

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖĞÜTÜLMÜŞ KALSİNE BOR MİNERALLERİNİN
BETON YOLLARDAKİ ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

NIHAT UTKU GÜNER

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ TUBA KÜTÜK
TEZ JÜRİLERİ
DOÇ. DR. EROL ŞADOĞLU
DR. ÖĞR. ÜYESİ VELİ SÜME

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

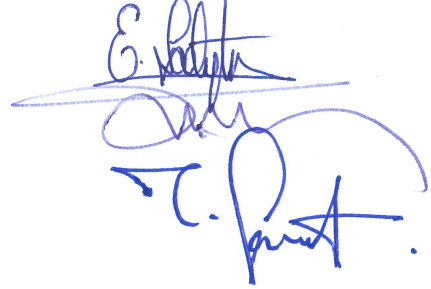
T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖĞÜTÜLMÜŞ KALSİNE BOR MİNERALLERİNİN
BETON YOLLARDAKİ ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Tuba KÜTÜK danışmanlığında, Nihat Utku GÜNER tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 08/03/2019 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Veli SÜME
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Tuba KÜTÜK

İmzası




Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Öğütölmüş kalsine bor minerallerinin beton yollardaki etkinliğinin incelenmesi başlıklı tez çalışmasını bana öneren ve tez sürecinin her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her danıştığında bana değerli zamanlarını ayıran ve her sorun yaşadığımda yanlarına çekinmeden gidebildiğim, öğrencisi olmaktan ve kendileri ile çalışmaktan onur duyduğum danışman hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tuba KÜTÜK ve Sayın Doç. Dr. Sezai KÜTÜK 'e minnet ve şükranlarımı sunmayı bir görev sayarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Çalışmalarım esnasında değerli yardım ve katkılarını benden esirgemeyen, kıymetli zamanlarını ve fabrikalarını bizlere paylaşan Cevahir Hazır Beton Santrali sahiplerine ve teknik personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenim hayatım süresince maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan başta babam Mehmet Selçuk GÜNER ve annem Melek GÜNER olmak üzere, ailemin tüm fertlerine sonsuz teşekkürlerimi sunar, çalışmanın ülkemize yararlı olmasını içtenlikle dilerim.

Nihat Utku GÜNER

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Öğütölmüş kalsine bor minerallerinin beton yollardaki etkinliğinin incelenmesi” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 08/03/2019



Nihat Utku GÜNER

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

ÖĞÜTÜLMÜŞ KALSİNE BOR MİNERALLERİNİN BETON YOLLARDAKİ ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

Nihat Utku GÜNER

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tuba KÜTÜK

Bu çalışmada, dünya rezervlerine bakıldığında bor madeni bakımından oldukça zengin olan ülkemizin bor mineralinin kullanımının artırılması hususunda hem ticari kolemanit hem de kalsine edilmiş kolemanit minerali betona ilave edilmiş ve betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişimi incelenmiştir. Bu araştırma sonucunda bor madeninin beton yollarda kullanımı hedeflenmiştir. Birinci bölümde, beton yolların özellikleri, Dünya’da ve Türkiye’de kullanım yüzdeleri, betonda kullanılan ana bileşenler, bor minerali, ticari bor mineralleri, Türkiye’deki bor rezervleri, işletme olarak kullanılan yataklar ve kullanım alanlarından bahsedilmiş ve daha önce yapılmış bazı çalışmalar özetlenmiştir. İkinci bölümde, Kolemanit minerali, d_{max} ’ı 31,5 mm olan beton karışım hesabına, çimento ağırlığına göre %1,25, %2,5, %5, %7,5, %10, %12,5 ve %15 oranlarında ilave edilmiştir, fakat istenilen sonuçlar alınamamıştır. Bu sebepten dolayı d_{max} 24 mm olan beton karışım hesabı yapılmış ve kolemanit minerali aynı oranlarda betona ilave edilmiştir. d_{max} ’ı 24 mm olan betona kolemanit ilavesi betonun fiziksel özelliklerinde beton yollarda kullanılabilirliği açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar akabinde kolemanit minerali kalsinasyon işlemine tabi tutularak içinde bulunan B_2O_3 miktarı artırılarak, betona yapmış olduğu pozitif etkinin daha yüksek seviyelere çıkması hedeflenmiştir. Ticari kolemanit ve kalsine kolemanit mineralinin betona etkisini incelenirken, beton basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, Schmidt test çekici gibi deneyler yapılarak betonun fiziksel özellikleri hakkında bilgiler alınmıştır. Üçüncü bölümde, betonun fiziksel özelliklerini değerlendirmek için elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiş ve grafikler yorumlanmıştır. Dördüncü bölümde, çıkartılan sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2019, 90 sayfa

Anahtar Kelimeler: Beton yollar, Bor, Kolemanit, Kalsinasyon, Basınç dayanımı.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVE OF DISTRIBUTED CALCINATE BORN MINERALS ON CONCRETE ROADS

Nihat Utku GÜNER

Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tuba KÜTÜK

In this study, both commercial colemanite and calcined colemanite minerals were added to the concrete and the changes in the mechanical and physical properties of the concrete were investigated in order to increase the use of boron mineral of our country which is very rich in boron mineral. As a result of this research, it is aimed to use boron mine on concrete roads. In the first part, the properties of concrete road, use percentages in the world and Turkey, the main components used in concrete, boron, commercial boron minerals, boron reserves in Turkey, it mentioned the company used beds and areas and previously conducted some studies are summarized . In the second part, Colemanite mineral was calculated as 1.25%,% 2.5,% 5,% 7.5,% 10,% 12.5 and% 15 according to cement weight. but no desired results were obtained. For this reason, a concrete mixture calculation of d_{max} 24 mm was made and colemanite mineral was added to the concrete in the same ratios. The addition of colemanite to the concrete having d_{max} of 24 mm gave positive results in terms of the concrete properties of concrete. Following these results, colemanite mineral was subjected to calcination process and the amount of B_2O_3 in it was increased and it was aimed to increase the positive effect on the concrete to higher levels. While investigating the effect of commercial colemanite and calcined colemanite mineral on concrete, concrete compressive strength, ultrasound transition speed, Schmidt test hammer were taken and experiments were made on physical properties of concrete. In the third chapter, the results obtained to evaluate the physical properties of concrete were given as graphs and the graphs were interpreted. In the fourth chapter, the results and recommendations from this study are given.

2019, 90 pages

Keywords: Concrete Roads, Boron, Colemanite, Calcination, Compressive Strength.

İÇİNDEKİLER

TEZ ETİK BEYANNAMESİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Özeti	3
1.3. Yol Üst Yapısı Tipleri	4
1.3.1. Esnek Üstyapı	4
1.3.2. Rijit Üstyapı	4
1.3.3. Yarı Rijit Üstyapı	5
1.3.4. Esnek ve Rijit Üstyapıların Karşılaştırılması	5
1.4. Beton Yollar Hakkında Temel Bilgiler	6
1.4.1. Beton Yolların Tarihsel Gelişimi	7
1.4.2. Dünyadaki İlk Beton Yol Örnekleri	8
1.4.3. Beton Yolların Diğer Yol Yapım Teknikleriyle Karşılaştırılması	9
1.4.4. Dünyada Beton Yollar	10
1.4.5. Türkiye’de Beton Yollar	13
1.4.5.1. Afyonkarahisar’daki Beton Yol	14
1.4.5.2. İstanbul’daki Beton Yol	15
1.4.5.3. Ordu’daki Bor Katkılı Beton Yol	16
1.5. Beton Kaplama Türleri	17
1.5.1. Derzli Donatısız Beton Kaplamalar	17

1.5.2.	Derzli Donatılı Beton Kaplamalar	18
1.5.3.	Sürekli Donatılı Beton Kaplamalar.....	19
1.6.	Beton Yollarda Bozulmalara Karşı Önlemler.....	20
1.7.	Beton Yolların Üstünlükleri.....	21
1.7.1.	Uzun Ömürlülük (Durabilite).....	21
1.7.2.	Akaryakıt Tasarrufu	21
1.7.3.	Bakımdan Kaynaklanan Zaman Kaybı	22
1.7.4.	Ömür Döngü Maliyeti.....	22
1.7.5.	Aydınlatma Giderleri	23
1.7.6.	Fiyat İstikrarı.....	24
1.7.8.	Beton Yollarda Daha Kısa Durma Mesafesi Sağlar.....	25
1.8.	Beton Yolların Zafiyetleri.....	26
1.9.	Rijit Üstyapılarda Kullanılan Malzeme Bileşimleri.....	26
1.10.	Beton.....	27
1.10.1.	Çimento ve Özellikleri	27
1.10.2.	Agrega ve Özellikleri	28
1.10.3.	Agrega Gradasyonu.....	28
1.10.4.	Agrega Dane Şekli	29
1.10.5.	Agrega Durabilitesi	30
1.10.6.	Su	31
1.10.7.	Katkı Maddeleri	31
1.10.8.	Donatı.....	32
1.10.9.	Kür Malzemeleri	33
1.11.	Bor.....	33
1.11.1.	Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri.....	34
1.11.2.	Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri.....	35
1.11.3.	Bor Madeninin Tarihçesi.....	35
1.11.4.	Türkiye’ de Bor Üretiminin Tarihçesi.....	36

1.11.5.	Ticari Önele Sahip Bor Mineralleri.....	37
1.11.5.1.	Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).....	37
1.11.5.2.	Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$).....	37
1.11.5.3.	Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$).....	38
1.11.5.4.	Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).....	39
1.11.6.	Bor Rezervleri.....	39
1.11.7.	Türkiye Bor Rezervleri ve Yatakları.....	40
1.11.7.1	Kırka Bor İşletme Müdürlüğü.....	41
1.11.7.2.	Emet Bor İşletme Müdürlüğü.....	42
1.11.7.3.	Bandırma Bor İşletme Müdürlüğü.....	43
1.11.7.4.	Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü.....	44
1.11.8.	Bor Minerallerinin ve Bileşiklerinin Kullanım Alanları.....	45
1.11.8.1.	Tarımda Kullanım.....	45
1.11.8.2.	Temizlik Alanında Kullanımı.....	46
1.11.8.3.	Metalürji Alanında Kullanımı.....	46
1.11.8.4.	Seramik Alanında Kullanımı.....	46
1.11.8.5.	Cam Alanında Kullanımı.....	47
1.11.8.6.	Yalıtım Alanında Kullanımı.....	47
1.11.8.7.	Fiberglass Endüstrisindeki Kullanımı.....	48
1.11.8.8.	Enerji Alanında Kullanımı.....	48
1.11.8.9.	İnşaat Sektöründe Kullanım.....	49
2.	MATERYAL ve METOT.....	50
2.1.	Materyal.....	50
2.2.	Agregalar.....	50
2.3.	Ticari Kolemanit Minerali ($\text{C}-45 \mu\text{m}$).....	51
2.4.	Çimento.....	52
2.5.	Elek Analizi (Granülometri).....	52
2.6.	Beton Karışım Hesaplarının Yapılması.....	53

2.7.	Ticari Kolemanit Mineraline (C-45 μm) Uygulanan Kalsinasyon İşlemi.....	56
2.8.	Numunelerin Hazırlanması	58
2.8.1.	Ticari Kolemanit İlaveli Numunelerin Hazırlanması	59
2.8.2.	Kalsine Kolemanit İlaveli Numunelerin Hazırlanması	60
2.9.	Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Ölçülmesi.....	62
2.9.1.	Ultrases Hızlarının (PGH) Ölçülmesi	62
2.9.2.	Yüzey Sertliklerinin Ölçülmesi.....	64
2.9.3.	Basınç Dayanımının Ölçülmesi.....	67
2.9.4.	X-Işını Difraktometresi (XRD) Ölçümü	68
2.9.5.	TG+DTA Ölçümü	70
2.9.6.	B ₂ O ₃ Ölçümü	70
3.	BULGULAR	71
3.1.	XRD Analizi.....	71
3.2.	TG+DTA Analizi	72
3.3.	B ₂ O ₃ Analizi.....	74
3.4.	Ultrases Hızlarının (PGH) Sonuçları.....	74
3.5.	Yüzey Sertliklerinin Sonuçları.....	76
3.6.	Basınç Dayanımının Sonuçları.....	78
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	82
5.	ÖNERİLER.....	84
	KAYNAKLAR	85
	ÖZGEÇMİŞ	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Yarı Rijit Üstyapı Kesiti (Alp, 2018)	5
Şekil 2.	Ohio’da bir sokak bilinen en eski beton yol.....	7
Şekil 3.	Alt zeminleri olan beton yollar.....	8
Şekil 4.	Tipik Rijit kaplama şeması (Ünal, 2003)	10
Şekil 5.	Uygulamadaki beton kaplama tipleri (Yeğinoğlu, 2003).....	11
Şekil 6.	Afyonkarahisar’daki beton yolun tamamlandıktan sonraki görüntüsü (Yeğinoğlu, 2010)	15
Şekil 7.	İstanbul’daki beton yolun trafik çizgileri çizilmiş (a), İstanbul’daki beton yol hizmete giriyor (b) (Yeğinoğlu, 2010).....	16
Şekil 8.	Derzli donatısız beton kaplamaya ait kesit (a) ve plan (b) görüntüsü (URL-3).....	18
Şekil 9.	Derzli donatılı beton kaplamaya ait plan (üstte) ve kesit (altta) görüntüsü (URL-3).....	19
Şekil 10.	Sürekli donatılı beton kaplamaya ait plan (üstte) ve kesit (altta) görüntüsü (URL-3)	20
Şekil 11.	Sürekli donatılı beton ve asfalt betonu kaplamalı yolların ilk yapım ve bakım maliyetlerini gösteren grafik (Rens, 2009)	23
Şekil 12.	Brezilya'daki bir yol, beton (sol) ve asfalt beton kaplamaların albedo farkını göstermektedir (Boztepe, 2011)	24
Şekil 13.	Beton ve asfalt yollardaki durma mesafelerinin karşılaştırılması	25
Şekil 14.	Hacim yüzdelerine göre en temel beton bileşenleri (Boztepe, 2011).....	27
Şekil 15.	Elek analizi için alınan agrega örnekleri	29
Şekil 16.	Elek analizi için kullanılan elekler	29
Şekil 17.	Beton yüzeyindeki bir açılma (Boztepe, 2011)	30
Şekil 18.	D-çatlakları (Boztepe, 2011)	31
Şekil 19.	Üleksit minerali (URL-6)	38
Şekil 20.	Kolemanit minerali.(URL-6).....	39
Şekil 21.	Eskişehir Kırka Bor İşletme Müdürlüğü’nün görünüşü (URL-5)	42
Şekil 22.	Emet Bor İşletme Müdürlüğü’nün görünüşü (URL-5).....	43
Şekil 23.	Balıkesir Bandırma Bor İşletme Müdürlüğü görünüşü (URL-5)	44
Şekil 24.	Balıkesir Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü görünüşü (URL-5)	45
Şekil 25.	Cevahir Hazır Betona ait taş ocağı	50
Şekil 26.	Bu çalışmadaki kullanılan agregalar	51

Şekil 27.	Çalışmada kullanılan kolemanit minerali.....	51
Şekil 28.	Çalışmalarda kullanılan hassas elektronik terazi.....	54
Şekil 29.	Ticari kolemanit mineraline uygulanan kalsinasyon işleminin grafik halinde gösterimi.....	56
Şekil 30.	Kalsine işleminde kullanılan fırın	57
Şekil 31.	Fırının marka ve azami çıkabileceği sıcaklığı gösteren bilgiler.....	57
Şekil 32.	Kalsine işleminden sonraki kolemanit minerali	58
Şekil 33.	Numunelerin hazırlanma aşamasında karıştırma kazanı ve numuneler için kullanılan vibratör	59
Şekil 34.	Ticari kolemanit minerali ile imal edilen küp numuneler	60
Şekil 35.	Prizini almayan numuneler.....	61
Şekil 36.	Kalsine kolemanit küp numune örnekleri	62
Şekil 37.	Çalışmada kullanılan ultrases ölçüm cihazı	63
Şekil 38.	PGH cihaz kalibrasyonu için kullanılan aparat	63
Şekil 39.	Ultrases ölçümü.....	64
Şekil 40.	Çalışmada kullanılan test çekici	65
Şekil 41.	Numunelerin test çekici değeri ölçülmesi için kullanılan sıkıştırma aparatı.....	66
Şekil 42.	Test çekici aletinin kalibrasyonu için kullanılan aparat	66
Şekil 43.	Bu çalışmadaki basınç deneyinde kullanılan ölçüm aleti.....	68
Şekil 44.	XRD ölçümünün yapıldığı cihaz.....	69
Şekil 45.	Diferansiyel Termal Analiz (DTA) and TermoGravimetrik analiz (TG) cihazı	70
Şekil 46.	Ticari kolemanite ait XRD ölçüm analizleri	71
Şekil 47.	Kalsine kolemanite ait XRD ölçüm analizleri.....	72
Şekil 48.	Ticari kolemanite ait TG+DTA ölçüm analizleri	73
Şekil 49.	Kalsine kolemanite ait TG+DTA ölçüm analizleri	73
Şekil 50.	Ticari kolemanit katkılı numunelerin ultrases ölçüm sonuçları	75
Şekil 51.	Kalsine kolemanit katkılı numunelerin ultrases ölçüm sonuçları	75
Şekil 52.	Ticari kolemanit katkılı numunelerin test çekici ölçüm sonuçları	77
Şekil 53.	Kalsine kolemanit katkılı numunelerin test çekici ölçüm sonuçları.....	77
Şekil 54.	D_{max} 'ı 31mm olan betondan elde edilen numunelerin 28 günlük basınç dayanım sonuçları	79
Şekil 55.	Ticari kolemanit katkılı numunelerin 28 günlük basınç dayanımı.....	80

Şekil 56. Kalsine kolemanit ilaveli numunelerin 28 günlük basınç dayanımı 81



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.	Bor elementinin fiziksel özellikleri.....	35
Tablo 2.	Ticari bor mineralleri (Zorer, 2005)	37
Tablo 3.	Dünya bor rezervleri (Bin Ton B ₂ O ₃) (URL-4).....	40
Tablo 4.	CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri	52
Tablo 5.	Ticari kolemanit malzeme miktarları.....	55
Tablo 6.	Kalsine kolemanit malzeme miktarları	55
Tablo 7.	Öğütölmüş kolemanit minerallerinin B ₂ O ₃ oksitli bileşen analizi.....	74
Tablo 8.	Ultrases Sonuçlarının Pratik Değerlendirmesi (Whitehurst, 1951)	75
Tablo 9.	Ticari kolemanit için ultrases Sonuçlarının Pratik Değerlendirilmesi.....	76
Tablo 10.	Kalsine kolemanit için ultrases Sonuçlarının Pratik Değerlendirilmesi	76
Tablo 11.	Fayetorbay (2013) tarafından yapılmış deneylerin 28 günlük beton basınç dayanımı grafikleri.....	78
Tablo 12.	Trafik yoğunluklarına göre olması gereken dayanım değerleri.....	79

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

B	Bor
TK1,25	%1,25 Ticari Kolemanit Katkılı Numune
TK2,5	%2,5 Ticari Kolemanit Katkılı Numune
TK5	%5 Ticari Kolemanit Katkılı Numune
TK7,5	%7,5 Ticari Kolemanit Katkılı Numune
TK10	%10 Ticari Kolemanit Katkılı Numune
TK12,5	%12,5 Ticari Kolemanit Katkılı Numune
TK15	%15 Ticari Kolemanit Katkılı Numune
KK1,25	%1,25 Kalsine Kolemanit Katkılı Numune
KK2,5	%2,5 Kalsine Kolemanit Katkılı Numune
KK5	%5 Kalsine Kolemanit Katkılı Numune
KK7,5	%7,5 Kalsine Kolemanit Katkılı Numune
KK10	%10 Kalsine Kolemanit Katkılı Numune
KK12,5	%12,5 Kalsine Kolemanit Katkılı Numune
KK15	%15 Kalsine Kolemanit Katkılı Numune
A_c	Numunenin Üzerindeki Basınç Yükünün Uygulandığı Kesit Alanı
F	Kuvvet (N)
f_c	Basınç Dayanımı
S/Ç	Su/Çimento Oranı
m^3	Metreküp
Mm	Milimetre
Mpa	Megapaskal
μm	Mikrometre
TSE	Türk Standardı
ASTM	Amerikan Standardı
XRD	X Ray Difraction
D.P.T	Devlet Planlama Teşkilatı
Ç	Çimento
Ppm	Milyonda Kısım
Kg	Kilogram

°C	Derece Santigrat
Dak	Dakika
A ⁰	Angström
cm ²	Santimetre Kare
cm	Santimetre
Cal	Kalori
V	Ses Hızı
%	Yüzde
BOREN	Ulusal Bor Arastırma Enstitüsü
CEM	Cement



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya var olduğundan beri insanoğlu doğanın zorlu şartlarına karşı barınma ihtiyacını karşılamak için her zaman doğa ile mücadele içerisinde olmuştur. Bu mücadele aşamasında barınma ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla ilk olarak barınak, çadır vb. yapılar tasarlamışlardır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha modern ve uzun ömürlü yapılar ortaya çıkmıştır. Bu yapılar sadece barınma ihtiyacı için değil, farklı birçok alanda da kullanılmaya başlanmıştır. Tüm bu faktörlerden dolayı yapı türlerinde beton kullanılması ön plana çıkmış ve bunun sonucu olarak farklı beton türleri üretilmeye başlanmıştır. 20. yüzyıl başlarına kadar betonun günlük hayatta etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla beton harcı çeşitli tiplerdeki kalıplara dökülüp şekillendirilerek elde edilen beton ile betonarme yapılar yapılmıştır. Ancak 20.yüzyıldan itibaren beton uygulamalarında kalıp kullanımının kısıtlandığı alanlarda (köprü çıkışları, tünel vb. yapılarda) püskürtme (Shotcrete) yöntemi ile bu kısıtlamalar ortadan kalkmıştır.

Son yıllarda beton ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında beton dayanımının yüksek olması üzerinde durulmuştur. Teknolojinin gelişmesi ve ilerlemesiyle birlikte betonda yüksek dayanım talebini karşılamak için sadece su/çimento oranındaki değişikliklerin yetersiz olduğu anlaşılmış. Yüksek dayanım özelliği için betonda kullanılabilecek katkı maddelerinin ve betona ikame edilecek farklı elementlerin betonun üzerindeki fiziksel ve mekanik özelliklerinde etkisinin neler olduğu araştırma konusu olmuştur.

Bor elementi doğada serbest halde bulunmayan değişik oranlarda minerallerin yapısında bor oksit olarak ikame olmuştur. Magnezyum, sodyum ve kalsiyum elementlerinden oluşan bor madeni hidrat bileşikleri halinde bulunur. Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Boraks Pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) ticari değere sahip bor mineralleridir.

Dünya bor rezervlerinin % 72'sine sahip olan ülkemizin bu alanda çok önemli bir yere sahiptir. Türkiye açısından bor cevherlerinin en verimli şekilde kullanılması her geçen gün daha fazla önem arz etmektedir. Bor minerallerinin zenginleştirilmesi sırasında içerisinde az miktarlarda bor bulunan atıklar ortaya çıkmakta ve önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bugüne kadar üretimde açığa çıkan atık malzemenin farklı endüstriyel alanda kullanılabilirlikleri araştırılmaktadır (Erdoğan, 2006).

Kolemanit bor madeni olarak Türkiye'de en çok çıkarılan mineraldir. Kolemanit minerali, kimi malzemelerde borlu bileşik hâli ile kimi malzemelerde ise ham hâli ile kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bu mineral şimdilerde kullanılan ve gelecekte kullanımı çok geniş alanlara yayılacak özelliğe sahiptir (Kütük, 2018).

Puzolanik madde olarak çeşitli endüstriyel atıklar, betonda kullanılmaktadır. Bu atık maddeler normal şartlar altında kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyon sonucunda bağlayıcılık özelliği gösterirler. Tek başına kullanıldıklarında bağlayıcılık özelliği göstermeyip puzolanlar betonlarda mineral katkı olarak kullanılmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalarda beton harcında bor bileşiklerini içeren çimentoların borun etkisiyle hidratasyon süresini arttığı gözlenmiştir. Yine yapılan literatürdeki çalışmalarda priz geciktirici olarak da borun farklı bileşiklerinin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Pehlivanoğlu vd., 2013).

Gün geçtikçe Türkiye'de bor üzerine rezerv geliştirme çalışmaları ile Ar-Ge çalışmaları artmaktadır. Son yıllarda farklı ülkelerden pek çok araştırmacı, nano boyutlu malzemeler üzerinde yoğun olarak çalışmaktadırlar. Nedeni ise onların yapısal, fiziksel, manyetik, elektriksel ve benzeri gibi özelliklerinin mikron boyutlu malzemelere göre kıyaslandığında çok daha iyi olmasıdır (Kütük, 2018).

Bu tez çalışmasında, bir bor minerali türü olan kolemaniti ağırlıkça farklı oranlarda beton harcının içerisine katılarak elde edilen betonun, beton yollar açısından mekanik ve fiziksel özellikleri incelendi.

1.2. Literatür Özeti

Çiçek (2018)'e göre yapılan çalışmada %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında ağırlıkça çimentoya boraks pentahidrat ikame edilmiştir. Ardından yapılan basınç dayanımının ölçümünde boraks pentahidratlı betonların referans numunesine oranla boraks pentahidrat artışına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımı azalmıştır. Eğilmede çekme dayanımlarının ölçülmesinde en yüksek gerilme referans numunesinde olurken, en düşük gerilme %25 katkılı numunede görülmüştür. Yüzey sertliklerinin ölçümü deneyinde diğer deneylerde olduğu gibi boraks pentahidratın beton karışımdaki oranı arttıkça yüzeyde sertlik derecesinde azalma olduğu görülmüştür.

Durmuş (2016)'a göre yapılan çalışmada kolemanit ve üleksit mineralleri %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında öğütülmüş klinker yerine kullanılmıştır. 40, 40, 160mm boyutlarındaki prizmatik örnekler üzerinde eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanım deneyleri yapılarak mekanik özellikler belirlenmiştir. Bor minerali (kolemanit ve üleksit) ile öğütülmüş klinker deneyler sonucunda kolemanit katkılı örneklerin mekanik özelliklerinin üleksit katkılı örneklerden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmalarından yola çıkarak boraks pentahidrat yerine kolemanit ve kolemanit atığının çimento veya betona ikame edildiğinde olumlu sonuçların çıktığı görülmüştür. Yapılan literatür taramalarından yola çıkarak yaptığı deneylerde betona %1, %2, %3, %4, %5 oranlarında kolemanit ilavesinin boraks pentahidrat ikamesine göre betonda daha olumlu sonuçlar doğurduğunu görmüştür.

Uğurlu vd. (2004)'a göre Ulusal Bor Sempozyumunda yayınlanan 'Bor içeren kil atıklarının çimento içerisinde değerlendirilmesi' isimli makalesinde bor madeninin farklı türleri betonun içerisine doğrudan katılmayarak, betonu oluşturan ana unsurlardan olan çimento üretiminde kullanılarak borlu çimento elde edilerek betona dolaylı yollardan katılmıştır. Borlu çimento inceliğinde öğütülen bor madeni içeren boraks atığının hazırlanan çimento harcının içerisine değişik oranlarda ilave edilmesi sağlanmıştır. Dökümü yapılan harç numunelerin üzerinde çeşitli deneyler yapılarak boraks atığının çimento içerisindeki tepkisel davranışı gibi etkiler incelenmiştir. Bulunan sonuçlar referans numuneler ve Türk Standartları (TS) ile kıyaslanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda, priz süresinin uzadığı ve betonun basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

1.3. Yol Üst Yapısı Tipleri

Karayolları belirli standartlara göre belirlenmiş olan bir güzergâh boyunca doğal zeminin istenilen yüksekliklere getirilmesi ve üzerinde motorlu araçların istenilen güvenlik, konfor ve hız koşullarında hareket edebilmesini sağlayan yapıların tümü olarak tanımlanabilir (Üstünkol, 2006).

Karayolu üst yapısı trafik yüklerini taşımak ve oluşan bu yükü taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere inşa edilir. Üstyapı, temel, alt temel ve kaplama tabakalarından oluşur. Üst yapı taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırıcı etkilerine karşı koymak, temel tabakasına iletilen kayma direncini azaltmak üzere inşa edilir. Yol üst yapı kaplamaları; Esnek, Rijit, Kompozit, olmak üzere 3 farklı şekilde yapılabilmektedir (Er, 2011).

1.3.1. Esnek Üstyapı

Dinamik ve statik yüklerin önemli bir kısmının bitümlü bağlayıcılı ya da bağlayıcısız tabakalar tarafından taşındığı, kalan kısmın tabana aktarıldığı üstyapı tipidir. Agregaya kenetlenmesi, stabilite, kohezyona ve dane sürtünmesine bağlıdır. Esnek üstyapı kaplamaları belirli niteliklerde malzemelerden oluşmuş bir seri katmanı içerir. Katman kalınlıkları zeminin taşıma gücü ve trafik yüklerine göre hesaplanarak projelendirilir. Ülkemiz karayolları ağının neredeyse tamamı, esnek kaplama tipinde imal edilmiştir (Alp, 2018).

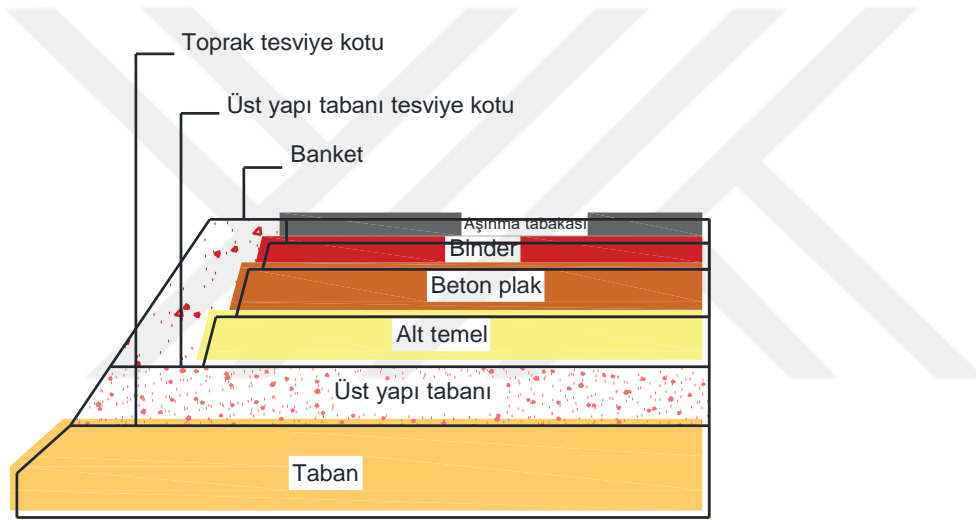
1.3.2. Rijit Üstyapı

Kaplamaları çimento betonuyla oluşturulan üstyapılara “Rijit üstyapı” ya da “Beton Yollar” denir. Beton Yol kaplamasının görevi, trafik yüklerini tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmasını engellemektir. Bundan dolayı projelendirme sırasında; taban zemini, temel ve alt temel malzemeleri, betonu oluşturan çakıl, kırmataş, kum, betonarme demiri ve çimento gibi malzemelerin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Beton yollar, boyuna ve enine derzlerle birbirinden ayrılmış

20- 25 m2 alana sahip plaklar halindedir. Beton plağın rijitliğinin yüksek olması sebebiyle, taban zemininde oluşan gerilmeler geniş bir alana yayılır (Mazlum, 2014).

1.3.3. Yarı Rijit Üstyapı

Sıcak bitümlü karışım ve bir ya da birden fazla hidrolik bağlayıcı malzeme kullanılan katmanı içeren ve yükleri geniş alanlara dağıtarak tabana aktarılmasını sağlayan Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı üstyapı tipidir. Dinamik yükler etkisi altında yarı rijit üstyapı davranışı, yarı rijit üstyapı kesiti Şekil 1’de gösterilmiştir (Alp, 2018).



Şekil 1. Yarı Rijit Üstyapı Kesiti (Alp, 2018).

1.3.4. Esnek ve Rijit Üstyapıların Karşılaştırılması

İki kaplama türü arasındaki temel fark, yol üstünden gelen basınç etkilerini tabana iletme şekilleridir. Rijit kaplamalar, beton plağın sert ve rijit olduğundan dolayı üzerindeki yükü alt temel tabakasında daha geniş bir yüzeye yayar. Beton plak tek başına, rijit kaplamanın yapısal taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını karşılamaktadır.

Esnek kaplamalar beton plaklarda olduğu gibi yapılarındaki malzemelerin daha zayıf ve yumuşak malzemelerden olması sebebiyle üzerindeki yükü geniş bir yüzeye yayamazlar. Bu nedenle esnek kaplamalar, optimum yük iletimi sağlamak amacıyla, tabakalı ve rijit kaplamalara kıyasla daha kalın yapılırlar. Diğer önemli konu ise bakım ve onarım masraflarıdır. Rijit kaplamaların ilk maliyetleri esnek kaplamalara göre

yüksektir ancak esnek kaplamaların bakım ve onarım ihtiyaçları 5 yılda bir iken, rijit kaplamaların 15 ila 20 yıldır (Puyan, 2003).

Beton yollar, asfalt kaplama yollara göre bakım ve onarım giderleri düşük ve daha uzun hizmet ömrü nedeniyle ekonomik çözümler sunabilir. Esnek üstyapı yapımında, bitümün ısıtılma evresinde çevre kirliliği oluşabilmektedir. Ayrıca bitümde zaman içerisinde yaşlanma denilen ve oksitlenmesinden kaynaklanan, olumsuz bir değişim meydana gelmektedir. Bundan dolayı, esnek üstyapı kaplamaları sürekli bakım ve onarım gerektirirler. Rijit üstyapı kaplamasında ana bağlayıcı çimento olduğundan oksitlenme olmaz bu sebeple asfalt yaşlanması gibi bir problem oluşmaz. Bundan dolayı rijit üstyapıların esnek üstyapılara kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir (Bakış, 2018).

1.4. Beton Yollar Hakkında Temel Bilgiler

Ülke ekonomisinin gelişmesi için, sağlık, eğitim ve sosyal yaşam ihtiyaçlarının karşılanması ve ülkedeki ulaşım ağının yeterli olması önemli bir faktördür. Bundan dolayı ulaşım ağı yeterli miktarda ve kalitede olmalıdır (Çevik, 2014).

Ekonomi ve ülkenin gelişmesi için olmazsa olmaz olan ulaşım ağları alt yapı yatırımlarının ilk ve en önemli olanıdır. Günlük yaşantımızda zamanın büyük çoğunluğunu ev, işyeri ya da yollarda geçmektedir. Dolayısıyla, sosyal anlamda da yollar, yaşam kalitesini önemli ölçüde etkiler. Bunların sonucu olarak ulaşım ağları, bir ülkenin gelişmişliğinin en önemli göstergesidir (Ünal, 2013).

Ülkemizde karayollarının gelişimi 1950'li yıllardan sonra kurulan Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından başlamıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü kurulduğu yıldan itibaren öncelikli hedef olarak ülkenin her yerine ulaşmayı hedefleyerek, birçok devlet yolunun yapımını üstlenmiştir ve bu kapsamda 1980'li yıllardan sonra ülkemizde birçok otoyol yapılmıştır (Koca, 2002).

1950 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kurulmasıyla Türkiye'de karayolu çalışmaları büyük bir ivme kazanmıştır. Ülkemizde 1950 yılında toplam her

mevsim geçit veren yol uzunluğu 9624 km iken, 1960 yılında 22000 km ve günümüzde ise 2157 km.si otoyol olmak üzere 67119 km uzunluğunda bir yol ağı mevcuttur. Bu toplam uzunluğun sathi cinsine göre dağılımı; 22950 km asfalt betonu, 40183 km bitümlü sathi kaplama, 668 kilometresi stabilize, 314 km parke, 520 km toprak yol ve 2484 km diğer yollar ęeklinindedir. Bugünkü yk ve yolcu taşımacılığına bakıldığında, karayolu taşımacılığının %94'lk payla en yüksek orana sahip olduğu görülür. Karayolları internet sitesinden alınan bu dağılım, toplam karayolu ağımızda beton yolların hiç ya da önemsenmeyecek kadar az bulunduğunu göstermektedir.

Bugün Dünyada, zellikle Avrupa ve Amerika'da beton yollar inşa edilmekte ve betonun içine farklı madenler ikame edilmektedir. Bu farklılıkların beton performansı, maliyeti ve ömrü üzerinde çok büyük etkisi olduğundan çok geniş kapsamlı araştırmalar ve incelemeler yapılmaktadır. İkame edilecek madenle en iyi performans ve düşük maliyetli yerel koşullar belirlenmektedir.

1.4.1. Beton Yolların Tarihsel Gelişimi

M.. I. yüzyılda ilk olarak Romalılar inşa ettikleri yollarda taşları birbirine bağlamak için puzzolanik bağlayıcılar kullanmışlardır. İlk beton yollar ABD'de yapılmıştır. Şekil 2'de gözüken 1891 yılında Ohio'da bir sokak, bilinen en eski beton yoldur.



Şekil 2. Ohio'da bir sokak bilinen en eski beton yol.

Herhangi bir hesapla yapılmayan bu yollardan sonra 1920'li yıllarda tasarım prensiplerine sahip yollar yapılmaya başlanmıştır. Temel zemin problemleri gözlemlenmiş ve Şekil 3'de temel zeminlere sahip beton yollar inşa edilmiştir.



Şekil 3. Alt zeminleri olan beton yollar.

1933'ten bu yana sanayi dönemine girildiğinde, Almanya'da baş gösteren işsizlikle mücadele etmek için ilk beton otoyol inşaat sahaları kuruldu.

Almanya'nın ardından Fransa ve Belçika beton otoyol inşa etmeye başladı. Teknolojik gelişmeler sayesinde deforme olmayan kalıplar ve beton santralleri yaygınlaştığından beton yol yapımı da hız kazanmıştır. Sadece 1960'lar ve 1970'lerde ABD'de 70.000 km'lik beton yol inşa edilmiştir. İlk olarak ABD'de başlayan bu gelişmeler Japonya, Belçika ve Almanya'da da gerçekleşti. Beton yol teknolojisinde yaşanan kayar kalıp, hazır beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, geçirimli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler beton kaplamaları asfalt kaplamalara karşı vazgeçilmez bir seçenek haline gelmiştir.

1.4.2. Dünyadaki İlk Beton Yol Örnekleri

- Çimento benzeri puzolanik bağlayıcı kullanan Romalıların yaptıkları yollar (M.Ö. I. y.y.)
- İskoçya'da ilk beton yol denemeleri (1865)
- Avustralya'da ilk beton yolların yapılmaya başlaması (1880)
- Ohio'da Amerika'nın, bugün de kullanılmakta olan ilk beton yolunun yapılması (1891)
- Arkansas'ta Amerika'nın ilk beton otoyolunun yapılması (1913)
- Amerika'da 3.500 km beton yol yapımının tamamlanması; yol yapımında "Silindirle Sıkıştırılan Beton" (Roller Compacting Concrete) kullanılmasına başlanması (1914)

- Fransa’da beton yol yapımı programının başlatılması (1924)
- Almanya’da 4.000 km uzunluğunda beton otoyol yapımına başlanması, İsviçre, Belçika başta olmak üzere, diğer Avrupa ülkelerinde de beton yol yapımının başlaması (1930)
- Kayar kalıp kullanımıyla beton yol yapımında hız ve kalitenin artması (1950)
- ABD ve Kanada’da beton yol yapımının yoğunlaşması; ABD’de 70.000 km beton yol yapılması (1960-70)
- Beton teknolojisindeki ilerlemelerle beton yol yapımında yeni gelişmelerin kaydedilmesi: Betonda lif kullanımı, öngerme teknolojisi, akıcı-kuru kıvamlı beton üretimi vb. (1990) (Ulusoy, 2010).

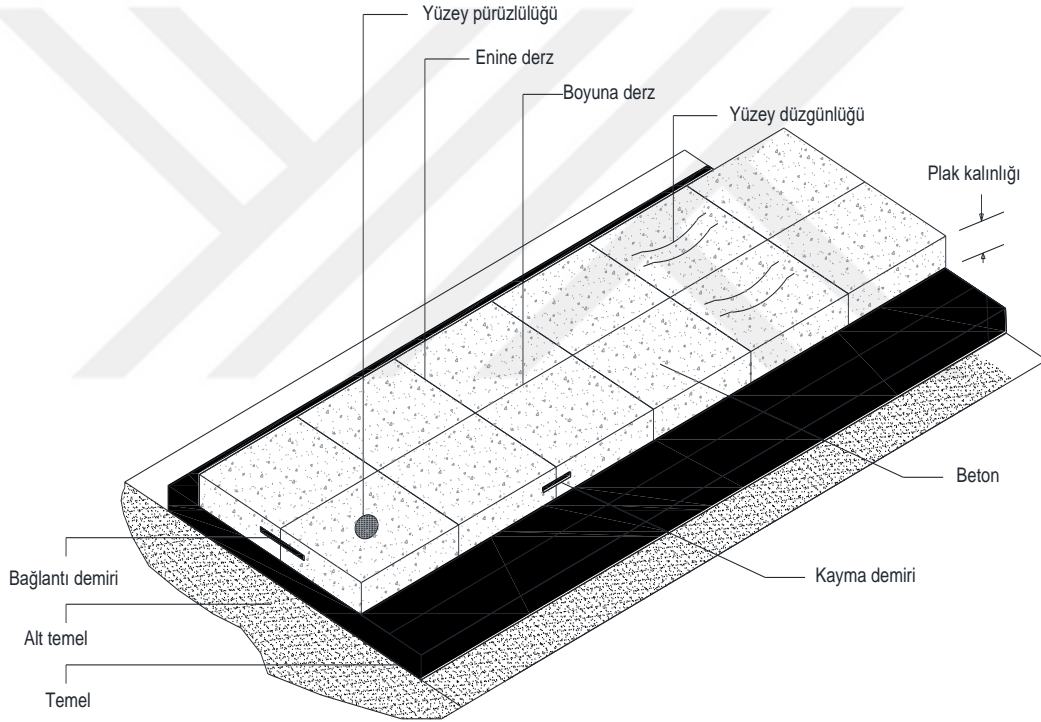
1.4.3. Beton Yolların Diğer Yol Yapım Teknikleriyle Karşılaştırılması

Sıcak kaplamaların bağlayıcısı olan bitüm çoğunluğu yurt dışından ithal edilen ham petrolden rafinerilerde arıtılarak elde edilmektedir. Türkiye’de 6 adet rafineri (İzmir’de Star ve Aliğa Rafinerisi, İzmit’te Tüpraş Rafinerisi, Mersin’de Ataş Rafinerisi, Batman’da Batman Rafinerisi, Kırıkkale’de Orta Anadolu Rafinerisi) mevcuttur. Asfalt sıcak karışimli kaplama olduğu için özel araçlarla yola serilip sıkıştırılarak uygulanır. Zeminin kuru olması, hava sıcaklığının düşük olmaması (15°C üstü) gerekir. Bu da ülkemizde asfalt yol inşaat mevsiminin daralmasına sebep olmaktadır. Çimento betonuna göre asfaltta kullanılacak agreganın daha kaliteli olma zorunluluğu vardır (Ünal, 2003).

Rijit kaplamalarda kullanılan beton, transmikserler ile taşınıp yola serip sıkıştıran ve perdahlayan özel araçlara aktarılır. Beton kaplama için sabit veya kayar kalıp kullanılmaktadır. Türkiye’deki 51’i entegre, 15’i öğütme tesisinde tamamen yerli hammaddelerden üretilmektedir (URL-1). Zeminin ıslak veya nemli oluşu beton için problem teşkil etmez. Beton yol imalatı gerekli önlemler alınarak anormal hava koşullarında bile yapılabilir. Ancak beton yeterli dayanıma ulaştıktan sonra yolun trafiğe açılması gerekmektedir. Beton yapılarda olduğu gibi rijit kaplamalarda da betonun priz alarak plastik kıvamdan rijit hale geçişi sırasında meydana gelebilecek hacim değişiklikleri, sıcaklık ve rutubet farkları, zemin hareketleri ve yükler bir takım

çatlamalar meydana getirebilir. Bu tür çatlamları engellemek için derz sistemleri veya çelik donatılar kullanılır. Derzler yol eksenine göre boyuna, enine veya çapraz olabilirler. Derzler yol yüzeyinde kesiklik meydana getirirler bu da alt tabakalara su sızmasını sebep olabilir. Bu nedenle derzleri uygun elastik dolgu malzemeleri ile doldurmak gerekir (Ünal, 2003).

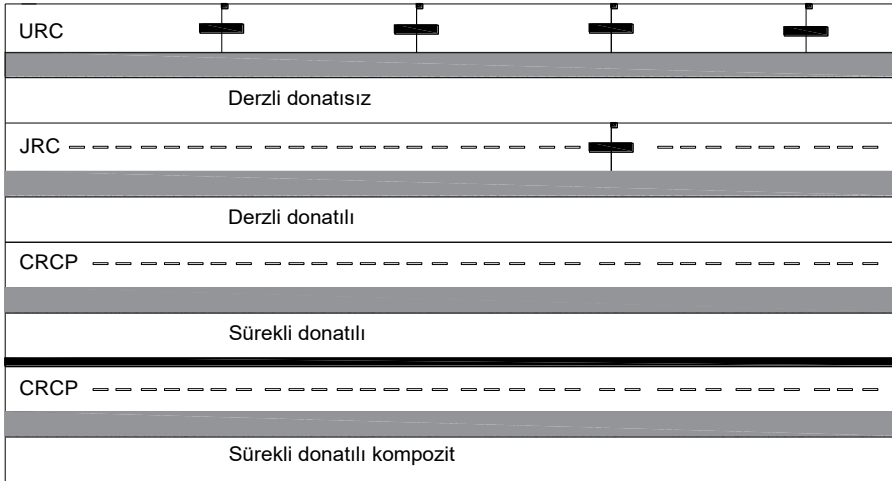
Derzlerde yükün plaktan plaka yayılması ve birlikte deforme olması için derz aralarında bağlantı ve kayma demirleri kullanılır. Şekil 4’de tipik bir üst yapıda bulunan derzler ve donatı çubukları ile diğer özellikler gösterilmiştir (Ünal, 2003).



Şekil 4. Tipik Rijit kaplama şeması (Ünal, 2003).

1.4.4. Dünyada Beton Yollar

Rijit kaplamalarda değişik tasarımlar mümkün olmakla birlikte, Şekil 5’ de mevcut uygulanmakta olan dört değişik kaplama tipi gösterilmektedir (Yeğinobalı, 2003).



Şekil 5. Uygulamadaki beton kaplama tipleri (Yeğınobalı, 2003).

Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan AASHTO tipi tasarım yöntemine göre, kaplama sadece bir beton kaplama ve alt temelden oluşmaktadır. FHWA (Federal Highway Administration - Federal Karayolu İdaresi)'nin internet adresinden alınan bilgilere göre, ABD'de kentsel kesimlerde de 44,006 km, kırsal kesimlerde yaklaşık 39,806 km olmak üzere toplam 83,812 km beton yol bulunmaktadır. Ayrıca ülkede, kentsel kesimlerde de yaklaşık 75,296 km, kırsal kesimlerde yaklaşık 94,821 km olmak üzere toplam 170,117 km kompozit kaplamalı yol mevcuttur (URL-2).

Almanya standartlarına göre ise beton kaplamanın altında zayıf bir beton temel tabakası ve onun altında da kum-çakıl bir alt temel tabakası kullanılmıştır (Yeğınobalı, 2003). Almanya'da derzli donatısız beton kaplamalar, ülkenin mevcut trafik yükünün en yüksek olan otoyol ağının yaklaşık olarak % 25'ini oluşturmaktadır. Ülke, yapılacak olan otoyollarda sürekli donatılı beton kaplamalarla yapılacak olan yolların diğer kaplama türleriyle yapılan yollara göre daha uzun süre hizmet etmesini beklemektedir (Boztepe, 2011).

Belçika tasarım yöntemine göre ise, kaplama üst yapı tipi beton kaplamanın altında bitümlü bir ara yüzey tabakası, zayıf beton bir temel tabakası veya plentmiks bir temel tabakası, onun altında da kırma taş alt temel tabakası ele alınmıştır (Yeğınobalı, 2003).

Farklı gelişmiş ülkelerin rijit kaplama katalogları ve buralardaki farklı uygulamalar incelendiğinde, çoğunlukla derzli donatısız beton kaplamalar hakkında bilgilere ulaşılmıştır.

Donatılandırılmamış beton kaplamaların minimum kalınlığının 15 cm ve maksimum kalınlığının ise 30 cm olması gerektiği belirtilmiştir. Eğer hesaplamalar maksimum değerden fazla çıkarsa, donatılı beton kullanılması tavsiye edilmektedir. Derzli donatısız beton kaplamalarda genellikle yol boyunca enine 3.5 metreden 4.5 metreye kadar, boyuna ise 4 metreden 6 metreye kadar derzler kesilmektedir.

Nem ve sıcaklık miktarındaki değişimler, betonun genişip büzülmesine neden olmaktadır. İnşa edilen beton plaklar, serbestçe hareket edecek biçimde tasarlanmazlarsa, oluşacak hareketler nedeniyle çatlayabilirler. Ancak, uygun aralıklarla derzler yapılması halinde, geniş çatlak oluşumunun bir şekilde önlenmesi ve çatlakların belli yerlerde toplanma ihtimali vardır. Bu sürüş konforunu azaltıcı bir olgu olarak görülmektedir; fakat iyi derz dolgu malzemeleri ve özenli yapım veya ağır ve orta trafik yükleri için sürekli betonarme yol tekniği ile bu engel aşılabilmektedir (Pancar, 2012).

1993 yılında, Amerika Ulaştırma Dairesi beton kaplama teknolojisinde, Almanya, Avusturya, Fransa, Belçika, Güney Afrika ve Avustralya gibi ülkelerin gerisinde kaldığının farkına varmıştır. Bunun üzerine, bu ülkelere teknik geziler düzenlenmiş ve söz konusu ülkelerdeki yenilikler ve bu ülkelerin deneyimleri konusunda farklı teknik raporlar yayınlanmıştır (U.S. Department of Transportation, 2002).

Almanya turundan sonra yazılan teknik rapor, bazı ilgi çekici uygulamaları açığa çıkarmıştır. Öncelikle, Almanlar rijit kaplama tasarımı ve yapımı için iyi tanımlanmış ve kapsamlı tasarım kataloğu kullanmaktadır. Almanya’ da, artırılmış dayanıklılığa ve yüksek basınç dayanımına sahip yüksek kalitede betonlar kullanılmaktadır. Bu da, Almanya’daki yol kaplamalarının 25 seneden fazla kullanılmasını doğuran sebeplerdendir. Almanya’da derzli donatısız beton kaplamalar için izin verilen maksimum kalınlık, 35-65 MPa aralığındaki basınç dayanımına sahip betonlar için 26

cm olarak belirtilmiştir. Ardışık enine derzler arası mesafenin en fazla 5 m olmasına izin verilmektedir. Uçucu kül kullanılmasına izin verilmemekte ve diğer mineral karışımlar desteklenmemektedir. Su azaltıcı ve hava sürükleyici karışımlar dışında fazla kimyasal karışımlara izin verilmemektedir. En büyük farklardan birisi, beton yerleştirilmesinde kullanılan tekniktir. Kaplamalar, üs tabakası genellikle 7 cm olan iki tabakadan oluşmaktadır. İnce kısımla çalışmak, daha iyi sıkışma ve daha az çatlak oluşturmakta, fakat yapım süresini uzatmaktadır.

Benzer sonuçlar, Güney Afrika turundan sonra yazılan raporlarda da görülmektedir. Güney Afrika' da önemli karayolu projelerinden birinde 23 cm kalınlığında beton kaplama kullanılmıştır. Bu projede, derzli donatısız beton kaplama kullanılmıştır. Derzli donatısız beton kaplamalar için katalogta maksimum kalınlık bulunmamaktadır. Yine de, en önemli karayollarından birinde 23 cm kalınlık kullanıldığı hesaba katılırsa, maksimum kullanılacak plak kalınlığının 25 cm olması önerilebilir. Söz konusu projede, kaplama altında 15 cm kalınlığında çimentolu kırma taş temel tabakası kullanılmıştır (Anonim, 1997).

1.4.5. Türkiye'de Beton Yollar

Ülkemizde beton kaplama ile yapılmış otoyol, devlet yolu veya il yolu bulunmamaktadır. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, ülkemizde beton yol farkındalığını arttırmak ve beton yol uygulamalarını başlatmak amacıyla çeşitli etkinlikler düzenlemiştir. Bu uygulamanın en önemli adımı 9 Nisan 2002 tarihinde KGM ile imzalanan protokol olmuştur. Bu imzalanan protokole göre, TÇMB deneme amaçlı iki ayrı rotada beton yol yapımını üstlenmiştir. Afyonkarahisar'daki beton yol Afyonkarahisar-Emirdağ yolunun 2 km'lik bölümünde, İstanbul'da yapılacak beton yol ise, Hasdal Kavşağı-Kemerburgaz yolunun 3,5 km'lik bir bölümünde yapılması planlanmıştır (Yeğinoğlu, 2010).

BOREN tarafından geliştirilen bor katkılı çimentonun denemesi yapılmak üzere Karadeniz Bölgesi'ne 2 km beton yol uygulaması yapılmıştır. Karayolları 7. Bölge Müdürlüğü ile hazırlanan protokol kapsamında yapılan yolun beton plak tasarımı

Karayolları Genel M¼d¼rl¼g¼, beton tasarımı ise DSİ TAKK dairesi tarafından yapılmıştır (URL-4).

1.4.5.1. Afyonkarahisar'daki Beton Yol

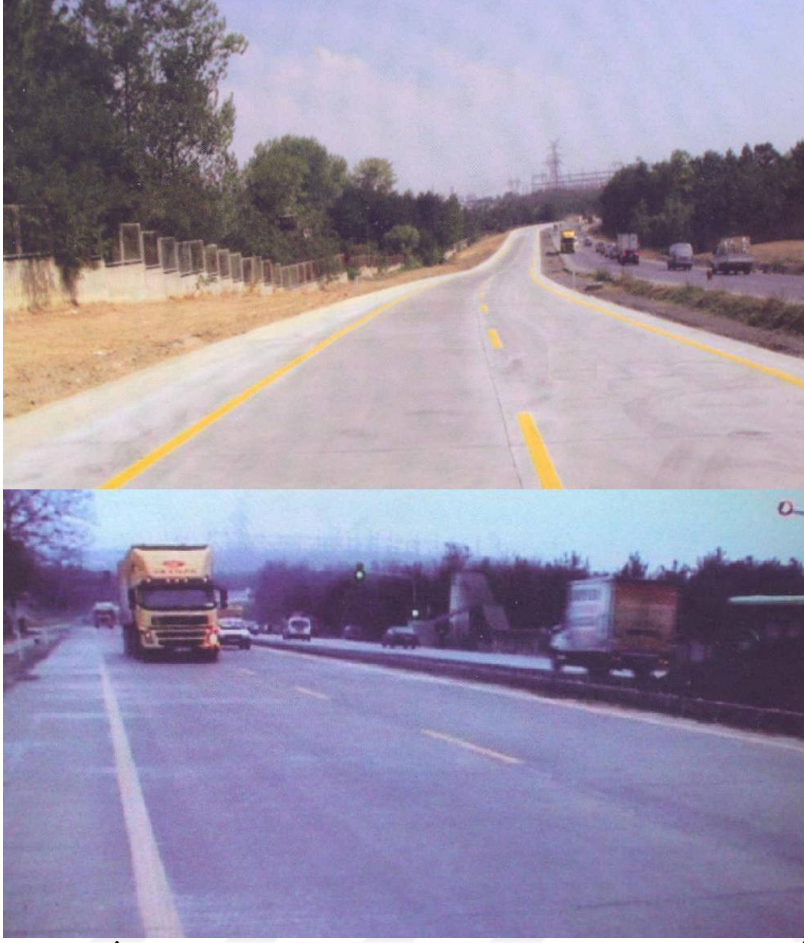
TÇMB ve KGM arasında imzalanan protokolde, Afyonkarahisar'da yapılacak beton yolun, KGM onayı ile Afyonkarahisar yönünde 5 + 700 ile 7 + 700 km arasında yapılması kararlaştırıldı (şekil 6). İnşa edilecek yolun genişliği 3 trafik şeridine göre planlanmış olup toplam 12 m'dir. Temel tabakaları ve plentmiks alttemel sırasıyla 15 ve 25 cm kalınlıktadır. Belçikalı uzmanlar tarafından tasarlanacak olan yolda Kaplama kalınlığının hesaplanması için, tabaka kalınlıkları ve trafik bilgileri alınmıştır. Alınan bu bilgiler doğrultusunda Belçika şartnamesindeki B2 sınıfına benzer derzli donatısız beton kaplama önermişlerdir. Buna göre, temel tabakasında 6 cm kalınlığında bir asfalt tabaka ve 23 cm kalınlığında bir beton plak gereklidir. Daha sonra Asfalt tabakadan vazgeçildi ve beton levha kalınlığı 27 cm olarak belirlendi. Beton yol, resmi olarak 25 Eylül 2004 tarihinde hizmete açılmıştır (Yeğinobalı, 2010).



Şekil 6. Afyonkarahisar'daki beton yolun tamamlandıktan sonraki görüntüsü (Yeğınobalı, 2010).

1.4.5.2. İstanbul'daki Beton Yol

İstanbul'daki beton yol için belirlenen rota, asfalt olarak yapılmakta olan Kemerburgaz Ayrımı - Yassıören - Hasdal Kavşağı Devlet Yolu'nun (km: 0+000-43+504) Hasdal Kavşağı - Kemerburgaz Ayrımı (km: 39+900-43+504) arasında kalan 3.5 km uzunluğundaki tek şerit olarak belirlenmiştir (Şekil 7). Toplam platform genişliği 10,5 m ve yolun enine eğimi % 2'dir. Mühendisler tarafından derzli donatısız olarak tasarlanan rijit üstyapının, 15 cm kırmataş alttemel, 6 cm asfalt arayüzey, 15 cm plentmiks temel ve beton plak kalınlığı 27 cm tasarlanmıştır. KGM mühendislerinin önerisi üzerine betonarme levhanın kalınlığının 32 cm olması ve asfalt arabiriminin yolun son 1 km'sinde kullanılmaması gerektiğine karar verildi. Beton yolun geçici kabulü 10 Ağustos 2006 tarihinde yapılmış ve trafik çizgileri çizildikten sonra yol trafiğe açılmıştır (Yeğınobalı, 2010).



Şekil 7. İstanbul'daki beton yolun trafik çizgileri çizilmiş (a), İstanbul'daki beton yol hizmete giriyor (b) (Yeğınobalı, 2010).

1.4.5.3. Ordu'daki Bor Katkılı Beton Yol

BOREN tarafından geliştirilen ve Karadeniz Bölgesinde denenmesi planlanan bor katkılı çimento ile 2 km beton yol uygulaması tamamlanmıştır. Karayolları 7. Bölge Müdürlüğü ile imzalanan protokol kapsamında yapılan beton yolun plak üstyapı Karayolları Genel Müdürlüğü, beton tasarımı ise DSİ TAKK dairesi tarafından yapılmıştır.

Enstitü koordinasyonunda inşa edilen beton yol, Sivas-Ordu karayolunun 6. km'sinde iki taraftan yapılmıştır. Yolda toplam 1800 ton çimento kullanılmıştır. Kullanılan bu çimento ile 1850 m bor katkılı çimento katkılı beton yol ve 150 m portland çimentolu yol yapılmıştır. Yolun ilk beş km'sinin aynı tarihlerde beton asfalt ile kaplanmış olması sayesinde, beton ile asfalt yol arasındaki performans farkı ölçüleceği

gibi, bor katkılı çimento ile portlant çimento arasındaki performans farkı da ölçülmüş olacaktır. 20 Eylül 2007'de inşaata başlayan ilk etap 28 Eylül 2007'de tamamlandı. İkinci etap 10-17 Kasım tarihleri arasında yapıldı (URL-4).

1.5. Beton Kaplama Türleri

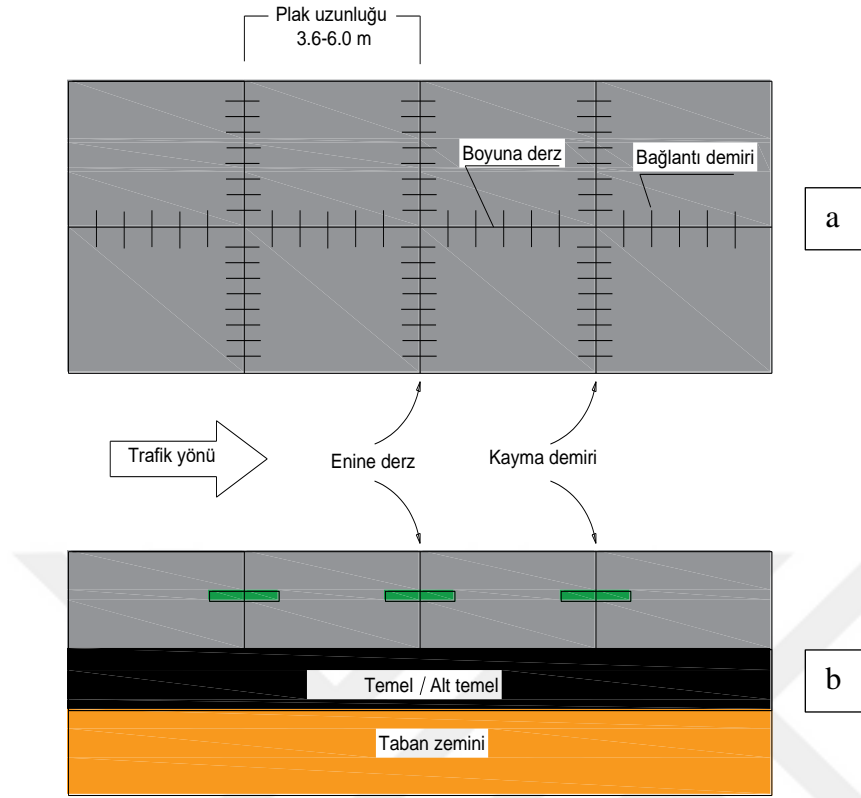
3 farklı şekilde Rijit üstyapı inşa edilebilmektedir:

- Derzli donatısız rijit üstyapılar
- Derzli donatılı rijit üstyapılar
- Sürekli donatılı rijit üstyapılar

Geleneksel üst yapı kaplamalarının haricinde Öngerilmeli ve prekast beton kaplamalarda kullanılmaktadır fakat, geleneksel beton kaplamalar kadar sık kullanılmamaktadırlar. Park yeri ve özel endüstriyel alanlar gibi alanlarda geçirimli beton kaplamalar ve silindir ile sıkıştırılan beton kaplamalar kullanılmaktadırlar (Delatte, 2008).

1.5.1. Derzli Donatısız Beton Kaplamalar

Derzli donatısız beton kaplamalar, her plaka arasında genleşme derzi bulunan ve uzunlukları 6.0 m ile 3.6 m arasında değişen beton plaklardan oluşmaktadır. Kaplamanın hizmet ömrünün uzun sürmesi için çatlakların plak içinde büyümesini önlemek önemlidir bu açıdan, derzler sık aralıklarla yapılırlar. Bu nedenle, derzli donatısız kaplamalarda oluşacak olan büzülme ve genleşme, derzler tarafından referans edilmektedir. Derzli donatısız kaplamalar için diğer bir husus derzler arasında yük aktarımıdır. Derzli donatısız kaplamalarda derzler arasında yük aktarımını sağlamak için agrega kenetlenmesi ve kayma demirleri yöntemi kullanılmaktadır (Delatte, 2008). Derzli donatısız beton kaplamaya ait kesit ve plan görüntüsü Şekil 8'da gösterilmiştir.

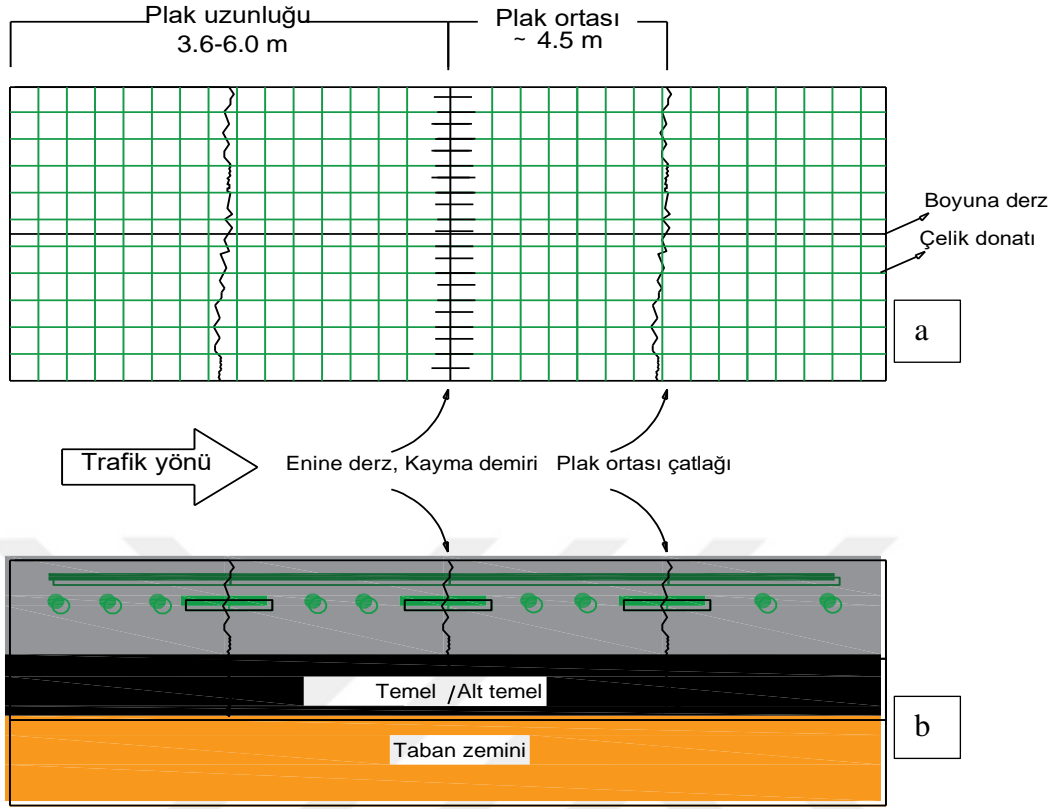


Şekil 8. Derzli donatısız beton kaplamaya ait kesit (a) ve plan (b) görüntüsü (URL-3).

Agrega kenetlenmesi metodunda kaplama, taşıt trafiğine maruz kaldıkça, özellikle yüksek hızlarda, gün geçtikçe işlemez hale gelmektedir. Bu durumda, yük transferini derzler arasındaki kayma demirleri sağlamaktadır. Ekonomik olarak, beton kaplamalar içinde en uygun olanı olduğu için, bu kaplama tipi en yaygın olarak kullanılan türdür (Delatte, 2008).

1.5.2. Derzli Donatılı Beton Kaplamalar

Derzli donatılı beton kaplamaların derzli donatısız beton kaplamalardan farkı, plaklarda az miktarda da olsa donatı olması ve plak uzunluklarının daha fazla olmasıdır. Derzli donatılı beton kaplamaların plak uzunlukları 7.5-9 m arasında değişebilmektedir. Derzli donatılı beton kaplamalar geçmişe göre günümüzde yaygın degillerdir çünkü derzli donatılı beton kaplamalar, derzli donatısız beton kaplamalara göre derz kullanılmasını azaltmaktadır. Buna rağmen donatının getirdiği ek maliyetle birlikte daha pahalıya mal olmaktadır. Derzli donatılı beton kaplamaya ait plan ve kesit görüntüsü Şekil 9'da gösterilmiştir (Delatte, 2008).

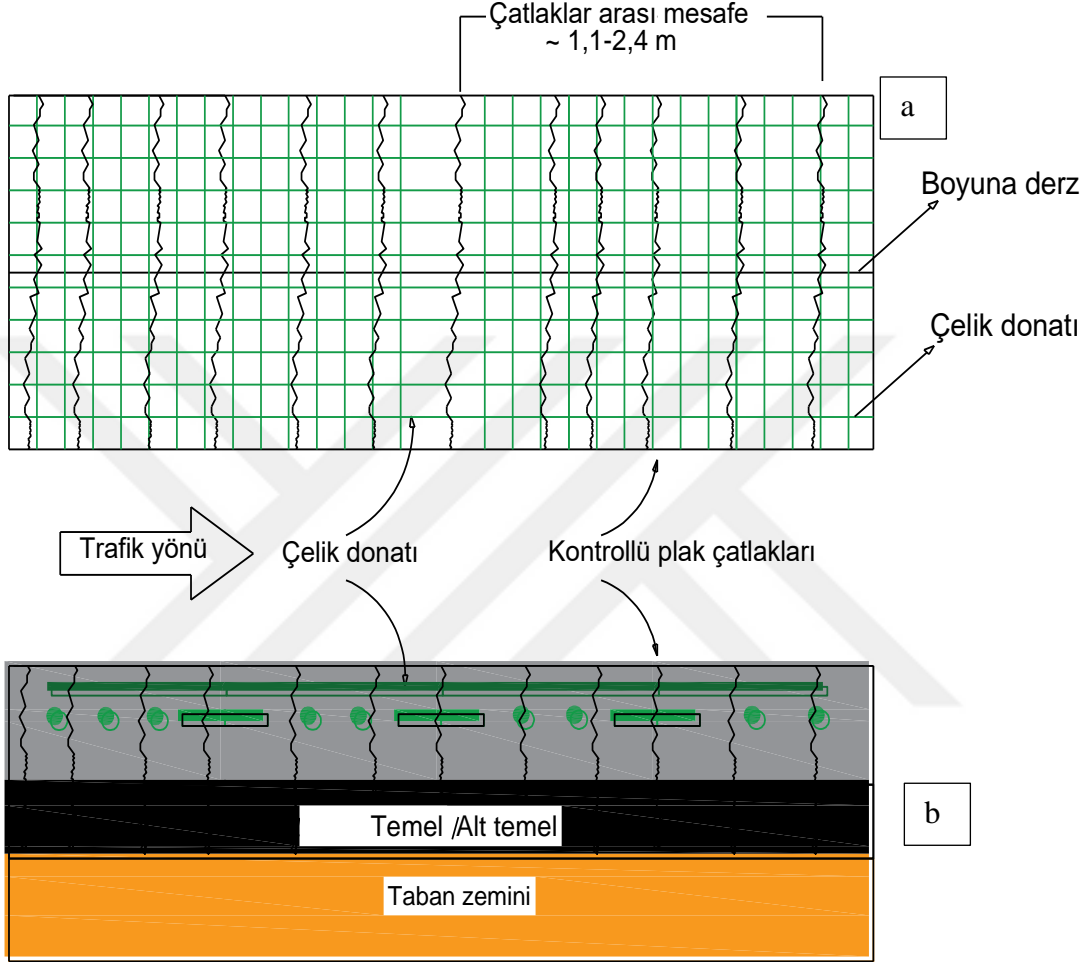


Şekil 9. Derzli donatılı beton kaplamaya ait plan (a) ve kesit (b) görüntüsü (URL-3).

1.5.3. Sürekli Donatılı Beton Kaplamalar

Beton kaplamaların bir diğer çeşidi olan sürekli donatılı beton kaplamalarda enine derz uygulamasına gerek yoktur. Sürekli donatılı beton kaplamalarda enine çatlakların oluşmasına önemli bir mahsur görülmemektedir, çünkü donatılar sayesinde çatlaklar bir arada tutularak fazla açılma olmamaktadır. Yapılan araştırmalarda mahsur görülebilecek maksimum tasarım çatlak genişliğinin, parçalanma ve su girişine karşı kaplamayı koruması için, yaklaşık 0,5 mm olması gerektiğini göstermiştir. Çatlakların, genellikle 1,1 m ile 2,4 m arasında değişen derz aralıklarında oluşması beklenir. Kullanılan donatı, toplam kesit alanının yaklaşık olarak % 0,6-0,7'sini oluşturur ve plağın ortasına yerleştirilmektedir. 1970 ve 1980'li yıllarda sürekli donatılı beton kaplamaların tasarım kalınlığı, derzli donatısız beton kaplamaların yaklaşık olarak % 80'i kadardı. Fakat bu uygulamaların yapıldığı yolların incelenmesi neticesinde daha ince şekilde tasarlanan bu kaplamaların tasarlanan bozulmalara göre daha fazla bozulmalar meydana gelmiştir. Sonuç olarak şu andaki eğilim, sürekli donatılı beton

kaplamaların da derzli donatısız beton kaplamalarla aynı kalınlıkta tasarlanmalıdır (Delatte, 2008). Sürekli donatılı beton kaplamaya ait plan ve kesit görüntüsü Şekil 10'de gösterilmiştir.



Şekil 10. Sürekli donatılı beton kaplamaya ait plan (a) ve kesit (b) görüntüsü (URL-3).

1.6. Beton Yollarda Bozulmalara Karşı Önlemler

Beton yolun ileride ne tür çevresel etkilere maruz kalacağı hesaplanarak önlemler alınmalıdır. Kullanılan test kriterleri, betonun yol malzemesi olarak kullanılmasının yeterli olup olmadığı incelenmeli ve gerekirse ilave test ve kriterler oluşturulmalıdır. Örneğin betonun boşluk yapısının kullanım ömrünü hangi şekilde etkilediği incelenmelidir. Örneğin, betonun boşluk yapısının hizmet ömrünü nasıl etkilediği incelenmelidir. Betonun erken yaşta istenilen dayanıma sahip olması için karışım oranları ve kür şartları uygun şekilde belirlenmelidir. Koruyucu kaplama

kullanımı, pas payının güçlendirilmesi veya korozyona maruz kalmayan malzemeden yapılmış donatı türü seçilmelidir.

1.7. Beton Yolların Üstünlükleri

Yapı malzemesi beton olan yapılara bakıldığında, diğer yapı malzemeleriyle yapılanlara göre daha dayanıklı oldukları yönündedir. Beton yollar hakkında da bu görüş geçerliliğini korumaktadır. Fakat teknolojik faaliyetlerin her geçen gün ilerlediği Dünyada mühendislik yapılarının sadece dayanıklı olması yetmemektedir. Dayanıklılığa ilaveten ekonomik, toplumsal ve çevresel açıdan da kabul edilebilir nitelikte olmaları gerekmektedir. Bu bölümde, beton yolların diğer yapı malzemeleriyle yapılan yollara göre ekonomik, teknik, çevresel, sosyal ve toplumsal açıdan üstün bazı özellikleri maddeler halinde anlatılmıştır.

1.7.1. Uzun Ömürlülük (Durabilite)

Beton kaplamalar, asfalt betonu kaplamalara göre hizmet ömrü boyunca daha uzun süre hizmet vermekte ve daha az bakım gerektirmektedirler. Malzemenin rijit yapısından dolayı beton kaplamalarda ötelenme ve tekerlek izi oluşmamakta böylece stabil bir yüzey elde edilmektedir

Amerika'daki birçok beton karayolu tasarlanırken hesaplanan trafik hacminin çok daha fazlasıyla karşılaşmalarına rağmen hizmet ömürleri olan 50 yıl boyunca sağlıklarını korumuşlardır. Hizmet ömrü uzun olan beton kaplamaların ömür döngü maliyetleri açısından ekonomik avantajlarının olduğu ispat edilmiştir. Yeniden yapma veya tamir etme yöntemleri enerji tüketimine sebep olduğundan, enerji korunumunu da gerçekleştirmektedir (Boztepe, 2011).

1.7.2. Akaryakıt Tasarrufu

Kamyon, tır gibi ağır taşıtlar esnek kaplamalarda, rijit kaplamalara göre daha fazla deformasyona sebep olurlar. Kaplamada oluşan bu tür deformasyonların artışı, taşıt hareketinde kullanılacak taşıt enerjisinin bir kısmını sönmülemektedir. Bu nedenle de esnek kaplamalar üzerindeki hareket eden taşıtlar daha fazla enerji, diğer bir deyişle

daha fazla yakıt harcamaktadır. Beton kaplamaların rijitlik özelliği sayesinde yoldaki deformasyonlar azalmakta, dolayısıyla bu da akaryakıt tasarrufu sağlamaktadır.

Kanada'da Ulusal Araştırma Konseyi tarafından kaplama türünün yakıt tüketimi üzerindeki etkisinin incelenmesine yönelik bir araştırma yapılmış. Bu araştırma farklı araçlarla çeşitli mevsimlerde ve yollar üzerinde, istatistiksel modeller kullanılarak 4 araştırma serisinden oluşmuştur. Bütün aşamalarda esnek kaplamalarla beton kaplamalar, karşılaştırıldığında ağır yük taşıtları tarafından akaryakıt tasarrufu sağlandığı gözlenmiştir. Farklı düzgünlük derecelerine sahip yollar üzerinde, bütün mevsimlerde yapılan deneyleri içeren bu istatistik en küçük farkları dahi ortaya koymuştur. Bununla beraber, asfalt betonu yollara göre beton yollardaki yakıt tasarrufu, hem boş hem dolu tır ile yapılan çalışmada yılın dört ya da beş döneminde % 0,8 ile % 3,9 arasında değişmekte ve bu değerler, sahada % 95 güvenilirlikle elde edilen, istatistiksel verilerden elde edilmiştir. Ortalamayı alırsak % 2,35'lik bir yakıt tasarrufu ülkemiz açısından ihmal edilebilecek düzeyde değildir. İşlek bir otoyolun hizmet ömrü süresince toplam yakıt tüketimi ve kirliliğe sebep olan gazların emisyonu açısından düşünüldüğünde çok büyük bir fark ortaya çıkacağı hesaplanmalıdır (Rens, 2009).

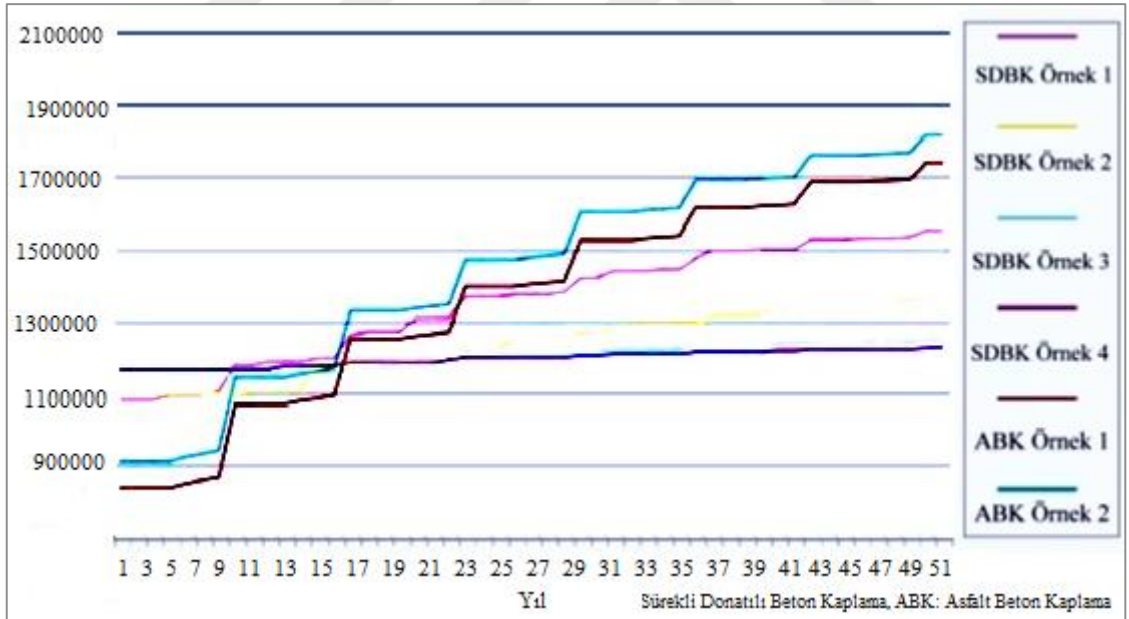
1.7.3. Bakımdan Kaynaklanan Zaman Kaybı

Beton kaplamalar diğer kaplamalara göre daha az bakım gerektirmeleri, kaplamanın hizmet ömrü boyunca daha az yol çalışması yapılmasını doğurur. Bu da yol mühendisleri tarafından daha az müdahale ve yolu kullanan taşıtlar açısından daha az sıkıntı anlamını taşımaktadır (Rens, 2009).

1.7.4. Ömür Döngü Maliyeti

Karayolu yatırımlarında ilk yatırım maliyeti çoğu kez yanlış düşünülerek temel kriter alınmaktadır. Bu yaklaşımın yanlış olmasının nedeni, fazla bakım maliyetleri olması durumunda, inşaat maliyetinin ekonomik açıdan çok farklı olmasıdır. Bu noktada, bir yol yüzeyinin faydalı ömrü önemli bir rol oynar. Belçika'nın Valon Bölgesi Otoyol İdaresi tarafından 2001 yılında yapılan analizde, sürekli betonarme döşeme ile konvansiyonel asfalt kaplama arasındaki yaşam döngüsü maliyetine dayanan ekonomik

bir karşılaştırma yayınladı. Çalışmanın en güçlü kısmı, E42 yolunun 20km'lik iki bölümünün yapım ve bakımını kapsayan 30 yılı aşkın deneyime dayanmasıdır. Çalışmada, tüm fiyatlar yaklaşık% 10'luk bir yıllık iskonto oranı ile 2001 yılı değerlerine dönüştürülmüş ve 50 yıllık bir süre için bir yaşam döngü maliyet analizi yapılmıştır. Çalışmada ikisi asfalt betonu kaplama ve dördü sürekli donatılı beton kaplama olmak üzere altı farklı yol yapısı incelenmiştir. Asfalt beton kaplamaların toplam kalınlığı 21 cm, diğer 26 cm'dir. Her iki yolun temel tabakası 20 cm'lik çimento stabilize temel olarak yapılmış ve alttemel için de sırasıyla 35 ve 30 cm'lik kırmataş agrega kullanılmıştır. Dört beton yol kaplama sadece araç yolu genişliklerinde farklılık gösterir. Çalışmaya ait sonuç Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, asfalt beton kaplamaların bakım maliyetlerindeki artış eğilimi, beton kaplamalara göre oldukça yüksektir. Beton kaplamalı yollar, en erken 7'nci, en geç ise 14'üncü yılda daha avantajlı hale gelmeye başlar. Asfalt betonun düşük inşaat maliyeti, sürekli donatılı beton yolun uzun vadeli faydaları için önemini yitirmektedir (Rens, 2009).



Şekil 11. Sürekli donatılı beton ve asfalt betonu kaplamalı yolların ilk yapım ve bakım maliyetlerini gösteren grafik (Rens, 2009).

1.7.5. Aydınlatma Giderleri

Betonun daha hafif renkli yüzeyi nedeniyle üstün yansıtıcılığı, caddelerde ve otoyollarda aydınlatma maliyetlerinde tasarruf imkânı sağlar. Daha az aydınlatma direği

kullanarak veya parlaklığı daha düşük ampuller kullanılarak azaltılabilir. Her iki durumda da, aydınlatma direği sayısının azaltılması ve ikincisi yıllık elektrik tüketiminin azaltılmasıyla maliyetler azaltılabilir. Kanada'da yapılan bir araştırma, beton yol üzerinde bir kilometre uzunluğunda 14 elektrik direğine ihtiyaç duyduğunu gösterirken, aynı düzeyde aydınlatma için asfalt betonun yolda 20 direk gerektirdiğini göstermektedir. Şekil 12'de aydınlatma açısından beton kaplama ile asfalt betonu kaplama arasındaki farklılık gösterilmiştir (Rens, 2009).



Şekil 12. Brezilya'daki bir yol, beton (sol) ve asfalt beton kaplamaların albedo farkını göstermektedir (Boztepe, 2011).

1.7.6. Fiyat İstikrarı

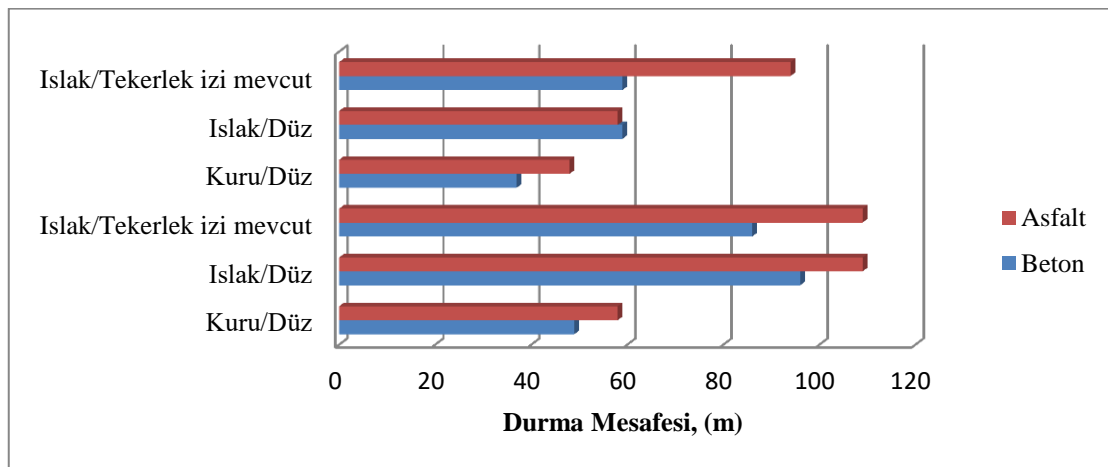
Yol yapımında kullanılan malzemelerin fiyatlarındaki değişiklikler incelendiğinde, asfalt gibi ithal malzemelerin fiyatlarının tamamen uluslararası pazardaki ham petrol fiyatlarına ve özellikle de enerji kıtlığı dönemleri boyunca fiyatlarda büyük dalgalanmalar olduğu açıkça görülmektedir. Çimento ise yerel olarak üretilen bir inşaat malzemesidir ve enerji fiyatlarından etkilenmesine rağmen fiyatı daha dengelidir (Rens, 2009).

1.7.7. Yol Güvenliği

İnşa edilen yollar için en önemli faktör güvenlidir. Sürüş ve konfor faktörleri doğrudan yol yüzeyine dolayısıyla güvenliğe bağlıdır. Bununla birlikte yol yüzeyinin kızaklama etkisi, kayma direnci ve görünürlüğü de önemlidir. Düzgün yüzey dokusu ve yeterli yüzey sürtünmesi sağlanarak, hem kuru hem de ıslak koşullarda kazalar önlenir. Beton yolların var olduğu ülkelerde, genellikle kayma direnci ile ilgili bir sorun bulunmamaktadır. Sürtünmenin kalıcılığı, yüzey pürüzlendirme yönteminden bağımsız olarak, kaplamanın üst yüzeyinde doğru agreganın kullanılmasını gerektirir. Beton kaplamaların bir avantajı, inşaattan hemen sonra gerekli kayma direncine sahip olmaları ve ince agreganın yüzeyden kaybolmamasıdır. Ek olarak, hafif beton yüzey, araç sürücülerinin gece görüşünün iyileştirilmesine katkıda bulunur (Rens, 2009).

1.7.8. Beton Yollarda Daha Kısa Durma Mesafesi Sağlar

Beton kaplamaların kayma sürtünme katsayıları diğer kaplama türlerine göre yüksektir. Beton yolun ortalama boyuna sürtünme katsayısı 0.70, enine sürtünme katsayısı ise 0,65 civarındadır. Yol yüzeyi düzgün olduğundan, yağış suyu kolayca akar ve yüzey hızlı kurur. Sürücülerin güvenliği göz önüne alındığında, beton yol yapısı daha da önemli hale geliyor. Asfaltta üzerinde oluklaşmadan kaynaklanan çukurlar ve tümsekler yağışlı havalarda fazladan su tutar. Bu su kızıağı etkisi için araçlara büyük tehlike oluşturur. Ayrıca, soğuk havalarda biriken sular donabilir. Şekil 13'de betonla asfalt kaplama arasındaki durma mesafeleri gösterilmiştir.



Şekil 13. Beton ve asfalt yollardaki durma mesafelerinin karşılaştırılması.

1.8. Beton Yolların Zafiyetleri

- 1) Projedeki veya yapımdaki küçük bir ihmal veya hata, trafikle ilgili olmadan kaplamanın hızlı bir şekilde tahrip olmasına yol açan çatlaklara neden olabilir. Priz sırasında rötre çatlakların oluş nedenlerindedir. Don olaylarının trafik etkisi olmadan da tekrarlanması durumunda, çatlak kaplama tamamen tahrip olabilir.
- 2) İnşaat sırasında ve beton tamamlanana kadar yol trafiğe kapalı kalacaktır Bu süre özellikle ağır araçlar için yaklaşık bir aydır. Onarım ve bakım işlemleri yaparken de aynı dezavantaj ortaya çıkmaktadır.
- 3) Asfalt betonundan farklı olarak trafik altında çalışmak için uygun değildir. Trafiğe açık bir yolda uygulanırlarsa, servis için bir yol yapımına ihtiyaç duyarlar ve bu da bir takım maliyetler ve zorluklara neden olur.
- 4) Beton yolların yapımından sonra kanalizasyon, telefon, doğal gaz, su tesislerinin yapım ve onarımı zahmetlidir. Arıza giderildikten sonra, beton yolların tamir edilen kısımları zayıf kalır.
- 5) Açık renkli olduğundan güneş ışığı göz kamaşmalarına sebebiyet verir. Betona boya eklenip renkli yol yapılarak bu sakıncalar giderilebilir.
- 6) Yapımında hassasiyet gösterilmeyen derzler ve kaplama yüzeyinde kaymaya karşı direnç sağlanması için oluşturulan yivler gürültü yapmakta ve sürüş konforunu azaltmaktadır (Battal, 2012).

1.9. Rijit Üstyaplarda Kullanılan Malzeme Bileşimleri

Rijit üstyapı tasarımını uzun ömürlü olarak inşa edilebilmesi için üstyapı kaplamasında kullanılacak beton bileşenlerinin çok iyi bilinmesi gereklidir. Beton genellikle çimento, agrega ve hava hamurundan oluşur. Çimento hamuru, su ve çimento belli bir oranda karıştırılarak elde edilir. Çimento ve su kimyasal reaksiyon girerek taneleri birleştirir. Bu reaksiyon karışımı yapay taş haline getirir (Ağar vd., 1998).

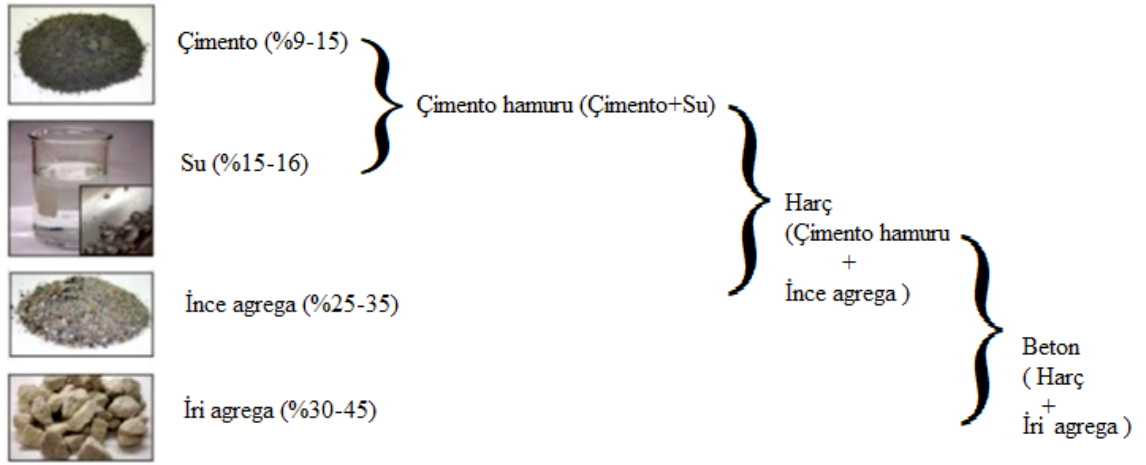
Standartlara uygun bir beton için aşağıda belirtilen üç husus aynı anda sağlanmalıdır:

- İşlenebilirlik
- Durabilite
- Mukavemet

Bu temel özellikleri sağlayan en ekonomik üstyapı betonunun üretilmesi esastır.

1.10. Beton

Beton, basit ifadeyle, agrega ve yapıştırıcı özellikte olan çimento hamuru karışımıdır. Ayrıca, çimento özelliklerine sahip tamamlayıcı malzemeler ve kimyasal katkı maddeleri gibi malzemeler de karışıma eklenebilir. Kaplama yapımı sırasında yapıya bağlantı demiri, kayma demiri ve donatı da eklenmektedir. Beton yüzeyine rötre çatlaklarını önlemesi için kür uygulanmaktadır. Kullanılan bu malzemeler hem taze hem de priz almış betonun davranışını etkiler. Betonun oluşturan malzemelerin hacimsel dağılımı Şekil 14’de gösterilmiştir (Boztepe, 2011).



Şekil 14. Hacim yüzdelerine göre en temel beton bileşenleri (Boztepe, 2011).

1.10.1. Çimento ve Özellikleri

Çimento, su ve hava çimentolu harç; Agregaları betona bağlayan malzemedir. Agregalar beton hacminin büyük bir bölümünü oluştursa da, çimento taze ve sertleşmiş betonun davranışını önemli ölçüde etkiler. Portland çimentosu betonda en yaygın kullanılan çimentodur. Beton karışımlarının kaplanması, çimento özellikli tamamlayıcı malzemelerden yüksek fırın cürufu ve uçucu külde kullanılır. Portland çimentosu öğütülmüş silisli malzemenin (şist) ve kireçli malzemenin (kireçtaşı) 1400 °C'ye kadar miktarlarda ısıtılması sonucunda üretilir. Bu işlem sonucunda yaklaşık 25 mm çapında klinker adı verilen malzeme üretilir. Daha sonra klinker, bilinen portland çimentosu haline gelebilmesi için alçı ile birlikte öğütülür. Katkılı çimento, portland çimentosu veya portland çimentosu klinkeri, yüksek fırın cürufu, uçucu kül veya diğer

puzolanlar gibi tamamlayıcı malzemelerle öğütülerek veya karıştırılarak üretilir (Boztepe, 2011).

1.10.2. Agregalar ve Özellikleri

Agregalar, beton yapımında su ve çimento ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi daneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık % 60-75'ini agrega oluşturmaktadır. Beton yapımında kullanılan temel malzemeler (agrega, çimento, su) içinde maliyet açısından en pahalı malzeme çimentodur. Agreganın maliyeti, çimento maliyetine göre daha düşüktür. Maliyet ve hacim değişikliği açısından daha kararlı olan agrega hacmini olabildiğince arttırmak ve çimento hacmini azaltmak, istenen bir durumdur. Yol kaplaması betonunda kullanılan agregalar sert, temiz, dayanımı yüksek ve hidrasyonu ve çimento hamuru ile arasındaki bağı etkileyebilecek kil ve diğer ince taneli maddelerden arınmış olmalıdır (Boztepe, 2011; Erdoğan, 2007).

1.10.3. Agregalar Gradasyonu

Gradasyon, agrega danelerinin büyüklüklerine göre ve farklı boyutlardaki eleklerden geçen yüzdeliklerine göre hesaplanmaktadır. Beton yapımında iyi gradasyonlu agrega tercih edilmelidir, bu da betonu oluşturan agreganın her elek açıklığında agrega bulunmasıyla sağlanır. Daha önce de açıklandığı gibi, istenen beton sınıfını sağlamak koşuluyla, agrega hacmi olabildiğince yüksek tutulmalıdır. İyi gradasyonlu bir agregada da ince daneler, iri daneler arasındaki boşlukları dolduracağından, hacim maksimize edilmiş olur. Betonun işlenebilir olması için, beton karışımı her agrega danesini kaplayabilecek kadar yeteri çimento hamuruna sahip olmalıdır. Fakat çimento hamurundaki su miktarının fazla olması da su geçirgenliğinin artmasına ve dayanımın azalmasına sebep olarak, betonun uzun süreli dayanıklılığını etkilemektedir. Bu sebeple, optimum su içeriğini elde etmek son derece önemli olmaktadır. Ayrıca iyi gradasyonlu agregadan oluşmuş karışımlar, büzülme ve su geçirgenliğine daha dayanıklı olmaktadır. Şekil 15'de elek analizi için kullanılan agrega örnekleri, Şekil 16'da ise elek analizi yapılırken kullanılan elekler gösterilmiştir. (Boztepe, 2011).



Şekil 15. Elek analizi için alınan agrega örnekleri.



Şekil 16. Elek analizi için kullanılan elekler.

1.10.4. Agrega Dane Şekli

Kaplama betonunda kullanılan köşeli agrega tanecikleri, agrega kenetlenmesi nedeniyle daha yüksek eğilme dayanımı sağlar. Köşesiz ve parlatma özelliklerine sahip olmayan ince taneli agregalar, işlenebilirliği azaltmasına rağmen yüksek kayma direnci sağlar (Boztepe, 2011).

1.10.5. Agregada Durabilitesi

Beton yolların ekonomik olarak uygun bulunmasının bir nedeni, diğer kaplama türlerine göre daha uzun ömürlü olmalarıdır. Bu nedenle, yeni bir kaplamanın mümkün olduğunca dayanıklı olmasını sağlamak önemlidir (Boztepe, 2011).

Betonu oluşturan agregalar don dayanıklılığına sahip değilse betonda D – çatlakları, açılmalar (popout) veya eritici tuzdan kaynaklanan bozulmalar oluşabilir. Agregada daneleri iri boşluklu yapıya sahip ise donma-çözülme etkisine karşı hassas olurlar. Dona hassas olan agreganın kullanıldığı betonlarda, oluşan bu donma-çözülme bozulması, beton döşemede D-çatlaması olarak adlandırılan çatlakların oluşmasına sebep olur. D-çatlakları kolayca belirlenebilirler. D-çatlağı, betonun bütünlüğünü tehlikeye düşürebilecek önemli bir problemdir. Bu sebeple, karışım tasarlanırken, donma-çözülme hassasiyeti olmayan agregaların seçilmesi gerekmektedir. Betonda bu tür agregaların kullanılması durumunda ise maksimum dane büyüklüğünü azaltarak ve iyi bir drenaj sağlayarak bu problem azaltılabilir (Boztepe, 2011). Şekil 17 ve Şekil 18’de sırasıyla açılma ve D-çatlağı olayı gösterilmiştir.



Şekil 17. Beton yüzeyindeki bir açılma (Boztepe, 2011).



Şekil 18. D-çatlakları (Boztepe, 2011).

1.10.6. Su

Bilindiği gibi, agreganın ve çimento yanı sıra, su, betonu oluşturan bir başka temel malzemedir. Beton malzemelerin karıştırılmasında kullanılan karışım suyunun iki ana işlevi vardır. Bunlardan ilki, çimento ile birleşerek hidrasyonun gerçekleşmesini sağlamaktır. Diğeri, karıştırma işleminde çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatmak suretiyle taze betonda istenen işlenebilirliği elde etmektir. Beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun niteliği ve miktarı, betonun özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Beton karışımında kullanılan suyun içinde yabancı maddelerin bulunmaması gerekmektedir. Sonuç olarak, taze betonun priz süresi, sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı etkilenebilir. Genel bir tanımlamaya göre, içme suyu beton karışımında kullanıma uygundur (Erdoğan, 2007).

1.10.7. Katkı Maddeleri

Karıştırma işleminden önce veya karıştırma işlemi sırasında beton karışımını oluşturmak için kullanılan temel malzemelere (su, çimento ve agrega) eklenen malzemeler beton katkı maddesi olarak adlandırılır. Bu maddeler, bazı özelliklerini

değiştirerek betonun performansını artırmak ve/veya betonu daha ekonomik hale getirmek için kullanılır. Çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere farklı malzemelerden yapılmış birçok katkı maddesi vardır. Beton karışımında kullanılan katkı maddeleri genellikle şunlar için kullanılır:

- Karışım suyuna duyulan ihtiyacı azaltmak,
- Taze betonun priz süresini uzatmak veya kısaltmak,
- Betonun dona karşı direncini arttırmak,
- İşlenebilirliği arttırmak,
- Sertleşmiş betonun mukavemetini ve dayanıklılığını arttırmak,
- Su geçirgenliğini azaltmak (Erdoğan, 2007).

1.10.8. Donatı

Beton yollarda donatı kullanımı, betonun düşük çekme dayanımından kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi, betonun çekme dayanımı, basınç dayanımına kıyasla çok düşük kalmaktadır. Bu nedenle beton yol üzerinde donatı kullanımı betonun çekme gerilmelerini taşımasını sağlar ve döşemede çatlak oluşumunu önlemeye yardımcı olur. Derzli beton kaplamalarda, derzler arasındaki mesafe kısa tutularak genellikle çatlak kontrolü sağlanır. Donatı kullanılırsa derz boşlukları artırılabilir. Beton yollarda donatının kullanıldığı diğer alanlar ise kayma demiri ve bağlantı demirlerinin kullanıldığı yerlerdir. Beton yoldaki enine derzlerin arasına kayma demirleri yerleştirilir ve derzler arasında yük aktarımı sağlamak için kullanılır. Kayma demirlerinin yüzeyleri pürüzsüz (nervüzsüz) olmalıdır. Yüzeylerinin pürüzsüzlüğü nedeniyle, mevsimsel genişleme ve zeminde büzülme nedeniyle döşemenin yatay hareketlerini kısıtlamazlar. Kayma demirlerinin çapı için önerilen değer döşeme kalınlığının yaklaşık 1/8'i kadardır. Kayma demiri çapının 25 mm ve daha düşük olduğu, ağır taşıt trafiğine maruz beton kaplamalarda, kayma demirlerine yakın bölgelerde, yüksek eğilme gerilmeleri gözlemlenmiştir. Kayma demirlerinin bilinen uzunluk değeri ise 455 mm ve bazen de 380 mm olmaktadır. Bu uzunluk esasında derzin her iki tarafında uygulanacak gömme derinliği ile alakalıdır. Kayma demirleri arasındaki önerilen standart mesafe değeri 305 mm olsa da, bu mesafe hafif trafiğe hizmet verecek kaplamalar için 380 mm olarak

uygulanabilir. Bağlantı demirleri ise, boyuna derzler arasına yerleştirilen demirlerdir ve amaç yanal hareketleri önlemektir. Bağlantı demirlerinin hareketi engelleyebilmeleri için nervürlü olmaları gerekmektedir. Bağlantı çubuğunun çapı, uzunluğu ve aralığı, kaplamanın kalınlığına, kullanılacak malzemeye ve bağlanacak beton plağın uzunluğuna bağlı olarak değişebilir. Bağlantı demirinin uzunluğu 800 mm'den fazla ise, bağlantı demirleri 450 mm aralıklarda yerleştirilmelidir (Boztepe, 2011).

1.10.9. Kür Malzemeleri

Betonun yeteri kadar hidrasyon yapabilmesini için özellikle ilk günlerde, betonun içerisinde yeterli miktarda su ve sıcaklığın bulundurulması ve bu koşulların korunması gerekmektedir. Bu koruma işlemine, betonun kürü veya betonun bakımı denmektedir (Anonim, 1997).

Uygulanacak olan kür bileşenleri, beton dökme ve yüzey pürüzlendirme işlemleri sona erdikten sonra, beton yüzeyine uygulanırlar. Çimento hidrasyonu, kimyasal olarak yavaş gelişen bir reaksiyondur. Beton yüzeyinin zamanından önce kuru bırakılması, reaksiyonun durmasına sebep olur buda betonun arzu edilen dayanıklılık, dayanım gibi özelliklerinin beklenenden daha kötü olması sonucunu doğurur. Uygun bir kür işlemi yüzeyin geçirgenliğini azaltır ve yüzey direncini hava koşullarına ve aşınmaya karşı artırır. Taze beton yüzeyi kurumaya başlamadan hemen önce kür işlemi, uygulamaya başlanmalıdır. Aksi takdirde, yapılacak işlemin bir faydası olmamaktadır (Boztepe, 2011).

1.11. Bor

Simgesi B olan borun atom numarası 5, yoğunluğu $2,84 \text{ gr/cm}^3$, atom ağırlığı 10,81, kaynama noktası $4002 \text{ }^\circ\text{C}$, ergime noktası $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ olup periyodik sistemin üçüncü grubunun başında yer almaktadır. Temel hal elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^1$ 'dir. İlk üç iyonlaşma enerjisi 800,6, 2427,1 ve 3659,7 kJ/mol' dür. Tabiatta bulunan bor, 10 (% 19,8) ve 11 (% 80,2) kütle numarasına sahip iki kararlı izotop karışımından ibarettir (Zorer, 2005).

Bor doğada serbest halde bulunmaz. Bor minerallerinden elde edilen elementel bor iki farklı biçimde olabilir. Kristal halde olan parlak siyah renkli ve sert; amorf halde olan yeşilimsi sarı renkli, kokusuz tatsız bir tozdur. Su ile 100 °C üzerinde, oksijen ile 700 °C’ de ve hidrojen ile 840 °C’de reaksiyona girer. Endüstride bor element olarak neredeyse hiç kullanılmaz (Yıldız, 2008).

Borun kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron büyüklüğündeki amorf bor kolayca ve bazen çok şiddetli tepki verirken, kristalin bor ise kolayca tepki vermez. Bor, borik asit ve diğer bazı ürünleri oluşturmak için yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girer. Borun mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlayıcı olabilir ve ana ürün olarak borik asit ortaya çıkar (Eyyüboğlu, 2013).

1.11.1. Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri

Elementel bor, oda koşullarında kararlıdır. Elementel bordan farklı oksitler oluşturmak için 800 °C ve üstü sıcaklıklara yükseltmek gerekir. Sulu ortamda çözünmeyen bor, yavaşça kaynatıldığında oksitlerine dönerek çözünür. Bor oksitleri veya elementel borun, bor karbüre dönmesi için kömür tozu gibi karbonlu bileşiklerle havasız ortamda 1250 ila 1600 °C gibi yüksek sıcaklıklarda işleme tabi tutulması gerekmektedir. Bor karbürden kübik bor (elmastan sonra bilinen en sert malzeme) elde etmek için, yüksek sıcaklık ve basınç gibi ilave şartlar gerekir. Bor elementinin fiziksel özellikleri aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir (Erdoğan, 2006).

Tablo 1. Bor elementinin fiziksel özellikleri.

Özellik	Değeri
Atomik Ağırlık	10.811±0.003
Atomik Çapı	1.17 Å ⁰
Kristal Yapı	Rombohedral
İyonik Çapı	0.23 Å ⁰
Ergime Noktası	2190±20 °C
Kaynama noktası	3660 °C
Isıl genleşme katsayısı	(25-1050°C'de)5x10 ⁶ - 7x10 ⁶
Buharlaşma Isısı	128 kcal/g atom
Fusion Isısı	5.3 kcal/g atom
Oksidasyon Isısı	3
Elektronegatifliği	2
İyonlaşma Derecesi	191 kcal/g atom
Knoop Sertliği	2100-2580 HK
Mohs Sertliği (elmas-15)	11

1.11.2. Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri

Borun bütün bileşikleri kovalent yapıya sahiptir. Kristal bor, birçok kimyasal reaksiyonla ilgisiz olsa da, amorf yapıdaki bor aktiftir. Havada 100°C de yavaşça okside olmakta ve yüksek sıcaklıklarda yeşil alev vererek yanmaktadır. Halojenler doğrudan oksijen, kükürt, azot ve karbon bor ile birleşir. Birleşme hemen veya ametal elektronegatifliğine göre yüksek bir sıcaklıkta meydana gelir (Erdoğan, 2006).

1.11.3. Bor Madeninin Tarihçesi

19. yüzyılın başlarında, Fransız bilim adamları Joseph Louis Gay-Lussac ve Louis Jacques Thenand ve İngiliz bilim adamı Sir Humphrey Davy, borun yaklaşık aynı tarihte parçalanmasını sağlayarak bor elementini keşfetti. Bununla birlikte, % 99 saflığa sahip ilk kristal bor, 1909'da elde edilmiştir (Erdoğan, 2006).

Boraks mineralinin kullanımı ile ilgili ilk yazılı metin 762'de Mekke, Medine ve Bağdat çevresindeki Arap yerleşimlerinde bulunur. Modern bor endüstrisi, 13. yüzyılda Marco Polo tarafından Tibet'ten Avrupa'ya götürülen bor ile tanıtılmaya başladı. 1771 yılında, İtalya'nın Toscana bölgesindeki sıcak su kaynaklarında Sassolit bulunduğu anlaşılmış 1852'de Şili'de endüstriyel boraks madenciliği başlamıştır. ABD'nin Nevada, California, Caliko Mountain ve Kramer'deki yataklarının keşfedilmesiyle birlikte, ABD dünyada bor ihtiyacını karşılayan ilk ülke oldu. Türkiye'de ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizamnamesi uyarınca 1865 yılında bir Fransız şirketine işletme imtiyazı verilmesi ile başladığı bilinmektedir (Öner, 2008).

1.11.4. Türkiye' de Bor Üretiminin Tarihçesi

1850'li yılların başında, Bebek'te mermer ticareti yapan Polonyalı mülteci Henri Groppler eski ortağı Fransız mühendis Camille Desmazes'e alçı taşından yaptığı heykeller hediye eder. Heykelleri incelediğinde yüksek oranda boraks olduğunu anlayan Fransız Camille Desmazes, ortağı ile birlikte Türkiye'nin çeşitli vilayetlerinde boraks aramaya başlar ve Balıkesir ili Susurluk ilçesi yakınlarındaki Sultançayırı mevkiinde boraks madeni bulurlar. İki arkadaşın bulduğu aslında "pandermit" adı verilen bir bor minerali türüdür.

1950 yılında Sultan çayırındaki cevherler Borax Consolidated Ltd.'ye devredilmiştir. Borax Consolidated 1951 yılında 11.000 tona yakın ihracat yapmıştır 1954 yılında bor cevherinin tükendiğini ileri sürerek, Sultançayırı ocağını kapatır.

MTA'nın Kütahya/Emet yöresinde Tersiyer Linyit Araması yaptığı sırada kolemanit yatağına rastlanır. İlk jeolojik tespitlerden sonra yapılan çalışmalarla ruhsat 15 Mayıs 1958'de Etibank'a devrolunur. Verilen ruhsattan sonra, Etibank 1958 ve 1959 yıllarında aramalarını sürdürürken üretime de geçer.

1.11.5. Ticari Öneme Sahip Bor Mineralleri

Bor mineralleri boratlar grubundadır. Altı ana başlık altında incelenen boratlar grubu; kristal suyu içeren boratlar, bileşik boratlar, borik asit, susuz boratlar, borofluoritler ve borosilikat mineralleri olarak isimlendirilirler.

Bor metamorfik kayalarda borosilikat, tortul kayalarda ise borat olarak bulunur. 200'den fazla çeşitte bor minerali vardır. Bu bor minerallerinin büyük bir kısmı doğada nadir olarak bulunur ve ticari önemleri yoktur. Ticari önemi sahip olanların çoğu borun oksijenli ve toprak alkalileri olan bileşikleridir (Erdoğan, 2006).

Tablo 2. Ticari bor mineralleri (Zorer, 2005).

Mineral	Formül	% B ₂ O ₃	Bulunduğu yer
Boraks (Tinkal)	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.6	Türkiye, ABD, Arjantin
Kernit (Razorit)	Na ₂ B ₄ O ₇ .H ₂ O	51.0	Türkiye, ABD, Arjantin
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.0	Türkiye, Arjantin
Propertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49.6	ABD
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.8	Türkiye, ABD
Pandermit (Priseit)	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49.8	Türkiye
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2	Almanya
Szaybelit	MgBO ₂ (OH)	41.4	Kazakistan, Çin
Hidroborasit	CaMgBO ₁₁ .6H ₂ O	50.5	Türkiye

1.11.5.1. Boraks (Tinkal) (Na₂B₄O₇.10H₂O)

Saydam ve renksiz olmasına karşın, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar nedeniyle gri, sarımsı ve pembe renklerde bulunabilir. Özgül ağırlığı 1.7, sertliği 2-2.5,'dir. B₂O₃ yüzdesi 36.5 dolayındadır. Türkiye'de Eskişehir-Kırka yatağında bulunur (D.P.T., 2001).

1.11.5.2. Kernit (Na₂B₄O₇.H₂O)

Saydam beyaz, renksiz uzunlamasına bireysel iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Özgül ağırlığı 1.95, Sertliği 3'dür. Atmosferik koşullarda tinkalkonite

dönüşür. B_2O_3 içeriği % 51.0'dir. Kırka'da bulunan yataklarda Sodyum borat kütlesi derin kısımlarında bulunur. Dünyada ise A.B.D ve Arjantin'de bulunur (D.P.T., 2001).

1.11.5.3. Üleksit ($NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$)

Lifli, karnabahar ve masif sütun şeklindedir. Saf olanı gri veya beyaz renk olup tonlarında da bulunabilir, ipek parlaklığında olanları da vardır. Türkiye'de Kırka, Bigadiç, Emet borat yataklarında yaygın olarak ve Bigadiç yatağında ikinci cevher olarak bulunur. Emet yatakları üç farklı seviyede bulunur. Burada hidroborasit ve kolemanit ile birlikte bulunur. Kırka'da borat yatakları içinde inyonit, kolemanit ve boraks ile; kil tabakaları içinde ise inderit ve kurnakovit ile birlikte bulunur (D.P.T., 2001).

Üleksit Mineralinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

- (B_2O_3) Borat içeriği % 43'tür.
- Kimyasal Formülü: $Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$
- Renk: Beyaz
- Erime Sıcaklığı: $870^\circ C$
- Özgül Ağırlığı: $1,955 \text{ gr/cm}^3$
- Mohs Sertliği: 2,5

Ayırıcı özellikleri: Düşük yoğunluğu, Pamuk yumağı şekli, sıcak suda çözünür fakat soğuk suda çözünmez. Ayırışması durumunda Kolemanit ve jips'e dönüşür (URL-6).



Şekil 19. Üleksit minerali (URL-6).

1.11.5.4. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Killer içinde cevher boşluklarında parlak, iri, saydam kristaller halinde bulunur. Türkiye'nin Bigadiç, Kestelek, Emet, Kırka, Sultançay borat yataklarında yaygın olarak oluşmuştur. Kırka hariç diğer yatakların ana cevheridir (D.P.T., 2001).

Kolemanit Mineralinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

- Kimyasal Bileşimi: $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ /(oksitli bileşik hali)
- Sertlik: 4,5 Mohs (betonun sertliği 8)
- Özgül Ağırlık: 2,42 gr / cm^3 .
- Renk ve Şeffaflık: Renksiz, beyaz; şeffaf - yarı şeffaf .
- Parlaklık: Camsı.
- Erime Noktası: 930°C

Ayırıcı özellikleri: Mükemmel dilinimi, Kristal formu, diğer boratlardan daha sert olması, kıvrılır, üfleç alevinde çatırdar, sinterleşir ve erir.



Şekil 20. Kolemanit minerali (URL-6).

1.11.6. Bor Rezervleri

Bor yeryüzünde, kayalarda ve yeryüzündeki sulara yaygın olarak bulunan bir elementtir. Toprağın bor içeriği 10-20 ppm olmasına rağmen, Kazakistan'ın Akdeniz'in ve ABD'nin batı bölgelerinde yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Tatlı sulara 0.01-1.5 ppm ve deniz suyunda 0.5-9.6 ppm, aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri olarak daha çok ABD ve Türkiye'nin

hidrotermal, volkanik ve kurak aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır (Yıldız, 2008).

Tablo 3. Dünya bor rezervleri (Bin Ton B₂O₃) (URL-4).

Ülke	Toplam Rezerv (Bin Ton B ₂ O ₃)	Toplam Rezerv (% B ₂ O ₃)
Türkiye	953.300	72,8
Rusya	100.000	7,6
A.B.D.	80.000	6,1
Çin	47.000	3,6
Şili	41.000	3,1
Sırbistan	24.000	1,8
Peru	22.000	1,7
Bolivya	19.000	1,5
Kazakistan	15.000	1,1
Arjantin	9.000	0,7
TOPLAM	1.310.300	100,0

1.11.7. Türkiye Bor Rezervleri ve Yatakları

Türkiye’de özellikle bilinen bor yatakları Bigadiç/Balıkesir, Kırka/Eskişehir, Emet/Kütahya’da ve Kestelek/Bursa bulunmaktadır. Türkiye’de bor cevheri rezervleri bakımından en bol bulunan kolemanit ve tinkal’dır. Türkiye’de önemli kolemanit yatakları Bigadiç ve Emet’de tinkal yatakları ise Kırka civarında bulunmaktadır. Ayrıca, Bigadiç’te küçük bir üleksit rezervi vardır (URL-5).

Bor yataklarının özellikleri genel olarak şu şekilde özetlenebilir;

- Miyosen yaşlı playa-göl ortamlarında oluşmuşlardır.
- Yataklarda bor mineralleri; şeyil, kıltaşı, çamurtaşı, ince bantlı kireçtaşları ve tuf gibi tortul kayaçlar içerisinde oluşur.
- Kıltaşı ve kireç taşı çökeltileri, bor minerallerinden önce ve sonra bor birikintilerinde yaygındır (Yıldız, 2008).

1.11.7.1 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Eskişehir ilinin 70 km güneyinde, Kırka Ocağı'nın 4.5 km batısında yer almaktadır. Dünyanın en büyük bor rezervlerinden olan Kırka-Sarıkaya Boraks yatağı 1950-1960 yılları arasında vatandaşlarımız tarafından arama ruhsatı alınarak yaptıkların aramalar neticesinde bulunmuştur. 1968 yılında M.T.A tarafından yapılan arama sondajlarından, Kırka Sodyum Tuzu cevheri tespit edilmiştir (URL-5).

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nün tinkal üretimi yıllık yaklaşık 3 milyon ton civarındadır. Kırka-Sarıkaya Boraks yatağından açık ocak yöntemiyle sürdürülen madencilik faaliyetlerinde elde edilen tinkal; Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nde boraks pentahidrat, susuz boraks, boraks dekahidrat, kalsine tinkal ve borlu temizlik ürünü olan Etimatik (günümüzde Boron)'e dönüştürülerek kullanıma hazır hale getirilmektedir. Tinkal cevherinden üretilen yüksek katma değerli boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat; yangın söndürücü, yapıştırıcı, tarım ilacı, gübre, çamaşır suyu, sabun ve tekstil boya gibi birçok üründe kullanılmaktadır. Ayrıca tesis bünyesinde yüksek verimli hale getirilen susuz boraks; sert camlar, izolasyon cam yünü, metalürjik olarak ergitici kaynak ve lehim malzemelerinin kullanımında etkin bir rol oynamaktadır. Birçok sektör ve endüstri tarafından yaygın olarak kullanılan susuz boraks, bünyesine katıldığı ürünün dayanıklı ve sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır (URL-5).



Şekil 21. Eskişehir Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nün görünüşü (URL-5).

1.11.7.2. Emet Bor İşletme Müdürlüğü

Kütahya il merkezinin güneybatısında, Emet ilçesinde bulunur ve Kütahya'ya 100 km uzaklıktadır. Türkiye'nin bor minerallerinin önemli bir bölümünü oluşturan Kütahya-Emet yatağı 1956 yılında bulunmuştur.

1958 yılında Etibank-Emet Kolemanit Madencilik İşletmesi Şantiye Şefliği olarak kuruldu ve 24.02.1962 tarihinde bir Kuruma dönüştürüldü. M.T.A tarafından Etibank' a transfer edilen alanlar; kuzeyde Emet'e 3.5 km mesafedeki Espey, güneyde ise Hisarcık'a 4 km mesafedeki Hamamköy bölgesini içine almaktadır. Espey ve Hisarcık Açık işletmelerinde üretilen cevher yine buralardaki konsantratörlerde zenginleştirilerek satışa hazır hale getirilmektedir (URL-5).

Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde konsantre kolemanit, borik asit, Eticol-Ceramic ürünleri üretilmektedir (URL-5).



Şekil 22. Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nün görünüşü (URL-5).

1.11.7.3. Bandırma Bor İşletme Müdürlüğü

Bor Madenlerini ve Bor Rafinasyon Tesislerini işletmek üzere kurulmuştur. Balıkesir'in Bandırma ilçesinde bulunmaktadır. Boraks, borik asit, Sodyum Perborat Fabrikaları ve Yardımcı Birimler Bandırma, Balıkesir yolu üzerindeki ilçe merkezine 4 km uzaklıkta bulunan 677.750 m² alana kuruludur. Sülfürik Asit Fabrikası 247.350 m² alanda, Bandırma-Erdek karayolu üzerinde şehir merkezine 6 km uzaklıktadır (URL-5).

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün elinde bulunan sahalardan çıkarılan kolemanit ve tinkal; Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü'nde işlenerek Etibor-48, Borik Asit, Boraks Dekahidrat, Boraks Pentahidrat, Öğütülmüş Kolemanit, Etidot-67, Susuz Boraks, Bor Oksit (Amorf ve Camsı), Çinko Borat olarak kullanıma hazır hale getiriliyor (URL-5).



Şekil 23. Balıkesir Bandırma Bor İşletme Müdürlüğü görünüşü (URL-5).

1.11.7.4. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

İşletme Müdürlüğü, Bigadiç ilçesinin 12 km Kuzeydoğusunda Osmanca Köyü hudutları içinde kurulmuştur. Osmanca Köyü işletmeden 2 km uzaklıkta olan Maden Sahaları içinde kalan İskele Beldesi'ne bağlıdır. İşyerlerinin işletmeye olan uzaklıkları 1-5 km arasında değişmektedir. İşlenen bor mineralleri kolemanit ve üleksittir. Maden kazanımı ve işlemi 3 açık ocak (Tülü Açık Ocağı, Acep Açık Ocağı ve Simav Açık Ocağı) alanında yapılmaktadır. Bunların dışında Bigadiç İşletme Müdürlüğüne bağlı birim olarak Kestelek ocağı faaliyetini sürdürmektedir. Çıkarılan maden, kondansatör tesisinde ve sonra kırma-öğütme tesisinde işleme tabi tutulur. İşletmenin ilk kondansatör tesisi 1980 yılında kurulmuş ve 150.000 ton/yıl cevher işleyerek kapasiteye sahip idi. 1990 ve 2007 yıllarında, artan öğütülmüş ürün talebini karşılayabilmek için, kapasite arttırılmış ve günümüzde tesis kapasitesi 945.000 ton/yıl olarak bildirilmektedir (URL-5).

Tesislerde üretilen; konsantre üleksit ve kolemanit; ses yalıtımı, ısı, metalurji, seramik, cam, cam elyaf ve cüruf yapımı alanında kullanılmaktadır. Öğütülmüş üleksit ve kolemanit ise, ilaç ve tarım sektöründe kullanılmaktadır (URL-5).



Şekil 24. Balıkesir Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü görünüşü (URL-5).

1.11.8. Bor Minerallerinin ve Bileşiklerinin Kullanım Alanları

Bilinen ilk bor bileşiği olan Tinkal eski çağlardan beri bazı medeniyetler tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Bor madeninin çok özel kimyasal özelliklerinden dolayı, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra bor katkılı teknolojiler hızla gelişmiştir. Bugün rafine ürün, hammadde ve nihai ürün şeklinde 250'yi aşkın kullanım alanı oluşmuştur. Bor, ilave edildiği malzemelerin katma değerlerini olağanüstü derecede yükseltmektedir. (Zorer, 2005).

1.11.8.1. Tarımda Kullanım

Eti Maden İşletmeleri bünyesinde yürütülen Ar – Ge çalışmalarında 2010 yılında Etidot-67 adı verilen, tarım alanlarında verimli ürünler üretmesine yardımcı olan ürün elde edilmiştir. Etidot-67, borik asit ve boraks reaksiyonundan üretilerek önemli bir bitki besin maddesi olmuştur. Suda eritilerek yaprak ve toprak uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca ahşap malzemeleri, böcek ilacı ve mantar gibi zararlı organizmalardan korumak amacıyla da tercih edilmektedir (URL-5).

1.11.8.2. Temizlik Alanında Kullanımı

1800'lü yıllardan beri kullanılan bor bileşikleri doğal bir temizlik maddesidir. Boraks ürünü, herhangi bir kimyasal işlem görmeden yeryüzünden çıkartılan bordan elde edilir. Boraks; sodyum su, oksijen ve bordan oluşan doğal bir bileşiktir. Boratlar; Temizlik sektöründe lekeleri yumuşatmak ve ağartmak, dengeleyici enzimler ve su yumuşatma gibi performans artırıcı özellikleri nedeniyle önemli bir yere sahiptir. Bu özelliklerden dolayı daha etkin kullanım için Ar-Ge çalışmaları yürütülmektedir. Petrol türevleri nedeniyle insan ve çevre sağlığı deterjanlarının sakıncaları göz önüne alındığında, boraks doğallığı ile öne çıkıyor. Eti Maden şu anda dört ürün çeşidine sahiptir: Genel Bor Temizlik Ürünü, Beyazlar, Renkliler ve Tüller için Boron (URL-5).

1.11.8.3. Metalürji Alanında Kullanımı

Türkiye'de ve dünyada hurda malzemelerden ve demir madeninden beslenen demir-çelik sanayisinde hurda malzemelerin tekrar kullanılmasını sağlayan eritme işlemi sırasında ortaya çıkan ve cüruf olarak adlandırılan toz halindeki madde sıkışma özelliğine sahip olmadığından çok yer kaplamaktadır. Taşıma ve depolama işleminde büyük sıkıntılara neden olan bir yan üründür. Bor ilavesiyle kompakt bir yapıya dönüştürülen cüruf, depolama ve nakliye problemlerini ortadan kaldırarak yeniden kullanılabilir hale geliyor. Bor ürünlerinin katılımı ile elde edilen cüruf, insan sağlığını tehdit etmemektedir ve çevreye karşı hassastır. Düşük depolama maliyetleri ile tasarruf sağlar (URL-5).

1.11.8.4. Seramik Alanında Kullanımı

Kayaların parçalanmasıyla oluştuğu için seramik insanlığın uzun yıllardan bu yana kullandığı bir malzemedir. Bor ve bor ürünlerinin kullanımı ile seramik, fiziksel etkilere ve kimyasallara karşı daha dayanıklı yeni bir yapıya ulaşıyor. Dünyada bor tüketiminin yaklaşık % 13'ü seramik sektöründe gerçekleşmektedir. Seramik sır ve emaye üretiminde ürünler ısıya, kimyasal maddelere ve fiziksel etkilere karşı dayanıklıdır (URL-5).

1.11.8.5. Cam Alanında Kullanımı

Türkiye’de üretilen bor ürünleri, cam sektöründe hem iç hem de dış pazarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özgün özellikleri sayesinde birçok sektörde tercih edilen bor, özellikle cam endüstrisinin önemli hammaddelerinden biridir. Cam ürünleri bor katkısıyla birlikte ısıya ve kimyasallara dayanıklı bir hale dönüşmektedir.

Isı etkisiyle sıvı hale getirilerek ergonomik yapıya dönüştürülen cam elyaflarından üretilen cam yünü, üretim aşamasında ilave bor oksit içeriği ile güçlü ve dayanıklı bir yapıya sahiptir. Ses ve ısı yalıtımında kullanılan cam yünü; şilteler, levhalar, borular ve dökümler çeşitli şekillerde üretilir. Duvarların iç yüzeyleri ve betonarme, asansör ve merdiven boşlukları, metal, ahşap ve oturma çatıları, dış cephe yalıtımı, endüstriyel borular, merkezi ısıtma sistemleri vb. alanlarda kullanılmaktadır (URL-5).

1.11.8.6. Yalıtım Alanında Kullanımı

Ses, ısı ve yangın yalıtımında önemli bir unsur olan yalıtım malzemeleri doğal malzemelerden üretilmektedir. Bor ve bor ürünlerinin katkısıyla daha da etkili bir kullanım alanına sahip olmakta selüloz ve bor karışımıyla oluşturulan borlu yalıtım malzemeleri uzun kullanım ömrü ile kapalı alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Doğayla uyumlu bir ürün olan ve güçlü ısı yalıtımı sayesinde ısı değişiminin önüne geçerek kapalı alanlarda enerji tasarrufu sağlayan borlu yalıtım malzemeleri; insan sağlığına hiçbir şekilde zarar vermez ve her türlü yüzeye kolaylıkla uygulanarak yaşam alanındaki konforu maksimum seviyeye ulaştırır. Bor ve bor içerikli yalıtım malzemeleri tasarruflu, dayanıklı ve güçlü bir yalıtım alanı oluşturulur.

Isı ve ses yalıtımına ek olarak, bor katkısı ile yangın yalıtımı sağlayan bu malzemeler, olası yangın durumlarında mekânın oksijenle buluşmasını engeller ve alev oluşumunu geciktirir. Duman emisyonunu en aza indirir ve insan sağlığını tehdit eden gazların salınma süresini uzatır. Tekstil endüstrisinde yaygın olarak tercih edilen bor yalıtım malzemeleri, yanma ve patlama riski olan ürünlerle ilgili birçok sektörde

kullanılmaktadır. Çevreye duyarlı, güven ve konfor sağlayan bor ve bor ürünleri içeren yalıtım malzemeleri, kaliteyi yaşam alanlarında en üst seviyeye taşımaktadır (URL-5).

1.11.8.7. Fiberglass Endüstrisindeki Kullanımı

Günlük yaşamımızda kullandığımız birçok ürün arasında bor ürünleri var. Bor ürünlerinde kullanılan cam elyafı, birçok endüstriyel alanda ahşap ve metale alternatif bir ürün olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Fiziksel ve kimyasal işlemlerle yüksek sıcaklıkta erimiş camların katılaşması sonucu elde edilen tekstil tipi cam elyafı; Yüksek büzülme, darbeye, kimyasal reaksiyonlara karşı hafif, dayanıklı ve düşük maliyetli bir üründür (URL-5).

Bor ürünleri arasında en çok tüketilen ürün olan fibreglas, ısı ve elektrik iletmeyen, çatlama, bükülme, genişleme, yarıma, çizilmelere ve aşınmaya karşı oldukça dayanıklı bir üründür. Zorlu ve farklı iklim koşullarına kolayca uyum sağlar. Aynı zamanda, çoğu sektörde genellikle yalıtım malzemesi olarak kullanılır, çünkü ısıyı minimum seviyede iletir. Fiziksel etkilere karşı hafif ve dayanıklı, düşük maliyetlerle üretilen bor; otomotiv, inşaat, tekstil, havacılık ve uzay endüstrisi, dekorasyon ürünleri, denizcilik, askeri sanayi, rüzgâr enerjisi vb. sektörlerde tercih edilir (URL-5).

1.11.8.8. Enerji Alanında Kullanımı

Petrol ve kömür gibi fosil yakıt rezervlerinin azalması ve bu kaynaklara olan talebin artması, alternatif enerji kaynaklarının aranmasına neden olmaktadır. Teknolojik gelişmelerin sürekliliği ve dünya nüfusunun artması, enerjiye aşırı ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır (URL-5).

Gelişen Dünya'nın enerji kaynakları arasında olan yakıt pilleri hidrojeni elektrik enerjisine dönüştürüyor. Ar-Ge çalışmaları devam eden yakıt pilleri için hidrojen; depolama, üretim, taşıma, yakıt pili geliştirilmesi, kullanım alanlarında sistem entegrasyonu vb. konularda bilimsel araştırmalarla geliştirilmeye devam etmektedir. Bor hidrojen enerjisini yüksek verimlilikte kullanılmasını sağlar ve sodyum borohidrit gibi yakıt hücrelerinin geliştirilmesinde de önemli hammaddelerden biridir (URL-5).

1.11.8.9. İnşaat Sektöründe Kullanım

Bor ürünleri inşaat sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeşitli inşaat malzemelerinde bor katkısı;

- Malzemenin yıpranmasını ve çürümesini önleme,
- Malzeme üzerinde zamanla oluşan lekelenmelere ve renk vermeye karşı koruyucu etki,
- Suya karşı direnç,
- Alev geciktirici,
- Isı ve ses izolasyonu gibi özellikler sağlar (Eyyüboğlu, 2013).

İnşaat sektöründe bor kullanılan alanlardan biri de çimento sektörüdür. Çimento üretiminde klinker üretim aşamasında B_2O_3 katkısının pişirme sıcaklığını düşürerek enerji tasarrufu sağladığı, ayrıca yine B_2O_3 katkısının prizlenme süresini uzattığı bilinmektedir. Bunun dışında bor ürünlerinin kullanıldığı inşaat malzemeleri çatı ve bina kaplamaları ve selülozik izolasyondur. Son yıllarda, shingle olarak adlandırılan çatı kaplama malzemelerinin tüketiminde önemli bir artış gözlenmektedir. Özellikle ahşap binalarda ısı ve ses izolasyonu amacı ile kullanılan ve kullanılmış gazete kağıtlarının boraks-borik asit ile karıştırılması ile elde edilen selülozik izolasyon malzemeleri de gerek üretim maliyetinin düşüklüğü gerekse uygulama kolaylığı açısından özellikle ahşap yapılarda önemli bir tüketim alanı bulmaktadır (Erdoğan, 2006).

Dünya bor tüketiminin önemli bir bölümü seramik sektöründedir. Ham ve rafine bor ürünleri seramik sektöründe sır ve frit üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bor kullanımı; sıranın kırınım değerini yükselterek parlaklığını artırmak, viskozite ve yüzey gerilimini düşürerek pürüzsüz bir yüzey oluşumunu sağlamak, mekanik gücünü ve çizilme direncini artırmak, yüzeyi bazı kimyasal Etilere karşı korumak, termal genleşme katsayısını düşürerek sır ile kil arasındaki uyumu kolaylaştırmak amaçlarına yöneliktir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

Yapılan bu çalışmada materyal olarak agrega, ticari öğütölmüş kolemanit (C-45 μm), kalsine edilmiş ticari öğütölmüş kolemanit ve çimento kullanılmıştır. Kullanılan materyallere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.2. Agregalar

Çalışmada kullanılan agrega Rize ili İkizdere ilçesinde Cevahir Hazır Betona ait taş ocağından alınmıştır. Taş ocağı Şekil 25’de gösterilmiştir. Aynı işletmeye sahip konkasörlerde kırılarak. Agrega TS 706 standardına uygun 0-4 mm, 5-16 mm ve 16-31.5mm dane çapında kırmataş agregası haline getirilmiştir. Kullanılan agregalar Şekil 26’de gösterilmiştir.



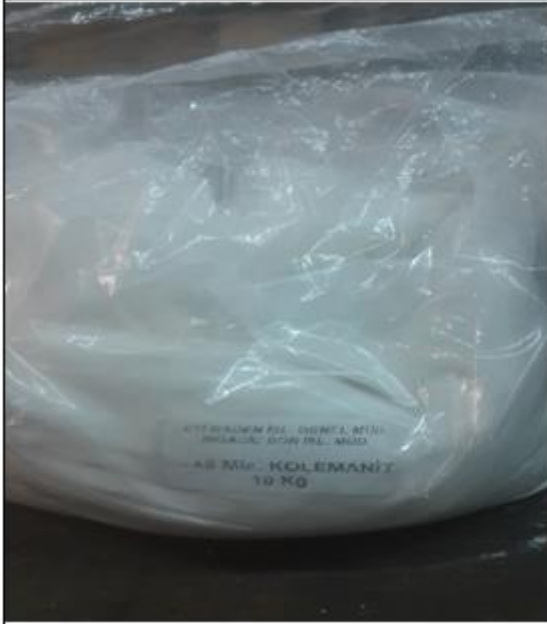
Şekil 25. Cevahir Hazır Betona ait taş ocağı.



Şekil 26. Bu çalışmadaki kullanılan agregalar.

2.3. Ticari Kolemanit Minerali (C-45 μ m)

Balıkesir Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen bor madenin bir türü olan ticari öğütülmüş kolemanit ve kalsine işlemine tabi tutulan ticari öğütülmüş kolemanit bu çalışmada çimentoya ağırlıkça ilave edilerek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ticari kolemanit Şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Çalışmada kullanılan kolemanit minerali.

2.4. Çimento

Beton harcı hazırlanırken Trabzon Çimento fabrikasında üretilen TS 19 ve TS22'ye uygun CEM II 42,5R Puzolanik portland çimentosu kullanılmıştır. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Kompozisyon(%)		Çimentonun Fiziksel Özellikleri
SiO ₂	22,34	Özgül ağırlık (gr/cm ³) 3.10
Al ₂ O ₃	5,35	Priz Başlangıcı(dk.) 170
Fe ₂ O ₃	3,34	Priz sonu (dk.) 230
CaO	57,96	Hacim genişlemesi (mm) 1
MgO	2,14	Özgül Yüzey, (cm ² /gr. Blaine) 3630
SO ₃	2,86	Çimentonun Basınç Dayanımı (MPa)
Cl	0,01	2 gün 26,8
Kızdırma kaybı	2,53	7gün 38,9
Çözünme kalıntı	1,68	28gün 51,8

2.5. Elek Analizi (Granülometri)

Granülometri standartta belirtilmiş bir seri üst üste konmuş eleklerden elenerek belirlenir. Dünya'da da yaygın olarak elekler 0,25 ten başlayıp her 2 şer kat şeklinde artarak (0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128) devam ederler. Türkiye'de yaygın olarak 0,25 den 32 ye kadar olan seri kullanılır. Şartlar d_{max} için 32 yi uygun görmüştür. d_{max} yığındaki agregalar elendiğinde Agreganın geçtiği en son eleğin ismi ile anılır. Yani granülometri için agregayı eleklerle boşalttığımızda bütün malzeme 32 lik elekten geçip 16 lıkta kalıyorsa d_{max} 32 denir. Aynı şekilde 64 den geçipte 32 de kalsaydı geçtiği en son elek olan 64 ü d_{max} olarak alacaktık. d_{max} donatı aralığı kalıp büyüklüğü gibi değerlerle sınırlandırılmıştır (Güner, 2012).

Betonda sağlam bir taşıyıcı iskelet oluşması ve boşlukları dolduracak çimento hamurunun azalması için agrega karışımının boşluğunun en az, diğer bir ifade ile kompasitenin en fazla olması istenir. Elek analizi ile beton yapımında kullanılacak doğal veya yapay agregaların tane büyüklüğü dağılımı, tane sınıfları ve incelik modülü

belirlenir. Elek analizi TS 3530 EN 933-1 ve TS 130'daki standarda göre yapılır (TS EN 12350-2).

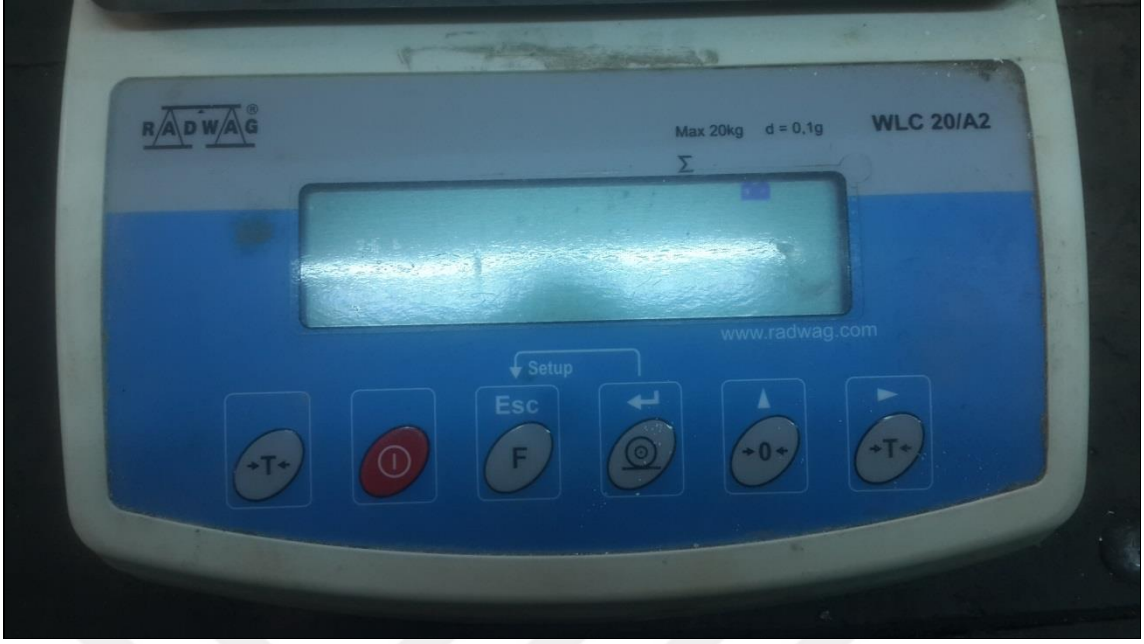
2.6. Beton Karışım Hesaplarının Yapılması

Kaliteli bir beton hazırlarken homojen bir beton harcı karmak en mutlak doğrular arasındadır. Betonun kullanım amacına uygun beton karışımı yaparken beton harcı için; S/Ç oranı, agrega miktarı, çökme miktarı, mukavemetine uygun çimento türü ve dozajı, ilave edilecek katkı maddesi ve oranları tespit edilir.

Beton harcı yapımında içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılacak S/Ç oranı çökme deneyi sonucu 0,40 olarak alınmıştır. Yapılacak deneyler için;

- 7x6 adet 10x10x10 cm küp numune kalsine edilmiş kolemanit için (basınç deneyi için)
- 7x3 adet 10x10x10 cm küp numune kalsine edilmiş kolemanit için (diğer fiziksel deneyler için)
- 7x6 adet 10x10x10 cm küp numune ticari kolemanit için (basınç deneyleri için)
- 7x3 adet 10x10x10 cm küp numune ticari kolemanit için (diğer fiziksel deneyler için)

numuneler dökülmüştür. Karışımlar hazırlanırken hassas elektronik terazi kullanılmıştır. Kullanılan hassas elektronik terazi Şekil 28'de gösterilmiştir.



Şekil 28. Çalışmalarda kullanılan hassas elektronik terazi.

Bu malzeme yoğunluklarına göre yapılan karışım hesabında ağırlıkça kolemanit ile çimentonun yer değiştirilerek, referans numunesi dışında 7 farklı oranda numune elde edilmiştir. Elde edilen numuneler ticari ve kalsine kolemanit artış oranına bağlı olarak;

Kolemanit bulunmayan referans numunesi K, Ticari kolemanit miktarı %1.25 olan numune TK1.25, %2.5 olan numune TK2.5, %5 olan numune TK5, %7.5 olan numune TK7.5 , %10 olan numune TK10, %12.5 olan numune TK12.5 ve %15 olan numune TK15 olarak isimlendirilmiştir. Kalsine kolemanit miktarı %1.25 olan numune KK1.25, %2.5 olan numune KK2.5, %5 olan numune KK5, %7.5 olan numune KK7.5 , %10 olan numune KK10, %12.5 olan numune KK12.5 ve %15 olan numune KK15 olarak isimlendirilmiştir. Bu oranlara göre karışım hesabı yapılarak, yapılan karışım hesabına göre kullanılacak malzeme miktarları Tablo 5 ve 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5 Ticari kolemanit malzeme miktarları.

Numuneler	Çimento(kg)	Su(lt)	Su/Çimento	0-4 mm (kg)	4-16 mm (kg)	Ticari kolemanit (kg)
Referans	370	148	0,4	788	1020	0
TK1.25	370	148	0,4	788	1020	0,462
TK2.5	370	148	0,4	788	1020	0,925
TK5	370	148	0,4	788	1020	1,850
TK7.5	370	148	0,4	788	1020	2,775
TK10	370	148	0,4	788	1020	3,7
TK12.5	370	148	0,4	788	1020	4,625
TK15	370	148	0,4	788	1020	5,55

Tablo 6 Kalsine kolemanit malzeme miktarları.

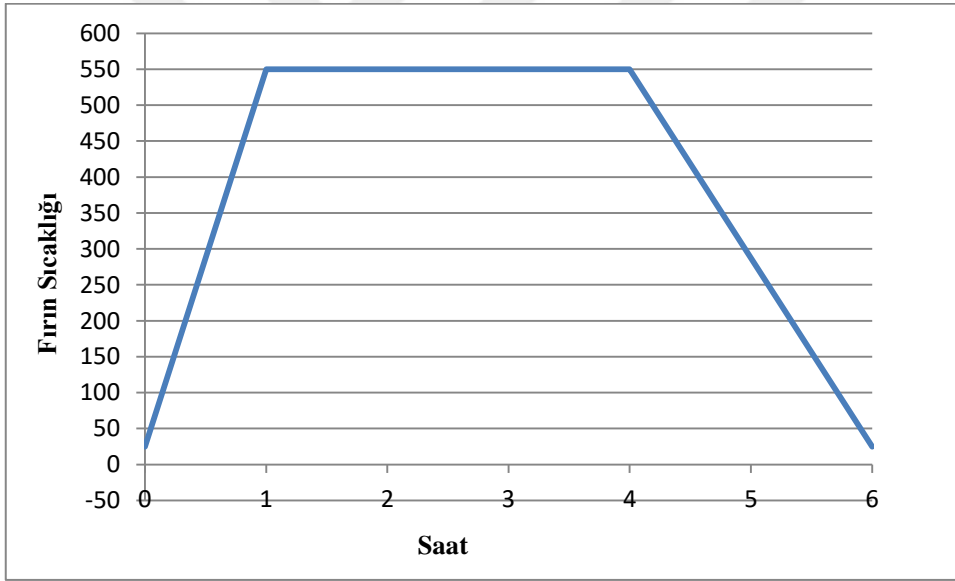
Numuneler	Çimento(kg)	Su(lt)	Su/Çimento	0-4 mm (kg)	4-22,4 mm (kg)	Kalsine kolemanit (kg)
Referans	370	148	0,4	788	1020	0
KK1.25	370	148	0,4	788	1020	0,462
KK2.5	370	148	0,4	788	1020	0,925
KK5	370	148	0,4	788	1020	1,850
KK7.5	370	148	0,4	788	1020	2,775
KK10	370	148	0,4	788	1020	3,7
KK12.5	370	148	0,4	788	1020	4,625
KK15	370	148	0,4	788	1020	5,55

Bu çalışmada S/Ç oranı daha önce yapılan deneylerde de gözlemlendiği üzere 0,40 olarak belirlenmiştir. Bu oran ile slamp (çökme) deneyinde çökme miktarı 10 cm olarak ölçülmüştür. Slamp (çökme) deneyi TS EN 123-2'ye göre yapılmıştır.

2.7. Ticari Kolemanit Mineraline (C-45 µm) Uygulanan Kalsinasyon İşlemi

Ticari kolemanit mineralini kalsine işlemine tabi tutmamızın amacı, kolemanit minerali ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) bünyesindeki 5 mol kristal suyu buharlaştırmak ve böylece içindeki bor trioksit (B_2O_3) yüzdesini (% 40) arttırmaktır (Kütük, 2018). Sonra, kalsine kolemanit minerali betona ilave ederek betona verdiği etkiyi gözlemlemektir.

Ticari kolemanit fırın içerisinde (Kül Fırını, nabertherm , model N50, max sıcaklık 1280) minerali 1 saat içinde 550°C çıkarıldı ve 3 saat boyunca bu sıcaklıkta sabit kalmasını sağlandı. Şekil 29’da ticari kolemanite uygulanan kalsiyasyon işlemi grafik halinde gösterilmiştir. Kalsine işleminde kullanılan fırın ve fırına ait özellikler Şekil 30 ve Şekil 31’de gösterilmiştir.



Şekil 29. Ticari kolemanit mineraline uygulanan kalsinasyon işleminin grafik halinde gösterimi.

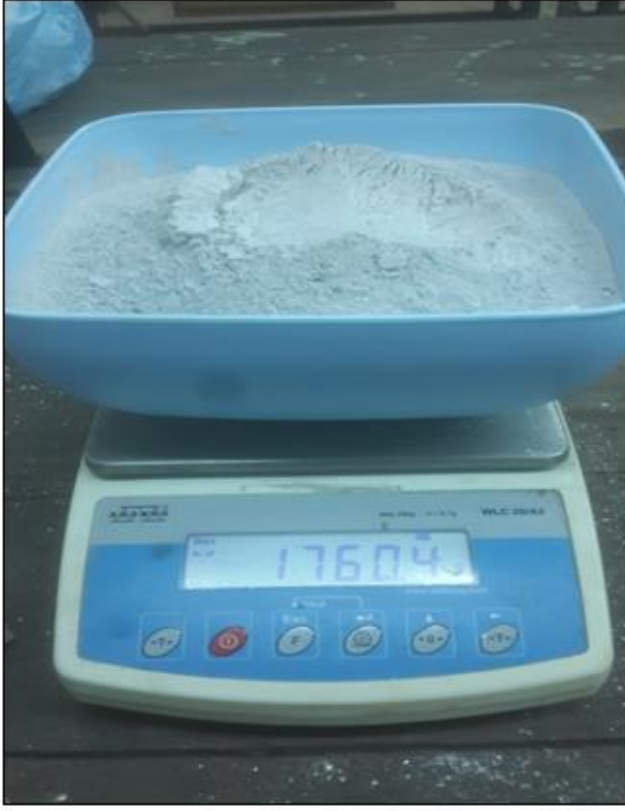


Şekil 30. Kalsine işleminde kullanılan fırın.



Şekil 31. Fırının marka ve azami çıkabileceği sıcaklığı gösteren bilgiler.

Kalsinasyon işleminde fırına 2000 gr ticari kolemanit minerali koyulmuştur. Ancak, 3 saatlik kalsinasyon işleminin ardından tartılan (Radwag, model 'WLC 20/A2', Hassasiyet $d=0,1\text{gr}$ max ölçülen ağırlık=20kg) kolemanit minerali 1760 gr olarak ölçülmüştür. Bu işlem sonucunda, yaklaşık %12'lik kütle kaybı yaşanmıştır. Şekil 32'de tartılan kalsine edilmiş kolemanit minerali gösterilmiştir.



Şekil 32. Kalsine işleminden sonraki kolemanit minerali.

2.8. Numunelerin Hazırlanması

Yapılacak olan çalışmada kullanılan beton hazırlanırken TS EN 802 standardının Haziran 2009 yılı değerlerine göre karışım hesabı yapılmıştır. Karışımında kullanılacak agrega miktarı tayini yapılırken granülometri eğrisinin verilerine göre agrega oranları belirlenmiştir. Şekil 33’de numuneler hazırlanırken kullanılan karıştırma kazanı ve sıkıştırma için kullanılan vibratör kullanılmıştır.



Şekil 33. Numunelerin hazırlanma aşamasında karıştırma kazanı ve numuneler için kullanılan vibratör.

2.8.1. Ticari Kolemanit İlaveli Numunelerin Hazırlanması

Bu karışımlarda kullanılacak olan ticari kolemanit miktarı çimento ile ağırlıkça 7 farklı oranda (%1.25, %2.5, %5, %7.5, %10, %12.5 ve %15) betona ilave edilerek karışım hazırlanmıştır. Karışımlar yapılırken Su/Çimento oranı göz önünde bulundurularak beton harcı çökme deneyine tabi tutulmuştur. Çökme miktarı 10 cm olan beton harcı daha önceden içleri yağlanan küp (15x15x15 cm) numunelere doldurulmuştur. Kalıplara bırakılan beton harçları içerisinde boşluk olmaması ve betonun kalıba tam yerleşmesi için vibratör kullanılmıştır. Kalıpların üst kısmı mala ile düzeltme işlemi yapılarak her numunenin üzerine numunelerin karışmaması için numaralandırma işlemi yapılmıştır. Ticari kolemanit minerali ile imal edilen küp numuneler Şekil 34'de gösterilmiştir.

Literatürde priz başlama süresi en az 1 saat, priz sona erme süresi en fazla 10 saat olarak belirtilmektedir (Güner, 2012).

Ticari kolemanit ilavesi ile dökülen numuneler 24 saat süresince ortam sıcaklığı 22 ± 3 °C olan nemli laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Geçen 24 saat süre zarfında numunelerden %5 orana kadar olanları, 72 saat sonrada tüm numuneler prizini almıştır. Numuneler kalıplardan çıkarılarak kürünü alması maksadıyla kür havuzuna bırakılıp 28 gün kürünü alması beklenmiştir.



Şekil 34. Ticari kolemanit minerali ile imal edilen küp numuneler.

2.8.2. Kalsine Kolemanit İlaveli Numunelerin Hazırlanması

Bu karışımlarda kullanılacak olan kalsine edilmiş kolemanit minerali çimento ile ağırlıkça 7 farklı oranda (%1.25, %2.5, %5, %7.5, %10, %12.5 ve %15) betona ilave edilerek karışım hazırlanmıştır. Karışımlar yapılırken Su/Çimento oranı göz önünde bulundurularak beton harcı çökme deneyine tabi tutulmuştur. Çökme miktarı 9 cm olan beton harcı daha önceden içleri yağlanan küp (15x15x15 cm) numunelere doldurulmuştur. Kalıplara bırakılan beton harçları içerisinde boşluk olmaması ve betonun kalıba tam yerleşmesi için vibratör kullanılmıştır. Kalıpların üst kısmı mala ile düzeltme işlemi yapılarak her numunenin üzerine numunelerin karışmaması için numaralandırma işlemi yapılmıştır. Kalsine kolemanit minerali ile imal edilen küp numuneler Şekil 36'de gösterilmiştir.

Kalsine edilmiş kolemanit ilavesi ile dökülen numuneler 24 saat süresince ortam sıcaklığı 22 ± 3 °C olan nemli laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Geçen 24 saat süre zarfından sonra numunelerden %1,25 orana kadar olanları, %2,5 ve %5 yaklaşık 120 saat sonra priz almıştır. %5'den fazla olan numunelerin üst kısımları 10 gün sonra priz aldıkları görülmüştür fakat numune kabından çıkarılıp kür havuzuna koyulduklarında yaklaşık 1 saat içinde hepsi kür havuzunda dağılmıştır. B_2O_3 (Boroksit) konsantrasyonu arttıkça, çimento hidratasyonunun yavaşladığı hatta durduğu, buna bağlı olarak priz süresinin uzadığı bilinen ve yoğun şekilde araştırılan bir olgudur. Şekil 35'de dağılan numuneler görülmektedir. Prizini alan numuneler kalıplardan çıkarılarak kürünü alması amacıyla kür havuzuna bırakılıp 28 gün kürünü alması beklenmiştir.

28 gün sonunda kürden çıkarılan numunelerin 24 saat normal hava koşullarında kuruması beklenerek 28 günlük numunelerin ölçümlerini almak için hazır hale gelmiştir.



Şekil 35. Prizini almayan numuneler.



Şekil 36. Kalsine kolemanit küp numune örnekleri.

2.9. Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Ölçülmesi

Bu bölümde; küp, kalıplarda elde edilen numunelerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri ölçülmüş, elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

2.9.1. Ultrases Hızlarının (PGH) Ölçülmesi

PGH (ultrases) ölçümü özel bir elektronik cihazla yapılmakta olup bu cihaz ile Küp numunelerin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalgaların diğer bir yüzeye ulaşmaya kadar geçen süre ölçülerek dalga hızı hesaplanmaktadır. Bu ölçüm ASTM C 597 standardına uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ultrases ölçüm cihazı Şekil 37’te verilmiştir.



Şekil 37. Çalışmada kullanılan ultrases ölçüm cihazı.

PGH cihazı ile ölçüm yapmadan önce cihazın doğru ölçüp ölçmediğini kontrol etmek amacıyla cihazın kutusunda bulunan aparat yardımıyla cihaz kalibrasyonu test edilir. Kalibrasyon için kullanılan aparat Şekil 38’da gösterilmiştir.



Şekil 38. PGH cihaz kalibrasyonu için kullanılan aparat.

PGH ölçüm deneyine başlamadan küp numunelerin her birinin metal bir cetvel yardımıyla orta noktası bulunur. Metal başlıklardan birisi dalga gönderici diğeri dalga

alıcı olduğundan birbirlerine paralel olmak zorundadırlar. Ölçüme başlamadan önce metal başlıklara gres yağı sürülerek birbirine yapıştırılıp test ölçümü yapılmalıdır. Ölçüm yapılan beton donatısız beton olmalıdır.

Cihaz açılarak metal başlıklardan biri dalga gönderici olarak numunenin bir yüzeyine boşluk kalmayacak şekilde tamamen temas ettirilerek elle bastırılır. Numunenin diğer yüzeyine de, diğer metal başlık olan dalga alıcı karşılıklı olarak elle bastırılır ve istenilen sonuçlar ekranda okunur. Şekil 39'da ultrases ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 39. Ultrases ölçümü.

2.9.2. Yüzey Sertliklerinin Ölçülmesi

Yüzey sertliği, Test çekici aletiyle yapılmıştır. Test çekici; malzemenin tek eksenli basınç dayanımının yaklaşık değerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılan tahribatsız test cihazıdır. Yapılan bu çalışmada numuneye dik eksenli sıkıştırma aparatına konularak uygulanan darbeye hareket etmesi engellenir. Numuneye dik açıda 5 farklı noktasından alınmak suretiyle ve tam yük uygulayacak şekilde numuneye paralel olarak sabit tutulan test çekici numuneye doğru bastırılır 0 ve 100 arasında

numunenin sertliğine göre değerler elde edilir. Yüzey sertlikleri ölçümünde TS 13791 ve ASTM C 805'den faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan Test çekici aletinden bir görüntü Şekil 40'da verilmiştir. Şekil 41'de test çekicinin değeri ölçülürken numunelerin sıkıştırıldığı aparat, Şekil 42'de ise test çekicinin kalibrasyon aparatı gösterilmiştir.



Şekil 40. Çalışmada kullanılan test çekici.



Şekil 41. Numunelerin test çekici değeri ölçülmesi için kullanılan sıkıştırma aparatı.



Şekil 42. Test çekici aletinin kalibrasyonu için kullanılan aparat.

2.9.3. Basınç Dayanımının Ölçülmesi

Betonda basınç dayanımı (Yüksel Kaya Makine, model 'AB0012-K') eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmaması için gösterebileceği direnme yeteneği olarak ifade edilmektedir.

“Standart deney metodu”, betonun basınç dayanımının tespit edilmesi amacıyla, halen kullanılmakta olan en önemli deney metodudur. Belirli yaşlardaki beton numunelerin birim alanının taşıyabileceği yük miktarının tespit edilmesi ve aynı karşılımla üretilen betonun günlük yaşamdaki durumunun taşıyabileceği yük hakkında bilgi edinilmesi amacıyla yapılmaktadır. Standartlara uygun biçimde hazırlanan küp şeklindeki beton numunemizin boyutları kumpas vasıtasıyla tespit edilmiştir. Etiketli basınç alanında kalmayacak şekilde, yani bize dönük olacak şekilde 100 kg duyarlılığa sahip 200 ton'luk prese yerleştirilmiştir. Yükleme hızı darbe etkisi oluşturmayacak biçimde 3 kN/s olacak biçimde ayarlanmıştır. Doğru bir ölçüm yapabilmesi amacıyla düşük hızda yükleme yapılarak belirli yükleme değerlerindeki şekil değişimleri incelenmiştir (Çiçek, 2018).

Deney numunesinin kırıldığı andaki en yüksek yük (F) tespit edilerek en az üç numunenin basınç dayanımlarının ortalaması alınmış ve ortalama basınç dayanımları hesaplanmıştır. Basınç deneyi ile ilgili bir görünüm Şekil 43'de verilmiştir.



Şekil 43. Bu çalışmadaki basınç deneyinde kullanılan ölçüm aleti.

Numunelerin basınç dayanımlarının tespitinde TS 3114 standardından faydalanılmıştır. Aşağıdaki formül kullanılarak basınç dayanımları hesaplanmıştır.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.5)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı, MPa

F : Kırılma anında ki en büyük yük (kuvvet), N

A_c : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı kesit alanı, mm².

2.9.4. X-Işını Difraktometresi (XRD) Ölçümü

X-ışını difraktometresi (XRD, Rigaku, model 'SmartLab') ölçümü RTEÜ Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirildi. Şekil 44'de XRD cihazı gösterilmiştir. Ölçüm şartları voltaj 40 kV, akım 30 mA, tarama hızı 5 °/dk, tarama adımı 0.02 ° ve CuK_α radyasyonu dalga boyu (λ) 1.541Å şeklindedir. Ölçümden sonra kantitatif analiz cihazın PDXL yazılımı aracılığıyla yapıldı.(Kütük, 2018).



Şekil 44. XRD ölçümünün yapıldığı cihaz.

2.9.5. TG+DTA Ölçümü

Kolemanit minerallerine ait Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve TermoGravimetrik analiz (TG) ölçümleri Simültane Termal Analiz Cihazı (Netszch, model ‘STA 449 F3 jüpiter’) ile Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Laboratuvarında alındı. Ölçümler 25-1000 °C ölçüm sıcaklığı, 10 °C/dk ısıtma hızı ve kuru hava (%20 N₂-%80 O₂) atmosferinde gerçekleştirildi. Şekil 45’de TG+DTA cihazı gösterilmiştir.



Şekil 45 Diferansiyel Termal Analiz (DTA) and TermoGravimetrik analiz (TG) cihazı.

2.9.6. B₂O₃ Ölçümü

Eti Maden İşletmeleri Laboratuvarında titrimetrik yöntem kullanılarak tespit edildi. TS EN ISO/IEC 17025 kapsamında olan analizdir.

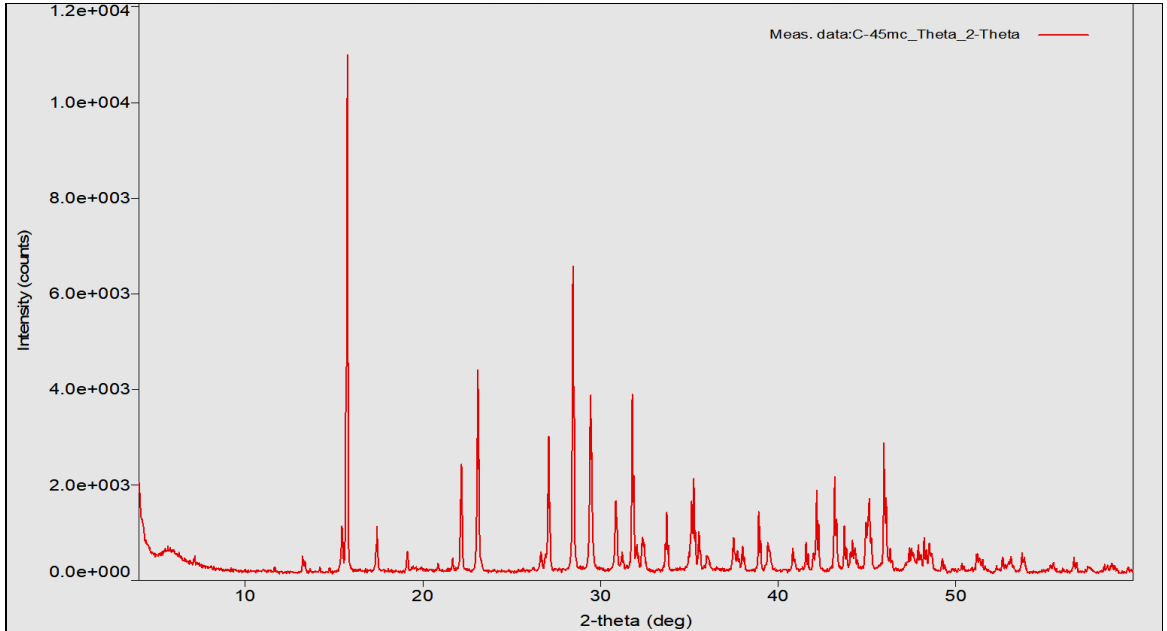
3. BULGULAR

3.1. XRD Analizi

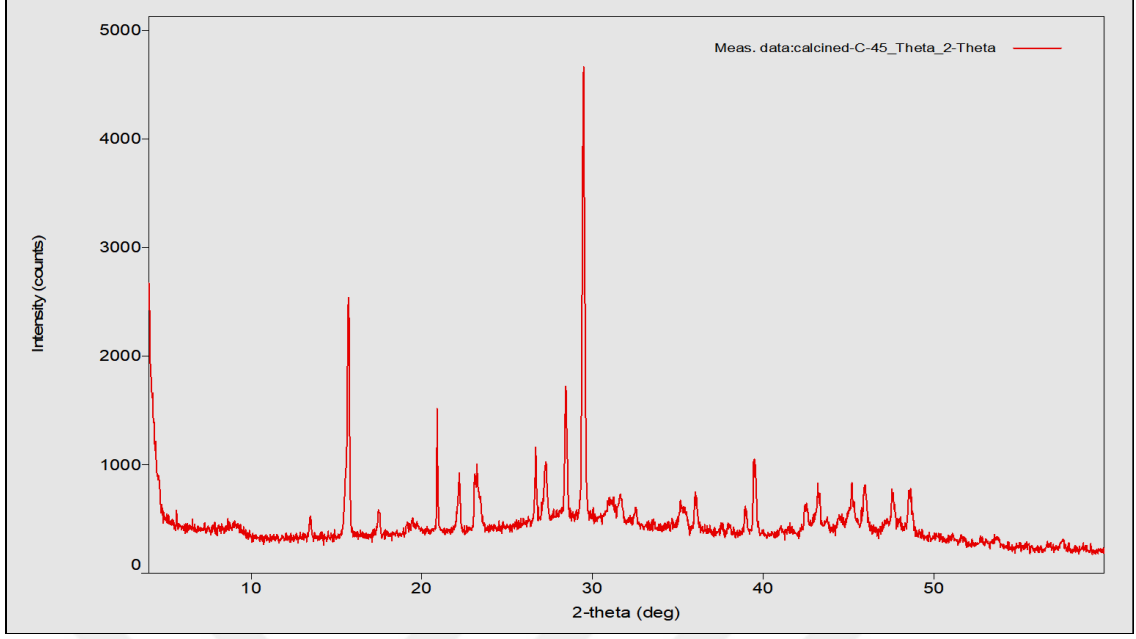
Şekil 46 ticari kolemanit malzemesinin XRD kırınım desenini göstermektedir. Kolemanitin en yüksek üç ana piki sırasıyla $2\theta \sim 15^\circ$ için $I \sim 11000$ (cps); $2\theta \sim 28^\circ$ için $I \sim 6500$ (cps); $2\theta \sim 23^\circ$ için $I \sim 4200$ (cps) olduğu bulunmuştur.

Şekil 47 kalsine kolemanit malzemesinin XRD kırınım desenini göstermektedir. Kolemanitin en yüksek üç ana piki sırasıyla $2\theta \sim 29^\circ$ için $I \sim 4500$ (cps); $2\theta \sim 15^\circ$ için $I \sim 2500$ (cps); $2\theta \sim 28^\circ$ için $I \sim 1800$ (cps) olduğu bulundu. Kalsinasyon işleminden sonra pik sayısı gözle görülür derecede azalmıştır. Bu sonuç kristal suyun yapıdan uzaklaştığını gösterebilir.

Akpınar vd. (2017) 595°C yapmış oldukları kolemanit kalsinasyon işleminin ardından almış oldukları XRD analizinde kolemanite ait piklerin neredeyse tamamen kaybolduğu görülmüştür. Bu sonuçlar bizim yaptığımız analizleri desteklemektedir.



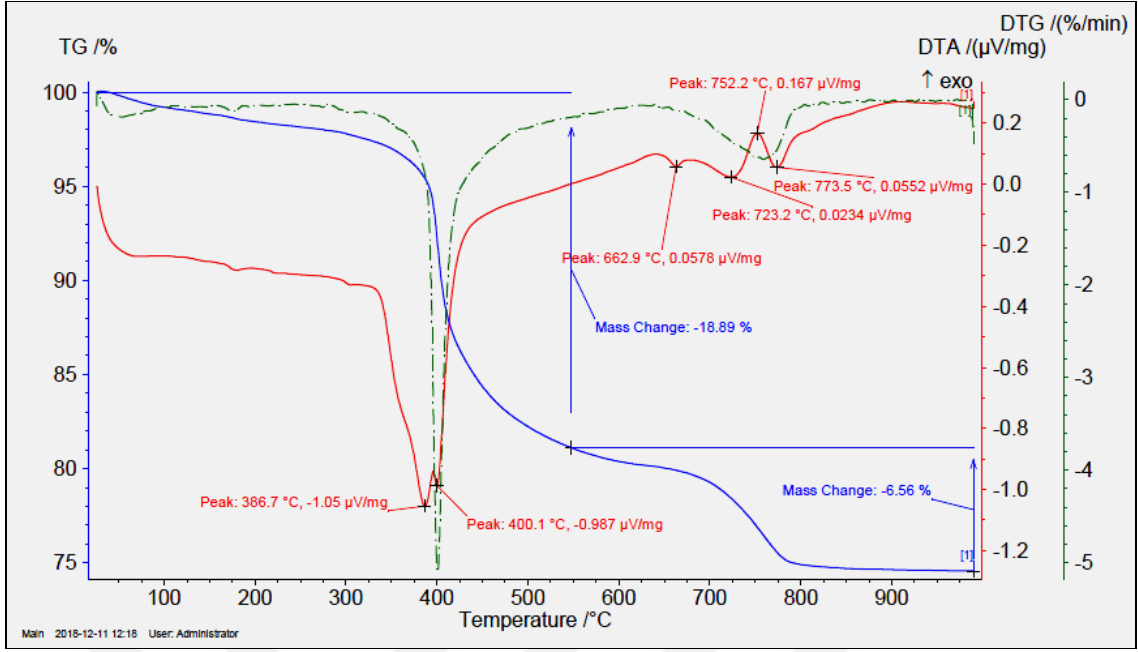
Şekil 46. Ticari kolemanite ait XRD ölçüm analizleri



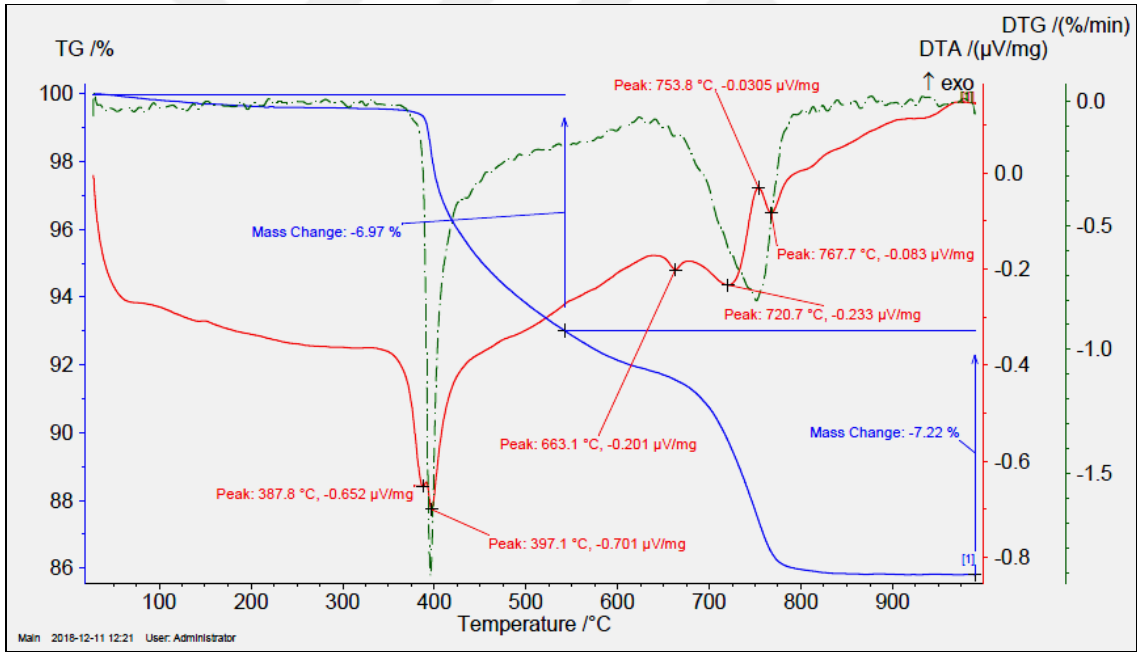
Şekil 47. Kalsine kolemanite ait XRD ölçüm analizleri.

3.2. TG+DTA Analizi

Şekil 48’de ticari kolemanite ait, Şekil 49’da ise kalsine kolemanite ait TG+DTA ölçümleri gösterilmiştir. Kalsinasyon işlemiyle beraber DTA(Kırmızı) değerinde 3 derecelik kayma olmuştur. TG(Mavi) 400 derecelik pik ayrışma noktası %99’lar seviyesinden %96’lara düşmüştür. Kırmızı ve yeşil çizgilere baktığımızda %88 seviyelerinden %75’lere düşmüş aralarında %13’lük bir fark oluşmuştur. 387,8 ° C ve 397,1 ° C’deki endotermik reaksiyonlar, bu sıcaklık aralığında suyun serbest kalması nedeniyle numunede bir ağırlık kaybı olduğu söylenebilir. Kalsinasyon işlemi sonunda yapılan tartım işleminde 2000 gr olarak tartılan kolemanit minerali işlem sonunda 1760gr ölçülmüştür yani %12 kilo kaybı bulunmaktadır. Akpınar vd. (2017) 595°C yapmış oldukları kolemanit kalsinasyon işleminin ardından yapılan TG+DTA ölçümünde 384 °C ve 398 °C’deki endotermik reaksiyonda %12,14 ağırlık kaybı bulunmuştur bu sonuçlarda bizim yaptığımız analizleri desteklemektedir. Bunlara bakılarak sonuçların birbiriyle irtibatlı oldukları görülmektedir. DTA-TG incelendiğinde kolemanitin yapısında bir değişiklik olduğu görülmüş bunun sebebi olarak da yapıdan kristal suyun ayrışması söylenebilir. Böylece XRD sonucu DTA-TG sonucunu desteklemektedir.



Şekil 48. Ticari kolemanite ait TG+DTA ölçüm analizleri



Şekil 49. Kalsine kolemanite ait TG+DTA ölçüm analizleri.

3.3. B₂O₃ Analizi

Tablo 7. Öğütülmüş kolemanit minerallerinin B₂O₃ oksitli bileşen analizi.

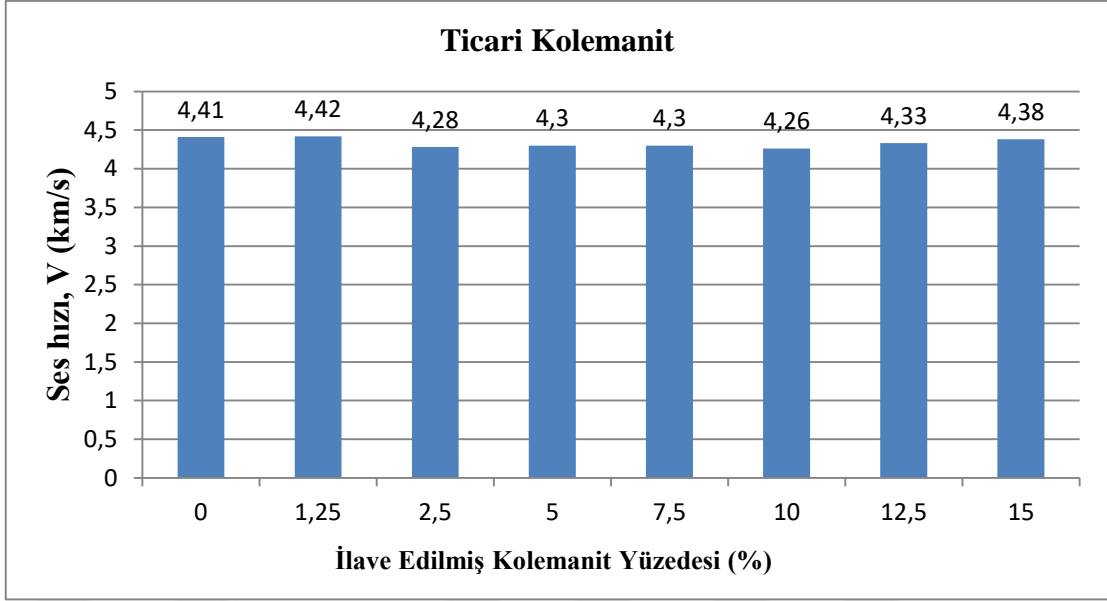
Numuneler	B ₂ O ₃ (wt%)	
	Ölçülen	Ticari (Katalog)
C-45 µm	40,300± 0.5	40,000± 0.5
Calcined C-45 µm	44,620± 0.5	Yok

B₂O₃ yüzdesi C-45 µm numune için 40,3 iken kalsine C-45 µm numunede 44,62 olmuştur. Kalsinasyon işlemi sonucunda B₂O₃ miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Kutuk (2017) yapmış olduğu çalışmada kolemanit mineraline yapılan analizde B₂O₃ miktarı %38.65 ölçülmüş bu sonuç bizim çalışmamızı çok küçük bir fark ile desteklemektedir. Tablo 7’de Kolemanit mineralinin B₂O₃ oksitli bileşen analizi gösterilmiştir.

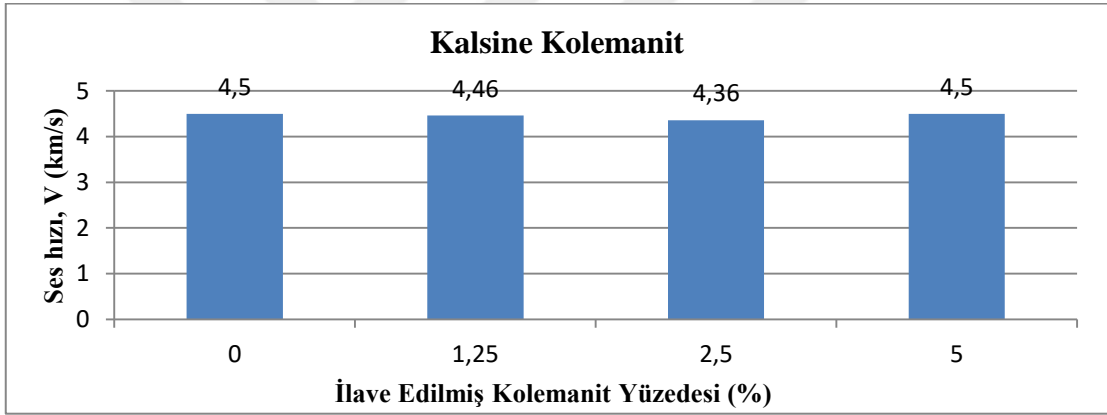
3.4. Ultrases Hızlarının (PGH) Sonuçları

Şekil 50’ya göre TK oranı artışıyla ultrases geçiş hızı arasında tam olarak doğrusal bağlantı bulunmamaktadır. Ses geçiş hızının en düşük olduğu numune TK10 iken, en yüksek olan numune TK1,25 numunesidir.

Şekil 51’e göre KK oranı artışıyla ultrases geçiş hızı arasında tam olarak doğrusal bağlantı bulunmamaktadır. Ses geçiş hızının en düşük olduğu numune KK2,5 iken, en yüksek olan numune KK5 numunesidir.



Şekil 50. Ticari kolemanit katkılı numunelerin ultrases ölçüm sonuçları.



Şekil 51. Kalsine kolemanit katkılı numunelerin ultrases ölçüm sonuçları.

Tablo 8. Ultrases Sonuçlarının Pratik Değerlendirmesi (Whitehurst, 1951).

Ses hızı (V) km /s	Beton kalitesi
>4.5	Çok iyi
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Orta
2.0-3.0	Zayıf
< 2.0	Çok zayıf

Betonda ses hızı ölçümleri Şekil 50 ve Şekil 51’de verilmiştir. Tablo 9 ve Tablo10’ da ise bu sonuçların Tablo 8’de Whitehurst, (1951) tarafından verilen sınıflandırmaya göre değerlendirilmesi yer almaktadır. Ultrases geçiş hızı sonuçları incelendiğinde betona kolemanit ilavesi kullanılması ile birlikte geçiş hızında belirgin bir farkın olmaması, Whitehurst’e göre yapılan değerlendirmede de tüm numunelerin iyi

sınıfta olması numunelerin boşluk yapısının birbirine yakın veya aynı olduğu kanısını vermektedir.

Tablo 9. Ticari kolemanit için ultrases Sonuçlarının Pratik Değerlendirilmesi.

Karışım Adı	7 Günlük Ultrases Geçiş Hızı, (km/s)
Referans	İyi
TK1,25	İyi
TK2,5	İyi
TK5	İyi
TK7,5	İyi
TK10	İyi
TK12,5	İyi
TK15	İyi

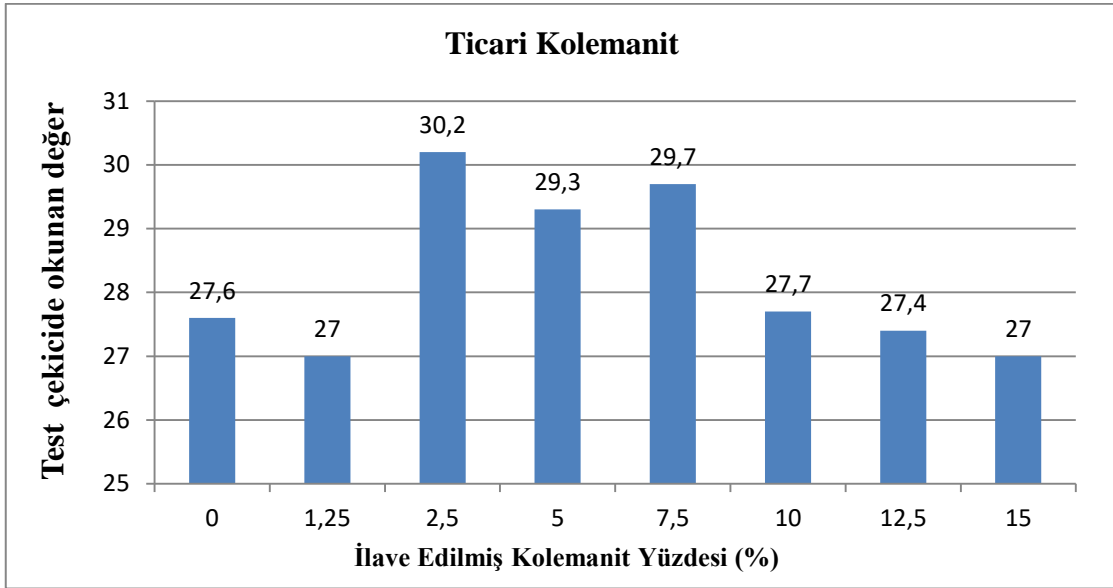
Tablo 10. Kalsine kolemanit için ultrases Sonuçlarının Pratik Değerlendirilmesi.

Karışım Adı	7 Günlük Ultrases Geçiş Hızı, (km/s)
Referans	İyi
TK1,25	İyi
TK2,5	İyi
TK5	İyi

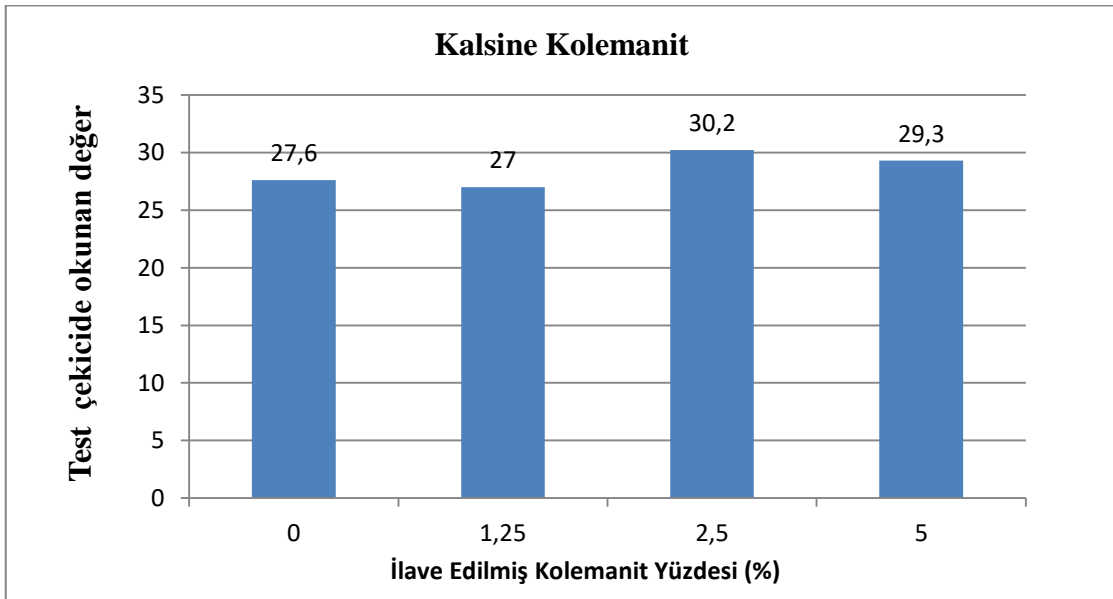
3.5. Yüzey Sertliklerinin Sonuçları

Şekil 52’de TK beton numunelere ilave edilmiş kolemanit yüzdesi ile yüzey sertlikleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Yüzey sertliği en yüksek olan numune TK2,5 olurken, en az olan numuneler ise TK1,25 ve TK15 numuneleridir. Bu sonuçlardan anlaşıldığı üzere, TK yüzdesi ile yüzey sertliği arasında herhangi bir bağlantı bulunmamaktadır. Bunun sebebinin örnek azlığından olabileceği varsayımı göz ardı edilmemeli ve durum ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir. Tablo 11’de görülen Fayetorbay (2013)’in 3 farklı çimento ile yapmış olduğu deneylerde basınç dayanımı ile yüzey sertliği arasında korelasyon olmadığını tespit etmiştir. Yani bu sonuçlar bizim tez çalışmamızdaki deney sonuçlarını desteklemektedir. Ayrıca, numunenin kalınlığına göre teknik özelliklerinin değiştiğini gösteren başka çalışmalar da mevcuttur (Kütük vd., 2009; Kütük vd., 2011). Yüzey sertliği ölçümü numunenin dış yüzeyinden iç yüzeye doğru belli bir kalınlığa kadar alınan ölçümdür. Oysaki basınç dayanımı tüm kalınlık için alınan bir ölçümdür. Buradan çıkarımla, bir numunede yüzey sertliği için tüm kalınlığı hesaba katmanın her zaman doğru sonuç vermeyeceği düşüncesindeyiz.

Şekil 53 beton numunelere ilave edilmiş kolemanit yüzdesi ile yüzey sertlikleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Yüzey sertliği en yüksek olan numune KK2,5 olurken, en az olan numune ise KK1,25 numunesidir. Bu sonuçlardan da anlaşıldığı üzere KK oranının artışına bağlı olarak yüzey sertliği ile betonun basınç dayanımı arasında paralellik olmadığı ancak KK2,5 numunesinde en yüksek değere çıktığı görülmüştür.



Şekil 52. Ticari kolemanit katkılı numunelerin test çekici ölçüm sonuçları.



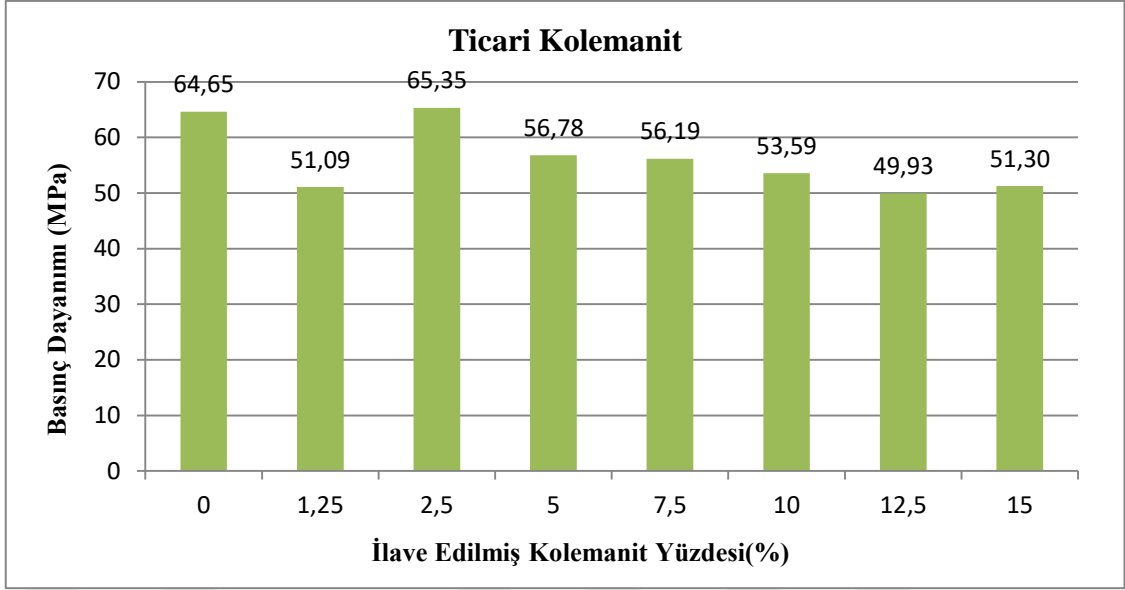
Şekil 53. Kalsine kolemanit katkılı numunelerin test çekici ölçüm sonuçları.

Tablo 11. Fayetorbay (2013) tarafından yapılmış deneylerin 28 günlük beton basınç dayanımı grafikleri.

	Çimento tipi	No	Yüzey Sertliği	Basınç Dayanımı (MPa)
Suda Kür (28 günlük)	CEM I 42,5 R	1	29,5	49,99
		2	30	47,40
		3	27,7	50,13
	CEM II 32,5 B-S	1	21,3	38,05
		2	18,8	36,20
		3	19,8	35,79
	Borlu Aktif Belit Çimentosu	1	21,2	35,28
		2	20,9	35,59
		3	22,4	36,05

3.6. Basınç Dayanımının Sonuçları

Şekil 54'e göre ticari kolemanit ile yapılan deneyde referans numunesinin basınç dayanımı 64,65 MPa olarak ölçülmüştür. Ticari kolemanit katkılı betonların mukayesesi yapıldığında en yüksek basınç dayanımı 65,35 MPa ile TK2,5 numunesinde, en düşük basınç dayanımı ise 49,93 MPa değerinde TK12,5 numunesinde görülmüştür. Referans numunesine oranla ticari kolemanit artışına bağlı olarak numunelerden sadece TK2,5'da küçük bir artış görülmüş diğerlerinde farklı oranlarda azalma meydana gelmiştir. Aşağıda ki tabloda da görüleceği üzere beton basınç dayanımının hem ekonomik hem de trafik sesini azaltacağından dolayı d_{max} 'ın 24 mm olan beton karışım hesabıyla deneylere devam edilmiştir. Tablo 12'da Ağar vd.(2007)'nin yapmış olduğu çalışmada beton sınıfının trafik yüklerine göre olması gereken basınç dayanımı gözükmektedir.



Şekil 54. D_{max} 'ı 31mm olan betondan elde edilen numunelerin 28 günlük basınç dayanım sonuçları

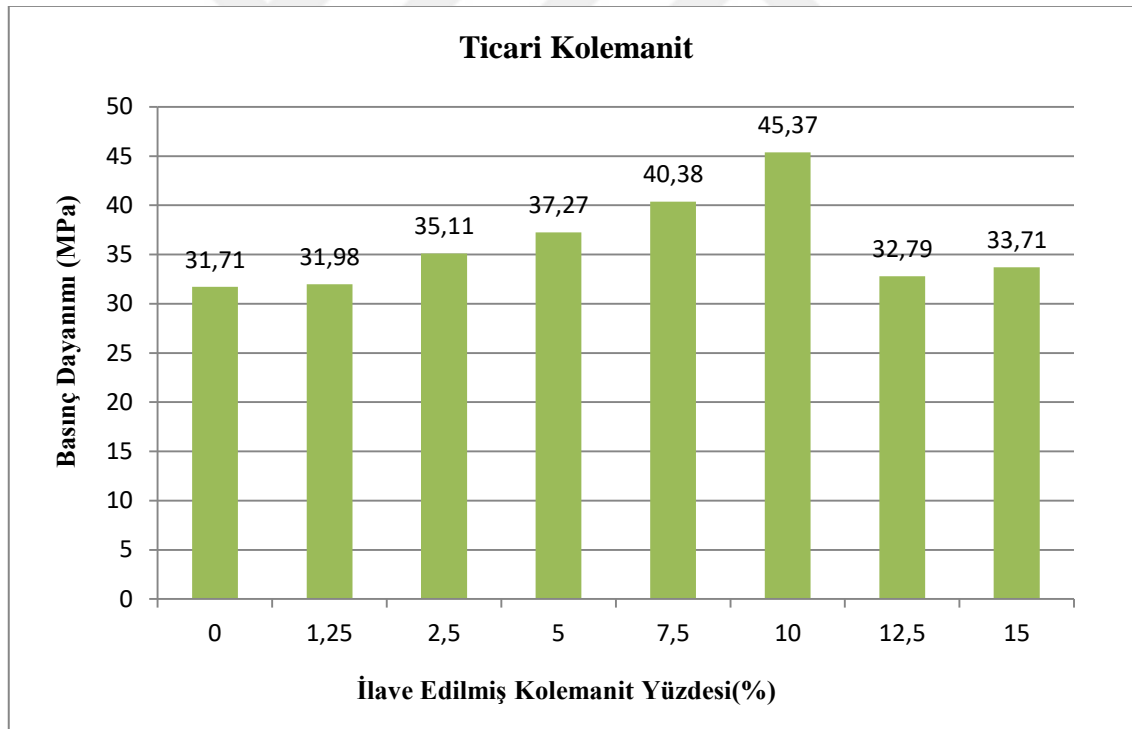
Tablo 12. Trafik yoğunluklarına göre olması gereken dayanım değerleri

Yolun Cinsi	Basınç dayanımı Kgf/cm ²
1. Ağır transit trafiği geçiren 1. sınıf Devlet yolları: Temel ve kaplama betonları	370 300
2. Orta ağırlıkta trafikli yollar: Kaplama tabakası yada tek tabaka temel betonu	250 250
3. Lokal trafikli konut yolları, kamyonlu park alanları: Kaplama tabakası yada tek tabaka temel betonu	200 250
4. Kamyonsuz park alanları: kaplama tabakası yada tek tabaka temel betonu	200

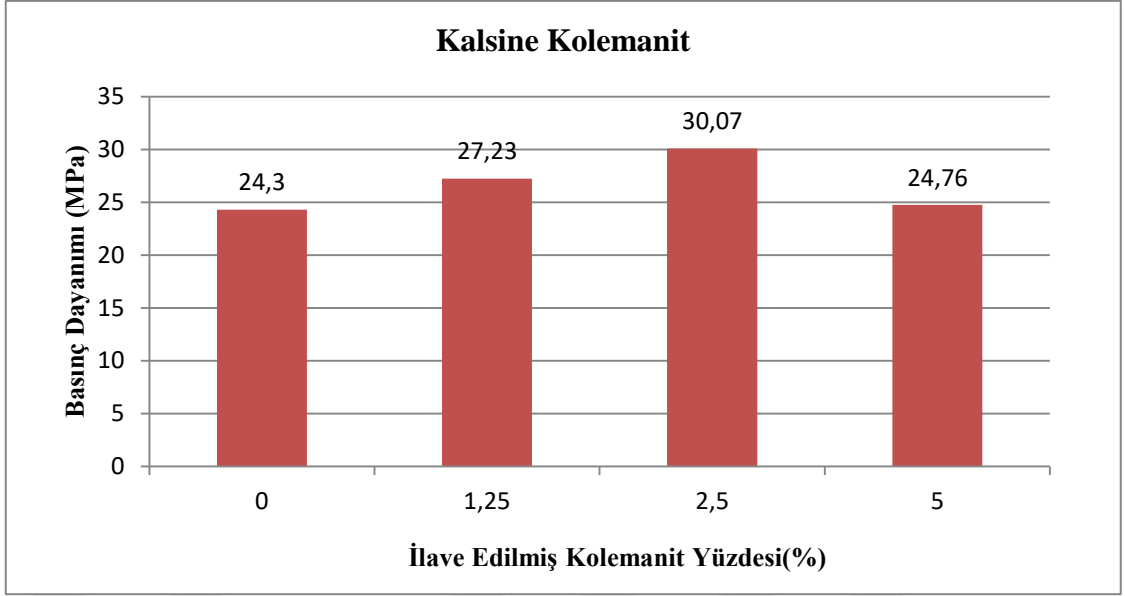
Şekil 55'e göre ticari kolemanit ile yapılan deneyde en düşük basınç dayanımı referans numunesine ait olup 31,71 MPa olarak ölçülmüştür. En yüksek basınç dayanımı TK10 numunesine ait olup 45,37 MPa olarak belirlenmiştir. Başka bir ifade ile basınç dayanımı yaklaşık %50 artış ile iyileşmiştir. Ticari kolemanit ilavesinin artışına bağlı olarak numunelerin %10 seviyesine kadar yükseldiği gözlemlenmiştir ve sonrasında basınç dayanımları azalmıştır. Kutuk-Sert (2016)'ın yapmış olduğu ticari kolemanit (C-45 μ m) ilave edilmiş numunelerde basınç dayanımında %9 artış gözlemlenmiştir. Bu bulgu bizim tez çalışmasının sonucunu desteklemektedir. Sonuç olarak basınç dayanımında %9 olan artış miktarı bu tez sayesinde %50 seviyelerine çıkarılmıştır. Ayrıca, Aktaş vd. (2018)'in yapmış olduğu çalışmada normal agrega ile

yapılan bor ve bor atığı ilaveli numunelerde beton basınç dayanımında iyileşme olduğu görülmüştür.

Şekil 56, numunelerin 28 günlük basınç dayanım değerlerini göstermektedir. Referans numunesi için basınç dayanımı 24,3 MPa iken, %2.5 katkılı numune için bu değer 30,07 MPa'dır. Bir başka ifadeyle kolemanit ilavesi basınç dayanımını iyileştirmiştir. Hem ticari kolemanit minerali hem de kalsine kolemanit minerali betonun basınç dayanımını ciddi derecede arttırmıştır. Beton basınç dayanımına katkı sağlayan kolemanit minerali içerisinde bulunan bor trioksit bileşeni olduğu tahmin edilmektedir. Ticari ve kalsine kolemanit ilaveli beton numunelerde basınç dayanımında belli bir değerden sonra azalma olduğu görülmüştür. Aktaş vd. (2018)'in hem bor hem de bor atığı ile yapmış olduğu beton numunelerde, benzer bir ilişki tespit edilmiş olup bu çalışmayı desteklemektedir.



Şekil 55. Ticari kolemanit katkılı numunelerin 28 günlük basınç dayanımı



Şekil 56. Kalsine kolemanit ilaveli numunelerin 28 günlük basınç dayanımı.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, kolemanit gibi zengin yer altı kaynağına sahip olduğumuz minerallerin beton üretiminde değerlendirilmesi ile betonun dayanımı üzerindeki etkilerinin dolayısıyla da beton yollarda kullanılabilirliğinin literatüre bakılarak araştırıldığı bu çalışmanın ileride yapılacak tez çalışmasına ışık tutması yönünde bir inceleme yapılmış ve görülmüştür ki elde edilen veriler Ticari kolemanit ve Kalsine kolemanit farklı oranlarda (%1.25, %2.5, %5, %7.5, %10, %12.5 ve %15) betona çimento ağırlığına göre ilave edildiği zaman olumlu ve olumsuz sonuçlar elde edilmektedir.

- Karışım aşamasında betona Ticari kolemanit ve Kalsine kolemanit katıldığı zaman katılan her oranda betonun işlenebilirliğinin kötüleştiği ve betonun hem su ihtiyacını hem de priz sürelerini arttırmaktadır. Bu da çıkan deney sonuçlarını doğrudan etkilemiştir.
- Ticari kolemanit ile hazırlanan beton numuneleri priz sürelerini referans numunesine göre ilave oranı arttıkça artmıştır. Fakat bu artışa rağmen %5'e kadar değerler standartlara uygun bulunmuştur.
- Kalsine kolemanit ile hazırlanan beton numuneleri %5'e kadar priz süreleri referans numunesine göre arttırmış ve kabul edilebilir standartların çok üstüne çıkarmıştır. %5'den sonraki numuneler priz almamıştır.
- Kalsine kolemanit ilavesi ile dökülen 28 günlük beton numunelerinde Ultrases Geçiş Hızları sonuçlarına göre numuneler yaklaşık aynı değeri almıştır.
- Ticari kolemanit ilavesi 28 günlük beton numunesinde Ultrases Geçiş Hızları sonuçlarına göre numuneler yaklaşık aynı değeri almıştır.
- Kalsine kolemanit ilavesi ile dökülen 28 günlük beton numunelerinde Yüzey Sertlikleri ölçüm sonuçlarında referans numunesine göre %2,5 katkılı numunede en yüksek artış olmuştur.

- Ticari kolemanit ilavesi ile dökülen 28 günlük beton numunelerinde Yüzey Sertlikleri ölçüm sonuçlarında %2.5 katkılı numunede en yüksek artış olmuştur.
- Kalsine kolemanit ilavesi ile dökülen 28 günlük beton numunelerinin Basınç Dayanımlarının ölçüm sonuçlarında referans numunesine göre %2.5'e kadar yaklaşık %23 dayanım artışı olmuş ardından %5 katkılı numunede düşüş olmuş fakat tüm numuneler referans numunesinden yüksek çıkmıştır.
- Ticari kolemanit ilavesi ile dökülen 28 günlük beton numunelerinde Basınç Dayanımlarının ölçüm sonuçlarında %10'a kadar yaklaşık %50 dayanım artışı olmuş ardından düşüş olmuş fakat Kalsine kolemanit ilavesinde olduğu gibi tüm numuneler referans numunesinden yüksek çıkmıştır.

Kolemanit mineralinin (C-45 μ m) çimentolu kompozitlerde kullanımına ilişkin çalışmalara Türkiye'deki rezervi değerlendirmek, çimentodan tasarruf sağlamak, dayanımı geliştirmek adına devam edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Bu çalışmada;

- Kalsine Kolemanit için en iyi sonuçlar ultrases geçiş hızında %5, Yüzey Sertliğinde %2,5, Basınç dayanımında %2.5 sonuçlarında olmuştur.
- Ticari Kolemanit için en iyi sonuçlar ultrases geçiş hızında %1,25, Yüzey Sertliğinde %2,5, Basınç dayanımında %10 sonuçlarında olmuştur.

5. ÖNERİLER

- Bu çalışmada, kolemanit gibi zengin yer altı kaynağına sahip olduğumuz minerallerin beton üretiminde değerlendirilmesi ve betonun dayanım ve dayanıklılığı üzerindeki etkilerinin literatüre bakılarak araştırıldığı bu çalışmanın ileride yapılacak tez çalışmasına ışık tutması yönünde bir inceleme yapılmış ve görülmüştür ki elde edilen veriler kolemanit minerali direkt ve kalsine edilerek farklı oranlarda betona ilave edildiği zaman olumlu ve olumsuz sonuçlar elde edilmektedir.
- Ticari Kolemanit katkısı ile birlikte betonun basınç dayanımında belirli bir orana (%50) kadar iyileşme gözlenmiştir. Bu özelliği ile ilgili daha kapsamlı bir çalışma yapılabilir.
- Yol betonları atmosfere açık olduğundan dolayı bu tez çalışmasında yapılan deneyler atmosfer ortamında yapılarak sonuçlar yorumlanabilir.
- Konut betonlarında kullanılabilirliği araştırılabilir.
- Kütle betonlarında çatlak oluşumunu en aza indirmek için, bağlayıcının hidrasyonundan oluşan ısı ve buna bağlı hacim değişikliğine karşı önlem alınmasını gerekmektedir bor katkılı betonlarda da hidrasyon süresi uzun olduğundan dolayı kütle betonlarında kullanılabilirliği araştırılabilir.
- Elde edilen bu sonuçların ileride yapılacak çalışmalara ışık tutacağına inanarak, bundan sonra yapılacak çalışmalarda beton karışımında d_{max} 'ı 24mm tutarak %10 ilave değerine yakın oranlarda katkı yaparak daha iyi sonuçlar sağlayabileceği söylenebilir. Ayrıca S/Ç oranının boraks katkılı betonlar içinde ayrıca yapılp daha iyi işlene bilirliğe sahip betonlar dökülebilir.

KAYNAKLAR

- Ağar, E., Sütaş, İ. ve Öztaş, G., 1998.** Beton Yollar (Rijit Üstyapıları), İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, 392 s., 105-120.
- Akpınar, S., Evcin, A. ve Özdemir, Y., 2017.** Effect of calcined colemanite additions on properties of hard porcelain body. *Ceramics International*, 43, 8364-8371.
- Aktaş, S., Kaya, E., Harbutoğlu, H. ve Hacımustafaoğlu, A., 2018.** Bor Ve Bor Atığının Geri Dönüşüm Agregası İle Normal Beton Üzerindeki Etkileri. Bitirme Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Rize, Türkiye, 58 s., 52.
- Alp, B., 2018.** Aşınma Asfalt Betonu Ve Taş Mastik Asfalt Tekniğinin Köprü Uygulamalarında Kullanılması Ve Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 120 s., 4.
- Anonim, 1997.** FHWA Study of South African Pavement and Other Highway Technologies and Practices, U.S. Department of Transportation, Washington, US, 24s.
- Anonim, 2002.** Pavement Preservation Technology in France, South Africa and Australia, FHWA International Scanning Program, U.S. Department of Transportation, Washington, US, 59 s.
- Aydın, U., 2009.** Kolemanit Atığının Beton Dayanımına Olan Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye, 67 s., 55.
- Bakış, A., 2018.** Atık Çelik Lif Takviyeli Pomza İçeren Reaktif Pudra Betonun Rijit Kaplama İmalatında Kullanımı. *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 63-71.
- Battal, Ö., 2012.** Beton Yollarda Yüzeydeki Sürtünme Katsayısı Kaybının Yapay Sinir Ağlarıyla Belirlenme. Yüksek Lisans Tezi. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, Türkiye, 77 s., 9.
- Boztepe, M., 2011.** Beton Yollardaki Farklı Yüzey Tiplerinin Gürültü Düzeyi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 121 s, 50.
- Çetin, O., 2009.** Beton Yollarda Yeni Teknolojiler Silindirle Sıkıştırılan Beton. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 85 s., 78.
- Çevik, N., 2014.** Bazalt Elyafların Beton Yollarda Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 85 s., 1.

- Çiçek, M.V., 2018.** Bor Madeni Katkısının Betondaki Mekanik Ve Fiziksel Özellikler Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 45 s., 3.
- DPT, 2001.** VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı 'Bor Tuzları' Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Cilt II. 65 s.
- Delatte, N. J., 2008.** Concrete pavement design, construction and performance. Taylor & Francis Group, 1. Baskı, ISBN:978-0-415-40970-4, 367 s., 148.
- Durmuş, C., 2016.** Bor Katkılı Çimentoların Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 68 s., 29.
- Er, A., 2011.** Özel Öğütülmüş Lastik Atığı İçeren Asfalt Betonunun Performans Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 214 s., 22.
- Erdoğan, T.Y., 2007.** Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayınları, 2. Baskı, SBN:975706467, 760 s., 384.
- Erdoğan, K., Tokyay, M. ve Türker, P., 2005.** Traslar Ve Traslı Çimentolar. Ar-Ge Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 8. Baskı, ISBN:975-8136-13-5, 62 s., 36.
- Erdoğan, E., 2006.** Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 335 s., 14.
- Erşahan, H., Tunç, M., Ekmekyapar, A. ve Yapıcı, S., 1995.** Flash dehydration of ulexite and investigation of dehydration kinetics from thermogravimetric data. *Thermochimica Acta*, 250, 125-135.
- Eyyüboğlu, S., 2013.** Kolemanit Konsantratör Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye, 124 s., 10.
- Fayetorbay, İ., 2013.** Borlu Aktif Belit Çimentolu Isıl İşlem Görmüş Ve Görmemiş Betonların Hidratasyon Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, 255 s., 191.
- Güner, M.S., 2012.** Malzeme Bilimi Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi. Aktif Yayınevi, 17. Baskı, ISBN:975-96868-4-8, 455 s., 351.
- Koca, C., 2002.** Niçin Beton Yollar? Hazır Beton Dergisi, 9(51), 78-96.
- Kütük, S., 2017.** Öğütülmüş Nano Boyutlu Kolemanit Mineralinin Elementel ve Kristal Yapı Özellikleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 303-313.

- Kütük, S., Bolat, S., Başoğlu, M. and Öztürk, K., 2009.** Comparison of levitation force relative to thickness of disk shaped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ prepared by MPMG and FQMG processes. *Journal of Alloys and Compounds*, 488, 425-429.
- Kütük, S., Bolat, S., Öztürk, K., Akbulut, Ş. and Çakır, O., 2011.** Levitation force density on different thicknesses of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ bulk superconductor fabricated by FQMG process. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 24, 475-479.
- Kütük, T., 2016.** Stability analyses of submicron-boron mineral prepared by mechanical milling process in concrete roads. *Construction and Building Materials*. 121, 255-264.
- Mazlum, S., 2014.** Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Asfalt Kaplamaların Kazınarak Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 81 s., 9.
- Öner, U., 2008.** Türkiye'nin Alternatif Enerji Kaynakları Ve Madenin Endüstride Kullanım Alanlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 124 s., 10.
- Pancar, E.B., 2012.** Beton Yol Kaplamaların Sayısal Tasarımında Bilgi Sistemleri ve Yapay Zeka Yaklaşımı. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 143 s., 12.
- Pehlivanoglu, H.E., Davraz, M. and Kılıncarslan, Ş., 2013.** The effect of boron compound to setting time of cement and controllability. *Süleyman Demirel University International Technologic Science*, 5, 39-48.
- Puyan, M.S., 2003.** Beton Yollarda Çatlak Denetimi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye, 129 s., 5.
- Şener, S. ve Özbayoğlu, G., 1995.** Separation of ulexite from colemanite by calcination. *Minerals Engineering*, 8, 697-704.
- TS EN 12350-2, 2010.** Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, TSE., Ankara, 1.Baskı, 9 s.
- TS EN 13791, 2010.** Basınç Dayanımının Yapılar Ve Ön Dökümlü Beton Bileşenlerde Yerde Tayini. TSE., Ankara, 1. Baskı, 25 s.
- TS EN 802, 2016.** Beton Karışım Hesap Esasları, TSE., Ankara, 1.Baskı, 43 s.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. ve Yeğınobalı, A., 2009.** Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. Ar-Ge Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 4. Baskı, ISBN:975-8136-18-6, 109 s., 54.

- Uğurlu, A., Özdemir, M. ve Topçu, İ., 2004.** Bor İçeren Kil Atıkların Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi. Ulusal Bor Sempozyumu, Eskişehir, 23-25 Eylül, 405-411.
- Ulusoy, T., 2010.** Beton Yollarda Taşıt Hızlarının Ve Beton Özelliklerinin Yer Değiştirme Ve Gerilmelere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye, 82 s., 3.
- URL-1, 2018.** <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=89> (8 Kasım 2018).
- URL-2, 2018.** <http://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2008/hm12.cfm> (14.11.2018).
- URL-3, 2018.** <http://www.pavementinteractive.org> (14.11.2018).
- URL-4, 2018.** <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri> (16.11.2018).
- URL-5, 2018.** <http://www.etimaden.gov.tr> (16.11.2018).
- URL-6, 2018.** <http://www.mta.gov.tr> (20.11.2018).
- Ünal, B., 2003.** Çelik Tel Ve Polipropilen Lif İçerikli Beton Yolların Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri , Türkiye, 83 s., 8,9.
- Üstümkol, F.N.E., 2006.** Endüstriyel Atıkların Esnek Yol Üstyapısında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye, 104 s., 8.
- Whitehurst, E.A., 1951.** Soniscope tests concrete structures. Journal Of American Concrete İnstitute, 47, 443-444.
- Yeğınobalı, A., 2003.** Ulusal Beton Yollar Kongresi 2002 (Konuşma Metinleri). Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı, Ankara, 18 Aralık, 18-24.
- Yeğınobalı, A., 2009.** Silis Dumanı Ve Çimento İle Betonda Kullanımı. Ar-Ge Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı yayınları, 6. Baskı, ISBN:975-8136-14-3, 66 s., 28.
- Yeğınobalı, A., 2010.** Türkiye'nin İlk Beton Karayolları. Ar-Ge Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı, 2. Baskı, ISBN:978-975-8136-27-8, 64 s., 43.
- Yıldız, S., 2008.** Emet Bor İşletmesi Hisarcık Konsantratör Atıklarının Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, Türkiye, 100 s., 2.

Yılmaz, O., 2014. Tüvenan Tinkalden Kalsine Tinkal Üretimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29, 401-406.

Zorer, Y., 2005. Kolemanit Katkılı Çimento Üretiminde Öğütülebilirliğin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye, 97 s., 19.



ÖZGEÇMİŞ

Nihat Utku GÜNER, 26/05/1993 tarihinde Eskişehir’de doğdu. İlköğretimi 2004 yılında Rize ili Merkez ilçesinde Denizciler İlköğretim Okulu’nda ve Ortaöğretimi 2007 yılında Şahika ortaokulunda, lise öğrenimini ise Rize Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2011 tarihinde başladığı lisans eğitimini 2016 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. 2017 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir.

