görülmektedir. Bu grafiğe göre de üleksit katkıli beton numunelerinin ultrases geçiş hızlarının, kolemanit katkıli betonların ultrases geçiş hızlarından yüksek olduğu görülmüştür. Yalnızca %8 kolemanit katkıli beton numunesinde diğer numunelere

göre hız artışı gözlenmiştir. Numunelerin ultrases geçiş hızları >4.5 km/s olarak ölçüldüğü için beton kalitesi “mükemmel” olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3.12: Üleksit ve kolemanit katkılı betonların karşılaştırmalı 28 günlük ultrases hızı deney sonuçları.



Şekil 3.13: Üleksit ve kolemanit katkılı betonların karşılaştırmalı 90 günlük ultrases hızı deney sonuçları.

Şekil 3.13 ‘de üleksit ve kolemanit katkılı betonların 90 günlük karşılaştırmalı ultrases geçiş hızı deney sonuçları görülmektedir. Grafığe göre diğer sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. %8 kolemanit katkılı beton en yüksek değeri vermiştir. Genel olarak üleksit

katkılı beton, kolemanit katkılı betona göre daha iyi sonuçlar göstermektedir. Beton kalitesi bu sonuçlara göre “mükemmel” olarak değerlendirilmektedir.

3.3.3 Donma Çözülme Deneyi

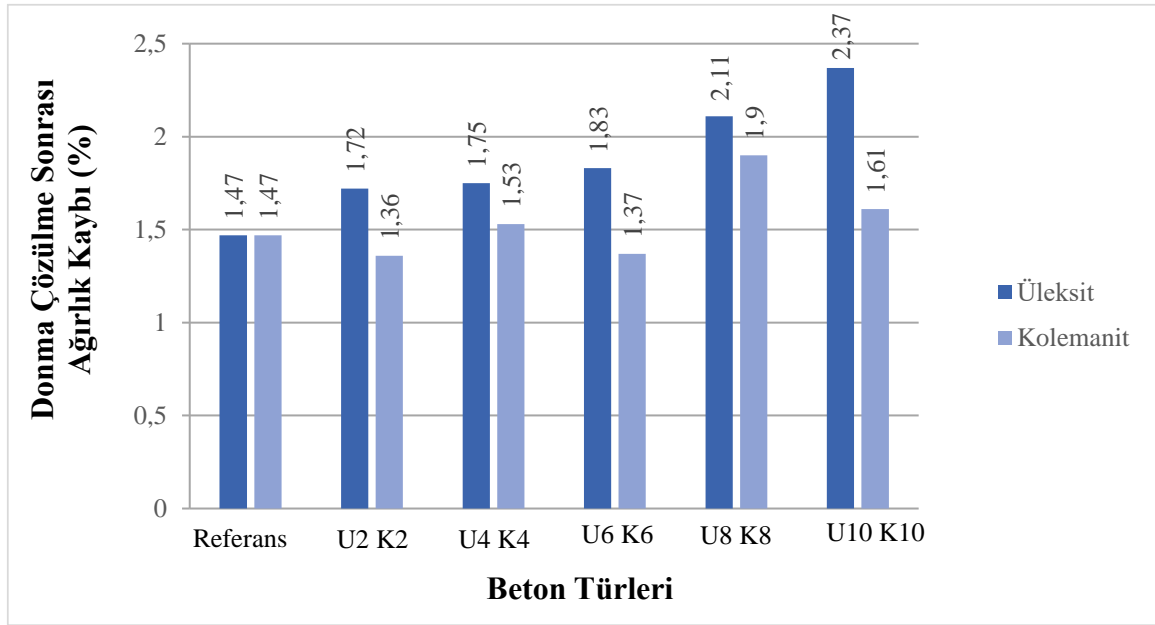
Donma çözülme deneyi Bursa Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Donma-çözülme işlemi ASTM C666 “Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing” standardı dikkate alınarak uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan yöntem havada donma, suda çözülme yöntemidir ve hızlı yöntem olarak bilinmektedir. Deneyde donma sıcaklığı, $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve çözülme sıcaklığı ise, $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ aralığında tutulmuştur. Donma süresi (maksimum sıcaklıktan minimum sıcaklığa varırken geçen süre) 200 dakikadır. Bu deney için minimum sıcaklıktan maksimum ortam sıcaklığına geçiş süresi ise 60 dakika olarak programlanmıştır. Toplamda 260 dakika süren bu işlem bir donma-çözülme çevrimini göstermektedir. Bu çalışmada uygulanan maksimum çevrim sayısı 300'dür.

Referans numuneler, üleksit ve kolemanit katkılı numuneler donma çözülme deneyine tabi tutulmuş, deney sonucunda numunelerin ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Her bir deney numunesinden 3 adet bulunmaktadır. Yapılan deneyde öncelikle kuru ağırlıklar tayin edilmiştir. Bunun için numuneler 24 saat etüvde tutulmuştur. 24 saat sonrasında numune ağırlıkları ölçülerek kuru ağırlıklar belirlenmiştir. Numunelere Şekil 3.14'de verilen donma çözülme kabininde 300 çevrim uygulanmıştır. 300 çevrim sonundaki ıslak ağırlık ve kuru ağırlıklar belirlenmiş böylece donma çözülme test sonucunda ne kadar ağırlık kaybı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.14: Donma-çözülme deney aleti.

Şekil 3.15’de verilen grafikte 90 günlük kolemanit ve üleksit katkılı numunelerin donma-çözülme deneyi sonrasında karşılaştırmalı % ağırlık kayıpları görülmektedir. Üleksit ve kolemanit içeren numunelerin ağırlık kayıplarına bakıldığında, üleksit içeren numunelerdeki kayıpların daha büyük olduğu görülmektedir. Üleksit içeriği arttıkça, % ağırlık kayıplarında da artış gözlenmiştir. %2 ve %6 kolemanit içeren numuneler referans betondan az ağırlık kaybı yaşamıştır. En fazla ağırlık kaybı %8 kolemanit içeren numunede gözlenmiştir. Bazı numunelerin donma-çözülme deney çevrimi sırasında dağıldıkları gözlemlenmiştir. Bu vesileyle ağırlık kaybı ortalamasına girememişlerdir.



Şekil 3.15: 90 günlük numunelerde donma-çözülme deney sonrası ağırlık kayıpları.

3.3.4 Basınç Dayanım Deneyi

Referans numunelere, üleksit ve kolemanit içeren küp numunelere 7., 28. ve 90. günde standart basınç deneyi uygulanmıştır. Standartlara göre cm^2 ‘ye düşen kuvvetin 1,5-2,5 kgf olması gerekmektedir. Bu durum göz önüne alınarak yükleme hızı 5 kN/sn seçilmiştir. Şekil 3.16 ‘da deneyde kullanılan beton presi ve küp numunelerin kırımı için kullanılan presin ekran görüntüsü görülmektedir. Bir numunenin kırılma süresi yaklaşık olarak 5 dakikadır. Şekil 3.17’de kırılmış küp numunelerden örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Beton presi ve küp numunelerin kırımı için kullanılan presin ekran görüntüsü.

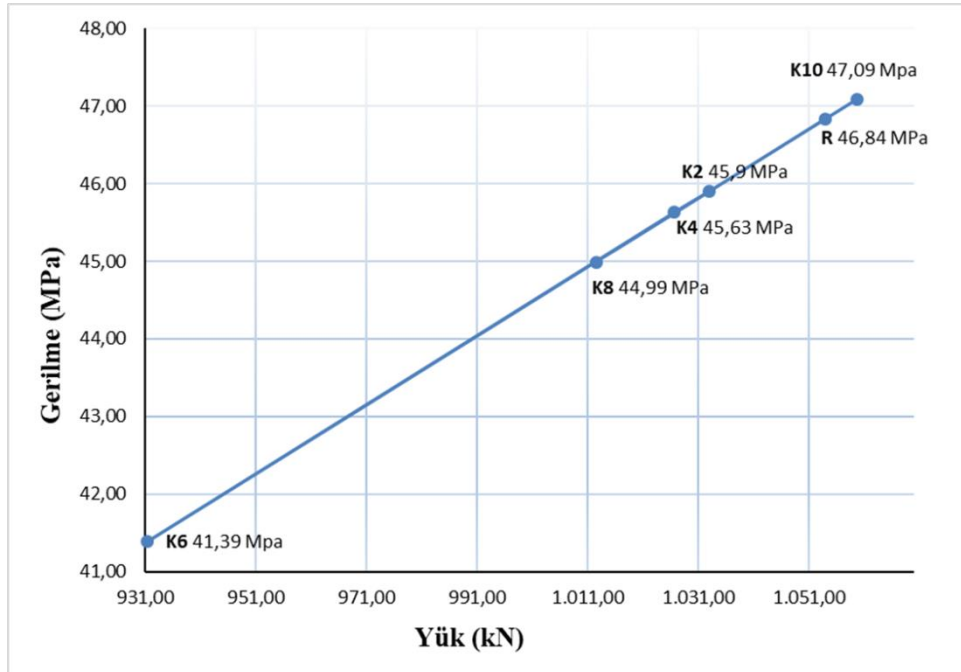


Şekil 3.17: Kırılmış küp numuneler.

3.3.4.1 Kolemanit İle Hazırlanan Numunelerin Deney Sonuçları

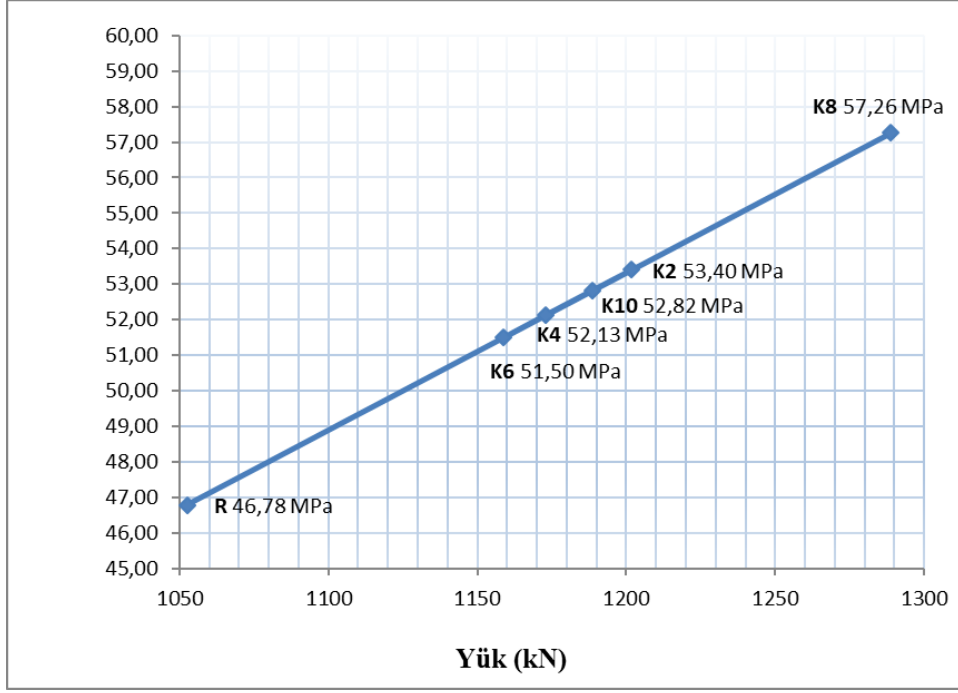
Yapılan çalışmada optimum bor yüzdesinin bulunabilmesi için kolemanitle hazırlanan numuneler basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Basınç dayanım deneyinden sonra ortaya çıkan sonuçlar grafikte gösterilmiştir. (Şekil 3.18- Şekil 3.20)

Şekil 3.18'de görülen grafikte kolemanit içeren numunelerin 7 günlük; gerilme-yük grafiği incelendiğinde sadece %10 (K10: 47,09 MPa) oranında katkıyla hazırlanan numunelerin basınç dayanımlarının referans numuneden fazla olduğu %2, %4, %6 ve %8'lik katkının ise referans numuneden düşük basınç dayanımı gösterdiği bulunmuştur. Literatürde de belirtildiği gibi bor katkılı betonların erken basınç dayanımları düşük olmaktadır.



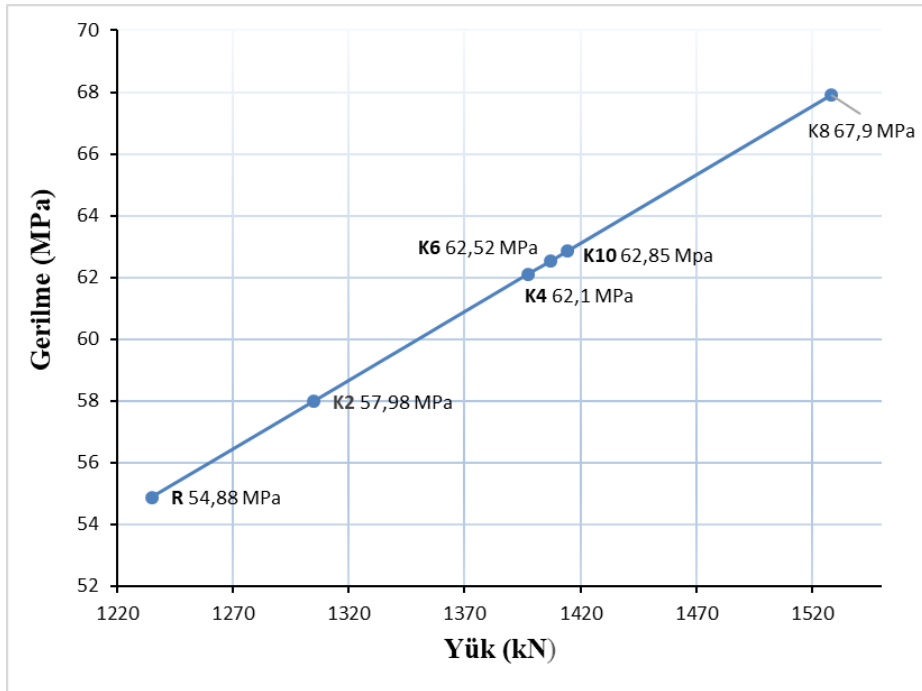
Şekil 3.18: Kolemanit içeren numunelerde 7 günlük gerilme-yük grafiği.

Şekil 3.19'da kesin priz süresi olan 28. gün dayanımları göz önüne alındığında; kolemanit katkısıyla ve aynı bor yüzdeleriyle hazırlanan numunelerin basınç dayanımlarının referans numuneden daha fazla olduğu görülmüştür. %2, %10, %4 ve %6 kolemanit içeren numunelerin basınç dayanımları sırasıyla azalırken %8 (K8:57,26 MPa) kolemanit içeren numunelerin basınç dayanımları en yüksek çıkmıştır.



Şekil 3.19: Kolemanit içeren numunelerde 28 günlük gerilme-yük grafiği.

Şekil 3.20 'de görüldüğü üzere 90 günlük priz süresi dolduktan sonra yapılan basınç dayanımı testlerinde, kolemanit içeren numune dayanımlarının referans numuneden fazla olduğu kesinlik kazanmıştır. %2, %4, %6 ve %10 kolemanit içeren numunelerin basınç dayanımları sırasıyla artarken, %8 (K8:67,9 MPa) kolemanit içeren numunelerde en yüksek dayanım elde edilmiştir.

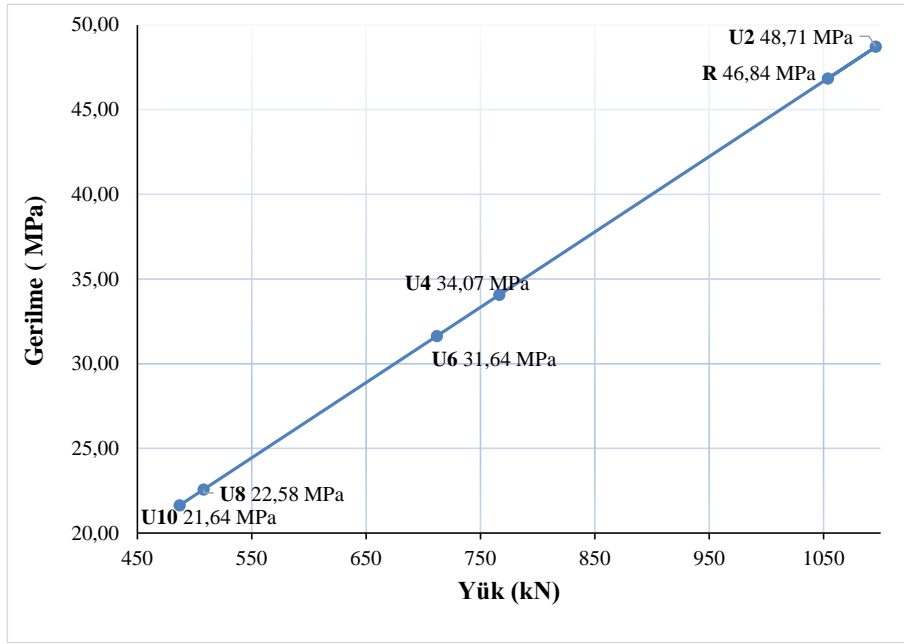


Şekil 3.20: Kolemanit içeren numunelerde 90 günlük gerilme-yük grafiği.

3.3.4.2 Üleksit İle Hazırlanan Numunelerin Deney Sonuçları

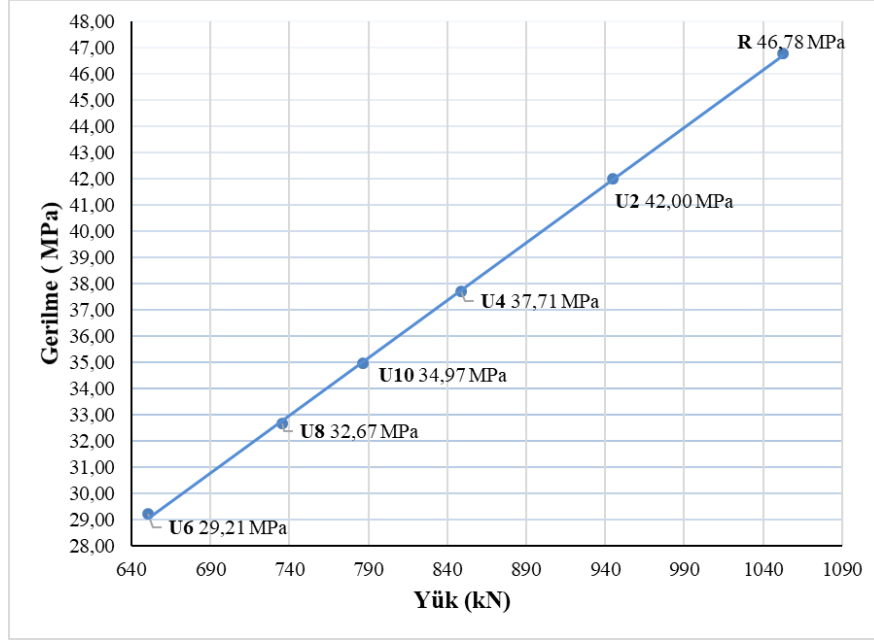
Üleksitle hazırlanan numuneler basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Basınç dayanım deneyin sonrasında alınan sonuçlar grafiklerde gösterilmiştir. (Şekil 3.21-Şekil 3.23)

Şekil 3.21’de elde edilen verilere göre üleksit içeren numunelerin 7 günlük gerilme ve yük grafiği incelendiğinde; %4, %6, %8 ve %10 oranında kullanılan bor katkısının basınç dayanımlarının referans numuneye göre düşük olduğu; yalnızca %2’lik (U2:48,71 MPa) üleksit katkısının basınç dayanımında artış gösterdiği gözlemlenmektedir.



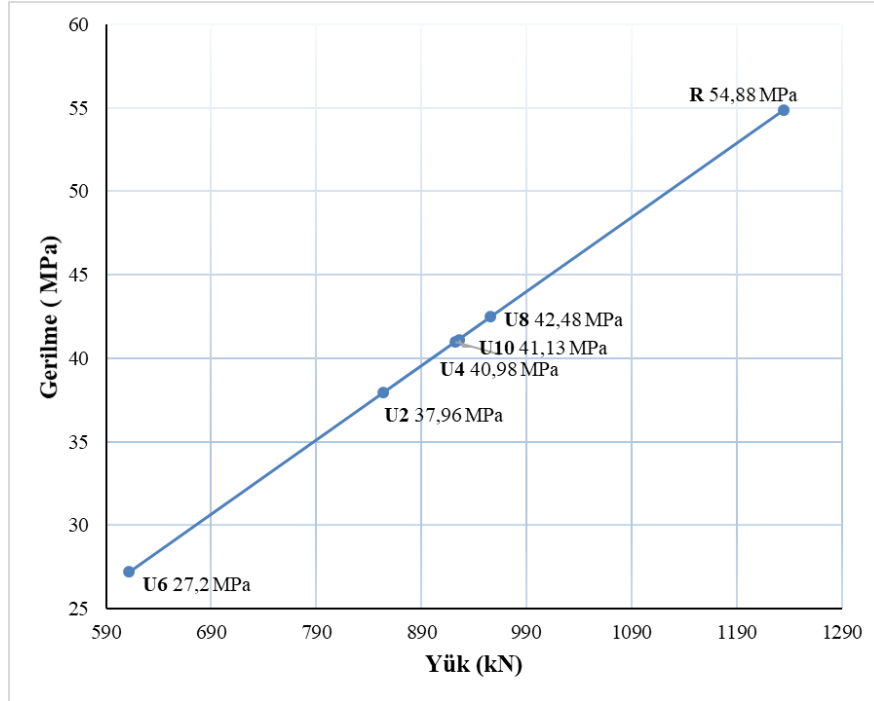
Şekil 3.21: Üleksit içeren numunelerde 7 günlük gerilme- yük grafiği.

Şekil 3.22’de 28 günlük numunelere ait sonuçlar verilmiştir. 28 günlük numunelerde kullanılan %2, %4, %6 bor içeriği basınç dayanımını tamamen azaltırken; % 8 ve % 10 oranında kullanılan bor katkısının ilk üç içeriğe göre numune basınç dayanımlarını arttırmaya başladığı; yine de referans numune basınç dayanım değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir. Numunelerde üleksit miktarının yükselmesiyle döküm sırasında beton içerisindeki su oranının azaldığı ve kıvamının sertleştiği gözlemlenmiştir. Üleksit içeriği %10 olduğunda su miktarı en düşüğe ulaşmıştır ve numunelerde agrega ve çimentonun kenetlenme oranının düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 3.22: Üleksit içeren numunelerde 28 günlük gerilme-yük grafiği.

Şekil 3.23'de 90 günlük priz süresi sonucunda üleksit katkılı betonların dayanım sonuçları görülmektedir. Üleksit içeren numunelerde, 90 günlük dayanımlar incelendiğinde, yine tüm numunelerin basınç dayanım testlerinde referans numune dayanımını geçemediği görülmüştür. Diğer yandan üleksit katkılı numunelerin %4, %6, %8 ve %10 içerikli 90 günlük dayanımları, 28 günlük basınç dayanımlarına göre artış göstermiştir.

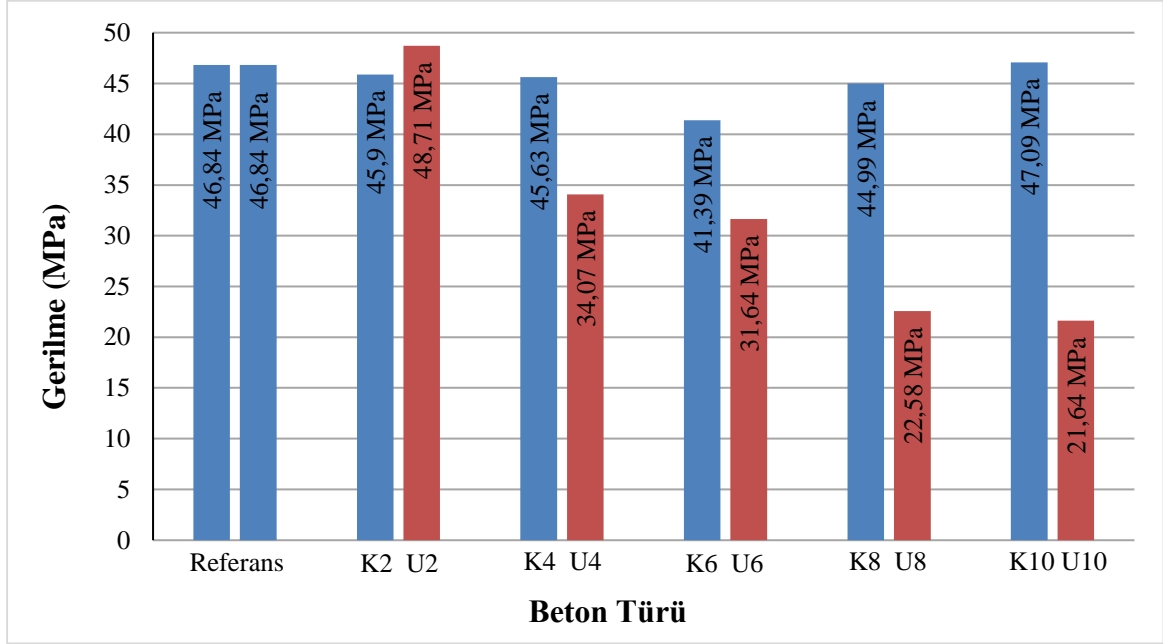


Şekil 3.23: Üleksit içeren numunelerde 90 günlük gerilme yük-grafiği.

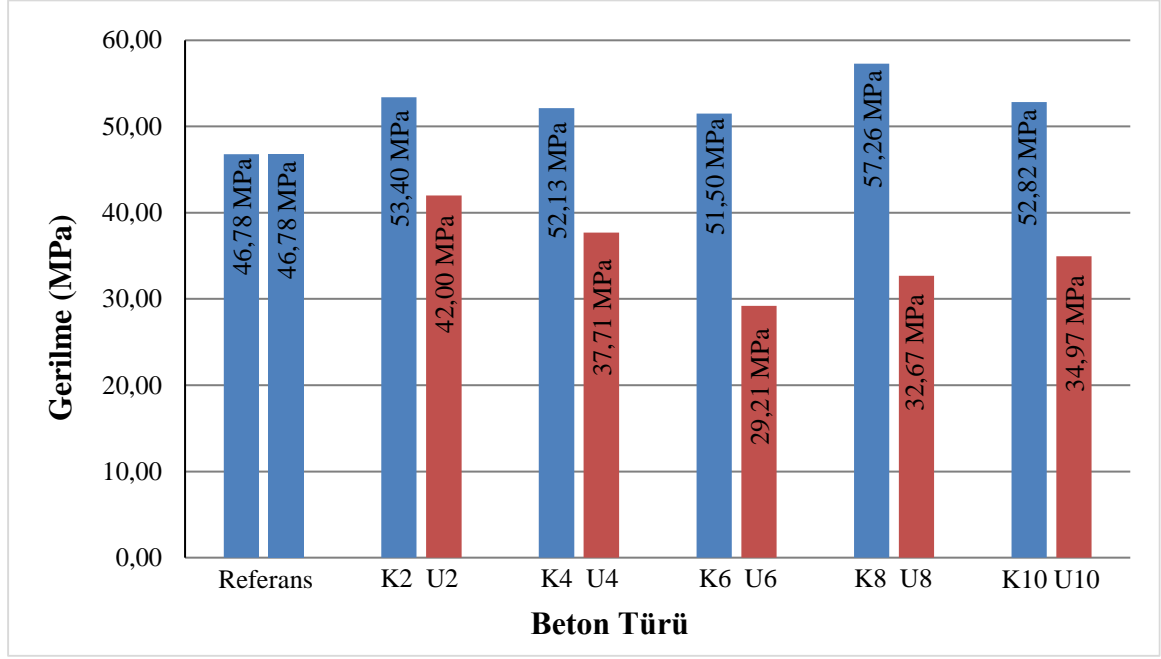
3.3.4.3 Kolemanit ve Üleksit İçeren Numune Dayanımlarının Karşılaştırılması

Kolemanit ve üleksit içeren katkılı betonlara 7. gün, 28. gün ve 90. gün sonunda basınç dayanım testi uygulanmıştır. Bu deney sonucunda aşağıda verilen karşılaştırmalı grafikler elde edilmiştir (Şekil 3.24-Şekil 3.26).

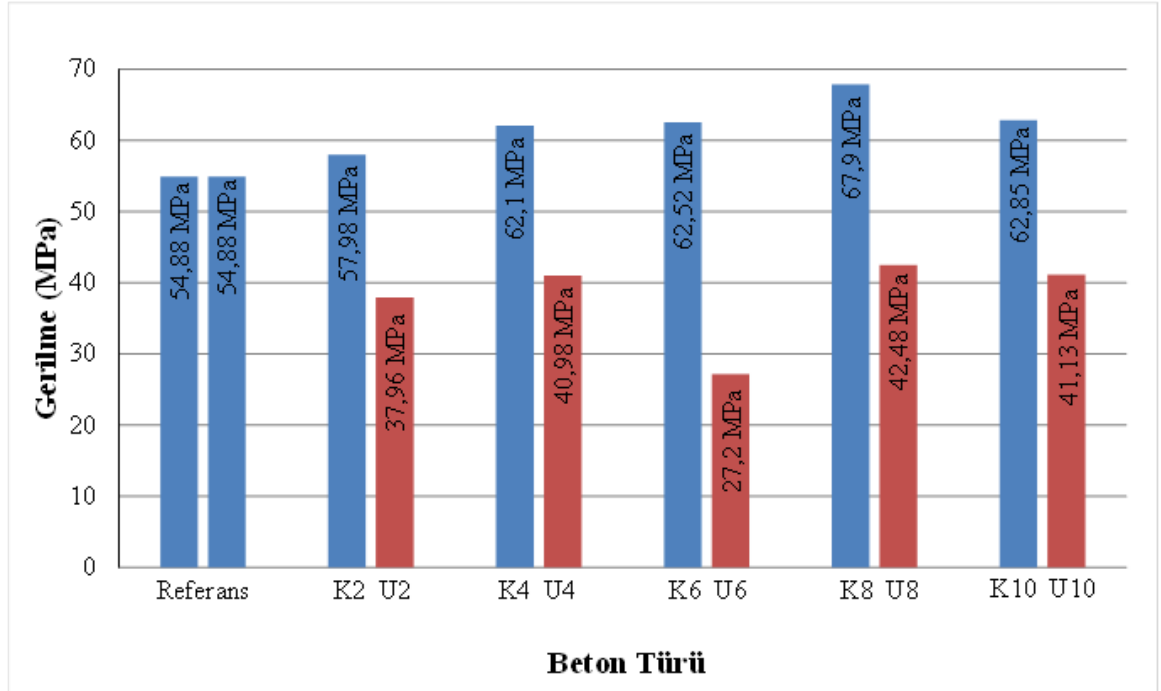
Tüm karşılaştırmalı grafikler incelendiğinde kolemanit içeren numunelerin, üleksit içeren numunelere göre daha iyi dayanım gösterdiği görülmüştür. Şekil 3.24 'de 7.gün dayanımlarına bakıldığında üleksit ve kolemanit içeren numunelerin genelinde referans numuneye göre azalma gözlenmiştir. 28. ve 90. gün dayanımlar karşılaştırıldığında; kolemanit içeren numunelerin, üleksit içeren numunelere göre yaklaşık 1,5-2 kat daha dayanıklı olduğu ortaya çıkmıştır. %8 kolemanit içerikli numuneler en yüksek dayanımı göstermiştir (Şekil 3.25- Şekil 3.26).



Şekil 3.24: Kolemanit ve üleksit içeren numunelerin 7 günlük gerilme yük grafiği değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.25: Kolemanit ve üleksit içeren numunelerin 28 günlük gerilme yük grafiği değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.26: Kolemanit ve üleksit içeren numunelerin 90 günlük gerilme yük grafiği değerlerinin karşılaştırılması.

3.3.5 Eğilme Dayanımı Deneyi

Betonun eğilme dayanımı tayin edilirken standartlara göre 4 noktalı eğilme deneyi ve 3 noktalı eğilme deneyi olmak üzere iki grup deneyden faydalanılabilir. Betonun eğilme dayanımı kiriş numuneler üzerinde (a) üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kiriş yöntemi, (b) orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile belirlenir. Bunlardan birincisi daha gerçekçi sonuç verir (Yazıcı, 2022). Bu çalışmada üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kiriş yöntemi uygulanmıştır.

Tablo 3.12 'de verilen karışım oranlarındaki beton, 130 dm³ miktarında Şekil 3.3' te gösterilen laboratuvar tipi beton mikseriyle hazırlanmıştır ve tablodaki değerler gram cinsindedir. Şekil 3.27'de karışım görülmektedir. 150x150x550 mm'lik kiriş kalıplarına dökülerek kiriş numuneleri elde edilmiştir (Şekil 3.28). Üleksit katkısının basınç dayanımı üzerindeki etkisi yeterli görülmediğinden; kiriş numuneleri sadece kolemanit içerikli hazırlanmıştır.

Tablo 3.12: Kiriş numuneleri için karışım oranları. (birim)

Beton Türü	Çimento	Bor	Su	Katkı	a1	a2	a3	a4
R	46800	0	22100	468	63050	51350	45500	76700
K2	45864	936	22100	468	63050	51350	45500	76700
K4	44928	1872	22100	468	63050	51350	45500	76700
K6	43992	2808	22100	468	63050	51350	45500	76700
K8	43056	3744	22100	468	63050	51350	45500	76700
K10	42120	4680	22100	468	63050	51350	45500	76700

a1= ince agrega (0 mm-3 mm)

a2= kırma kum (0 mm-4 mm)

a3= orta irilikte agrega (4 mm-11,2 mm)

a4= kırma taş ve kaba agrega (11,2 mm- 22,4 mm)



Şekil 3.27: Kiriş numunelerinin dökümü için hazırlanan karışım.



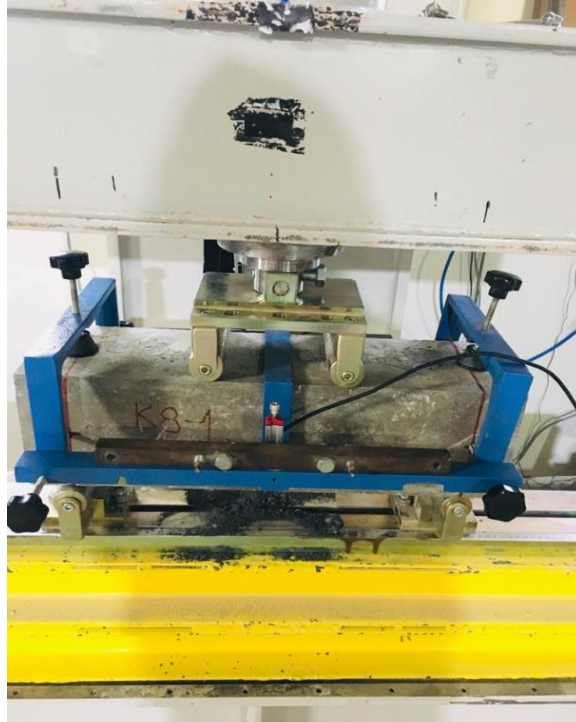
Şekil 3.28: 150x150x550 mm kiriş numuneleri.

4 noktalı eğilme deneyinde kullanılmak üzere Prof.Dr.Şerif Saylan Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunmakta olan hidrolik prestan yararlanılmıştır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29: Hidrolik pres.

Yapılan deneyler kolemanit katkılı numuneler ve katkısız yani referans beton üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler Şekil 3.30 'da görüldüğü gibi sağ ve sol baş kısmından 5'er cm ölçülerek mesnetlendirilmiş; L/3'lük noktalardan P/2'lik yüklemelere maruz bırakılmıştır.



Şekil 3.30: Kiriş numunesinin prese yerleştirilmesi.

Hazırlanan kiriş numunelerinin 90 günlük eğilme dayanımlarına bakılmıştır (Şekil 3.31). Kolemanit katkılı her bir içerikten 3'er numune üzerinde eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Numunelere başlangıç yükü uygulandıktan sonra pres yükü kontrollü olarak arttırarak numunelerin kırılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.31: Kırılmış kiriş numunesi.

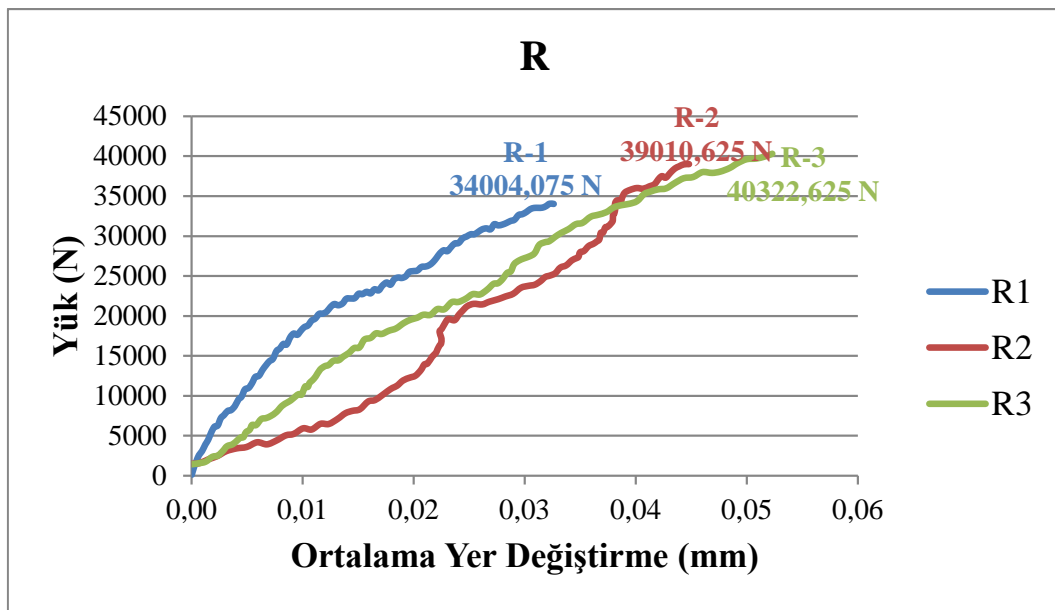
Kırımları yapılan kiriş numunelerinde, maksimum yük kaydedilerek “Yük-Ortalama Yer Değiştirme Grafikleri” elde edilmiştir. Ayrıca numunelerde çatlak oluşum yerleri de gözlenerek şekilleri çizilmiştir. Kirişlerin ortalama eğilme dayanımları;

$$\sigma_{ort} = \frac{M}{W} = \frac{Pl}{bh^2} \quad (3.1)$$

formülüyle hesaplanmıştır.

Şekil 3.32 'de referans numuneye ait yük-ortalama yer değiştirme grafiği görülmektedir. Şekil 3.33'te ise kırılmış referans kiriş numunelerinde çatlak yerleri şematik olarak gösterilmiştir. Numuneler sağ ve sol baş kısmından 5'er cm ölçülerek mesnetlendirilmiş; L/3'lük noktalardan P/2'lik yüklemelere maruz bırakılmıştır. Buna göre; Referans-1

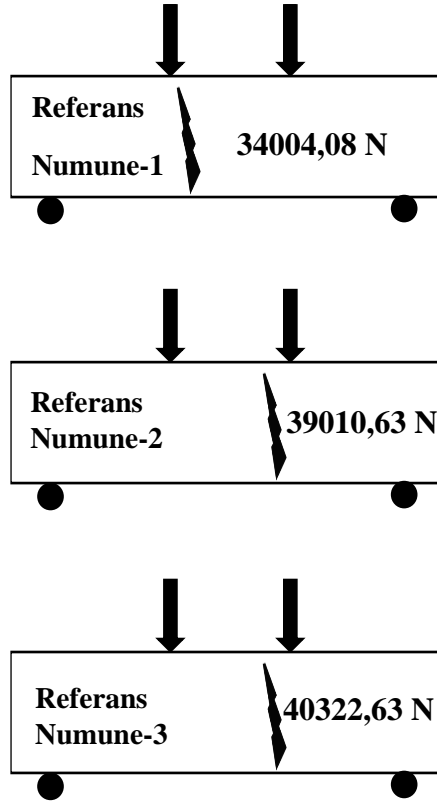
numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sol tarafa yaklaştığı görülmektedir. Referans-2 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği sağ tarafa daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. Kırılmalar düzgün biçimde gerçekleşmiştir, numunede kopmalar oluşmamıştır. Referans-3 numunesinde kırılmanın yine orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sağ tarafa yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca numune kırım yüzeyinde dane boyutuna göre agrega dağılımlarının düzgün olduğu ve filler malzeme ile agrega yüzeylerinin iyice sarılmış olduğu gözlenmektedir. Numune yüzey görüntüsü iyice yakınlaştırıldığında hava boşluklarının da bulunduğu görülmektedir. Üç numunenin ortalama eğilme dayanımı $5,037 \text{ N/mm}^2$ hesaplanmıştır.



Şekil 3.32: Referans betonu kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.

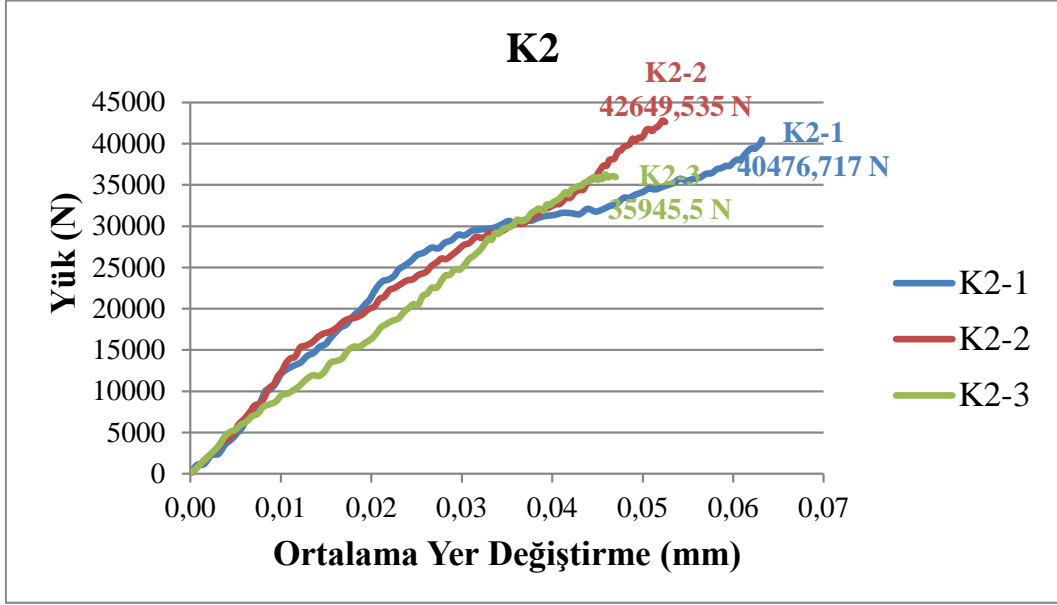
Üç numunenin ortalama yük değerinden yararlanılarak elde edilen eğilme dayanımı eğilme momentinin (M), mukavemet momenti (W) değerine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Böylece numunelerin ortalama eğilme dayanımları bulunmaktadır.

$$\text{Eğilme dayanımı } R_{ort} = \sigma_{ort} = \frac{M}{W} = \frac{Pl}{bh^2} = \frac{37779,11.450}{150.150^2} = 5,037 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 3.33: Kırılmış referans kiriş numunelerinde çatlak yerleri.

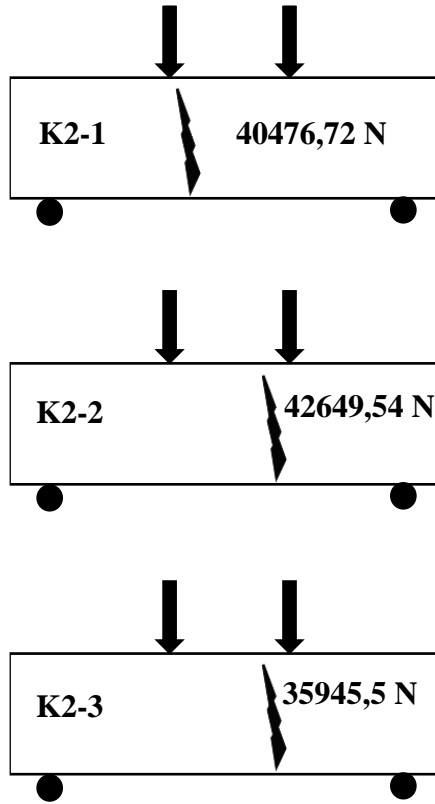
Şekil 3.34'te %2 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 3.35'te ise kırımı yapılan %2'lik kolemanit katkılı beton kirişlerinin çatlak yerleri gösterilmiştir. Buna göre; K2-1 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sol tarafa yaklaştığı görülmektedir. K2-2 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği, kırılmanın sağ tarafa daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. Kırılmalar düzgün biçimde gerçekleşmiştir, numunede kopmalar oluşmamıştır. K2-3 numunesinde kırılmanın yine orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sağ tarafa yaklaştığı görülmektedir. Numune kırım yüzeyleri incelendiğinde dane boyutuna göre agrega dağılımlarının düzgün olduğu ve filler malzeme ile agrega yüzeylerinin iyice sarılmış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kırılmış bölgelerde hava boşluklarının da bulunduğu görülmektedir. Üç numunenin ortalama eğilme dayanımı $5,292 \text{ N/mm}^2$ hesaplanmıştır.



Şekil 3.34: %2 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değişirme grafiği.

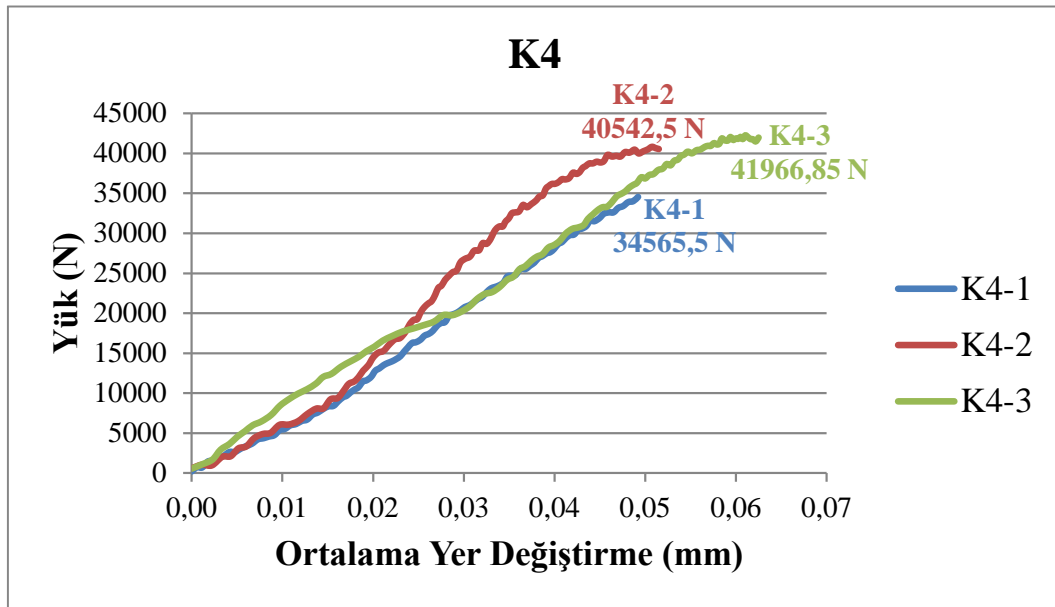
%2 kolemanit içeren numunelerin eğilme dayanımları hesaplanmıştır.

$$\text{Eğilme Dayanımı } K2_{ort} = \sigma_{ort} = \frac{M}{W} = \frac{Pl}{bh^2} = \frac{39690,58.450}{150.150^2} = 5,292 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 3.35: %2 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinde çatlak yerleri.

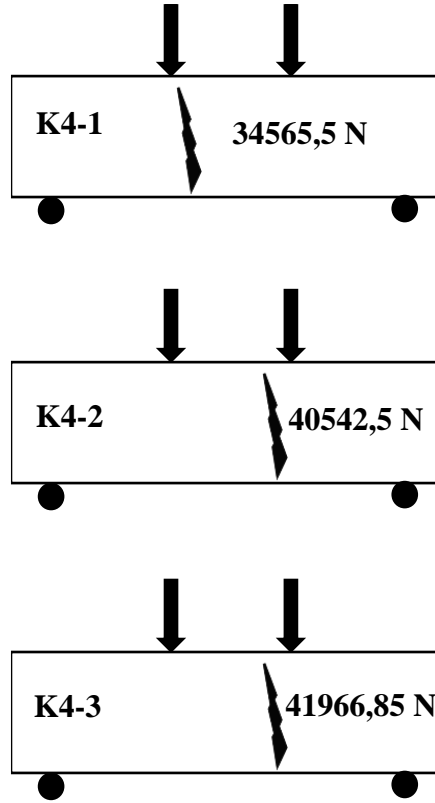
Şekil 3.36'da %4 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 3.37'de %4 kolemanit ikameli beton kirişlerinin çatlak yerleri gösterilmiştir. Buna göre; K4-1 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sola yaklaşık olarak kırıldığı görülmektedir. K4-2 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği sağ tarafa daha yakın olduğu görülmüştür. Kırılmalar düzgün biçimde gerçekleşmiştir, numunede kopmalar oluşmamıştır. K4-3 numunesinde kırılmanın yine orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sağa yaklaştığı görülmektedir. Numune kırım yüzeylerinde dane boyutuna göre agrega dağılımlarının düzgün olduğu ve filler malzeme ile agrega yüzeylerinin sarılmış olduğu, hava boşluklarının oluştuğu gözlenmektedir. Üç numunenin ortalama eğilme dayanımı 5,203 N/mm² hesaplanmıştır.



Şekil 3.36: %4 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.

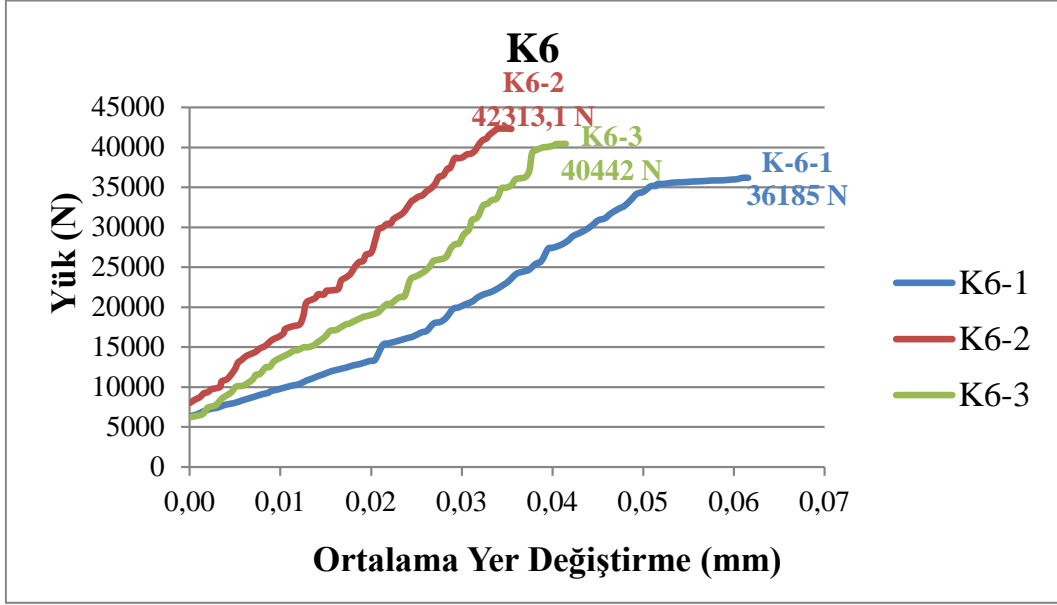
%4 oranında kolemanit içeren numunelerin ortalama eğilme dayanımı hesaplanarak aşağıdaki değer elde edilmiştir.

$$\text{Eğilme Dayanımı } K4_{ort} = \sigma_{ort} = \frac{M}{W} = \frac{Pl}{bh^2} = \frac{39024,95.450}{150.150^2} = 5,203 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 3.37: %4 oranında kolemanit içeren kırılmış kiriş numunelerinde çatlak yerleri.

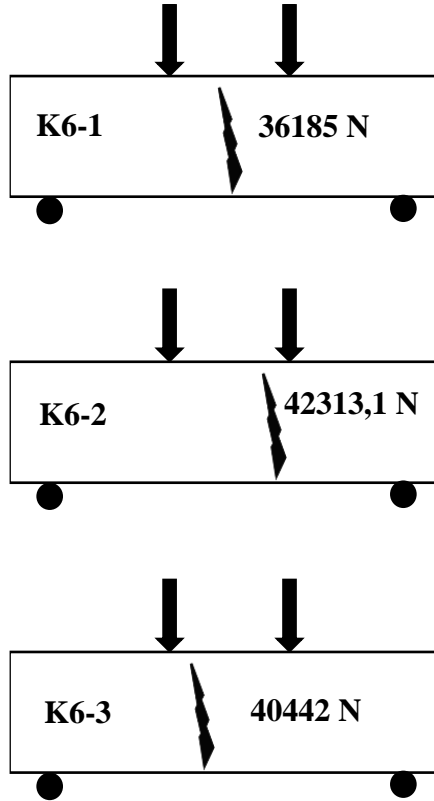
Şekil 3.38 'de %6 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 3.39 'da %6 kolemanit ikameli beton kirişlerinin çatlak yerleri gösterilmiştir. Buna göre; K6-1 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve yaklaşık olarak ortadan kırıldığı görülmektedir. K6-2 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği sağ tarafa daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. K6-3 numunesinde kırılmanın yine orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve ortaya çok yaklaştığı görülmektedir. Kırılmalar düzgün biçimde gerçekleşmiştir, numunede kopmalar oluşmamıştır. Ayrıca numune kırım yüzeylerinde dane boyutuna göre agrega dağılımlarının düzgün olduğu ve filler malzeme ile agrega yüzeylerinin iyice sarılmış olduğu gözlenmektedir. Numune yüzeylerinde hava boşluklarının da bulunduğu görülmektedir. Üç numunenin ortalama eğilme dayanımı $5,286 \text{ N/mm}^2$ hesaplanmıştır.



Şekil 3.38: %6 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.

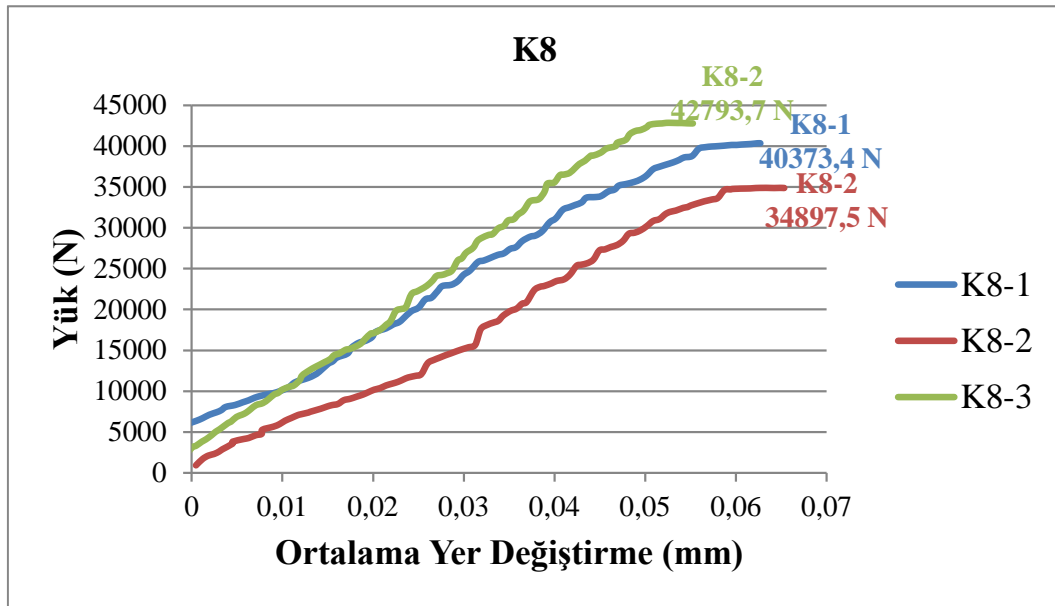
%6 kolemanit içeren numunelerin ortalama eğilme dayanımları hesaplanmıştır.

$$\text{Eğilme Dayanımı } K6_{\text{ort}} = \sigma_{\text{ort}} = \frac{M}{W} = \frac{Pl}{bh^2} = \frac{39646,70.450}{150.150^2} = 5,286 \text{ N/mm}^2$$



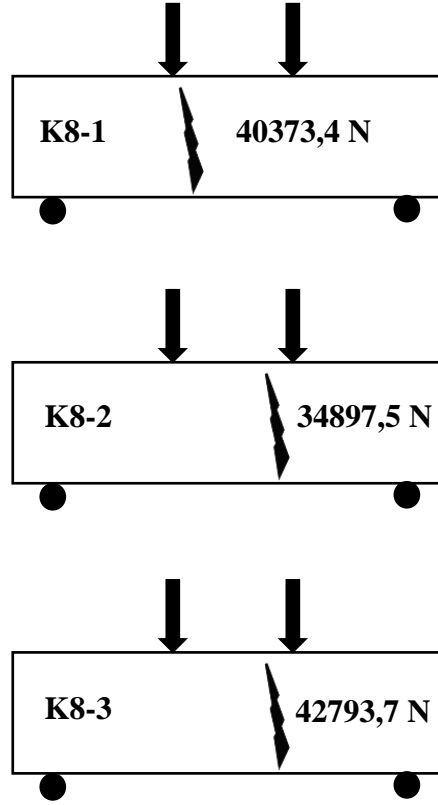
Şekil 3.39: %6 oranında kolemanit içeren kırılmış kiriş numunelerinde çatlak yerleri.

Şekil 3.40 'da %8 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 3.41'de %8 kolemanit ikameli beton kirişlerinin çatlak yerleri gösterilmiştir. Buna göre; K8-1 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sol tarafa yaklaşık kırıldığı görülmektedir. K8-2 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ama sağ tarafa daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. K8-3 numunesinde kırılmanın yine orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sağ tarafa daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. Kırılmalar düzgün biçimde gerçekleşmiştir, numunede kopmalar oluşmamıştır. Ayrıca numune kırım yüzeylerinde dane boyutuna göre agrega dağılımlarının düzgün olduğu ve filler malzeme ile agrega yüzeylerinin iyice sarılmış olduğu gözlenmektedir. Numuneler incelendiğinde hava boşluklarının da bulunduğu görülmektedir. Üç numunenin ortalama eğilme dayanımı 5,247 N/mm² hesaplanmıştır.



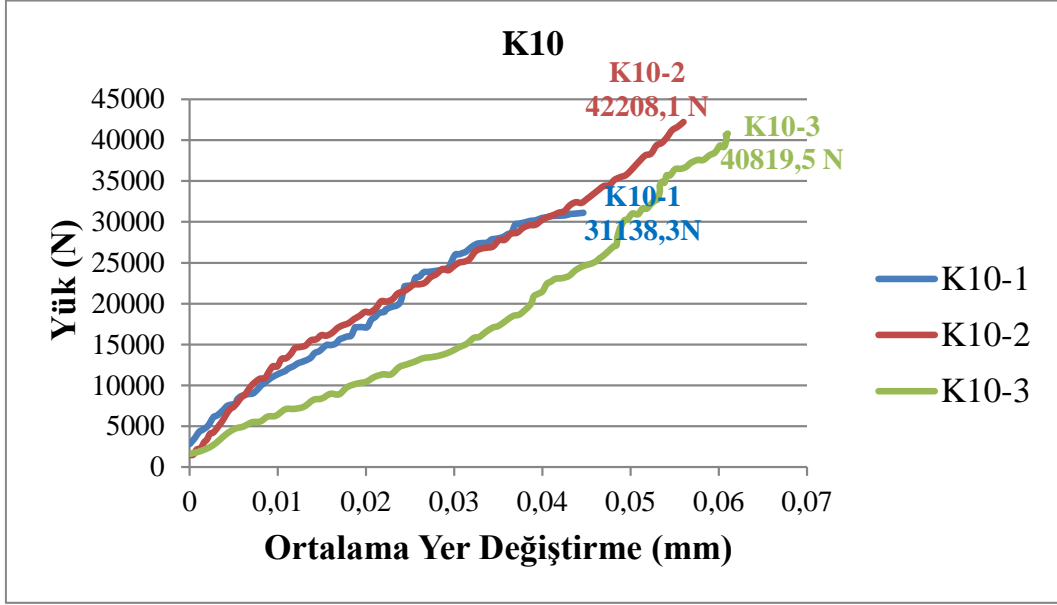
Şekil 3.40: %8 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.

$$\text{Eğilme Dayanımı } K8_{ort} = \sigma_{ort} = \frac{M}{W} = \frac{Pl}{bh^2} = \frac{39354,87.450}{150.150^2} = 5,247 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 3.41: %8 oranında kolemanit içeren kırılmış kiriş numunelerinde çatlak yerleri.

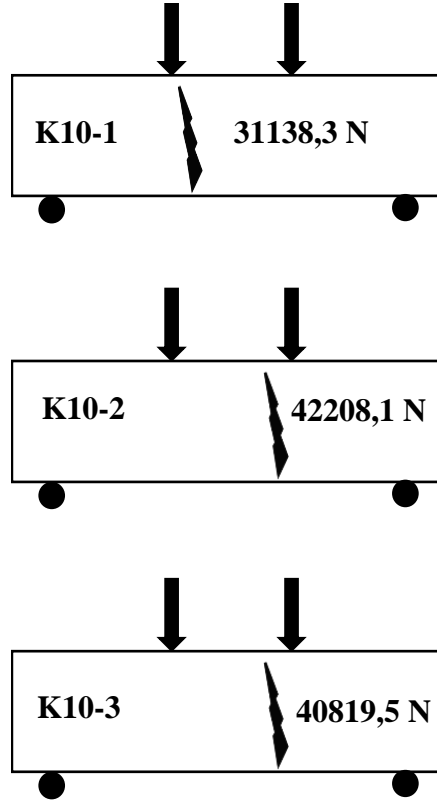
Şekil 3.42’de %10 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 3.43’te %10 kolemanit ikameli beton kirişlerinin çatlak yerleri gösterilmiştir. Buna göre; K10-1 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve sola yaklaşık olarak kırıldığı görülmektedir. K10-2 numunesinde kırılmanın orta üçte birlik kısımda meydana geldiği sağ tarafa daha yakın olduğu gözlemlenmektedir. K10-3 numunesinde kırılmanın yine orta üçte birlik kısımda meydana geldiği ve ortaya çok yaklaştığı görülmektedir. Kırılmalar düzgün biçimde gerçekleşmiştir, numunede kopmalar oluşmamıştır. Ayrıca numune kırım yüzeyinde dane boyutuna göre agrega dağılımlarının düzgün olduğu ve filler malzeme ile agrega yüzeylerinin iyice sarılmış olduğu gözlenmektedir. Numune kırım yüzeyinde hava boşluklarının da bulunduğu tespit edilmiştir. Üç numunenin ortalama eğilme dayanımı $5,074 \text{ N/mm}^2$ hesaplanmıştır.



Şekil 3.42: %10 oranında kolemanit içeren kiriş numunelerinin yük-ortalama yer değiştirme grafiği.

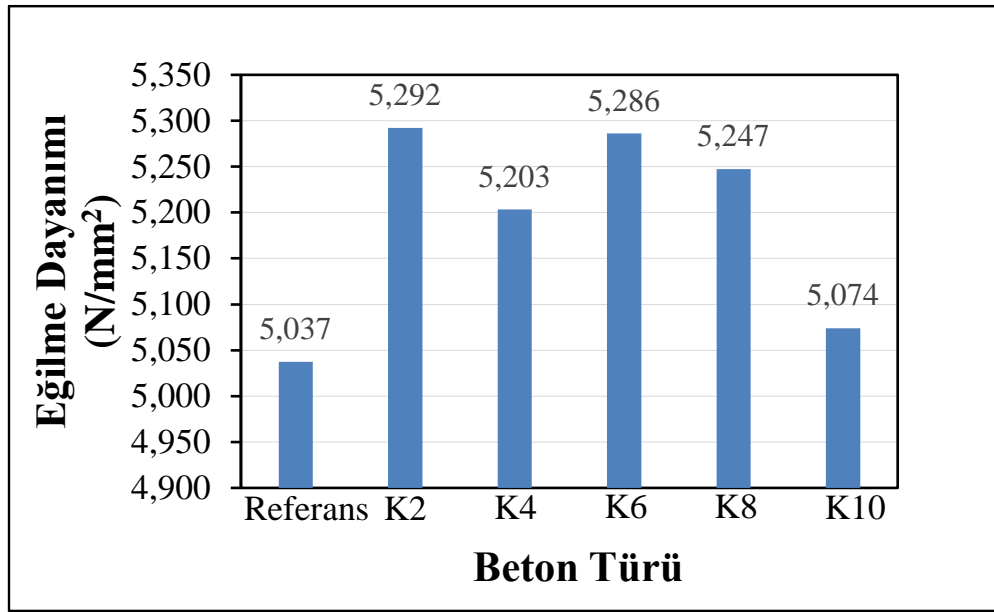
%10 oranında kolemanit içeren numunelerin ortalama eğilme dayanımı hesaplanmıştır.

$$\text{Eğilme Dayanımı } K10_{ort} = \sigma_{ort} = \frac{M}{W} = \frac{Pl}{bh^2} = \frac{38055,3 \cdot 450}{150 \cdot 150^2} = 5,074 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 3.43: %10 oranında kolemanit içeren kırılmış kiriş numunelerinde çatlak yerleri.

Eğilme deneyleri için sadece kolemanit katkıli numuneler üretilmiştir. Deney priz süresi 90 gün olan numunelere yapılmıştır. Eğilme deneylerinin bitiminde, kiriş numunelerinde gevrek kırılmalar gözlenmiştir. Numunelerdeki kırılmaların hepsi orta üçte birlik kısımda meydana gelmiştir. Kırılmalardaki sağa veya sola yaklaşıklık numunelere göre değişiklik göstermiştir. Kiriş numunelerinde uygulanan eğilme deneyi sonucunda maksimum yüklerdeki yer değiştirmeler elde edilmiştir. Buradan hareketle kiriş numunelerinde ortalama eğilme dayanımları hesaplanmıştır. En yüksek ortalama eğilme dayanımı %2 kolemanit katkısı içeren K2 betonuna ait $5,292 \text{ N/mm}^2$ 'dir. En düşük ortalama eğilme dayanımı $5,0371 \text{ N/mm}^2$ değeriyle referans betonuna aittir (Şekil 3.44). Ayrıca grafiklerde kuyruklanmanın olmamasının sebebi numunelerde lif bulunmamasıdır. Beton yolların tasarımında araç tekerleklerinin zarar görmemesi ve maliyetteki artış sebebiyle lif kullanımı önerilmemektedir.



Şekil 3.44: Kolemanit içerikli kiriş numunelerinin ortalama eğilme dayanımları

4. SONUÇLAR

Kolemanit ve üleksit minerallerinin beton yollarda çimento yerine kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, referans karışıma ilave olarak %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında kolemanit ve üleksit katkısı yapılarak üretilen beton türlerinden deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışma başlangıcında deneme amaçlı yapılan ve akışkanlaştırıcı eklenmeyen ilk beton karışımlarında, kullanılan bor minerallerinin beton karışım suyunu hızla çektiği ve karışımı katılaştırdığı gözlemlenmiştir. Bunun üzerine Chryso Premia 518 Süper Akışkanlaştırıcı kullanılarak karışımın katılaşmadan kalıplara dökülebilmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda akışkanlaştırıcı kullanımı agregaların beton karışımı içinde düzgün bir yayılma göstermesini sağlamıştır. Bor minerallerinden herhangi birinin katkısıyla hazırlanacak beton türlerinde mutlaka akışkanlaştırıcı kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Akışkanlaştırıcıların betonun basınç dayanımına da olumlu yönde bir etkisi olmaktadır.

Kolemanit ve üleksit katkılı beton numunelerinde katkının beton prizini geciktirdiği görülmüştür. Numunelerin kalıplardan çıkarılabilmesi için yaklaşık 48 saate ihtiyaç duyulmuştur. Katkısı yüksek oranda olan numunelerin kalıptan çıkarılırken dağılma eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Böylece erken yaş basınç dayanımlarının referans numuneye göre neden düşük olduğu açıklanabilmektedir.

Schmidt çekici ile ölçülen yaklaşık dayanım değerleri 7, 28, 90 günlük basınç dayanımlarına aittir. Kolemanit katkılı betonlarda yapılan 7. gün Schmidt çekici ölçümlerinde içerikte kullanılan kolemanit yüzdesinin artmasıyla dayanımların da arttığı görülmüştür. Yine de katkılı bütün beton türlerinin dayanımlarının referans betondan düşük olduğu gözlenmiştir. 28 günlük numunelerde yapılan Schmidt çekici deney sonuçları ele alındığında referans betona göre dayanımı artan beton, sadece %4 kolemanit katkısı içeren K4 betonu olmuştur. Diğer bütün katkı oranları incelendiğinde dayanımın; referans betonuna göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Değişik oranlarda kolemanit katkısının bulunduğu beton türlerinde, erken yaş dayanımlarında düzensizlik olduğu görülmüştür. 90 günlük sonuçlara bakıldığında, %6 kolemanit içerikli K6 betonunun en düşük dayanımı verdiği kaydedilmiştir. Ancak diğer numuneler gözlemlendiğinde farklı oranlarda kolemanit katkısının bulunduğu numunelerde dayanım değerleri, referans betonundan yüksek

bulunmuştur. Schmidt çekici test cihazı ile ölçülen en yüksek basınç dayanımı değerini %4 kolemanit içeren K4 betonu sağlamıştır. Sonuçlarda görülen en yüksek dayanım K4 betonu ile elde edilerek, dayanımın referans beton türüne göre %7.67 yüksek olduğu belirlenmiştir. Kolemanit katkısının kullanılması ile Schmidt çekici değerlerinin arttığı görülmüştür. Kolemanit katkısı erken yaşlarda dayanımı düşürmekte ve ileriki yaşlarda dayanımı arttırmaktadır. Bu yüzden kolemanit katkısıyla hazırlanan beton numunelerde Schmidt çekici ile basınç dayanımı tespit edilirken özellikle erken yaşta uygulanan test sonucu ortaya çıkan verilerin gerçek olamayacak ve yanıltıcı veriler olduğu kanaatine varılmıştır.

Ultras hızı deneyi hem üleksit hem de kolemanit katkısı içeren numunelere uygulanmıştır. Böylece üleksit ve kolemanitin beton türlerinin kalitesine olan etkisi gözlemlenebilmiştir. Üleksit ve kolemanit katkılı beton numunelerinin 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük ultras hız geçiş hızlarında, üleksit katkılı beton numunelerinin hepsi referans numuneye göre artış göstermiştir. 7 günlük numunelerin ultras hız geçiş hızları 3.5 ~ 4.5 km/s aralığında ölçüldüğü için beton kalitesi “iyi” olarak değerlendirilmektedir. 28 ve 90 günlük numunelerin ultras hız geçiş hızlarının hepsi, >4.5 km/s olduğundan beton kalitesi mükemmel olarak nitelendirilmektedir. %10 üleksit katkılı beton numunelerinin (U10) 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük ultras hız geçiş hızları diğer beton numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. %8 kolemanit katkılı beton numunelerinin (K8) 28 günlük ve 90 günlük ultras hız geçiş hızları diğer beton numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. 90 günlük ultras hız geçiş hızlarına bakıldığında;

- Referans beton türüne ait ultras hız geçiş hızı ölçümünün 4,712 km/s olduğu,
- Kolemanit ve üleksit katkılı bütün beton türlerinde ultras hız geçiş hızının referans numuneden fazla olduğu,
- %2, %4 ve %6 kolemanit katkısı içeren betonlarda katkı miktarı arttıkça ultras hız geçiş hızlarının birbirlerine çok yakın miktarda azalma eğilimi gösterdiği, bunun sebebinin ölçüm yapılırken iri agregaya rastlanmış olabileceği,
- %2, %4, %6 ve %8 üleksit katkısı içeren betonlarda katkı miktarının artmasıyla ultras hız geçiş hızının arttığı,
- %8 oranında kolemanit katkısı içeren numunenin ultras hız geçiş hızının en yüksek olduğu,

- Kolemanit ve üleksit katkılı beton türlerinin hepsinde ultrases geçiş hızı değerlerinin betonun yaş almasıyla ya da eskimesiyle artış gösterdiği gözlenmiştir.

Betonun boşluklu yapısı ile ultrases geçiş hızı arasında bir bağlantının olduğu düşünülecek olursa elde edilmiş olan ultrases geçiş hızı sonuçları ile kolemanit ya da üleksit katkısının bir miktar boşluk azaltıcı etkisinin olduğu ifade edilebilir.

Referans numuneler, üleksit ve kolemanit katkılı numuneler donma çözülme deneyine tabi tutulmuş, deney sonucunda numunelerin ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. 90 günlük ağırlık kayıpları incelendiğinde en yüksek ağırlık kaybı %8 kolemanit katkılı betonda %1,9 değerini göstermiştir. Referans numunelerde ağırlık kaybı %1,47 çıkmıştır. Üleksit içeren numunelerin ağırlık kaybı incelendiğinde katkı arttıkça ağırlık kaybının da arttığı görülmektedir. Kolemanit içeren numunelerde katkının %4 değerine kadar artması ağırlık kayıplarını da arttırmış; %8 değerinde en yüksek değere ulaşmıştır.

Referans betonunun basınç dayanımı 7., 28. ve 90. günlerde ve sırası ile 46,84 MPa, 46,70 MPa ve 54,88 MPa olarak ölçülmüştür. Üleksit ve kolemanit katkılı beton numunelerde 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım test sonuçları incelenmiştir. Kolemanit içeren numunelerin, üleksit içeren numunelere göre daha iyi dayanım gösterdiği görülmüştür.

- 7.gün dayanımlarına bakıldığında erken yaştaki en düşük beton dayanımları %6 kolemanit katkılı K6 beton türünde 41,39 MPa ve %10 üleksit katkılı U10 beton türünde 21,64 MPa değerlerini vermiştir. Kolemanit katkısı arttıkça dayanımlarda referans numuneye göre azalma meydana gelmiştir.
- 28 günlük basınç dayanımları göz önüne alındığında kolemanit katkısı içeren numunelerin genelinde referans numuneye göre artış gözlenmiştir. Kolemanit katkılı beton türlerinde en düşük basınç dayanımı 51,5 MPa değeriyle %6 katkı içeren K6 betonuna aittir. C30/37 beton tasarımı yapıldığı göz önünde bulundurulduğunda en düşük dayanımlı numune, hedeflenen dayanımı geçmiştir. Üleksit katkılı numunelerin en yüksek dayanımlısı 42 MPa değeriyle %2 katkılı U2 betondur ve dayanım değeri referans numunenin dayanımını geçememiştir.
- 90 günlük dayanımlar incelendiğinde numunelerdeki kolemanit katkısı arttıkça dayanımların da arttığı gözlemlenmiş, %8 kolemanit içerikli K8 betonu, 67,9 MPa

değeriyle en yüksek dayanımı göstermiştir. Bütün üleksit katkılı numunelerin dayanım değerlerine bakıldığında, 42,48 MPa değeriyle en yüksek dayanım değerine sahip %8 katkılı U8 betonunun bile referans numune basınç dayanımının altında kaldığı ortaya çıkmıştır.

- Kolemanit içeren numunelerin basınç dayanımlarının, üleksit içeren numunelere göre yaklaşık 1,5-2 kat daha fazla dayanım gösterdiği ortaya çıkmıştır.
- Tüm dayanım değerleri incelendiğinde %8 kolemanit içerikli numuneler en yüksek dayanımı göstermiştir.

Bu çalışmada beton numunelerinin basınç dayanımlarına göre değerlendirme yapıldığında, %8 kolemanit içerikli beton türü optimum içeriği sağlamıştır. Basınç dayanımları baz alındığında bundan sonra yapılacak çalışmalar için %8 kolemanit içerikli numunelerin yapılması önerilmektedir. Üleksit içeren numunelerin basınç dayanım değerleri referans numunelerin basınç dayanımının değerlerinin oldukça altında kalmaktadır. Hatta çoğu zaman hedeflenen basınç dayanım değeri bile geçilememiştir. Dolayısıyla bu çalışma için üleksit içeren numune üretimine gerek olmadığı kanaatine varılmıştır.

Eğilme deneyleri için sadece kolemanit katkılı numuneler kullanılmıştır. Priz süresi 90 gün olan numunelere yapılmıştır. Referans betona ait eğilme dayanımı $5,0372 \text{ N/mm}^2$ ölçülmüştür. Kolemanit katkılı numunelerin hepsinin eğilme dayanımları, referans numunenin eğilme dayanımından fazladır. Kolemanit katkısı geç yaşta eğilme dayanımını arttırmıştır. En yüksek değer %2 kolemanit içeren K2 beton türüne aittir. En düşük eğilme dayanımı %10 kolemanit içeren K10 beton türüne ait olmasına rağmen, bu kolemanit içeriği bile referans betonuna göre daha fazla dayanım sağlamıştır.

Eğilme deneylerinin uygulandığı kiriş numunelerinde gevrek kırılmalar gözlenmiştir. Bunun sebebi numunelerde lif bulunmamasıdır. Beton yolların tasarımında araç tekerleklerinin zarar görmemesi ve maliyetteki artış sebebiyle lif kullanımı önerilmemektedir.

Sonuç olarak bor tiplerinden kolemanitin dayanımı arttırdığı için beton yollarda kullanılabileceği; üleksitin ise dayanımı büyük oranda düşürdüğü için katkı malzemesi olarak kullanılamayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada seçilen % 2, %4, %6,%8 ve %10 kolemanit katkısı aynı zamanda beton için hedeflenen C30/37 basınç dayanım sınıfını da sağlamıştır. Ülkemiz şartlarında bitüm ürünlerinin maliyeti göz önüne alındığında; yol

alışmalarında asfalt betonu yerine beton yolların kullanılabilceği ve en önemli yeraltı zenginlik kaynaklarımızdan olan bor minerallerinin imento ile yer değiştirerek, yüksek dayanımlı bir yol kaplaması haline getirilebileceği unutulmamalıdır.

5. KAYNAKLAR

- Abali, Y., Bayca, S.U., and Targana S., (2006). Evaluation of blends tincal waste, volcanic tuff, bentonite and fly ash for use as a cement admixture, B131, *Journal of Hazardous Materials*, 126-130.
- Alwaeli, M., and Nadziakiewicz, J., (2012). Recycling of scale and steel chips waste as a partial replacement of sand in concrete, 28, *Construction and Building Materials*, 157-163.
- Arslan, M., (2007). Beton Yol Kaplamalarında Alternatif Beton ve Yapım Yöntemi Araştırmaları, Bilimsel Araştırma Projesi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Balıkesir Su ve Kanalizasyon İdaresi (BASKİ), (2022). Balıkesir Su ve Kanalizasyon İdaresi Şebeke Suyu Analiz Raporu, Balıkesir.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., (2012). Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Binici, H., Sevinç, A.H. ve Durgun, M. Y., (2011). Pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu katkılı harçların dayanımı ve sülfat direnci, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7, 39-51.
- Boncukçuoğlu, R., Yılmaz, M.T., Kocakerim, M.M. and Tosunoğlu, V., (2002). Utilization of borogypsum as set retarder in Portland cement production, 32, *Cement and Concrete Research*, 471-475.
- Boncukçuoğlu, R., Yılmaz, M.T., Kocakerim, M.M. and Tosunoğlu, V., (2002). Utilization of trommel sieve waste as an additive in Portland cement production, 32, *Cement and Concrete Research*, 35-39.
- Boncukçuoğlu, R., İçelli, O., Erzeneoğlu, S. and Kocakerim, M.M., (2005). Comparison of radioactive transmission and mechanical properties of Portland cement and a modified cement with trommel sieve waste, 35, *Cement and Concrete Research*, 1082-1087.
- Bungey, J.H., Millard, S.G. and Grantham, M.G., (2006). Testing of concrete in structures. Taylor & Francis, 4th Edition, ISBN: 0-415-26301-8, 352 p.

- Chatterjee, A.K., (2011). Chemistry and engineering of the clinkerization process - Incremental advances and lack of breakthroughs, 41, *Cement and Concrete Research*, 624-641.
- Cho, S.Y., and Lin, F., (2005). Nondestructive evaluation of in-place cement mortar compressive strength using spectral analysis of surface waves, 19, *Construction and Building Materials*, 738-745.
- Coşkun, A., Saruşıık, A., (2021). Bor Atıklarının Pomza Agregalı Hafif Harçların Mineralojik ve Termal Özelliklerine Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21, 408-425.
- Demirboğa, R., and Gül, R., (2006). Production of high strength concrete by use of industrial by-products, 41, *Building and Environment*, 1124-1127.
- Ecevit, O., (2007). Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ediz, N., Özdağ, H., (2001). Bor mineralleri ve ekonomisi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 133-151.
- Elbeyli, İ., Derun Möröydor, E., Gülen, J., and Pişkin, S., (2003). Thermal analysis of borogypsum and its effects on the physical properties of Portland cement, 33, *Cement and Concrete Research*, 1729-1735.
- Elbeyli, İ., (2004). Utilization of industrial borax wastes (BW) for portland cement production , 28, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, TÜBİTAK, 281-287
- Etimaden, (2019). Borda yeni vizyon. <https://www.etimaden.gov.tr/bor-elementi>.
- Etimaden, (2020). Üleksit. <https://www.etimaden.gov.tr/uleksit>
- Etimaden, (2020). Kolemanit. <https://www.etimaden.gov.tr/kolemanit>
- Etimaden, (2020). Öğütülmüş üleksitin teknik özellikleri <https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/July2020/ogutulmus-uleksit-teknik-2020TR.pdf>.
- Etimaden, (2020). Öğütülmüş kolemanitin teknik özellikleri https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/July2020/ogutulmus_kolemanit-teknik-2020TR.pdf

- Hwang, E., Kim, G., Choe, G., Yoon, M., Gucunski, N. and Nam, J., (2018). Evaluation of concrete degradation depending on heating conditions by ultrasonic pulse velocity, *Construction and Building Materials*, 171, 511-520.
- Kalyan, T. and Kishen, C., (2013). Experimental Evaluation of Cracks in Concrete by Ultrasonic Pulse Velocity, *Asia Pacific Conference on Non-Destructive Testing (14th APCNDT)*, Mumbai, 18-22 November, Poster.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), (2019). Karayolları beton yol üstyapılar projelendirme rehberi,
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), (2021). 2021 yılı devlet ve il yolları bakım ve işletme maliyetleri raporu.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), (2022). Kurumsal tarihçe bilgileri.
<https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/Tarihce.aspx>.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), (2022). Kurumsal yol ağı bilgileri.
<https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>.
- Karayolları Trafik Kanunu Yönetmeliği, (1985). 2918 sayılı yönetmelik.
- Kamu Emekçileri Sendikaları Konfederasyonu (KESK/ESM), (2003). TMMOB Jeoloji, Kimya, Metalurji Mühendisleri Odaları, Bor, Ankara, 330 s.
- Kavas, T., Olgun, A. and Erdoğan, Y., (2005). Setting and hardening of borogypsum-Portland cement clinker-fly ash blends. Studies on effects of molasses on properties of mortar containing borogypsum, 35, *Cement and Concrete Research*, 711-718.
- Kavas, T., Christogerou, A., Pontikes, Y. and Angelopoulos, G.N., (2011). Valorisation of different types of boron-containing wastes for the production of lightweight aggregates, 185, *Journal of Hazardous Materials*, 1381–1389.
- Kılıç, A., M., (2004), Bor madeninin Türkiye açısından önemi ve gelecekteki yeri, II. *Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 31-41.
- Kula İ., Olgun, A. and Sevinç, V., (2001). Effects of colemanite waste, cool bottom ash, and fly ash on the properties of cement , 31, *Cement and Concrete Research*, 491-494.

- Kula İ., Olgun, A., Sevinç, V. and Erdoğan, Y., (2002). An investigation on the use of tincal ore waste, fly ash, and coal bottom ash as Portland cement replacement materials, 32, *Cement and Concrete Research*, 227-232.
- Li, H., Zhang M. and Ou J., (2007). Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement, 29, *International Journal of Fatigue*, 1292-1301.
- Lorenzi, A., Tisbierck, F.T. and Silva, L.C.P., (2007). Ultrasonic Pulse Velocity Analysis in Concrete Specimens. In IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires, Octubre, 1-13.
- Madhkhani, M., Azizkhani, R. and Torki, Harchegani, M.E., (2012). Effects of pozzolans together with steel and polypropylene fibers on mechanical properties of RCC pavements, 26, *Construction and Building Materials*, 102–112.
- Olgun, A., Kavas, T., Erdoğan, Y. and Once, Y., (2007). Physico-chemical characteristics of chemically activated cement containing boron, 42, *Building and Environment*, 2384-2395.
- Özdemir, M. ve Öztürk, N., (2003). Utilization of clay wastes containing boron as cement additives, 33, *Cement and Concrete Research*, 1659-1661.
- Özdemir, M., ve Uğurlu, A., (2009). Boraks içeren puzolan katkılı harçların dayanım yönünden incelenmesi,
- Palomo A. and Fuente, J.I., (2003). Alkali-activated cementitious materials: Alternative matrices for the immobilisation of hazardous wastes Part I. Stabilisation of boron , 33, *Cement and Concrete Research*, 281-288.
- Panzer, T.H., Christoforo, A.L., Cota, F.P., Borges, P.R. and Bowen, C.R., (2011). Ultrasonic pulse velocity evaluation of cementitious materials. In *Advances in Composite Materials-Analysis of Natural and Man-Made Materials*, ISBN: 978-953-307-449-8, 502 s.
- Qasrawi H.Y., (2000). Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted, *Cement and Concrete Research*, 30(5), 739-746.
- Schmidt, E. (1954). The Concrete Sclerometer . *R. I. Structures*, s. 310-319, Paris.

- Siddique, R., Kapoor K., Kadri, E. and Bennacer, R., (2012) Effect of polyester fibres on the compressive strength and abrasion resistance of HVFA concrete, 29, *Construction and Building Materials*, 270-278.
- Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B. ve Sevinç, V., (2002). Kula cürufu, bentonit ve kolemanit atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesi, *I.Uluslararası Bor Sempozyumu*, Kütahya, 259-265.
- Targan, Ş., Olgun, A., Erdoğan, Y. and Sevinç, V., (2002). Effects of supplementary cementing materials on the properties of cement and concrete, 32, *Cement and Concrete Research*, 1551-1558.
- Targan, Ş., Olgun, A., Erdoğan, Y. and Sevinç, V., (2003). Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash and fly ash on the properties of Portland Cement, 33, *Cement and Concrete Research*, 1175-1182.
- Tığdemir, M. (1999). *Bitümlü Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Parametrik İncelenmesi*, (Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- TS EN 1097-3, (1999). Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, TSE., Ankara
- TS EN 197-1, (2012). Çimento Standardı, TSE., Ankara
- TS EN 12390-1, (2013). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, TSE., Ankara
- TS-EN 1097-6, (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, TSE., Ankara.
- TS EN 13892-3, (2015). Şap malzemeleri - Deney yöntemleri - Bölüm 3: Aşınma direncinin tayini - Böhme, TSE., Ankara.
- Tsakiridis, P.E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P., Katsioti, M., and Mauridou, E., (2005). Examination of the jarosite-alunite precipitate addition in the raw meal for the production of portland cement clinker, 35, *Cement and Concrete Research*, 2066-2073.

- Türkiye Hazır Beton Birliği (THHB), (2019). Neden beton yollar
<https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-yollar/>.
- Uğurlu, A., Özdemir M., Topçu, İ., (2004). Bor içeren kil atıkların çimento içerisinde değerlendirilmesi, *Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir.
- Voigt, T., Malonn, T. and Shah, S.P., (2006). Green and early age compressive strength of extruded cement mortar monitored with compression tests and ultrasonic techniques, 36, *Cement and Concrete Research*, 858-867.
- Yalçın, S., (1996). Kolemanitli Çimentoların Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine İnhibitif Etkisi , (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Yang, J. and Jiang, G., (2003). Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials, 33, *Cement and Concrete Research*, 381–386.
- Yazıcı, H., (2005). Yüksek hacimde C sınıfı uçucu kül içeren betonların mekanik özellikleri ve sülfürik asit dayanıklılığı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 11, Sayı: 3, 443-448.
- Yazıcı, H., (2022). Yapı Malzemesi Dersi Ders Notları, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Yenialaca, Ç., (2009). Bor ve kullanım alanları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalı, Fizik Eğitimi Bilim Dalı, Ankara.
- Yıldırım, S.T., Ekinci C.E., (2006). Çelik, cam ve polipropilen lifli betonlarda donma-çözülme etkilerinin araştırılması, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18, 359-366.
- Zain, M.F.M., Mahmudb, H.B., Ilhama, A. and Faizal M. , (2002). Prediction of splitting tensile strength of high-performance concrete, 32, *Cement and Concrete Research*, 1251–1258

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Emel AVCI DEMİRYILMAZ

Doğum tarihi ve yeri : 1982/ MUĞLA

e-posta : emelavci@balikesir.edu.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2006-2009
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2000-2006
Lise	Muğla Anadolu Lisesi	1993-2000

Yayın Listesi

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler :

Özdemir, T., Demiryılmaz, E., (2013). The Rural Development Problems In Turkey. East of West West of East International Balcans Conference (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6407423)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

Demiryılmaz, E., Tığdemir, M., Özdemir, T., (2009). Sıcak İklimli Bölgelerde Esnek Üstyapı Kaplama Tabakalarında Performans Araştırması. İzmir Ulaşım Sempozyumu, 151-159. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6407419)

Özdemir, T., Demiryılmaz, E. (2015). Balıkesir İlinde Seçilen Kavşaklarda Gürültü Seviyelerinin Değerlendirilmesi Üzerine Araştırma. 11. Ulaştırma Kongresi (Tam Metin Bildiri/Poster)(Yayın No:6407429)

Bilimsel Araştırma Projeleri

Tığdemir, M., Demiryılmaz, E., (2009). Sıcak İklimli Bölgelerde Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi, Yükseköğretim

kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi Süleyman Demirel Üniversitesi

Özdemir, T., Turabi, A., Üçer, F., Demiryılmaz, E., (2011) Balıkesir İlinde Seçilen Kavşaklarda Gürültü Seviyelerinin Değerlendirilmesi Üzerine Araştırma, Balıkesir Üniversitesi

Özdemir, T., Demiryılmaz, E. (2022). Beton Yol Kaplamalarında Bor Ve Ürünlerinin Kullanılması, Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli 2013-07 nolu bilimsel araştırma projesi, Balıkesir Üniversitesi