

68999

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



BİGADIÇ VE TURNATEPE (BALIKESİR) YÖRELERİNDEKİ  
ZEOLİTİK VE PERLİTİK TÜFLERİN  
PUZZOLONİK ÖZELLİKLERİ

DOKTORA TEZİ

Arzu OKUCU  
İnşaat Yüksek Mühendisi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hayri ERDİNÇ

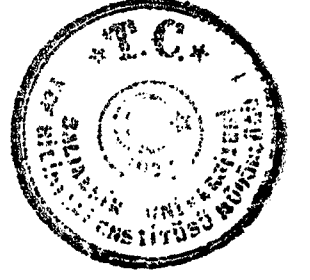
Sınav Tarihi: 29/05/1998

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Bektaş UZ

Prof. Dr. Hayri ERDİNÇ

Prof. Dr. Şerif SAYLAN

Balıkesir, Mayıs-1998



## ÖNSÖZ

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanan bu çalışmayı yürüten, her konuda ve çalışma süresince ilgi ve desteğini esirgemeyen, Danışman Hocam Sayın Prof.Dr.Hayri ERDİNÇ 'e, bilgi ve görüşlerinden destek aldığım İTÜ Öğretim Üyesi Sayın Prof.Dr.Bektaş UZ 'a ve İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Hocam, Sayın Prof.Dr.Şerif SAYLAN 'a minnet ve şükran borçluyum.

Çeşitli laboratuvar olanaklarından yararlandığım Çimento Müstahsilleri Birliği ve MTA Genel Müdürlüğü 'ne, Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında deney düzeneğinin kurulmasındaki katkılarından dolayı sayın Yrd.Doç.Dr.Ergun ATEŞ 'e, Balıkesir SET Çimento laboratuvarlarında çalışma iznini veren Fabrika Müdürü Sayın Reha OKÇU 'ya, Kalite Kontrol Şefi Sayın Rıza AKSÖZ ve yardımcısı Sayın Levent ONAT 'a, Hammadde Şefi Sayın Ali İhsan BÜYÜKKOÇ 'a teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 1998

Arzu OKUCU



## ÖZ

**BİGADIÇ VE TURNATEPE (BALIKESİR) YÖRELERİNDEKİ  
ZEOLİTİK VE PERLİTİK TÜFLERİN  
PUZOLANİK ÖZELLİKLERİ**

Arzu OKUCU

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(Ph. D. Tezi/Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hayri ERDİNÇ)

Balıkesir, 1998

Günümüzde inşaat sektörünün gelişmesine bağlı olarak, genel ve özel maksatlı çeşitli tip ve özelliklerde çimento üretilmektedir. Bu çimentoların bir bölümü katkısız bir bölümü katkıdır. Doğal ve yapay birçok puzolan çimento üretiminde katkı maddesi olarak tüketilmektedir. Bu çalışmada Zeolitik (Bigadiç), Perlitik (Turnatepe) volkanik tüflerinin çimento katkı maddesi olarak değerlendirilebilmesi için, saha etüdü yapılmış, puzolanik karakterleri belirlenmiş, çimento hammaddesi olabilme özellikleri araştırılmış ve bunlarla üretilen çimentoların beton özellikleri dayanıklılık açısından portland çimentosu ile karşılaştırılarak incelenmiştir.

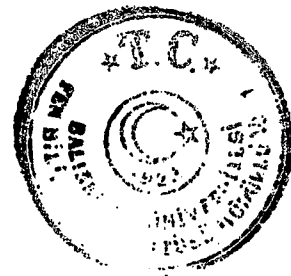
Bigadiç Bölgesinde boratlı tüf olarak tanımlanan seviyeler Neojen yaşlı volkano tortul oluşumun en üst katmanlarını oluşturmaktadır. Boratlı zeolitik tüfler riyolitik, camsal veya yarı camsal hamurlu dasitikdir. Tülü ovasındaki Üsttüfler %98 zeolitik (klinoptilolit), alttüfler (Dedeçinar) %65 zeolitik (klinoptilolit) 'dir. Turnatepe Bölgesinde, riyolitik ince taneli kısım ile andezitik breşik tüflerin var oldukları ortaya konmuştur.

Alttüfler, düşük su emme ve gözenekli, orta düzeyde basınç dayanımlı olup yüksek birim ağırlıklara sahiptir. Üsttüfler de ise, orta düzeyde su emme ve gözeneklilik değerleri, fakat yüksek basınç dayanımları bulunmuştur. Turnatepe tüflerinde, en düşük birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımları izlenirken, en yüksek su emme ve porozite değerleri ölçülmüştür.

Zeolitik, perlitik ve bunlara alternatif diğer yakın çevre puzolanlarıyla TS 24 'e uygun olarak katkı çimentolar hazırlanmıştır. Katkı oranları Balıkesir SET Çimento Fabrikası işletme koşullarına uygun %24, %26,%28 olarak belirlenmiştir. Zeolitik tüflerin puzolanik aktiviteleri yüksektir. Kolay öğütülürler. 28. gün sonunda basınç mukavemetleri yüksektir. Buna karşılık, perlitik tüflerde puzolanik aktivite yüksek olmakla beraber, zor öğütülebilmekte ve 28. gün sonunda basınç mukavemetleri standartları aşmakta fakat zeolitik tüflere göre çok daha düşüktür. Zeolitik tüfler kaliteli bir puzolandır. Perlitik tüfler ise kullanılabilir bir puzolan olmakla beraber, zeolitik tüflerle uygun bir harmanlamayla kullanılmalıdır. Ayrıca doğal puzolanların 7 günlük mukavemetleri hiç etkilemediği fikrinin de tartışılabileceği görülmüştür.

Zeolitik ve perlitik tüf katkı çimentolar ve portland çimentosunun dayanıklılık özelliklerini belirlemek için %24, %28, %32 katkı çimentolar ve aynı klinkerden portland çimentosu (şahit çimento) üretilmiştir. Bu çimentolarla hazırlanan harçlar 28 gün normal şartlarda su içinde, 28. gün (0. başlangıç yaşı) den sonra 12 hafta su ve sülfat çözeltisinde kür edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre katkılar, portland çimentosuna göre sülfatlı ortamda harcın dayanıklılığını arttırmıştır. Özellikle zeolit katkı harçlarda bu özellikler daha belirgindir. Fakat çimentoya katılacak katkı miktarı çok önemlidir. X-Ray Difraktometre incelemelerinde şahit harçta etringit oluşumuna rastlanırken, katkı harçlarda rastlanmamıştır. Bu da katkı çimentoların sülfatlı ortama dayanıklı olduğunu birkez daha ortaya koymuştur.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Çimento/puzolan/katkılı çimento /zeolit/zeolitik tüf/dayanıklılık/harç.



## ABSTRACT

### THE PUZZOLANIC CHARACTERISTICS OF THE ZEOLITIC AND PERLITIC TUFFS IN BIGADIÇ AND TURNATEPE (BALIKESİR) AREAS

Arzu OKUCU

Civil Engineering Division of Science Institute, Balıkesir University

Ph.D.Thesis / Supervisor Prof:Dr. Hayri ERDİNÇ  
Balıkesir-Turkey, 1998

Currently, in connection with the growth of construction industry, common and particular intentional cement of various types and characteristics are produced. Some parts of them mixed and others are pure. Many natural and artificial puzzolanas (trass) are consumed as additive in cement production. In this work, to utilize the zeolitic (Bigadiç) and perlitic (Turnatepe) volcanic tuffs as additive in cement; field work, puzzolanic activity measurements and raw material tests have been achieved. The test concretes of these produced cements were meanwhile compared to that of portland.

The borates interlayered tuffs of Neogene aged volcanosedimentary formation in Bigadiç area formed uppermost levels. These borate bearing tuffs are rhyolitic and dacitic with vitreous or partly vitreous matrix. In Tülü Plain, the upper tuffs contain 98 percent zeolite (clinoptilolite) and lower tuffs at Dedeçinar are 65 percent zeolitic (clinoptilolite). In Turnatepe area it has pointed out that the fine grained rhyolitic division associated with brecciated tuffs.

Lower tuffs have low absorbing capacity, porosity and compressive strength but high specific gravity. Whereas in upper tuffs fairly good absorbing and porosity but high compressive strength values were measured. Turnatepe tuffs have lowest specific gravity and strengths but highest absorbing and porosity values.

Mixed cements were prepared with the zeolitic, perlitic and the other nearby puzzolanas. Details of the preparation are described in TS24. Additive ratios are 24, 26 and 28 percent fitting to the Balıkesir SET Cement Factory's production conditions. The puzzolanic activity of the zeolitic tuffs are high. They can easily be grinded. The 28 day strengths are very high. In contrast, perlitic tuffs can hardly be grinded and despite their 28 day strengths slightly over specifications, the values are significantly lower than that of zeolitic tuffs. Zeolitic tuffs are qualified puzzolanas. Though perlitic tuffs can also be utilized alone, it is better to prepare a proper blend with zeolitic tuffs. Besides the opinion that the natural puzzolanas never effect the 7 day strengths is controversial.

To determine the durability of portland cement and 24, 28, 32 percent additive containing cements, reference samples were produced from the same clinker. The mortars prepared with these cement were water cured at normal conditions for 28 days and following 12 weeks in water and in sulphate solution.

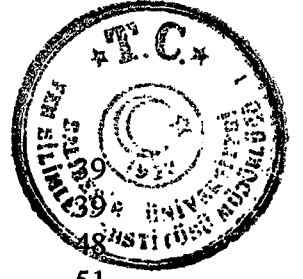
The results indicated that the mixes increased the durability of the mortar in environments containing sulphate ions, when compared with portland cement. This conclusion is much more evident in zeolite added mortars. But additive ratio is very important. Etringite mineral was detected in X-Ray diffraction analyses of reference sample but not in additive mixed mortars. Thereof it can be once more concluded that puzzolona mixed cements appear to be able to improve sulphate resistance.

**KEY WORDS:** Cement/ puzzolana/mixed cement/zeolite/zeolitic tuff/durability/mortar.



## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	
ÖZ, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
FOTOĞRAF LİSTESİ	xi
<b>BÖLÜM-1 GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Genel Bilgiler	2
1.1.1. Çimento	2
1.1.1.1 Çimento Üretimi	2
1.1.1.2 Çimentolarda Karmaşık Bileşenler	4
1.1.1.3. Fiziksel Özellikler	6
1.1.1.4. Çimento Hidratasyonu	7
1.1.1.5. Puzolanlı Çimentolar	8
1.1.2. Puzolan	8
1.1.2.1. Puzolanların Sınıflandırılması	9
1.1.2.2. Puzolanik Aktivite	11
1.1.2.3. Puzolan Katkıların Beton Özelliklerine Etkileri	12
1.1.2.4. Traslı Çimento (TÇ 32.5)	14
1.1.2.5. Katkılı Çimento (KÇ 32.5)	15
1.1.3. Zeolit	15
1.1.3.1. Zeolitlerin Kullanım Alanları	17
1.1.4. Dayanıklılık	18
1.1.4.1. Sülfat Etkisi	19
1.2. Araştırmanın Gerekçesi ve Amacı	20
1.3. Araştırmanın Kapsamı	21
1.4. İnceleme Alanı Coğrafi Konumu	22
<b>BÖLÜM-2 GENEL JEOLJİ</b>	<b>23</b>
2.1. Önceki Çalışmalar	23
2.2. Bigadiç ve Turnatepenin Jeolojisi	24
2.3. Saha İncelemeleri	26
2.3.1. Bigadiç Bölgesi Saha İncelemeleri	26
2.3.2. Bigadiç-Balıkesir Yolu Saha İncelemeleri	34
2.3.3 Turnatepe (Balıkesir) Saha İncelemeleri	34
2.4. Sonuçlar	38

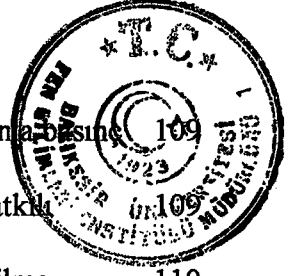


<b>BÖLÜM-3 HAMMADDE ÖZELLİKLERİ</b>	
3.1. Petrografik İnceleme	
3.2. X-Ray Difraktometre İncelemesi	
3.2.1. X-Ray Difraktometre İncelemelerinin Değerlendirilmesi	51
3.3. Teknolojik İnceleme	51
3.3.1. Teknolojik Özelliklerin Değerlendirilmesi	52
3.4. Kimyasal İnceleme	53
<b>BÖLÜM-4 PUZOLAN ve PUZOLANLI ÇİMENTOLAR</b>	54
4.1. Puzolanlar	54
4.1.1 Fiziksel Deneyler	54
4.1.2. Kimyasal Deneyler	59
4.1.3. Puzolanik Aktivite Deneyi	62
4.2. Puzolanlı Çimentolar	64
4.2.1. Kimyasal Deneyler	65
4.2.2. Fiziksel Deneyler	66
4.2.3. Harç Deneyleri	66
4.2.3.1. Çimento Hamuru Üzerine Yapılan Deneyler	66
4.2.3.2. Mekanik Deneyler	68
4.2.4. Puzolanlı Çimento Deney Sonuçları	69
4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	81
4.3.1. Öğütülebilirlik	81
4.3.2. Camsı Faz ve Puzolanik Aktivite İlişkileri	82
4.3.3. H <sub>2</sub> O Sonuçları	83
4.3.4. Puzolanlı Çimentoların Mekanik Deney Sonuçları	85
<b>BÖLÜM-5 DAYANIKLILIK</b>	93
5.1. Eğilme ve Basınç Mukavemeti Deneyleri	94
5.2. Kararlılık Deneyleri	97
5.3. Boşluk Durumu Deneyleri	100
5.4. Dayanıklılık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	103
5.4.1. Basınç Mukavemeti Sonuçları	103
5.4.2. Eğilme Mukavemeti Sonuçları	110
5.4.3. Kararlılık Deney Sonuçları	114
5.4.4. Boşluk Durumu Deney Sonuçları	123
5.5. Harçların Mineralojik Yapı İncelemesi	127
<b>BÖLÜM-6 SONUÇLAR</b>	130
<b>KAYNAKLAR</b>	135
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	140



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Numarası	Adı	Sayfa
Şekil 1.1	Natrolit grubu zeolit kristal yapısını oluşturan dört yüzeylilerin zincir bağlanması.	16
Şekil 1.2	Yer bulduru haritası.	22
Şekil 2.1	Bigadiç boratlı Neojen serilerinin enine kesiti.	24
Şekil 2.2	Tülü Ovası zeolitli üsttüflerin jeoloji haritası.	27
Şekil 2.3	Bigadiç Bölgesinde incelenen tüflerin jeoloji haritası.	28
Şekil 2.4	Bigadiç Kırüstü Tepe Tülü Açık Ocak boratlı seviyeler ve üsttüflerin konumu.	29
Şekil 2.5	Turnatepe sahası tüfleri jeoloji haritası.	37
Şekil 3.1	Üsttüfe ait difraktogram.	49
Şekil 3.2	Alttüfe ait difraktogram.	49
Şekil 3.3	Turnatepe Perlitik Tüfe ait difraktogram.	50
Şekil 3.4	Turnatepe Breşik Tüfe ait difraktogram.	50
Şekil 4.1	Puzolanların regresyon analizleri grafiği.	82
Şekil 4.2	Puzolanların fazla H <sub>2</sub> O ihtiyaçları.	84
Şekil 4.3	Katkılı harçların 2 günlük basınç mukavemetleri.	86
Şekil 4.4	Katkılı harçların 7 günlük basınç mukavemetleri.	87
Şekil 4.5	Katkılı harçların 28 günlük basınç mukavemetleri.	87
Şekil 4.6	%24 Üsttuf ve Alttuf katkılı harmanların zamanla basınç mukavemetleri değişimi.	89
Şekil 4.7	%26 Üsttuf ve Alttuf katkılı harmanların zamanla basınç mukavemetleri değişimi.	89
Şekil 4.8	%28 Üsttuf ve Alttuf katkılı harmanların zamanla basınç mukavemetleri değişimi.	90
Şekil 4.9	%24 katkı oranında Tutnatepe Perlitik ve Turnatepe Breş harmanlarının zamanla basınç mukavemeti değişimleri.	91
Şekil 4.10	%26 katkı oranında Tutnatepe Perlitik ve Turnatepe Breş harmanlarının zamanla basınç mukavemeti değişimleri.	92
Şekil 4.11	%28 katkı oranında Tutnatepe Perlitik ve Turnatepe Breş harmanlarının zamanla basınç mukavemeti değişimleri.	92
Şekil 5.1	Suda bekletilen %24 katkılı harçların basınç mukavemetlerinin zamanla değişimi.	104
Şekil 5.2	Suda bekletilen %28 katkılı harçların basınç mukavemetlerinin zamanla değişimi.	104
Şekil 5.3	Suda bekletilen %32 katkılı harçların basınç mukavemetlerinin zamanla değişimi.	105
Şekil 5.4	Suda bekletilen katkılı harçların 12. hafta sonunda basınç mukavemeti değişimleri.	105
Şekil 5.5	Sülfat çözeltisinde bekletilen %24 katkılı harçların ve şahit harcın basınç mukavemetlerinin zamanla değişimi.	107
Şekil 5.6	Sülfat çözeltisinde bekletilen %28 katkılı harçların ve şahit harcın basınç mukavemetlerinin zamanla değişimi.	107
Şekil 5.7	Sülfat çözeltisinde bekletilen %32 katkılı harçların ve şahit harcın basınç mukavemetlerinin zamanla değişimi.	108

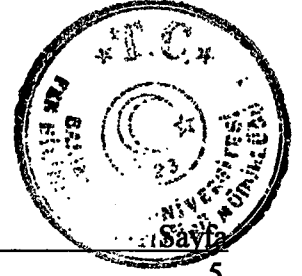


Şekil 5.8	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen şahit harçların zamanla basınç mukavemeti değişimleri.	109
Şekil 5.9	12. hafta sonunda su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen katkı harçların basınç mukavemeti değişimleri.	
Şekil 5.10	Suda bekletilen %24 katkıli harçların ve şahit harcın eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimi.	110
Şekil 5.11	Suda bekletilen %28 katkıli harçların ve şahit harcın eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimi.	111
Şekil 5.12	Suda bekletilen %32 katkıli harçların ve şahit harcın eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimi.	111
Şekil 5.13	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %24 katkıli harçların ve şahit harcın eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimi.	112
Şekil 5.14	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %28 katkıli harçların ve şahit harcın eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimi.	112
Şekil 5.15	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %32 katkıli harçların ve şahit harcın eğilme mukavemetlerinin zamanla değişimi.	113
Şekil 5.16	12. hafta sonunda su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen katkıli harçların eğilme mukavemeti değişimleri.	113
Şekil 5.17	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen şahit harçların zamanla eğilme mukavemeti değişimleri.	114
Şekil 5.18	Suda bekletilen %24 katkıli harçlarda ve şahit harçda ağırlık değişimleri.	115
Şekil 5.19	Suda bekletilen %28 katkıli harçlarda ve şahit harçda ağırlık değişimleri.	115
Şekil 5.20	Suda bekletilen %32 katkıli harçlarda ve şahit harçda ağırlık değişimleri.	116
Şekil 5.21	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %24 katkıli harçlarda ve şahit harçda ağırlık değişimleri.	116
Şekil 5.22	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %28 katkıli harçlarda ve şahit harçda ağırlık değişimleri.	117
Şekil 5.23	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %32 katkıli harçlarda ve şahit harçda ağırlık değişimleri.	117
Şekil 5.24	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen şahit harçların zamanla ağırlık değişimleri.	118
Şekil 5.25	12. hafta sonunda su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen katkıli harçların ağırlık değişimleri.	118
Şekil 5.26	Suda bekletilen %24 katkıli harçlarda ve şahit harçda boy değişimleri.	119
Şekil 5.27	Suda bekletilen %28 katkıli harçlarda ve şahit harçda boy değişimleri.	119
Şekil 5.28	Suda bekletilen %32 katkıli harçlarda ve şahit harçda boy değişimleri.	120
Şekil 5.29	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %24 katkıli harçlarda ve şahit harçda boy değişimleri.	120
Şekil 5.30	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %28 katkıli harçlarda ve şahit harçda boy değişimleri.	121
Şekil 5.31	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %32 katkıli harçlarda ve şahit harçda boy değişimleri.	121



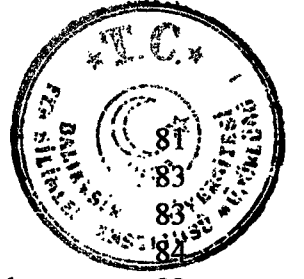


Şekil 5.32	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen şahit harçların zamanla boy değişimleri.	122
Şekil 5.33	12. hafta sonunda su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen katkı harçların boy değişimleri.	122
Şekil 5.34	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen üsttuf katkılı harçların kılcallık katsayılarının 4.ve12. kür haftalarında katkı miktarı ile değişimi.	123
Şekil 5.35	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen alttuf katkılı harçların kılcallık katsayılarının 4. ve 12. kür haftalarında katkı miktarı ile değişimi.	124
Şekil 5.36	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen Turnatepe Perlitik katkılı harçların kılcallık katsayılarının 4. ve 12. kür haftalarında katkı miktarı ile değişimi.	124
Şekil 5.37	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen Üsttuf katkılı harçların su emme değerinin 4. ve 12. kür haftalarında katkı miktarı ile değişimi.	125
Şekil 5.38	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen Alttuf katkılı harçların su emme değerinin 4. ve 12. kür haftalarında katkı miktarı ile değişimi.	125
Şekil 5.39	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen Turnatepe Perlitik katkılı harçların su emme değerinin 4. ve 12. kür haftalarında katkı miktarı ile değişimi.	126
Şekil 5.40	Suda bekletilen katkılı harçlarda 12. gün sonunda katkı miktarına göre birim ağırlık değişimleri.	126
Şekil 5.41	Sülfat çözeltilisinde bekletilen katkılı harçlarda 12. gün sonunda katkı miktarına göre birim ağırlık değişimleri.	127
Şekil 5.42	Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen şahit harcın zamanla birim ağırlık değişimi.	127
Şekil 5.43	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %24 Turnatepe perlitik katkılı harcın 12.hafta sonunda difraktometresi.	128
Şekil 5.44	Sülfat çözeltilisinde bekletilen şahit harcın 12.hafta sonunda difraktometresi.	128
Şekil 5.45	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %24 üsttuf katkılı harcın 12.hafta sonunda difraktometresi.	129
Şekil 5.46	Sülfat çözeltilisinde bekletilen %24 alttuf katkılı harcın 12.hafta sonunda difraktometresi.	129

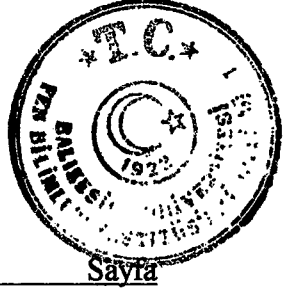


## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge Numarası	Adı	Sayfa
Çizelge 1.1	Balıkesir ve Söke Çimento Fabrikalarında üretilen klinkerin mineralojisi.	5
Çizelge 1.2	Doğal puzolanlar.	9
Çizelge 1.3	TS 25 'e göre bir trasda aranması gereken özellikler.	12
Çizelge 1.4	Traslı çimentonun kimyasal özellikleri.	14
Çizelge 1.5	Traslı çimento basınç mukavemeti değerleri.	14
Çizelge 1.6	Katkılı çimento kimyasal özellikleri.	15
Çizelge 1.7	Katkılı çimento basınç mukavemeti değerleri.	15
Çizelge 2.1	Bigadiç-Turnatepe Bölgeleri tüflerinin saha özellikleri.	38
Çizelge 3.1	Bigadiç ve Turnatepe tüflerinin X-ray difraktometre verileri.	48
Çizelge 3.2	Bigadiç ve Turnatepe tüflerinin teknolojik özellikleri.	52
Çizelge 3.3	Bigadiç ve Turnatepe tüflerinin kimyasal analizleri, kızdırma kaybı ve çözünmeyen kalıntı miktarları.	53
Çizelge 4.1	Üsttüfün blain, özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları.	57
Çizelge 4.2	Alttüfün blain, özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları.	57
Çizelge 4.3	Turnatepe Perlitik puzolanının blain, özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları.	57
Çizelge 4.4	Turnatepe Breşinin blain, özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları.	57
Çizelge 4.5	Sultançayır puzolanının blain, özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları.	58
Çizelge 4.6	Pamukçu Üst puzolanının blain, özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları.	58
Çizelge 4.7	Pamukçu Alt puzolanının blain, özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları.	58
Çizelge 4.8	Üçpınar puzolanının blain, özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları.	58
Çizelge 4.9	Puzolanların kimyasal analizleri, kızdırma kaybı ve çözünmeyen kalıntı miktarları.	62
Çizelge 4.10	Standart kumun granülometrik bileşimi.	63
Çizelge 4.11	Puzolanik aktivite harç karışım miktarları.	63
Çizelge 4.12	Puzolanik aktivite, eğilme ve basınç mukavemeti değerleri.	63
Çizelge 4.13	Çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları.	73
Çizelge 4.14	Hazırlanan çimentoların kimyasal analizleri.	74
Çizelge 4.15	Hazırlanan çimentoların elek analizleri ve blain değerleri.	74
Çizelge 4.16	Hamur ve harç karışım sonuçları.	75
Çizelge 4.17	Çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları.	76
Çizelge 4.18	Hazırlanan çimentoların kimyasal analizleri.	77
Çizelge 4.19	Hazırlanan çimentoların elek analizleri ve blain değerleri.	77
Çizelge 4.20	Hamur ve harç karışım sonuçları.	78
Çizelge 4.21	Çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları.	79
Çizelge 4.22	Hazırlanan çimentoların kimyasal analizleri.	79
Çizelge 4.23	Hazırlanan çimentoların elek analizleri ve blain değerleri.	80
Çizelge 4.24	Hamur ve harç karışım sonuçları.	80

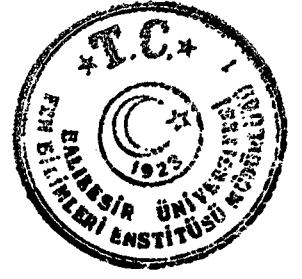


Çizelge 4.25	Puzolanların regresyon analizleri.	
Çizelge 4.26	Puzolanların camsı faz ve mineralojik analizleri.	
Çizelge 4.27	Camsı faz ve puzolanik aktivite ilişkisi.	
Çizelge 4.28	Puzolanların fazla H <sub>2</sub> O ihtiyaçları.	
Çizelge 5.1	Çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları.	93
Çizelge 5.2	Hazırlanan çimentoların incelik ve kimyasal analizleri.	
Çizelge 5.3	Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemeti sonuçları (kg/cm <sup>2</sup> ).	94
Çizelge 5.4	Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların eğilme mukavemeti sonuçları (kg/cm <sup>2</sup> ).	96
Çizelge 5.5	Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların ağırlık değişim değerleri (%).	97
Çizelge 5.6	Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların boy değişim değerleri ( $\times 10^{-6}$ $\mu$ /mm).	98
Çizelge 5.7	Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların kılcallık katsayıları (cm <sup>2</sup> /s).	101
Çizelge 5.8	Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların su emme değerleri (%).	102
Çizelge 5.9	Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların birim ağırlık değerleri (%).	102



## FOTOĞRAF LİSTESİ

Fotoğraf Numarası	Adı	Sayfa
Foto 2.1	Kırüstü tepe Tülü Ovası borat işletmesi.	30
Foto 2.2	Kırüstü tepe, Üsttüfler.	30
Foto 2.3	İskele köyü kuzey batı kesiminden yüzeydeki Üsttüflerin görünümü.	31
Foto 2.4	Etibank Bor İşletmesi, açık ocak.	32
Foto 2.5	Salmanlı köyü tüfleri.	32
Foto 2.6	Salmanlı köyü tüfleri.	33
Foto 2.7	Salmanlı köyü tüfleri.	33
Foto 2.8	Kadıköy-Değirmenli arası ince taneli tüfler.	35
Foto 2.9	Dedeçınar köyü, alttüfler.	35
Foto 2.10	Turnatepe tras ocağında Perlitik ve Breş zonları.	36
Foto 2.11	Turnatepe Perlitik tüfleri.	36
Foto 3.1	İnce kesit No:1. Tülü Ovası tüfünün (Üsttuf) mikroskopik görünümü. Çapraz nikol. X 150.	46
Foto 3.2	İnce kesit No:2. Salmanlı köyü tüfünün mikroskopik görünümü. Çapraz nikol. X 150.	46
Foto 3.3	İncekesit No:6. Dedeçınar köyü tüfünün mikroskopik görünümü. Çapraz nikol. X 75.	47
Foto 3.4	İnce kesit No:7 Turnatepe Perlitik tüfün mikroskopik görünümü. Paralel ışık. X 75.	47
Foto 4.1	Alpin incelik cihazı.	56
Foto 4.2	Özgül ağırlık ve blain aleti.	56
Foto 4.3	Çözünmeyen kalıntı deney düzeni.	60
Foto 4.4	X-Ray Spektrometre cihazı.	60
Foto 4.5	Perl hazırlama cihazı.	61
Foto 4.6	X-Ray Spektrometre için hazırlanan perller.	61
Foto 4.7	Otomatik harç karıştırıcı.	70
Foto 4.8	Otomatik sarsma tablası ve standart kalıplar.	70
Foto 4.9	Otomatik sarsma tablası.	71
Foto 4.10	Rutubet dolabı.	71
Foto 4.11	Eğilmede çekme cihazı.	72
Foto 4.12	Basınç mukavemeti cihazı.	72
Foto 5.1	Suda bekletilen harç numuneleri.	95
Foto 5.2	Sülfatlı suda bekletilen harç numuneleri ve pHmetre.	95
Foto 5.3	Pimli standart kalıplar.	99
Foto 5.4	Boy ölçüm aleti.	99



## BÖLÜM-1

### GİRİŞ

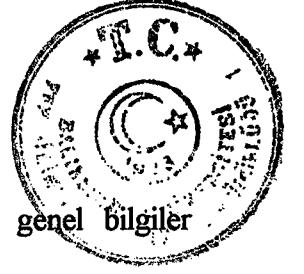
Yapı mühendisliğinin temel malzemelerinden olan çimento, yapının dayanımı ve maliyeti bakımından önemli bir yere sahiptir. İnşaat sektöründeki gelişmeye paralel olarak çimento tüketimi de artmaktadır. Çimento üreticileri açısından, üretimin minimum maliyette yapılması ve talebin karşılanması, yapımcı ve kontrollük açısından ise daha ucuz, güvenli ve dayanımı yüksek malzemelerin kullanılması istenmektedir. Ülkemizde rezerv olarak bol miktarda bulunan trasın belirli oranlarda katkı olarak kullanıldığı traşlı çimento üretilmekte ve tüketilmektedir. Ancak traşlı çimentolar ile ilgili olarak yapılan araştırmaların yeter düzeyde olmaması, bu malzeme ile üretilen betonların dayanımı hakkında ortaya atılan asılsız haberler, üreticileri ve tüketicileri tedirgin etmektedir.

Bu araştırmada Balıkesir İli Bigadiç İlçesi zeolitik tüfleri ve Balıkesir SET Çimento Fabrikası Turnatepe sahasından çıkarılan perlitik (camsal) tüflerin ve bunlara alternatif olarak değerlendirilebilecek bazı volkanik tüflerin, çimento katkı maddesi olarak değerlendirilebilmesi araştırılmıştır.

Bigadiç zeolitik tüfleri iki tiptir. Bunlardan birincisi Etibank Bor işletmelerinde dekapaj malzemesi olan, %98 zeolitik Üsttuf, ikincisi Balıkesir-Bigadiç yolu Dedeçınar mevkiinden çıkarılan %65 zeolitik Alttüftür. Turnatepe sahasından çıkarılan perlitik tüfler ise, %71.4 camsı fazdadır.

Sahalardan derlenen numuneler üzerinde yapılan puzolanik aktivite testlerine göre zeolitik tüfler yüksek kaliteli puzolandır. Bu tüfler kolay öğütülebilmekte, bunlarla üretilen katkı çimentoların eğilme ve basınç mukavemetleri standartların çok üstündedir. Fakat bu tüfler biraz fazla suya ihtiyaç göstermektedir. Turnatepe Perlitik tüfleri de kaliteli bir puzolan olmakla beraber, zor öğütülebilmekte, puzolanik aktivitesi yüksek ve fazla suya ihtiyaç göstermemektedir. Ancak, Turnatepe perlitik tüfleriyle üretilen katkı çimentoların eğilme ve basınç mukavemetleri standartların çok az üstündedir. Her iki puzolanın da en iyi şekilde değerlendirilebilmesi için, uygun harmanlarda birlikte kullanılması gerekir.

Çalışmada, zeolitik ve perlitik tüflerle üretilen çimentolarla hazırlanan harçların dayanıklılıkları sülfath ortamda portland çimentosuyla karşılaştırılmıştır.



## 1.1. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde çimento, puzolan, zeolit ve dayanıklılık konularında genel bilgiler verilmiştir.

### 1.1.1. ÇİMENTO

Çimento sözcüğü, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince (caementum) sözcüğünden türemiştir (ERDOĞAN 1995). Çimento, inşaat teknolojisine göre yapı malzemeleri grubuna giren hidrolik bağlayıcı bir inşaat malzemesidir. Çimentoya özelliklerini kazandıran iki önemli öğeden biri hammadde bileşimi, diğeri ise klinkerin ısısal işlemleridir. Klinker bileşimi esas olarak hammadde karışımının kompozisyonuna sıkı sıkıya bağlıdır. Ayrıca kullanılan yakıt cinsi ve yakıt içinde kül meydana getiren maddeler de klinker bileşimini etkileyen faktörlerdir.

Çimento üretimi kompleks bir işlemdir ve büyük tesislere ihtiyaç göstermektedir. Çimentonun temel maddeleri kireçtaşı ve kildir. Kireç bir bazdır. Silis, alümin ve demiroksitle birleşme özelliği vardır. Kil, saf olmayan alüminyum, kalsiyum ve demir silikattır. Çimento üretiminde gaye bu maddeleri belirli oranlarda karıştırmak ve yüksek sıcaklıkta (1400-1500°C) pişirmektir. Yüksek sıcaklıkta temel maddeler değişikliğe uğrar. Kireçtaşından CaO, kilden SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> meydana gelir. Bu maddeler yine yüksek sıcaklıkta aralarında birleşerek çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran silikat ve alüminatları meydana getirirler. Çimento üretiminde hammadde olarak, klinkere %3-6 oranında alçıtaşı (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) katılır. Klinker ve alçıtaşı birlikte öğütülür. Alçıtaşının görevi, çimentoda donma süresini ayarlamaktır. Klinkere öğütme sırasında katkı maddesi olarak %2-3 gibi az bir oranda, kireçtaşı da katılmaktadır. Kireçtaşı klinkerden daha kolay öğütülebilen bir malzemedir. Böylece klinker daha iri, kireçtaşı taneleri daha küçük olur ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak çimentonun mukavemetini ve işlenebilirliğini artırır, kolay yayılmasını sağlar (POSTACIOĞLU 1986).

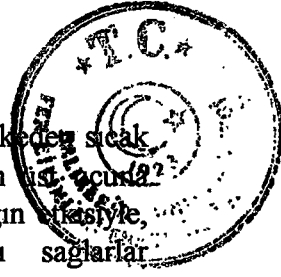
#### 1.1.1.1. ÇİMENTO ÜRETİMİ

Portland çimentosu klinkerinin ve buna bağlı olarak portland çimentosunun üretiminde kullanılan iki ana hammadde vardır (TAŞKIN 1985).

1-Kalsiyum Karbonatlı malzemeler: Kireçtaşı, mermer, marn, tebeşir, vd.

2-Killi malzemeler: İçerisinde önemli miktarda alüminyum ve silis bulunan kil, şeyl, marn, şist gibi.

Hammaddelerin analizi sonunda birbirine karıştırılacak kalsiyum karbonat ve kil miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Hammaddelerin uygun oranlarda karışımını hem daha hassas yapabilmek, hem de bu maddelerin fırında daha iyi ve üniform pişirilmelerini sağlayabilmek için hammaddeler pişirilmeden önce ince olarak öğütülür ve elde edilen bu malzemeye **farin** denilir. Farin ekseni etrafında yavaşça döndüğü için döner fırın adı verilen ve yaklaşık %3-4 eğimle yatay olarak yerleştirilmiş silindir şeklindeki fırınlarda 1350-1450°C civarında pişirilir. Farin yaş veya kuru sistem olarak hazırlanabilmektedir. Kuru sistemde, hazırlanmış olan malzeme karışımı, genel olarak, döner fırına girmeden önce ön ısıtıcı denilen ve döner fırının üst ucuyla dikey bağlantısı olan bir kulede ısıtma işlemi görmekte ve bunu takiben döner fırının üst ucuna



girmektedir. İlk önce ön ısıtıcılara giren malzeme karışımı döner fırını terk eden sıcak gazlar ile yaklaşık 800-900°C 'ta kadar pişirildikten sonra döner fırının ısıtıcısında beslenmektedir. Fırın içerisinde pişirilen hammaddeler, uygulanan sıcaklığın etkisiyle, kimyasal olaylar sonucunda **klinker** denilen ürünün oluşmasını sağlarlar (KOCATAŞKIN 1978).

Pişmiş malzeme (klinker) fırının altında toplanır ve buradan soğutucuya sevk edilir. Klinkerin hızlı bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Ani olarak soğutma yapılmazsa klinkerdeki kimyasal reaksiyonlar sıcaklığın etkisi ile devam ederek tersine gelişmeye başlar. Soğutma için, hava akımı sağlayan döner soğutucular kullanılmaktadır. Klinker fırın çıkışı 1450°C → Soğutma 1200°C → Çıkış 100-50°C.

Eğer üretici iyi pişmemiş (normalin altında veya fazla pişmiş) klinkerin CaO 'dini hidrate etmeyi unutmuşsa, klinkeri fırın çıkışında ıslatmamış veya öğütme esnasında su püskürtmemişse, CaO kristalleri, beton yüzeyinde kabarcık oluşmasına; eğer büyük klinker tanecikleri içerisinde büyük kristal olarak saklı ise, yapılarda geç genleşmelere neden olabilir (BARADAN 1994).

Farin yüksek sıcaklıktaki fırınlara sevk edildikten sonra sıra ile şu olaylar meydana gelir:

- 1- 100 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda farinde bulunan su buharlaşır.
- 2- 500-600 °C civarında kilde bulunan en önemli madde kaolinitten ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) su moleküllerinin ayrışması, ile bu madde ayrışır. Ayrışma sonunda amorf silis, amorf alümin, meydana gelir. Daha yüksek sıcaklıkta amorf alümin kristal alümine dönüşür.
- 3- Kalsiyum karbonat ile kuvars arasındaki reaksiyonlar 550-600°C 'de gayet yavaş bir şekilde başlar. Fakat 900°C 'de kalsiyum karbonatın ayrışmasından sonra bu reaksiyonlar önemli derecede hızlanır. Killi minerallerle  $\text{CaCO}_3$  'ün birleşmesi katı durumdan şekil değiştirmesi ile oluşur. Önce kireç bakımından fakir bileşikler meydana gelir. CA ısı artışı ile değişikliğe uğrayarak kireççe zenginleşir (örneğin:  $\text{C}_3\text{A}$ ).Düşük sıcaklıklarda serbest CaO görünmez. Serbest CaO;  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ile birleşir. 900°C 'den sonra büyük miktarda S.CaO (Serbest Kalsiyumoksit) çıkar. CaO,  $\text{CaCO}_3$  'tan maksimum miktarda ayrılır. S.CaO pişme ürünleri arasında asla bulunmaz. 850-950°C diliminde  $\text{CaCO}_3$  'ın parçalanması sebebiyle CaO 'in özel bir reaktif durumu vardır. Çok şiddetli bir şekilde yeni mineraller oluşur.
- 4- 1200°C 'den sonra kireçle silisin birleşmesi yani silikatların oluşumu belirli bir şekilde başlar. Fırındaki sıcaklığın artması 1500°C 'ye ulaşması ile bu reaksiyonlar çok daha hızlanır. Bu arada kireçle alüminin birleşmesiyle alüminatlar meydana gelir. Genel olarak fırının başından sonuna kadar olan reaksiyonlar için 2.5 saatlik bir zaman gerekmektedir. Fırında meydana gelen reaksiyonlar kısmen katı halde bulunan elemanlar arasında oluşmaktadır.

Soğutucudan çıkan klinkerin boyutları 1-25 mm arasında değişen tanelerden ibarettir. Öğütülmemiş klinkerin su ile reaksiyonu ve bağlayıcılık özelliği azdır. Klinker ancak ince olarak öğütüldüğünde bağlayıcılık özelliği kazanır (POSTAÇIOĞLU 1986).



Klinkere, çimentonun priz süresini düzenlemek için %3-6 oranında alçıtaşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) katılır. Alçıtaşı katılmamış çimentodaki  $\text{C}_3\text{A}$ , çimentonun çabuk donmasına ve betonun istenilen şekilde dökülmemesine neden olur.  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  diğer geciktiriciler gibi yalnızca katkı maddesi değil çimentoyu oluşturan maddelerdendir. Alüminatlarla birleşerek kalsiyum trisülfoalüminat ( $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ) ve monosülfoalüminat ( $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) oluşturur. Bunlardan monosülfoalüminatın çözünürlüğü düşük olduğu için hidrolik özelliğe sahiptir. Trisülfoalüminatın oluşabilmesi için ise sıvının  $\text{CaSO}_4$  olarak konsantrasyonu 6 mg/lt 'yi geçmesi gerekmektedir. Çimentoda  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  'dan başka sülfat kullanılmamaktadır çünkü; alçıtaşının nakliyesi kolay, diğer sülfatlardan ucuz, kolay öğütülebilir, çimento rengini değiştirmez ve çözeltiye geçme hızı çimento içerisindeki tüketimine uygun yapıdadır .

Klinker ve alçıtaşının çelik bilyalı değirmenlerde  $90\mu$  ile  $6.5\mu$  arasında değişen boyutlara kadar öğütülmesi ile portland çimentosu elde edilir. Çimentoda  $50\mu$  'dan büyük taneciklerde hidratlaşma yok denecek kadar azdır. Bu taneler duyarlıdır. Çimentonun inceliği istenilen mukavemetleri tutacak kadar ince, çimento değirmeninin kapasitesini düşürmeyecek kadar yüksek değerde tutulmalıdır.

Öğütülen çimento silolara sevk edilir. Burada gerekli süre bekletilerek soğutulur ve kararlı bir durum alması sağlanır. Buradan 50 kg 'lık torbalar halinde paketlenerek veya dökme çimento olarak piyasaya sunulur.

#### 1.1.1.2. ÇİMENTOLARDA KARMAŞIK BİLEŞENLER

Çimentoyu oluşturan elemanların fırında birbiriyle birleşmeleri sonucunda karmaşık bileşenler meydana gelir. Bu karmaşık bileşenlerin en önemlileri silisin kireçle birleşmesi sonunda meydana gelen kalsiyum silikatlar ve alüminin yine kireçle birleşmesi ile oluşan kalsiyum alüminatlarıdır (ÖZALP 1990).

Klinkerin mineralojik yapısını meydana getiren 4 ana bileşen vardır. Bunlar;

	<u>%Miktar</u>	<u>Ortalama</u>
$\text{C}_3\text{S}$ ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) (Alit) (Tri-kalsiyum Silikat)	%50 - 75	%55
$\text{C}_2\text{S}$ ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) (Belit) (Di-kalsiyum Silikat)	%7 - 30	%23
$\text{C}_3\text{A}$ ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Tri-kalsiyum Alüminat)	%0 - 16	%10
$\text{C}_4\text{AF}$ ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Tetrakalsiyum Alümina Ferrit)	%4 - 20	%12

$\text{C}_3\text{S}$  ve  $\text{C}_2\text{S}$  çimentonun dayanımına etki eden bileşenlerdir. Bunlardan  $\text{C}_3\text{S}$  çimentoya ilk dayanımı kazandırır,  $\text{C}_2\text{S}$  ise son dayanıma etki eder.  $\text{C}_2\text{S}$  'in ilk dayanıma etkisi azdır ve hidratasyon ısı  $\text{C}_3\text{S}$  'den daha azdır. Hidratasyon sonucu meydana gelen kalsiyum hidroksit,  $\text{C}_3\text{S}$  'e oranla üç defa daha azdır.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  'nin teşekkülü iki





bakımdan önemlidir. Bu madde suda eriyebilir. Bu bakımdan yapı devamlı su içinde bulunuyorsa, buradaki beton,  $\text{Ca(OH)}_2$  'nin devamlı bir şekilde erimesi sonunda, gittikçe boşluklu bir hal alacak ve bir müddet sonra mukavemetin azalması ile parçalanacaktır. Yani  $\text{Ca(OH)}_2$  'nin teşekkül etmesi çimentonun kimyasal mukavemetinin düşük olmasına neden olacaktır. Diğer sakıncası  $\text{Ca(OH)}_2$  'nin mekanik mukavemetinin düşük olmasıdır (ERDİNÇ 1996).

Yüksek bir  $\text{C}_3\text{S}$  yüzdesi ilk dayanımın yüksek olmasını ve düşük bir  $\text{C}_2\text{S}$  yüzdesi yüksek ısı yayılmasını sağlar. Bunun karşıtı ise dayanımın ağır artmasına ve düşük düzeyde ısı yayılmasına neden olur.

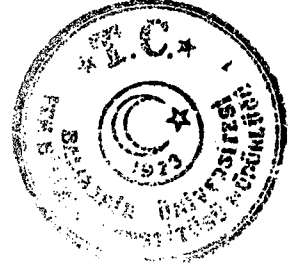
$\text{C}_3\text{A}$  hidratasyonu en hızlı olan bileşendir. Hidratasyon ısısı çok yüksektir.  $\text{C}_3\text{A}$  aynı miktardaki diğer bileşenlerden daha fazla ısı meydana getirir. Kısa zamanda priz ve sertleşme yapar. Kimyasal etkili agresif sulara dayanıklı değildir. Sülfatlı sular ve sülfatlı zeminlerde  $\text{C}_3\text{A}$  yüzdesi yüksek çimentoların kullanılması sakıncalıdır. Sülfatlara dayanıklı özel çimento üretilmektedir. Bu çimentoda  $\text{C}_3\text{A}$  oranı max %5 ile sınırlandırılmıştır.

$\text{C}_4\text{AF}$  ilk dayanıma etki eder.  $\text{C}_3\text{A}$  'ya yakın hızda hidratasyon yapar ve hidratasyonda yüksek ısı meydana getirir.

$\text{MgO}$  pişirme esnasında başka maddelerle birleşmez. Klinkerin hızlı soğutulması sonucunda amorf bir yapı kazanır. Bu yüzden önemli bir sakınca oluşturmaz. Fakat yavaş soğutmada kristal hale geçer ve varlığı hacim artışlarına neden olur. Balıkesir ve Söke SET çimento fabrikalarında üretilen klinkerlerin mineralojik bileşimi Çizelge 1.1 'de verilmiştir.

Çizelge 1.1: Balıkesir ve Söke Çimento Fabrikalarında Üretilen Klinkerlerin Mineralojisi.

	Balıkesir		Söke	
	min. (%)	max. (%)	min. (%)	max. (%)
SM	2.10	2.30	1.74	1.86
AM	1.46	1.62	1.94	2.09
Kuhl	94.79	99.47	100.1	105.57
$\text{C}_3\text{S}$	42.23	62.87	56.10	69.01
$\text{C}_2\text{S}$	11.02	28.31	2.67	12.72
$\text{C}_3\text{A}$	8.22	9.70	12.61	13.57
$\text{C}_4\text{AF}$	10.8	11.64	10.64	11.25



### 1.1.1.3. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

#### Hammaddelerin İnceliği:

Tane büyüklüğü dağılımı (incelik) her fabrikaya göre değişik olup hammaddelerin özelliğine ve içindeki komponentlere göre değişir. Genellikle farinin inceliği 90 $\mu$  (4900) elek üstü %12, 200 $\mu$  (900) elek üstü %2 civarında olması istenir. Kaba öğütülmüş farinde S.CaO miktarı yüksek olur. Yakıt tüketimi ve pişirme ısısı farin inceliğine orantılı olarak azalır. Hammadde ne kadar ince öğütülürse yüzey alanı o kadar büyür ve dolayısıyla da sinterlenir. Ancak gereğinden fazla ince öğütmek de fazla enerji kullanımını gerektireceğinden önerilmez.

#### Farinin Homojenliği:

Homejenleştirme, çimento üretiminde klinker ve çimento kalitesini büyük ölçüde etkileyen en önemli aşamadır. Fırın malzemesinin iyi homojene edilmesi ana üretim birimlerinin ekonomik çalışmasını da etkiler. Fırına verilen farinin %CaCO<sub>3</sub> cinsinden titrasyonunun  $\pm$ %0.22 'den fazla olmaması gerekir. CaCO<sub>3</sub> miktarının %1 'lik artışı C<sub>3</sub>S 'in %13 artışına, C<sub>2</sub>S 'in de %11.5 azalmasına neden olur. Fırın homojen olmayan farinle beslendiğinde klinker kalitesi bozulacağı gibi, pişme sırasında da sorunlar ortaya çıkacaktır.

#### Çimento İnceliği:

Çimento ince öğütüldüğü oranda toplam yüzey alanı artar ve toplam yüzeyi ne kadar büyük olursa, fizikokimyasal aktifliği de o oranda büyük olur. Pratik olarak 50 $\mu$  'dan büyük tanecikler hemen hemen tamamen duyarsız olmakta ve bu taneciklerin iç kısımlarında hidratlaşma yok denecek kadar yavaş olmaktadır.

Çimentonun öğütülebilirliği mineralojik yapısına bağlıdır. İyi kaliteli klinker daha kolay öğütülebilmekte ve yüksek mukavemet vermektedir. Ayrıca çimentonun inceliğini içindeki katkı maddeleri de etkilemektedir. Traslara çok değişik yapıları olduklarından öğütülebilirlikleri de çok değişiktir. Alçıtaşı kolay öğütülmesine rağmen nemli olması halinde topaklanmaya yatkındır.

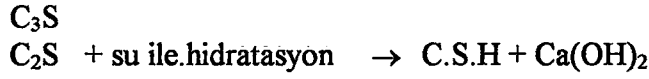
TS 19 'a göre çimento inceliği 4900 elek üstü max. %14, 900 elek üstü max. %1 olarak sınırlandırılmıştır. Özgül yüzey (blain) 2200 cm<sup>2</sup>/g katkılı çimentolarda 2600 cm<sup>2</sup>/g min. değer olarak sınırlandırılmıştır. Ancak katkılı çimentolarda incelik değerlerinin 4900 elek üstünde %0.4 civarında tutulması mukavemet sonuçlarını olumlu yönde etkilemektedir. Çimento inceliği, çimentoda istenilen mukavemetleri verecek kadar ince, çimento değirmeni kapasitesini düşürmeyecek kadar yüksek değerlerde tutulmalıdır.

#### 1.1.1.4. ÇİMENTO HİDRATASYONU

Portland çimentosu su ile birleşince (hidratasyon) meydana gelen reaksiyonlar şöyledir: Karışım önce hafif bir katılaşma gösterir. Buna donma veya priz başlangıcı denilmektedir. Bir süre sonra karışım tamamen sert bir kütle haline geçer, bu duruma priz sonu veya sertleşme denir.

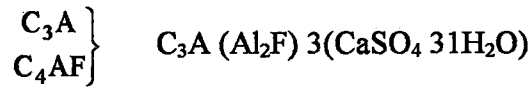
Donma ve katılaşma Le Chatelier 'e göre alçıda olduğu gibi bir kristalleşme ve teşekkül eden kristallerin gelişi güzel birbiri üzerinde keçelenmesi şeklinde açıklanmıştır. Bu arada bir miktarda jelatinimsi ve peltamsi maddeler de oluşmaktadır (POSTACIOĞLU 1986).

Doymuşluk sonunda kristaller çökmekte, jelatinimsi kısımlar bu kristallerin etrafını sarmaktadır. Çimento ana bileşenlerinin su ile hidratasyonunda aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşir:

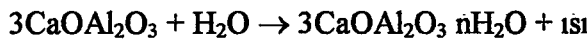


Trikalsiyum alüminat hidratasyon kabiliyeti en yüksek bileşendir. İlk 24 saatlik mukavemeti sağlar. Fakat su ile temasında derhal hidrate olarak hidratasyon ürünü jel  $\text{C}_3\text{S}$  ve  $\text{C}_2\text{S}$  kristallerinin etrafını sararak su ile reaksiyonu yani hidratasyonu önler. Bu durumun önlenmesi için alçıtaşı ilave edilir.

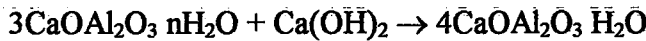
Alçıtaşı su ile derhal çözünerek  $\text{C}_3\text{A}$  ile birleşir. Etringit kristalleri oluşturur.



%3-5 arasında alçıtaşı ilavesinde  $\text{C}_3\text{A}$  'nın tümü etringite dönüşmez geriye kalan hidroliz olur.



Trikalsiyum hidro alüminat, trikalsiyum hidrolizinden açığa çıkan serbest kireçle birleşir:

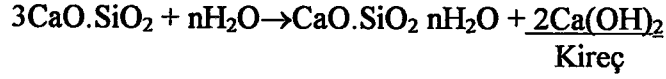


Bu şekilde  $\text{C}_3\text{A}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile reaksiyona girdiğinden  $\text{C}_3\text{S}$  'in hidrolizinin hızlanmasına neden olur.



### 1.1.1.5. PUZOLANLI ÇİMENTOLAR

Çimento su ile temas ettiğinde derhal hidratasyona uğrar daha basit kristalize sert bileşikler meydana getirir. Bu arada bol miktarda serbest kireç açığa çıkar. Örneğin:



Üretim aşamasında oluşan kireç yanında klinker içerisindeki serbest CaO 'ın sönmesiyle meydana gelen Ca(OH)<sub>2</sub> de vardır. Bunlar beton için çok tehlikelidir:

- a- Havadan CO<sub>2</sub> alarak CaCO<sub>3</sub> oluşturur ve hacim artmasından dolayı betonda zamanla çatlaklar meydana getirebilir.
- b- Suların etkisiyle (özellikle sülfatlı sular) derhal çözünür. Sürüklenir ve beton gözenekli hale gelir. Betonda hidratasyon devam ederken devamlı Ca (OH)<sub>2</sub> açığa çıkar.

Puzolan ilavesi ile, beton içerisinde meydana gelen zararlı serbest kireç bağlanır ve mukavemetli yeni bileşikler oluşurlar. Puzolanlar bu nedenle ve kazandırdıkları diğer üstün niteliklerle çimento katkı maddesi olarak kullanılırlar.

### 1.1.2. PUZOLAN

Puzolanlar kendi başlarına herhangi bir bağlayıcılık özelliğine sahip olmasalarda normal sıcaklıklarda, sulu ortamda, kireçle birleşerek bağlayıcılık özelliği kazanan, suda çözünmeyen, kararlı bileşikler oluşturan maddelerdir (MASSAZA 1989).

Puzolan terimi genel bir ifade olmakla beraber puzolanlar, buldukları ülkelere göre özel adlar almıştır. Almanya' da puzolanik özelliklere sahip taşlar ilk kez Ren nehri vadisinde bulunmuştur ve "Tras" adı ile anılmıştır. Puzolanik özelliği iyi, bir başka önemli puzolan ise Santorin toprağıdır. Bu puzolan da Yunanistan'ın Santorin adasında bulunur. Ülkemizde bu tip volkanik tuf karakterli puzolanlara tras denilmektedir. Fakat son yıllarda traslı ve katkılı çimentolara verilen önemin artmasıyla puzolan ismi de gerçek anlamına kavuşmuştur. Ülkemizde İç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz, Akdeniz Bölgelerinde bol miktarda tras kaynakları bulunmaktadır. Türkiye jeoloji haritasında 155 000 km<sup>2</sup> alanı kaplayan volkanik kayalar oluşumlarının varlığı görülmektedir. Bu alan Türkiye yüz ölçümünün hemen hemen 1/5 'i kadardır. Bu değerlere göre ülkemiz tras hammaddesi bakımından oldukça zengindir. Diğer taraftan traslı çimento maliyetinin de daha düşük olduğu bilinmektedir. 1985-1990 yılları arasında üretilen çimentoların %14.6 'lık kısmı traslı çimento iken bu oran 1992-1994 yılları için %36.31 'e çıkmıştır.

TS 25 'e göre "tras; silisli ve alümino silisli volkanik bir tuf olup yalnız başına bulunduğu zaman hidrolik özellik göstermediği halde çok ince öğütüldüğünde sulu ortamda ve kalsiyum hidroksitle birlikte normal sıcaklıkta kimyasal reaksiyona girerek hidrolik özellik gösteren doğal puzolanik bir maddedir."



19. yüzyılın sonlarında portland çimentosunun keşfedilmesiyle puzolanik çimentonun pratik kullanımında azalma görülmüştür. Ülkemizde 1950 yılından sonra portland çimentosu ile puzolanik madde kombinasyonlarının kullanıldığı beton ve harçların bağlayıcılık özelliklerinde etkili yararlar görülerek puzolanlar, çimento malzemesi olarak kabul edilmiştir (TAŞKIN 1985).

### 1.1.2.1. PUZOLANLARIN SINIFLANDIRILMASI

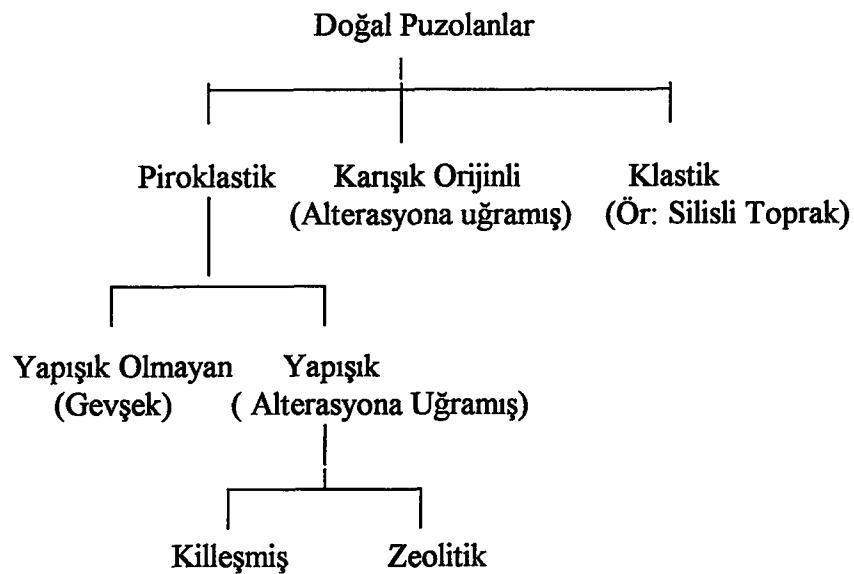
Puzolanlar oluşum şekillerine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal ya da yapay bütün puzolanlar, reaksiyon kapasiteleri açısından üç bileşenden meydana gelirler (MASSAZA 1989):

- Aktif tertip maddeleri: Az ya da çok değişmiş cam fazları, opal, silisli toprak, zeolitler.
- Atıl bileşenler: Zeolitlerden farklılık gösteren kristal fazları (augit, piroksen ve saf çini).
- Zararlı (istenmeyen) bileşenler: Organik maddeler, kalay ve karbon maddeleri.

#### 1 - DOĞAL PUZOLANLAR

Doğal puzolanlar, doğada volkanik kütlelerin bulunduğu yerlerde görülür. Her puzolanın kimyasal yapısı, aktivitesi, bulunduğu bölgeye göre değişir. Doğal puzolanlara örnek olarak volkanik tüfler, tras, diyatome toprağı, pomza taşı verilebilir. Doğal puzolanlar çoğunlukla genç volkanizma ürünüdür. Çizelge 1.2 'de doğal puzolanların çeşitleri yer almıştır.

Çizelge 1.2 : Doğal Puzolanlar (MASSAZA 1989).





Doğal puzolanların çoğu piroklastik kayalardır. Piroklastik kayalar bir volkanik patlama sırasında volkan bacasından havaya fırlatılır. Havaya fırlatılan volkanik parçacıklar zamanla yatak oluştururlar. Piroklastik kayalar oluşumları sırasında koşulların bir sonucu olarak iki önemli karakteristik özelliğe sahiptir:

- a- Maddelerin hızlı soğumasına bağlı olarak fişkırtma sürecinde oluşan sıvı kristalleşmez ve volkanik cam olarak katılaşır.
- b- Yeryüzüne yaklaştığında basınç azalır ve gazların (genellikle H<sub>2</sub>O) serbest kalmasına neden olur.

Boşluklu ve kabarcıklı bir yapı meydana gelir. Bu yapı ya olduğu gibi kalır veya serbest kalan gazların patlayıcı etkisiyle az çok bozularak kavisli ve iğnemi bir yapı oluşur. Her iki durumda da özgül yüzey büyüktür. Fışkıran madde katılaşma sürecinde camsı bir yapı kazanmaya başlar. Fakat, sadece camsı fazdan oluşan piroklastik kaya yoktur. Bunun sebepleri aşağıdadır:

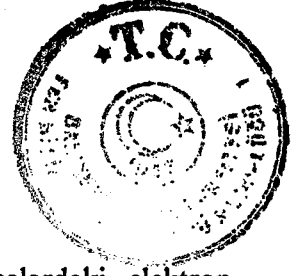
- a- Fışkıran parçacıklar az ya da çok miktarda (%1-60) fenokristaller şeklinde kristalize madde içerirler. Piroklastik kayalarda feldspat, kuvars, biotit, magnetit, hornblend ve ojit en fazla bulunan fenokristallerdir.
- b- Volkanik camsı fazın kimyasal kararsızlığından dolayı, mevcut olan mineraller alterasyona uğrar ve yeni mineraller oluşur. Bu dönüşümün sonucu olarak feldspat ve kristobalit mineralleri meydana gelir. Feldspat ve tridimit önceden oluşan camsı yapının yüzeyindeki gaz fazlarının etkisiyle büyüyebilir. Hava koşullarının kimyasal ve fiziksel değişikliklerin etkisi, zeolitlerin ve kil minerallerinin oluşumuna neden olur. Bu minerallerin en sık görülenleri:
  - Buhar fazında ve /veya devitrifikasyonla meydana gelen mineraller; feldspat, kristobalit, tridimitdir.
  - Bozunma ve diajenezle meydana gelen mineraller; (kil ve zeolit) (LECKEBUSH 1984).

## 2 - YAPAY PUZOLANLAR

Yapay puzolanlar sanayii üretim atığıdır. Yapılarında, doğal puzolanlardaki oksit bileşenler (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO) içermelerinden dolayı puzolan ve üretimdeki reaksiyonlar sonunda oluştukları için de yapay sıfatı verilerek yapay puzolan denilmiştir. Atıktaki silisin aktifliği, puzolanın aktifliğini belirler. Yapay puzolanlar, yüksek fırın curufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külüdür.

### Yüksek Fırın Curufu:

Demir çelik endüstrisinde; yüksek fırında, demir filizi, ergitici (CaCO<sub>3</sub>), kok ile yüksek sıcaklıkta bir dizi reaksiyon sonucu font üretilir. Font üretimi sırasında curuf atık olarak ortaya çıkar. Fırının altından alınan curuf, ani olarak su ile soğutularak granüle halde elde edilir. Curufun puzolanik özellikleri yavaş veya ani soğumaya ve filize göre değişir.



Uçucu Kül:

Termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan kül, bacalardaki elektron filtrelerde veya torbalı filtrelerde tutulur. Filtrelerde gazla katı madde birbirinden ayrılır. Tutulan katı malzemeye uçucu kül denir, çok incedir. Küldeki CaO miktarının düşük veya yüksek olmasına göre puzolanik özellik değişir.

Silis Dumanı:

Silis dumanı, elektrik ark fırınlarında ferrosilikon ve metalik silisyum üretimi sırasında kömürle kuvars indirgenmesi sonucu yan ürün olarak elde edilir.

Pirinç Kabuğu Külü:

Çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığı kabukların yakılmasıyla elde edilen külün hızlı bir şekilde soğutulmasıyla elde edilir.

#### 1.1.2.2. PUZOLANİK AKTİVİTE

Puzolanik aktivite; birtakım maddelerde var olan kalsiyum hidroksitle ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) sulu ortamda reaksiyona girme ve sertleşme kapasitesidir. Gerçek puzolanik aktiviteden sözdebilmek için bu iki ögenin aynı zamanda oluşması gerekmektedir.

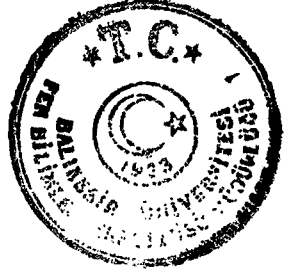
Yüksek aktiviteye sahip puzolanların aşağıdaki özelliklere sahip olduğu ampirik olarak belirlenmiştir:

- Yüksek  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ve alkali miktarı.
- Yüksek camı faz miktarı.
- Büyük özgül yüzey.

Bir malzemenin puzolanlığının kanıtlanabilmesi için puzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekmektedir. Bu deneyler doğal ve yapay puzolanlarda mekanik ve kimyasal deneyler şeklindedir. Mekanik deneyler puzolan-kireç, puzolan çimento harçları üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyler ise puzolanlı çimentonun su ile yaptığı hidrasyon sonunda çözeltide oluşan  $\text{Ca(OH)}_2$  'i saptamaya dayanır. Ayrıca puzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kalorimetrik yöntemlerle de saptanabilir.

İyi bir puzolan genel olarak açık renklidir. Konsolide ve homojen bir yapıya sahip ve orta yoğunlukta ( $2.00-2.30 \text{ g/cm}^3$ ) dir. TS 25 'de puzolan-kireç reaksiyonu sonunda;

Eğilme Dayanımı  $10 \text{ kg/cm}^2$ ,  
Basınç Dayanımı  $40 \text{ kg/cm}^2$  'den az olmamalıdır.



#### Kimyasal bileşimi:

Yüksek SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarı	%80 civarında
Yüksek Na <sub>2</sub> O +K <sub>2</sub> O miktarı	%5 civarında
Yüksek çözünmeyen kalıntı	%80 civarında
Kızdırma kaybı	max.%8 civarında
Düşük miktarda MgO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%8 geçmemeli
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max.%6

#### Mineralojik bileşimi:

Camsı faz miktarı yüksek (%8 ve daha fazla) alkali feldspat (ortoklas, sanidin, albit, oligoklas) miktarı yüksek, kil mineralleri (montmorillonit, kaolinit, halosit) düşük miktarda olmalıdır. Çizelge 1.3 'de TS 25 'e göre traslarda aranması gereken kimyasal özellikler verilmiştir.

Çizelge 1.3 : TS 25 'e Göre Trasda Aranması Gereken Özellikler.

SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	En az	%70
MgO	En çok	%5
SO <sub>3</sub>	En çok	%3
Rutubet	En çok	%10

#### 1.1.2.3. PUZOLAN KATKILARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Puzolanlar beton içinde çimento ağırlığının değişik oranlarında kullanılırlar. Bu oran (PRINCE 1975) tarafından %15 'den %40 'a kadar önerilmektedir. Kaliteli puzolanlar optimum ölçülerde kullanıldıklarında betonda;

- İşlenebilirliği iyileştirirler
- Sülfat etkisine karşı direnci arttırırlar (1 kg CaO, 1.07 kg SiO<sub>2</sub> bağlar (CaSiO<sub>2</sub>))
- Hidratasyon ısını düşürürler.
- Alkali-agrega reaksiyonunun zararlı etkisini azaltırlar.
- Isıl büzülme azaltırlar
- Maliyeti düşürürler.

Puzolanlar fazla kullanıldıkları zaman zararlı da olabilirler;

- Su ihtiyacını arttırırlar.
- Donma ve çözölmeye karşı direnci düşürürler.
- Sertleşme ve dayanım kazanma hızını azaltırlar.
- Kuruma büzölmesini arttırırlar.





Puzolanların bileşimindeki amorf silis, kireç ile birleşerek kristal hale geçer. Bu olay puzolanları kendi kimyasal özellikleri ile aynı olan diğer maddelerden ayırır. Massaza 'ya göre puzolanla kireç arasındaki reaksiyonda hidrate kalsiyum silikat ve alüminatlar teşekkül eder. Bu teoriye göre mukavemetin artışı, dayanıklı olmayan kalsiyum bileşikleri yerine teşekkül eden inert jellerin teşekkülündendir. Yavaş ve devamlı bir şekilde oluşan birleşme ile puzolanlı çimentolar portland çimentosuna göre betona şu üstünlükleri kazandırır:

#### 1- Kimyasal etkilere dayanıklılık

Puzolanlar portland çimentosunda S.CaO ile stabil şekilde bağlandıklarından, sudaki serbest CO<sub>2</sub> 'in tesiri ile kireç çözünerek beton bünyesinden ayrılamaz. Bu yüzden deniz inşaatlarında bilhassa puzolanlı çimentolar tercih edilir.

#### 2- Beton son mukavemetinde artış

Puzolanlı çimentolarla yapılan betonlarda mukavemet ilk zamanlarda portland çimentosu ile yapılan betondan az olmaktadır. Bu durum puzolanların hidrasyon reaksiyon hızının daha düşük olmasından ileri gelmektedir. Fakat 90 gün sonunda puzolanlı betonlar daha büyük mukavemet verirler ve bu bir yıl sonrada devam eder.

#### 3- Hidratasyon ısısı düşüklüğü

Hidratasyon ısısı düşüklüğünden kütle betonlarında, bilhassa baraj inşaatlarında ısı düşürmek için bile puzolanlı çimento üretimi yapılabilir.

#### 4- Geçirimsizlik sağlanması

Puzolanlar genellikle 2.3-2.6 g/cm<sup>3</sup> özgül ağırlığa sahiptirler. Bu yüzden mutlak katı hacimleri aynı hacimdeki portland çimentosuna nazaran %15-25 daha büyüktür. Bu bakımdan herbir puzolan tanesi ve çimentonun meydana getireceği silikat jel miktarı daha fazla olması nedeniyle permeabilite de düşüktür. Permeabilitenin daha az olmasından dolayı donmaya karşı daha dayanıklıdır ve betonarme demirini korozyondan korur.

#### 5- Alkali-agrega reaktivitesini azaltır

Çimento içinde bulunan Na, K oksitleri, agrega içinde bulunan aktif silisle reaksiyona girerek alkali silikat jelleri meydana getirirler. Sertleşmiş beton içinde meydana gelen bu jeller fazla su absorbe ettiği için betonun şişmesine ve yer yer çatlamasına neden olur. Puzolan buna engel olur.

#### 6- Sıcaklıkla mukavemet yükselişi

Eğer portland çimentosunda betonun sıcaklıkla priz yapması gerekirse son mukavemetler düşer. Oysa puzolan çimentolu betonlarda, sıcaklıkla hem puzolanik aktivite artmakta hem de son mukavemetler yükselmektedir. Bu yüzden buhar kürü ile beton elde edilirken mutlaka puzolanlı çimentolar kullanılmalıdır.



- 7- Pozolanlı çimentolar portland çimentosu ile aynı rötreyi (büzülme) gösterirler.
- 8- Pozolanlı çimentolar şişme yapmazlar. Çünkü çimento ile stabil bileşikler meydana getirirler.
- 9- Çimento maliyetini düşürürler.

Bu üstünlüklere nazaran bazı sakıncalı tarafları da vardır:

- 1- Pozolanlı çimento ile üretilen betonların daha uzun süre ve daha iyi koşullar altında korunması gerekmektedir.
- 2- Hidratasyon ısısının daha az olmasından dolayı pozolanlı çimentolarla üretilen betonların soğuk havalarda kullanılması sakınca oluşturur.

#### 1.1.2.4. TRASLI ÇİMENTO (TÇ 32.5)

TS 26 (Nisan, 1992) ya göre traslı çimento; kütlece 20-40 kısım tras, 80-60 kısım portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçıtaşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Traslı çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 1.4 'de verilen değerlere uygun olmalı ve basınç mukavemeti değerleri ise Çizelge 1.5 'de verilen değerlerden az olmamalıdır.

Çizelge 1.4 : Traslı Çimentonun Kimyasal Özellikleri (TS 26).

Bileşenler	En çok (%)
Kükürt trioksit ( $\text{SO}_3$ )	3.5
Magnezyum oksit ( $\text{MgO}$ )	5
Kızdırma kaybı	5

Çizelge1.5 : Traslı Çimento Basınç Mukavemeti Değerleri (TS 26).

Basınç Mukavemeti Değerleri (Min.) ( $\text{N/mm}^2$ )		
2. Gün	7. Gün	28. Gün
10	21	32.5



### 1.1.2.5. KATKILI ÇİMENTO (KÇ 32.5)

TS 10156 (Nisan, 1992) 'ya göre "katkılı çimento; kütlece en çok 19 kısım puzolanik madde ile karşılıklı olarak en az 81 kısım portland çimento klinkerinin, bir miktar alçıtaşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ile birlikte öğütülmesiyle elde edilen hidrolik bağlayıcıdır."

Katkılı çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 1.6 'da verilen değerlere uygun olmalı ve basınç mukavemeti değerleri Çizelge 1.7 'de verilen değerlerden az olmamalıdır. Çizelge 1.8 'de de bazı çimento standartları verilmiştir.

Çizelge 1.6 : Katkılı Çimento Kimyasal Özellikleri (TS 10156).

Bileşenler	%En çok
Kükürt trioksit ( $\text{SO}_3$ )	3.5
Magnezyum oksit ( $\text{MgO}$ )	5
Kızdırma kaybı	4
Çözünmeyen kalıntı	15

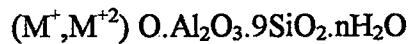
Çizelge 1.7 : Katkılı Çimento Basınç Mukavemeti Değerleri (TS 10156).

Basınç Mukavemeti Değerleri (Min.) ( $\text{N/mm}^2$ )		
2. Gün	7. Gün	28. Gün
10	21	32.5

### 1.1.3. ZEOLİT

Zeolit kelime olarak "kaynayan taş" anlamındadır. Isıtıldığında patlayarak dağılması nedeniyle bu isim verilmiştir.

Zeolitler alkali ve toprak alkali metallerin sulu alümina silikatları olarak tanımlanmaktadır. Mineral türü olarak 1750 'lerden bu yana bilinmekle beraber, kristal yapıları difraktometre ve elektron mikroskobu yöntemlerinin geliştirilmesi ile 1930 'larda çözümlenebilmiştir. İskelet yapılarındaki, Si/Al oranlarındaki ve içerdikleri kation cinsi ve miktarlarındaki bazı farklılıklara rağmen;

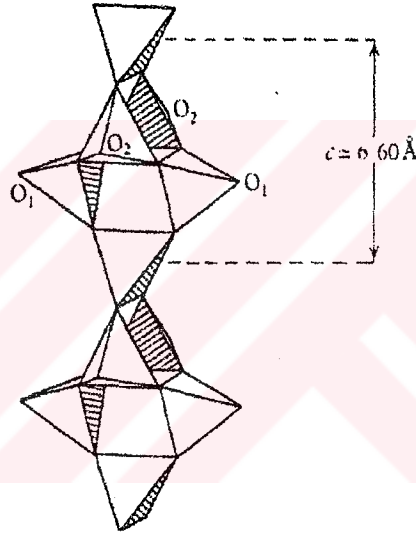


genel formülü ile ifade edilebilirler. Burada  $M^+$  bir alkali kation olup genellikle  $\text{Na}^+$  veya  $\text{K}^+$  nadiren de  $\text{Li}^+$  olur.  $M^{+2}$  ise toprak alkali kationdur ve genellikle  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  nadiren de  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$  olur (DEER et al 1966).



Birçok zeolitin temel kristal yapısı  $\text{SiO}_4$  ve  $\text{AlO}_4$  dört yüzeylelerin değişik bağlanma şekillerinden meydana gelmiştir. Bu bağlanma şekilleri zeolitlerin kanal özelliklerini belirler. Kanallar bir, iki veya üç yönde birbirleriyle ilişkili olarak oluşabilirler. Dört veya altı çok yüzeylinin birleşmesinden oluşan tek veya çift sıralı halkalar birbirine bağlanarak kübik veya hegzagonal yapıyı oluştururlar (Şekil 1.3).

Zeolitlerin en önemli özelliklerinden biri de yapı içindeki kanallarda su moleküllerinin bulunmasıdır. Zeolitler ısıtıldıklarında ( $100-350^\circ\text{C}$ ) su molekülleri yapıda değişiklik yapmadan sürekli bir şekilde yapıdan ayrılırlar. Suyun yapıdan uzaklaşması sırasında katyonlardan bazılarında dışarı atılırlar. Bu durum kanallardaki tıkanıklıkların giderilmesini sağlar. Boşluklarda bulunan alkali ve toprak alkali element iyonları, başka iyonlar içeren çözeltilerle temas etmeleri durumunda değişmektedirler. Bu da hem kanal genişliğinin büyümesine hemde zeolitin aktifleşmesine yol açmaktadır (DEER 1988).



Şekil 1.1: Natrolit Grubu Zeolitlerin Kristal Yapısını Oluşturan Dörtüzeylelerin Zincir Bağlantısı, (DEER et al 1966).

Zeolitlerin yapısına ve bileşimine bağlı olarak çeşitli çaplarda kanallardan oluşan gözenekli bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bu gözeneklerin hacmi (boşluk miktarı) toplam hacminin %20-50 'si arasındadır. Zeolit minerallerinin en önemli özelliği bu boşluklar ve bu boşluklara kolayca girebilen ve yer değiştirebilen sıvı ve gaz molekülleri ile toprak alkali iyonlardan ileri gelen "moleküler elek" olmalarıdır.

Bu gün yaklaşık 40 adet doğal zeolit minerali bilinmekle beraber bunlardan sadece 7 tanesinin mordenit, klinoptilolit, şabazit, eriyonit, fillipsit, analsim ve ferrieritin endüstriye uygulama alanları ve ticari potansiyelleri bilinmektedir (VAUGHAN 1980). Ancak endüstriyel kullanımı önemli olan zeolit minerallerinin doğada volkanik kayaların boşluk ve çatlaklarındaki miktarının yetersiz olması yapay zeolit üretme olanaklarını araştırmaya itmiştir. 1948 yılında doğal zeolitlerden çok daha iyi özelliklere sahip yapay zeolit kristali LindaA üretilmiştir. Bugün 150 'den fazla yapay zeolit minerali mevcuttur. Yapay zeolitlerin üretim maliyetlerinin pahalı olması, büyük



miktarlarda üretim yapılabilecek doğal zeolitleri arama çalışmalarını sürdürmüştür. 1958 yılında ticari olarak kullanılabilir tortul kayaçlar içindeki doğal zeolit yatakları bulunmuştur.

Tortul kayalardaki zeolitlerin çoğu, tortulların gömülmesinden sonra, alümina silikatların gözenek suyu ile tepkimesi sonucu oluşurlar. Volkanik camların çoğu zeolitlerin oluşmasına en uygun alümina silikatlardır. Bunun dışında kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoitler ve Al-Si jelleri de uygun koşullarda zeolitlere dönüşebilirler.

### 1.1.3.1. ZEOLİTLERİN KULLANIM ALANLARI

Zeolitlerin endüstriyel alanlarda kullanılabilirliği 1940 'lı yıllarda ortaya konulmasına rağmen tali mineral olarak volkanik kayaçların boşluk ve çatlaklarında bulunduğu bilinmesi kullanımlarını sınırlamıştır. Ancak 1950 'li yıllardan sonra denizel ve göl sel tüflerin de zeolit içerdiklerinin saptanmasıyla, doğal zeolitlerin kullanım alanları hızla genişlemiştir.

Zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme adsorbsiyon ve buna bağlı moleküler elek yapısı, silis içeriği ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanımlarına neden olmuştur.

İnşaat sektöründe kullanımı:

Puzolanlı çimento ve beton: Zeolitik tüf yatakları birçok ülkede puzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolitli puzolanlar, son beton ürününün daima yeraltı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir (MUMPTON 1973).

Hafif yapı malzemesi yapımında: Perlit ve diğer benzeri volkanik camlarda olduğu gibi doğal zeolitlerde genleşmeye (özellikle klinoptilolit) uygundur. Bununla birlikte, genleşme için gerekli sıcaklık (1200-1400°C) perlitte göre (760°C) daha yüksektir. Genleştirilmiş zeolitler ısı ve ses yalıtımında, hafif yapı malzemelerinin yapımında kullanılmaktadır.

Diğer sektörlerde kullanımı:

Atık suların, baca gazlarının, petrol sızıntılarının temizlenmesinde. Oksijen, petrol ürünleri ve elektrik üretiminde. Tarımsal mücadelede. Kağıt endüstrisi, sağlık ve deterjan sektörü olmak üzere daha birçok alanda kullanılmaktadır.



#### 1.1.4. DAYANIKLILIK (DURABİLİTE)

Dayanıklılık sadece çimento için geçerli bir terim olarak düşünülmeyle birlikte, betonun tümü ve çimento da dahil olmak üzere betondaki bileşiklerin herbiri için geçerli olan bir terimdir.

Dayanıklılık en genel anlamda, maddenin, çeşitli koşullar ve önlemlerle belirlenmiş kullanma süresi şartları altında, elverişli özelliklerini ve performansını sürdürebilme kabiliyeti olarak nitelendirilmektedir (CARRETE 1989). Daha spesifik anlamda ise, dayanıklılık çimento ve betonun hem iç hem dış fiziksel, fiziko-kimyasal ya da kimyasal etkilere karşı direnç göstermesidir.

Beton veya harç üzerinde dayanıklılığı belirlemek için eskitme süreçleri uygulanır. Eskitme süreçleri; betonun geçirimsizliği, kimyasal etkilere karşı direnci, taze ve sertleşmiş betonda don etkisi, betonun termik, elektriksel özellikleri, bunların zaman içinde değişimi anlaşılır. Yapılan bu deneylerden sonra beton veya harçta hasar düzeyini saptamak amacıyla hasar tesbit deneyleri yapılır. Hasar tesbit deneyleri fiziksel (ağırlık, boy değişimi, kılcallık, geçirimsizlik, porozite, özgül ağırlık, birim ağırlık deneyleri), kimyasal (X-Ray difraktometre, kimyasal analiz deneyleri) ve mekanik (eğilme, basınç dayanımı, elastiklik modülü) deneyler şeklindedir.

Betonun dayanıklılığı, iç ve dış etkilerden belli süre içinde en az şekilde etkilenmesi olarak düşünülebilir. Betonun dayanıklılığında ana faktör bağlayıcı madde çimentonun mukavemetidir. Çimentonun mukavemetine dolayısıyla betona fiziksel, kimyasal, fiziko kimyasal etkileri içeren dış ortam etki eder. Betonun dayanıklılığına etki eden iç ve dış etkenler birbirleri ile de ilgilidir.

Betonun içindeki agrega ve suyun; çimentonun hidratasyonu sırasında ve/veya sonunda oluşan ürünlerde yaptığı hasar iç etkilerle oluşur. Bu tür hasar, çimento, agrega, su özelliklerine göre şiddetli veya zayıf olur. Çimentonun hidratasyon ürünlerinin çözünürlüğü, çimentonun yapısı, bileşenleri, korozyona neden olabilir. Bu nedenle çimentodaki bileşikler, alkaliler, S.CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, kızdırma kaybı çimentonun cinsine göre standartlarda sınırlandırılmıştır.

Dış etkiler, sertleşmiş betonun, dış ortam nedeniyle fiziksel, kimyasal etkenlerle hasar görmesidir. Fiziksel etkenler, iklim nedeniyle donma-çözülme, ıslanma-kuruma, kum fırtınaları, trafik araçlarının yaptığı aşınmalar olabilir. Kimyasal etkenler, korozyona neden olan dış ortam (kimyasal bileşikler) olabilir. Kimyasal bileşikler katı, sıvı ve gaz şeklinde bulunabilir. Kimyasal etkenlerin en çok rastlanan şekli çözeltili ortamında olur.

Betonda iç ve dış etkiler nedeniyle çeşitli şekil ve büyüklüklerde boşluklar oluşur. Betonun dayanıklılığında en önemli nokta, bu boşluklar nedeniyle oluşan geçirimsizliktir. Dayanıklılığın iyi olabilmesi için beton dış ortamdaki sıvılara ve buhar akımına karşı geçirimsiz olmalıdır. Boşluklu malzemelerde sıvı, doymuş akım (geçirimsizlik), doymamış akım (kılcallık), buhar akımı şeklinde hareket eder. Betonda geçirimsizlik ve kılcal su emme olayını önlemek mümkündür. Geçirimsizlik, büyük



alanı olan puzolanları çimentoya katmakla, kılcal geçirimsizlik su sağlanabilir.

#### 1.1.4.1. SÜLFAT ETKİSİ

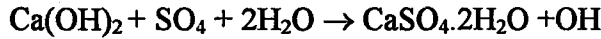
Sertleşmiş betona kimyasal açıdan zararlı olabilen dış etkiler, su, zemin ve gaz ortamlarında gelişebilir. Bileşiminde; amonyum tuzları, bazı magnezyum tuzları, bazı organik bileşikler bulunan su ve zeminler beton üzerinde zararlı etkiler yaparlar. Ayrıca, sertlik dereceleri düşük suların beton üzerinde olumsuz etkileri vardır. İçinde kükürtlü hidrojen (H<sub>2</sub>S) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) bulunan gazlar, nemle birlikte bulunmaları halinde betona zarar verebilirler.

Bu zararlı maddelerin içinde en etkin olanları sülfatlı bileşiklerdir. Çünkü sülfatlı bileşiklere doğada çok sık rastlanır. Toprakta %0.01-0.05 hatta %5 oranında bile bulunabilirler. Sülfat az veya çok tüm sularda, temel sularında, akarsular, deniz suyunda veya kimya endüstrisinde ürün ve atık şeklinde, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> gibi alkali ve toprak alkalilerin tuzları, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> tuzu bileşimindedir. Ayrıca fabrika baca gazında oluşan SO<sub>2</sub> 'nin atmosferdeki su ile yaptığı asit yağmuru da sülfat asidi şeklindedir.

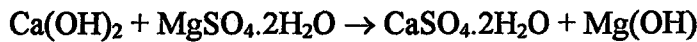
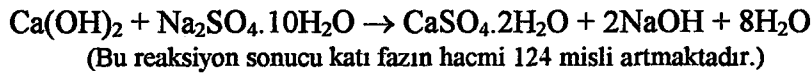
Sülfatlar yüksek ıslatma gücü ile betona hızla nüfuz ederek, çimento içindeki alüminatlarla birleşerek "etringit" adı verilen hacmi çok büyüyen kristaller oluşturur. Büyüyen kristallerin genişleyici etkisi betonun çekme dayanımını aşır, betonu çatlatır, o bölgede kırılğan hale getirir. Beton zamanla ufalanıp dağılır. Bu olayın en bariz izleri yüzeyde beyaz tuz birimleridir.

Katı kuru haldeki sülfat tuzlarının betona herhangi bir zararı yoktur. Eriyik halinde ise çimento harcı ile reaksiyona girerek zarar verirler. Bazı killi topraklar alkali, magnezyum ve kalsiyum sülfat içerirler. Bu tip topraklarda yeraltı suyunun varlığı zararlı etkiyi ortaya çıkarır. Çimento üzerindeki zararlı etki, sülfatın Ca(OH)<sub>2</sub> (CH) ve 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C<sub>3</sub>A) ile reaksiyona girmesi ile oluşur. Bu reaksiyonların ürünleri, hacmi çok genişleyen alçı ve kalsiyum sülfalüminattır. Bu genişlemenin şiddetli etkisi sonucu beton parçalanıp, dağılır.

Sülfatlı çözeltilerde ortamdaki sülfat iyonları çimentonun hidrasyon ürünü Ca(OH)<sub>2</sub> ile birleşerek CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O oluşturur.

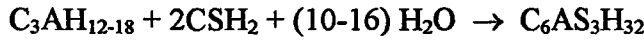
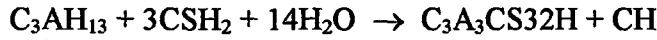
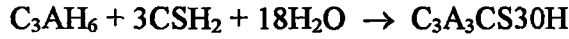


Bu reaksiyon Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 'lü ortamda ise NaOH, MgSO<sub>4</sub> 'lü ortamda ise Mg(OH)<sub>2</sub> meydana gelir (MASSAZA 1989).



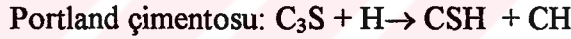


Reaksiyon sonunda oluşan  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  çimentodaki  $\text{C}_3\text{A}$  hidratasyon ürünleri  $\text{C}_3\text{AH}_6$ ,  $\text{C}_3\text{AH}_{13}$ ,  $\text{C}_4\text{ASH}_{12-18}$  ile birleşerek canlı tuzuna dönüşür. Canlı tuz, çökeltilen mineral olan etringite çok benzer ve 30~32 molekül su bağlaması nedeniyle harç veya betonda hacim artışına neden olur.



Sülfata bağlı olan magnezi, kireçten daha zayıf bir baz olduğundan magnezyum sülfat, sodyum sülfattan daha tehlikeli bir tuzdur. Bundan dolayı kireç, magnezyum sülfatta magnezini yerine kolayca geçebilir. Yani sülfat kökü ile birleşerek kalsiyum sülfat yapar ve magnezi jelatin halinde çöker. Ayrıca magnezyum sülfat çimentoda  $\text{C}_3\text{S}$  'in hidratasyon ürünü CSH ile reaksiyona girerek MSH oluşturur. Sodyum sülfat ise  $\text{C}_3\text{A}$  'nın hidratasyon ürünü ile reaksiyon yapmaktadır.

Portland çimentosundaki  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$  hidratasyon reaksiyonu sonunda genel bir ifade ile gösterilen CSH (kalsiyum silikat hidrat) ve CH (kalsiyum hidroksit) oluşur. Çimentoya katılan puzolandaki aktif silis ise bu CH ile birleşerek CSH 'a dönüşür. Puzolanın yaptığı bu reaksiyona puzolanik reaksiyon denir. Reaksiyon portland çimentosunda hızlı, puzolanlı portland çimentosunda yavaş olur:



Yukarıda her iki reaksiyonda da CSH oluşmaktadır. Puzolanik reaksiyon sonunda oluşan CSH portland çimentosunun CSH 'ından daha küçük özgül ağırlığa sahiptir ve puzolanın CSH 'ı kimyasal ortamda mekanik ve kimyasal özellikler açısından diğerine göre daha dayanıklıdır (COHEN 1988).

Puzolanların sülfat etkisine karşı niçin dayanıklı olduğu hala tartışma konusudur. Massaza, puzolanın sülfatlı ortamda daha dayanıklı oluşunu,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  'nin az oluşuna, düşük geçirgenliğe, çimento jelinin farklı kompozisyonuna bağlamaktadır. Calleja (1989) ise, sülfat iyonlarının hidrate çimentoda yayılabilirliğinin saf suda az,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  çözeltilisinde ise çok daha büyük olduğunu belirtmektedir. Böylece  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  'nin bulunmadığı puzolanlı çimentolarda  $\text{SO}_4$  iyonlarının harç veya beton içinde yayılması güçleşmektedir. Yani sülfat etkisi puzolan ile önlenmiş olmaktadır.

## 1.2. ARAŞTIRMANIN GEREKÇESİ VE AMACI

Balıkesir ili ve çevresi puzolanik malzeme bakımından oldukça zengin yataklara sahiptir. Özellikle Bigadiç ilçesi civarı tamamen puzolanik malzeme ile örtüldür denebilir. Etibank Bor İşletmelerinde bor yataklarının, üst ve alt seviyelerinde dekapaj malzemesi olarak puzolanik özellikli volkanik tüfler bulunmaktadır. Bu tüfler zeolit





mineralleri bakımından oldukça zengindir. Alttüfler %65, üsttüfler %98 zeolitiktir. Bu zeolitik tüflerin puzolanik malzeme olarak özelliklerinin belirlenmesi ve en iyi şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Araştırmanın gerekçesi, Bigadiç sahasındaki zeolitik Üst ve Alttüflerin ve Balıkesir SET Çimento Fabrika sahasındaki perlitik tüflerin çimento katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu amaçla, zeolitik ve perlitik tüflerin jeolojik, mineralojik, teknolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri, puzolanik aktiviteleri, bu puzolanlarla değişik katkı oranlarında hazırlanan çimentoların fiziksel, kimyasal ve harç özellikleri belirlenerek, bu katkılı çimentoların portland çimentosuna göre su ve sülfatlı sularda dayanıklılık özellikleri de araştırılmıştır. Balıkesir SET Çimento laboratuvarlarında elde edilen olumlu sonuçlara göre zeolitik ve perlitik tüfler hammadde olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle, çalışma yapılırken fabrika yakın çevresindeki Pamukçu Alt, Pamukçu Üst, Üçpınar ve Sultançayır puzolanlarının da puzolanik özellikleri ve çimento katkı maddesi olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

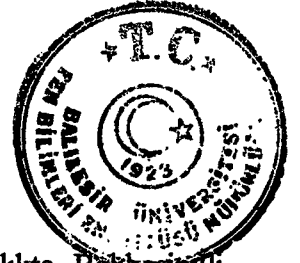
### 1.3. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI

Araştırmada kullanılan zeolitik, perlitik ve diğer alternatif puzolanların jeolojik, mineralojik, teknolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri, öğütülebilirlik testleri ve puzolanik aktiviteleri belirlenmiştir. Jeolojik, mineralojik ve teknolojik incelemeler İTÜ Maden Fakültesi Laboratuvarlarında, fiziksel ve kimyasal özellikler, öğütülebilirlik testleri ve puzolanik aktiviteler Balıkesir SET Çimento laboratuvarlarında yapılmıştır. X-ışınları difraktometre incelemeleri Ankara MTA Genel Müdürlüğü ve Çimento Müstahsilleri Birliği 'nde (Ankara) gerçekleştirilmiştir.

Aynı puzolanların Balıkesir SET Çimento Fabrikasında çimento katkı maddesi olarak değerlendirilebilmesi için değişik katkı oranlarında ve harmanlarda çimentolar üretilmiştir. Katkı oranları fabrika işletme koşullarına uygun olarak %24, %26, %28 olarak seçilmiştir.

Çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve aynı çimentolarla TS 24 'e göre harç karışımları hazırlanmıştır. Harçlar normal şartlarda 1 gün rutubet dolabında, 27 gün suda bekletilmiş ve 2., 7., 28. gün sonlarında eğilme ve basınç mukavemetleri belirlenmiştir.

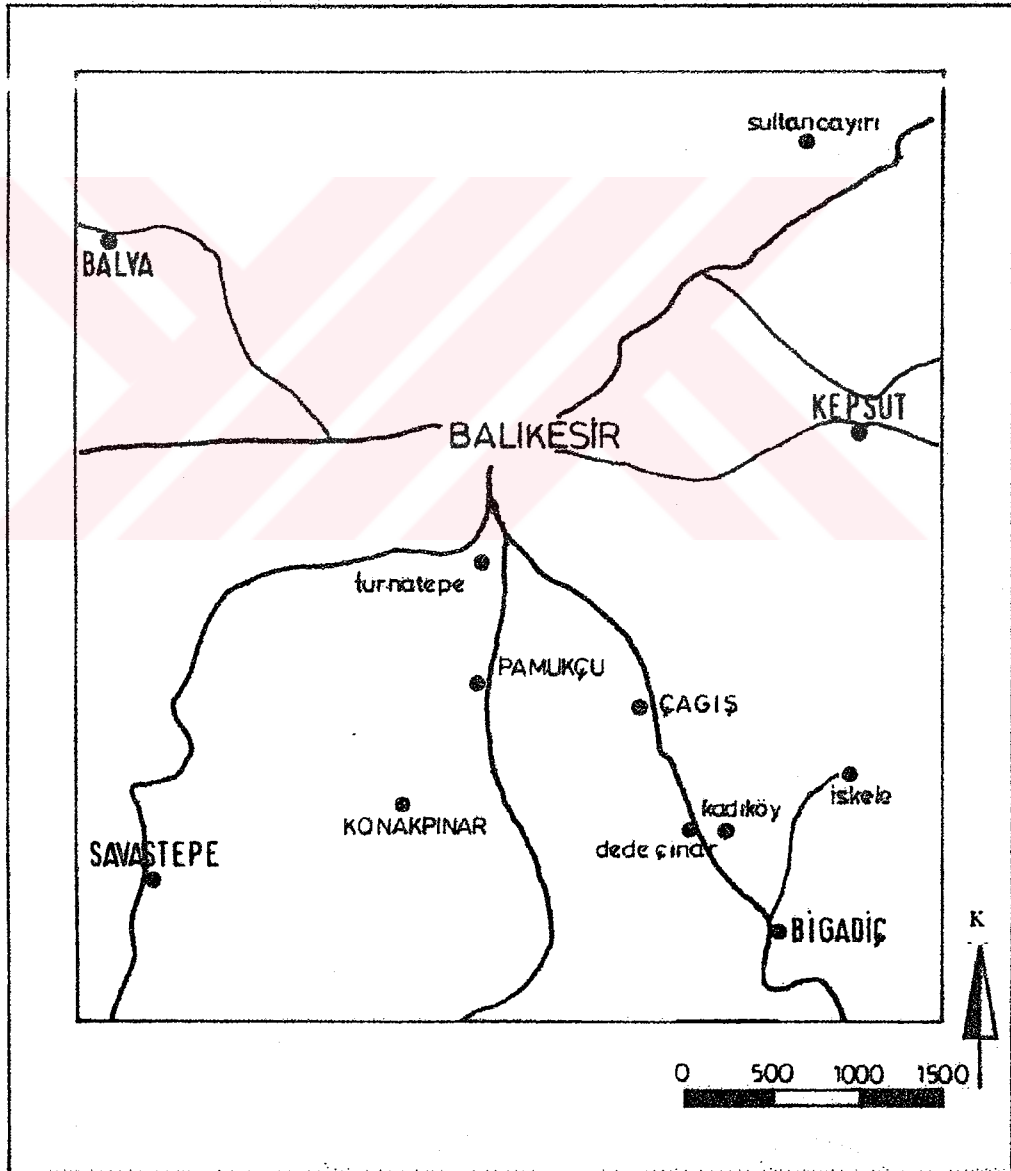
Zeolitik ve perlitik tüflerle hazırlanan çimentoların, portland çimentosu ile karşılaştırmalı olarak su ve sülfatlı sularda harç özellikleri dayanıklılık yönünden araştırılmıştır. Bu amaçla 28 gün normal şartlarda (1 gün rutubet dolabı, 27 gün su içinde) bekletilen harçlar, 28 günden sonra su ve sülfat çözeltisine konulmuştur. 16 hafta kür edilen harçların; 0., 4., 8. ve 12. kür haftalarında (28. gün başlangıç yaşı (0) olarak kabul edilir) eğilme ve basınç mukavemetleri, ağırlık ve boy değişimleri belirlenmiştir. 4. ve 12. kür haftaları sonunda kılcallık, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deneylerin yapımında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Meslek Yüksek Okulu Malzeme Laboratuvarından yararlanılmış, harçların X- ışını difraktometre incelemeleri TÇMB 'de yapılmıştır.



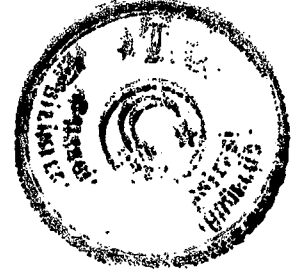
#### 1.4. İNCELEME ALANI COĞRAFİ KONUMU

Bigadiç, eski Balıkesir-İzmir yolu üzerinde, Balıkesir 'e 48 km uzaklıkta, Balıkesir ili sınırlarında bir ilçedir. Zeolitik tüfler, Bigadiç 'in 3 km kuzey doğusundaki Işıklar köyünden başlar, kuzeyden güneye doğru Beyendikler, İskele, Osmanca, Faraş, Çamköy, Emirler, Salmanlar ve Işıklar köylerini kapsar (ÖZPEKER 1969).

Turnatepe sahası, Balıkesir iline 4 km uzaklıkta ve Balıkesir 'in güneyinde yer alır. Saha Balıkesir SET Çimento Fabrikasına 2 km uzaklıkta olup fabrikanın kendi sahası içinde yer alır. Arazi ekilebilir bir ovanın içinde küçük bir tepedir. Şekil 1.2 'de inceleme alanı yer bulduru haritası verilmiştir.



Şekil 1.2: Yer Bulduru Haritası.



## BÖLÜM-2

### GENEL JEOLJİ

Tez konusuyla ilgili seçilen Bigadiç Boratlı Tüfleri ve Balıkesir Turnatepe Tüflerinin çimento hammaddesi olarak etüd ve değerlendirme çalışmaları Bigadiç ve Turnatepe Bölgelerinde önceden yapılan jeolojik araştırma ve etüdlere baz alınarak sürdürülmüştür. Buna göre Boratlı Bigadiç Bölgesinde inceleme konusu olarak 2 farklı seviye alt ve üsttüfler ara geçiş zonları seçilmiş ve ek olarak Bigadiç ve Balıkesir arasında kalan Kadıköy-Değirmenli arası tüflerle, Dedeçınar tüfleri de dikkate alınmıştır.

Saha çalışmalarında örnekler alınarak, fotoğraflarla tespitler yapılmış, çoğu kez sahada, borat üretim ocak kesitleri, yol yarmalarındaki en kesitlerden sık sık yararlanılmıştır.

#### 2.1 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bigadiç ve Turnatepe bölgelerinde, 1960 'dan sonra yapılan çalışmalarda:

**ÖZPEKER, (1969);** "Batı Anadolu Borat Yataklarının Mukayeseli Jenetik Etüdü" adlı doktora çalışmasında, Bigadiç bölgesini de içine alan boratlı sahalarda bor yatakları ve bunlarla birarada bulunan çevre yankayaçlarının jeolojik ve stratigrafik incelemeleri yapılmış, jeolojik harita ve kesitler üretilmiştir. Ayrıca bor yatakları ile volkanik kayaçların (tüfler) içiçe ve ardışık istiflenmeleri nedeniyle volkanizma ile bor yataklarının jenetik ilişkileri ortaya konmuştur. Tüm bu volkanik istiflenme ve bor seviyelerinin Neojen yaşlı bölgesel tortullaşma ortamında gelişmiş olduğu belirlenmiştir.

**ATAMAN, (1977);** Batı Anadolu ve Bigadiç 'i içine alan bölgedeki zeolit ve killer üzerinde araştırmalar yapmış, ilk defa zeolit oluşumunu belirtmiştir.

**UZ, (1978);** "Sındırgı-Akhisar Yağcılar Bölgesi ofiyolit birliğinin petrografik ve petrojenetik incelemesi" adlı doçentlik çalışmasında Bigadiç civarı volkanik kayaçlarının petrografik özelliklerini ayrıntılı incelemiştir.

**ERCAN ve dğl., (1984);** "Bigadiç çevresinin (Balıkesir) jeolojisi ve magmatik kayaçların petrolojisi" adlı incelemede, 3. zamana ait (Senozoyik) volkanik-tortul kayaçlarla magmatik kayaçların petrografik ve petrokimyasal özellikleri gözetilerek Paleozoyik ve Senozoyik yaşlı temel üzerinde Miyosen-Pliosen ve Pliokuvaterner yaşlı farklı bileşimli asitik ve bazik volkanizmaların geliştiği ileri sürülmüştür.



İTÜ, Y.B.Y.K., (1989); Etibank adına yayınlanmamış "Bigadiç Tülü Ovası Zeolitlerinin Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması" adlı proje çalışmasında alt ve üsttülerde zeolitleşme (klinoptilolit), ısı kararlılık ve alkali/toprakalkali oranları ile kırılma özellikleri kırma-eleme deneylerinde yapılmıştır. Tüm bu özellikler ışığında sonuç olarak, Tülü Ovası alt ve üst tüflerinin kullanım olanakları araştırılmıştır.

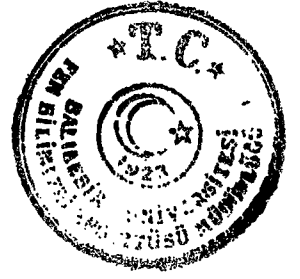
## 2.2. BİGADIÇ ve TURNATEPENİN JEOLJİSİ

İnceleme Bigadiç ve Turnatepe bölgelerinden birincisi olan Bigadiç Bölgesi borat yataklarının 1950 yılında bulunmasından sonra pek çok yerbilimcinin ilgisini çeken, en çok araştırılan bölgelerden biri olmuştur. Önceleri bor amaçlı yapılan çalışmalar daha sonra çeşitli amaçlı, son yıllarda da zeolit mineralleri (zeolitleşme-klinoptilolit) üzerinde yoğunlaşmıştır.

Özpeker (1969) 'in, çalışmalarına göre Bigadiç Bölgesi temelde Paleozoyik yaşlı formasyonlar (mermerler) ve bunlar üzerine uyumsuz olarak yerleşmiş genç Neojen gölsel çökellerden oluşur. Jeolojik en kesitte kayaçların sıralanımı Şekil 2.1 'de gösterilmiştir.

	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
N E O J E N	100 m.		BORATLI KİL, MARN, TÜF, KALKER, GRE
	30 m.		İNCE TANELİ CAMSI TÜFLER
	60 m.		KABA TANELİ CAMSI TÜFLER
	80 m.		GRE, KALKER (Peletik, Kuresel) MARN
	100 m.		RIYOLİTİK KRİSTAL TÜFLER
	150 m.		TABAN KALKERLERİ (Fosilli, Peletik, Kimyasal)
PALEOZOİK			MERMER

Şekil 2.1: Bigadiç Boratlı Neojen Serilerinin Enine Kesiti (ÖZPEKER 1969).



Özpeker 'e göre Bigadiç Bölgesinde istiflenme aşağıdaki gibidir:

- |  |   |
|--|---|
| -Taban kireçtaşları (Temel-Paleozoyik) | -İnce taneli camsı tüfler                       |
| -Kristal tüfler (Neojen)               | -Borathlı kil-marn-kireçtaşı-tüf-kumtaşı serisi |
| -Marn-kireçtaşı-kumtaşı serisi         | -Volkanikler ve damartaşları                    |
| -Kaba teneli camsı tüfler              | -Alüvyon (Kuvaterner)                           |

Bu jeolojik istifteki formasyonların saha özellikleri özetle şöyledir;

Taban Kireçtaşları: 2 türdür. Krem renkli, ince taneli yumuşak, kumtaşları (gre) ile orta katkılı allakton birim, diğeri fosilli, bantlı ve çört orta katkılı olan otokton kireçtaşlarıdır.

Kristal Tüfler: Gri renkli, ince taneli, tabakalı olup geniş alanlara yayılırlar. Homojen özellikli olan tüfler 100-200 m kalınlık gösterirler.

Marn-Kireçtaşı-Kumtaşı: İnce tabakalı ritmik kireçtaşı, marn, kumtaşı bantlarından meydana gelen bir seridir.

Kaba Taneli Camsı Tüfler: Sahada açık sarımsı-yeşil renkli veya taze yüzeyleri gri tonlardadır.

İnce Taneli Camsı Tüfler: Taze yüzeyleri yeşil veya mavi renkte, atmosferik etkenlere açık olanlar ise sarımsı-yeşil renkler gösterirler.

Borathlı-Kil-Marn-Kireçtaşı Tüf Serisi: Neojen gölsel çökellerin en üst seviyesini oluşturur. Marn-borat-kil-tüfler ardışık istiflenme gösterirler. Boratlar, 1-3 m kalınlıkta yatak oluşturmuştur. Serinin kalınlığı 50-150 m arasındadır.

Volkanik ve Damar Kayaçları: Bunlar bazalt ve trakitten ibaret en son magmasal getirimlerdir.

Alüvyonlar: Çapraz tabakalı, kumlu, killi, kalınlıkları en fazla 20-25 metreyi bulan birikintilerdir.

Özpeker (1969) göre, genellikle iri taneli gözenekli kalın tüfler altta (ALTTÜFLER), ince taneli camsı tüfler ise üstte (ÜSTTÜFLER) yer alırlar. Bunlar klinoptilolit türde zeolit mineralleri içerirler. Borat içermeyen bu tüfler asit volkanizma ürünüdür.

Ercan ve dğl. (1984), Bölgesel ölçekli, Bigadiç ve çevresini içine alan 2500 km<sup>2</sup> 'lik alanda yaptıkları çalışmada 3. zamana ait çökel kayaçların stratigrafik; magmatik kayaçların ise plaka tektoniği açısından kökensel yorumlarını yapmışlardır. Bölgede izlenen magmatizma olayları son derece etkin olup, özellikle geniş yayılım gösteren volkanik kayaçlar üst Miyosenden Kuvaternere kadar yaklaşık 10 volkanik evrede gelişim göstermiştir. Bunlar esas olarak kabuk kökenli 'KALKALKALİN' nitelikte çok azının da 'SOSONİTİK' (zengin alkalın) kıta içinde meydana geldikleri, daha sonra



giderek manto içi ürünlerle karışarak hibrid volkanizmanın tükendiği ve miyafet Kuvaterner evresinde manto kökenli ALKALİ nitelikli volkanizmanın ürünü bazaltların oluştuğu ileri sürülmüştür.

İTÜ, Y.B.Y.K. (1989), Etibank Bigadiç Tülü Ovası zeolitik tüflerinin teknolojik özellikleriyle ilgili araştırmada, Tülü Ovası zeolitli üsttüfleri boratlı seviyeler üzerinde örtü tabakası olarak gösterilmiştir (Şekil 2.2). Üsttüflerin Tülü Ovasında yüzeyde yanal olarak, sondajlarda da dikey olarak özelliklerinin değişmediği izlenmiştir. Üsttuf birimi iki seviye olarak tanımlanmıştır:

1- Üstte 50-100 m kalınlıkta, genelde çok ince taneli, masif, konkoidal kırıklımlı, beyazımsı, gri-beyaz tonlardaki iri taneli, mineral boyutu 0.01-0.1 mm arasında değişen seviye. Bu seviyenin mineralojik bileşimi klinoptilolit + kuvars + sanidin + opal + oligoklas + biotit azalan sırasıyla. Zeolitli üsttüfler klinoptilolitleşmiş ve riyolitik türde piroklastik bir oluşumdur.

2- Bu seviyenin altında orta ve kaba taneli yeşil gri-sarı renkte pumisitli, bazı zonlarda çok iri taneli, ayrılmış pumist parçaları içeren boşluklu, gri-kirli sarı renklerde tuf seviyesi. Bu seviyenin iri taneli (fenokristal) kristal boyutları 0.03-0.8 mm arası değişir. Bu kaba iri taneli tüfler yeryer ince taneli zonlar da içererek üsttuf biriminin altında alt borat seviyesine kadar ulaşırlar. 115-230 m arası değişen kalınlıklardadır.

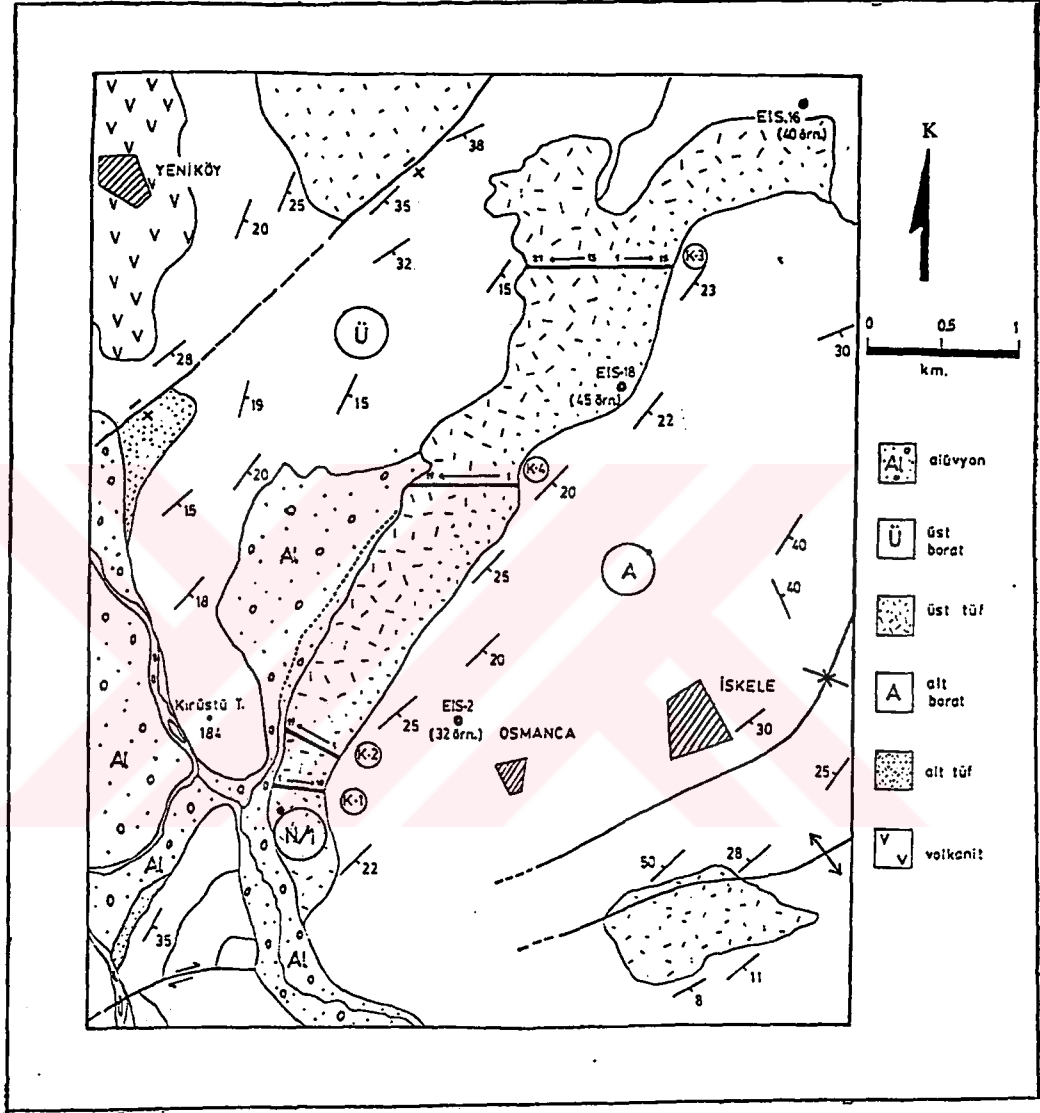
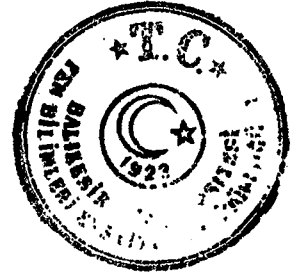
Üsttuf biriminin daha ince taneli olan üst zonunda klinoptilolit içerikleri %68-95 arasında değişir. Bu seviye 80 m kalınlıktadır. Orta kaba taneli alt kısım (üsttuf altı) orta-iri taneli pumistli, yeryer çok altere ve bol gözenekli kaba taneli tuf zonunda %55-100 arasında klinoptilolit içeriği saptanmıştır. Bu araştırma sonunda birimin en zengin zeolitli kısmı alt kaba taneli gözenekli ayrılmış zon olduğu belirlenmiştir.

### 2.3. SAHA İNCELEMELERİ

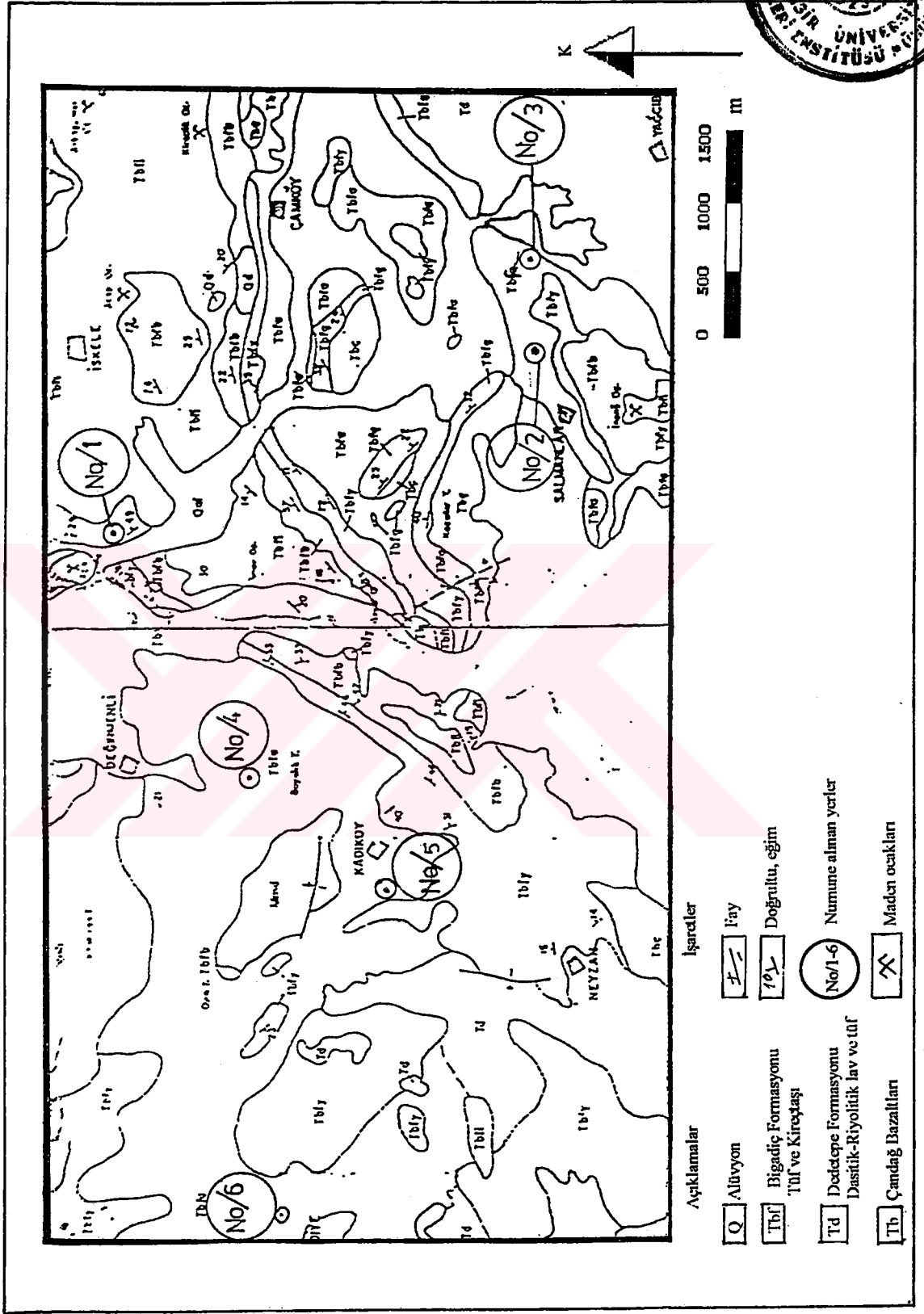
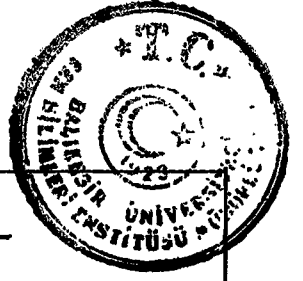
İnceleme alanı, Bigadiç Bölgesi ve bunun kuzeye doğru devamı olan Bigadiç-Balıkesir arası tüflerle, Turnatepe tüflerini içine alan kesimle sınırlıdır.

#### 2.3.1. BİGADIÇ BÖLGESİ SAHA İNCELEMELERİ

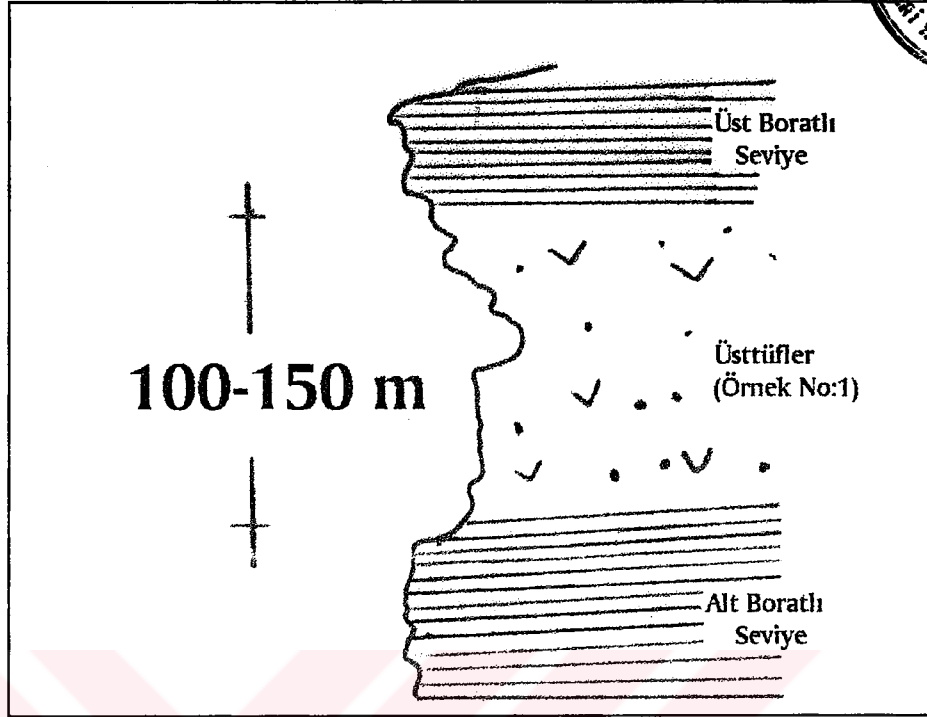
İnceleme alanının ilk ve önemli bölgesi boratlı Bigadiç Bölgesidir. Burada esas inceleme konusu "VOLKANİK TÜFLER" 'dir. Bigadiç boratlı Neojen çökelleri içinde yukarıda tanımlamaları verilen volkanik tüfler, boratlı seviyeler bulunur (Şekil 2.3 ve 2.4). Enine kesitte izleneceği gibi tüfler; İnce ve kaba taneli zeolitli tüfler (Üsttüfler) ve boratlı seviye altındaki fenokristalli tüflerdir (Alttüfler).



Şekil 2.2: Tülü Ovası Zeolitli Üsttüflerin Jeoloji Haritası (İ.T.Ü, Y.B.Y.K 1989).







Şekil 2.4: Bigadiç Kırüstü Tepe Tülü Açık Ocak Boratlı Seviyeler ve Üsttüflerin Konumu (UZ 1978).

Tüfler Kırüstü Tepe Tülü Ovası borat işletmesi ve civarında Foto 2.1 ve 2.2 'de izleneceği gibi masif çatlaklı ve yer yer boşluklu, bol yeşil elemanlı ve kaba tanelidir. Üsttüfler yüzeyde Foto 2.3 'de görüldüğü gibi, İskele köyü kuzey batısı kesiminde az yüksek, yayvan tepeler halinde devam etmektedir. Benzer yapılar Foto 2.4 'de Etibank bor işletme açık ocakları ve civarında kolemanitli seviyelerin üzerinde belirgin renk ve yapıları ile görülmektedir.

**Örnek No:1** (Şekil 2.3) Bej renkli, bol pumisitli (yeşil), kaba taneli üsttuf. Tülü Ocağı.

Salmanlı köyü üstündeki tüfler, Ercan ve Diğ. (1984) göre, Beyendikler tuf üyesi olarak tanımlanmıştır. Buradaki tüfler de Tülü Ovası üsttüflerle eş özellikte en fazla 200 m kalınlık sunarlar. Tüfler, iri, ince taneli ve çoğunlukla riyalitik türde, camsı tüflerin gölsel ortamda çökmesiyle oluşmuşlardır. Bu tüflerde zeolit (klinoptilolit) oluşumlarına rastlanır.

**Örnek No:2** (Şekil 2.3) Salmanlı köyü tüfleri, masif, camsal, zor kırılğan, bol çatlaklıdır. Foto 2.5 'de bu tüflerin saha görünümüleri, Foto 2.6 ve 2.7 'de bu tüflerin yakın çekimde açık sarımsı bej ve camsal doku özellikleri belirgindir.

Özgören köyü tüfler; salmanlı tüflerinin bir devamı şeklinde olup, Salmanlı köyünün doğusunda yer alır. Bu kesimde jeolojik olarak marnlı kireçtaşları üstte, bunun altında ise volkanik camsal tüfler yer alırlar.

**Örnek No:3** (Şekil 2.3) Özgören Köyü tüfleri sarımsı bej tonlarındadır.

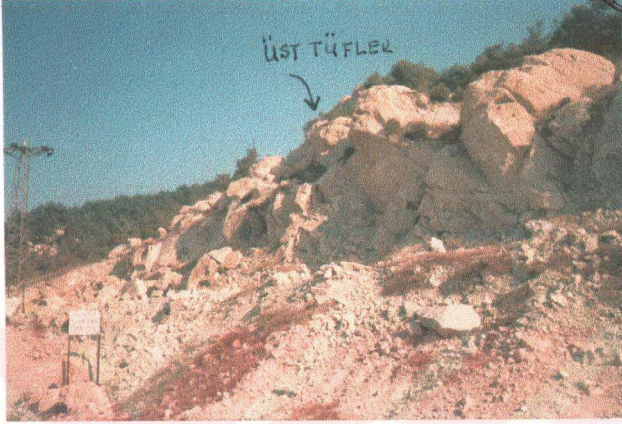


Foto 2.1: Kirüstü Tepe Tülü Ovası Borat İşletmesi.

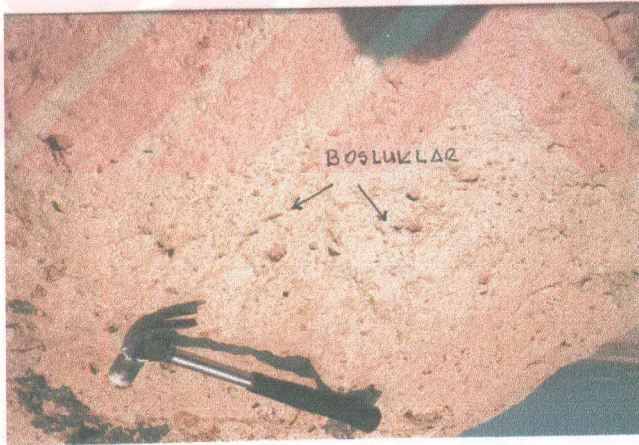


Foto 2.2: Kirüstü Tepe, Üsttüfler.

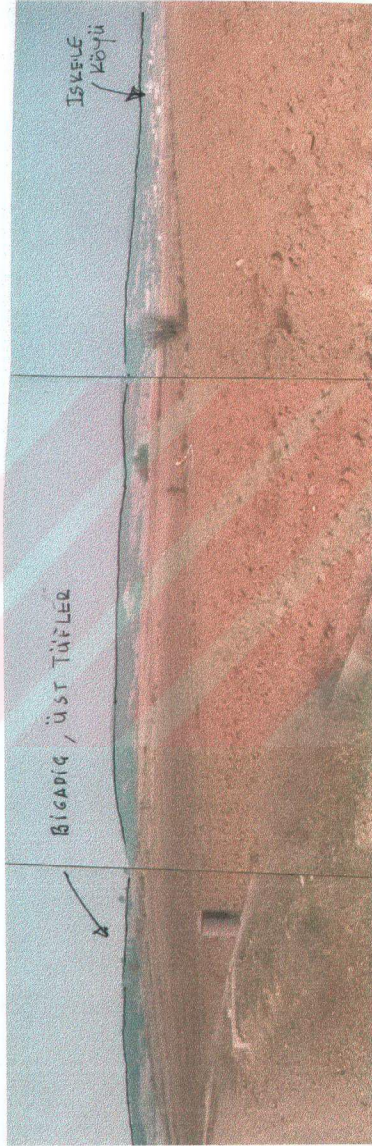
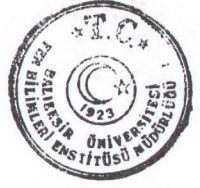


Foto 2.3: İskele Köyü Kuzey Batı Kesiminden Yüzeyledeki Üstüflerin Görünümü.



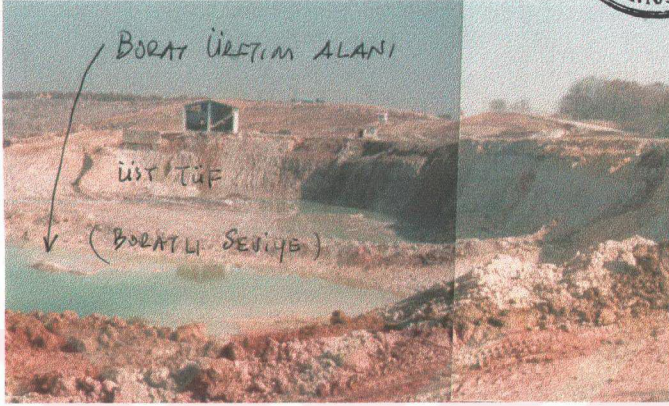


Foto 2.4: Etibank Bor İşletmesi, Açık Ocak.

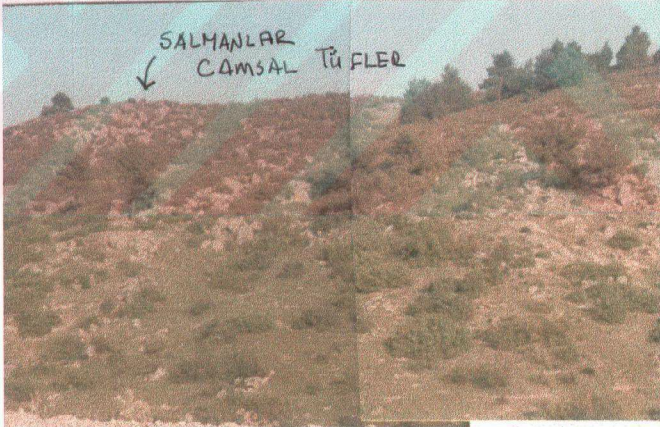


Foto 2.5: Salmanlı Köyü Tüfleri.

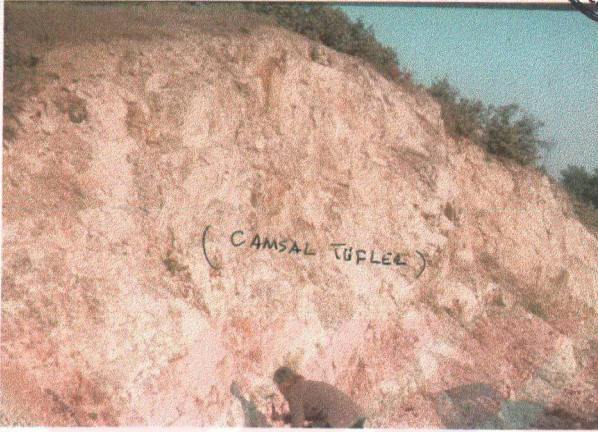
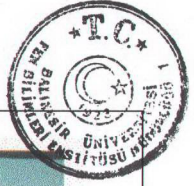


Foto 2.6: Salmanlı Köyü Tüfleri.

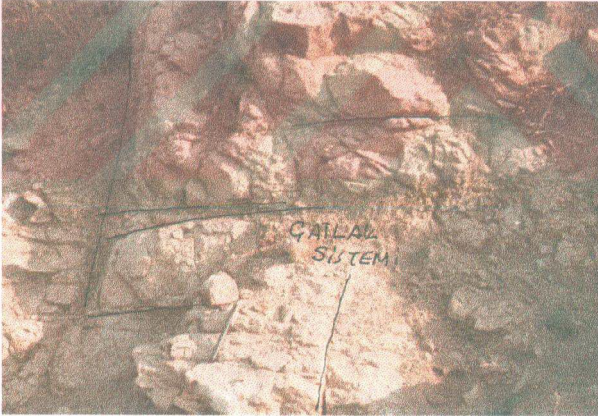
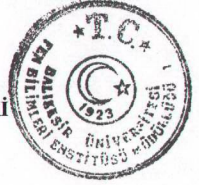


Foto 2.7: Salmanlı Köyü Tüfleri.



### 2.3.2. BİGADIÇ-BALIKESİR YOLU SAHA İNCELEMELERİ

#### KADIKÖY-DEĞİRMENLİ ARASI:

Mostrada tüfler masif çatlaklı, içerisinde pumisit parçaları izlenir. Sarımsı bej tonlarında olan tüfler camsal bir hamura sahiptir. Ercan ve Diğ. (1984) bu kesimde yeralan tüfleri üsttüfler olarak tanımlanmışlardır.

Örnek No:4 (Şekil 2.3) Kadıköy-Değirmenli arası ince taneli pumisitli tüfün Foto 2.8 'de yakın çekim görüntüleri izlenmektedir.

#### KADIKÖY ALTI / ASFALT ÜSTÜ TÜFLER

Bir önceki yapı ve özellikte olan tüfler batıya doğru devam ederek asfalt yol üzerinde yüzeyleyirler. Tüfler açık bej tonlarda, masif çatlaklı, çok kırıklı ve çok ince tanelidir. Bu tüfler daha önce tarif edilen üsttüflerin ince taneli üst seviyelerine karşılık gelir.

Örnek No:5 (Şekil 2.3) Kadıköy altı/asfalt üstü ince taneli üsttüfler.

#### DEDEÇINAR KÖYÜ TÜFLERİ

Bigadiç-Balıkesir asfalt yolu üzerinde ve asfaltın 500 m batısında Gürbüz Madencilik tras ocağı olarak bilinmektedir. Açık bej renkli, masif çatlaklı, çok kırıklı, çok ince taneli olan tüfler Ercan ve diğl. (1984) göre Alttüf olarak belirlenmiştir (Foto 2.9).

Örnek No:6 (Şekil 2.3) Dedeçınar köyü taşocağı Alttüfler.

### 2.3.3. TURNATEPE (BALIKESİR) SAHA İNCELEMELERİ

Balıkesir SET Çimento Fabrikası güneyinde ve 2-3 km uzağında yeralmaktadır (Şekil 2.5). Halen çimento katkı maddesi olarak üretim yapılan tüfler, Foto 2.10 'da izleneceği gibi bazen masif, beyaz, bej-sarımsı tonlarda, yer yer tuf ve breşik zonlar ardışıklı seviyeler oluştururlar. Petrografi açısından esas itibarıyla riyolitik-andezitik bileşimdeki kayalar, fabrika çalışanlarıncı endüstriyel anlamda, camsı fazın fazlalığından dolayı, perlitik tuf şeklinde adlandırılmaktadır. Foto 2.11 'de görüldüğü gibi ince ve orta taneli tuf içinde yabancı kayaç parçaları ve pumisitler bulunur.

Örnek No:7 (Şekil 2.5) Turnatepe (Balıkesir) tufü.

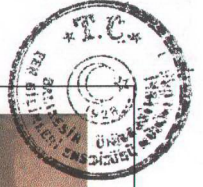


Foto 2.8: Kadıköy-Değirmenli Arası İnce Taneli Tüfler.



Foto 2.9: Dedeçınar Köyü, Alttüfler.

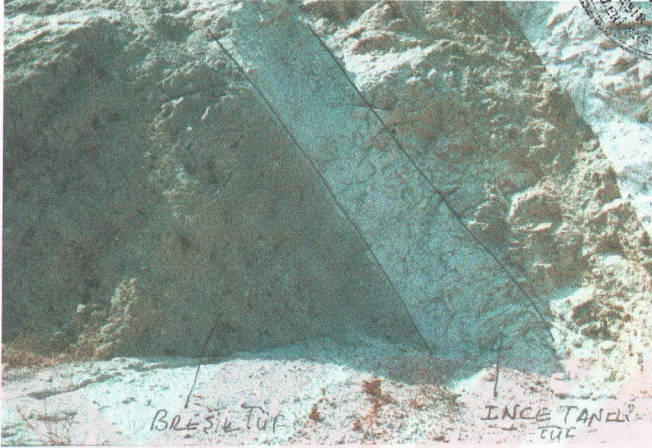


Foto 2.10: Turnatepe Tras Ocağında Perlitik ve Breş Zonları.

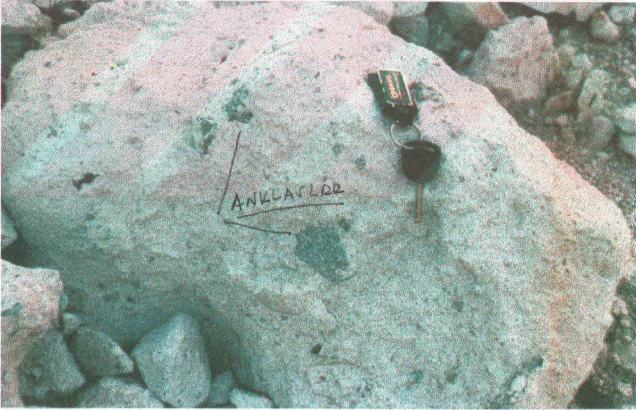
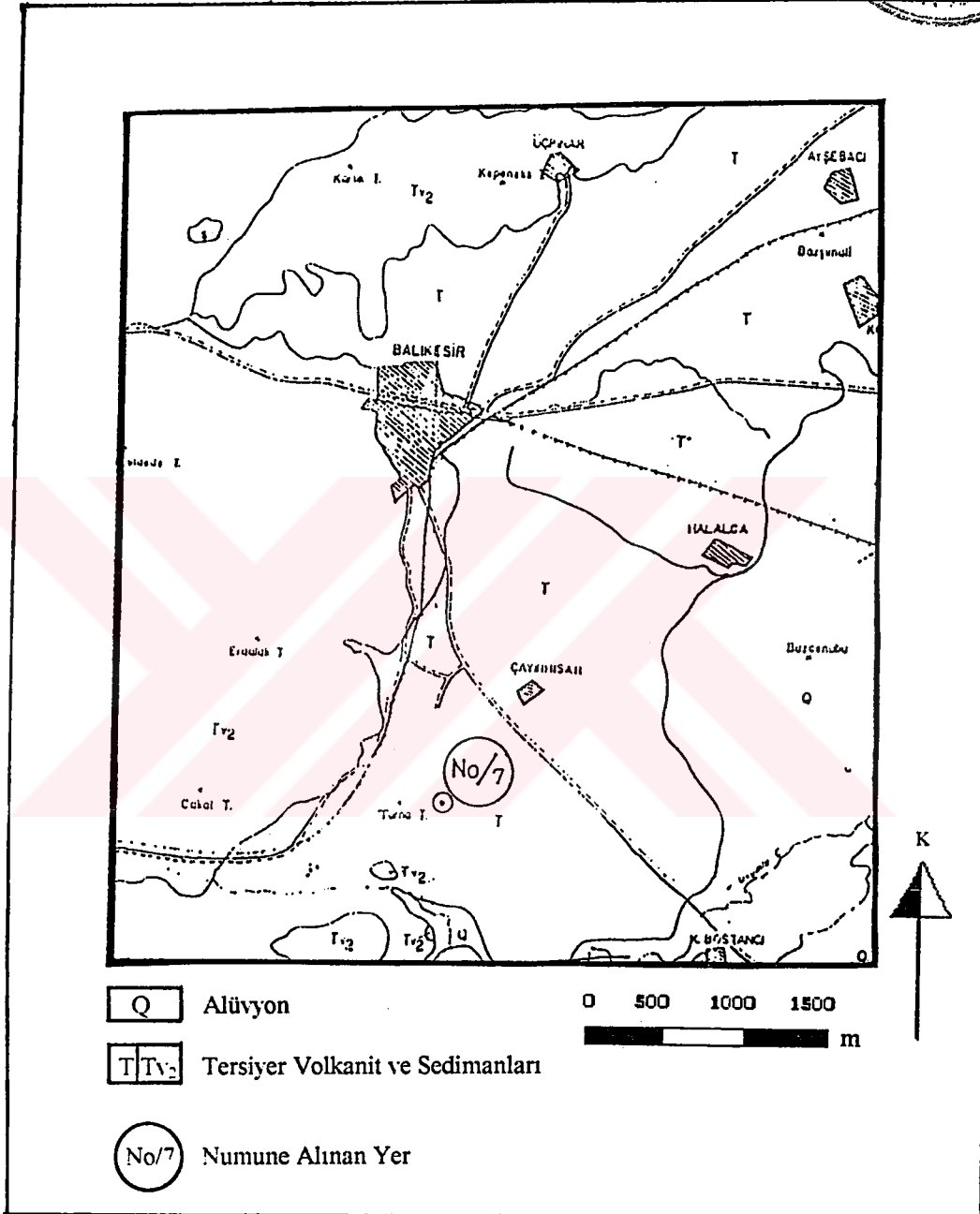
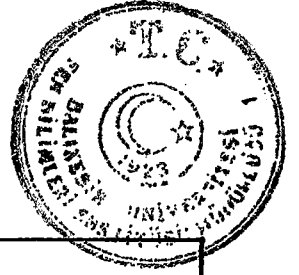


Foto 2.11: Turnatepe Perlitik Tüfleri.





Şekil 2.5: Turnatepe Sahası Tüfleri Jeoloji Haritası (ERGÜL ve dğl 1980).



## 2.4. SONUÇLAR

Bigadiç - Turnatepe ve bu 2 bölge arası tüfler daha önceki çalışmalarda çeşitli şekillerde tanımlanmışlardır.

Bu çalışmada Bigadiç Bölgesi tüfleri, esas olarak boratlı üst ve alt tüfler şeklinde tanımlanır. 2.3.1. 'de verildiği gibi üsttüfler 2 boratlı seviye arasında yaklaşık 100-150 m kalınlığında, ince ve kaba taneli, alta doğru pumisit parçalı, ayrılmış sarımsı bej tonlarında olup, %98 gibi çok yüksek oranda klinoptilolit içerirler. Zeolitik üsttüfler sahada fotoğraflarda da belirlendiği gibi geniş alanlarda yayılım gösterirler.

Tülü Ovası esas olmak üzere Salmanlı, Özgören köyleri kesimlerinde benzer özellikli tüfler Bigadiç-Balıkesir yolu üzerinde Kadıköy-Değirmenli, Dedeçınar köyü civarında da benzer yapı ve özellikler taşırlar. Çizelge 2.1 'de Bigadiç-Turnatepe bölgeleri tüflerinin saha özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1: Bigadiç-Turnatepe Tüflerinin Saha Özellikleri.

No	Yeri	Renk/Tane	Yapı/Doku	Diğer Özellikleri
1	Tülü ocağı Kırüstü Tepe	Bej Renkli Kaba taneli	Masif,kompakt Bol pumistli	2 boratlı seviye arası Üsttüfler
2	Salmanlı Köyü üstü	Sarımsı bej Camsal doku	Camsal doku Bol çatlaklı,masif	Benzer özellik farklı olarak camsal hamurlu
3	Özgören Köyü	Sarımsı bej	Camsal hamurlu	Salmanlı köyü camsal tüfleri devamıdır
4	Kadıköy- Değirmenli arası	Sarımsı bej	Camsal hamurlu	Pumist parçalı
5	Kadıköy altı asfalt üstü	Açık bej renkli İnce taneli	Masif, çatlaklı	Bir önceki tüflerin devamı şeklindedir
6	Dedeçınar Köyü (Gürbüz M. Oc.)	Açık sarımsı bej renkli	Masif, çatlaklı Yeryer camsal	-
7	Turnatepe (SET Çimento Ocağı)	Beyaz, bej- sarımsı tonlarda	Breşik veya masif, ince taneli	Breşik ve ince taneli tabakalı ardışık seviyeli



## BÖLÜM-3

### HAMMADDE ÖZELLİKLERİ

Bigadiç ve Turnatepe Bölgelerinde yayılım gösteren volkanik tüflerin çimento sanayiinde kullanılabilirliği ve özelliklerinin ortaya konması amaçlanan bu çalışmada; saha incelemelerine paralel olarak sözkonusu hammaddeleri daha belirgin bir biçimde tanımlama maksadıyla, laboratuvar deney ve tetkiklerinin yapılabilmesi için çeşitli üniversite ve kuruluşlardan yararlanılmıştır.

Tüflerin incelenmesinde kullanılan laboratuvar teknikleri şunlardır:

- Petrografik inceleme
- X-Ray difraktometre incelemesi
- Teknolojik inceleme
- Kimyasal inceleme

### 3.1. PETROGRAFIK İNCELEME

Petrografik incelemeler İTÜ Maden Fakültesi, Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalı Optik Mineraloji Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Derlenen kayaç örneklerinin, Taşkesme ve Parlatma Atölyesinde, ince kesitleri (0.02 mm kalınlıkta) hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitlerin Leitz-pol türü araştırma mikroskobu ile petrografik-mineralojik incelemeleri yapılmıştır. Söz konusu kayaçların doku, tane boyutu, mineral bileşimi, modal oranları ve ayrışma ürünleri gibi çeşitli özellikleri tanımlanmıştır.



## ÖRNEK NO 1: Tülü Ovası Kırüstü Tepe

### Makroskopik İnceleme

- Renk: Beyaz, krem rengi tonlarında, yer yer yeşil fenokristaller izlenir.
- Yapı/Doku: Kompakt, hafif, çok ince tane yapılı, tuf (volkanik) yapısında.
- Asitte Reaksiyon: Herhangi bir köpürme izlenmedi. Malzemede karbonat yoktur.

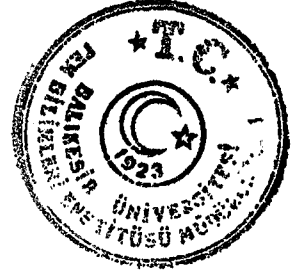
### Mikroskop İncelemesi (Foto3.1)

- Doku: Volkanik camsal hamur içinde az oranda (%8) kristallere rastlanır. Bunlar, biyotit, kuvars plajiyoklas türlerindedir.
- Volkanik Cam: Açık sarımsı, kahve rengi tonlarındadır. İçerdiği opak mineraller bozuşmuştur.
- Mineral Tane Boyutları: 0.35-0.05 mm arası değişir.

Mineral Bileşimi	%Modal Oran	Özellikler
Kuvars	10	Yarı köşeli, 0.12-0.5 mm boyutlu, çatlaklı, kırıklı.
Sanidin	12	Dikdörtgen kesitli, idiomorf şekilli, 0.35 mm boyutlu.
Plajiyoklas	5	Yarı idiomorf şekilli, 0.25 mm boyutlu, ikizli (albit) bileşimlidir.
Biyotit	3	0.25 mm boyutlu, kahrengi-siyah pleokroik.

Boşluk	5	Hamur içinde opakla çevrelenmiş 0.5 mm boyutlu.
Camsal Hamur	65	Açık kahve tonlarında, çeşitli camsal yapı ve izleri içerir. Ayrıca çok ince kriptokristaller içerir.

**RIYOLİTİK Tuf:** Camsal hamurlu, ince taneli.



## ÖRNEK NO 2: Salmanlı Köyü Üstü

### Makroskopik İnceleme

- Renk: Gri kahve tonlarında (sarımsı bej).
- Yapı/Doku: Kompakt, taneli görümlü, çatlaklarda bol demir kalıntıları izlenir.
- Asitte Reaksiyon: Yoktur.

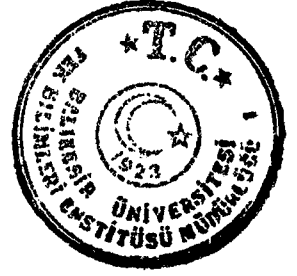
### Mikroskop İncelemesi (Foto 3.2)

- Doku: Bol fenokristalli (%30-40), yarı camsal, yarı mikro taneli hamur içeren volkanik doku içinde, farklı tane boyutlu fenokristaller izlenir.
- Fenokristal Boyutları: 2.5-0.3 mm arası.

Mineral Bileşimi	%Modal Oran	Özellikler
Fenokristaller	40-45	
Kuars	3	İnce taneli, yarı köşeli az orandadır.
Sanidin	15	İri taneli, 2-3 mm boyutlu yarı köşeli, çatlaklı, kırıklı, dalgalı yanıp sönmeli, içinde hamur inklüzyonları içerir. Bazen içinde boşluklar içerir.
Plajiyoklas	10	İri-orta taneli, (0.9 mm) kırıklı ve ikizli yapılar gösterir. Albit bileşimlidir.
Biyotit	12	İdiyomorf kristaller halinde, 0.6-2.7 mm arası değişir. Bazen kırıklı aşınmış şekiller gösterir pleokraik. Bazen opaklaşmıştır.

Hamur (Matriks)	60	Yarı camsal, yarı ince kristalli, tekniolde açık sarımsı kahve tonlarındadır. Kriptokristal oranı %25-30 'dur
-----------------	----	---

**DASİTİK Tuf.**



### ÖRNEK NO 3: Özgören Köyü

#### Makroskopik İnceleme

- Renk: Sarımsı bej tonlarında.
- Yapı/Doku: Masif, kompakt (kütlesel), gözle görülür taneli, 1-2 mm boyutlu mineraller izlenmektedir.
- Asitte Reaksiyon: Yoktur.

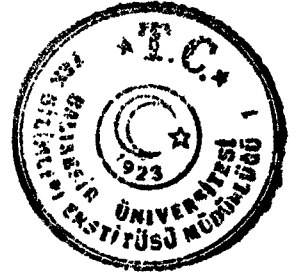
#### Mikroskop İncelemesi

- Doku: Porfirik. Bol oranda farklı boyut ve şekilde fenokristaller mevcuttur. Bunları çevreleyen yarı camsal, yarı mikrotaneli hamur izlenir.
- Fenokristal Tane Boyutları: 2-0.3 mm arası değişir.

Mineral Bileşimi	%Modal Oran	Özellikler
Fenokristaller		
Sanidin	20	Aşınmış, kırıklı, bol çatlaklıdır. İri taneli, 1.5-2 mm boyutlu kırıklı, çatlaklı ve yarı idiomorf şekiller altında izlenir. Esas kayaç yapıcı mineraldir.
Plajiyoklas	12	İri taneli (1.5-2 mm), idiomorf şekillerde, dikdörtgen kesitlidir. plajiyoklaslar; oligoklas(An % 30) bileşimindedir. Polisentetik ikizlenme gösterir. Ayırışma izlenmez.
Mika (Biyotit)	8	0.7-0.8 mm boyutlu, çubuksu veya levha şekilli, pleokraik çoğunlukla opak-demirli ayırışım geçirmiştir.
Kuars	5	Orta ve ince taneli, kenarları yuvarlatılmıştır.

Hamur (Cam+Mikrokristal)	55	Çok ince, mikron boyutlu kuvars+feldspat mineralleri camsı hamur kısmı kahve tonlarında.
--------------------------	----	--

**DASİTİK Tüf: Yarı camsal hamurlu, Biyotitli.**



#### ÖRNEK NO 4: Kadıköy-Değirmenli Arası

##### Makroskopik İnceleme

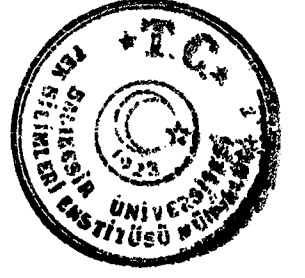
- Renk: Gri-açık kahve ve karışık tonlarda.
- Yapı/Doku: Masif görümlü, kompakt, taneli bir görünüme sahiptir.
- Asitte Reaksiyon: HCL ile reaksiyonda CO<sub>2</sub> çıkışı gözlenmiştir.

##### Mikroskop İncelemesi

- Doku: Bol fenokristalli. Porfirik doku. Bunları çevreleyen hamurda kalsitleşme izlenmektedir.
- Fenokristaller: Köşeli, yarı köşeli, farklı tane boyutlarında, çok az oranda çatlak izlenir.
- Tane Boyutu: 0.3-1.5 mm arası değişir.
- Hamur: %90 oranında kalsitleşmiştir. Yabancı kayaç parçaları da içerir.

Mineral Bileşimi	%Modal Oran	Özellikler
Fenokristaller	45-50	
Kuvars	12	İri taneli, yarı köşeli kırıklı kristaller halinde, esas fenokristal olarak bulunur.
Sanidin	10	İri orta taneli, çok çatlaklı kırıklı şekillerde, kuvars ile birlikte yer alır.
Plajiyoklas	12	İri-orta taneli, idiomorf (özşekilli) kristaller albit bileşimlidir. Polisentetik ikizler gösterir. Zonlu yapı izlenir.
Mika (Biyotit)	10	İri-orta taneli, çubuksu veya levhamsı şekillerde, beyaz ışıkta koyu kahve pleokroik.
Hamur	50	Teknikolde kahve rengi tonlarında, tamamıyla kalsitleşmiştir.
Yabancı Kayaç	3	

**BIYOTİTLİ RİYOLİTİK Tuf: Hamuru kalsitleşmiş.**



### **ÖRNEK NO 5: Kadıköy Asfalt Üstü**

#### **Makroskopik İnceleme**

- Renk: Grimsi bej tonlarda.
- Yapı/Doku: Masif, üniform yapıda, konkoidal kırıklı, tanesiz bir yapı gösterir.
- Asitte Reaksiyon: Yoktur.

#### **Mikroskop İncelemesi**

- Doku: Afanitik. Hiçbir feneokristal izlenmez. Kriptokristalin doku içinde herhangi bir mineral tanımı mümkün değildir. Yer yer kalıntı, opaklaşmış çubuksu biyotit kristalleri, opak mineral, birkaç kuvars ve feldspat taneciği içeren koyu kahve renkli camsal bir hamur izlenir.

**Afanitik Toz Tüf 'tür.**

### **ÖRNEK NO 6: Dedeçınar Köyü**

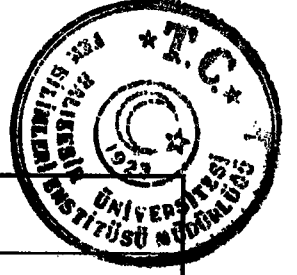
#### **Makroskopik İnceleme**

- Renk: Benekli, bej tonlarında.
- Yapı/Doku: Kumlu görünümde, taneli, (ince-orta), kompakt. Yer yer çatlaklar boyunca sıvanmış demir oksitler izlenir.
- Asitte Reaksiyon: Yoktur.

#### **Mikroskop İncelemesi** (Foto 3.3)

- Doku: Bol fenokristalli ve bunları çevreleyen yarı camsal hamurlu Porfirik dokuludur.
- Fenokristaller: İnce ve orta taneli, yarı öz şekilli, yaklaşık %50 oranında mevcuttur.
- Hamur: Fenokristalleri çevreleyen yarı camsal özellikte çok az oranda kriptokristaller izlenir.
- Tane Boyutu (Fenokristaller): 0.1-0.35 mm arası değişir.





Mineral Bileşimi	%Modal Oran	Özellikler
Fenokristaller		
Kuvars	8-10	Yarı köşeli, az çatlaklı, iri taneli (0.35 mm), dalgalı yapı-sönme gösterir.
Sanidin	8	İri orta taneli, kırıklı ve çatlaklıdır.
Plajiyoklas	10-12	İri-orta taneli, yarı öz şekilli dikdörtgen kesitli, albit-oligoklas bileşimli (An %20-25) 'dir.
Mika (Biyotit)	12-13	Farklı boyutlarda, yaygın pleokraik, kısmen opaklaşmıştır.

Hamur	45-50	Teknikholde kahve renkli, camsal, içinde çok ince ve az oranda kriptokristaller izlenir.
-------	-------	--

### **BİYOTİTLİ RİYOLİTİK Tüf.**

#### **ÖRNEK NO 7: Turnatepe**

##### Makroskopik İnceleme

- Renk: Açık beyaz.
- Yapı/Doku: Tüf görümlü, gözenekli, içinde birkaç kuvars kristali izlenir.
- Asitte Reaksiyon: Yoktur.

##### Mikroskop İncelemesi (Foto3.4).

- Doku: Tamamıyla camsal hamur içinde köşeli ve yarı köşeli birkaç mineral izlenir.

Mineral Bileşimi	%Modal Oran	Özellikler
Kuvars	10-15	Çeşitli büyüklükte ve kırıklı, köşeli, yarı köşeli, tek mineraldir.

Hamur	80-90	Camsal, lifsel yapı izlenir.
-------	-------	------------------------------

### **RİYOLİTİK Tüf 'dür.**

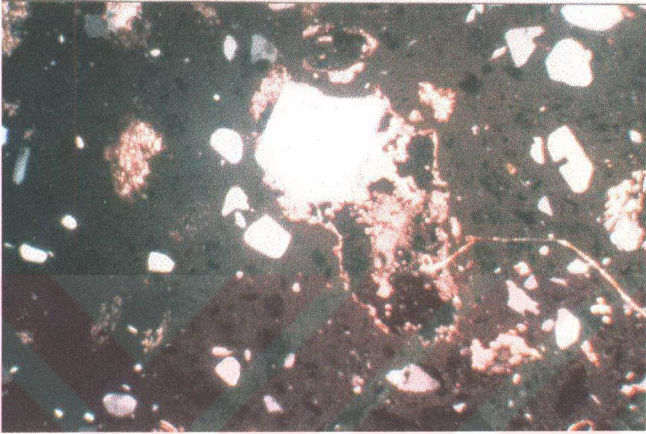


Foto 3.1: İnce Kesit No:1. Tülü Ovası Tüfünün Mikroskopik Görünümü. Çapraz Nikol. X 150.

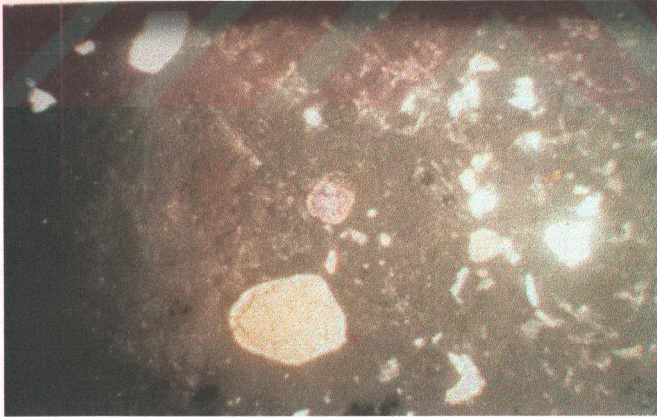


Foto 3.2: İncekesit No:2. Salmanlı Köyü Tüfünün Mikroskopik Görünümü. Çapraz Nikol. X 150.

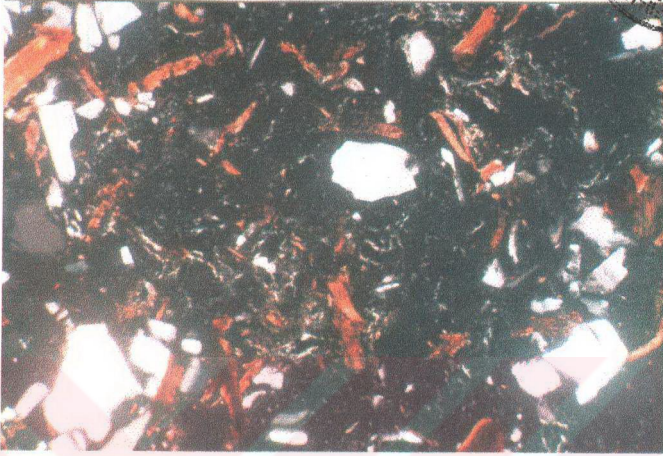


Foto 3.3: İncekesit No:6. Dedeçinar Köyü Tüfünün Mikroskobik Görünümü. Çapraz Nikol. X 75.

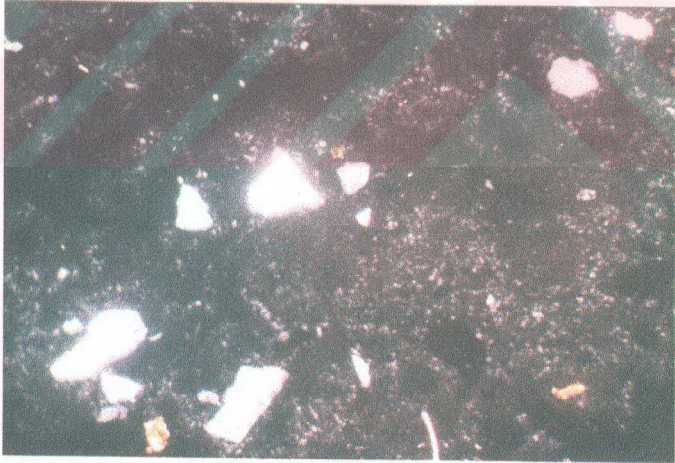
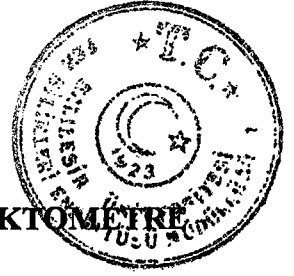


Foto 3.4: İncekesit No:7. Turnatepe Perlitik Tüfün Mikroskobik Görünümü. Paralel Işık. X 75.



### 3.2. BİGADIÇ VE TURNATEPE TÜFLERİNİN X-RAY DİFRAKTOMETRE İNCELEMESİ

Bigadiç ve Turnatepe sahalarında alınan örneklerin mineralojik özelliklerinin daha belirgin hale getirilebilmesi için MTA Endüstriyel Hammaddeler Mineralojisi Birimi Laboratuvarlarında X-Ray difraktometre toz metodu ile inceleme yapılmıştır. Bunlara ait difraktogramlar Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 'dedir.

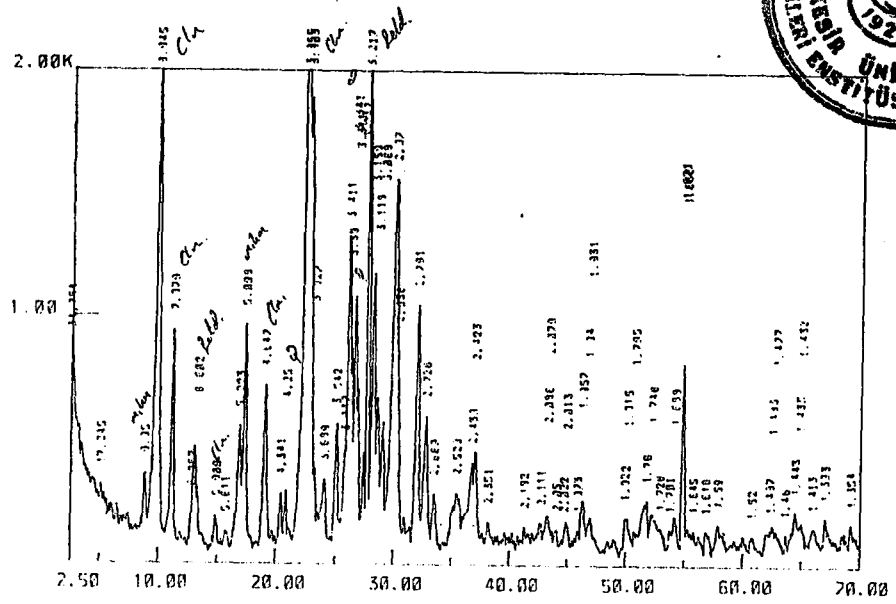
Elde edilen veriler Çizelge 3.1 'de özetle verilmiştir. Çizelgedeki mineralojik veriler, bölüm 3.1. 'de verilen petrografik verilerle uyumludur. Örneğin Tülü Ovası (Kırüstü tepe) (No:1) üsttüfleri benzer şekilde riyolitik tüf olarak adlanmış. Ancak bu yöntemle farklı olarak zeolit minerali (klinoptilolit) varlığı saptanmıştır.

Dedeçınar (No:6) örneği mikroskop altında biyotitli riyolitik tüf olarak tanımlanmış olup, X-ışınlarında ise farklı olarak zeolit (klinoptilolit) izlenmiş, diğer mineral toplumu benzer olup riyolitik tüf olarak tanımlanmıştır.

Turnatepe (No:7) örneği, ince taneli ve breşik türde olup, ince taneli kısmında kil minerallerinden montmorillonit, kaolinit ve kalsit minerallerine rastlanmıştır. Breşik tüflerde ise, kil minerali (montmorillonit) ve feldispatlar yanında, ayrıca az oranlarda mika (biyotit) ve amfibol (hornblend) 'e rastlanmıştır. Böylece Turnatepe 'de riyolitik ince taneli kısım ile andezitik breşik tüflerin üstüste katmanlar halinde varoldukları ortaya konmuştur.

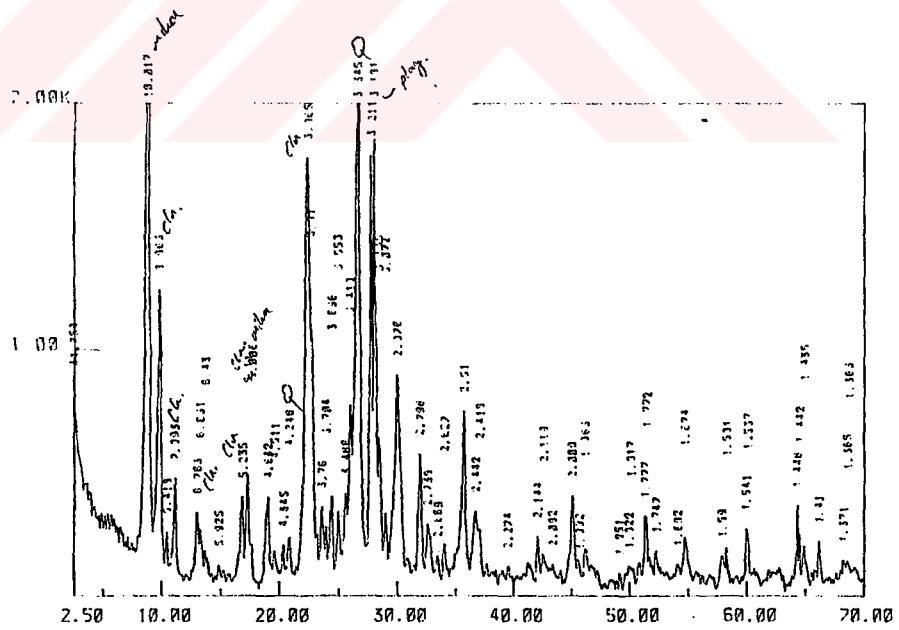
Çizelge 3.1: Bigadiç ve Turnatepe Tüflerinin X-Ray Difraktometre Verileri.

Örnek No	Yeri	Mineral Bileşimi	Kayaç
1	Tülü ovası	Klinoptilolit Feldispat Mika Kuars	Klinoptilolitli Riyolitik tüf
6	Dedeçınar	Mika Kuars Klinoptilolit Plajiyoklas	Klinoptilolitli Riyolitik tüf
7	Turnatepe (ince taneli)	Montmorillonit Kalsit Feldispat (plajiyoklas) Kuars Kaolinit	Riyolitik tüf
7	Turnatepe Breşik	Montmorillonit Feldispat Amfibol (az) Mika (az) Biyotit	Andezitik (Breşik) tüf



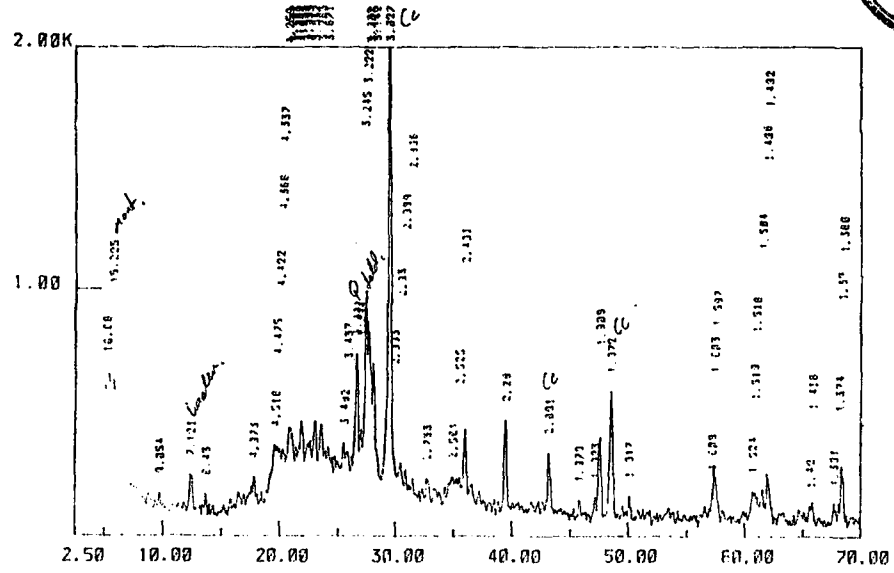
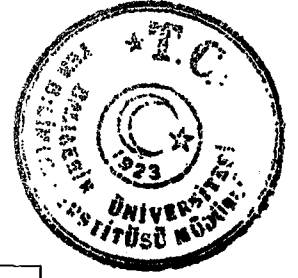
Şekil 3.1: Üstüfe Ait Difraktogram.

20



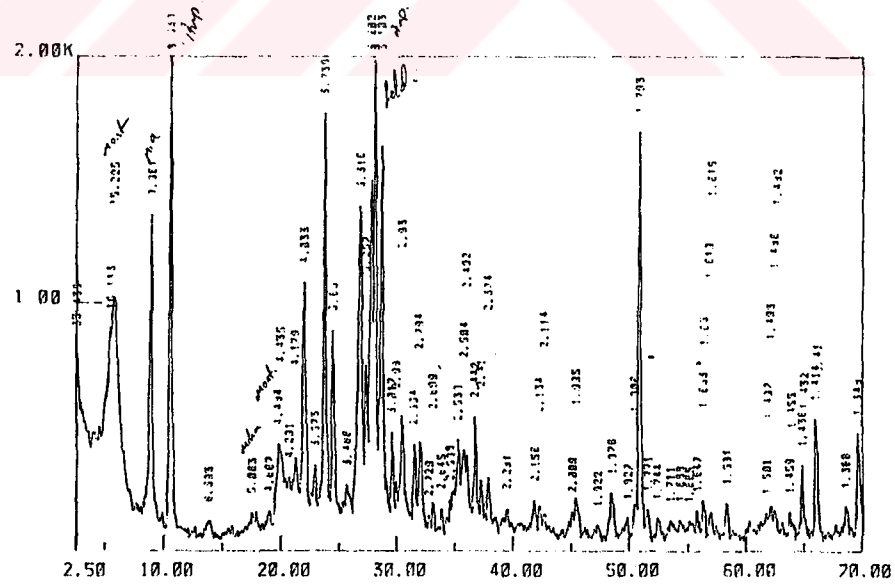
Şekil 3.2: Alttüfe Ait Difraktogram.

20



Şekil 3.4: Turnatepe Breşik Tüfe Ait Difraktogram.

20



Şekil 3.3: Turnatepe Perlitik Tüfe Ait Difraktogram.

20



### 3.2.1. X-RAY DİFRAKTOMETRE DEĞERLENDİRİLMESİ

### İNCELEMELERİNİN

İnceleme alanı Bigadiç ve Turnatepe bölgelerine ait tüflerin, saha ve mikroskopik özellikleri 2. ve 3. bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir. Buna göre,

Benzer olarak;

- Her iki bölgede rastlanan volkanik tüfler riyoitik özelliktedir.
- Her bölgeye ait tüfler çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır.
- Saha özellikleri yaklaşık olarak benzerdir.

Farklı olarak;

#### Bigadiç Bölgesi tüfleri:

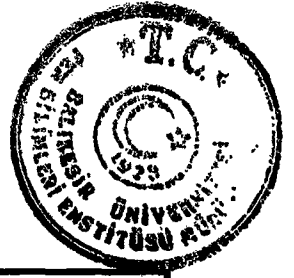
- Tümü riyoitik veya dasitik (asidik) tüflerdir
- Tümü camsal veya yarı camsal hamurdur
- Ayrıca farklı olarak X-ışınları incelemesinde zeolit (klinoptilolit) 'e bol oranda rastlanmıştır.

#### Turnatepe Bölgesi tüfleri:

- Arazide ince taneli tüflerle, breşik tüfler ardışık seviyeler halinde riyoitik ve andezitik özelliktedir.
- Montmorillonit, kaolinit, kalsit gibi ikincil ayrışma ürünü kil minerallerine rastlanmıştır.
- Bigadiç bölgesinde bol oranda rastlanan zeolit (klinoptilolit) minerallerine Turnatepede rastlanmamıştır.

### 3.3. TEKNOLOJİK İNCELEME

Önceki bölümde Bigadiç ve Turnatepe tüflerinin saha özellikleri yanında, laboratuvarında petrografik (mineralojik), mikroskopik, X-ışınları difraktometre tayinleri ile mineral bileşimleri, ayrışım mineralleri ile zeolitik (klinoptilolit) mineralleri saptanmış böylece tip kayaç tanımı yapılmıştır. Söz konusu çimento hammaddesi olan tüflerin teknolojik özellikleri, % su emme, birim ağırlık, porozite (%), basınç dayanımlarının da tayinleri yapılmıştır. Bigadiç bölgesinde alt ve üsttüflerle, Turnatepe örnekleri üzerinde teknolojik özellikler için her grup örnekten 3 'er deney yapılmıştır. Böylece tüflerin jeolojik-petrografik-mineralojik özellikleri yanında fiziksel parametreleri de ortaya konmuştur. Çizelge 3.2 'de Bigadiç ve Turnatepe tüflerinin teknolojik özellikleri verilmektedir.



Çizelge 3.2: Bigadiç ve Turnatepe Tüflerinin Teknolojik Özellikleri.

Örnek Türü	Deney Adedi	Su Emme (%)	Birim Ağırlık (Kg/m <sup>3</sup> )	Porozite (%)	Basınç Dayanımı (Kg/cm <sup>2</sup> )
Alttüf (No:6)	1	9.2	1793	14	157
	2	10.2	1788		89
	3	10.3	1790		64
Dedeçinar	1	18.5	1512	25	150
	2	14.5	1509		110
	3	15.5	1500		162
Turnatepe (No:7)	1	17.0	1451	28	49
	2	17.6	1420		45
	3	18.0	1430		-

### 3.3.1. TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tüflerden, Bigadiç Bölgesine ait üst ve alttüflerle, Turnatepe (Balıkesir) tüfleri dikkate alınmıştır.

Alttüflerde, birim hacim ağırlık 1788-1793 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmekte, su emme %9.2-10.3 arasında, porozite %14, basınç dayanımı ise 64-157 kg/cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Üsttüflerde, birim hacim ağırlık 1500-1512 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmekte, su emme %14.5-18.5 arasında, porozite %25, basınç dayanımı ise 110-162 kg/cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Turnatepe tüflerinde, birim hacim ağırlık 1420-1451 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmekte, su emme %17.0-18.0 arasında, porozite %28, basınç dayanımı ise 45-49 kg/cm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

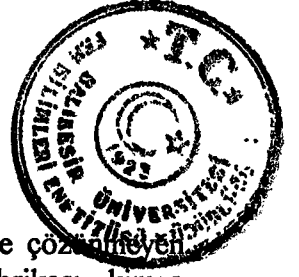
Buna göre, 3 farklı seviyede, fakat yaklaşık benzer petrografik özellikteki tüflerin teknolojik özelliklerinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir:

**Alttüfler**, en düşük su emme ve porozite, orta düzeyde basınç dayanımı gösterirken, en yüksek birim ağırlıklara sahiptir.

**Üsttüfler**, orta düzeyde su emme ve porozite değerleri gösterirken, en yüksek basınç dayanımları bulunmuştur.

**Turnatepe tüflerinde** ise, en düşük birim hacim ağırlıkları ile basınç dayanımları izlenirken, en yüksek su emme ve porozite değerleri saptanmıştır.





### 3.4. KİMYASAL İNCELEME

Bigadiç ve Turnatepe 'den alınan örneklerin kimyasal özelliklerinin ve çözünmeyen kalıntı miktarlarının belirlenmesinde Balıkesir SET Çimento Fabrikası kimya laboratuvarlarından faydalanılmıştır.

Kimyasal analizler X-Ray Spektrometre cihazı ile yapılmıştır (Çizelge 3.3). Analiz sayısının yetersiz olması nedeniyle, genel değerlendirme sınırları içinde, örneklerin nötr-asidik bir magmaya ait alkalilerce orta derecede zengin lökokratik piroklastik kayalar oldukları ileri sürülebilir.

Çizelge 3.3: Bigadiç ve Turnatepe Tüflerinin Kimyasal Analizleri, Kızdırma Kaybı ve Çözünmeyen Kalıntı Miktarları.

Numune Adı	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	K.K	Total	Çöz. Kalıntı
Tülü Ovası (Üsttuf)	66.72	11.26	1.04	2.70	0.78	0	3.99	0.32	11.40	98.21	50.32
Dedeçınar (Alttuf)	60.73	14.13	4.41	4.26	1.68	0	2.94	1.49	8.17	97.76	58.70
Turnatepe ince taneli (Perlitik)	63.20	11.91	0.79	4.08	3.40	0	3.60	1.39	10.7	99.05	64.22
Turnatepe Breşik	56.59	16.02	5.59	5.59	3.41	0	2.21	2.42	5.60	97.39	81.86

## BÖLÜM-4



### PUZOLAN ve PUZOLANLI ÇİMENTOLAR

Bu bölümde, çalışmada kullanılan puzolanlar, bu puzolanlarla üretilen çimentolar, puzolanlar ve çimentolar üzerinde yapılan deneyler, deneylerde kullanılan malzemeler, aletler ve sonuçlar açıklanacaktır.

Zeolitik (Alttüf ve Üsttuf) ve perlitik (Turnatepe) puzolanları ve bunlara alternatif diğer çevre puzolanların puzolanik karakterlerinin araştırılabilmesi ve çimento katkı maddesi olarak değerlendirilebilmesi için, puzolanlar ve çimentolar üzerinde fiziksel, kimyasal, minerolajik testler yapılmıştır. Aynı çimentolar mekanik deneylere tabi tutulmuştur.

#### 4.1. PUZOLANLAR

Araştırmada puzolan olarak Bigadiç volkanik tüfleri, (zeolitik üsttuf ve alttuf) ve Turnatepe perlitik tüfleri incelenmiştir. Bu puzolanlara alternatif diğer çevre puzolanları da karşılaştırma yapılmıştır. Diğer alternatif puzolanlar Üçpınar Trası (fabrikaya 8 km), Pamukçu Trası (fabrikaya 12 km) ve Sultançayır Trası (fabrikaya 40 km) 'dir.

Deneylerde kullanılan puzolanlar ocaklardan temsili numune olacak şekilde seçilmiştir. Puzolanlar laboratuvarında, varsa safsızlıkları temizlendikten sonra çeneli kırıcıdan geçirilerek, 1 cm ve daha küçük boyutta kırılmıştır. Kırıcıdan geçirilen numuneler çeker ocakta yaklaşık 24 saat kurutulmuştur. Kuru numunelerin hepsi 1.2 mm 'lik elekten geçecek şekilde tekrar kırıcıdan geçirilmiş, dörtlener torbalarıyla torbalanmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Torbalar normal şartlarda, rutubetsiz bir yerde saklanmıştır.

Puzolanlar üzerinde fiziksel , kimyasal deneyler ve puzolanik aktivite testleri Balıkesir SET Çimento fizik, kimya ve beton laboratuvarlarında yapılmıştır.

##### 4.1.1. FİZİKSEL DENEYLER

Puzolanlarda; özgül ağırlık, incelik ( 40, 90, 200  $\mu$  elek üstü kalıntı ), blaine (özgül yüzey) deneyleri ve öğütülebilirlik testleri yapılmıştır.

##### 1- Özgül Ağırlık:

Özgül ağırlık için hacmi 50 ml olan cam balonlar kullanılmıştır. Öğütülebilirlik testinde hazırlanan inceliği 40  $\mu$  elek üstü  $\%25\pm0.5$  olan numunedan 0.01 g duyarlıklı terazide 20 g alınarak, özgül ağırlık, gazyağında belirlenmiş ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (TS 24).



$$d = \frac{m}{V_2 - V_1}$$

d = Özgül ağırlık (g/cm<sup>3</sup>)

m = Alınan kütle miktarı (g)

V<sub>2</sub> = İlk okunan hacim (cm<sup>3</sup>)

V<sub>1</sub> = Son okunan hacim (cm<sup>3</sup>)

## 2- İncelik:

İncelik için Alpin İncelik cihazı kullanılmıştır (Foto 4.1). 0.01 gr duyarlıklı terazide alınan 10 g numune, 10 mSS sabit basınç altında, önce 40 µ boyutlu elekte 3 dk elenir ve elek üstünde kalan miktar tartılarak % cinsinden belirlenir. Bu işlem kalan numune üzerinde 90 ve 200 µ 'luk elekler için tekrarlanır.

## 3- Özgül Yüzey (Blain):

Özgül yüzey için blain aleti kullanılmıştır (Foto 4.2). Alet, hava geçirgenliği prensibine dayanarak ince taneli malzemelerde özgül yüzeyi belirlemeye yarar. TS 24 'e göre özgül yüzey, 1 gram çimento içindeki tanelerin cm<sup>2</sup> olarak yüzeylerinin toplamıdır. Özgül yüzeyin belirlenmesi için, özgül ağırlığı belirlenen numunedan alınacak madde miktarı belirlenerek, blain aletinin numune hücreğine yerleştirilir. Hücreden geçen hava akışına ve havanın viskozitesine bağlı olarak aşağıdaki formüle göre özgül yüzey (blain) hesaplanır (TS 24).

Alınacak madde miktarı = d × 32.71

$$S = K \frac{\sqrt{e^3} \cdot \sqrt{t}}{d \cdot (1-e) \cdot \sqrt{\eta}}$$

S = Özgül yüzey (cm<sup>2</sup>/g)

K = Alet sabiti ( kalibrasyon numunesine göre belirlenir )

e = gözeneklilik (0.5)

t = Havanın saniyedeki akışı ( ölçülen akış süresi ) (s)

d = Çimento numunesinin özgül ağırlığı (g/cm<sup>3</sup>)

η = Hava viskozitesi (sıcaklığa bağlı olarak hava viskozitesinin değişimi)

## 4- Öğütülebilirlik Testi:

Öğütülebilirlik testi için 1.2 mm boyutunda hazırlanan numunelerden alınan 2 kg 'lık numune Linotex değirmende belirli zaman aralıklarında öğütülmüştür. Zaman aralığı 10 dakika olmak üzere ve her zaman sonu numunelerin incelikleri (40, 90, 200 µ), özgül ağırlık ve blainleri belirlenmiştir. İşlem 40µ elek üstü % 25±0.5 olduğunda bitirilmiştir.



Foto 4.1: Alpin İncelik Cihazı.

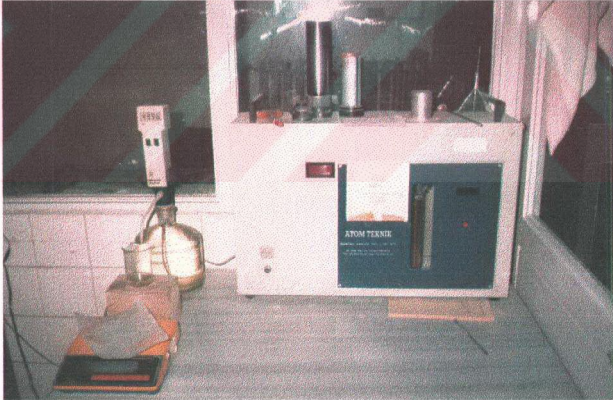


Foto 4.2: Özgül Ağırlık ve Blain Aleti.



Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8 'de puzolanların özgül ağırlık analizi ve 90-200  $\mu$  elek analizi ve ögütülebilirlik test sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.1: Üsttufün Blain, Özgül Ağırlık ve Elek Analizi Sonuçları.

Zaman (dk)	40 $\mu$	90 $\mu$	200 $\mu$	Öz. Ağ.	Blain
10	47.2	14.9	0.9	2.15	6605
20	30	3.1	0.1	2.1	8907
25	25.2	1.7	0.1	2.11	9762

Çizelge 4.2: Alttufün Blain, Özgül Ağırlık ve Elek Analizi Sonuçları.

Zaman (dk)	40 $\mu$	90 $\mu$	200 $\mu$	Öz. Ağ.	Blain
10	65.7	39	6.2	2.38	3214
20	50.4	16.4	0.6	2.39	4532
30	37.6	5.8	0.2	2.37	4796
46	25.3	2.1	0.1	2.37	6809

Çizelge 4.3: Turnatepe Perlitik Puzolanının Blain, Özgül Ağırlık ve Elek Analizi Sonuçları.

Zaman (dk)	40 $\mu$	90 $\mu$	200 $\mu$	Öz. Ağ.	Blain
10	71.4	53.6	29.9	2.38	3332
20	58.8	34.2	8.4	2.35	3775
30	46.2	15.2	1.2	2.32	5412
40	34.3	4.1	0.1	2.32	6025
45	29.6	2.3	0.1	2.26	6293
50	25.2	1.2	0	2.26	6463

Çizelge 4.4: Turnatepe Breşinin Blain, Özgül Ağırlık ve Elek Analizi Sonuçları.

Zaman (dk)	40 $\mu$	90 $\mu$	200 $\mu$	Öz. Ağ.	Blain
10	70.7	51.3	29.7	2.58	2496
20	56.8	31.2	7.2	2.58	3586
30	44.7	13	0.7	2.57	4397
40	34	3.9	0.2	2.57	5062
45	29.8	2.3	0.2	2.57	5365
52	25.5	1.3	0.1	2.56	5805



Çizelge 4.5: Sultançayır Puzolanının Blain, Özgül Ağırlık ve Elek Analizi Sonuçları.

Zaman (dk)	40 $\mu$	90 $\mu$	200 $\mu$	Öz.Ağ.	Blain
10	60.1	39.5	13.3	2.30	2775
20	45.1	16.8	1.5	2.31	3999
30	31.1	4.4	0.2	2.29	5042
38	25.3	1.6	0	2.29	5644

Çizelge 4.6: Pamukçu Üst Puzolanının Blain, Özgül Ağırlık ve Elek Analizi Sonuçları.

Zaman (dk)	40 $\mu$	90 $\mu$	200 $\mu$	Öz.Ağ.	Blain
10	63.8	46.8	25.3	2.22	4628
20	52.5	28.9	6.2	2.23	5315
30	43.5	14.2	0.7	2.24	6902
40	34.9	6.2	0.1	2.16	7584
53	27.9	2.1	0.1	2.17	9072
60	23.5	1.2	0.1	2.20	10101

Çizelge 4.7: Pamukçu Alt Puzolanının Blain, Özgül Ağırlık ve Elek Analizi Sonuçları.

Zaman (dk)	40 $\mu$	90 $\mu$	200 $\mu$	Öz.Ağ.	Blain
10	56.0	35.5	12.2	2.22	4628
20	41.8	15.6	1.4	2.20	6201
30	31.2	5.6	0.1	2.18	7235
39	25.1	2.2	0	2.18	8345

Çizelge 4.8: Üçpınar Puzolanının Blain, Özgül Ağırlık ve Elek Analizi Sonuçları.

Zaman (dk)	40 $\mu$	90 $\mu$	200 $\mu$	Öz.Ağ.	Blain
10	68.5	39.2	13.5	2.17	2880
20	57.3	21.7	2.5	2.15	3578
30	46.9	10.4	0.7	2.15	4220
40	36.7	4.8	0.3	2.10	4522
55	25.2	1.8	0.2	2.14	5382



#### 4.1.2. KİMYASAL DENEYLER

Puzolanlar üzerinde kimyasal olarak çözünmeyen kalıntı, kızdırma kaybı ve kızdırma kaybına bağlı olarak kimyasal analizler yapılmıştır.

##### 1- Çözünmeyen Kalıntı:

Bu deney için 1 g toz numune alınır. Numune önce HCl asit ile tepkimeye sokularak, HCl 'de çözünen maddelerden ve HCl 'den saf su ile arındırılır geriye çözünmeyen silikat kalır. Kalan numune NaOH ile tepkimeye sokularak amonyum nitrat çözeltisi ile süzülür çözünen maddelerden arındırılır. Geriye kalan numune 1000°C 'de 1/2 saat yakılarak tartılır. Çözünmeyen kalıntı miktarı % olarak bulunur (Foto 4.3).

##### 2- Kızdırma Kaybı:

Kızdırma kaybı için 0.0001 duyarlıklı hassas terazide alınan 1 g numune, platin kroze, 1000 °C 'de, sabit tartıma gelinceye kadar yaklaşık 25-30 dk yakılarak desikatörde soğutulur. Soğuyan numuneden tekrar tartım alınarak aşağıdaki formüle göre kızdırma kaybı % olarak belirlenir. Kızdırma kaybı sonucunda H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> ortamdan uzaklaştırılır.

$$K.K. = \frac{V_2 - V_3}{V_2 - V_1}$$

V<sub>1</sub> = Kap ağırlığı (g)

V<sub>2</sub> = Kap ağırlığı + numune ağırlığı (g)

V<sub>3</sub> = Kap ağırlığı + kızdırılmış numune ağırlığı (g)

K.K. = Kızdırma kaybı (%)

##### 3- Kimyasal Analiz:

Puzolanların kimyasal analizi X-R Spektrometre cihazı ile yapılmıştır (Foto 4.4). Kızdırma kaybı belirlenen numuneden, kızdırma kaybına göre alınan numune miktarı fulorexle karıştırılıp ≈1100°C 'de ergitilerek perl dökülür (Foto 4.5 ve 4.6). Hazırlanan perlerin X-R Spektrometre cihazında kimyasal analizleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.9 'da puzolanların kimyasal analizleri, kızdırma kaybı ve çözünmeyen kalıntı miktarları verilmiştir.

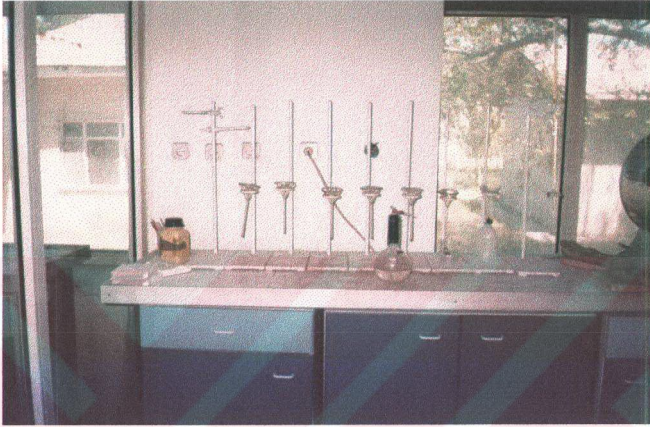
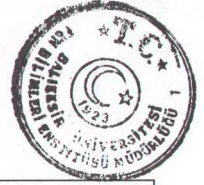


Foto 4.3: Çözünmeyen Kalıntı Deney Düzeni.



Foto 4.4: X-Ray Spektrometre Cihazı.







Çizelge 4.9: Puzolanların Kimyasal Analizleri, Kızdırma Kaybı ve Çözünmeyen Kalıntı Miktarları.

Numune	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	K.K	Total	Çöz.K
Üsttuf	66.72	11.26	1.04	2.70	0.78	0	3.99	0.32	11.40	98.21	50.32
Alttuf	60.73	14.13	4.41	4.26	1.68	0	2.94	1.49	8.17	97.76	58.70
T.T.Perlitik	63.20	11.91	0.79	4.08	3.40	0	3.60	1.39	10.7	99.05	64.22
T.T.Breş	56.59	16.02	5.59	5.59	3.41	0	2.21	2.42	5.60	97.39	81.86
Sultançayır	72.52	12.29	0.70	1.16	0.07	0.02	4.97	2.16	5.88	99.77	77.73
Pamukçu Alt	70.68	11.71	0.59	2.1	0.98	0	5.11	0.51	6.1	97.78	61.49
Pamukçu Üst	71.1	11.48	0.64	2.08	0.64	0	5.4	0.91	5.93	98.18	59.5
Üçpınar	71.88	13.13	0.84	1.99	0.48	0	4.22	3.13	1.68	97.35	37.7

#### 4.1.3. PUZOLANİK AKTİVİTE DENEYİ

Puzolanların aktivitesi TS 25 'e göre mekanik yolla belirlenmiştir. 4×4×16 cm 'lik 3 dikdörtgen prizma veren standart kalıplara, puzolan, kireç, standart kum ve su ile hazırlanan harçların, üstü camla kapatılarak 1 gün (24 saat) normal şartlarda ( %60 nem, 20±2°C sıcaklık), 6 gün 55°C 'lik etüvde olmak üzere bekletilerek 7 gün sonra eğilme ve basınç dayanımlarına bakılmıştır. Her numunedan birer kalıp (3 prizma) hazırlanmıştır.

Aktivite deneyinde gerekli puzolan (tras) ve su miktarı aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır:

$$\text{Alınacak tras miktarı (g)} = 300 \times \frac{\text{Trasın özgül ağırlığı}}{\text{Kireç özgül ağırlığı}}$$

$$\text{Alınacak su miktarı (cc)} = (\text{Tras miktarı} + \text{Kireç ağırlığı}) \times 0.5$$

$$\begin{aligned} \text{Kireç özgül ağırlığı} &= 2.20-2.22 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Kireç ağırlığı} &= 150 \text{ g} \\ \text{Standart kum ağırlığı} &= 1350 \pm 0.5 \text{ g} \end{aligned}$$

Kullanılan kireçler; özel hazırlanmış, özgül ağırlığı belli ve inceliği puzolanın inceliğine yakın olan kireçlerdir. Kireç ağırlığı daima sabittir.

Harç üretimi TS 24 esas alınarak gerçekleştirildiği için özellikleri TS 819 'da belirtilen standart kum kullanılmıştır. Standart kum Trakya Çimento Sanayii T.A.Ş. SET Çimento Fabrikasından alınmıştır. Kumun bir torba ağırlığı NET=1350±0.5 g ve granülometrisi aşağıda belirtilen değerler arasındadır (Çizelge 4.10).



Çizelge 4.10: Standart Kumun Granülometrik Bileşimi.

Elek göz açıklığı	(mm)	2	1.60	1.00	0.50	0.16	0.08
Elek üzerinde kalan	(%)	0	8±2	33±2	67±2	87±2	98±2
Elekten geçen	(%)	100	92±2	67±2	33±2	13±2	2±2

Aktivite deneyinde traslara hesaplanan miktardan, harç kıvamına bakılarak, gerekiyse fazla veya daha az su ilave edilmiştir. Trasların hemen hepsi fazla suya ihtiyaç göstermektedir.

Çizelge 4.11 'de puzolanik aktivite için hazırlanan harç karışım miktarları ve Çizelge 4.12 'de harçlar üzerinde 7. gün sonundaki eğilme ve basınç mukavemeti değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.11: Puzolanik Aktivite Harç Karışım Miktarları.

Numune Adı	Puzol. Öz.Ağ. (g/cm <sup>3</sup> )	Kireç Öz.Ağ. (g/cm <sup>3</sup> )	Puzolan (g)	Kireç (g)	Kum (g)	Su (cc)	±Su (cc)
Üsttuf	2.11	2.20	288	150	1350	219	+70
Alttuf	2.37	2.20	323	150	1350	236	+30
T.T.Perlitik	2.26	2.22	308	150	1350	229	-5
T.T.Breş	2.56	2.20	349	150	1350	250	+10
Sultançayır	2.29	2.20	310	150	1350	230	+12
Pamukçu Alt	2.18	2.20	297	150	1350	223	+30
Pamukçu Üst	2.20	2.20	300	150	1350	225	+35
Üçpınar	2.48	2.20	338	150	1350	244	-3

Çizelge 4.12: Puzolanik Aktivite, Eğilme ve Basınç Mukavemeti Değerleri.

Numune Adı	Eğilmede Çekme Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Basınç Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )
Üsttuf	28	99
Alttuf	27	100
T.T.Perlitik	27	106
T.T.Breş	24	98
Sultançayır	25	82
Pamukçu Alt	26	92
Pamukçu Üst	30	98
Üçpınar	13	55

Çizelge 4.12 'de puzolanların mukavemetlerinin minimum değerden büyük olduğu görülmektedir.





Çimentolara katılan alçıtaşı miktarı %3-%6 arasında değişmektedir. Bu değer alçıtaşı ile klinker arasında yapılan, optimizasyona göre seçilir. Çimentoların hazırlanmasında kullanılan puzolanlar ise, bölüm 4.1 'de açıklanmıştır.

Çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri her grubun çimento ve beton deneyleri sonuçlarıyla birlikte verilmiştir.

Hazırlanan bütün test çimentoları üzerinde kimyasal, fiziksel deneyler, çimento hamur deneyleri ve mekanik deneyler yapılmıştır. Deneylerin yapımı Balıkesir SET Çimento kimya, fizik ve beton laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2.1. KİMYASAL DENEYLER

##### 1- Kızdırma Kaybı ve Çözünmeyen Kalıntı Tayini:

Kızdırma kaybı ve çözünmeyen kalıntı tayinleri bölüm 4.1.2 'de anlatıldığı gibi yapılmıştır.

##### 2- Serbest Kireç (S.CaO) Tayini:

1 gr çimento numunesi 70°C 'de 50 cc etilen glikolle 1/2 saat otomatik olarak karıştırılır. Cam bir huniye kalın altta, ince üstte olmak üzere iki tane daire kesitli süzgeç kağıdı konularak, emiş yapan bir motor vasıtasıyla karışım süzülür. Süzülen sıvı, önceden hazırlanmış Bromkrosel yeşilli ile (birkaç damla) mavi renk alıncaya kadar karıştırılır. Mavirenkli karışım, zümrüt yeşili renk alıncaya kadar titrasyon aletiyle E.D.T.A çözültisi eklenerek karıştırılır. Titrasyon aletinden okunan değer 0.28 katsayısıyla çarpılarak % S.CaO tayini edilir.

S.CaO 'din 1.3-1.8 değerleri arasında olması istenir. Pratikte bu değere %3 'e kadar alınabilmektedir.

$$\% \text{ S.CaO} = \text{Sayaçtan okunan değer} \times 0.28 \quad \text{veya} \quad \% \text{ S.CaO} = \frac{V \times 0.28 \times F}{N}$$

formülüyle de hesaplanabilir.

Bromkrosel yeşili = 100 cc etil alkole, 1 g toz numune karıştırılarak hazırlanır.  
E.D.T.A. = 8.28 cc HCl asite 1 litreyi tamamlayıncaya kadar saf su ilave edilir.

S.CaO otomatik olarak, çimento değirmenine bağlı Serbet Kireç cihazıyla da ölçülmektedir.

##### 3- X-Ray Spektrometre ile element oksitleri yüzdesi belirlenmiştir.



#### 4.2.2. FİZİKSEL DENEYLER

##### 1-Elek Analizi:

40, 90 ve 200  $\mu$  elek üstü analizleri Alpin incelik cihazı ile yapılmıştır.

##### 2- Özgül Ağırlık ve Özgül Yüzey :

Bütün test çimentolarının özgül ağırlıkları gazyağında ve özgül yüzeyleri Blain aletinde belirlenmiştir.

#### 4.2.3. HARÇ DENEYLERİ

Harç deneyleri çimento hamuru üzerine yapılan deneyler ve mekanik deneyler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Harç deneyleri Balıkesir SET Çimento beton deney laboratuvarında yapılmıştır.

##### 4.2.3.1. ÇİMENTO HAMURU ÜZERİNE YAPILAN DENEYLER

Çimento ve suyla hazırlanan çimento hamuru; çimentoların normal kıvam tayini, donma başı-sonu ve hacim genişleme deneylerinin yapımında kullanılır.

##### 1- Normal Kıvam Tayini:

TS 24 'de yapılan tarife göre normal kıvam, vicat aletinin sondasının, serbest bırakıldığı andan itibaren yarım dakika içinde çimento hamuru içine, cam levhaya 5-7 mm uzaklık kalıncaya kadar batabilmesini sağlayan kıvamdır. Bunun için 0.1 g duyarlıklı terazide tartılan 450 g çimento ve çimento kütlesinin %25-%30 'u kadar içilebilir su, karıştırılarak çimento hamuru yapılır. Hamur 25-30 cm çap, 8 cm derinliğinde koni kesmesi şeklinde ve altına 12×12 cm boyutlarında cam bir levha konulan ebonit kaba düzgünce, içinde hava kalmayacak şekilde, üstü bir spatulla düzeltilerek yerleştirilir. Kap, ucu temiz vicat sondasına konulur. Kıvam suyu yeterli ise vicat sondası, cama, yarım dakika da, 5-7 mm mesafe kalıncaya kadar iner. Değilse bu işlem değişik su miktarlarında tekrarlanarak çimento için gereken su miktarı tesbit edilir.

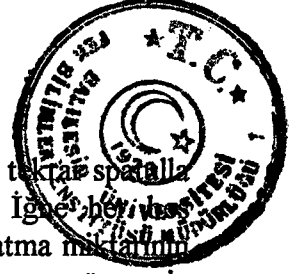
##### 2- Piriz Başlama ve Sona Erme Süreleri:

##### Piriz Başlama Süresi (Donma Başı) (TS 24)

Çimento ile suyun karıştırıldığı andan itibaren vicat iğnesinin cam levhaya 3-5 mm uzaklık kalıncaya kadar inmesine sebep olan kıvama ulaşması için geçen süredir.

##### Piriz Sona Erme Süresi (Donma Sonu) (TS 24)

Piriz bitme süresi, çimento ile suyun karıştırıldığı andan itibaren vicat iğnesinin hamura 1 mm 'den fazla giremeyeceği kıvama ulaştığı ana kadar geçen zamandır.



Donma başı ve sonu için kıvam belirlemede kullanılan numunenin üstü tektar spatulla düzeltilerek elle veya otomatik çalışan vikat iğnesine yerleştirilir. İğne her onbeş dakikada bir hamur yüzeyinden serbest olarak hamur içine bırakılır. Batma miktarının cam yüzeyinden 3-5 mm uzaklıkta kaldığı an priz başlangıcı ve geçen süre priz başlama süresidir. Priz başlangıcından sonra iğne elle her onbeş dakikada bir hamur yüzeyinden düşürülür (iğne bir kez battığı yere birdaha batmamalıdır). Hamura, iğnenin 1 mm 'den fazla giremediği an, priz sonu ve geçen süre, priz sona erme süresidir. Priz başı ve sonu otomatik vikat aleti ile belirlenmiştir. TS 24 'e göre priz süresi 1 saatten az 10 saatten çok olmamalıdır.

### 3- Hacim Genleşmesi Tayini:

Çimento hacminin değişimi TS 24 'e göre pirinçten yapılmış Le Chatelier aleti ile tayin edilir. Aletin et kalınlığı 0.5 mm, iç çapı ve yüksekliği 30 mm 'dir. Silindirik halka eksenine doğrultusunda yarıktır. Yarığın her iki tarafına ve silindirin tam ortasına gelmek üzere 150 mm uzunluğunda iki çubuk lehimlenmiştir.

Deney için; normal kıvam deneyi için hazırlanan çimento hamurundan 20-30 g alınır. Le Chatelier halkasının altına bir cam levha konarak (halkanın içi ince bir yağla yağlanır) hava boşluğu en az olacak şekilde hamur halkaya yerleştirilir. Hamurun üstü bir spatulla düzeltilerek cam levhayla kapatılır. Çubuk uçları arasındaki açıklık 0.1 mm hassasiyette ölçülerek (a) halkalar  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  olan su içine bırakılır. Hamur kalıba konulduktan 24 saat sonra çubuk uçları açıklığı tekrar ölçülür (b). Halkalar cam levhalardan ayrılarak 30-45 dk içinde kaynamaya başlayacak suya, çubukları yukarı gelecek şekilde daldırılır. Kaynama 4 saat devam eder ve kaynayan suyun buharlaşıp uçmaması için ağzı kapatılır. 4 saat kaynama sonunda numuneler laboratuvar sıcaklığına kadar soğutularak çubuk uçlarının açıklığı tekrar ölçülür (c). Toplam hacimsel genleşme katsayısı 10 mm 'i geçmemelidir

(b-a) (c-b) ve (c-a) mm cinsinden ayrı ayrı hesaplanır.

(c-a) = Toplam hacim genleşmesi.

$b-a \leq 4 \text{ mm}$      $c-a \leq 10 \text{ mm}$  olmalıdır.

24 saat su içinde kalan çimento hamurunda bulunan CaO 'nun su ile yaptığı reaksiyon sonunda hamurun hacminde bir artış olmuştur. Bu sebeple (b) değeri (a) dan büyüktür ve (b-a) farkı çimento içinde bulunan sönmemiş kireç hakkında fikir verir. Çimento hamuru kaynar su içinde bulunduğu sırada MgO su ile reaksiyon yaparak CaO gibi hamur hacminin artmasına neden olacaktır.

Hazırlanan bütün test çimentolarında aynı deneyler yapılmış ve sonuçlar beton deney sonuçlarıyla birlikte verilmiştir.



#### 4.2.3.2. MEKANİK DENEYLER

Mekanik deneyler eğilmede çekme ve basınç mukavemeti deneyleri olmak üzere TS 24 'e göre 2, 7 ve 28 günlük kürleri tamamlanan 4×4×16 cm 'lik dikdörtgen harç prizmaları üzerinde yapılmıştır.

Harçlar; hazırlanan puzolanlı çimentolar, standart kum ve çeşme suyu kullanılarak üretilmiştir. TS 24 'de harç karışım oranları 1 kısım çimento, 1/2 kısım su ve 3 kısım standart kum olarak belirtilmiştir. Bu oranlara göre;

450 g çimento + 225 g su + 1350 g kum = 1 standart kalıp (3 dikdörtgen prizma) için gerekli malzeme miktarıdır.

Malzeme tartımları 1 g hassasiyetli terazide yapılmıştır. Malzemeler özel karıştırıcı (Foto 4.7) ile önce su, daha sonra çimento katılarak düşük hızda 30 s karıştırılmış 30 s sonunda özel torbalarda 1350 g olarak bulunan kum da yavaş yavaş katılarak 30 s daha düşük hızda devam edilmiştir. 1 dk sonunda karıştırıcı yüksek hızda 30 s çalıştırılarak numune 90 s kauçuk başlıklı bir çubuk ile elle ve tekrar 90 s yüksek hızda karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi toplam 4 dk sonunda bitmiş olmalıdır.

Karıştırıcıdan alınan harç, bir numune boyutu 4×4×16 cm olan üç numunelik özel çelikten yapılmış kalıplara iki tabaka halinde yerleştirilir (Foto 4.8). İlk tabakası (harcın yarısı) yerleştirilen kalıp, kalıp başlığı takılarak 1 dk 'da 60 sarsma yapan sarsma tablasında 1 dk sarsılır. Sarsma tablasından alınarak ikinci tabaka (harcın kalanı) yerleştirilen kalıp tekrar sarsma tablasında 1 dk sarsılır (Foto 4.9). Sarsma işlemi tamamlandıktan sonra kalıp başlığı çıkarılarak harcın fazlası metal bir master ile düzlenerek üzeri cam bir levhayla kapatılır. Kalıplar numaralanarak 20±2°C sıcaklık ve %90 nisbi nem olan rutubet dolabına yerleştirilir (Foto 4.10).

Dökümden itibaren 24 saat sonra kalıpları sökülen numuneler numaralanarak 20±2°C 'lik içilebilir çeşme suyunda kırılacakları güne kadar bekletilir. Kırma işlemleri dökümden itibaren 2, 7 ve 28. gün sonunda yapılmıştır.

Döküm sırasında üste gelen yüzeyler, bekletilme sırasında da üstte getirilmiş ve prizmalar su içinde bütün yüzeyleri su ile temas edecek şekilde bekletilmiştir. Bekleme suyu her 14 günde bir değiştirilmiştir. Prizmalar deneylerden 15 dk önce sudan çıkarılıp bir bezle kurulandıktan sonra, eğilmede çekme ve basınç mukavemeti testleri yapılmıştır. Deneyler 20±2°C sıcaklık ve %50-%60 bağıl nem olan odada yapılmıştır. Her bir numune için bir kalıp (3 prizma) hazırlanmış ve bu üç prizmadan alınan sonuçların ortalaması gerçek değer olarak alınmıştır.

##### 1- Eğilmede Çekme Mukavemeti Deneyi:

Eğilmede çekme aletinin duyarlılığı, 1000 kgf 'den daha az yüklerde %1, daha büyük yüklerde ise %0.8 olmalıdır. Eğilmede çekme aletinin yükleme düzeni birbirinden 100±0.5 mm uzaklıkta olan 10 mm çaplı iki destek silindirden ibarettir (Foto 4.11). Bu iki silindirin tam orta yerinde üçüncü bir yükleme silindiri vardır. Bu üç silindirin





eksenlerinden geçen düşey düzlemler birbirine paralel olmalı ve deneme süresince paralel kalmalıdır (TS 24).

Prizmalar, yan yüzeylerinden biri üzerine ve uzunluğuna eksenini destek silindirin eksenine dik gelecek şekilde, destek silindirler üzerine konur. P yükü, yükleyici silindirler vasıtasıyla karşı yüzden dik olarak uygulanır. Yükleme hızı saniyede  $5 \pm 1$  kgf ( $50 \pm 10$  N) olacak şekilde ayarlanmalıdır. Eğilmede çekme dayanımı ( $G_R$ ) aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanabilir.

$$G_R = 1.5 \frac{P \times L}{b^3}$$

b=Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (cm)  
P=Prizmanın ortasına uygulanmış kuvvet (kgf)  
L=Destek silindir eksenleri arasındaki uzaklık (10 cm)  
 $G_R$ =Eğilmede çekme dayanımı (mukavemeti) ( $\text{kgf/cm}^2$ )  
( $\text{N/mm}^2$ )

## 2 - Basınç Mukavemeti Deneyi:

Eğilmede çekme deneyinde iki parçaya bölünmüş yarım prizmalar,  $4 \times 4$  cm 'lik kırma başlığı ile, yan yüzleri üzerinde basınç uygulanarak kırılır (Foto 4.12). Yükleme, basınç saniyede  $10-20 \text{ kgf/cm}^2$  artacak şekilde yapılmalı ve kırma süresi 10 s 'den az olmamalıdır. 6 numuneden alınan sonuçların ortalaması bize o numunenin basınç değerini verir.

Eğilmede çekme ve basınç mukavemeti deney sonuçları, aşağıda, çimento deney sonuçlarıyla bir arada verilmektedir.

### 4.2.4. PUZOLANLI ÇİMENTO DENEY SONUÇLARI

3 grup halinde hazırlanan çimentoların, bunlar üzerinde yapılan analizlerin ve oluşturulan harçların deney sonuçları her grup için ayrı ayrı verilecektir.

Tüm çimento numunelerinde daha önce yapım şartları ve şekilleri açıklanan aşağıdaki deneyler yapılmıştır;

X-R spektrometre ile kimyasal analiz,

Kızdırma kaybı ve çözünmeyen kalıntı tayinleri,

200, 90 ve  $40\mu$  elek analizleri ve özgül yüzey tayinleri,

Su alma, donma başı-sonu ve hacim genleşme tayinleri,

2,7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç mukavemeti testleri.

1- Zeolitik (Alttüf ve Üsttuf), perlitik (Turnatepe) ve diğer alternatif çevre puzolanlarının çimento katkı malzemesi olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. Tras katkı oranları SET Çimento işletme koşullarına paralellik sağlanabilmesi için %24, %26 ve %28 olmak üzere üç grupta yapılmıştır.

Kovalı banttardan üretim sırasında alınan klinkerle alçıtaşı arasında yapılan optimizasyona göre alçıtaşı miktarı %4 olarak belirlenmiştir. Çimento karışımlarında, alçıdan ve klinkerden gelecek  $\text{SO}_3$  miktarı yaklaşık %2.2 olması sağlanmıştır. Her çimento numunesinden 1800 g hazırlanmıştır.



Foto 4.7: Otomatik Harç Karıştırıcı.



Foto 4.8: Otomatik Sarsma Tablası ve Standart Kalıplar.



Foto 4.9: Otomatik Sarsma Tablası.



Foto 4.10: Rutubet Dolabı.

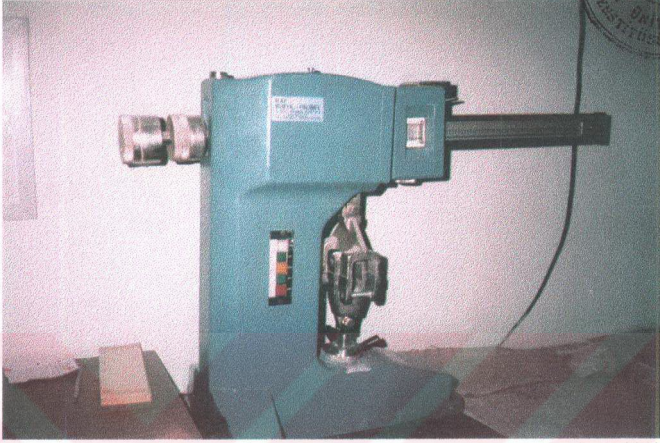


Foto 4.11: Eğilmede Çekme Mukavemeti Cihazı.

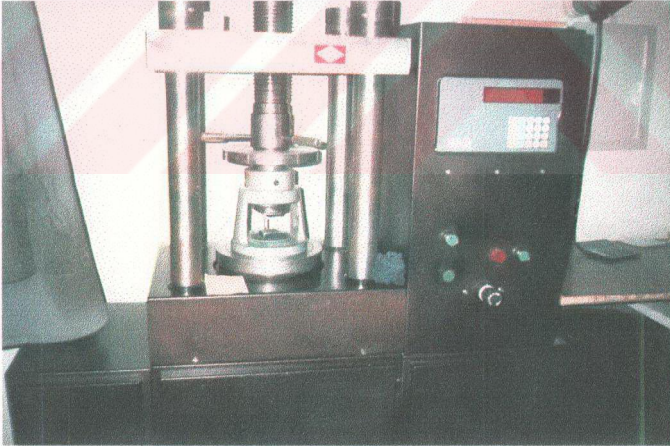
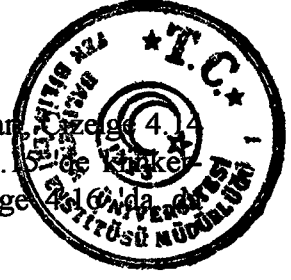


Foto 4.12: Basınç Mukavemeti Cihazı.



Çizelge 4.13 'de çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları, Çizelge 4.14 'de klinker-alçıtaşı-hazırlanan çimentoların kimyasal analizleri, Çizelge 4.15 'de klinker-alçıtaşı-hazırlanan çimentoların elek analizleri ve blain değerleri, Çizelge 4.16 'de çimento hamur ve harç deney sonuçları verilmiştir.

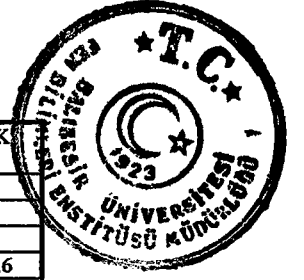
Çizelge 4.13: Çimentoların Hazırlanmasında Kullanılan Malzeme Miktarları.

\* Her bir puzolandan 2000 g numune alınmıştır. K = Klinker A = Alçıtaşı

Numune Adı	Klinker (g)	Katkı (g)	Alçıtaşı (g)	Toplam (g)
Klinker				40000
Alçıtaşı				2000
Puzolan		2000*		14000
%72K+%4A+%24 Üsttuf	1296	432	72	1800
%70K+%4A+%26 Üsttuf	1260	468	72	1800
%68K+%4A+%28 Üsttuf	1224	504	72	1800
%72K+%4A+%24 Alttuf	1296	432	72	1800
%70K+%4A+%26 Alttuf	1260	468	72	1800
%68K+%4A+%28 Alttuf	1224	504	72	1800
%72K+%4A+%24 TT Perlitik	1296	432	72	1800
%70K+%4A+%26 TT Perlitik	1260	468	72	1800
%68K+%4A+%28 TT Perlitik	1224	504	72	1800
%72K+%4A+%24 Sultançayır	1296	432	72	1800
%70K+%4A+%26 Sultançayır	1260	468	72	1800
%68K+%4A+%28 Sultançayır	1224	504	72	1800
%72K+%4A+%24 Pamukçu Alt	1296	432	72	1800
%70K+%4A+%26 Pamukçu Alt	1260	468	72	1800
%68K+%4A+%28 Pamukçu Alt	1224	504	72	1800
%72K+%4A+%24 Pamukçu Üst	1296	432	72	1800
%70K+%4A+%26 Pamukçu Üst	1260	468	72	1800
%68K+%4A+%28 Pamukçu Üst	1224	504	72	1800
%72K+%4A+%24 Üç Pınar	1296	432	72	1800
%70K+%4A+%26 Üç Pınar	1260	468	72	1800
%68K+%4A+%28 Üç Pınar	1224	504	72	1800

Çizelge 4.14: Hazırlanan Çimentoların Kimyasal Analizleri.

	K.K	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Toplam	Ç.K
Klinker	0.08	21.10	5.61	3.57	64.08	1.86	0.48	1.22	0.58	98.71	
Alçı	21.1	0.45	0.07	0.03	32.03	0	44.18	0.25	0	98.07	
Klink+Alçı	1.14	20.43	5.80	3.43	33.05	1.75	2.33	1.15	0.27	99.15	
%24 ÜT	3.23	31.02	6.93	2.81	49.04	1.45	2.23	1.84	0.33	98.97	10.6
%26 ÜT	3.51	32.04	7.05	2.75	47.73	1.41	2.23	1.90	0.31	98.93	11.6
%28 ÜT	3.65	32.88	7.15	2.73	46.66	1.41	2.22	1.96	0.34	98.95	13.55
%24 AT.	3.32	29.56	7.29	3.37	49.18	1.66	2.23	1.41	0.37	98.39	10.86
%26 AT.	3.82	30.36	7.45	3.35	48.26	1.69	2.25	1.44	0.58	99.20	12.05
%28 AT.	4.06	31.55	7.60	3.34	46.80	1.64	2.22	1.47	0.45	99.13	13.27
%24 TTP.	2.93	29.71	6.89	2.83	49.71	2.11	2.23	1.76	0.52	98.69	14.08
%26 TTP.	3.08	30.50	7.02	2.79	48.84	2.15	2.24	1.82	0.52	98.96	15.31
%28 TTP.	3.25	31.34	7.11	2.78	47.29	2.19	2.23	1.88	0.59	98.66	15.99
%24 S.Ç.	2.26	31.85	7.08	2.96	48.49	1.03	2.36	1.84	0.71	98.58	17.20
%26 S.Ç.	2.31	32.66	7.22	2.91	47.39	1.03	2.36	1.90	0.72	98.51	18.32
%28 S.Ç.	2.43	33.82	7.32	2.83	46.00	1.00	2.35	2.00	0.81	98.56	19.78
%24 P.A.	3.05	31.46	6.95	2.74	48.07	1.42	2.22	2.03	0.40	98.94	15.73
%26 P.A.	3.24	32.76	7.13	2.68	46.31	1.39	2.21	2.12	0.35	96.69	17.18
%28 P.A.	3.46	32.62	7.04	2.61	45.43	1.32	2.15	2.22	0.33	97.18	18.75
%24 P.Ü.	3.20	31.46	6.85	2.72	46.02	1.31	2.17	2.13	0.42	98.16	14.71
%26 P.Ü.	3.27	32.46	7.02	2.69	47.14	1.34	2.13	2.21	0.44	99.28	15.77
%28 P.Ü.	3.40	34.13	7.20	2.61	45.74	1.30	2.21	2.33	0.42	99.34	16.36
%24 Ü.P.	1.30	32.49	7.41	2.83	48.51	1.29	2.21	1.85	0.39	98.73	20.91
%26 Ü.P.	1.32	33.68	7.57	2.70	47.14	1.26	2.23	1.92	1.01	98.90	22.41
%28 Ü.P.	1.35	34.66	7.71	2.72	45.35	1.25	2.22	1.97	1.04	98.78	24.55



Çizelge 4.15: Hazırlanan Çimentoların Elek Analizleri ve Blain Değerleri.

Numune Adı	200µ	90µ	40µ	Blain
Klink+Alçıtaşı	0	0.7	18.2	2588
%24 ÜT	0	1.8	25.1	5603
%26 ÜT	0	1.5	24.4	5899
%28 ÜT	0	1.5	23.9	6035
%24 AT.	0	1.5	25.2	4387
%26 AT.	0	1.8	25.7	4440
%28 AT.	0.1	1.7	25.9	4702
%24 TTP.	0	1.5	24.4	3485
%26 TTP.	0	1.5	24.3	3493
%28 TTP.	0	1.4	23.7	3735
%24 S.C.	0	1.1	24.5	3336
%26 S.C.	0	1.1	24.9	3357
%28 S.C.	0	1.1	24.6	3531
%24 P.A.	0.1	1.3	25.2	4518
%26 P.A.	0.1	1.1	25.3	4861
%28 P.A.	0.1	1.3	25.4	5115
%24 P.Ü.	0.1	1.5	26.6	4754
%26 P.Ü.	0	0.8	23.6	5030
%28 P.Ü.	0.1	1	25.0	5134
%24 Ü.P.	0.1	1.1	25.4	3618
%26 Ü.P.	0.1	1.3	26.2	3917
%28 Ü.P.	0.1	1.3	24.5	3861



Cizelge 4.16: Hamur ve Harç Karışım Sonuçları.

ÜT= Üsttuf PÜ = Pamukçu Üst SÇ = Sultançayır  
 AT = Alttuf PA = Pamukçu Alt ÜP = Üçpınar

Numune Adı	Hamur Değerleri				Harç Değerleri					
	Su (%)	D.Başı (St-dk)	D.Sonu (St-dk)	Hacim Genleş. (mm)	Eğilme M. (kg/cm <sup>2</sup> )			Basınç M. (kg/cm <sup>2</sup> )		
					2 Gün	7 Gün	28 Gün	2 Gün	7 Gün	28 Gün
Klink+Alçıtı.	27.5	1.55	2.40	0+1				191	370	525
%24 ÜT	32	3.10	4.25	1+0				97	211	478
%26 ÜT	33	3.20	4.50	0+0				96	208	482
%28 ÜT	33	3.15	4.30	1+0				92	200	471
%24 AT	28.5	3.35	5.10	0+1				96	204	438
%26 AT	28	3.30	5.45	1+1				89	188	403
%28 AT	28.5	3.45	5.25	1+1				81	181	402
%24 TTP	26.5	3.15	5.00	3+0				108	233	384
%26 TTP	27.5	3.10	5.00	2+1				102	225	366
%28 TTP	28	3.00	4.50	3+1				97	215	352
%24 SÇ	29	1.55	2.30	1+1	34	46	73	146	230	416
%26 SÇ	28	1.70	2.50	1+0	33	50	75	139	261	400
%28 SÇ	29.5	2.00	2.60	1+1	31	51	73	128	254	392
%24 PA	32.5	3.00	4.25	0+1				108	226	438
%26 PA	32.5	3.20	4.50	0+1				99	212	413
%28 PA	33	3.15	4.55	0+1				97	206	405
%24 PÜ	31	2.45	3.50	0+1				111	226	431
%26 PÜ	31.5	2.55	4.25	0+1				115	243	463
%28 PÜ	32	3.00	4.10	0+1				102	216	448
%24 ÜP	28.5	2.35	3.50	1+1				124	241	361
%26 ÜP	28.5	3.00	4.10	0+1				124	232	342
%28 ÜP	31	3.10	4.00	0+1				116	220	342



2- Üsttuf ve Alttufün birlikte kullanımı için değişik katkı oranlarında belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için katkı oranları %24, %26, çimentonun her grubu aşığıdaki karışım oranlarında hazırlanmıştır.

%50 Alttuf + %50 Üsttuf, %100 Alttuf  
%75 Alttuf + %25 Üsttuf, %100 Üsttuf  
%25 Alttuf + %75 Üsttuf

Kovalı banttın alınan klinker ve alçıyla yapılan optimizasyona göre, alçı miktarı %6 olarak belirlenmiştir. Her çimento numunesinden 2000 g hazırlanmıştır.

Çizelge 4.17 'de çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları, Çizelge 4.18 'de klinker-alçıtaşı-hazırlanan çimentoların kimyasal analizleri, Çizelge 4.19 'da klinker-alçıtaşı-hazırlanan çimentoların elek analizleri ve blain değerleri, Çizelge 4.20 'de de çimento hamur ve harç deney sonuçları verilmiştir.

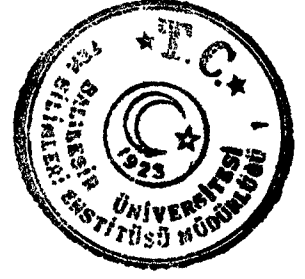
Çizelge 4.17: Çimentoların Hazırlanmasında Kullanılan Malzeme Miktarları.

\* Her puzolandan 2000 g numune alınmıştır.

K = Klinker A = Alçıtaşı AT = Alttuf ÜT = Üsttuf

Numune Adı	Numunelerin % Miktarları	Klinker (g)	Alttuf (g)	Üsttuf (g)	Alçıtaşı (g)	Toplam (g)
	Klinker					35000
	Alçıtaşı					3000
	Puzolan		2000*	2000		12000
%24-Z1	%70K+%6A+%24AT	1400	480	0	120	2000
%24-Z2	%70K+%6A+%18AT+%6ÜT	1400	360	120	120	2000
%24-Z3	%70K+%6A+%12AT+%12ÜT	1400	240	240	120	2000
%24-Z4	%70K+%6A+%6AT+%18ÜT	1400	120	360	120	2000
%24-Z5	%70K+%6A+%24ÜT	1400	0	48	120	2000
%26-Z6	%68K+%6A+%26AT	1360	520	0	120	2000
%26-Z7	%68K+%6A+%19.5AT+%6.5ÜT	1360	390	130	120	2000
%26-Z8	%68K+%6A+%13AT+%13ÜT	1360	260	260	120	2000
%26-Z9	%68K+%6A+%6.5AT+%19.5ÜT	1360	130	390	120	2000
%26-Z10	%68K+%6A+%26ÜT	1360	0	520	120	2000
%28-Z11	%66K+%6A+%28AT	1320	560	0	120	2000
%28-Z12	%66K+%6A+%21AT+%7ÜT	1320	420	140	120	2000
%28-Z13	%66K+%6A+%14AT+%14ÜT	1320	280	280	120	2000
%28-Z14	%66K+%6A+%7AT+%21ÜT	1320	140	420	120	2000
%28-Z15	%66K+%6A+%28ÜT	1320	0	560	120	2000





Çizelge 4.18: Hazırlanan Çimentoların Kimyasal Analizleri.

Numune Adı	K.K	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Toplam	Ç.K
%100 Klinker	1.7	20.4	5.3	3.9	62.03	1.52	2.65	0.9	0.9	99.30	1.26
%100 Alçıtaşı	19.8	0.79	0.08	0.06	32.44	0.28	45.24	0.01	0.0	98.70	
Klinker+Alçıtaşı	1.19	19.76	6.07	3.57	62.55	1.34	3.54	0.89	0.1	99.01	
%100 AT	11	57.7	13	4.2	4.48	1.88	0	2.5	1.3	96.06	58.50
%100 ÜT	9.8	66.3	11	1	2.69	1	0	3.9	0.4	96.09	52.72
%24 -Z1	3.6	30.0	7.4	4.0	48.67	1.56	2.02	1.3	0.4	98.95	15.62
%24 -Z2	3.9	30.8	7.3	3.8	47.88	1.49	2.05	1.4	0.4	99.02	13.99
%24 -Z3	3.9	31.0	7.1	3.6	48.11	1.44	1.97	1.5	0.3	98.92	13.71
%24 -Z4	4.0	31.3	7.0	3.5	48.10	1.39	1.93	1.5	0.3	99.02	13.37
%24 -Z5	4.3	31.8	6.8	3.2	47.85	1.32	1.97	1.6	0.2	99.04	13.05
%26 -Z6	3.3	31.1	7.6	4.0	47.04	1.56	1.84	1.3	0.4	98.14	15.37
%26 -Z7	3.5	31.6	7.4	3.8	46.70	1.48	1.86	1.4	0.4	98.14	14.63
%26 -Z8	3.6	31.9	7.3	3.6	46.92	1.44	1.89	1.5	0.4	98.55	15.87
%26 -Z9	3.7	32.4	7.1	3.4	46.69	1.36	1.86	1.6	0.3	98.41	15.33
%26 -Z10	4.1	32.7	6.9	3.2	46.44	1.33	1.90	1.7	0.2	98.47	13.53
%28 -Z11	3.9	31.9	7.7	4.0	45.60	1.55	1.82	1.4	0.5	98.37	15.00
%28 -Z12	3.9	32.2	7.6	3.8	45.61	1.48	1.81	1.5	0.4	98.3	14.57
%28 -Z13	4.2	32.7	7.4	3.6	45.37	1.42	1.74	1.6	0.4	98.43	13.62
%28 -Z14	4.5	33.0	7.2	3.3	45.29	1.34	1.81	1.7	0.3	98.44	15.72
%28 -Z15	4.6	33.3	7	3.1	44.92	1.25	1.80	1.7	0.2	97.87	15.10

Çizelge 4.19: Hazırlanan Çimentoların Elek Analizleri ve Blain Değerleri.

Numune Adı	200 $\mu$	90 $\mu$	40 $\mu$	Blain
%100 Klinker	0.1	3.1	25.9	3408
Klink+Alçıtaşı	0	1.1	25.1	2745
%100 AT	0	3.8	22.6	6111
%100 ÜT	0.2	3.5	24.5	10828
%24 -Z1	0.1	3	25	4228
%24 -Z2	0	2.2	24	4456
%24 -Z3	0	1.6	23	4896
%24 -Z4	0	1.8	24.9	5377
%24 -Z5	0.1	3	25.6	5390
%26 -Z6	0	1.7	23.5	4274
%26 -Z7	0	1.5	23.1	4798
%26 -Z8	0	1.9	24	5215
%26 -Z9	0	1.7	23.4	5606
%26 -Z10	0	2.4	26.2	5662
%28 -Z11	0	1.8	23.9	4404
%28 -Z12	0	2	24.4	4688
%28 -Z13	0.1	3	25.4	5075
%28 -Z14	0.1	2.6	28.4	5462
%28 -Z15	0.1	2.8	26	5850



Çizelge 4.20: Hamur ve Harç Karışım Sonuçları.

Numune Adı	Hamur Değerleri				Harç Değerleri					
	Su (%)	D.Baş 1 (St-dk)	D.Sonu (St-dk)	Hacim Genleş. (mm)	Eğilme M. (kg/cm <sup>2</sup> )			Basınç M. (kg/cm <sup>2</sup> )		
					2 Gün	7 Gün	28 Gün	2 Gün	7 Gün	28 Gün
Klink+Alçıtaşı	26	1.4	3.0	0+1				227	365	478
AT+Kireç									99	
ÜT+Kireç									89	
%24-Z1	32.5	2.1	3.2	1+0				110	214	381
%24-Z2	32.5	2	3.2	0+0				115	225	426
%24-Z3	32.5	2.1	3.2	1+0				125	247	461
%24-Z4	33	2.1	3.3	0+1				118	243	455
%24-Z5	33	2.2	3.5	1+1				109	225	446
%26-Z6	33	2.3	3.6	1+0				108	215	400
%26-Z7	33	2.1	3.4	1+1				110	224	419
%26-Z8	33.5	2.3	3.3	1+0				105	222	435
%26-Z9	33.5	2.1	3.2	0+1				103	219	442
%26-Z10	34	2.1	3.2	0+1				101	211	425
%28-Z11	34	2.1	3.3	0+1				109	218	390
%28-Z12	34	2.1	3.4	0+1				106	212	390
%28-Z13	34	2.1	3.4	0+1				102	207	387
%28-Z14	34	2.3	3.4	0+1				98	202	391
%28-Z15	34.5	2.3	3.5	0+1				99	206	413

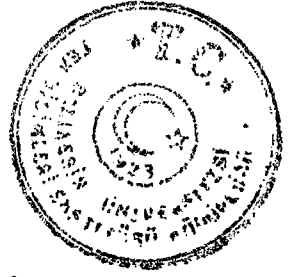
3- Turnatepe Perlitik puzolanı yanında Turnatepe Breşlerinin de katkı malzemesi olarak değerlendirilebilmesi amaçlanmıştır. Bunun için katkı oranları %24, %26, %28 olan üç grup çimentonun herbir grubu aşağıdaki karışım oranlarında hazırlanmıştır.

%50 Turnatepe Perlitik + %50 Turnatepe Breş

%75 Turnatepe Perlitik + %25 Turnatepe Breş

%50 Turnatepe Perlitik + %25 Turnatepe Breş + %25 Üsttuf

Kovalı banttandır üretim esnasında alınan klinkerle alçıtaşı arasında yapılacak optimizasyona göre alçıtaşı miktarı %4 olarak belirlenmiştir. Her çimento numunesinden 2000 g hazırlanmıştır. Çizelge 4.21 'de çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları, Çizelge 4.22 'de klinker-alçıtaşı-hazırlanan çimentoların kimyasal analizleri, Çizelge 4.23 'de klinker-alçıtaşı-hazırlanan çimentoların elek analizleri ve blain değerleri, Çizelge 4.24 'de de çimento hamur ve harç deney sonuçları verilmiştir.



Çizelge 4.21: Çimentoların Hazırlanmasında Kullanılan Malzeme Miktarları.

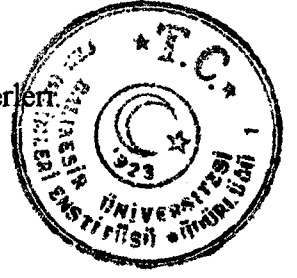
K = Klinker A = Alçıtaşı TP = Turnatepe Perlitik TB = Turnatepe Breş ÜT = Üsttuf

Numune Adı	Numunelerin % Miktarları	Klinker (g)	TP (g)	TB (g)	ÜT (g)	Alçıtaşı (g)	Toplam (g)
	Klinker						35000
	Alçıtaşı						3000
	Puzolan		4000	4000	500		8500
%24-T1	%70K+%4A+%24TP	1080	360			60	1500
%24-T2	%70K+%4A+%24TB	1080		360		60	1500
%24-T3	%70K+%4A+%12TP+%12TB	1080	180	180		60	1500
%24-T4	%70K+%4A+%18TP+%6TB	1080	270	90		60	1500
%24-T5	%70K+%4A+%12TP+%6TB+%6ÜT	1080	180	90	90	60	1500
%26-T6	%68K+%4A+%26TP	1050	390			60	1500
%26-T7	%68K+%4A+%26TB	1050		390		60	1500
%26-T8	%68K+%4A+%13TP+%13TB	1050	195	195		60	1500
%26-T9	%68K+%4A+%19.5TP+%6.5TB	1050	292.5	97.5		60	1500
%26-T10	%68K+%4A+%13TP+%6.5TB+%6.5ÜT	1050	195	97.5	97.5	60	1500
%28-T11	%66K+%4A+%28TP	1020	420			60	1500
%28-T12	%66K+%4A+%28TB	1020		420		60	1500
%28-T13	%66K+%4A+%14TP+%14TB	1020	210	210		60	1500
%28-T14	%66K+%4A+%21TP+%7TB	1020	315	105		60	1500
%28-T15	%66K+%4A+%14TP+%7TB+%7ÜT	1020	210	105	105	60	1500

Çizelge 4.22: Hazırlanan Çimentoların Kimyasal Analizleri.

Numune Adı	K.K	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Toplam	Ç.K
%100 Klinker	0.29	20.64	5.85	3.80	64.56	1.53	0.68	1.22	0.30	98.87	
%100 Alçıtaşı	19.80	0.79	0.08	0.06	32.44	0.28	45.29	0.01	0	98.72	
Klink+Alçıtaşı	0.85	19.93	5.63	3.64	63.61	1.40	2.49	1.19	0.23	98.96	
%24-T1	2.84	29.94	6.9	2.86	49.37	2.11	1.31	1.78	0.56	98.67	14.62
%24-T2	1.63	28.71	8.10	4.17	49.51	2.13	2.37	1.19	0.76	98.58	21.33
%24-T3	2.40	29.20	7.59	3.58	49.59	1.98	2.43	1.35	0.61	98.73	14.73
%24-T4	2.80	29.32	7.26	3.29	49.78	1.95	2.41	1.43	0.57	98.82	16.02
%24-T5	2.75	29.59	7.26	3.31	49.46	1.85	2.40	1.46	0.50	98.57	15.18
%26-T6	2.94	30.99	7.11	2.81	48.72	2.19	1.77	1.84	0.55	98.92	16.04
%26-T7	1.72	29.52	8.34	4.20	48.61	1.98	2.35	1.22	0.77	98.71	22.90
%26-T8	2.46	29.81	7.72	3.58	48.67	2.06	2.39	1.39	0.66	98.74	15.79
%26-T9	2.84	30.14	7.45	3.26	48.50	2.01	2.40	1.47	0.60	98.68	17.28
%26-T10	2.80	30.45	7.38	3.28	48.48	1.85	2.40	1.46	0.50	98.57	16.44
%28-T11	3.15	31.7	7.21	2.74	47.62	2.22	1.72	1.89	0.56	98.81	17.6
%28-T12	1.97	30.17	8.59	4.23	47.16	2.04	2.34	1.23	0.77	98.52	23.45
%28-T13	2.61	30.84	7.95	3.57	47.42	2.05	2.36	1.42	0.60	98.62	17.83
%28-T14	3.26	30.84	7.54	3.24	47.27	2.05	2.36	1.51	0.60	98.67	18.8
%28-T15	3.33	31.02	7.48	3.24	46.97	1.90	2.36	1.55	0.60	98.43	18.02

Çizelge 4.23: Hazırlanan Çimentoların Elek Analizleri ve Blain Değerleri.



Numune Adı	200 $\mu$	90 $\mu$	40 $\mu$	Blain
Klink+Alçıtaşı	0	1.1	25	2638
%24-T1	0	1.3	23.7	3629
%24-T2	0.1	1.1	25	3173
%24-T3	0	1.1	24.8	3247
%24-T4	0	1.1	25.1	3311
%24-T5	0	1.1	25	3745
%26-T6	0	1.3	24.1	3491
%26-T7	0.1	1.1	25	3253
%26-T8	0	1.1	25.2	3269
%26-T9	0	1.1	25	3329
%26-T10	0.1	1.2	25.2	3771
%28-T11	0	1.1	24.8	3468
%28-T12	0.1	1.1	24.9	3382
%28-T13	0.1	1.1	25.1	3411
%28-T14	0	1.1	24.8	3474
%28-T15	0.1	1.4	24.9	3871

Çizelge 4.24: Hamur ve Harç Karışım Sonuçları.

Numune Adı	Hamur Değerleri				Harç Değerleri					
	Su (%)	D.Başı (St-dk)	D.Sonu (St-dk)	Hacim Genleş. (mm)	Eğilme M. (kg/cm <sup>2</sup> )			Basınç M. (kg/cm <sup>2</sup> )		
					2 Gün	7 Gün	28 Gün	2 Gün	7 Gün	28 Gün
Klink+Alçıtaşı	26	2.00	3.00	1+1	40	62	69	184	341	473
%24-T1	27	3.10	5.45	2+0	45	48	72	108	248	410
%24-T2	31	2.35	3.25	1+1	32	50	64	130	261	363
%24-T3	30.5	2.40	3.50	1+1	29	52	63	127	265	368
%24-T4	30	2.45	3.50	1+1	32	50	68	125	261	382
%24-T5	31.5	2.30	3.30	1+1	29	56	75	136	279	422
%26-T6	27.5	3.15	4.50	3+0	25	47	70	99	231	394
%26-T7	31.5	2.35	3.40	1+1	30	51	64	129	256	350
%26-T8	31	2.45	4.00	1+0	30	50	61	120	252	355
%26-T9	30.5	2.35	4.05	1+1	28	52	67	118	254	375
%26-T10	31.5	2.45	3.45	1+1	29	52	72	119	258	410
%28-T11	27.5	3.00	5.00	1+0	24	43	67	93	221	372
%28-T12	32	2.35	3.40	1+1	28	46	61	118	233	334
%28-T13	31.5	2.25	3.55	1+0	27	46	58	109	230	337
%28-T14	31	2.45	4.00	1+1	30	48	62	112	237	346
%28-T15	32.5	2.45	3.55	1+1	28	47	70	110	246	395

### 4.3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde puzolan ve puzolanlı çimentolar üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır.



#### 4.3.1. ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK

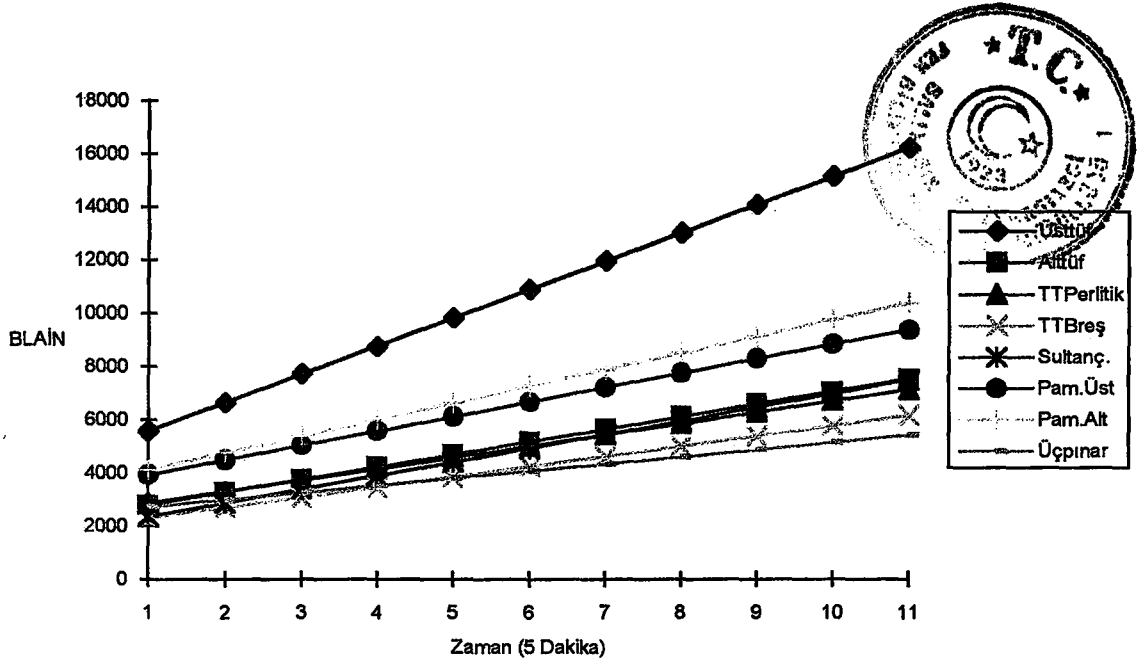
Belirli zaman aralıklarında blainleri belirlenen puzolanların, blain ve zaman arasındaki korelasyon katsayıları belirlenerek regresyon analizleri grafiği çizilmiştir (ÖZTÜRK 1978). Veriler için yapılan regresyon analizinden sonra en uygun eğri lineer ( $y=a+bx$ ) ( $\text{Blain}=a+b \times \text{zaman}$ ) olarak belirlenmiştir. Buna göre her puzolanın blain ve zaman arasındaki korelasyon katsayıları (r) ve a, b değerleri aşağıda verilmektedir:

Üsttuf	$\text{Blain} = 4519.429 + 213.286 \times \text{Zaman}$	$r = \%99.99$
Alttuf	$\text{Blain} = 2323.717 + 94.863 \times \text{Zaman}$	$r = \%99.69$
Turnatepe Perlitik	$\text{Blain} = 2445.204 + 1916.905 \times \text{Zaman}$	$r = \%99.33$
Turnatepe Breş	$\text{Blain} = 1916.905 + 77.206 \times \text{Zaman}$	$r = \%99.84$
Sultançayır	$\text{Blain} = 1838.991 + 102.91 \times \text{Zaman}$	$r = \%99.44$
Pamukçu Üst	$\text{Blain} = 3385.442 + 109.340 \times \text{Zaman}$	$r = \%99.78$
Pamukçu Alt	$\text{Blain} = 3490.703 + 125.719 \times \text{Zaman}$	$r = \%99.87$
Üçpınar	$\text{Blain} = 2444.229 + 53.941 \times \text{Zaman}$	$r = \%99.43$

Puzolanların regresyon analizleri sonuçları aşağıda Çizelge 4.25 'de ve regresyon analizleri grafiği Şekil 4.1 'de verilmektedir.

Çizelge 4.25: Puzolanların Regresyon Analizleri.

Zaman (Dk)	Üsttuf	Alttuf	TTPer	TTBreş	Sultanç.	Pam.Üst	Pam. Alt	Üçpınar
5	5580	2978	2872	2303	2354	3932	4119	2714
10	6647	3272	3298	2689	2868	4479	4748	2984
15	7714	3747	3724	3075	3383	5026	5377	3253
20	8780	4221	4151	3461	3897	5572	6005	3523
25	9847	4695	4577	3847	4412	6119	6634	3793
30	10913	5170	5004	4233	4926	6666	7262	4062
35	11979	5644	5430	4619	5441	7212	7891	4332
40	13046	6119	5856	5005	5955	7759	8520	4602
45	14112	6593	6283	5391	6470	8306	9148	4872
50	15179	7067	6709	5777	6985	8852	9777	5141
55	16245	7542	7135	6163	7499	9399	10405	5411



Şekil 4.1: Pozolanların Regresyon Analizleri Grafiği.

Şekilde görüldüğü gibi en iyi öğütülebilir pozolan tipleri, Üsttuf ve Pamukçu Alt pozolanlarıdır. En zor öğütülenler ise Turnatepe ve Üçpınar pozolanlarıdır. Diğerleri orta seviyede öğütülebilir pozolanlardır. Üsttuf ve Pamukçu Alt her ikisinde zeolit minerali klinoptilolitçe zengindir. Üsttuf Öz.ağ.: $2.11 \text{ g/cm}^3$ , Pamukçu Alt Öz.ağ.: $2.18 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Zeolit minerallerinin ve özgül ağırlığı düşük pozolanların daha kolay öğütülebildiğini söyleyebiliriz. Çok ince öğütülen pozolanlar ile üretilen çimento harçlarında ilk dayanımlar da artmaktadır (LONG 1995).

20. dakikada;

Alttuf	6800-7000 Blain
Turnatepe Perlitik	4500-4700 Blain
Üsttuf	8000-9000 Blain vermiştir.

Aşağıdaki karışımlarda aşağıdaki blainler beklenebilir.

%50 TTP + %50 Üsttuf	6150-6350
%75 TTP + %25 Üsttuf	4825-5025

#### 4.3.2. CAMSI FAZ VE PUZOLANİK AKTİVİTE İLİŞKİLERİ

Çizelge 4.26 'da görüldüğü gibi camsi faz oranı en yüksek pozolan tipi Turnatepe perlitik ve en düşük Üçpınar ve Sultançayır pozolanlarıdır. Buna karşılık zeolitleşme



(klinoptilolit) bu üçü dışındaki diğer puzolanlarda bulunmaktadır. Zeolitlenmenin en yüksek olduğu puzolan tipi %98 zeolitlenmeyle Üsttütür.

Çizelge 4.26: Puzolanların Camsı Faz ve Mineralojik Analizleri.

Puzolan	Camsı Faz (%)	Klinoptilolit	Kuvars	Kalsit	Albit	Muskovit
Üsttütür	63	+	+	-	+	-
Alttütür	65	+	+	-	+	+
TT.Perlitik	71.4	-	+	+	+	-
P. Alt	64.6	+	+	-	+	-
P. Üst	62.5	+	+	-	+	-
Üç Pınar	55.5	-	+	-	+	-
S. Çayır	60.5	-	+	-	+	-

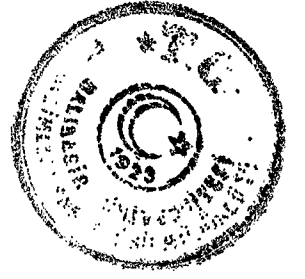
Puzolanik aktiviteler incelendiğinde camsı faz ile puzolanik aktivite arasında bir korelasyon olduğu görülür (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27: Camsı Faz ve Puzolanik Aktivite İlişkisi.

Puzolan	Camsı Faz (%)	Puzolanik Aktivite
TT. Perlitik	71.4	106
Alttütür	65	100
P. Alt	64.6	92
Üsttütür	63	99
P. Üst	62.5	98
S. Çayır	60.5	82
Üç Pınar	55.5	55

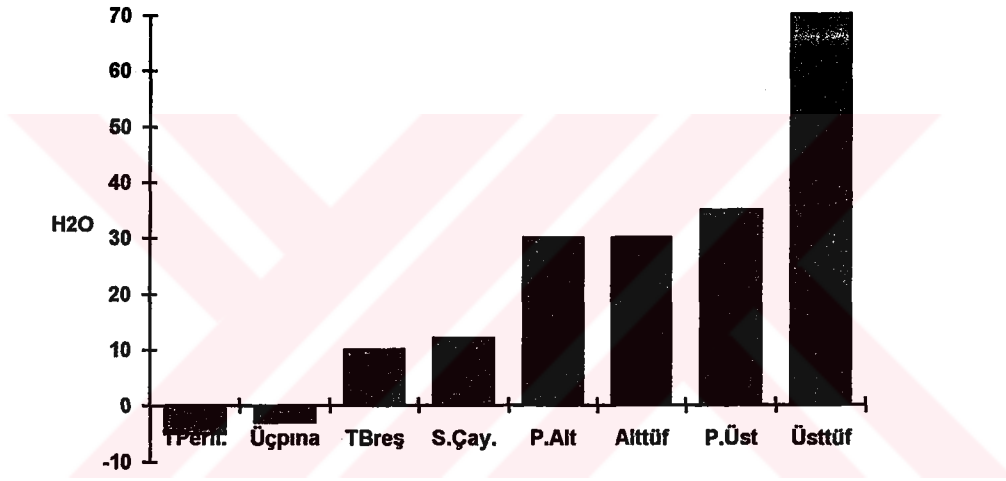
#### 4.3.3. H<sub>2</sub>O SONUÇLARI

Puzolanik aktivite deneyinde bazı puzolanlar hesaplanandan fazla veya eksik suya ihtiyaç göstermişlerdir. Buna göre puzolanların fazla su ihtiyaçları Çizelge 4.28 ve Şekil 4.2 'de verilmiştir.



Çizelge 4.28: Puzolanların Fazla H<sub>2</sub>O İhtiyaçları.

Puzolan	H <sub>2</sub> O (cc)
Turnatepe Perlitik	-5
Üçpınar	-3
Turnatepe Breş	+10
Sultançayır	+12
Pamukçu Alt	+30
Alttüf	+30
Pamukçu Üst	+35
Üsttüf	+70



Şekil 4.2: Puzolanların Fazla H<sub>2</sub>O İhtiyaçları.

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi zeolitleşmiş traslar standart sudan daha fazla suya, zeolitleşmemiş traslar ise daha az suya ihtiyaç duymaktadır. Zeolitleşme seviyesi en fazla olan Üsttüf (%98) en fazla suya ihtiyaç duymaktadır. Alttüf ise orta seviyede zeolitleştiği için (%65) daha az suya ihtiyaç duymaktadır. Görülüyor ki çimentoda H<sub>2</sub>O sorununu çözenin en iyi yolu Turnatepe trası ile zeolitleşmiş trasları harmanlamaktır.

Çizelge 4.16 'da görüldüğü gibi harçta en fazla H<sub>2</sub>O değeri %32, 33, 33 ile Üsttüf, en az H<sub>2</sub>O %26.5, 27.5, 28 ile Turnatepe Perliti göstermiştir .



#### 4.3.4. PUZOLANLI ÇİMENTOLARIN MEKANİK DENEY SONUÇLARI



1- Zeolitik (Üsttuf ve Alttuf) Perlitik (Turnatepe) ve diğer alternatif çevre puzolanlarının çimento katkı maddesi olarak kullanılması için %24, %26, %28 katkı oranlarında hazırlanan çimentolarla üretilen harçların basınç mukavemetleri ölçülmüştür:

Eğilme mukavemeti standartlardan çıkarıldığından değerlendirmeler sadece basınç mukavemeti için yapılmıştır.

##### 2 Günlük Basınç Mukavemetleri (Şekil 4.3)

%24, %26, %28 katkılı çimentoların 2 günlük basınç mukavemetlerinde en yüksek değerler Turnatepe perlitik, Sultançayır, Üçpınar, Pamukçu Alt ve Pamukçu Üst puzolanlarında alınmıştır. En düşük mukavemetleri ise Alttuf ve Üsttufün verdiği gözlenmiştir.

	ÜT	AT	TTP	SÇ	PA	PÜ	ÜP
%24			+	+	+	+	+
%26			+	+		+	+
%28			+	+	+	+	+

2 günlük basınç mukavemetlerinde maksimum değerler.

##### 7 Günlük Basınç Mukavemetleri (Şekil 4.4)

%24 Katkı Oranlarında: En yüksek mukavemetleri Turnatepe perlitik, Sultançayır ve Üçpınar puzolanlarının (zeolitlenmemiş puzolanlar), en düşük mukavemetleri ise Alttuf ve Üsttufün verdiği gözlenmiştir.

%26 Katkı Oranlarında: En yüksek mukavemetleri Pamukçu Üst, Sultançayır, Üçpınar ve Turnatepe perlitik puzolanları ve en düşük mukavemetleri ise Alttuf, Üsttuf ve Pamukçu Alt puzolanlarının verdiği gözlenmiştir.

%28 Katkı Oranlarında: En yüksek mukavemetleri Sultançayır, Üçpınar Turnatepe perlitik ve Pamukçu Üst puzolanlarının, en düşük mukavemetleri ise Alttuf, Üsttuf ve Pamukçu Alt puzolanlarının verdiği gözlenmiştir.

	ÜT	AT	TTP	SÇ	PA	PÜ	ÜP
%24			+	+			+
%26				+		+	+
%28			+	+		+	+

7 günlük basınç mukavemetlerinde maksimum değerler.

##### 28 Günlük Basınç Mukavemetleri (Şekil 4.5)

%24 Katkı Oranlarında: En yüksek mukavemetleri Alttuf, Üsttuf, Pamukçu Alt, Pamukçu Üst puzolanlarının (zeolitlenmiş puzolanlar), en düşük mukavemetleri ise Turnatepe



perlitik, Sultançayır ve Üçpınar puzolanlarının verdiği gözlenmiştir. Üsttuf 28 günde en yüksek mukavemete ulaşmıştır.

**%26 Katkı Oranlarında:** En yüksek mukavemetleri Üsttuf, Pamukçu Alt ve Pamukçu Üst puzolanları ve en düşük mukavemetleri ise Sultançayır, Üçpınar ve Turnatepe perlitik puzolanlarının verdiği saptanmıştır.

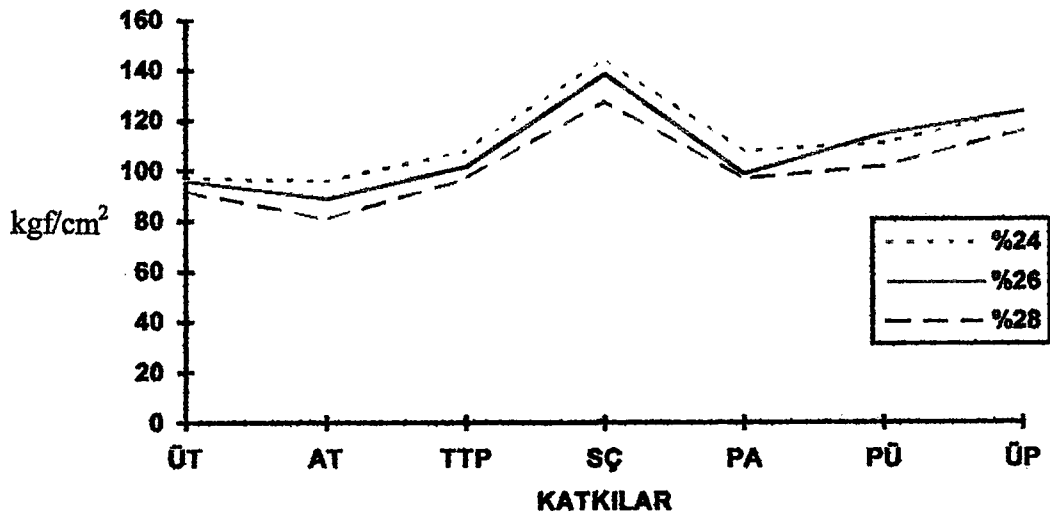
**%28 Katkı Oranlarında:** En yüksek mukavemetleri Üsttuf ve Pamukçu Üst puzolanlarının, en düşük mukavemetleri ise Sultançayır, Üçpınar ve Turnatepe perlitik puzolanlarının verdiği saptanmıştır.

	ÜT	AT	TTP	SÇ	PA	PÜ	ÜP
%24	+	+			+	+	
%26	+				+	+	
%28	+				+	+	

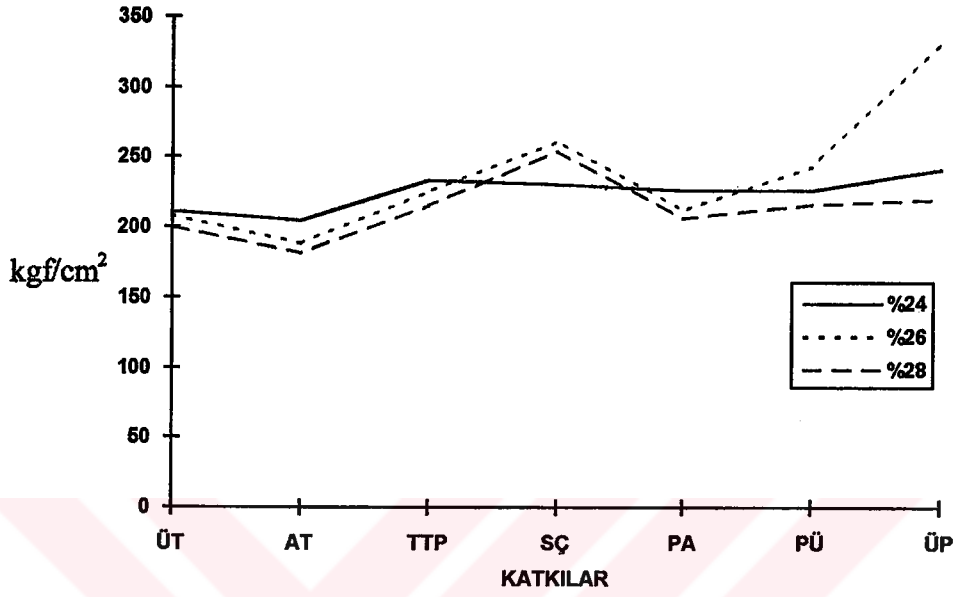
28 günlük basınç mukavemetlerinde maksimum değerler.

Bu deney sonuçlarına göre, doğal puzolanların 7 günlük mukavemetleri hiç etkilemediği fikri tartışılabilir. Zeolit içermeyen puzolanlar 2 ve 7 günlük mukavemetlerde, zeolitlenmiş puzolanlar ise 28 günlük mukavemetlerde daha iyi sonuçlar vermektedir.

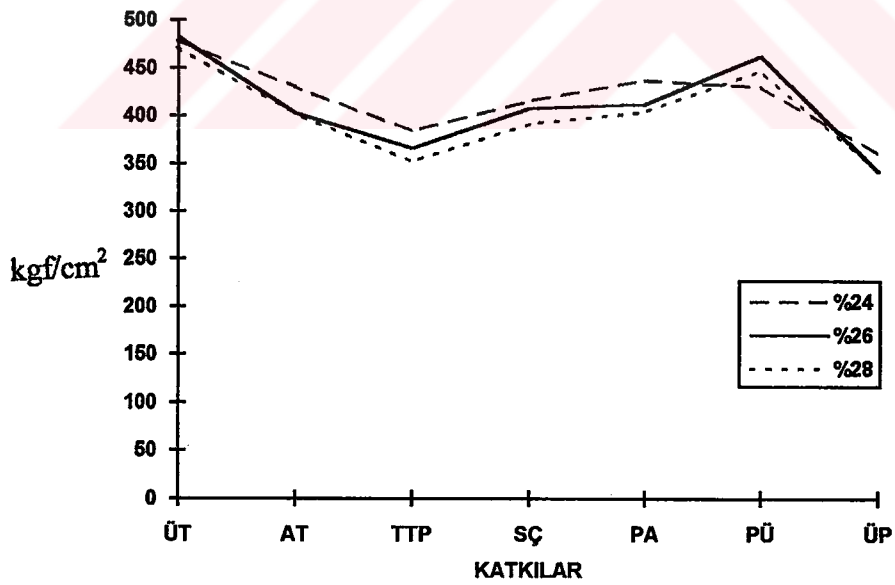
Turnatepe Perlitik puzolanlarının kullanılabilirliği açısından bir optimizasyon gerekmektedir. Turnatepe Perlitik puzolanı ile zeolitlenmiş tüflerden birini (Üsttuf, Altıuf ve Pamukçu Alt) uygun oranlarda harmanlamak gerekir. Bu yolla katkı oranlarını %2-%4 arasında arttırmak mümkündür.



Şekil 4.3: Katkılı Harçların 28 Günlük Basınç Mukavemetleri.



Şekil 4.4: Katkılı Harçların 7 Günlük Basınç Mukavemetleri.



Şekil 4.5: Katkılı Harçların 28 Günlük Basınç Mukavemetleri.



2- Balıkesir SET Çimento fabrikasında katkı maddesi olarak kullanılan Alttüf ve Üsttufun Bor İşletmelerinin dekapaj malzemesi olan Üsttufün karşılaştırmalı testleri yapılmıştır. Amaç katkı birim maliyetlerini azaltmak, çimento mukavemetlerini yükseltmek ve su almalarını azaltıp katkı oranlarını arttırmak için Alttüf ve Üsttufün (zeolitik tüfler) birlikte kullanımında bir optimum değer belirlenmesidir. Birinci alternatif olan Üsttuf ve fabrikada kullanılan Alttüf değişik oranlarda harmanlanarak, %24, %26, %28 katkı oranlarında hazırlanan çimentoların tüm kalite parametreleri karşılaştırılmıştır.

#### **%24 Katkı Oranlarında (Şekil 4.6)**

2 ve 7 günlük basınç mukavemetlerinde önemli bir değişme gözlenmemiştir. 28 günlük mukavemetlerde önemli yükselmeler (%19.4) gözlenmiştir. Su almalarında %0.5 oranında artış olmuştur.

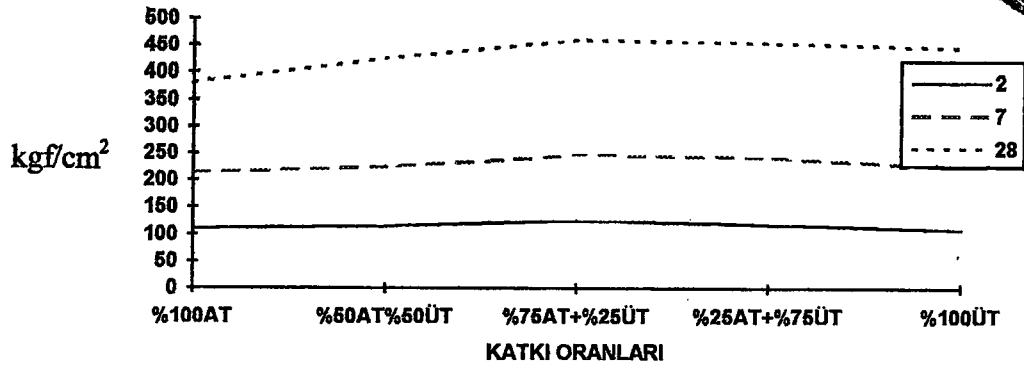
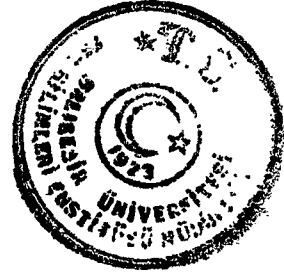
#### **%26 Katkı Oranlarında (Şekil 4.7)**

2 ve 7 günlük basınç mukavemetlerinde önemli bir değişme gözlenmemiştir. 28 günlük mukavemetlerde önemli yükselmeler (%10.5) gözlenmiştir. Su almalarında %1 oranında artış vardır.

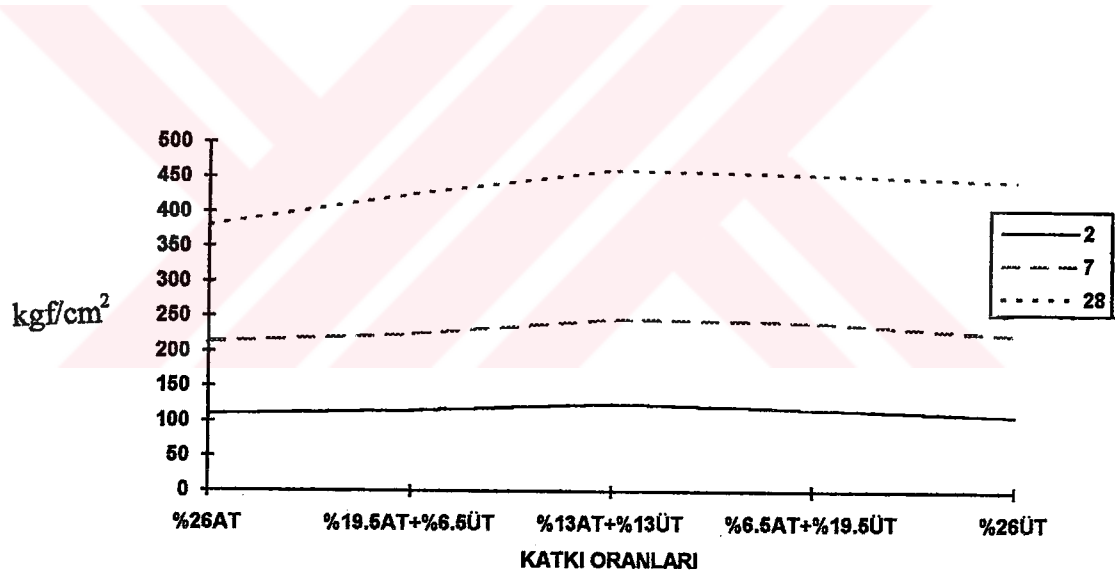
#### **%28 Katkı Oranlarında (Şekil 4.8)**

2 ve 7 günlük basınç mukavemetlerinde, değerler %25 Üsttufe kadar standartlar içinde kalmıştır. Daha fazla Üsttuf kullanıldığında standartlar dışına çıkmış, 28 günlük mukavemetlerde hafif bir yükselme (%5.9) olmuştur. Su almalarında %0.5 oranında artış gözlenmiştir.

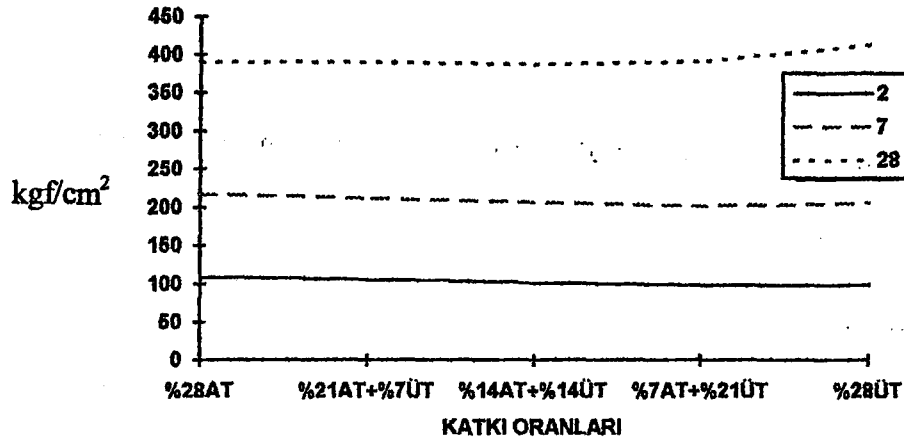
%24 ve %26 katkı oranlarında 2 ve 7 günlük dayanımlarda önemli bir değişme gözlenmemekle birlikte, 28 günlük dayanımlarda %20 'lere varan artışlar gözlenmiştir. Su almalarında %0.5-4 oranlarında artışlar vardır. Donma başı ve sonu zamanlarında olumsuz bir değişme olmamıştır. %26 katkı oranında %75 alttüf + %25 üsttuf optimum değer olarak görülmektedir.



Şekil 4.6: %24 Üsttuf ve Alttuf Katkılı Harmanların Zamanla Basınç Mukavemetleri Değişimi.



Şekil 4.7: %26 Üsttuf ve Alttuf Katkılı Harmanların Zamanla Basınç Mukavemetleri Değişimi.



Şekil 4.8: %28 Üsttuf ve Alttuf Katkılı Harmanların Zamanla Basınç Mukavemetleri Değişimi.

3- Balıkesir Set Çimento Fabrikası Turnatepe sahasında perlitik puzolan yanında breşleri de bulunmaktadır. Bu sahadan çıkarılacak bütün puzolanların kullanılabilmesi ve bir optimum değer bulunabilmesi için %24, %26 ve %28 katkı oranlarında ve değişik harmanlarda üretilen çimentoların tüm kalite parametreleri karşılaştırılmıştır. Buna göre;

#### 24 Katkı Oranlarında (Şekil 4.9)

Turnatepe perlitli ile üretilen çimentoların 2., 7. ve 28. günlerde basınç mukavemetleri standartları aşmıştır. Özellikle 28. günde oldukça büyük mukavemetlere ulaşılmıştır. Turnatepe breşi ile üretilen çimentolarda da basınç mukavemeti standart değerlerini aşmakla birlikte değerler perlitte göre düşüktür. En iyi mukavemet %50TP+%25 TB+%25 ÜT harmanında alınmıştır. Su almalarda perlit ile üretilen çimentolar %27, breşle üretilenler ise %31 suya ihtiyaç göstermiştir. Buna göre breşler %3 daha fazla suya ihtiyaç göstermektedir. Suya en fazla %31.5 'la Üsttüflü harman ihtiyaç göstermiştir.

#### %26 Katkı Oranlarında (Şekil 4.10)

Turnatepe perlitli ile üretilen çimentoların 2 günlük basınç mukavemet değeri standartların dışında kalmış ve 7., 28. günlerde ise standartları aşmıştır. Turnatepe breşlerinde 2., 7. ve 28. günlerde basınç mukavemet değerleri standartları aşmakla beraber, fazla yüksek değildir. En iyi mukavemet değerleri Üsttüflü harmanda alınmıştır. Su almalarda

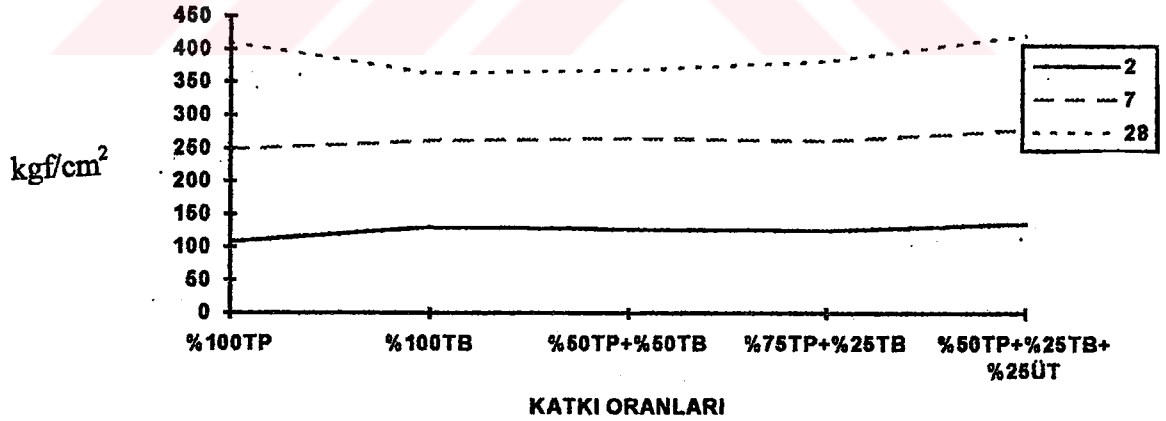


Turnatepe perlitik %27.5 suya ihtiyaç gösterirken, Turnatepe breşleri %31.5 suya ihtiyaç göstermiştir. Buna göre Turnatepe breşler, Turnatepe perlitine göre %4 daha fazla suya ihtiyaç göstermektedir. Üsttüflü harman %31.5 'la suya en fazla ihtiyaç göstermiştir.

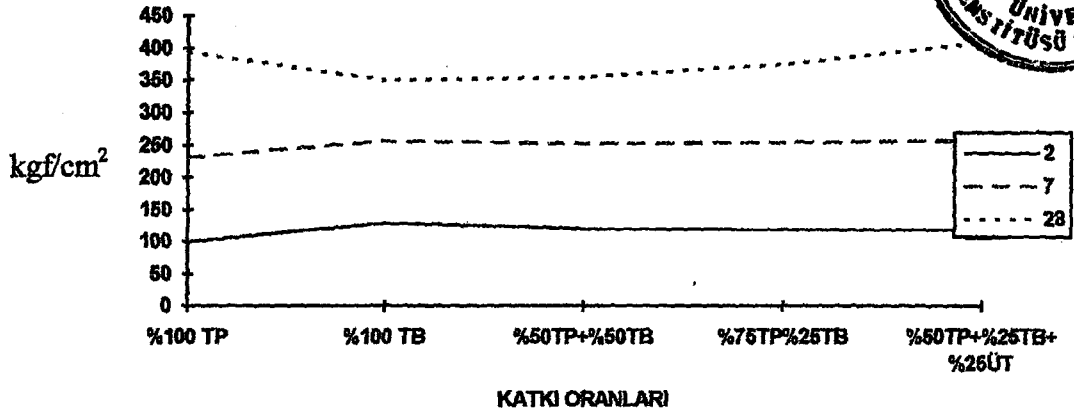
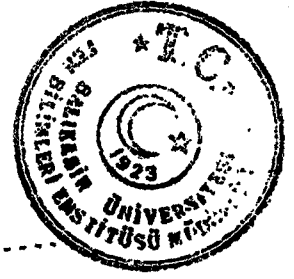
#### %28 Katkı Oranlarında (Şekil 4.11)

2. günde Turnatepe perlitisi ile üretilen çimentolarda basınç mukavemeti standartlara ulaşamamakla beraber, 7. ve 28. günlerde standartları aşmıştır. Breşler ile üretilen çimentoların ise 2., 7. ve 28. günlerde basınç mukavemeti standartları aşmıştır. Fakat sonuçlar standart değerlere çok yakındır. En iyi mukavemet değerleri Üsttüflü harmanda alınmıştır. Su almalarında Turnatepe perlitisi %27.5 suya ihtiyaç gösterirken, breşler perlitine göre %4.5 daha fazla suya ihtiyaç göstermiştir. Üsttüflü harman %32.5 ile suya en fazla ihtiyaç gösteren harman olmuştur.

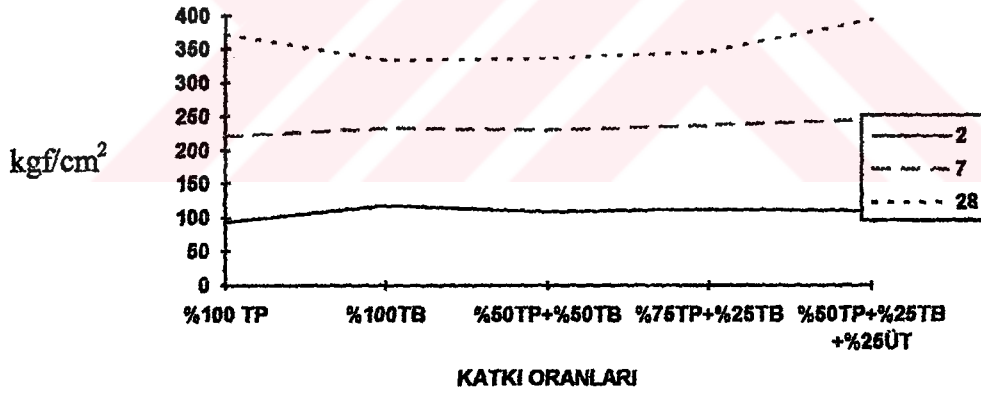
Breşler ile üretilen çimentoların mukavemet değerleri perlitine göre çok daha düşük olmakla beraber 2., 7. ve 28. günlerde standart değerlerin üzerinde sonuçlar vermiştir. Breşler perlitine göre daha fazla suya ihtiyaç göstermektedir. Ayrıca öğütülebilirlikleri de daha güçtür. Bu dezavantajlarına nazaran %50TP+%25 TB+%25ÜT harmanı fazla suya ihtiyaç göstermekle beraber mukavemet değerleri yüksektir. Bu harman optimum değer olarak görünmektedir. Harmanın fazla suya ihtiyaç göstermesi breş ve Üsttüflü puzolanlarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.9: %24 Katkı Oranında Turnatepe Perlitik ve Turnatepe Breş Harmanlarının Zamanla Basınç Mukavemeti Değişimleri.



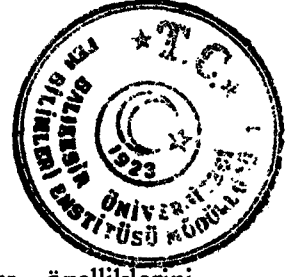
Şekil 4.10: %26 Katkı Oranında Tutnatepe Perlitik ve Turnatepe Breş Harmanlarının Zamanla Basınç Mukavemeti Değişimleri.



Şekil 4.11: %28 Katkı Oranında Tutnatepe Perlitik ve Turnatepe Breş Harmanlarının Zamanla Basınç Mukavemeti Değişimleri.



## BÖLÜM-5



### DAYANIKLILIK

Zeolitik ve perlitik tüflerle hazırlanan katkı çimentoların, harç özelliklerini dayanıklılık yönünden araştırılması portland çimentosuyla (Şahit Çimento) karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Bu amaçla, hazırlanan çimentolarla üretilen harçlar, su ve sülfat çözeltisinde bekletilerek, eğilme, basınç, boy ve ağırlık değişimi, kılcallık, birim ağırlık ve su emme deneylerine tabi tutulmuştur.

Sertleşmiş harçlar üzerinde yapılan dayanıklılık deneyleri için katkı oranları %24, %28, %32 olan çimentolar ve şahit çimento, incelik, 40  $\mu$  elek üstü %25 $\pm$ 0.5 olacak şekilde, bilyalı değirmende öğütülerek hazırlanmıştır. Çimentolar da ki alçıtaşı miktarı, klinker-alçıtaşı optimizasyonuna göre belirlenmiştir. Çimentoların hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 5.1 'de ve hazırlanan çimentoların incelikleri ve kimyasal analizleri Çizelge 5.2 'de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Çimentoların Hazırlanmasında Kullanılan Malzeme Miktarları.

K=Klinker A=Alçıtaşı ÜT=Üsttuf AT=Alttuf TTP=Turnatepe Perlitik

Numune Adı	Numune % Miktarları	Klinker (g)	ÜT (g)	AT (g)	TTP (g)	Alçıtaşı (g)	Toplam (g)
	Klinker						85000
	Alçıtaşı						4800
	Puzolan		10080	10080	10080		30240
%24-ÜT	%72K+%4A+%24 ÜT	8640	2880			480	12000
%28-ÜT	%68K+%4A+%26 ÜT	8160	3360			480	12000
%32-ÜT	%64K+%4A+%32 ÜT	7680	3840			480	12000
%24-AT	%72K+%4A+%24 AT	8640		2880		480	12000
%28-AT	%70K+%4A+%26 AT	8160		3360		480	12000
%32-AT	%68K+%4A+%28 AT	7680		3840		480	12000
%24-TTP	%72K+%4A+%24 TTP	8640			2880	480	12000
%28-TTP	%70K+%4A+%26 TTP	8160			3360	480	12000
%32-TTP	%68K+%4A+%28 TTP	7680			3840	480	12000
Ş	%86K+%4A	11520				480	12000

Çizelge 5.2: Hazırlanan Çimentoların İncelik ve Kimyasal Analizleri.

Numune Adı	40 $\mu$	K.K	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Toplam
Klinker		1.18	18.10	5.14	3.29	62.37	1.13	1.93	0.60	0.15	93.89
Alçıtaşı		21.1	0.45	0.07	0.03	32.03	0	44.18	0.25	0	78.03
Klinker+Alçıtaşı		1.14	20.43	5.80	3.43	33.05	1.75	2.33	1.15	0.27	99.15
%24-ÜT	25.6	3.34	31.36	7.11	2.77	49.87	1.14	2.12	1.37	0.16	99.20
%28-ÜT	24.8	3.98	32.93	7.22	2.65	46.93	1.14	2.09	1.50	0.11	98.60
%32-ÜT	25.6	4.00	35.37	7.57	2.56	44.72	1.15	2.10	1.65	0.12	99.20
%24-AT	25.7	2.77	30.00	7.81	3.61	49.86	1.41	2.09	1.11	0.36	99.00
%28-AT	25.8	3.15	31.45	8.08	3.64	47.36	1.51	2.01	1.19	0.41	98.79
%32-AT	25.2	3.22	33.11	8.44	3.69	45.11	1.51	2.10	1.28	0.42	98.90
%24-TTP	25.8	2.94	30.45	7.21	2.73	49.75	1.71	2.11	1.32	0.32	98.50
%28-TTP	25.5	3.13	32.05	7.47	2.65	47.45	1.78	2.07	1.42	0.35	98.40
%32-TTP	24.7	3.74	33.97	7.71	2.52	44.75	1.87	2.21	1.56	0.38	98.70
Ş	23.1	2.80	19.81	5.68	3.34	63.48	1.24	2.04	0.58	0.17	99.14

Bu çimentolarla, bölüm 4.2.3.2 'deki gibi 450 g çimento + 225 g su + 1350 g kum kullanılarak harçlar hazırlanmıştır. Harçlar 4×4×16 cm boyutlarında üç numunelik, kalıplara dökülerek 24 saat %90 nisbi nem ve %20±2°C sıcaklıkta 24 saat rutubet dolabında bekletilmiştir. 24 saat sonra kalıptan sökülen numuneler, 27 gün 20±2°C 'deki çeşme suyunda bekletilmiştir. Numuneler 0 numune yaşı harç üretimin 28. günü, su ve sülfat çözeltisine konmuştur. 28. gün, sıfır (0) numune yaşından itibaren 12 hafta daha su ve sülfat çözeltisinde bekletilmiştir (Foto 5.1).

Sülfat çözeltisi %10 'luk olarak hazırlanmıştır. Bunun %7 'sini Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, %3 'ünü MgSO<sub>4</sub> oluşturmaktadır (Foto 5.2).

Deneyler Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarlarında, öğütülme işlemleri Çimento Müstahsilleri Birliğinde yapılmıştır. Her bir numune için 4×4×16 prizmalardan 3 tane (bir kalıp) hazırlanmıştır. 28 gün suda, 28. günden sonra 12 hafta su ve sülfat çözeltisinde bekletilen numuneler üzerinde;

Eğilme ve basınç mukavemeti,  
Kararlılık (ağırlık ve boy değişimi),  
Boşluk durumu (kılcallık, birim ağırlık ve su emme) deneyleri yapılmıştır.

### 5.1. EĞİLME VE BASINÇ MUKAVEMETİ DENEYLERİ

Mukavemet deneyleri, TS 24 'e uygun olarak 0. (28. gün.), 4., 8., 12. haftalarda su ve sülfatlı suda bekleyen numuneler üzerinde yapılmıştır. Basınç mukavemeti sonuçları Çizelge 5.3 'de, eğilme mukavemeti sonuçları Çizelge 5.4 'de verilmiştir.

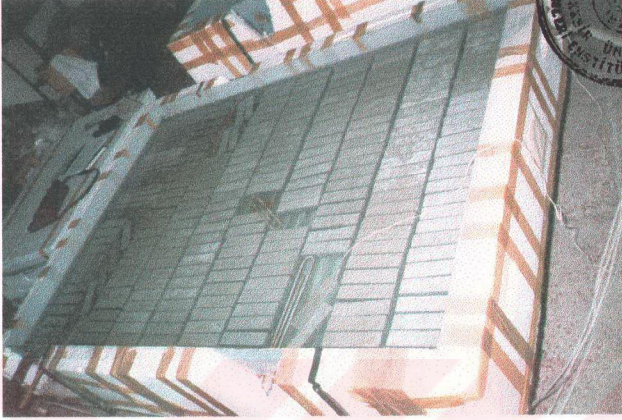


Foto 5.1: Suda Bekletilen Harç Numuneleri.



Foto 5.2: Sülfatlı Suda Bekletilen Harç Numuneleri ve pHmetre.

Çizelge 5.3: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Basınç Mukavemeti Sonuçları (kgf/cm<sup>2</sup>).



\* 0 (28. gün) Numune Yaşından Sonraki Haftalar.  
 ÜT:Üsttüt AT:Alttüt TTP:Turnatepe Perlitik Ş:Şahit

Numune adı	Su				Sülfat		
	0* (28.gün)	4*	8*	12*	4*	8*	12*
%24ÜT	518	538	564	614	518	486	484
%28ÜT	512	595	640	653	557	461	463
%32ÜT	486	538	570	589	480	448	384
%24AT	435	493	538	544	461	441	448
%28AT	365	474	499	506	473	448	430
%32AT	384	454	467	486	448	435	400
%24TTP	346	384	390	416	384	371	371
%28TTP	320	365	365	397	358	358	358
%32TTP	294	346	371	384	358	346	333
Ş	570	576	589	601	480	384	313

Çizelge 5.4: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçların Eğilme Mukavemeti Sonuçları (kgf/cm<sup>2</sup>).

\* 0 (28. gün) Numune Yaşından Sonraki Haftalar.  
 ÜT: Üsttüt AT: Alttüt TTP: Turnatepe Perlitik Ş: Şahit

Numune adı	Su				Sülfat		
	0* (28.gün)	4*	8*	12*	4*	8*	12*
%24ÜT	57	57	59	64	64	65	64
%28ÜT	56	57	59	60	64	65	66
%32ÜT	51	56	57	57	60	68	69
%24AT	46	49	53	56	59	59	61
%28AT	45	48	51	53	60	60	62
%32AT	41	46	49	51	64	65	66
%24TTP	41	46	47	48	41	49	51
%28TTP	35	43	43	46	46	48	56
%32TTP	37	43	45	46	53	54	62
Ş	53	54	56	57	55	56	50

## 5.2. KARARLILIK DENEYLERİ

### Ağırlık Değişimi Deneyi:

Harç numuneleri kalıptan çıkarıldıktan sonra 0.01 g duyarlıklı teraziye tartılarak ilk ağırlıkları alınmıştır. Numunelerin üretimden sonraki 0., 4., 8., 12. haftalarda su ve sülfat çözeltisinden çıkarılarak ağırlıkları alınmıştır. Tüm tartım işlemlerinden önce harçların yüzeyi bir bezle kurulanmıştır. Tüm numunelerde ağırlık değişimi yüzdesi ( $W_D$ ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$W_D = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100$$

$W_D$  = Ağırlık değişimi (%)  
 $W_t$  = t süredeki ağırlık (g)  
 $W_o$  = Başlangıçtaki ağırlık (g)

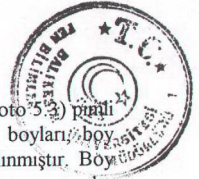
Su ve sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin ağırlık değişim değerleri Çizelge 5.5 'de verilmiştir.

Çizelge 5.5: Su ve Sülfat Çözeltinde Bekletilen Harçların Ağırlık Değişim Değerleri (%).

\* 0 (28. gün) Numune Yaşından Sonraki Haftalar.

ÜT: Üsttuf AT: Alttuf TTP: Turnatepe Perlitik Ş: Şahit

Numune adı	Su			Sülfat		
	4*	8*	12*	4*	8*	12*
%24ÜT	0.043	0.043	0.13	0.87	1.74	1.76
%28ÜT	0.086	0.086	0.22	0.10	2.64	2.95
%32ÜT	0.17	0.21	0.13	1.16	2.88	2.93
%24AT	0.04	0.13	0.48	0.17	1.59	2.28
%28AT	0.17	0.17	0.35	0.17	1.35	2.61
%32AT	0.086	0.21	0.52	0.13	1.49	2.72
%24TTP	0.17	0.17	0.47	0.57	1.72	3.00
%28TTP	0.09	0.13	0.39	0.17	0.82	2.18
%32TTP	0.13	0.13	0.49	0.13	1.24	1.63
Ş	0.12	0.21	0.60	0.28	1.80	2.60



### Boy Değişimi Deneyi:

Harç numuneleri TS 3322 'ye göre, 27.5×27.5×285 mm 'lik kalıplarda (Foto 5.3) pıralı olarak üretilmiştir. Harç kalıpları söküldükten sonra numunelerin ilk boyları, boy ölçüm aletindeki (Foto 5.4) 1/100 mm hassaslıktaki komparatör ile alınmıştır. Boy ölçümleri 0, 4., 8., 12. haftalarda su ve sülfat çözeltilisinde bekleyen numuneler üzerinde yapılmıştır. Ölçüm yapılmadan önce kür havuzundan çıkarılan numunelerin yüzeyleri bir bezle kurulanmıştır.

Numunelerde boy değişimi ( $l_D$ ) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$l_D = \frac{l_t - l_0}{l_0}$$

$l_D$  = Boy değişimi (m/mm)  
 $l_t$  = t süredeki boy (mm)  
 $l_0$  = başlangıçtaki boy (mm)

Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen numunelerin boy değişim değerleri Çizelge 5.6 'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: Su ve Sülfat Çözeltilinde Bekletilen Harçların Boy Değişim Değerleri ( $\times 10^{-6} \mu\text{m/mm}$ ).

\* 0 (28. gün) Numune Yaşından Sonraki Haftalar.

ÜT: Üsttuf AT: Alttuf TTP: Turnatepe Perlitik Ş: Şahit

Numune adı	Su			Sülfat		
	4*	8*	12*	4*	8*	12*
%24ÜT	35	49	84	28	49	77
%28ÜT	49	84	108	74	102	102
%32ÜT	27	27	34	63	105	112
%24AT	14	56	56	101	118	123
%28AT	28	103	118	104	102	116
%32AT	14	28	42	108	103	123
%24TTP	56	105	111	63	100	117
%28TTP	27	35	49	77	102	106
%32TTP	14	28	28	84	105	105
Ş	21	35	60	49	153	195

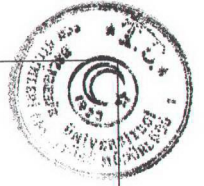


Foto 5.3: Pimli Standart Kalıplar.

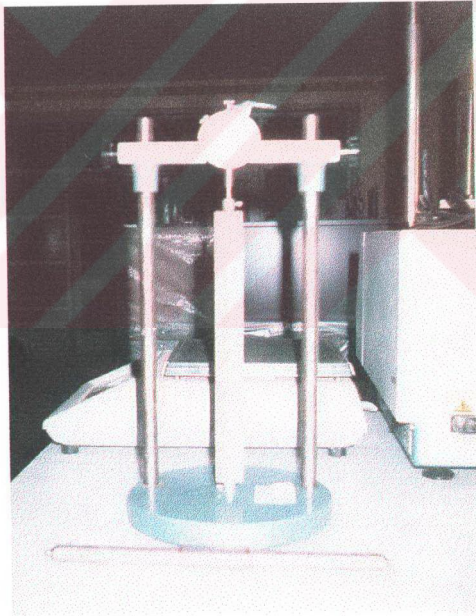


Foto 5.4: Boy Ölçüm Aleti.



Harç ve beton içerisinde bulunan agregalar (ince veya kaba agregalar) hemden nemden hiç hacim değişimine uğramamakta, buna ilave olarak hacim değişimini azaltıcı etki göstermektedirler. Dolayısıyla, meydana gelen hacim değişikliklerinin merkezi çimento hamuru ve burada meydana gelen reaksiyonlardır (BAYAZIT 1988).

Yüzeiden kaçacak su miktarı yüksek nemden dolayı ortamdan ayırlamamakta, buna ilave olarak dışarıdan ortama fazladan su girerek numunelerde hacim artışlarına sebep olmaktadır. Beton için  $1000 \times 10^{-6}$  'lık rötre değeri ihmal edilebilir bir değerdir.

### 5.3. BOŞLUK DURUMU DENEYLERİ

#### Kılcallık Deneyi:

Üretilen harçlarda 4. ve 12. haftalık küreden sonra kılcallık deneyi yapılmıştır. Deney için  $4 \times 4 \times 16$  cm 'lik numuneler ortadan ikiye kesilip  $105^{\circ}\text{C}$  'lik etüvde kuru ağırlığa gelene kadar (yaklaşık 24 saat) kurutulmuştur. Etüvden alınan numuneler desikatörde desikatörde tutulmuştur. Kılcallık deneyine başlamadan önce, numunelerin  $4 \times 4$  cm 'lik yüzeyleri su ile temas edecek şekilde, yalnız yan yüzeyleri parafinle kapatılmıştır. Kılcallık deneyinde tabandan kılcal olarak emilen su, 1.,4.,9.,16. ve 25. dakikalarda 0.01 g hassaslıktaki terazide tartılarak belirlenmiştir.

Kılcallık katsayısı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$k = \frac{(Q/A)^2}{t} = \frac{Q/A}{\sqrt{t}}$$

k = Kılcallık katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

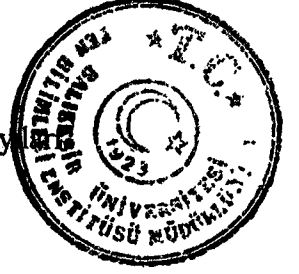
Q = Emilen su miktarı ( $\text{cm}^3$ )

A = Su emdirilen yüzey alanı ( $\text{cm}^2$ )

t = Geçen süre (s)

Kılcallık katsayısı förmülüne göre, düşeyde Q/A, yatayda  $\sqrt{t}$  göre çizilen diyagramın tanjant  $\alpha$  'sı kılcallık katsayısını vermektedir. Su ve sülfatlı suda bekleyen numunelerin kılcallık deney sonuçları Çizelge 5.7 'de verilmektedir.





Çizelge 5.7: Su ve Sülfat Çözeltinde Bekletilen Harçların Kılcallık Katsayı (cm<sup>2</sup>/s).

\* 0 (28. gün) Numune Yaşından Sonraki Haftalar.

ÜT: Üsttuf AT: Alttuf TTP: Turnatepe Perlitik Ş: Şahit

Numune adı	Su		Sülfat	
	4*	12*	4*	12*
%24ÜT	10.3	12.2	11.5	10.5
%28ÜT	10.9	12.9	11.4	11.0
%32ÜT	11.0	12.8	11.7	10.5
%24AT	12.2	12.0	12.5	11.4
%28AT	12.4	13.0	12.4	11.2
%32AT	12.6	13.4	12.7	10.2
%24TTP	13.1	13.4	12.8	12.5
%28TTP	13.1	13.4	13.0	12.3
%32TTP	13.4	13.7	13.0	12.0
Ş	9.0	9.6	9.6	13.7

#### Su Emme ve Birim Ağırlık Deneyleri:

Kılcallık deneyi yapılan numuneler, su dolu kabın içine konularak 48 saat suya doyurulmuştur. Sudan çıkarılan numuneler 0.01 g duyarlıklı terazide tartılarak emdiği su miktarı ve Arşimet prensibinden yararlanarak hacmi belirlenmiştir. Bu deney sonuçlarına göre numunelerin, aşağıdaki formüllerle hacimce su emme değerleri ve birim ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$S_h = \frac{W_2 - W_1}{W_1 - W_3} \quad (\%)$$

$$\gamma = \frac{W_1}{W_1 - W_3}$$

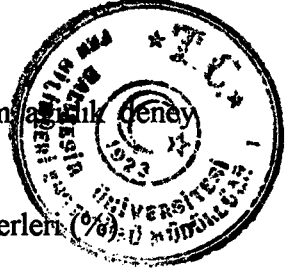
$S_h$  = Hacimce su emme değeri (%)

$W_1$  = Numunelerin kuru ağırlığı (g)

$W_2$  = Numunelerin su emmiş halde havadaki ağırlığı (g)

$W_3$  = Numunenin su emmiş halde sudaki ağırlığı (g)

$\gamma$  = Birim ağırlık (g/cm<sup>3</sup>)



Su ve sülfatlı suda bekleyen numunelerin hacimce su emme ve birim ağırlık değerleri Çizelge 5.8 ve 5.9 'da verilmiştir.

Çizelge 5.8: Su ve Sülfat Çözeltinde Beletilen Harçların Su Emme Değerleri (%)

\* 0 (28. gün) Numune Yaşından Sonraki Haftalar.

ÜT: Üsttuf AT: Alttuf TTP: Turnatepe Perlitik Ş: Şahit

Numune adı	Su		Sülfat	
	4*	12*	4*	12*
%24ÜT	12.6	8.29	12.8	9.54
%28ÜT	12.1	8.57	12.2	9.67
%32ÜT	12.6	8.91	13.0	10.12
%24AT	11.7	11.18	12.8	8.80
%28AT	11.8	8.65	12.9	8.95
%32AT	12.9	8.80	13.3	8.96
%24TTP	12.7	10.66	12.8	10.93
%28TTP	13.4	10.63	13.0	10.75
%32TTP	13.6	11.18	13.7	11.20
Ş	9.80	9.0	12.2	13.24

Çizelge 5.9: Su ve Sülfat Çözeltinde Beletilen Harçların Birim Ağırlık Değerleri (%).

\* 0 (28. gün) Numune Yaşından Sonraki Haftalar.

ÜT: Üsttuf AT: Alttuf TTP: Turnatepe Perlitik Ş: Şahit

Numune adı	Su		Sülfat	
	4*	12*	4*	12*
%24ÜT	2.04	2.03	2.03	2.04
%28ÜT	2.04	2.03	2.02	2.03
%32ÜT	2.03	2.02	2.01	2.02
%24AT	2.09	2.08	2.11	2.10
%28AT	2.07	2.07	2.10	2.09
%32AT	2.07	2.07	2.07	2.06
%24TTP	2.14	2.15	2.15	2.15
%28TTP	2.13	2.13	2.16	2.15
%32TTP	2.13	2.12	2.13	2.13
Ş	2.14	2.13	2.15	2.11

#### 5.4. DAYANIKLILIK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Harçlarda dayanıklılığın belirlenmesi için harç numuneleri sülfat çözeltisinde bekletilmiştir. Harçlar üzerinde sülfat etkisini belirlemek için harçların eğilme mukavemetleri, kararlılığı, boşluk durumu ve mikroyapısı incelenmiştir.



##### 5.4.1. BASINÇ MUKAVEMETİ SONUÇLARI

Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemetlerinin zamanla ve katkı miktarı ile değişimleri Çizelge 5.3 'de verilen değerlere göre incelenmiştir.

##### Suda Bekletilen Harçlar

Suda bekletilen harçların katkı miktarlarına ve zamana göre basınç mukavemeti değişimleri Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3 'de görülmektedir. Su içinde bekletilen bütün harçlarda basınç mukavemetleri zamanla artmıştır. Katkı miktarının artmasıyla, basınç mukavemetlerinde azalma olmuştur. 12. hafta sonunda katkı oranları içinde en yüksek basınç mukavemeti değerleri %24 katkılı harçlarda görülmüştür (Şekil 5.4).

##### %24 Katkı Oranında

%24 katkı oranında en yüksek basınç mukavemeti Üsttuf katkılı harçlarda alınmıştır. Katkılı harçlar, 8. haftaya kadar basınç mukavemetlerinde artış, 8. haftadan sonra sabitleşme eğilimi göstermiştir. 12. hafta sonunda en büyük mukavemet değerine Üsttuf (%98 zeolit) katkılı harç ulaşmıştır. Üsttufü harcın en büyük mukavemeti alması tufün zeolitik olması ve yapısındaki amorf silisten kaynaklanmaktadır. 12. hafta sonunda şahit harçda basınç mukavemeti artışı %105 iken, Üsttuf katkılı harçda %116, Altıf katkılı harçda %125, TT.P Perlitik katkılı harçda %120 olmuştur. Yani şahit harçda 12. hafta sonunda mukavemet artışı %5, katkılı harçlara %16-25-20 olmuştur. Mukavet artışı katkılı harçlarda zamanla birlikte devam etmektedir.

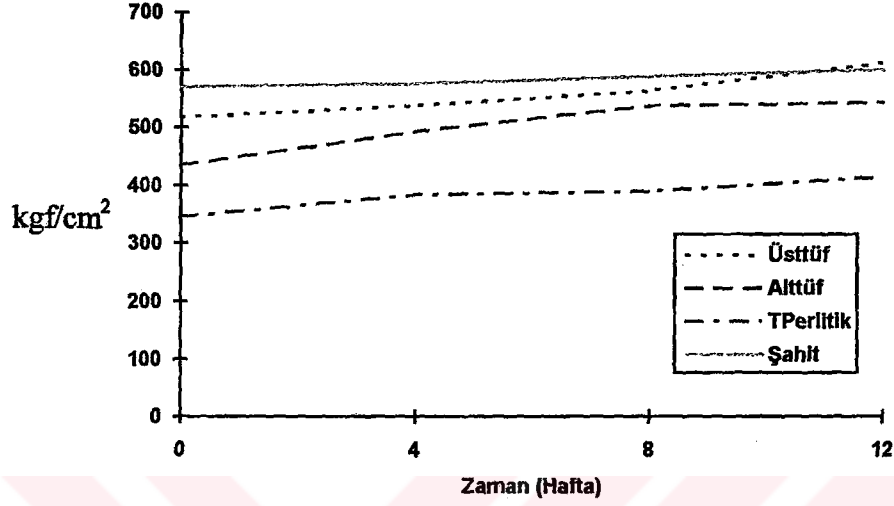
##### %28 Katkı Oranında

%28 katkı oranında TT.Perlitik ile üretilen harçlarda 28. gün sonunda basınç mukavemet değeri sınır mukavemet değerinin altında kalmıştır. Bu da çimentodaki katkı miktarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. 12. hafta sonunda en büyük mukavemet değeri Üsttuf katkılı harçda alınmıştır. 12. hafta sonunda şahit harçda basınç mukavemeti artışı %105 iken, Üsttuf katkılı harçda %128, Altıf katkılı harçda %139 olmuştur. 28. günden sonra zeolit katkılı harçlarda mukavemet artışı devam etmiştir. Bu da yapılarındaki amorf (aktif) silisten kaynaklanmaktadır.

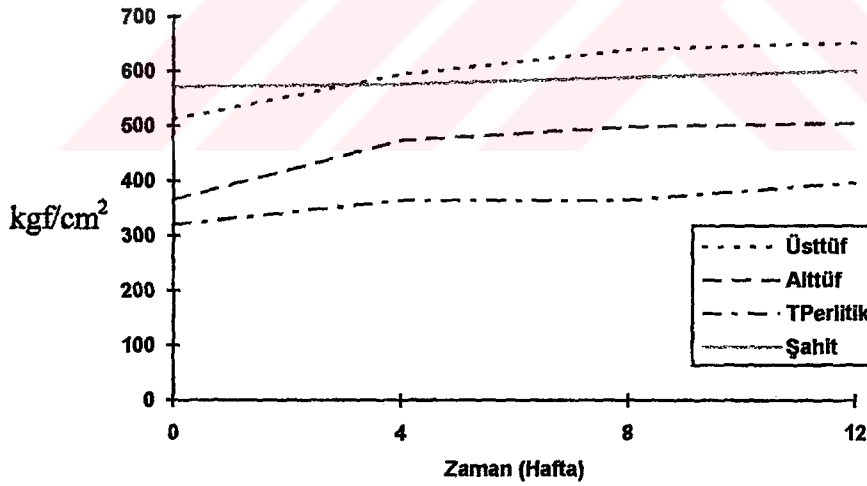
##### %32 Katkı Oranında

%32 katkı oranında TT.Perlitik ile üretilen harçlarda 28. gün sonunda basınç mukavemet değeri sınır mukavemet değerinin altında kalmıştır. Bu da katkı miktarının fazlalığından kaynaklanmaktadır. 12. hafta sonunda en büyük mukavemet değeri

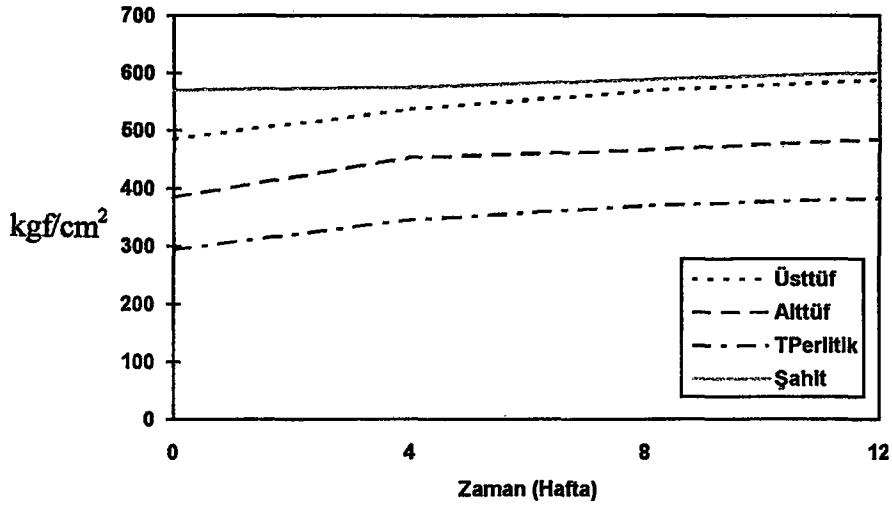
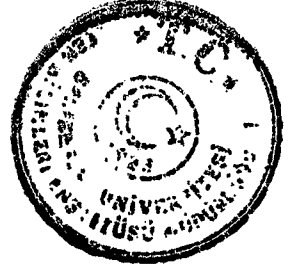
Alttüf katkılı harçlarda alınmıştır. %32 katkılı harçların basınç mukavemeti değerleri 12. hafta sonunda şahit harçdan az olmuştur. 12. hafta sonunda şahit harçta basınç mukavemeti artışı %105 iken, Üsttuf katkılı harçta %80 ve Alttuf katkılı harçta %104 olmuştur. Bu düşüş çimentolardaki katkı miktarının fazla olduğunu gösterir.



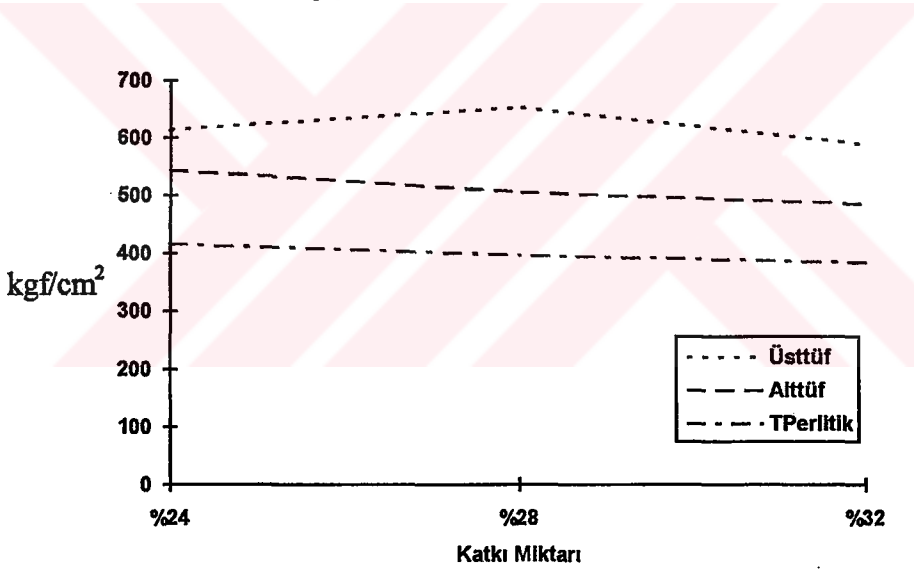
Şekil 5.1: Suda Bekletilen %24 Katkılı Harçların Basınç Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 5.2: Suda Bekletilen %28 Katkılı Harçların Basınç Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 5.3: Suda Bekletilen %32 Katkılı Harçların Basınç Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 5.4: Suda Bekletilen Katkılı Harçların 12. Hafta Sonunda Basınç Mukavemeti Değişimleri.

### Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçlar

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların zaman ve katkı miktarı ile basınç mukavemeti değişimleri Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7 'de verilmiştir. Buna göre sülfat çözeltisinde bekletilen katkı harçlarda basınç mukavemeti 4. haftaya kadar artmakta, 4. haftadan sonra sabitleşme eğilimi göstermektedir. Şahit harçta ise zamanla birlikte dayanımlarda sürekli azalma olmuştur. 12. hafta sonunda en büyük basınç mukavemeti % 24 katkılı harçlarda alınırken (Şekil 5.5) en düşük mukavemet şahit harçta ölçülmüştür.



### **%24 Katkı Oranında**

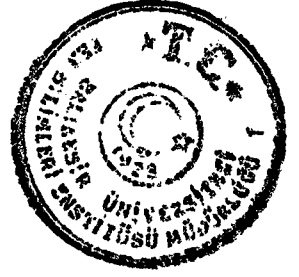
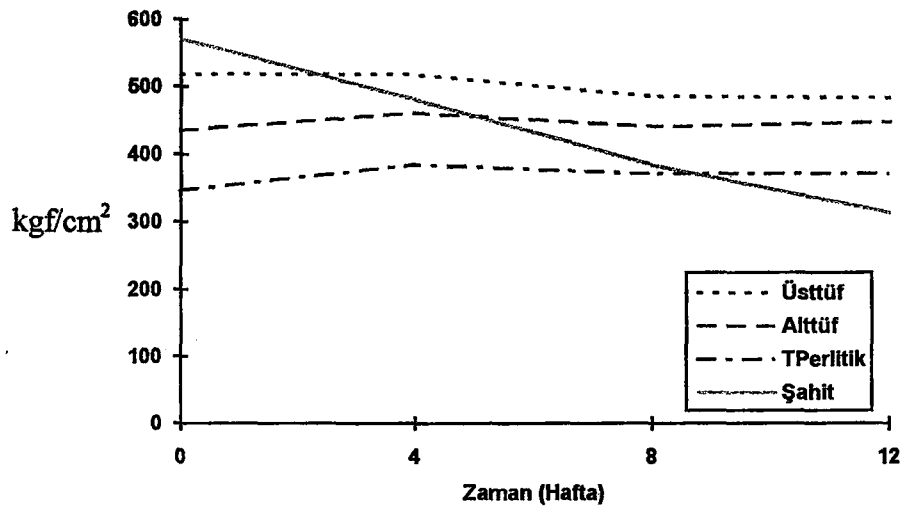
%24 katkılı harçlarda 4. haftaya kadar basınç mukavemetleri artmaya devam etmiştir. 4. haftadan sonra mukavemetler biraz düşmekle beraber sabitleşme eğilimi göstermiştir. 12. hafta sonunda en büyük mukavemet Üsttuf (%98 zeolit) katkıli harçda alınmıştır. 12. hafta sonunda şahit harçda basınç mukavemeti %55 'e , %24 Üsttuf katkıli harçda %93 'e inmiştir. %24 Alttuf katkıli harçda basınç mukavemeti %103, TT.Perlitik katkıli harçda %107 artmıştır. Yani şahit harçda basınç mukavemetlerinde %50 'lik bir azalma olurken, Üsttuf katkıli harçda %7 'lik bir azalma, Alttuf ve TT.Perlitik katkıli harçlarda %3-7 'lik bir artış olmuştur. Katkılı harçlar sülfat çözeltisinden fazla etkilenmemiştir.

### **%28 Katkı Oranında**

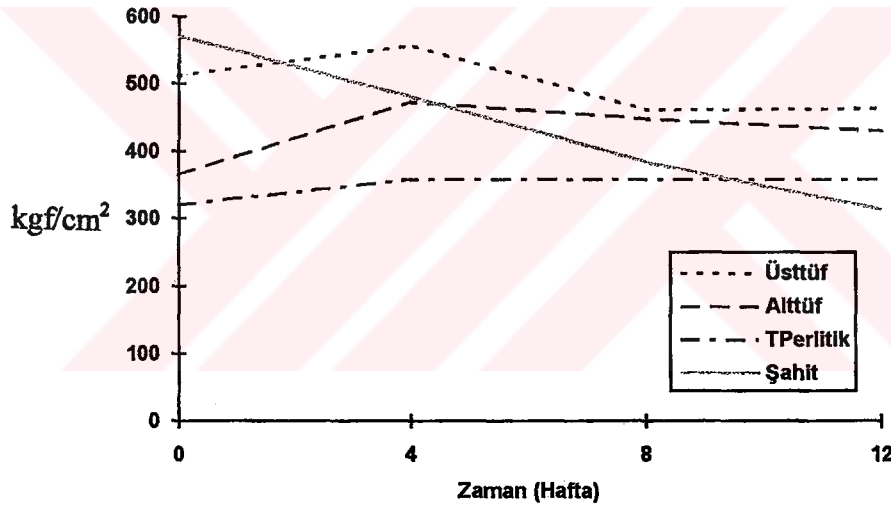
%28 TT.Perlitik katkıli harçlarda basınç mukavemeti standartlar dışında kalmıştır. %28 katkıli harçlarda 4. haftaya kadar basınç dayanımları artmaya devam etmiştir. 4. haftadan sonra mukavemetler biraz düşmekle beraber sabitleşme eğilimi göstermiştir. 12. hafta sonunda en büyük mukavemet Üsttuf (%98 zeolit) katkıli harçda alınmıştır. 12. hafta sonunda şahit harçda basınç mukavemeti %55 'e , %24 Üsttuf katkıli harçda %90 'a inmiştir. %24 Alttuf katkıli harçda basınç mukavemeti %117, TT.Perlitik katkıli harçda %111 artmıştır. Basınç mukavemetlerinde Üsttuf katkıli harçda %10 'luk bir düşüş olurken, Alttuf ve TT.Perlitik katkıli harçlarda mukavemet artmaya devam etmiştir.

### **%32 Katkı Oranında**

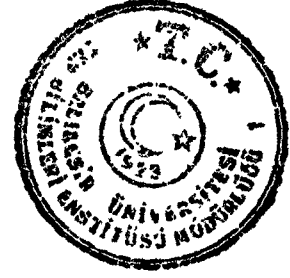
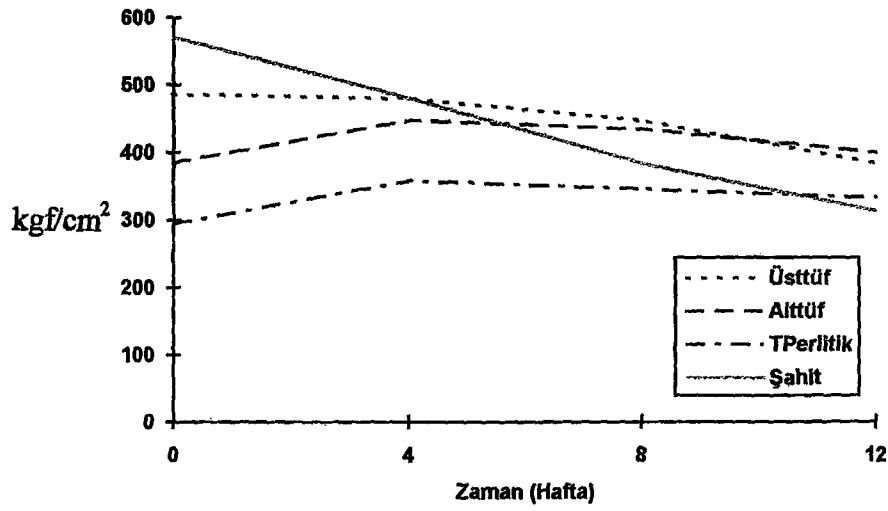
%32 katkı oranında TT.Perlitik katkıli harçda basınç mukavemeti standartlar dışında kalmıştır. Bu da katkı miktarının fazla oluşundan kaynaklanmaktadır. %32 Üsttuf ve Alttuf katkıli harçlarda 4. haftaya kadar basınç mukavemeti artmaya devam etmiştir. 4. haftadan sonra mukavemetler biraz düşmekle beraber sabitleşme eğilimi göstermiştir. 12. hafta sonunda en büyük mukavemet Alttuf (%65 zeolit) katkıli harçda alınmıştır. 12. hafta sonunda şahit harçda basınç mukavemeti %55 'e , %24 Üsttuf katkıli harçda %80 'e inmiştir. %24 Alttuf katkıli harçda basınç mukavemeti %107 artmıştır. Katkılı harçlarda mukavemetin düşmesi katkı miktarının fazla oluşundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.5: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %24 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Basınç Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 5.6: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %28 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Basınç Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



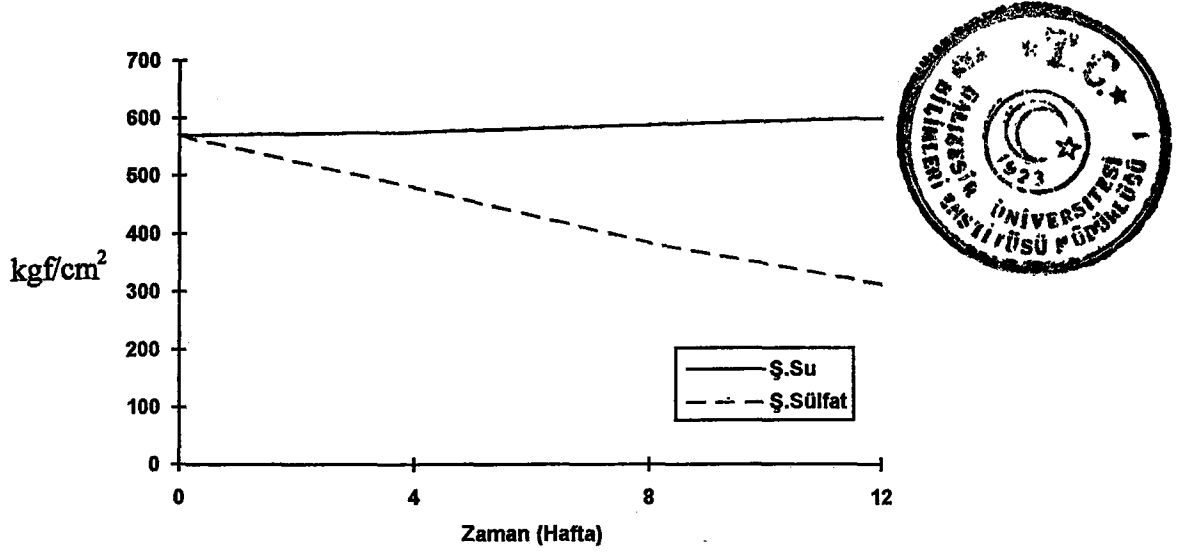
Şekil 5.7: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %32 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Basınç Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.

Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların basınç mukavemetleri ayrı ayrı incelendikten sonra bunların birbiri ile kıyaslaması yapılmıştır. Bu amaçla çizilen grafikler Şekil 5.8 ve 5.9 'dan şu sonuçlar alınmıştır:

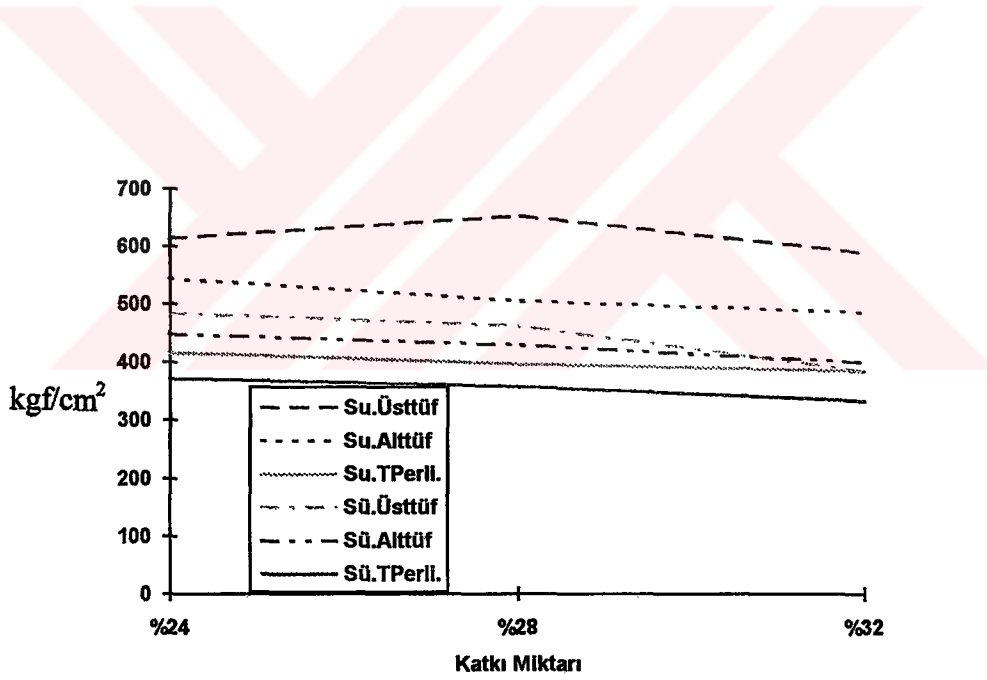
12. kür haftası sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harç suda bekletilenlere göre dayanım kaybetmiştir. Yani suda bekletilen şahit harcın mukavemeti %105 iken, sülfat çözeltisinde %55 'e inmiştir.

12. hafta sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen katkıli harçlarda suda bekletilen harçlara göre daha düşük basınç mukavemetleri alınmasına rağmen, aradaki farklar fazla büyük değildir. Suda bekletilen Üsttuf katkıli harçlarda basınç mukavemeti artışı %116-121 iken, sülfat çözeltisinde %93-80 'e inmiştir. Suda bekletilen Alttuf katkıli harçlarda %139-104 basınç mukavemeti artışı olurken, sülfat çözeltisinde bekletilenlerde %117-103 'lük bir artış olmuştur. Suda bekletilen TT.Perlitik katkıli harçlarda %120 artış olurken, sülfat çözeltisinde bekletilenlerde %107 artış olmuştur.





Şekil 5.8: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit Harçların Zamanla Basınç Mukavemeti Değişimleri.



Şekil 5.9: 12. Hafta Sonunda Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Katkılı Harçların Basınç Mukavemeti Değişimleri.

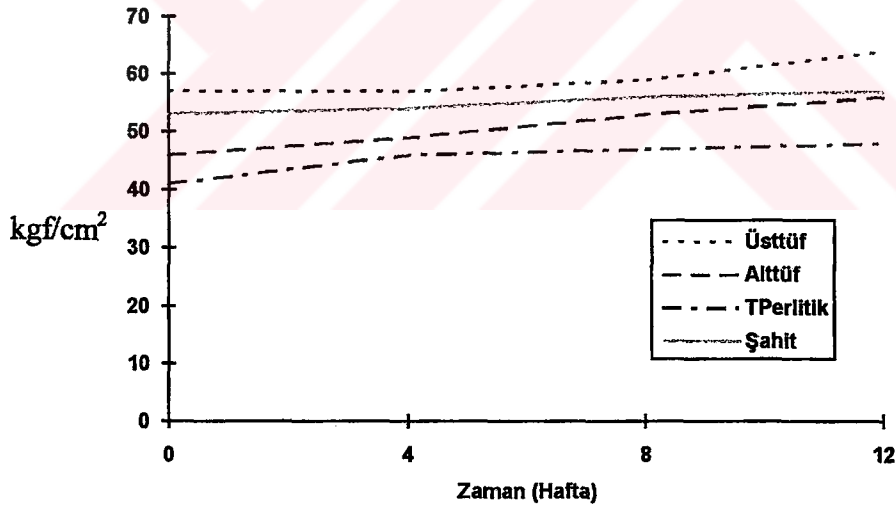


#### 5.4.2. EĞİLME MUKAVEMETİ SONUÇLARI

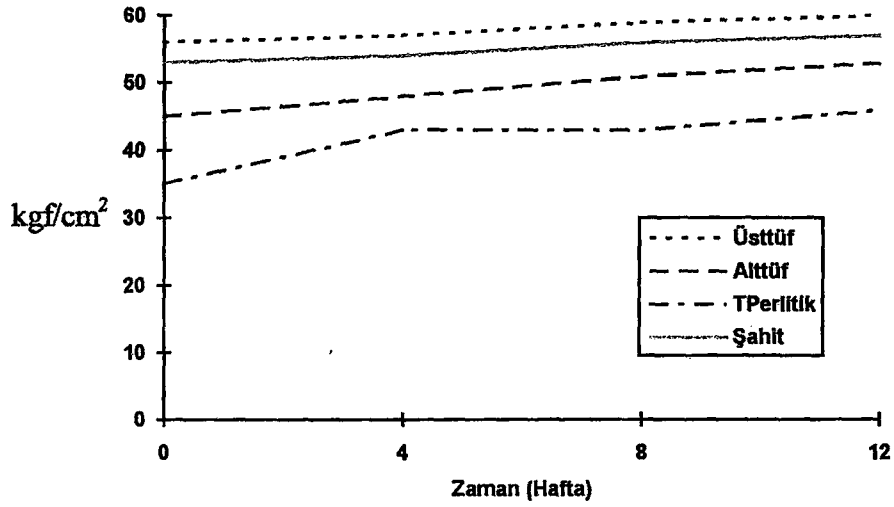
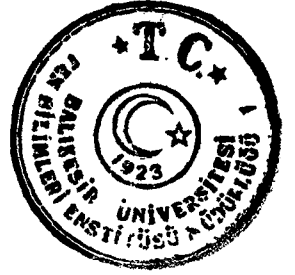
Su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen harçların eğilme mukavemetlerinin zamanla katkı miktarı ile değişimleri Çizelge 5.4 'de verilen değerlere göre incelenmiştir.

##### Suda Bekletilen Harçlar

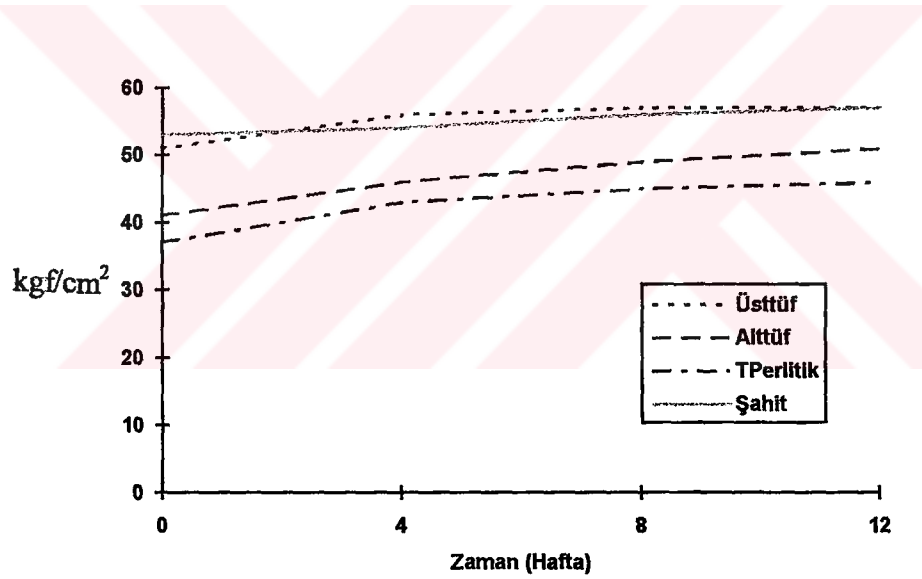
Su da bekletilen harçların katkı miktarlarına ve zaman göre eğilme mukavemeti değişim grafikleri Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12 'de verilmiştir. Buna göre suda bekletilen bütün harçlarda basınç mukavemetlerinde olduğu gibi eğilme mukavemetleri de zamanla artmış, katkı miktarının artmasıyla da azalmıştır. En büyük eğilme mukavemetleri %24 katkılı harçlarda alınmış ve en büyük değeri %24 Üsttuf katkılı harç vermiştir. %28 ve %32 katkılı harçlarda, katkı miktarının fazla gelmesinden dolayı eğilme mukavemetleri düşmüştür. 8. haftadan sonra da eğilme mukavemetleri artmakla beraber sabitleşme eğilimi de görülmektedir. Bu bulgu, çimentonun dayanım kazanma hızının düşmesi olarak yorumlanabilir. Şahit harç, Alttuf ve Turnatepe Perlitik katkılı harçlara göre 12. hafta sonunda daha büyük eğilme mukavemetine ulaşmakla birlikte 12. hafta sonunda Üsttuf katkılı harçta %112 artış olurken şahit harçta %107 artış olmuştur.



Şekil 5.10: Suda Bekletilen %24 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Eğilme Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 5.11: Suda Bekletilen %28 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Eğilme Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 5.12: Suda Bekletilen %32 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Eğilme Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.

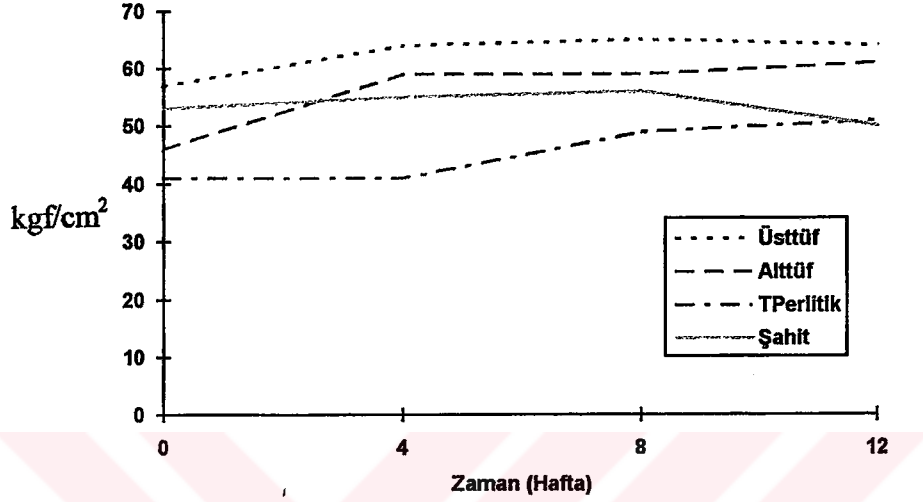
### Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçlar

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların katkı miktarlarına ve zamana bağlı olarak eğilme mukavemeti değişim grafikleri, Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15 'de verilmiştir.

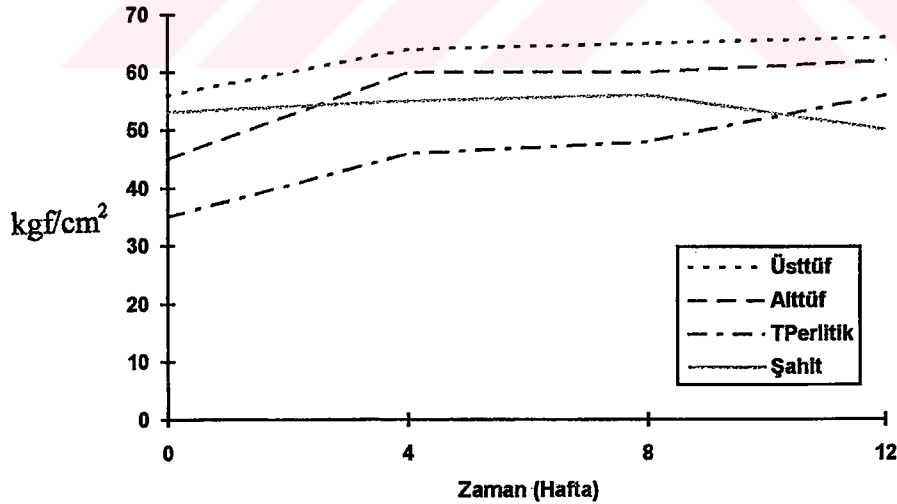
Sülfat çözeltisinde bekletilen katkı harçların eğilme mukavemetlerinde zamanla artış olmuştur. Sülfat çözeltisinde bekletilen katkı harçlar suda bekletilen harçlara göre 12. hafta sonunda daha büyük değerlere ulaşmıştır (Şekil 5.16). NEVİLLE (1977), sülfatlı



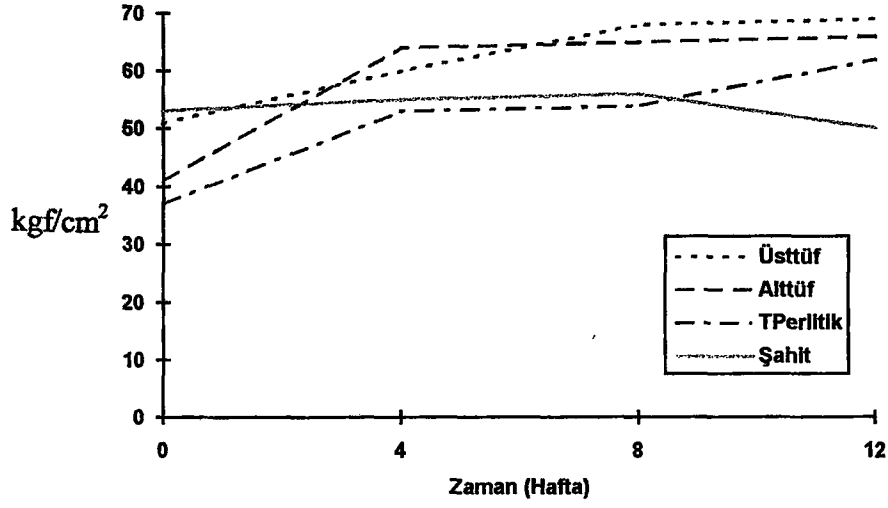
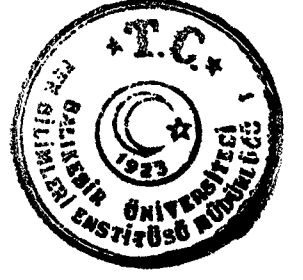
ortamda saklanan harçların eğilme mukavemetlerinin, su içinde saklanan harçlara göre yüksek olabileceğini belirtmekte ve bunun boşluklarda oluşan kristalleşmelerden dolayı gelebileceğini ileri sürmektedir. Sülfat çözeltisinde katkı miktarının artmasıyla eğilme mukavemetleri artış göstermiştir. En yüksek eğilme mukavemeti harçlarda alınmıştır.



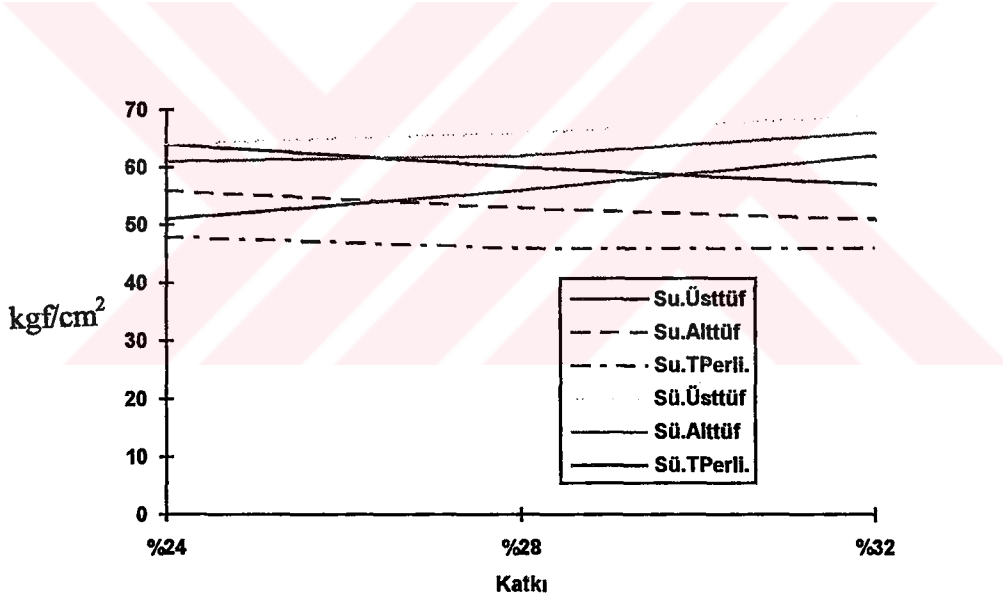
Şekil 5.13: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %24 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Eğilme Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 5.14: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %28 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Eğilme Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.

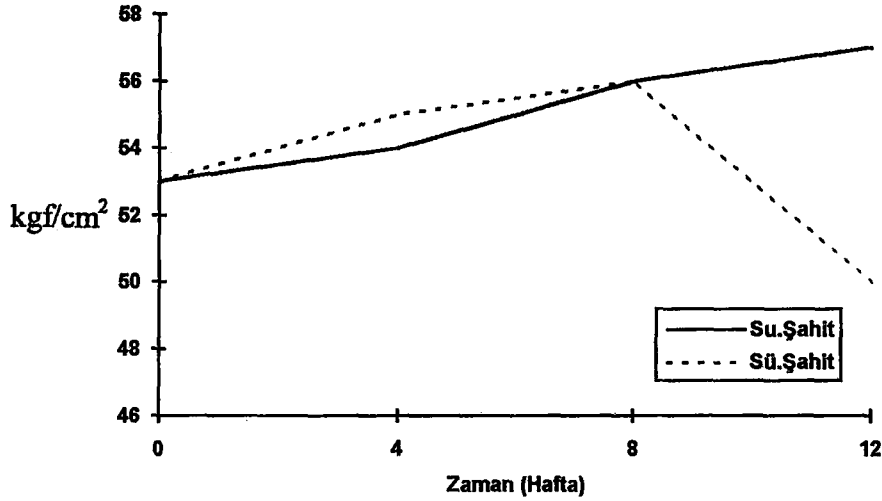
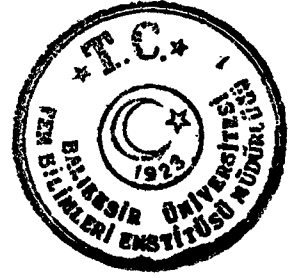


Şekil 5.15: Sulfat Çözeltisinde Bekletilen %32 Katkılı Harçların ve Şahit Harcın Eğilme Mukavemetlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 5.16: 12. Hafta Sonunda Su ve Sulfat Çözeltisinde Bekletilen Katkılı Harçların Eğilme Mukavemeti Değişimleri.

Şahit harçta eğilme mukavemeti 8. kür haftasından sonra azalma eğilimi göstermiştir. 8. kür haftası sonunda mukavemet artışı %108 iken 12. hafta sonunda %94 'e inmiştir. Yani sulfat çözeltisinde bekletilen şahit harç suda bekletilen şahit harca göre mukavemet kaybetmiştir (Şekil 5.17). Şahit harcın 12. hafta sonunda eğilme mukavemeti katkı harçlara göre daha düşüktür.



Şekil 5.17: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit Harçların Zamanla Eğilme Mukavemeti Değişimleri.

#### 5.4.3. KARARLILIK DENEY SONUÇLARI

Dayanıklılık deneylerinden kararlılık için, ağırlık ve boy değişimi incelenmiştir.

#### AĞIRLIK DEĞİŞİMİ

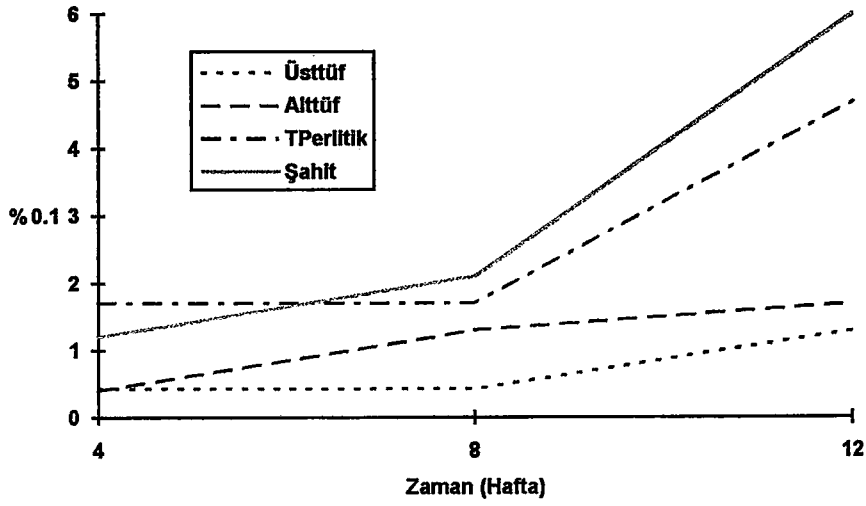
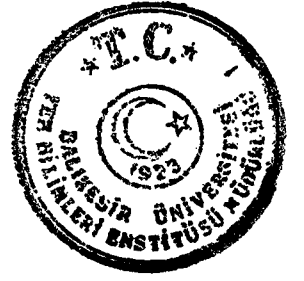
28. güne kadar su içinde bekletilen harçların, 28. günden sonra yarısı suya, yarısı da sülfat çözeltisine konmuştur. Harçların ağırlık değişimleri 4., 8. ve 12. kür haftalarında 28. güne göre kıyaslanarak belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.5 'de verilmiştir. Bu çizelgedeki sonuçlara göre çizilen grafikler ve değerlendirmesi aşağıdadır:

#### Suda Bekletilen Harçlar

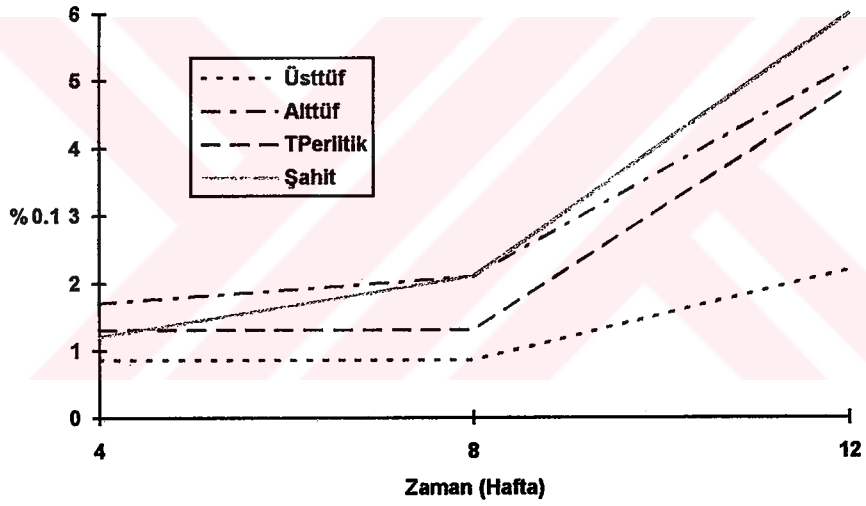
Suda bekletilen harçların zaman ve katkı miktarına bağlı olarak ağırlık değişim grafikleri Şekil 5.18, 5.19 ve 5.20 'de verilmiştir.

Suda bekletilen katkılı harçlarda 28. günden sonra zamanla ağırlık artışı olmuştur. Katkı miktarının çoğalmasıyla da ağırlık artış yüzdesi yükselmiştir. En az ağırlık artışı %24 katkılı harçlarda olmuştur. 12. hafta sonunda %24 Üsttuf katkılı harçda ağırlık artışı %0.13 olurken, Alttuf katkılı harçda %0.17, TT.Perlitik katkılı harçda %0.47 olmuştur. Ağırlık artışı en az Üsttuf katkılı harçda (%98 zeolitik) olmuştur.

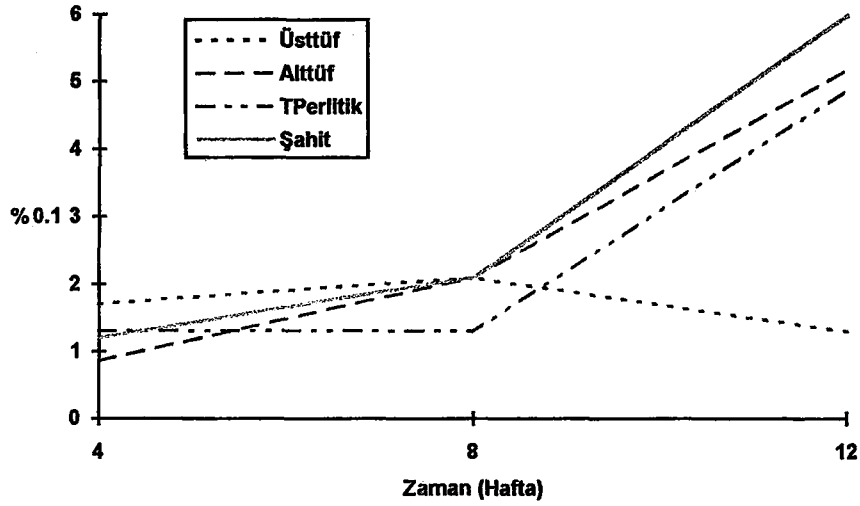
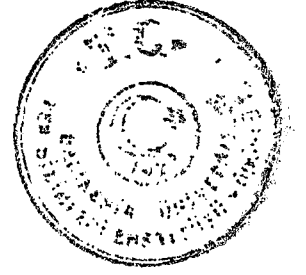
Şahit harçda da zamanla birlikte ağırlıklarda artış olmuştur. 12. hafta sonunda %24 Üsttuf katkılı harçlarda ağırlık artışı %0.13, Alttuf katkılı harçda %0.17, TT.Perlitik katkılı harçda %0.47 iken şahit harçda %0.60 'ı bulmuştur. Yani katkılı harçlara göre şahit harçda ağırlık artışı daha fazla olmuştur. Bu sonuç, katkılı harçların hidratasyon ürünlerinin özgül ağırlığının şahit harca göre daha düşük oluşu ile açıklanabilir (COHEN and BENTUR 1988).



Şekil 5.18: Suda Bekletilen %24 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Ağırlık Değişimleri.



Şekil 5.19: Suda Bekletilen %28 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Ağırlık Değişimleri.

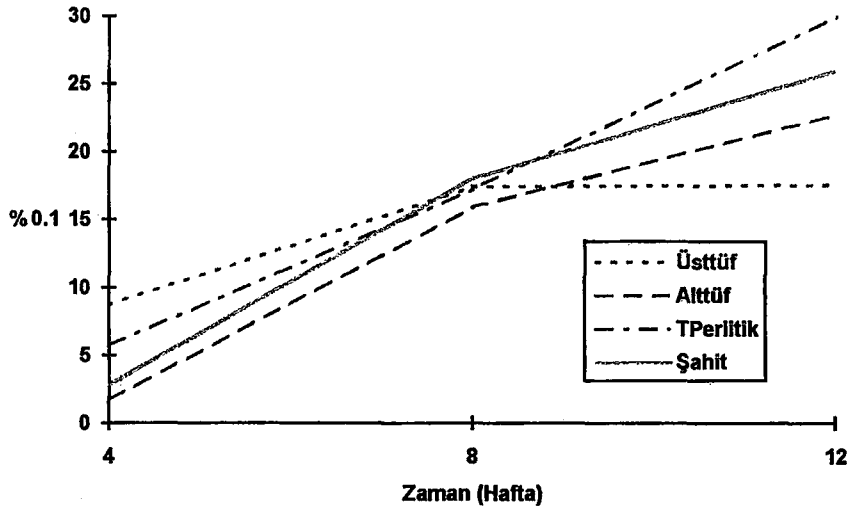


Şekil 5.20: Suda Bekletilen %32 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Ağırlık Değişimleri.

### Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçlar

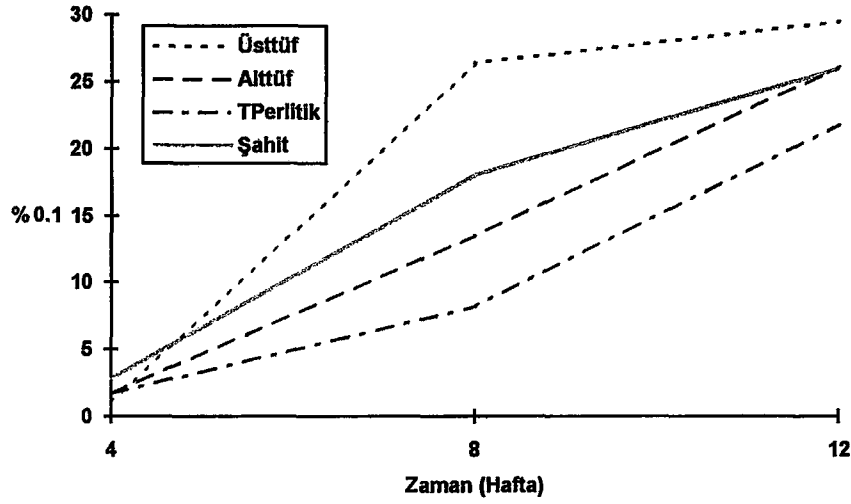
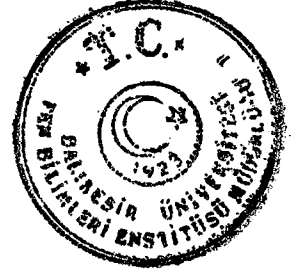
Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların zaman ve katkı miktarına bağlı olarak ağırlık değişim grafikleri Şekil 5.21, 5.22 ve 5.23 'de verilmiştir.

Sülfat çözeltisinde bekletilen harçlarda da zamanla birlikte ağırlık artışı olmuştur. Üsttuf ve Alttuf (zeolit) katkıli harçlarda ağırlık artışı katkı miktarının artmasıyla artmış, Turnatepe Perlitik (camsı) katkıli harçlarda ise azalmıştır. Şahit harçda da zamanla birlikte ağırlıklarda artış olmuştur. Şahit harçda 12. hafta sonunda ağırlık artışı %2.60 iken, %24 Üsttuf katkıli katkıli harçda %1.76, %32 Turnatepe Perlitik katkıli harçda %1.63 olmuştur. Şahit harca göre katkıli harçlarda ağırlık artışı daha az olmuştur. Şahit harçdaki ağırlık artışı sülfatlı ortamda etringit oluşumuna bağlanabilir. Çünkü şahit harçda ağırlık yanında boyda artmıştır. Ayrıca X-Işını difraktometre sonuçlarında şahit harçda etringit piki görülmüştür.

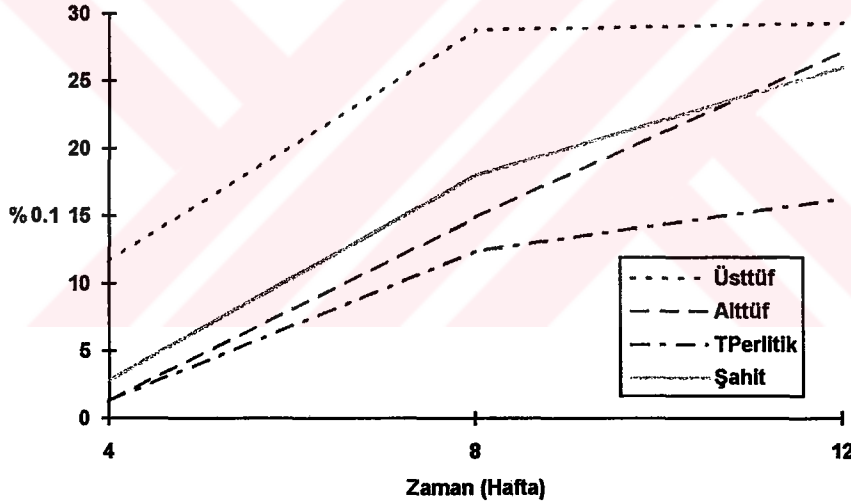


Şekil 5.21: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %24 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Ağırlık Değişimleri.



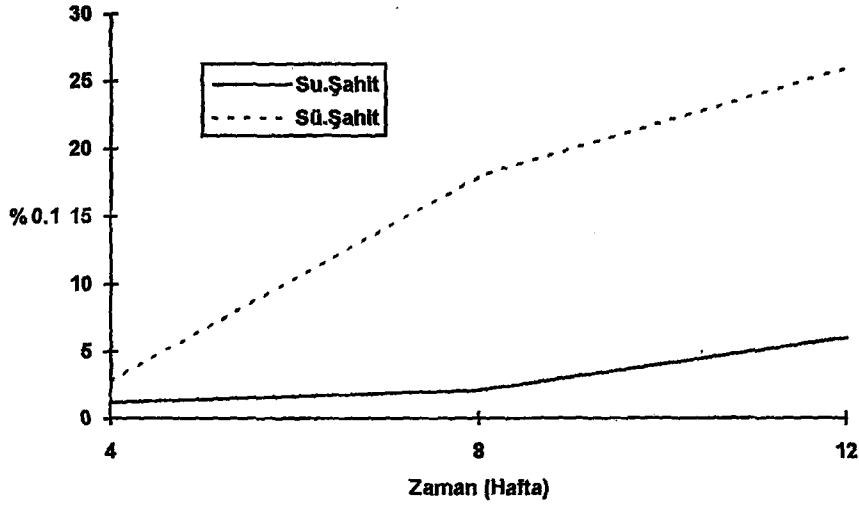
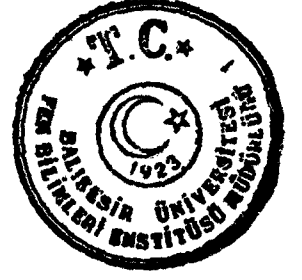


Şekil 5.22: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %28 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Ağırlık Değişimleri.



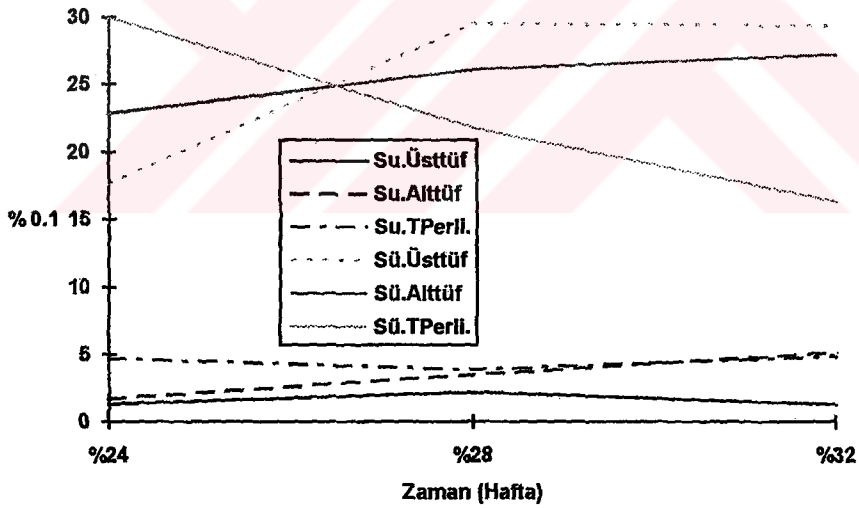
Şekil 5.23: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %32 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Ağırlık Değişimleri.

Şekil 5.24 'de görüldüğü gibi, sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harcın ağırlık artışı, suda bekletilenlere göre daha fazla olmuştur. 12. hafta sonunda şahit harcın su içindeki ağırlık artışı %0.60 iken sülfat çözeltisinde %2.60 olmuştur. Yani 4.5 kat daha fazla olmuştur.



Şekil 5.24: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit Harçların Zamanla Ağırlık Değişimleri.

Sülfat çözeltisinde bekletilen katkıli harçlarda, suda bekletilen katkıli harçlara göre ağırlık artışı daha fazla olmuştur (Şekil 5.25).



Şekil 5.25: 12. Hafta Sonunda Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Katkıli Harçların Ağırlık Değişimleri.

## BOY DEĞİŞİMİ

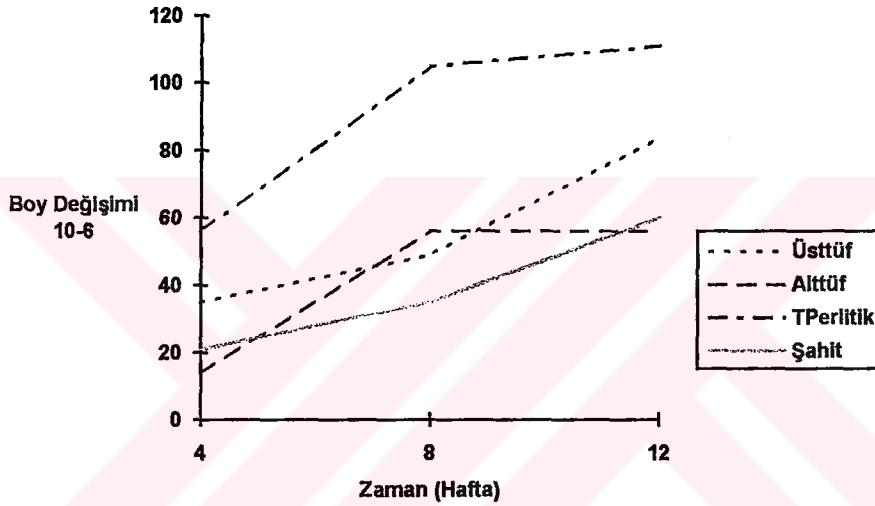
Harçlarda boy değişiminin ölçülmesi ile hacim değişimleri saptanmış olmaktadır. 28. güne kadar su içinde bekletilen numuneler 28. günden sonra su ve sülfat çözeltisine konmuştur. Harçların 28. gün ve ondan sonraki boylan 4., 8. ve 12. kür haftalarında ölçülmüş, 28. güne kıyaslanarak, boy değişim sonuçları Çizelge 5.6 'da verilmiştir.

## Suda Bekletilen Harçlar

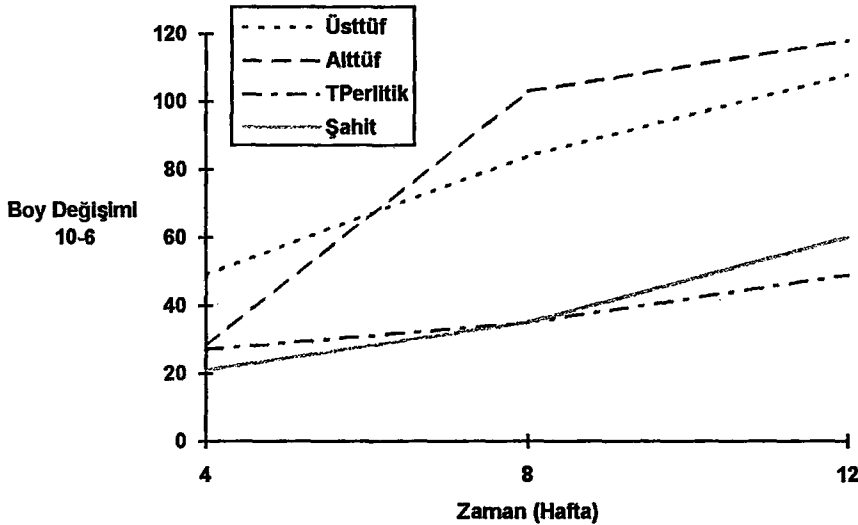
Suda bekletilen harçların zamana ve katkı miktarına bağlı olarak çizilen boy değişim grafikleri Şekil 5.26, 5.27 ve 5.28 'de verilmektedir.

Suda bekletilen katkılı harçlarda zamanla boy artışı gözlenmiştir. Boy artış miktarları fazla olmamakla birlikte sürekli olmuştur. Boy artışı tüm harçlarda birbirine yakın ve küçük değerler almış ve 8. haftadan sonra genelde sabitleşme eğilimi göstermiştir. Katkı miktarının artmasıyla (%32 katkılı harçlarda) boy artışı azalmıştır.

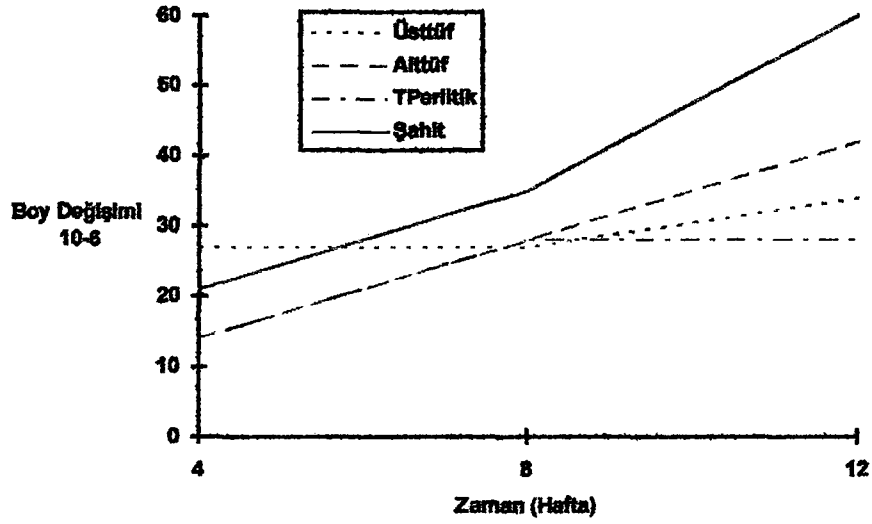
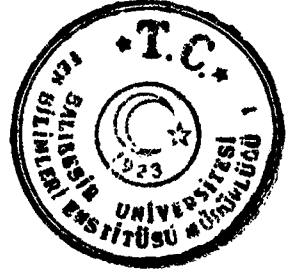
Şahit harçda da zamanla küçük değerlerde boy artışı olmuştur.



Şekil 5.26: Suda Bekletilen %24 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Boy Değişimleri.



Şekil 5.27: Suda Bekletilen %28 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Boy Değişimleri.

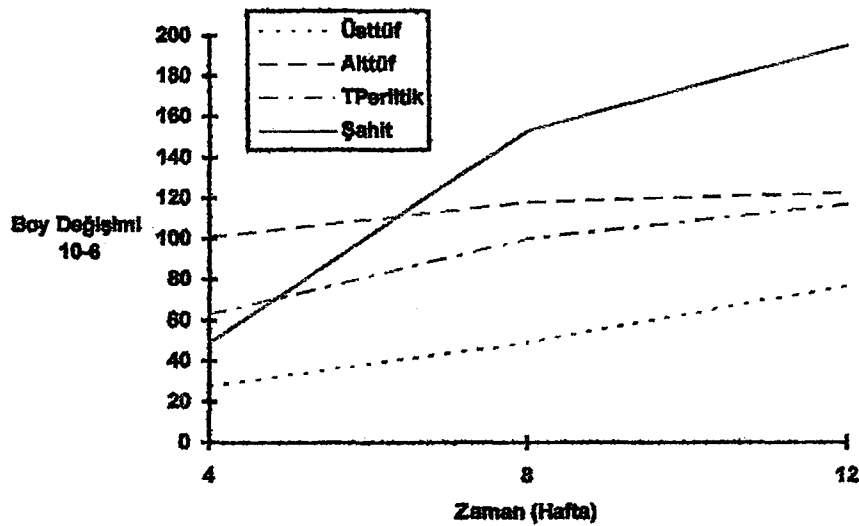


Şekil 5.28: Suda Bekletilen %32 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Boy Değişimleri.

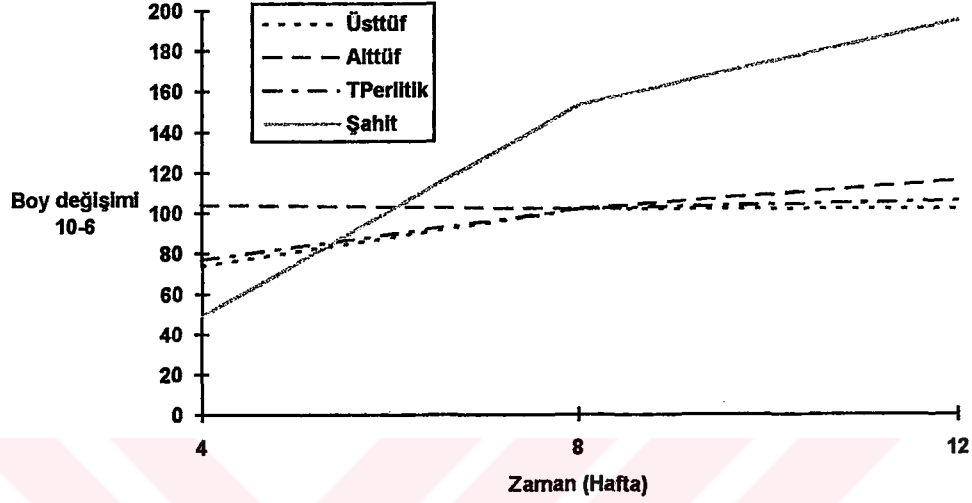
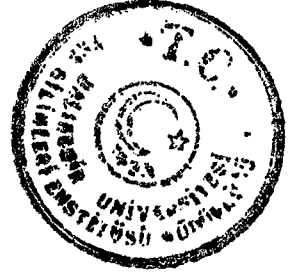
#### Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Harçlar

28. günden sonra sülfat çözeltisinde bekletilen harçların boy değişim grafikleri Şekil 5.29, 5.30 ve 5.31 'de verilmektedir. Şahit ve katkıli harçlar da boy artışı görülmüştür. Ancak şahit harçda boy artışı sürekli ve büyük miktarlarda olmuştur. Şahit harçda oluşan bu boy artışı, sülfat etkileşmesi sonucu oluşan Candlot tuzunun varlığına bağlanabilir.

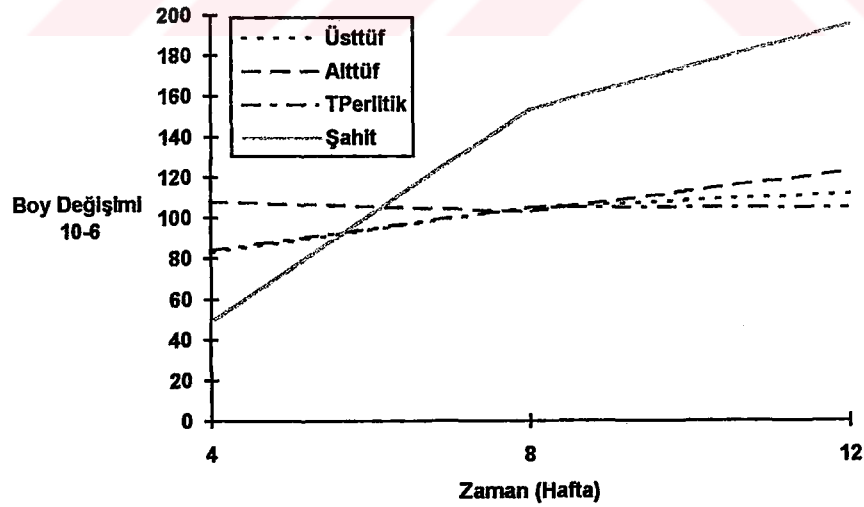
Literatürde, yapay puzolanlı harçların sülfatlı ortamda boy değişimi bakımından fazla etkilenmediği görülmüştür. Katkılı harçlarda boy artışı genelde birbirine yakın değerler almıştır. 12. hafta sonunda en az boy artışı %24 Üsttuf katkıli harçda olmuştur.



Şekil 5.29: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %24 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Boy Değişimleri.



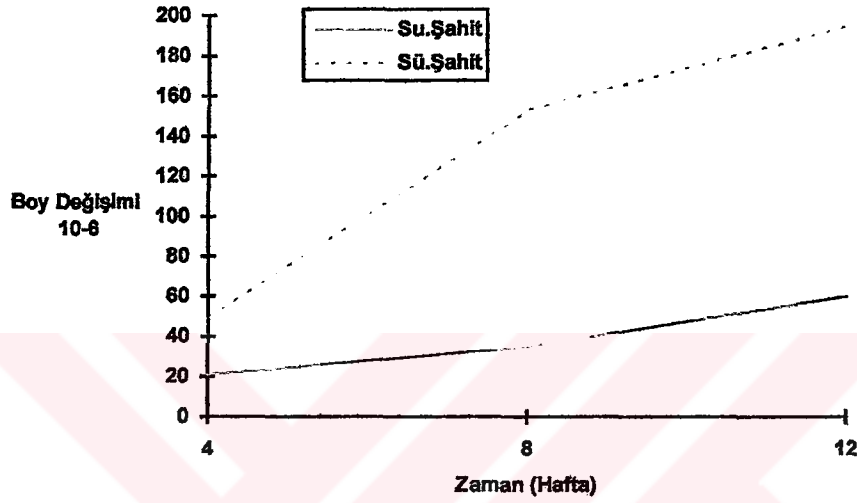
Şekil 5.30: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %28 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Boy Değişimleri.



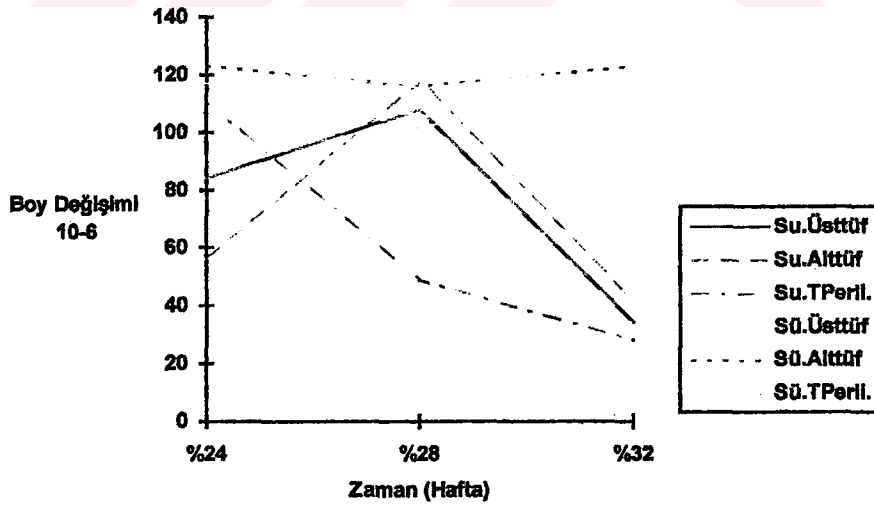
Şekil 5.31: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %32 Katkılı Harçlarda ve Şahit Harçda Boy Değişimleri.



Şahit harcın sülfat çözeltisinde boy artışı suya göre fazla olmuştur. 12. hafta sonunda şahit harcın suda boy artış miktarı  $60 \times 10^{-6} \mu/\text{mm}$  iken sülfat çözeltisinde  $195 \times 10^{-6} \mu/\text{mm}$  olmuştur (Şekil 5.32). 12. hafta sonunda suda bekletilen katkılı harçların boy artışı sülfat çözeltisinde bekletilenlere göre daha az olmuştur. Bu fark Üsttuf ve Alttuf (zeolit) katkılı harçlarda şahit harçtaki kadar fazla değildir (Şekil 5.33).



Şekil 5.32: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit Harçların Zamanla Boy Değişimleri.



Şekil 5.33: 12. Hafta Sonunda Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Katkılı Harçların Boy Değişimleri.

#### 5.4.4. BOŞLUK DURUMU DENEY SONUÇLARI

Harçlarda boşluk durumu; kılcallık, su emme, birim ağırlık özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerin su ve sülfat çözeltisinde zamanla değişimi saptanmıştır.

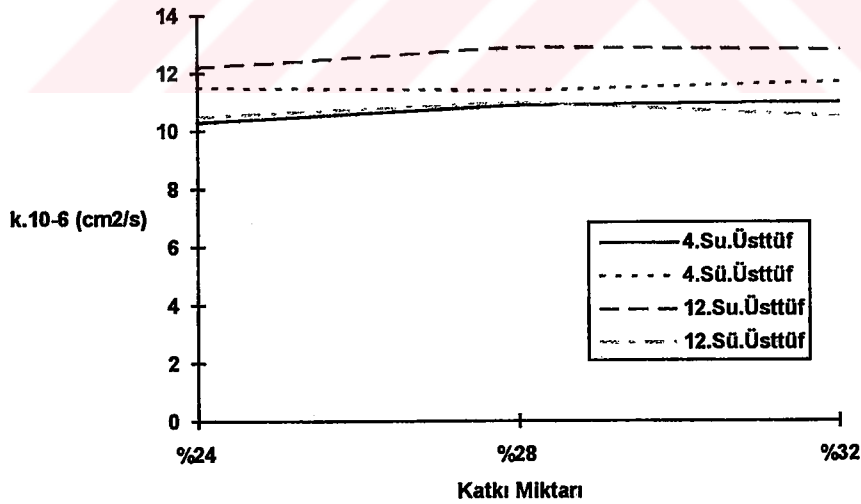


Harçlar üretimden sonra 28. güne kadar su içinde saklandıktan sonra, suya ve sülfat çözeltisine konmuştur. Harçlar üzerinde 4. ve 12. kür haftalarında kılcallık, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarından yararlanılarak çizilen grafikler ve değerlendirilmesi aşağıda verilmektedir.

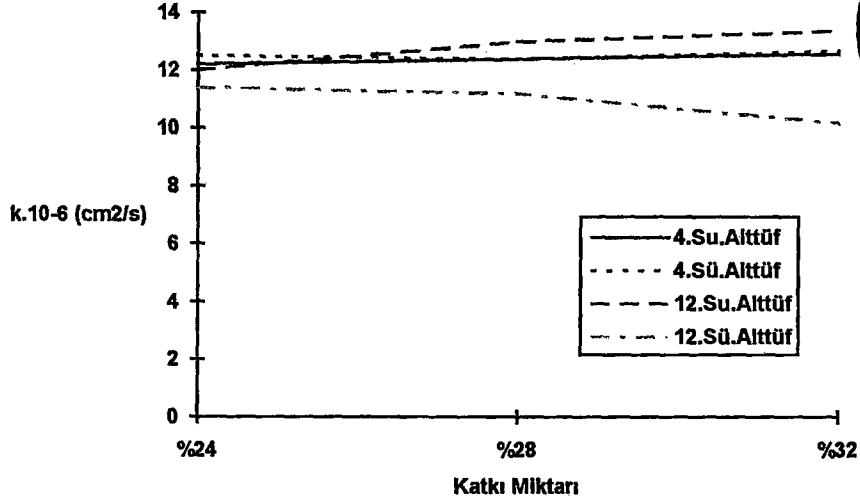
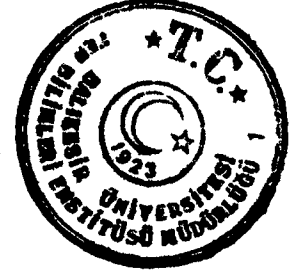
#### KILCALLIK

Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların kılcallık katsayılarının katkı miktarı ile değişimi 4. ve 12. haftalar sonunda belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.7 'de verilmiştir.

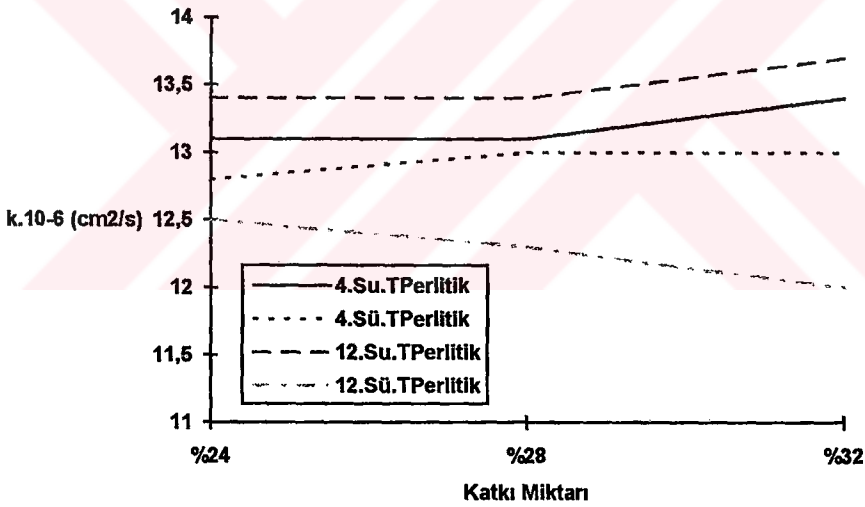
Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların 4. ve 12. kür haftalarında kılcallık katsayısının katkı miktarı ile değişimi Şekil 5.34, 5.35 ve 5.36 'dadır. Genel olarak suda bekletilen katkıli harçlarda kılcallık katsayısı katkı miktarının artmasıyla ve zamanla, şahit harca göre artmıştır. Sülfat çözeltisinde bekletilen katkıli harçlarda ise kılcallık katsayısı katkı miktarının artmasıyla yükselmiş, zamanla ve şahit harca göre azalmıştır. Bu da katkıli harçlarda zamanla kılcal boşlukların azalmasına bağlanabilir.



Şekil 5.34: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Üsttuf Katkıli Harçların Kılcallık Katsayılarının 4. ve 12. Kür Haftalarında Katkı Miktarı ile Değişimi.



Şekil 5.35: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Altuf Katkılı Harçların Kılcalık Katsayılarının 4. ve 12. Kür Haftalarında Katkı Miktarı ile Değişimi.



Şekil 5.36: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Turnatepe Perlitik Katkılı Harçların Kılcalık Katsayılarının 4. ve 12. Kür Haftalarında Katkı Miktarı ile Değişimi.

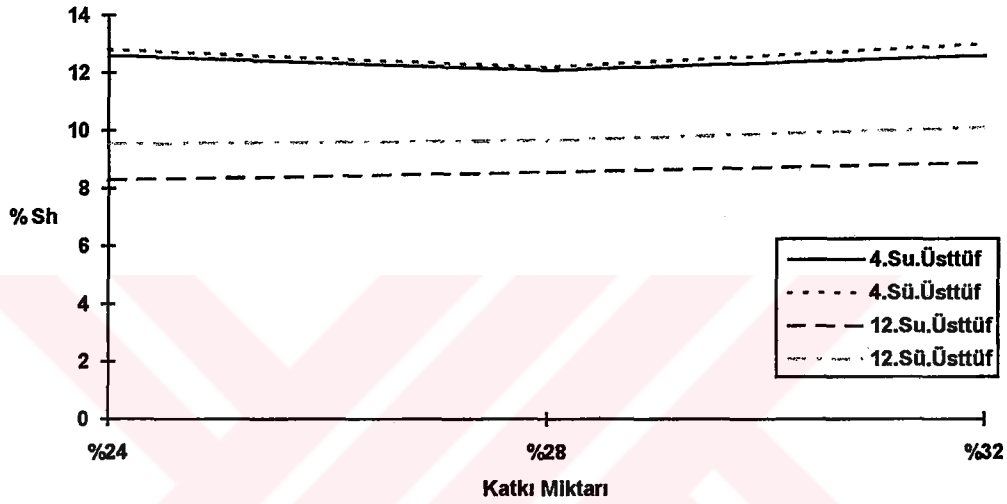
Şahit harçta suda bekletilen numunelerde 4. ve 12. kür haftalarında fazla bir değişiklik olmamakla beraber, sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde 12. hafta sonunda kılcalık katsayısı 4. haftaya ve suda bekletilenlere göre artmıştır.



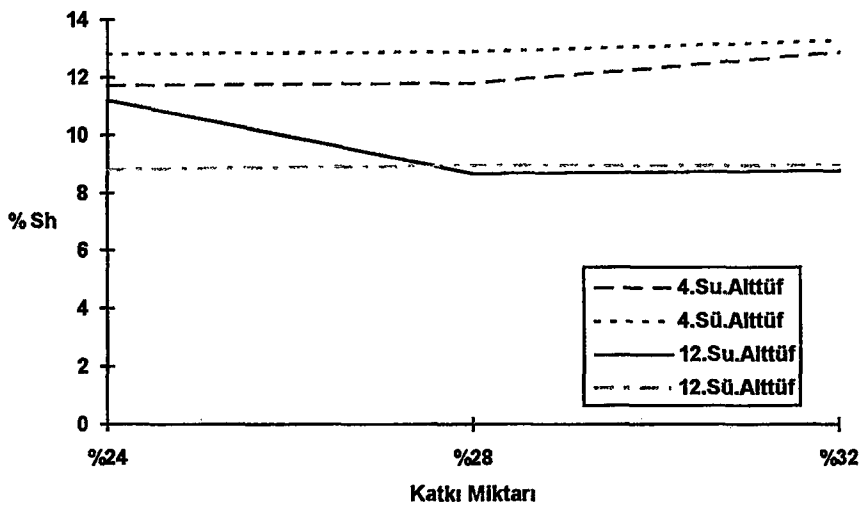
## SU EMME

Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen harçların hacimce su emme değerleri 4. ve 12. haftalar sonunda belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.8 'de verilmiştir.

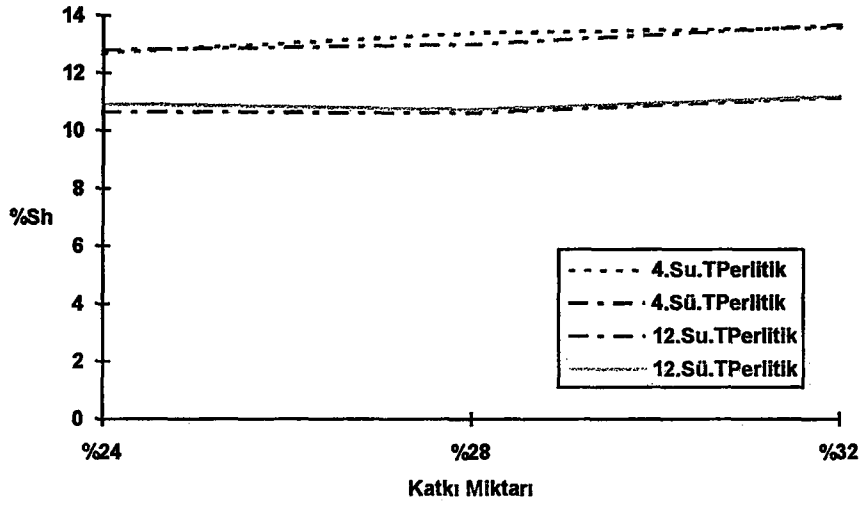
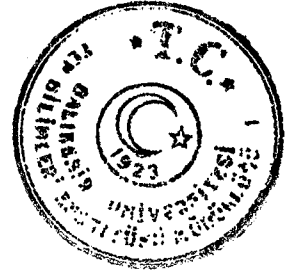
Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen katkıli harçlarda katkı miktarının artmasıyla hacimce su emme değerleri artmakta, 4. kür haftasına göre 12. kür haftasında hacimce su emme değerleri azalmaktadır. Ayrıca su ve sülfat çözeltisinde bekletilen katkıli harçlarda su emme değerleri 4. ve 12. haftalar sonunda birbirine çok yakın değerler almıştır (Şekil 5.37, 5.38, 5.39).



Şekil 5.37: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Üsttuf Katkıli Harçların Su Emme Değerinin 4. ve 12. Kür Haftalarında Katkı Miktarı ile Değişimi.



Şekil 5.38: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Alttuf Katkıli Harçların Su Emme Değerinin 4. ve 12. Kür Haftalarında Katkı Miktarı ile Değişimi.

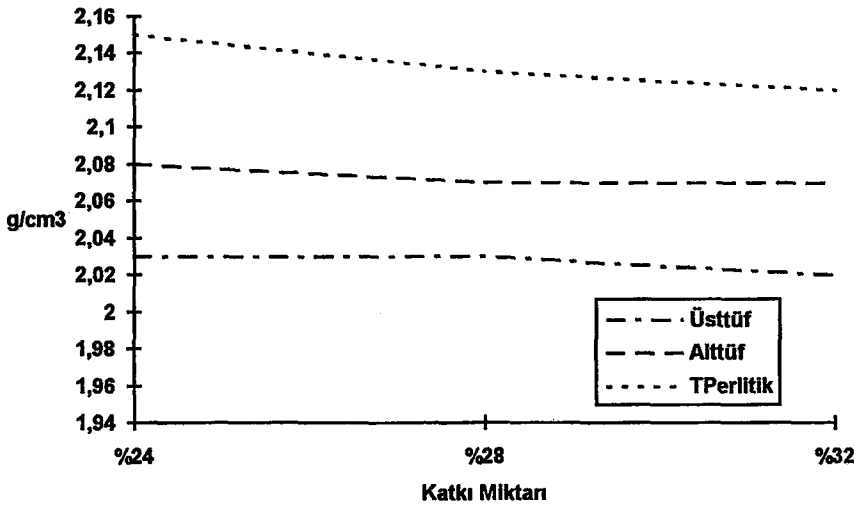


Şekil 5.39: Su ve Sülfat Çözeltilisinde Bekletilen Turnatepe Perlitik Katkılı Harçların Su Emme Değerinin 4. ve 12. Kür Haftalarında Katkı Miktarı ile Değişimi.

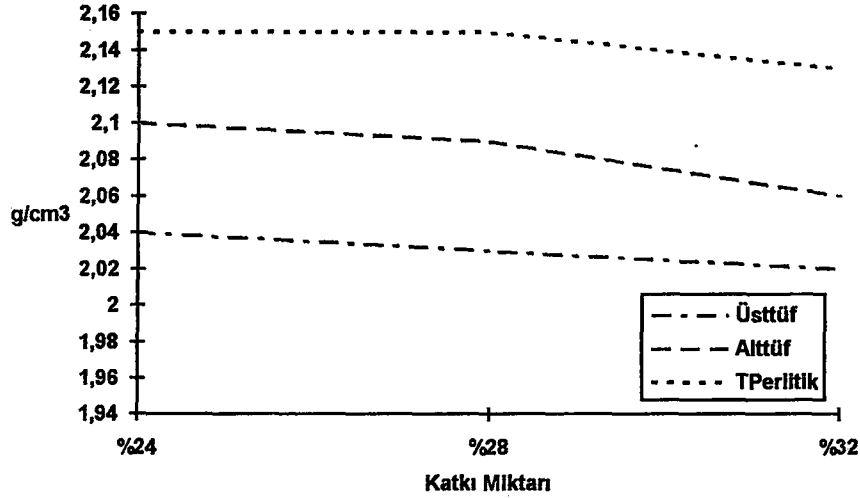
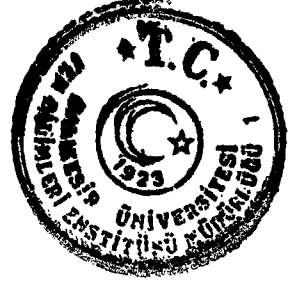
Şahit harçta suda bekletilen numunelerde 4. ve 12. kür haftalarında fazla bir değişiklik olmamakla beraber, sülfat çözeltilisinde bekletilen numunelerde 12. hafta sonunda su emme değerinde artış olmuştur.

## BİRİM AĞIRLIK

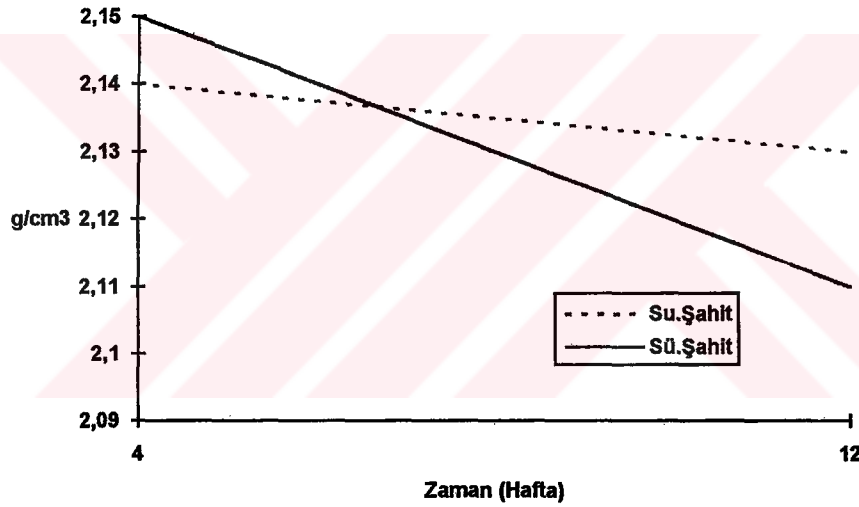
Çizelge 5.9 'da ki sonuçlara göre su ve sülfat çözeltilisinde bekletilen katkıli harçlarda birim ağırlıklar zamanla çok belirgin bir şekilde değişmemiştir. Fakat katkı miktarının artmasıyla birim ağırlıklarda azalma olmuştur (Şekil 5.40, 5.41, 5.42). Bu da katkıların özgül ağırlığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Şahit harçta sülfat çözeltilisinde bekletilen numunelerde suda bekletilen numunelere göre birim ağırlıklarda biraz düşüş olmuştur.



Şekil 5.40: Suda Bekletilen Katkılı Harçlarda 12. Gün Sonunda Katkı Miktarıyla Bağlantılı Birim Ağırlık Değişimleri.



Şekil 5.41: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Katkılı Harçlarda 12. Gün Sonunda Katkı Miktarıyla Bağlantılı Birim Ağırlık Değişimleri.

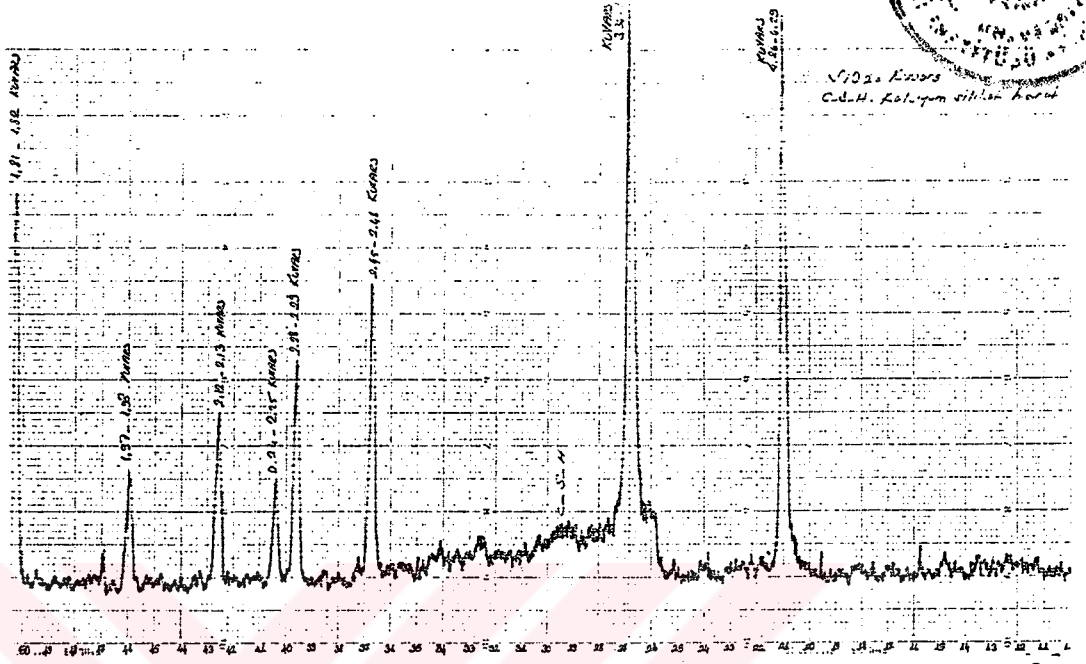
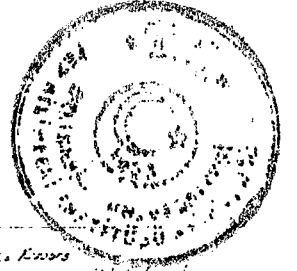


Şekil 5.42: Su ve Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit Harcın Zamanla Birim Ağırlık Değişimi.

## 5.5. HARÇLARIN MİNERALOJİK YAPI İNCELEMESİ

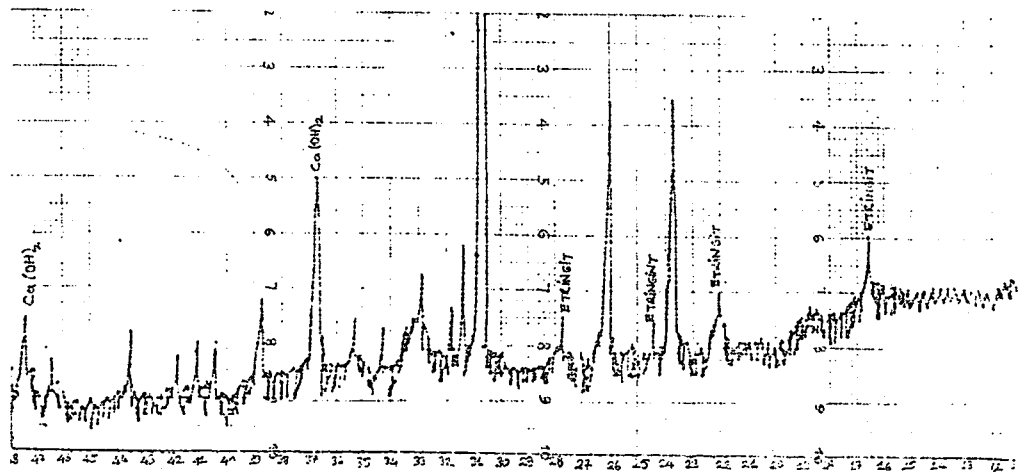
Sülfat çözeltisinde bekletilen %24 Üsttuf, Alttuf ve Turnatepe Perlitik katkı ve şahit harçların mineralojik analizleri Çimento Müstahsilleri Birliği X- ışınları difraktometre biriminde yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre sülfat çözeltisinde bekletilen %24 katkı harçlarda etringit pikine rastlanmamıştır. Alınan piklerde normal bir beton özelliği, yani bol miktarda kuvars ve çok az miktarda C-S-H (kalsiyum silikat hidrate) görülmüştür (Şekil 5.43, 5.44, 5.45). Sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harçda ise etringit pikine rastlanmıştır (Şekil 5.46).

Sonuç olarak sülfat çözeltisinde bekletilen katkı harçlarda katkılar etringit oluşumunu engelleyerek yararlı etkilerini ortaya çıkarmıştır.



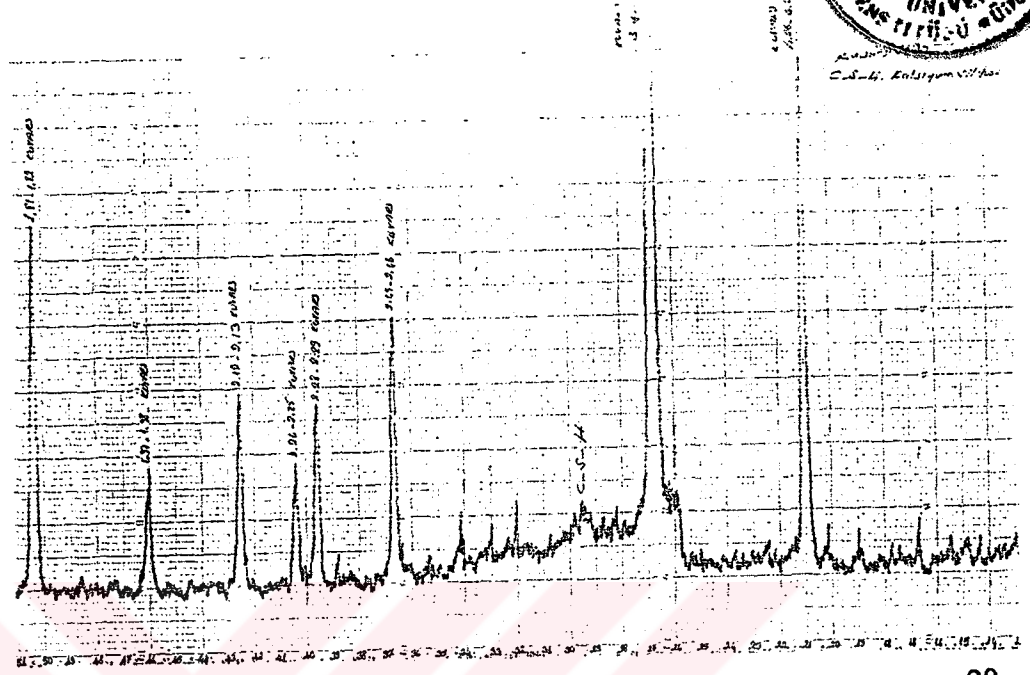
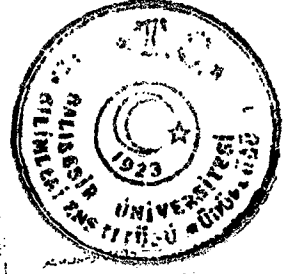
Şekil 5.43: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %24 Turnatepe Perlitik Katkılı Harcın 12. Hafta Sonunda Difraktometresi.

20



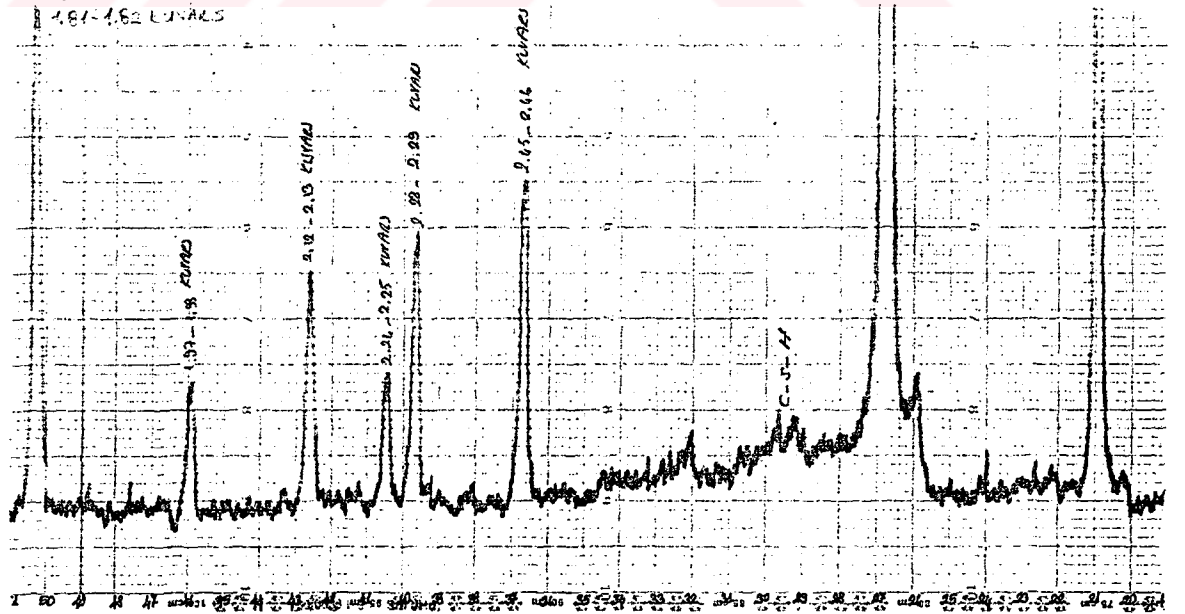
Şekil 5.44: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen Şahit Harcın 12. Hafta Sonunda Difraktometresi.

20



Şekil 5.45: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %24 Üsttuf Katkılı Harcın 12. Hafta Sonunda Difraktometresi.

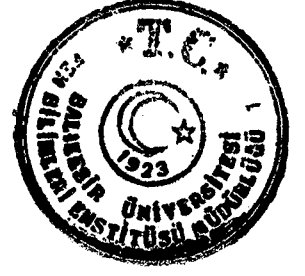
20



Şekil 5.46: Sülfat Çözeltisinde Bekletilen %24 Alttuf Katkılı Harcın 12. Hafta Sonunda Difraktometresi.

20

## BÖLÜM-6



### SONUÇLAR

Bu araştırmada elde edilen sonuçlar, aşağıdaki gibi özetlenebilir:

#### 1- Puzolanların Test Sonuçları:

Çalışma alanı Bigadiç ve Turnatepe tüflerini içine alan bölgelerdir. Bigadiç Bölgesi tüfleri esas olarak boratlı üst ve alttüfler şeklinde tanımlanır. Üsttüfler iki boratlı seviye arasında yaklaşık 100-150 m kalınlığında, ince ve kaba taneli, alta doğru pumisit parçalı, ayrılmış sarımsı bej tonlarındadır ve zeolit (klinoptilolit) yönünden %98 oranlarına kadar yüksek değerler alırlar. Tülü ovası (üsttüfler) esas olmak üzere Salmanlı, Özgören Köyleri kesimlerinde ki tüfler, Bigadiç-Balıkesir yolu üzerinde Kadıköy-Değirmenli, Dedeçınar (alttüfler) Köyü civarında benzer yapı ve özellik taşırlar. Üst ve alttüfler camsı - yarı camsı hamurlu riyolitik veya dasitik tüflerdir. Turnatepe de ise camsı, ince taneli, perlitik kısım ile ayrıca farklı olarak andezitik, breşik yapılu tüflerin üstüste katmanlar halinde var oldukları ortaya konmuştur.

**Üsttüfler**, orta düzeyde su emme ve porozite değerleri gösterirken, en yüksek basınç dayanımlarına sahiptir. Kolay öğütülebilir puzolandır. **Alttüfler**, en düşük su emme ve porozite, orta düzeyde basınç dayanımı gösterirken, en yüksek birim ağırlıklara sahiptir. Orta seviyede öğütülebilir bir puzolandır. **Turnatepe tüflerinde** ise en düşük birim hacim ağırlıklar ile basınç dayanımları izlenirken, en yüksek su emme ve porozite değerleri ölçülmüştür. Zor öğütülebilir bir puzolandır. Üst, alttüflerin ve Turnatepe perlitik puzolanların puzolanik aktiviteleri yüksektir.

Zeolit minerallerinin ve özgül ağırlığı düşük puzolanların daha kolay öğütülebildiği görülmüştür. Camsı faz miktarının fazlaşması puzolanik aktiviteyi arttırmakta, fakat puzolanın kalitesi hakkında tek başına bir gösterge olmamaktadır. Zeolitize puzolanlar zeolitize olmamış ve daha az zeolitize olmuş puzolanlara göre daha fazla suya ihtiyaç duymaktadır.

#### 2- Puzolan Katkılı Çimentoların Deney Sonuçları:

2-1- Katkılı çimentolarda, camsı fazın bol olduğu puzolanlar 2 ve 7 günlük mukavemetler de zeolitize olmuş puzolanlar ise 28 günlük mukavemetlerde daha iyi sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, Turnatepe perlitik puzolanlarının kullanılabilirliği açısından bir optimizasyon gerekmektedir. Turnatepe perlitik puzolanı ile zeolitize olmuş tüflerden birini (Üsttuf, Alttuf ve Pamukçu Alt) uygun oranlarda harmanlamak gerekir. Bu yolla katkı oranlarını %2-4 arasında arttırmak mümkündür. Balıkesir SET Çimento fabrikasında katkı maddesi olarak kullanılan Alttuf ve Etibank Bor İşletmelerinde dekapaj malzeme olarak çıkarılan Üsttufün (zeolitik tüfler) birlikte kullanımında bir optimum değer belirlenebilmesi için üretilen çimentoların, basınç mukavemeti ve tüm kalite parametreleri sonuçları şöyledir:

%24 ve %26 katkı oranlarında 2 ve 7 günlük dayanımlarda önemli bir değişim gözlenmemekle birlikte, 28 günlük dayanımlarda %20 'lere varan artışlar gözlenmiştir. Su almalarında %0.5-4 oranlarında artışlar gözlenmiştir. Donma başı ve sonu zamanlarında olumsuz bir değişim olmamıştır. %28 katkı oranlarında standartlar dışında kalmıştır. %26 katkı oranında %75 alttuf + %25 üsttuf optimum değer olarak görülmektedir. Turnatepe breşleri ile üretilen çimentoların mukavemet değerleri perlite göre çok daha düşük olmakla beraber 2., 7. ve 28. günlerde standart değerlerin üzerinde sonuçlar vermiştir. Breşler perlite göre daha fazla suya ihtiyaç göstermektedir. Ayrıca öğütülebilmeleri de daha güçtür. Bu dezavantajlarına göre %50TP+%25 TB+%25ÜT harmanı fazla suya ihtiyaç göstermekle beraber mukavemet değerleri yüksektir. Bu harman optimum değer olarak görülmektedir. Harmanın fazla suya ihtiyaç göstermesi Turnatepe breşi ve Üsttuf puzolanlarından kaynaklanmaktadır.

### 3- Dayanıklılık Test Sonuçları:

Harçlarda dayanıklılığın belirlenmesi için harç numuneleri sülfat çözeltisinde bekletilmiştir. Harçlar üzerinde sülfat etkisini belirlemek için harçların eğilme ve basınç mukavemetleri, kararlılığı, boşluk durumu ve mikroyapısı incelenmiştir:

#### 3-1- Eğilme ve Basınç Mukavemeti Sonuçları

a- Suda bekletilen katkılı harçlarda eğilme ve basınç mukavemetleri zamanla artmıştır. En büyük mukavemetler Üsttuf katkılı harçlarda alınmıştır. Şahit harçda 28. günden sonra mukavemetler artmaya devam etmekle beraber çok az olmuş, %24 katkılı harçlarda 12. gün sonunda şahit harçın ulaştığı mukavemetlere ulaşmıştır. Katkılı harçlarda katkı miktarının artmasıyla mukavemetlerde azalma olmuştur. Bu da katkı miktarının fazla gelmesinden kaynaklanmaktadır.

b- Sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harçda basınç mukavemetinde zamanla azalma olmuştur. 12. hafta sonunda suda bekletilen şahit harçda basınç mukavemeti %105 artarken, sülfat çözeltisinde %55 artmıştır. 12. hafta sonunda sülfat çözeltisinde bekletilen katkılı harçlarda suda bekletilen harçlara göre daha düşük basınç mukavemetleri alınmasına rağmen, aradaki farklar fazla büyük değildir. Suda bekletilen Üsttuf katkılı harçlarda basınç mukavemeti artışı %116-121 iken, sülfat çözeltisinde %93-80 'e inmiştir. Suda bekletilen Alttuf katkılı harçlarda %139-104 basınç mukavemeti artışı olurken, sülfat çözeltisinde bekletilenlerde %117-103 'lük bir artış olmuştur. Suda bekletilen Turnatepe perlitik katkılı harçlarda %120 artış olurken, sülfat çözeltisinde bekletilenlerde %107 artış olmuştur.

c- Sülfat çözeltisinde bekletilen katkılı harçların eğilme mukavemetlerinde zamanla artış olmuştur. Sülfat çözeltisinde bekletilen katkılı harçlar suda bekletilen harçlara göre 12. hafta sonunda daha büyük değerlere ulaşmıştır. Sülfatlı ortamda saklanan harçların eğilme mukavemetlerinin, su içinde saklanan harçlara göre yüksek olabileceği ve bunun boşluklarda oluşan kristallerden kaynaklandığı ileri sürülmektedir. Sülfat çözeltisinde katkı miktarının artmasıyla da eğilme mukavemetleri artış göstermiştir. En yüksek eğilme mukavemeti %32 katkılı harçlarda alınmıştır. Şahit harçda ise eğilme mukavemeti 8. kür haftasından sonra azalma eğilimi göstermiştir. 8. kür haftası

sonunda mukavemet artışı %108 iken 12. hafta sonunda %94 olmuştur. Şahit harcın 12. hafta sonunda eğilme mukavemeti katkılı harçlara göre daha düşük değer almıştır.



### 3-2- Kararlılık Yönünden Sonuçlar

Dayanıklılık deneylerinden kararlılık için, ağırlık ve boy değişimi incelenmiştir:

#### 3-2-1 Ağırlık Değişimi Sonuçları

a- Suda bekletilen katkılı harçlarda zamanla ve katkı miktarının artmasıyla ağırlık artışı olmuştur. En az ağırlık artışı %24 katkılı harçlarda olmuştur. 12. hafta sonunda Üsttuf katkılı harçda ağırlık artışı %0.13, Alttuf katkılı harçda %0.17, Turnatepe perlitik katkılı harçda %0.47 olmuştur. Şahit harçda da zamanla ağırlık artışı olmuştur. 12. hafta sonunda şahit harçda ağırlık artışı %0.60 olmuştur. Katkılı harçlara göre şahit harçda ağırlık artışı daha fazla olmuştur. Bu sonuç, katkılı harçların hidrasyon ürünlerinin özgül ağırlığının şahit harca göre daha düşük oluşu ile açıklanabilir.

b- Sülfat çözeltilisinde bekletilen harçlarda da zamanla birlikte ağırlık artışı olmuştur. Üsttuf ve Alttuf (zeolit) katkılı harçlarda ağırlık artışı katkı miktarının artmasıyla yükselmiş, TT.perlitik (camsı) katkılı harçlarda ise azalmıştır. Şahit harçda da zamanla birlikte ağırlıklarda artış olmuştur. Şahit harçda 12. hafta sonunda ağırlık artışı %2.60 iken, %24 Üsttuf katkılı katkılı harçda %1.76, %32 TT.perlitik katkılı harçda %1.63 olmuştur. Şahit harca göre katkılı harçlarda ağırlık artışı daha az olmuştur. Şahit harçdaki ağırlık artışı sülfatlı ortamda etringit oluşumuna bağlanabilir. Çünkü şahit harçda ağırlık yanında boyda artmıştır. Ayrıca X-Işını difraktometre sonuçlarında şahit harçda etringit piki görülmüştür.

c- Sülfat çözeltilisinde bekletilen şahit harcın ağırlık artışı, suda bekletilenlere göre daha fazla olmuştur. 12. hafta sonunda şahit harcın su içindeki ağırlık değişimi %0.60 iken sülfat çözeltilisinde %2.60 olmuştur. Yani 4.5 kat daha fazla olmuştur.

#### 3-2-2- Boy Değişimi Sonuçları

a- Suda bekletilen katkılı harçlarda zamanla küçük miktarlarda boy artışı olmuştur. Boy artışı 8. haftadan sonra sabitleşme eğilimi göstermiş ve %32 katkılı harçlarda (katkı miktarının artmasıyla) biraz azalmıştır. Şahit harçda da zamanla küçük miktarlarda boy artışı olmuştur.

b- Sülfat çözeltilisinde bekletilen şahit ve katkılı harçlarda zamanla boy artışı görülmüştür. Ancak şahit harçda boy artışı sürekli ve büyük miktarlarda olmuştur. Şahit harçda oluşan bu boy artışı, sülfat etkileşmesi sonucu oluşan Candlot tuzunun varlığına bağlanabilir. Katkılı harçlarda boy artışı, fazla büyük miktarlarda olmamış ve genelde birbirine yakın değerler almıştır. 12. gün sonunda en az boy artışı %24 Üsttuf katkılı harçda olmuştur.

c- Şahit harcın sülfat çözeltilisinde boy artışı sudakine göre fazla olmuştur. 12. gün sonunda şahit harcın suda boy artış miktarı  $60 \times 10^{-6}$   $\mu$ /mm iken sülfat çözeltilisinde  $195 \times 10^{-6}$   $\mu$ /mm olmuştur. 12. gün sonunda suda bekletilen katkılı harçlarda boy artışı



sülfat çözeltisinde bekletilenlere göre daha az olmakla beraber aradaki fark Üsttuf ve Alttuf (zeolit) katkılı harçlarda şahit harçdaki kadar fazla değildir.



### 3-3-Boşluk Durumu Sonuçları

Harçlarda boşluk durumu; kılcallık, su emme, birim ağırlık özellikleri ile incelenmiştir:

a- Su içinde bekletilen tüm harçlarda kılcallık katsayısı katkı miktarının artmasıyla artmıştır. Sülfat çözeltisinde bekletilen katkılı harçlarda da katkı miktarının artmasıyla kılcallık katsayısı artmış ancak zamana ve şahit harca göre azalmıştır. Sülfat çözeltisinde bekletilen harçların kılcallık katsayısının suda bekletilenlere göre daha büyük olduğu görülmüştür.

b- Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen katkılı harçlarda hacimce su emme değerleri katkı miktarının artmasıyla artmış, 4. ve 12. kür haftalarında ise birbirine çok yakın değerler almıştır.

Suda bekletilen şahit harç numunelerinde 4. ve 12. kür haftalarında fazla bir değişiklik olmamakla beraber, sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde 12. hafta sonunda su emme değerinde artış olmuştur.

c- Su ve sülfat çözeltisinde bekletilen katkılı harçlarda birim ağırlıklar zamanla çok belirgin bir şekilde değişmemiş ve katkı miktarının artmasıyla birim ağırlıklarda azalma olmuştur. Buda katkıların özgül ağırlığının çimentoya göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Şahit harçta sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde suda bekletilen numunelere göre birim ağırlıklarda biraz düşüş olmuştur.

### 3-4- Mineralojik Yapı İncelemesi Sonuçları

Sülfat çözeltisinde bekletilen %24 Üsttuf, Alttuf ve Turnatepe Perlitik katkılı harçlarda etringit pikine rastlanmamıştır. Alınan piklerde normal bir beton özelliği, yani bol miktarda kuvars ve çok az miktarda C-S-H (kalsiyum silikat hidrate) görülmüştür. Sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harçta ise etringit pikine rastlanmıştır.

Sonuç olarak sülfat çözeltisinde bekletilen katkılı harçlarda katkılar, etringit oluşumunu engelleyerek yararlı etki yapmıştır. Doğal puzolan olan zeolitik (Üsttuf ve Alttuf) ve perlitik (Turnatepe) tüfleri kaliteli birer puzolandır. Zeolitik tüfler 28 günlük mukavemetlerde, perlitik tüfler 7 günlük mukavemetlerde daha iyi sonuç vermektedir. Zeolitik tüfler daha kolay, perlitik tüfler daha zor öğütülebilmektedir. Zeolitik tüfler daha çok, perlitik tüfler daha az suya ihtiyaç göstermektedir. Zeolitik tüflerde zeolit minerallerinin bol bulunması o puzolanın kalitesini arttırmaktadır. Zeolitik tüfler kendi başlarına kullanılabilir kaliteli birer puzolandır. Perlitik tüflerin ise kendi başlarına kullanılmaması, kaliteli bir puzolan (zeolitik tüfler) ile harmanlanarak kullanılması daha uygun olacaktır. Doğal puzolanların 7 günlük mukavemetleri hiç etkilemediği tartışmaya açıktır.

Puzolanlı çimentolar özellikle zeolit katkılı olanlar portland çimentosuna göre çok daha dayanıklı ve kararlı bir yapıya sahiptir. Puzolanlı çimentolar zamanla mukavemet kazanmaya devam etmektedir. Son mukavemetleri portland çimentosuna benzerdir, hatta zeolitik tuf katkılı çimentoların son mukavemetleri daha yüksektir.



Puzolanlı çimento üretiminde kaliteli bir puzolan kullanımı, uygun harman seçimi ve katılacak puzolan miktarının ayarlanması son derece önemlidir.



## KAYNAKLAR



AKÖZ, F., TÜRKER, F., "20°C ve 40°C Sıcaklıktaki Magnezyum Sülfat Çözeltisinin Normal ve Silis Dumanı Katkılı Harçlara Etkisi" İnşaat Mühendisliğindeki Gelişmeler, II. Teknik Kongresi BÜ, 1995, İstanbul.

ATAMAN, G., GÜNDOĞDU, N., "Kuzey Orta Anadolu Sedimanter Serilerinde Zeolit Oluşumlarının Araştırılması" Temel Bilim, Cilt 4, 1980, Ankara.

BARADAN, B., "Yapı Malzemeleri II" DEÜ Müh. Mim.Fak. İnş.Müh. Bölümü, Yayın No:207, 1994, İzmir.

.....: "Yapı Malzemesi Ders Notları" DEÜ Müh. Mim.Fak. İnş.Müh. Bölümü, 1988, İzmir.

BAŞYİĞİT, C., "Yüksek Oranda Yüksek Kalsiyumlu Uçucu Kül Katılmasının Beton Özelliklerine Etkisi" Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi, 1993, Isparta.

BAYAZIT, Ö.L., "Beton ve Deneyleri" DSİ Genel Müdürlüğü, 1988, Ankara.

BETON SEMİNERİ; DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 1989, Adana.

Bigadiç Çevresinin (Balıkesir) Jeolojisi ve Mağmatik Kayaçların Petrolojisi, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 1984.

CARRETE, J. C., "Doğal Maddelerde Puzolanik Aktivitenin Çabuk ve Kolay Analizinde Kondüktometrik Metodun Kullanımı" Puzolanlı Çimento Semineri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 1989, Ankara.

....., "Betonların ve Taşların Dayanıklılığı" Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri, TÇMB, 1989, Ankara.

....., "Katkılı Çimentonun Yapısı, Özellikleri ve Davranışlarının Araştırılmasında Gelecek Eğilimler" Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri, TÇMB, 1989, Ankara.

CLAUSEN, C.F., "Cement Materials" 1962, USA.

COHEN, M.D., BENTUR, A., "Durability of Portland Cement Silica Fume Pastes in Magnesium Sulfate and Sodium Sulfate Solutions" ACI Journal, 1988, pp 57-148.

ÇETİNEL, G., ESENLİ, F., BAŞ, H., "Zeolit", MTA, 1995, Ankara.

Çimento Bülteni, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Yıllar 1994-1996, Ankara.

Çimento Teknolojisi, Cilt 1-2-3, Ankara.



DEER, W.A., "An Introduction to Zeolites and Molecular Sieves", Wiley, Newyork, 1988.

DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J., "An Introduction to the Rock Forming Minerals", Wiley, Newyork, 1966, pp 393-401.

ERCAN, T. ve dğl., "Bigadiç Çevresinin (Balıkesir) Jeolojisi ve Magmatik Kayaçların Petrolojisi" T.J. Kurultayı, 1984, s.75-85.

ERDİNÇ, H., "Endüstriyel Hammaddeler" Balıkesir Üniversitesi, 1996, Balıkesir.

ERDOĞAN, T.Y., "Karışım ve Bakım Suları" ODTÜ, 1995, Ankara.

ERGÜL, E. ve dğl., M.T.A., Rapor No:469, 1984, Balıkesir.

.....: "Çimentolar" ODTÜ, 1995, Ankara.

İKİZLER, S., "Hammadde Analiz Usulleri ve Analiz Neticelerinin Kıymetlendirilmesi" Ders Notları, Türkiye Çimento Sanayii T.A.Ş., 1974, Ankara.

İŞLER, F., "Zeolitlerin Özellikleri ve Endüstride Kullanım Alanları", Dünya, 1988.

İTÜ, Y.B.Y.K., "Bigadiç Tülü Ovası Zeolitlerinin Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması" Etibank Pojesi (Yayınlanmamış), 1989, İstanbul.

KAPLAN, H., BİNİCİ, H., "Tras ve Traslı Çimento" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1995, Denizli.

KILINÇKALE, F., "Silis Dumanı İçeren Harçlara Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Çözeltilisinin Etkisi" Çimento Bülteni, TÇMB, 1995, Ankara.

KOCAÇITAK, S., "Çimento ve Deneyleri" DSİ, 1978, Ankara.

KOCATAŞKIN, F., "Çimento ve Özellikleri Hakkında Ne Biliyorsunuz" İTÜ, 1965, İstanbul.

LARSEN, G., PLUM, H. and FÖRSTER, H., "Zeolites and Other Hydrothermal Alteration Products of Synthetic Glasses", Eur.J. Mineral, 1991, Germany.

LECKEBUSH, R., "Türkiye 'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı Üzerine İncelemeler", 1984, Ankara.

LONG, F., MARTEL, H., "The Effect Of Additions Of Ultra-Fine Cement On The Strength Characteristics Of Mortar" ZKG. No:12, 1995, pp 661-666.

MANGAT, P.S., KHATIB, J.M., "Influence Of Fly Ash, Silica Fume And Slag On Sulfate Resistance Of Concrete", ACI Materials Journal, 1995, pp 542-552.



- MASSAZZA, F., Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları, TÇMB, 1989, Ankara.
- MAZLUM, F., "Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi", İTÜ İnşaat Fakültesi Doktora Tezi, 1989, İstanbul.
- MUMPTON, F.A., "World Wide Deposits and Utulisation of Natural Zeolites" Industrial Zeolites, October, 1973, pp 2-11.
- NEVILLE, A.M., "Properties of concrete" Pitman Publishing, 1977.
- ONARAN, K., "Malzeme Bilimi", İTÜ İnşaat Fakültesi, 1975, İstanbul.
- ORHUN, Ö. ve DİĞ., "Doğal Zeolitin (Klinoptilolit) Katyon Değişim Kapasitesinin Tayini", 5. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Anadolu Üniversitesi, Yayın No:528, 1991, pp:219-226.
- ÖZALP, R., "Çimentoların Kalite ve Kontrolü", Kalite Kontrol Teknik Semineri, 1990, Ankara.
- ÖZDEN, N., "Çimento Teknolojisi", Türkiye Çimento Sanayii T.A.Ş.,1981, Ankara.
- ÖZPEKER, I., "Batı Anadolu Borat Yataklarının Mukayeseli Jenetik Etüdü", İTÜ Maden Fakültesi Doktora Tezi, 1989, İstanbul.
- ÖZTÜRK, A., "Ugulamalı İstatistik", 1978, İstanbul.
- PAPADAKIS, V.G., FARDIS, M.N., VAYEGES, C.G., "Hydration and Corbonation of Pozzolanic Cements", ACI Meterials Journal, 1992, pp119-130.
- POSTACIOĞLU, B., "Beton, Bağlayıcı Maddeler" Cilt 1, İTÜ İnşaat Fakültesi,1986, İstanbul.
- .....: "Yapı Malzemesi Problemleri" İTÜ İnşaat Fakültesi, 1975, İstanbul.
- POSTACIOĞLU, B., UYAN, M., MAZLUM, F., "Trashlı Çimentoların Kullanım Alanları", İTÜ Teknik Rapor No:46 1987, İstanbul.
- PRINCE, W.H., "Puzzolans-A Review", ACI Journal, May 1975, Detroit, pp 225-232.
- SARIFAKIOĞLU, E., TÜRKBILEĞİ, H., "Molla Hüseyin Damı-Fındıcak Köyü (Manisa Gördes) Civarındaki Zeolitik Tüflerin Etüdü ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması", MTA Ege Bölge Müdürlüğü, 1992, İzmir.

SERSALE, R., "Occurrences and Uses of Zeolites in Italy", Universite di Napoli, 1971, Italy.

.....: "Structure and Charracterisation of Pozzolanas and of Fly-Ashes" Universite di Napoli, 1980, Italy.

SEZGİNOĞLU, N., "Kimyasal Etkilerin Malzemeye Etkisi" 1971, İstanbul.

SHEPPARD, R.A., "Tortul Kayalardaki Zeolitler", Yeryuvarı ve İnsan, 1980.

TAŞKIN, C., "Türkiye Çimento Hammadde Kaynakları", 1985, İstanbul.

Traslı Çimento Nedir Ne Değildir, TMMOB, 1994, Ankara.

TS 19, Çimento-Portland Çimentoları, 1992

TS 24, Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları, 1985.

TS 25, Tras, 1975.

TS 26, Çimento-Traslı Çimento, 1992.

TS 687, Çimentonun Kimyasal Analiz Metotları, 1994

TS 819, Rilem-Cembureau Standart Kumu, 1988.

TS 3322, Çimento Harcı ve Beton Numunelerinde Boy Değişim Tayini, 1979.

TS 3441, Klinker-Portland Çimentosu Klinkeri, 1994.

TS 10156, Çimento- Katkılı Çimento, 1992.

TS 10157, Çimento-Sülfatlara Dayanımlı, 1992.

TONAK, T., ÖZ, U., "Traslı Çimentoların Sülfatlı Sulara Dayanıklılığı", Çimento Bülteni, TÇMB, 1994, Ankara.

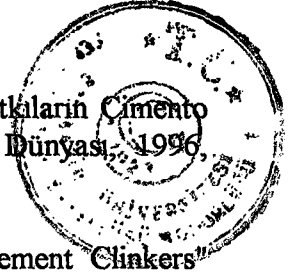
UZ, B., "Biga Yarımadası (Çanakkale) Volkanik Kayaçlarının Çimento Hammaddesi-Tras Özelliği Yönünden Etüd ve Değerlendirilmesi", İTÜ Maden Fakültesi.

....., "Sındırgı-Akhisar-Yağcılar Bölgesi Ofiyolit Birliğinin Petrografik, Petrojenetik ve Jeokimyasal İncelemesi", İTÜ Maden Fakültesi Doçentlik Tezi (yayınlanmamış), 1978, İstanbul.

VAUGHAN, D.E.W., "Properties Of Naturel Zeolites", Davision Chemical Division, 1980, USA.

YEĞİNOBALI, A., TUNCER, F., "Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılarının Çimento Harcının Sülfat Direnci Üzerindeki Etkileri", Çimento ve Beton Dünyası, 1996, Ankara.

ZHANG, H., ODLER, I., "The Texture of SO<sub>3</sub>-Rich Portland Cement Clinkers" Word Cement, 1992, U.S.A., pp:30-32.



## ÖZGEÇMİŞ

Arzu OKUCU, 1967 yılında Balıkesir 'de doğdu. İlköğrenimini Balıkesir Akköylü İlkokulunda 1978 'de, orta öğrenimini Balıkesir Karesi Ortaokulunda, lise öğrenimini Balıkesir Lisesinde 1984 'de tamamladı.



Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Bölümünü 1988 yılında birtirdi. 1989 'da Balıkesir Üniversitesi İnşaat Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak girdi ve 1992 'de Uludağ Üniversitesinde Yüksek Lisansını tamamladı. Halen aynı görevde çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk annesidir.