

**BOROJİPSİN ALTTEMEL TABAKASINDA
STABİLİZASYON MALZEMESİ OLARAK
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

Emine MOTOR

**Y. Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç.Dr. Sinan HINISLIOĞLU
2007
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BOROJİPSİN ALTTEMEL TABAKASINDA
STABİLİZASYON MALZEMESİ OLARAK
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

Emine MOTOR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2007**

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Sinan HINISLIOĞLU danışmanlığında Emine MOTOR tarafından hazırlanan bu çalışma 26.07.2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Muhtar KOCAKERİM

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Sinan HINISLIOĞLU

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Suat AKBULUT

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOROJİPSİN ALTTEMEL TABAKASINDA STABİLİZASYON MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

Emine MOTOR

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sinan HINISLIOĞLU

Bu çalışmada bir bor cevheri olan kolemanitten borikasit üretimi esnasında ortaya çıkan borojips atığının, yol üstyapılarındaki alttemel tabakalarında bağlayıcı madde olarak kullanımı araştırılmıştır. Bandırma'da bulunan Eti Bor AŞ.'den sağlanan borojips atığı ile Makimsan A.Ş'den sağlanan alttemel malzemesi ve çimento farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen numuneler üzerinde serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır.

Başlangıçta çimento ile borojipsli numuneler üretilmiş fakat suya karşı dayanımı olmayan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri uygulanamamıştır. İkinci aşamada ise alttemel malzemesi ile borojips kullanılarak çimentosuz numuneler üretilmiştir. 7 günlük hava küründen sonra serbest basınç dayanımı değerlerinde kontrol numunelerine göre bir artış gözlemlenmiştir. %20 borojips ilaveli karışımlardan $9,5 \text{ kg/cm}^2$ lik maksimum serbest basınç dayanım değeri ve %50 borojips ilaveli karışımlardan %70'lik maksimum CBR değeri elde edilmiştir. Alttemel tabakası için %70 CBR değeri kullanılarak AASHTO esnek üstyapı tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım sonucu üstyapı kalınlığında bir azalış, alttemel tabakası maliyetinin de yaklaşık yarıya düştüğü gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak esnek üstyapılarda borojips kullanımıyla, üstyapı maliyetinin ve çevre kirliliğinin azaldığı görülmüştür.

2007, 74 sayfa

Anahtar Kelimeler: Borojips, bağlayıcı maddeler, yol stabilizasyonu,

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE USAGE OF BOROGYPSUM IN THE SUBBASE COURSE AS A STABILIZATION MATERIAL

Emine MOTOR

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sinan HINISLIOĞLU

In this study, the usage of the borogypsum waste, come from processing of boron mine during boric acid production, as a binder material in subbase course in flexible pavement is investigated. Compressive strengths and CBR values of the specimens prepared by mixing different amount of borogypsum waste provided by Eti Bor Incorporated Company in Bandırma and subbase material provided by Makimsan Incorporated Company and cement have been investigated.

Firstly, the specimens with borogypsum and cement have been produced, however, 7 days compressive strength tests haven't been performed because the specimens failed during water curing. In the second stage, the specimens with subbase material and borogypsum are produced without cement. After 7 day air curing, it is seen that the compressive strength values are increased compared to control specimens $9,5 \text{ kg/cm}^2$ of maximum compressive strength is obtained from the mixtures with 20% borogypsum. 70% of maximum CBR value was obtained at 50% of borogypsum. AASHTO flexible pavement design is made using 70% CBR values for the subbase course. It is seen that the decrease in the pavement thickness provides nearly the reduction by half in the cost of subbase layer.

As a result, use of borogypsum in the flexible pavement reduces both the environmental pollution and the cost of pavement.

2007, 74 pages

Keywords: Borogypsum, binder material, road stabilization, CBR.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında ve Meslek Yüksek Okulu İnşaat Laboratuvarında yapılmıştır. Bu çalışma süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Sinan HINISLIOĞLU'na içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın değişik aşamalarında yardım ve desteklerini esirgemeyen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden Sayın Doç. Dr. Suat AKBULUT'a, Sayın Arş. Gör. Seracettin ARASAN'a, Sayın Arş. Gör. Meral OLTULU'ya, Sayın Yrd. Doç. Dr. Şahin ZAIMOĞLU'na, Sayın Prof. Dr. M. Muhtar KOCAKERİM'e ve değerli meslektaşım Sayın İnş. Müh. Sevgi ÖZKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman ve her konuda yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme özellikle babama şükranlarımı sunarım.

Emine MOTOR

Temmuz 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	4
1.2. Kapsam	5
1.3. Kaynak Özetleri	5
2. KURAMSAL TEMELLER.....	17
2.1. Esnek Üstyapı.....	17
2.2. Alttemel ve Temel Tabakalarının Özellikleri	18
2.2.1. Alttemel tabakası	18
2.2.2. Temel tabakası	20
2.3. Temel Tabakasında Çimento ile İyileştirme	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	25
3.1. Materyal	25
3.1.1. Agrega.....	25
3.1.2. Katkı malzemeleri	25
3.2. Yöntem.....	26
3.2.1. Zeminlerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi	27
3.2.2. Katkılı zemin numunelerinin hazırlanması	27
3.2.3. Optimum su muhtevalarının bulunması	27
3.2.4. Karışımların serbest basınç dayanımlarının belirlenmesi	28
3.2.5. Karışımların CBR deney sonuçlarının belirlenmesi	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	33
4.1. Elek Analizi	33
4.2. Optimum Su Muhtevalarının Belirlenmesi	34
4.3. Çimento+Borojipsli Karışımların Serbest Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi.....	38
4.4. Borojipsli Karışımların Su Muhtevalarının Belirlenmesi	40
4.5. Borojipsli Karışımların Serbest Basınç Dayanımlarını Belirlenmesi	46
4.6. Borojipsli Karışımların CBR Deney Sonuçlarının Belirlenmesi	49
4.7. Esnek Üstyapı Tasarımı	54
4.7.1. Esnek üst yapı tasarımında takip edilecek sıra ve yöntem	55
4.7.2. Borojipsli bir alttemel tabakasının üstyapı tasarımına etkisi	56
4.8. Maliyet Analizi	61
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	68
EKLER.....	72
EK 1	72
EK 2	73
EK 3	74
ÖZGEÇMİŞ.....	

SİMGELER DİZİNİ

a_n	n. tabaka katsayısı
D_n	n. tabaka kalınlığı
FTA	Farka bağlı termik analiz
M_R	Efektif taban zemini esneklik modülü
m_n	n. tabaka drenaj katsayısı
SN	Üst yapı sayısı
S_0	Toplam standart sapma
TGA	Termogravimetrik analiz
XRD	X ışını difraksiyonu
w_{opt}	Optimum su muhtevası
$W_{8,2}$	Proje trafiği
Z_R	Standart normal sapma
γ_{kmax}	Maksimum kuru birim hacim ağırlık
ΔSYI	Toplam servis yeteneği kaybı

KISALTMALAR

AT	Alttemel
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
ÇST	Çimento Stabilizasyon Temel
ÇBGT	Çimento Bağlayıcı Granüler Temel
DSM	Yay Elek
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KGŞ	Karayolları Genel Şartnamesi
MST	Mekanik Stabilizasyon Temel
PMT	Plentmiks Temel

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bor atıklarının sektörel bazda dağılımı.....	4
Şekil 2.1. Esnek üstyapı tabakaları.....	17
Şekil 3.1. Pres aleti	30
Şekil 3.2. CBR aleti.....	32
Şekil 4.1. Deneyleerde kullanılan agreganın granülometri eğrisi.....	33
Şekil 4.2. Sadece agregalı zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları.....	34
Şekil 4.3. Agregalı+%4 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları..	34
Şekil 4.4. Agregalı+%6 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları..	35
Şekil 4.5. Agregalı+%8 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları..	35
Şekil 4.6. Agregalı+%10 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları.....	36
Şekil 4.7. Agregalı+%20 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları.....	36
Şekil 4.8. Tüm grupların optimum su muhtevaları eğrisi.....	37
Şekil 4.9. Farklı küre maruz kalan karışımlarının serbest basınç dayanım değişimi eğrisi.....	40
Şekil 4.10. Hesap ve deney ile bulunan optimum su muhtevaları eğrisi	42
Şekil 4.11. Optimum su muhtevalarının hesaplanmasında kullanılabilir eği.....	42
Şekil 4.12. %10 Borojipsli karışımın kompaksiyon deney sonuçları.....	43
Şekil 4.13. %20 Borojipsli karışımın kompaksiyon deney sonuçları.....	43
Şekil 4.14. %30 Borojipsli karışımın kompaksiyon deney sonuçları.....	44
Şekil 4.15. %40 Borojipsli karışımın kompaksiyon deney sonuçları.....	44
Şekil 4.16. %50 Borojipsli karışımın kompaksiyon deney sonuçları	45
Şekil 4.17. %100 Borojipsli karışımın kompaksiyon deney sonuçları	45
Şekil 4.18. Borojips ilaveli numunelerin kalıptan çıktıktan sonraki halleri.....	46
Şekil 4.19. Borojips ilaveli numunelerin kükürtle başlıklanıp prese girmiş hali.....	47
Şekil 4.20. Farklı agregalı+borojips karışımlarının serbest basınç dayanım değişimi	48
Şekil 4.21. Sadece agregalı karışımın CBR deney sonuçları.....	49
Şekil 4.22. %10 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları	50

Şekil 4.23. %20 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları.....	50
Şekil 4.24. %30 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları.....	51
Şekil 4.25. %40 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları.....	51
Şekil 4.26. %50 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları.....	52
Şekil 4.27. %100 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları.....	52
Şekil 4.28. Farklı agrega+borojips karışımlarının CBR değişimi	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kırka bor işletmeleri atık kili ve tuğla kilinin bileşimi	12
Çizelge 1.2. Borojips ve doğaljipsin kimyasal analizi.....	13
Çizelge 1.3. Farklı oranlardaki borojips ilavesi ile numunelerin çekme ve basınç dayanımları.....	13
Çizelge 1.4. Kullanılan malzemelerin kimyasal karakteristikleri.....	14
Çizelge 2.1. Alttemel için granülometri şartnamesi (AASHTO T-27).....	18
Çizelge 2.2. Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri.....	19
Çizelge 2.3. Temel tabakalarında minimum sıkıştırma kriterleri (KGM).....	20
Çizelge 2.4. ÇBGT tabakası gradasyon limitleri.....	22
Çizelge 2.5. Alttemel ve temel tabakası gradasyon limitleri (KGM).....	22
Çizelge 3.1. Alttemel tabakasında kullanılacak malzeme için şartname kriterleri.....	25
Çizelge 3.2. Kullanılan katkıların kimyasal bileşimleri	26
Çizelge 4.1. Grupların W_{opt} (%) - γ_{kmax} (gr/cm ³) ilişkisi çizelgesi.....	37
Çizelge 4.2. Grupların su küründeki davranışları.....	38
Çizelge 4.3 Farklı kür şekillerinin çimento+agrega+borojips karışımlarının basınç dayanımına etkisi.....	39
Çizelge 4.4. Hesap ve deney ile bulunan opt.su muhtevalarının sonuçları.....	41
Çizelge 4.5. Borojipsli gruplarının serbest basınç dayanım değerleri	48
Çizelge 4.6. Grupların CBR değerleri.....	53
Çizelge 4.7. 20 Yıllık analiz süresi için yoldan geçecek trafik sayısı	56
Çizelge 4.8. Şerit dağıtma faktörü	57

1. GİRİŞ

Canlıların veya eşyaların bir yerden başka bir yere taşınması için çeşitli ulaşım sistemlerinden birinin tercih edilmesi gerekir. Ulaşım sistemleri; karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolu olmak üzere ana başlıklar altında toplanabilir. Ulaşım, günümüzde sosyo-ekonomik yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Günümüz Türkiye'sinde ekonomik kalkınmanın ve refahın gelişmesinde büyük önemi olan karayolu taşımacılığının, ulaştırma sektörü içindeki payı diğer ulaştırma modlarındaki gelişmelerle beraber artmaktadır. Bu yüzden, en önemli altyapı yatırımlarından biri olan karayollarımız, gün geçtikçe artan bir trafik yüküne maruz kalmaktadır. Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre, Türkiye'de karayolu taşımacılığının payı, 1970'de yük taşımacılığında %61, yolcu taşımacılığında %91 iken, 2003 yılında bu değerler sırasıyla %92 ve %95 olmuştur (Devlet İstatistik Enstitüsü).

Türkiye' de Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğunda otoyol, devlet yolları ve il yolları olmak üzere 5659 km uzunluğunda asfalt betonu kaplamalı yol bulunmaktadır. 2006 yılı sonunda bu değer 12738 km uzunluğa ulaşması hedeflenmektedir (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 1999).

Hızlı nüfus artışı, ekonomik kalkınma ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi birçok faktörün birlikte etki etmesi sonucu ulaşım talebi de hızla artmakta dolayısı ile hem yeni ulaştırma yapılarına olan ihtiyaç hemde mevcut ulaştırma yapılarının bakım ve onarım giderleri hızla artmaktadır. Ayrıca ülkemizde en çok tercih edilen esnek üstyapıların, kullanılan malzemelerin özelliğinden dolayı yapımı ve onarımı çok pahalıdır. Ülkemizde yol ağı gün geçtikçe yetersiz kalmakta, buna karşın yollarımızdaki trafik hacmi gün geçtikçe artmaktadır.

Yolun trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere altyapı üzerine inşa edilen ve alttemel ile temel ve kaplama tabakalarından oluşan sisteme üstyapı adı verilir (Yayla 2002).

Yol üstyapısını esnek ve rijit üstyapılar olmak üzere iki tipe ayırmak mümkündür. Ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ve Belediyeler tarafından esnek üstyapılar kullanılmaktadır (Anonim 2000).

Kara ulaştırma yapılarında kullanılan agrega, artan yeni yol yapımı ve bakım talebi ile paralel olarak azalmaktadır. Kullanılan doğal kaynaklarında sınırlı olması ve doğal agrega maliyetlerinin yükselmesi, atık malzemelerin ulaştırma yapılarında kullanılıp kullanılmayacağı konusunu gündeme getirmiştir (İlçalı 1988).

Çağımızın gereği olan hızlı üretim ve tüketim artışı, birçok sorunu da beraberinde getirerek mevcut hammadde kaynaklarına alternatif olabilecek ikincil hammadde kaynağı olarak görülen atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmalara ivme kazandırmıştır. Sanayi faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan ve çevresel problemlere neden olan atıkların değerlendirilmesi, 20. yüzyılda olduğu gibi 21. yüzyılda da önemli sorunlardan biri olacaktır. Bu atıkların değerlendirilmesi sonucu üretilen yeni ürünler ülke ekonomisine ek kazançta sağlayacaktır.

Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin depolanması veya doğaya terkedilmesi çevre kirliliği de dahil olmak üzere çok büyük sorunlar oluşturmaktadır. Günümüzde, çeşitli ürünlerin üretimi esnasında elde edilen yan ürün veya atıkların değerlendirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışılmaktadır. Atıklardan, yeni ürünlerin elde edilmesi veya mevcut ürünlerde katkı maddesi olarak kullanılması şeklinde faydalanılmaktadır. Atık malzeme ve yan ürünlerinin değerlendirilmesi sonucu, hem çok kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımı azaltılarak doğanın tahrip edilmesi önlenmekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede oluşacak problemler en aza indirgenmektedir.

“Birçok endüstri dalında yaygın bir kullanım alanı bulan bor mineralleri ve türevleri, 21. yüzyılın petrolü olarak adlandırılmakta ve bu malzemelerin yaşam standartlarının yükseltilmesindeki önemi günden güne artmaktadır. Bir bor ürünü bazı durumlarda başka bir ürünün yerini alabilmesine rağmen, günümüz koşullarında bor ürünlerinin yerini aynı kalite ve ucuzlukta tutabilecek başka bir mineralin bulunmayışı ve stratejik anlamda da değerli olması bor minerallerine özel bir konum kazandırmıştır” (Oruç vd. 2004).

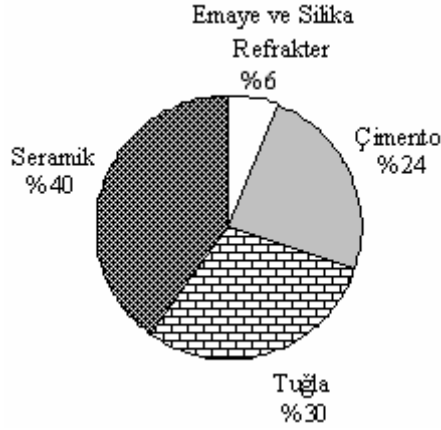
Türkiye’deki borat madenciliği açık ocak madenciliği şeklinde olup, kazanılan bor cevherleri, yıkama, dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma gibi kompleks bir proses gerektirmeyen zenginleştirme işlemleri sonucunda bir çok endüstri dalında kullanılmaktadır. “Dünya piyasalarında %31’lik üretim payına sahip olan ülkemizde, bor konsantresi üretimi Eti Holding Etibor A.Ş.’ye ait Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek işletmelerinde gerçekleştirilmektedir. Çeşitli araştırmacılar, bu tesislerde açığa çıkan atık miktarının 600.000 ton/yıl olduğunu bildirmişlerdir ”(Erkal ve Girgin 1992; AYTEKİN 1995; YAMAN ve MARAŞOĞLU 1998; GÜYAGÜLER 2001).

Türkiye’de ticari öneme sahip bor minerallerinden Kırka tinkal minerali, birbirine yakın miktarlarda montmorillonit ve dolomit içeren gri killer ile dolomitçe zengin beyaz killerden ve kalsitten oluşmaktadır (SABAH ve YEŞİLKAYA 2000),

Bursa-Kestelek bor işletmelerindeki kolemanit atıkları ile Kütahya-Emet-Hisarçık işletmesindeki kolemanit atıkları montmorillonit, kalsit, klorit ve biyotit gibi paramanyetik mineraller içermekte, Balıkesir-Bigadiç atıkları, montmorillonit, jips ve kalsit ihtiva etmektedir (Bozkurt 1989; Çolak 1997,1998).

Bor atıklarının kil içeriği bakımından zengin oluşu, söz konusu atıkların değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmaları; seramik başta olmak üzere, tuğla ve

çimento sektörüne yönlendirmiştir. Sektörel bazda bor atıklarının dağılımı Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Bor atıklarının sektörel bazda dağılımı

Bor, modern teknolojide çok çeşitli ve yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Türkiye sahip olduğu bor mineralleri rezervlerinin büyüklüğü, niteliği ve çeşitliliği açısından dünyada birinci sırada bulunmaktadır. Türkiye 803 milyon ton (B_2O_3 bazında) bor rezervi ile dünya bor rezervlerinin %63'üne sahiptir. Bu nedenle bor stratejik bir öneme sahiptir (Anonim 1995). Ülkemizde, bu büyük miktardaki üretimin getirdiği çevre problemleri de üretimle paralel yaşanmaktadır.

1. 1. Amaç

Bu çalışmanın amaçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Borojips+ çimento katkılı zeminlerin bazı fiziksel özelliklerini belirlemek.
- Borojips+ çimento katkılı zeminlerin farklı kür şartlarında alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemek.
- Borojipsin tek başına kullanılması durumunda alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemek.

- Borojipsli zeminlerin faydalı oranlarda kullanılabilirliklerini araştırarak sonuçta deneysel çalışmalarla elde edilen bulguların sayısal örnekleme ile maliyet analizinin yapılarak bu atığı ülke ekonomisine kazandırmak.

1.2. Kapsam

Çalışma kapsamında, Eti Maden A.Ş.'ye bağlı Eti Bor A.Ş.'den borik asit üretimi esnasında açığa çıkan, borojips adı verilen atık temin edilmiştir. Getirilen bu atık etüvde kurutulup, öğütüldükten sonra elekten elenerek alttemel malzemesi olan agregayla birlikte kullanılmıştır.

İlk olarak farklı oranlarda çimento ile borojips birlikte kullanılarak numuneler üretilmiş bu numuneler üzerinde 7 günlük su kürü sonunda serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın akabinde çimentolu+borojipsli numunelere 7 günlük farklı kür şartlarında serbest basınç dayanım deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmalardan olumsuz sonuçlar alınınca alttemel malzemesinde borojips tek başına katkı malzemesi olarak kullanılmış ve farklı oranlarda borojips kullanılarak numuneler üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde önce serbest basınç deneyleri daha sonra CBR deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen numunelerin dayanım özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Deney sonuçlarından en iyi dayanım veren bileşim seçilerek, AASHTO üstyapı tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım sonucu belirlenen üstyapı tabaka kalınlıklarına göre maliyet analizi yapılmıştır.

1.3. Kaynak Özetleri

Özbayoğlu (1993) ve Alataş (1996) yaptıkları çalışmalarda; kompaksiyon deneyleri sonucu uçucu kül-çimento-bentonit ve uçucu kül-kireç-bentonit karışimli kum

numunelerinde uçucu kül miktarının artması ile maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında düşük oranda, optimum su muhtevalarında belirgin artışlar olduğunu açıklamışlardır. Yapılan deneylerin sonuçlarına dayanarak uçucu külün, köy ve orman yollarının stabilizasyonunda, dolgu ve katkı malzemesi olarak kullanılması önerilmiştir.

Toprakçı (2002) yaptığı çalışmada; öğütülmüş materyalin (tuğla-kiremit atıkları) killi zeminlere bağlayıcı maddelerle birlikte katkı olanaklarını araştırmıştır. Bağlayıcı madde, tras miktarının artışı ve tuğla-kiremit öğütülme derecesinin artırılması ile numunelerin serbest basınç dayanım değerlerinde artışlar olduğunu açıklamıştır. Tüdeş (1996) çalışmalarında; zemine kireç ilave edilmesiyle, kireçteki kalsiyumdan dolayı karışımın optimum su muhtevasının yükseldiğini, optimum su muhtevasında artış olmasına rağmen karışımın maksimum kuru birim ağırlığının düştüğünü, kuru birim ağırlıktaki bu düşüşün zeminin stabilizasyonunu olumlu yönde etkilediğini ileri sürmüştür (Toprakçı 2002).

Eroğlu (2003) yaptığı çalışmada; kâğıt fabrikası atığının (kireç çamuru), kaplama tabakasında kullanılmak üzere katkılı çimento ile karışıma sokarak, basınç dayanımını araştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kireç çamurunun, katkılı çimento ile %5–10 arası oranlarda karıştırılarak oluşturulan numunelerin basınç dayanımının iyileştiği, zeminlere belirtilen oranlarda katılması halinde taban zeminlerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini bildirmiştir.

Turner (1997) yaptığı çalışmada; yol taban zeminlerinin sülfür oranı düşük olan kömürlerden meydana gelen uçucu külle muamelesi sonucundaki değişimlerini ortaya koymuştur. Bunun için çakıllı kum, siltli kum, kumlu silt ve plastik özelliği yüksek killi zeminler üzerinde denemeler yapmıştır. Deneylerde numunelerin; basınç dayanımı, esneklik modülü, su alma-kuruma ve donma-çözölmeye karşı dayanıklılığını ölçmüştür. Uçucu kül kullanımının, yolların taban zeminlerinde agrega kalınlığını artırdığını, uçucu kül ilavesi ile zeminlerin mühendislik özelliklerinde meydana gelen iyileşmenin kesin bir standardının olmayacağını bildirmiştir.

Aiban *et al.* (1998); yol performansı üzerine, temel malzemesinin suya duyarlılığını ve ağır yükleme şartlarının etkisini laboratuarda incelemişlerdir. Çalışmalarında uygun stabilizatörün seçim kararında karışımların CBR deneylerinin sonuçlarından faydalanmışlardır. Stabilizatör olarak ASTM C 150'ye uygun sülfat dirençli Tip V Portland çimentosu ve hidrate olmuş kireç kullanılmıştır. Portland çimentolu karışımların CBR değerleri daha yüksek bulunmuştur. Serbest basınç deneyleri için numuneler optimum nem içeriğinde hazırlanmış ve zeminin kuru ağırlığının %4'ü kadar çimento kullanılmasının uygun olduğuna bu deneyler sonucunda karar verilmiştir. Kür periyodunun uzatılması ile yüksek dayanım sağlanabildiği açıklanmış, 28 günlük kür sonunda çimentolu karışımın dayanımı 6800 kpa bulunmuştur ki bu 7 günlük kür sonundaki dayanımın %13 fazlasıdır.

Lee *et al.* (1987) çalışmalarında; otoyol inşasında kullanılmak üzere doğal kil, uçucu kül ve her ikisinin karışımları arasında ampirik bir bağıntı geliştirerek iyi bir dolgu malzemesi elde etmek istemişlerdir. "F" sınıfı uçucu kül ile doğal kili farklı oranlarda karıştırarak numuneler hazırlamışlar bu numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda permeabilitenin ve sıkışabilirliğin azaldığını, optimum şartlarda hazırlanan %70 zemin %30 kül karışımının 7 günlük kür süresi sonunda yüksek serbest basınç dayanım sonuçları verdiğini açıklamışlardır.

Ferguson (1993) yaptığı çalışmada; Heartland Yarış Pisti'nde kullanılan "C" sınıfı uçucu kül ile doğal zemini karıştırmış, uçucu kül ilavesi ile zeminin şişme potansiyelinin azaldığını, fakat zemin ile uçucu külü karıştırırken inşa sırasında baş gösterecek hidratasyona dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Dayanımın etkilenmemesi için ayrıca stabilizasyon sırasında su muhtevasına ve kompaksiyon işleminin süresine dikkat edilmesi gerektiğinin altını çizmiştir.

Smith (1993) yaptığı çalışmada; endüstriyel bir atık olan uçucu kül ile bazı karışımlarının zemin stabilizasyonu üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerini incelemiştir. İncelemeleri sonucunda tek başına "F" sınıfı uçucu kül kullanmak yerine, uçucu küle belli miktarlarda kireç ve çimento karıştırılarak kullanılmasının puzolonik

reaksiyonlardan dolayı dayanımını daha çok artırdığını ve hacim artışının azaldığını belirtmiştir.

Değirmenci vd. (2006) yaptıkları çalışmada; zemin stabilizasyon malzemesi olarak uçucu kül ve çimento ile birlikte endüstriyel bir atık olan fosfojipsi kullanmışlardır. Çalışmalarda yol temeli inşası için fosfojipsin tek başına etkili olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada çimento içeriği oranı %5–15 olarak seçilmiştir. Zemin örneklerinde artan çimento ve fosfojips içeriği, optimum nem içeriğinde bir azalış, kuru birim ağırlıkta bir artış meydana getirmiştir. Kuru birim ağırlıktaki bu artışın genellikle iyileşmenin göstergesi olarak kabul edildiği açıklanmıştır.

Hınıslıoğlu (1991) yaptığı çalışmada; kırmataş temel malzemesinin çimento ile stabilizasyonunu araştırmıştır. Agrega olarak kalker ve bağlayıcı malzeme olarak normal Portland çimentosu kullanmıştır. Öncelikle kırmataş karışımlarının optimum nem içeriği incelenmiş ve karışımlar bu optimum nem içeriğinde CBR kalıbında sıkıştırılmıştır. Karışımların ilk olarak bağlayıcısız serbest basınç dayanımları araştırılmış ve basınç dayanım değerleri 0,6–0,7 psi arasında bulunmuştur. Daha sonra karışımların çeşitli çimento içeriklerinde 7 ve 28 günlük kür periyotları sonucundaki basınç ve çekme dayanımları incelenmiştir. %2–4–6–8 çimento oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; çimento ile işlenmiş kırmataşlı karışımların, işlenmemiş kırmataşlı karışımlardan daha yüksek dayanıma sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Yeşilkaya (1989) yaptığı çalışmalarda; bor atıklarının, yüksek miktarda boroksit (B_2O_3) içerdiğinden, seramik sanayinde sır bünyelerde kullanılma imkânı bulunduğunu açıklamıştır. Lyday (1996), seramik sektöründe sır bünyelere boroksit ilavesinin; viskoziteyi ve erime noktasını düşürdüğünü ve bünye yüzeylerine parlaklık verdiğini bildirmiştir.

Genç vd. (1998) yaptıkları çalışmalarda; bor atıklarının genleşme katsayılarının yüksek olmasından dolayı fayans sırasında direkt olarak kullanılamayacağını fakat genleşme

katsayısını düşürecek şekilde reçete düzenlenmesi durumunda bor atıklarının fayans ürünlerinde sır maddesi olarak kullanılabilirdiğini göstermişlerdir.

Sönmez vd. (1993; 1995) yaptıkları çalışmalarda; bor atık katkılı killerin seramik sektöründe frit, sır ve masse hazırlanmasında kullanılabilirliğini kanıtlanmışlardır.

Bentli ve Çakı (2001) yaptıkları çalışmalarda; tinkal konsantresi ve boraks pentahidrat üretimi yapılırken önemli miktarda açığa çıkan killi malzemenin; plastik özellik taşıyan kil olması ve pişme renginin beyaza yakınlığı nedenlerinden ötürü çini hamurunda değerlendirilebileceğini göstermişlerdir. Deneysel çalışmalarda kullanılan DSM (yay elek) elek üstü atık kilinin çini hamuruna ilave edilmesi ile kuru-pişme ve toplam küçülme değerlerinin azaldığı, atık bünyesindeki B_2O_3 ve Na_2O nedenleriyle sinterleşmenin arttığı ve böylece sağlam bir yapının meydana geldiği, hammadde maliyetinin önemli bir oranda düştüğünü açıklamışlardır.

Köseoğlu ve Bayça (2002) yaptıkları çalışmalarda; sır bünyelere bor atıkları ilavesinin viskoziteyi düşürerek döküm çamurunun iyi kurummasını sağladığını, erime noktasını düşürdüğünü ve seramik bünyelere parlaklık kazandırdığını bildirmişlerdir.

Ediz vd. (1995, 2002) yaptıkları çalışmalarda; duvar karosu üretiminde yaş ve kuru mukavemeti arttırmak amacıyla, DSM elek üstü bor atık malzemesini reçete bünyelerine ilave ederek, kalsit hammaddesi yerine bor atık malzemesi kullanımı sonucu kalsit tüketim giderlerinden ek kazanç, atık bünyesindeki alkali oksitlerin, sinterleşme sırasında camsı faz oluşturması sonucu pişme mukavemetinde artış, düşük porozite ve düşük su emme değerleri sonuçlarını elde etmişlerdir.

Karasu ve Gerede (2002), Karasu vd. (2002) yaptıkları çalışmalarda; Kırka Boraks atığının yer karosu sırlarında kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yer karosu frit reçetesine artan oranlarda %13,5'a kadar bor atığı ilave etmişler ve elde ettikleri ürünleri mekanik ve fiziksel deneylere tabi tutmuşlardır. Kırka boraks atığının, düşük

sıcaklıklarda camlaşma yeteneğine sahip oluğu firitli yer karosu sırlarında Na-feldispat, borik asit ve dolomit yerine kullanılabileceğini göstermiş ve elde edilen ürünlerin iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir.

Erdoğan vd. (1992; 1998), Kula vd. (2002), yaptıkları çalışmalarda; çimentoda katkı maddesi olarak uçucu kül, taban külü, kolemanit konsantratör atığı, tinkal konsantratör atığı ile bunların ikili veya üçlü karışımlarını kullanmak suretiyle aynı anda farklı türde atık malzemelerin çimento üretiminde değerlendirilebilirliğini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar son yıllarda çimento endüstrisinde atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmalara ivme kazandırmış, uygun miktarda atık malzeme kullanımıyla hem çevresel hem de ekonomik fayda sağlanabileceği açıklanmıştır.

Targan vd. (2002) yaptıkları çalışmalarda; kolemanit atığını, Kula curufu ve bentonit karışımına ayrı ayrı ilave etmişler ve farklı oranlarda kolemanit atığının çimento üretiminde değerlendirilebileceğini ve klinker üretiminde enerji tasarrufu sağlanacağını belirtmişlerdir.

Boncukcuoğlu vd. (2002) yaptıkları çalışmalarda; tinkalden boraks üretimi esnasında meydana gelen ve tromel elek atığı (TEA) olarak nitelendirilen borlu atık malzemeyi kullanmışlardır. Katkılı çimentolardan elde edilen betonlar, geleneksel çimentolardan elde edilen betonlara nazaran daha iyi mekanik özellik sergilemiş, çimento bünyesine bor ilavesi ile klinker birim maliyetinde azalma sağlanacağı, çimento priz süresinin kısılacağı açıklanmıştır.

Ediz ve Özdağ (1995); Kırka atık malzemesinden elde ettikleri tuğlaların pişme sıcaklıklarının, normal tuğla topraklarının pişme sıcaklıklarına göre daha düşük olduğunu tespit etmişler ve tuğla bünyelerine kazandırılan bu özelliğin tuğla üretiminde enerji maliyetini azaltacağı sonucuna varmışlardır.

Aşkın vd. (2002); tinkal ve borakspentahidrat atıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu, ancak kolemanit atığının basınç dayanımı üzerine negatif etkisi sebebiyle tuğla bünyelerinde kullanılamayacağını belirtmişlerdir.

Kavas ve Emrulloğlu (1999); tuğla üretimi için bor atıklarını ve Seydişehir kırmızı çamur atığını kullanarak yüksek mukavemetli, düşük su emme özelliğine sahip kaliteli yapı malzemesi üretmeyi başarmışlardır.

Demir ve Orhan (2002) yaptıkları çalışmada; bor içerikli atıkları çeşitli yapı hammaddeleri (pomza) ile birlikte kullanmışlar sonuçta ısı yalıtımı yüksek, birim hacim ağırlık değeri düşük tuğla üretiminin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Lacource and Stevens (1978), Frederic and Lawrence (1975), Smith (1983) ; borun, bilinen seramik ve cam sanayiinde de uygulanan ergime sıcaklığını düşürücü ve kaynaştırıcı özelliğinin dayanım artışına neden olduğu bildirmişlerdir.

Kırka Bor İşletmeleri, bor atıklarının üretildiği yerlerden biri olup burada üretilen atık killerin özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir. Yüksek oranda bor içeren bu atıklar önemli ekonomik kayıplara neden olduğu gibi ciddi çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir. Ek olarak atık bertarafı için geniş alanların tahsis edilmesi gerekmektedir. Uslu ve Arol (2004) bu sorunu çözmek için, Kırka bor atıklarının inşaat tuğlası yapımında kullanılmasını araştırmışlardır. Bu çalışmada Çizelge 1.1.’de verilen kil bileşim oranlarına sahip Eskişehir’de bulunan Kılıçoğlu Tuğla Fabrikası killeri ile bor atıkları farklı oranlarda karıştırılarak tuğlalar şekillendirilmiş ve farklı sıcaklıklarda pişirilmiştir. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada yeterli basma dayanımına sahip, tatminkâr görünüm sergileyen tuğlaların üretim koşulları belirlenmiş; ikinci aşamada ise bu koşullarda üretilmiş tuğlaların çekme, su emme, yoğunluk, don dayanımı ve zararlı kireç özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak bor atıklarının tuğla üretiminde belirli limitler dahilinde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Çizelge 1.1. Kırka bor işletmeleri atık kili ve tuğla kilinin bileşimi

Bileşen %	Atık Kil	Tuğla Kili
B ₂ O ₃	8.15	İz
SiO ₂	18.74	41.43
Al ₂ O ₃	3.24	4.17
Fe ₂ O ₃	0.47	7.64
CaO	21.85	10.77
MgO	16.63	6.27
K ₂ O	0.33	Yapılmadı
Na ₂ O	6.83	Yapılmadı
LOI	22.83	27.01

Boncukcuoğlu ve Kocakerim (2002) yaptıkları çalışmada; çimento üretiminde klinkere doğal jips yerine borojips eklenmesini, borojips stabilizasyonunu ve çimento priz geciktiricisi olarak borojipsin kullanımını araştırmışlardır. Borik asit, sülfürik asitle kolemanitin (2CaO.3B₂O₃.5H₂O) reaksiyonuyla üretilir ve bu üretim esnasında büyük bir miktarda borojips oluşur. Çimento sanayisinde klinkere jips; su ile C₃A (3CaO.Al₂O₃) arasındaki hızlı reaksiyonu geciktirmesi için eklenir. Genellikle geciktirici olarak doğal jips kullanılır, ancak bazı ülkelerde jips eksikliğinden dolayı jipsin yeni kaynağı olarak çimento üretiminde endüstriyel jipslerden faydalanılır. Çeşitli endüstriyel jipsler; borojips, desulphogypsum, florajips, ve fosfojips kimyasal düzenleme ile doğal olanına benzetilmiştir. Çizelge 1.2.'de doğal jips ve borojipsin kimyasal analiz değerleri verilmiştir. Numunelerin basınç, çekme dayanımı ve priz süresi gibi mekanik özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 1.3 'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Borojips ve doğal jipsin kimyasal analizi

Parametreler	Borojips	Doğal jips
B ₂ O ₃ (%)	1.50	-
SiO ₃ (%)	6.820	0.61
SO ₃ (%)	37.940	34.05
CaO (%)	22.830	36.23
MgO (%)	1.420	1.480
Fe ₂ O ₃ (%)	0.410	0.110
Al ₂ O ₃ (%)	0.800	0.110
Na ₂ O (%)	0.163	-
SrO (%)	0.860	-
As ₂ O ₃ (%)	0.219	-
Su (%)	27.03	27.41

Boncukcuoğlu vd., sonuç olarak çimentoya %10'a kadar borojips karıştırılmasının priz geciktirici olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Çizelge 1.3. Farklı oranlardaki borojips ilavesi ile numunelerin çekme ve basınç dayanımları

	Atık Oranı	Çekme Dayanımı (kg/ cm ²)			Basınç Dayanımı (kg/ cm ²)		
		2 Gün	7 Gün	28 gün	2 Gün	7 Gün	28 gün
Isıtılmış Borojips	2.5	49	60	78	230	325	430
	5.0	33	54	70	188	311	378
	10.0	27	31	60	145	165	325
	15.0	20	25	50	108	135	270
	25.0	12	17	38	-	92	205
	40.0	-	13	29	-	70	151
	50.0	-	-	12	-	-	65
Isıtılmamış Borojips	2.5	25	36	55	135	195	310
	5.0	20	35	54	110	185	290
	10.0	17	20	47	90	105	255
	15.0	15	20	37	78	110	190
	25.0	5	13	28	25	70	150
	40.0	-	-	20	-	-	105
	50.0	-	-	-	-	-	-
Portland Çimentosu		43	56	72	183	279	350
Klinker		52	69	78	221	346	453

Sonuç olarak işlenebilirlik ve mekanik özellikler için klinkere borojips ilave edilerek üretilen çimentoların performansı doğaljipsten daha iyi sonuç vermiştir. Çünkü borojips kalıp içinde yayılmış ve daha homojen bir betona neden olmuştur. Borojipsli çimento ile hazırlanan betonun mekanik dayanımı doğaljipsle hazırlanan betonunkinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Betonun mekanik dayanımı, borojips oranının artırılması ile azalmıştır. Elde edilen çimento ve betonların bor bileşiklerinin antiseptikliğinden dolayı mikrobik çürümelere dirençli olduğu ve betonda bor bileşiklerinin radyoaktif geçirgenliği azalttığı bildirilmiştir.

Kavas vd. (2005) borojipsli, uçucu küllü ve Portland çimento klinkerli karışımların sertliği ve prizi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Uçucu kül-çimento matrisi içinde, doğal jips yerine borojips kullanılması çeşitli deneylerle araştırılmış ve mümkün kılınmıştır. Basınç ve kesme dayanım deneyleri yapılmış, priz süresi (çimentonun) oda sıcaklığında vicat iğnesi kullanılarak TS EN 196-3'e göre yapılmıştır. Dane boyu dağılımı analizi 40, 90 ve 120 mikron çaplı elekler kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin bu fazı X-Işını Diffractomer tarafından karakterize edilmiştir. Numunelerin parçalanmış yüzeylerinin mikro yapısı, elektron mikroskop tarafından taranarak incelenmiştir. Kullanılan malzemelerin kimyasal karakteristikleri Çizelge 1.4.'te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Kullanılan malzemelerin kimyasal karakteristikleri

Kimyasal analiz (wt. %)				
	Klinker	Uçucu Kül	Jips	Borojips
SiO ₂	21.36	51.75	1.84	4.57
Al ₂ O ₃	5.40	22.10	0.43	1.28
Fe ₂ O ₃	3.26	11.08	0.18	0.38
CaO	65.00	3.68	32.50	27.75
MgO	2.24	5.74	0.44	1.45
SO ₃	1.15	1.28	43.12	37.79
Na ₂ O	0.20	0.25	-	-
K ₂ O	0.99	2.87	0.10	0.73
B ₂ O ₃	-	-	-	4.30
Tutuşma Kaybı	0.38	1.00	21.32	20.62
CaO serbest	2	-	-	-

Kür süresine bakılmadan, jips eklenmiş karışımlardan, borojips eklenmiş karışımların basınç dayanımı bir miktar daha düşük çıkmıştır. Bu gözlemler erken yaşlarda özellikle basınç dayanımı azalışının sonuçlarından, çimentonun sertleşmesine mani olan jips içindeki boru gösterir. Bununla birlikte sonuçlar, TS EN 196'nın kabul edilebilir oranları içinde elde edilmiştir. Bu çalışmalarda uçucu kütle aktive edilmiş olanların mekanik dayanımları, Portland çimentosu ile zenginleştirilenlerden daha yüksek bulunmuştur. Kür yaşına bakılmaksızın, çimento + uçucu kül + borojipsten hazırlanan harcın kesme dayanımı, Portland çimentosu ile hazırlanan harçla hemen hemen aynı bulunmuştur. Borojipsin, çimentonun priz süresini geciktirdiği şeklinde genel etkisi olduğu ve doğaljips yerine borojips kullanılmasının, harcın dayanımında hafif bir azalışa neden olduğu açıklanmıştır. Bununla birlikte dayanımın, standartların kabul edilebilir oranları içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Elbeyli vd. (2003) yaptıkları çalışmalarda; sıradan Portland çimentosunun fiziksel özellikleri üzerinde kalsine edilmiş borojipsin ve normal borojipsin etkisini araştırmışlardır. Borojips başlıca jips kristalleri ve B_2O_3 ihtiva eder, bu çalışmada farklı oranlarda B_2O_3 'e sahip borojips, klinker ile birlikte çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde ki etkisini incelemek için karıştırılmıştır. Ayrıca borojips kullanılarak hazırlanan çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri ile çimento katkısı olarak hemihidrate borojipsin kullanımı araştırılmıştır. Borojips ve doğaljipsin yapısındaki dönüşüm ve kalsine sıcaklığı, farka bağlı termik analiz (FTA), termogravimetrik analiz (TGA) ve XRD (X ışını difraksiyonu) teknikleri ile araştırılmıştır. Avrupa Standartlarına (EN 196) uygun incelik, Le Chatelier genişlemesi, priz süresi, basınç dayanımı ve kimyasal analiz için deneyler yapmışlardır. %5-7 oranında borojipsle Portland çimento klinkeri birlikte öğütülerek Portland çimentosu üretilmiştir. Çimento numuneleri, endüstriyel ölçek üzerinde Portland çimentosu klinkeriyle %5 doğaljips, %5 hemihydrate borojipsin ayrı ayrı karıştırılması ile elde edilmiştir. Çimentoya katkı malzemesi olarak ağırlıkça %5 hemihydrate borojips kullanılabileceği ve 28 günlük dayanımın artabileceği önerilmiştir. Bununla birlikte klinkere hemihydrate borojips ilavesi priz süresini fark edilebilir bir şekilde artırmıştır. Priz süresindeki gecikme, hemihydrate borojipsle üretilende, normal borojipsle

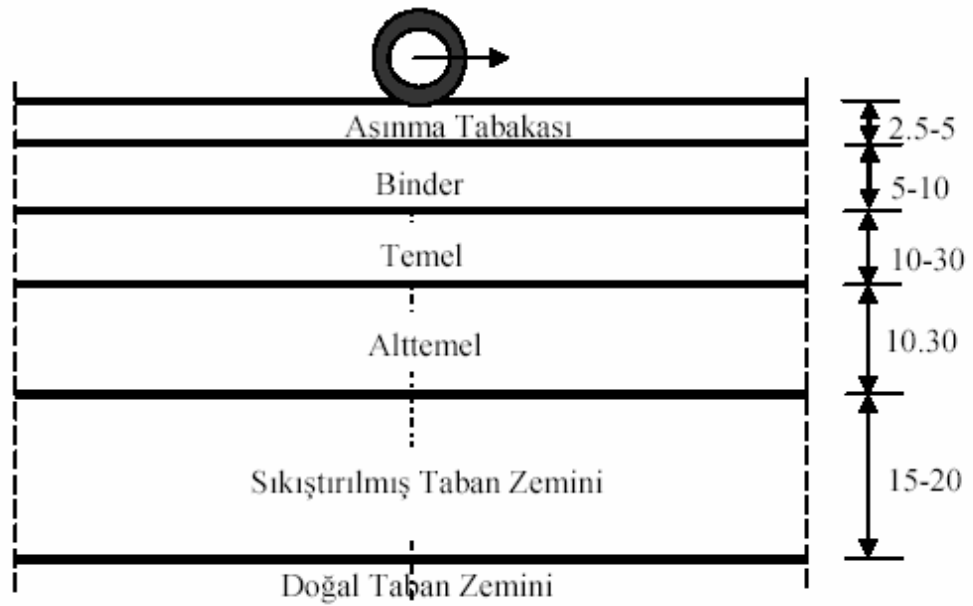
üretilenden daha belirgindir. Borojips ilavesinde %7'lik borojips ilavesi %5'e göre basınç dayanımını azaltmış priz süresini artırmıştır. Çimento içindeki B_2O_3 miktarındaki azalış dayanım değerlerinde bir düşüşe ve priz süresinde bir artışa neden olduğu rapor edilmiştir. Endüstriyel ölçekte geciktirici olarak hemihydrate borojipsin kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Bu sonuç çevresel kirliliğin önlenmesi için önemli bir rol oynar. Hemihydrate borojips bor içeriğinden dolayı betonun radyoaktif geçirgenliğini azalttığı içinde faydalı olabilir. Bilindiği gibi yüksek bor içeriğine sahip uluxite, borax, colemanite nükleer reaktörlerde radyasyon için koruyucu malzeme olarak kullanılır.

Derun vd. (2003) yaptıkları çalışmalarda; hafif beton üretiminde jips yerine borojips kullanmışlardır. Borik asit üretimi ile bir endüstri haline gelen borojipsin, hafif betonun basınç dayanımı ve priz süresi özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Borojips %3 oranında çimento klinkerine eklenmiştir. Borik asit atıklarının, basınç dayanımı üzerinde negatif bir etkisi görülmemiş, çimentonun %3'ü yerine bu atıkların kullanılabilceği kabul edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Esnek Üstyapı

Esnek üstyapı kaplama, temel ve alttemel tabakasından oluşan Şekil 2.1.'de gösterilen bir üstyapı tipidir. Esnek kaplamalar, taşıtlar için gerekli performansa ve taşıtların yarattığı gerilmelere karşı yeterince stabiliteye sahip olacak şekilde farklı özelliklere sahip farklı tabakalardan yapılan çok tabakalı esnek bir yapıdır (Tunç 2001).



Şekil 2.1. Esnek Üstyapı Tabakaları

Esnek bir üstyapıda yük iletimi, gerilmelerin alt tabakalarda daha geniş alanlara yayılarak taban zemininin taşıyacağı değere indirgeme esasına dayanmaktadır (Ilıcalı 1999). Ülkemizde granüler malzeme kaynağı oldukça fazla olduğu için, temel ve alttemel tabakalarında granüler malzeme geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Taban zemini üzerine oturan alttemel, temel ve bitümlü kaplama tabakalarından oluşan esnek yol üstyapısının başarısı, tabakaların ve taban zeminin şartnamelere uygun şekilde projelendirilip, projeye uygun inşa edilmesine bağlıdır (Umar ve Ağar 1991).

2.2. Alttemel ve Temel Tabakalarının Özellikleri

2.2.1. Alttemel Tabakası

Alttemel, taban yüzeyi ile temel tabakası arasına yerleştirilen sıkıştırılmış, daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı malzeme ile stabilize edilmiş malzeme tabakasıdır (Umar ve Ağar 1991).

Alttemel tabakasının görevi, trafik yüklerinden doğan gerilmelerin taban zemini üzerine yayılmasını sağlamak, ince daneli malzemelerin temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek ayrıca su ve don tesirlerine karşı tampon bölge görevi yapmaktır. Alttemel için granülometri şartnamesi Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Alttemel için granülometri şartnamesi (AASHTO T-27)

Elek No (mm)	ASTM (İnç)	Ağırlıkça Geçen (%)
75.0	3	100
37.5	1.5	85–100
9.5	3/8	45–100
4.75	No.4	25–85
0.425	No.40	7–40
0.075	No.200	0–12

Ayrıca, malzemenin 0,075 mm eleği geçen kısmı 0,425 mm eleği geçen kısmının 2/3'ünden fazla olmamalıdır (Karayolları Genel Şartnamesi).

Çizelge 2.2. Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri (Karayolları genel şartnamesi 2004)

2 mm elek üzerinde kalan agreganın hava tesirlerine karşı dayanıklılık (donma) deneyinde Na ₂ SO ₄ ile maksimum kayıp (%)	25	TS-3655 AASHTO T-104
Aşınma Kaybı (Los Angles) Maksimum (%)	50	TS-3694 AASHTO T-96
Likit Limit Maksimum (%)	25	TS 1900 AASHTO T-89
Plastisite İndeksi Maksimum (%)	6	TS 1900 AASHTO T-90

Modifiye Proktor Deneyi (TS 1900) ile bulunan maksimum kuru birim ağırlığın %95'ine veya Standart Proktor Deneyi ile (TS 1900) bulunan maksimum kuru birim ağırlığın %100'üne kadar sıkıştırılan numunelerin yaş CBR değerleri %30'dan az olmayacaktır. Alttemel olarak Granüler Temel (GT) malzemelerinin kullanılması durumunda, yukarıda verilen sıkışma derecesinde yaş CBR değeri en az %50 olacaktır (Karayolları Genel Şartnamesi).

Alttemel malzemesi, tesviyesi tamamlanmış taban üzerine, sıkışmış kalınlığı 20 cm'i geçmeyecek şekilde tabakalar halinde serilip sıkıştırılır. Ancak sıkıştırma makinelerinin kapasitelerinin yüksek olması halinde tabaka kalınlığı 30 cm'ye kadar arttırılabilir. Alttemel kalınlığının fazla olması durumunda birden fazla tabakalar halinde inşa edilmesi gerekir bu durumda tabaka kalınlıkları birbirine eşit alınır. Alttemel malzemesinin serilmesi ve tesviye edilmesi esnasında malzemeye ilave edilecek su miktarı Standart Proktor metodu ile bulunan optimum su içeriğinden fazla olmayacak ve bu değer altında %-2'den fazla sapma göstermeyecektir. Modifiye Proktor ile bulunan su içeriğinden ise %±2'den fazla sapma olmayacaktır. Sıkıştırmada, statik çizgisel yükü 30 kg/cm²'den büyük olan düz bandajlı vibrasyonlu silindirler ve lastik başına düşen

yükü 3500 kg'dan az olmayan lastik tekerlekli sıkıştırıcılar kullanılır (Karayolları Genel Şartnamesi).

2.2.2. Temel Tabakası

Bir esnek üstyapının temel tabakası, kaplama tabakasının hemen altına yerleştirilen, daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzeme tabakasıdır. Temel tabakasının başlıca görevi kaplama tabakasına dayanak sağlayarak üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmaktır. (Umar ve Ağar 1991).

Temel tabakası trafik yüklerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilmeli, yüksek nem oranında dengede kalabilmeli ve drenaja yardımcı olmalı ve don etkisine karşı da ayrıca bir koruma sağlamalıdır (Umar ve Ağar 1991). Temel tabakası için minimum sıkıştırma kriterleri Çizelge 2.3.'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Temel tabakalarında minimum sıkıştırma kriterleri (KGM)

TEST METODU	AT	MST	PMT	ÇST
Standart Proktor ile	%100	—	—	—
Modifiye Proktor ile	%95	%98	%100	%98
Titreşimli Tokmak ile	—	%95	%97	—
CBR (Yaş), Min	30	100	120	—

Bir veya birden fazla tabakalar halinde yapılan temel tabakaları;
 - Mekanik Stabilizasyon Temel(MST) veya Granüler Temel(GT)
 - Plentmiks Temel
 - Çimento Stabilizasyon Temel(ÇST)
 - Alttemel
 olmak üzere dört farklı tipte inşa edilir (KGM).

- Mekanik Stabilizasyon Temel Tabakası

Mekanik stabilizasyon temel tabakası, belirli fiziksel özelliklere ve gradasyona sahip areganın optimum su içeriğinde karıştırılıp yola serildikten sonra silindirler ile maksimum kuru yoğunluğa kadar sıkıştırılması sonucu oluşan tabakadır. Bu tip temeller çoğu zaman “Granüler Temel” olarak adlandırılır. Mekanik stabilizasyon temel tabakasında;

- Kaba agrega olarak çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış curuf veya kırmataş,
- İnce agrega olarak kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum(dere malzemesi) veya curuf kumu kullanılmalıdır.(KGM)

- Çimento Stabilizasyonu Temel Tabakası

Çimento stabilizasyonu temel, iyi derecelenmiş bir gradasyona sahip, belirli fiziksel şartları sağlayan agregaya belirli oranlarda çimento katılarak optimum su içeriğinde karıştırıp yola serilmesinden sonra yeterince sıkıştırılmasından sonra elde edilen temel tabakasıdır.

- Kaba agrega olarak çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış curuf veya kırmataş,
- İnce agrega olarak kırılmış çakıl, kırma kum, doğal kum(dere malzemesi) veya curuf kumu kullanılmalıdır (KGM). Çizelge 2.4’te ÇBGT(çimento bağlayıcılı granüler temel) tabakası için gradasyon limitleri, Çizelge 2.5’te temel ve alttemel tabakası için gradasyon limitleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. ÇBGT tabakası gradasyon limitleri(KGM)

mm	Elek No inç	% Geçen
37.5	1 1/2	100
25	1	72–100
19	3/4	60–92
9.5	3/8	40–75
4.75	No.4	30–60
2.00	No.10	20–45
0.425	No.40	8–25
0.075	No.200	0–10

Çizelge 2.5. Alttemel ve temel tabakası gradasyon limitleri (KGM)

Elek İnç (mm)	Alttemel Tabakası	Mekanik Stabilizasyon				Plent-Miks Temel Tabakası		Ç. Stab. Temel Tab.
		A	B	C	D	Tip-I	Tip-II	
3" (75)	100	—	—	—	—	—	—	—
2" (50)	—	100	100	—	—	—	—	—
1 1/2" (37,5)	85–100	80–100	85–100	—	—	100	—	100
1" (25)	—	60–90	70–95	100	100	72–100	100	72–100
3/4" (19)	—	—	—	75–100	80–100	60–92	80–100	60–92
3/8" (9,5)	45–100	30–70	40–75	50–85	60–100	40–75	50–82	40–75
No:4" (4,75)	25–85	25–55	30–60	35–65	50–85	30–60	35–65	30–60
No:10" (2,00)	—	15–40	20–45	25–50	40–70	20–45	23–50	20–45
No:40" (0,45)	7–40	8–20	10–25	12–30	20–45	8–25	12–30	8–25
No: 200" (0,075)	0–12	2–8	0–12	0–12	0–12	0–10	2–12	0–10

2.3. Temel Tabakasında Çimento ile İyileştirme

Genel olarak stabilizasyon terimi, zemin koşullarını değiştirerek zeminin mühendislik davranışını istenen seviyeye getirmek olarak tanımlanabilir. Stabilizasyon terimi ile

ifade edilmek istenen durum taban zemini, temel veya kaplamanın stabilitesinin artırılması veya muhafazası işlemi olarak bilinir (Kumbasar ve Kip. 1984).

Zemin stabilizasyonu, zemini daha stabil hale getirmek için yapılan işlemlerdir. Stabilizasyon teknikleri ile zeminin hacimsel stabilitesi, mukavemeti, permeabilitesi, sıkışabilirliği ve dayanıklılığı gibi özellikleri iyileştirilebilir (Tunç 2001).

Dayanım kazandırmak amacıyla zemine çimento karıştırıldığında, zeminin kayma mukavemeti yüksek bir değere ulaşmakta ve suya karşı drenajda artmaktadır. Zemin ile çimento karışımı ilk defa 1935 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yol inşasında kullanılmıştır. Özellikle yol ve havaalanı zeminlerinin stabilizasyonunda çimento kullanımı o tarihten itibaren geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Çimento stabilizasyonunun yol inşasında ne şekilde kullanılacağı, zeminin tipine, arazi şartlarına ve trafik hacmine göre belirlenmelidir (Leckebush 1984).

Literatürde yol stabilizasyonu üzerine yapılan araştırmalar, yüksek çimento yüzdelisinde mukavemetin arttığını ve iyi bir basınç dayanımına sahip zemin-çimento karışımlarının dona ve rutubete karşı da iyi bir dayanıklılığa sahip olduklarını göstermiştir.

Çimento stabilizasyonu bir dereceye kadar diğer stabilizasyon şekillerinden farklıdır. Çimento, zemini sertleştirir ve malzemenin su yalıtımı, içsel sürtünme ve kohezyonundan ziyade yapısal direncinde etkili olur (Tüdeş 1996).

Karışımın karakteristiği ile ilişkili olarak çimento içeriği, orijinal zeminin veya hidrasyon ürününün özellikleri ile saptanmaktadır. Karışımındaki çimento oranı arttığında, dayanımda artacaktır. Dayanım, süreyle de artış gösterecektir. Yapımdan sonraki birinci ve ikinci günde bu artış hızlı olup, sonra tabakanın kür olması ile dayanım artış hızı azalacaktır (Aksoy 2002).

Çimento katkı oranları %2–4–6–8 olarak seçilebilir. Karışım tamamlanır tamamlanmaz sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırmada gecikme kaybı, malzemenin sıkıştırılma karakteristiklerine yansımaktadır. Stabilize malzemenin sıkıştırmadaki gecikmelere karşı olan duyarlılığını saptama, karışım tamamlandıktan iki saat süre sonunda diğer bir sette uygulanan deneylerle belirlenir (Transport Research Laboratory 1993).

Çimento ile zemin stabilizasyonu konusunda yapılan bir çalışmada çimentonun %5 ile %10 arasında katılması ile zeminlerde çok iyi bir direnç ortaya çıktığı belirtilmektedir (Aytekin ve Nas 1998).

Çimento, kireç ve bitüm dışındaki tüm malzemeler, granüler malzemelere ancak özel şartlar altında ve kısıtlı hacimlerde ilave edilebilmektedir. Günümüze kadar önerilmiş olan birçok katkı maddesinden ekonomik olarak tercih edilmiş olanlar uçucu kül, fosforik asit, fosfor tuzları, reçine ve polimerler, $CaCl_2$ ve $NaCl$ tuzları, lignin ve kostik soda olarak sıralanabilir.

Uçucu külle, siltli ve kumlu zeminler karıştırılarak elde edilen karışımlar üzerinde %3, %6 ve %9 oranlarında çimento ilave edilerek yapılan stabilizasyon çalışmalarında, basınç dayanımı zamana bağlı hiperbolik bir yapı göstermekte, iyileşme, çimento oranının artması ile ve uçucu kül oranının azalması ile artmaktadır (Karinaj ve Havanagi 1999).

Çimento ile işlenmiş temel tabakası için temel kontrol faktörleri;

- Uygun çimento içeriği
- Yeterli nem içeriği
- Tam karışım
- Yeterli sıkıştırma
- Uygun kür'dür.

Literatürde çimento ile işlenmiş temel tabakalarının genellikle 7 günlük serbest basınç dayanımları incelenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada Makimsan A.Ş.'nin Erzurum ilindeki şantiyesinden temin edilen kalker esaslı alttemel malzemesi ile Eti Maden işletmelerine bağlı Eti Bor A.Ş.'den temin edilen borojips ve Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilen çimento kullanılmıştır. Düşük miktarda çimento, borojips ve sadece borojips ile stabilize edilmiş alttemel tabaka numuneleri hazırlanmıştır.

3.1.1. Agrega

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agrega kalker cinsi olup Erzurum ili Makimsan A.Ş.'nin Karayolları için hazırladığı konkasörlerden sağlanmıştır. Alttemel tabakası için gereken şartname limitleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Alttemel tabakasında kullanılacak malzeme için şartname kriterleri

Elek No (mm)	ASTM (İnç)	Ağırlıkça Geçen (%)	Kullanılan Gradasyon (%)
75.0	3	100	100
37.5	1.5	85-100	100
9.5	3/8	45-100	60
4.75	No.4	25-85	33
0.425	No.40	7-40	8
0.075	No.200	0-12	4

3.1.2. Katkı malzemeleri

Çalışmada katkı malzemesi olarak çimento ve borojips kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan katkı oranları ve katkı malzemelerine ait özellikler aşağıda verilmiştir.

- **Portland çimentosu:** Çalışmada, %4, %6, %8, %10 ve %20 oranlarında Portland çimento kullanılmıştır. Katkı oranlarının belirlenmesinde literatürdeki daha önceki araştırmalardan yararlanılmıştır (Boncukcuoğlu 2002, Hınıslioğlu 2000). Kullanılan çimento, Erzurum Aşkale Çimento Fabrikası'ndan temin edilen P.Ç.32,5 katkısız Portland çimentosudur.

- **Borojips:** Bu çalışmada, ağırlıkça %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında borojips kullanılmıştır. Kullanılan borojips, Eti Bor İşletmelerine ait Bor Fabrikası borik asit üretim atığıdır. Borojips "A" gradasyonuna karşılık gelmiştir.

Bu iki katkı malzemesinin özellikleri malzemelerin temin edildikleri firmalardan alınmıştır. Üretici firmalardan temin edilen kimyasal bileşimler Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan katkıların kimyasal bileşimleri

Elementler (%)	Çimento	Borojips
SiO ₂	27,55	1,54
Al ₂ O ₃	6,66	-
Fe ₂ O ₃	4,41	0,03
CaO	47,57	67,08
MgO	2,91	1,26
Na ₂ O	0,57	0,02
SO ₃	1,81	1,09
TiO ₂	-	0,32
K ₂ O	0,64	0,05
Kızdırma Kaybı	6,9	28,50

3.2. Yöntem

Bu bölümde, belirlenen gradasyon veya gradasyonlar, farklı çimento oranları ve farklı borojips oranları ile alttemel tabakasının geoteknik özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan deneysel yöntemler ve katkılı zemin numuneleri üzerinde yapılan Serbest Basınç Dayanımı ve CBR deneyleri verilmiştir.

3.2.1. Zeminlerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi

Zemin numunelerinin geoteknik özellikleri Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında belirlenmiş, CBR deneyi Erzurum Meslek Yüksek Okulu İnşaat Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin elek analizi ASTM D 1140'a, kıvam limitleri ASTM D 4318 ve TS 1900'e, standart proktor deneyi ASTM D 698'e, serbest basınç mukavemetleri ASTM D 2166'ya ve CBR deneyleri ise ASTM D 1883-05'e göre belirlenmiştir.

3.2.2. Katkılı zemin numunelerinin hazırlanması

Tüm katkılar numunelere ağırlıkları oranında katılmıştır. Homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılan numuneler daha sonra optimum su muhtevalarında sıkıştırılmış ve şartnameler dikkate alınarak önce su küründe daha sonra da 22°C oda sıcaklığında 7 günlük kür uygulanmıştır. Önce farklı oranlardaki çimento+ borojips katkıları numuneler üretilmiş, borojipsin çimentonun priz süresini geciktirerek, çimentonun sertleşmesine engel olmasından dolayı numuneler kalıptan çıktıktan ya hemen sonra bozulmuş ya da su küründe dağılarak başarısız sonuçlar alınmıştır. 2. aşamada sadece farklı oranlardaki borojips katkıları numuneler üretilmiş bu numuneler üzerinde serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır.

3.2.3. Optimum su muhtevalarının bulunması

Zemin danelerinin en iyi sıkışmayı gösterdiği optimum su muhtevası zeminlerin stabilizasyonu için oldukça önem taşımaktadır. Kompaksiyon deneyinin amacı, zeminin sıkıştırılması ile maksimum kuru birim hacim ağırlığının ve optimum su muhtevasının belirlenmesidir. Hazırlanacak numuneler için kullanılan oranlardaki katkıları ile birlikte karışımların optimum sıkıştırma parametreleri olan γ_{kmax} ve w_{opt} değerleri kompaksiyon deneyleri ile elde edilmiştir.

Kompaksiyon silindiri sert bir yüzey üzerine yerleştirilir. Zemin numunesi birbirine eşit olacak üç tabaka halinde kompaksiyon silindirinin içine serilerek her tabakaya 2,5 kg ağırlığındaki tokmağın 30,5 cm yükseklikten serbest düşüşü ile yatayda homojen olarak dağıtılan 25 vuruş ile sıkıştırılır. En üstteki tabaka sıkıştırıldıktan sonra yaka çıkarılır. Sıkıştırılmış haldeki son tabakanın silindirik kaptan yukarıya taşan kısmı 0,5-1,0 arasında olmalıdır. Bu fazlalık kısım, spatula kullanılarak kesilip temizlenir.

Kompaksiyon kabının üst yüzeyi iyice düzeltildikten sonra yan yüzeyleri de iyice temizlenir. İçi sıkıştırılmış zeminle dolu kap yakasız olarak 1gr duyarlıklı terazide tartılır. Silindirik kap numune çıkarma aletine takılarak içerisindeki sıkıştırılmış zemin, kolun çevrilmesi ile çıkartılır. Numunelerin su muhtevasını belirlemek için silindirik kaptan çıkarılan numune, dilimlenerek ortasından üst kısmına ve alt kısmına yakın yerlerden yaklaşık 100'er gram numune alınarak etüve konulur. Bu üç parçanın su muhtevasının ortalaması, sıkıştırılmış silindirik numunenin su muhtevası olarak kaydedilir. Yapılacak her kompaksiyon için işlemler tekrar edilerek maksimum kuru birim hacim ağırlığına ulaşılmaya çalışılır. Sonuçta su muhtevası – kuru birim hacim ağırlık ilişkisini gösteren eğri çizilir. Bu eğrinin pik noktası belirlenir ve bu pik noktasının yatay eksenindeki karşılığı optimum su muhtevasını, düşey eksenindeki karşılığı ise maksimum kuru birim hacim ağırlığını gösterir (Özaydın 1989).

3.2.4. Karışımların serbest basınç dayanımlarının belirlenmesi

Basınç dayanımı deneyi 7 günlük, 10x20 cm boyutundaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Numune boyutları belirlendikten sonra, yükün bütün alana üniform olarak yayılmasını sağlamak amacıyla numuneler üzerindeki başlık tabakası kalınlığı, yükleme doğrultusuna dik numune boyutunun veya yükleme yüzeye çapının %2'sini aşmayacak şekilde numuneler başlıklıdır. Başlıklama işleminde kükürt kullanılmıştır.

Başlıklama işlemi bittikten sonra numuneler en az iki saat sertleşmeye bırakılmış daha sonra basınç mukavemetleri tayin edilmiştir.

Tüm numuneler sabit yükleme hızı altında, TS 3114-1990'a göre deneye tabi tutulmuştur. Yükleme hızı olarak $3 \text{ kg/cm}^2/\text{s}$ seçilmiştir.

Basınç dayanımı deneyinde Şekil 3.1.'de verilen ELE marka AUTOTEST 3000 tipinde 300 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Pres aleti

3.2.5. Karışımların CBR deney sonuçlarının belirlenmesi

Kaliforniya taşıma oranı (CBR), belli boyutları olan bir pistonun özel olarak sıkıştırılarak hazırlanmış bir numuneye belli bir derinliğe kadar batması için gerekli basıncın, aynı pistonun düzgün bir gradasyonu olan kırmataştan hazırlanmış bir

numunede aynı batmayı sağlayan basınca oranı olarak tanımlanan ve yüzde olarak ifade edilen bir sayıdır.

CBR deneyi yaş ve kuru CBR olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Yaş CBR deneyindeki amaç, boşlukların tamamen su ile dolduğu en düşük taşıma gücünü saptayabilmektir. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından tabakaların CBR değerleri yaş CBR sonucu belirlenmektedir. Bu çalışmada yaş CBR deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılan paslanmaz metalden yapılmış iç çapı $15,24 \pm 0,0013$ cm ve yüksekliği $17,78 \pm 0,0013$ cm olan silindir şeklindeki kalıbın, alt tabanına yerleştirilen bir taban plakası ve üst kısmına yerleştirilen 5,08 cm yüksekliğinde ilave bir yakası vardır. Deneyi yapılacak her grup için 3 numune hazırlanmıştır. Deneyde metalden yapılmış silindirik tokmaklar kullanılır. Modifiye proktor enerjisinde sıkıştırma yapılacaksa 45,72 cm yükseklikten serbest düşüş yapabilen, 4,535 kg ağırlığında ve 5,08 cm çapında bir tokmak; Standart Proktor enerjisinde sıkıştırma yapılacaksa 30,48 cm yükseklikten serbest düşüş yapabilen 2,49 kg ağırlığında ve 5,08 cm çapında bir tokmak kullanılır. Yükleme pistonu olarak taban alanı $19,35 \text{ cm}^2$ (Çap=4,95 cm) ve yüksekliği en az 10,16 cm olan metalden yapılmış silindir şeklinde bir piston kullanılır.

Daha önce Standart Proktor Deneyi ile optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlığı bulunan malzemeden, optimum su içeriğinde 3 tane 6'şar kg'lık numune hazırlanır. Bu numunelerde sıkıştırma, tokmağın 5 tabaka halinde her tabakaya 56 darbe gelecek şekilde (18 dış, 10 iç, 18 dış ve 10 iç) verilen yükseklikten bırakılması ile gerçekleşir. Sıkıştırma işlemi esnasında ilave yakası takılmış olan kalıp, taban plakası üzerine bağlanır ve aralık diski yerleştirilir. Aralık diski üzerine, kalıp çapında kesilmiş olan filtre kâğıdı konur ve numune sıkıştırılır.

Sıkıştırma işlemi bittikten sonra ilave yaka çıkarılır ve kalıbın üst seviyesi hizasında çelik cetvel ile numune yüzeyi tesviye edilir. Numune yüzeyinde iri malzemeden dolayı oluşan boşluklar, daha ince malzeme ile doldurulur. Yaş CBR metodunda sıkıştırmanın başlangıcında ve sıkıştırmadan sonra artan malzemeden su içeriğini bulmak için numune alınır. Hazırlanan numuneler 4 gün suda bekletilir. Penetrasyon pistonuna, hızı

dakikada yaklaşık 1,25 mm olacak şekilde yük uygulanır.0,625 mm, 1,25 mm, 1,825 mm, 2,5 mm, 5,00 mm penetrasyona karşılık gelen yükler okunur. Basınç değerleri kg/cm^2 olarak hesaplanır, yatay eksene penetrasyon, düşey eksene basınç değerleri yazılarak, basınç-penetrasyon eğrisi çizilir. Basınç-penetrasyon eğrisi konkav bir eğridir.

Taşıma oranı; 2,54 mm ve 5,08 mm'lik penetrasyonlara karşı gelen basınç değerleri yardımı ile Kaliforniya taşıma oranı bulunur. 2,54 mm'lik penetrasyondaki basınç değeri $70,31 \text{ kg/cm}^2$ 'ye, 5,08 mm'lik penetrasyondaki basınç değeri ise $105,46 \text{ kg/cm}^2$ lik standart basınç değerlerine oranlanıp 100 ile çarpılarak (formül (1)den) CBR değeri bulunur (KGM 1998).

$$\text{CBR} = (\text{Düzeltilmiş Basınç/Standart Basınç}) \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

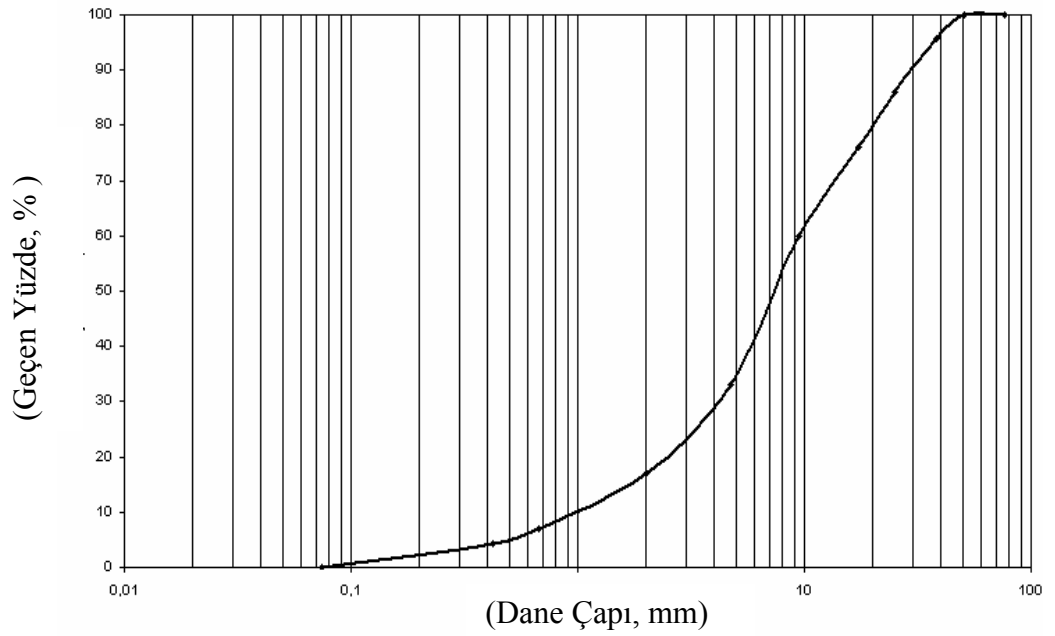


Şekil 3.2. CBR aleti

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Elek Analizi

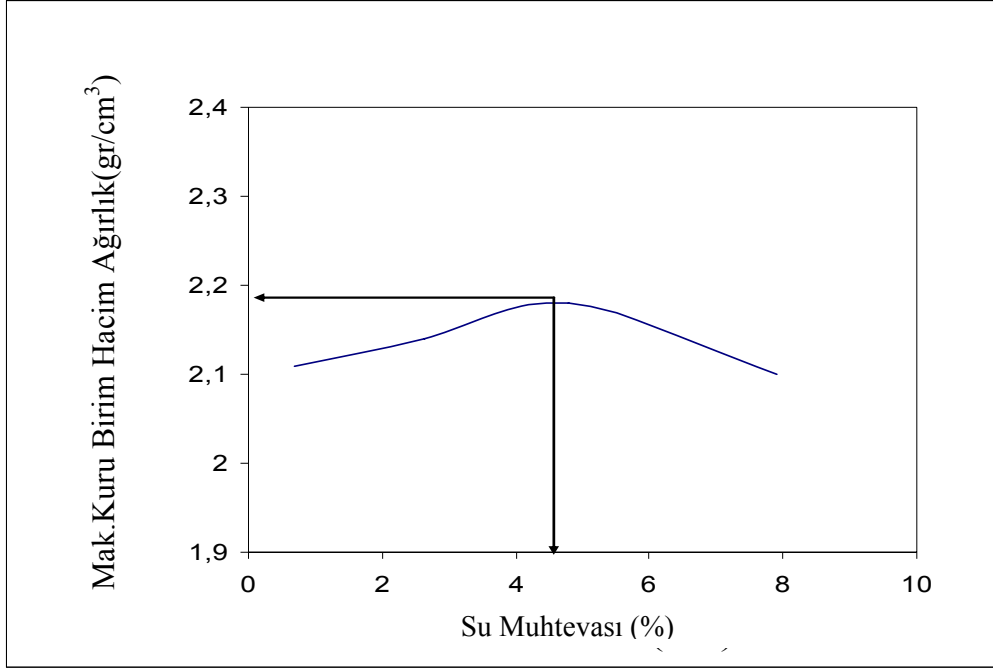
Stabilizasyonda kullanılabilir zemin özelliklerinin şartnamelerde verilen sınırlar içinde olduğunun araştırılması amacı ile elek analizi deneyi yapılmıştır. Elek analizi sonucu deneylerde kullanılan zeminin granülometri eğrisi Şekil 4.1.'de verilmiştir.



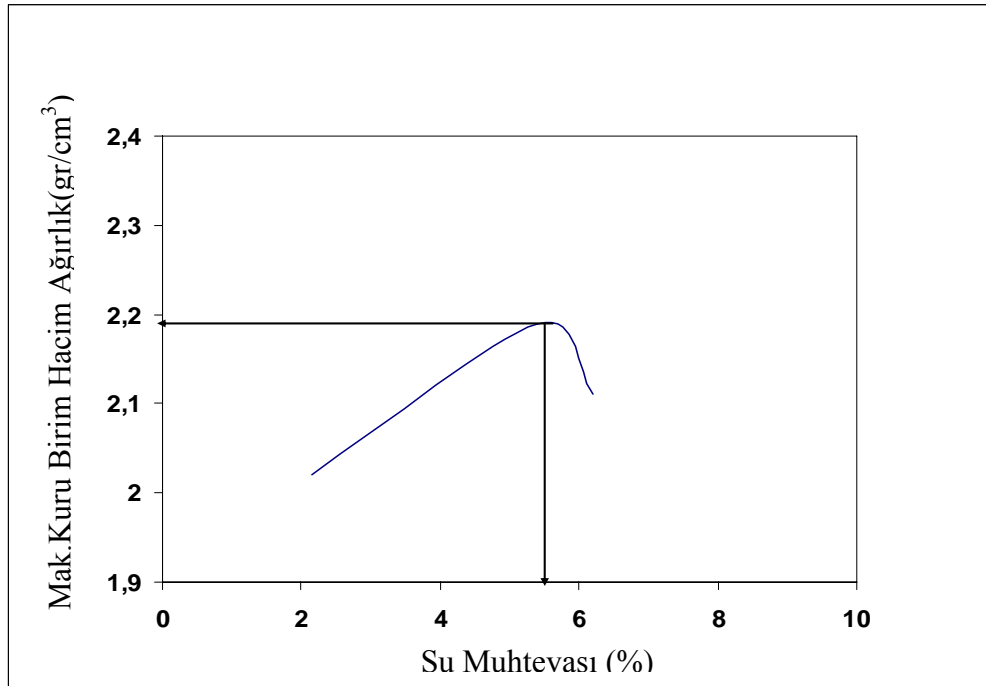
Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan agreganın granülometri eğrisi

4.2. Optimum su muhtevalarının belirlenmesi

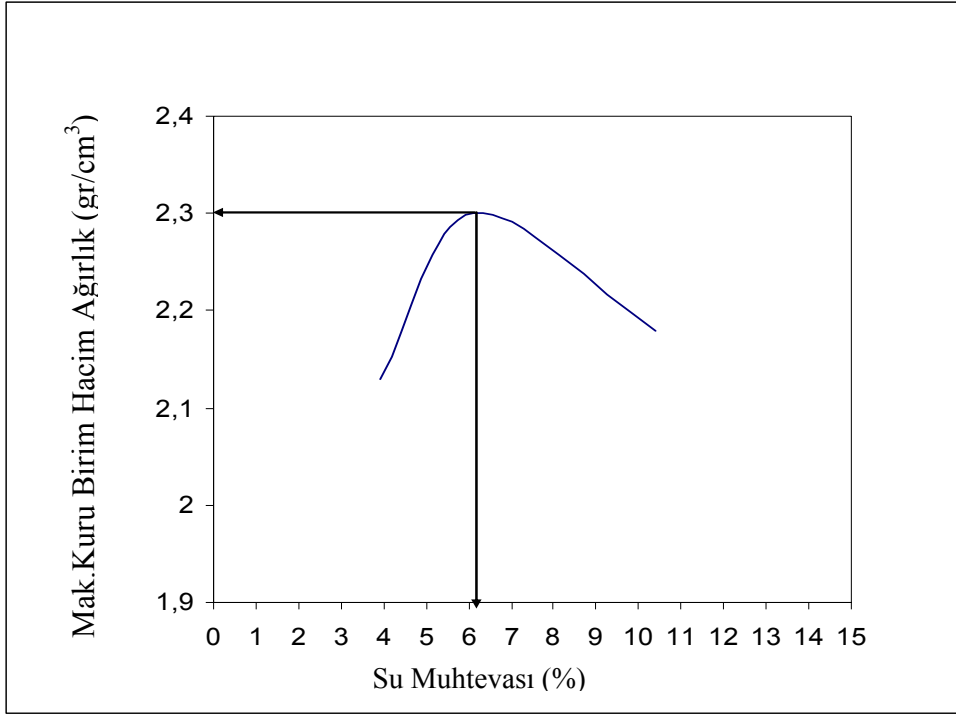
Bölüm 3.2.3'te anlatıldığı şekilde karışımların optimum su muhtevaları bulunmuştur.



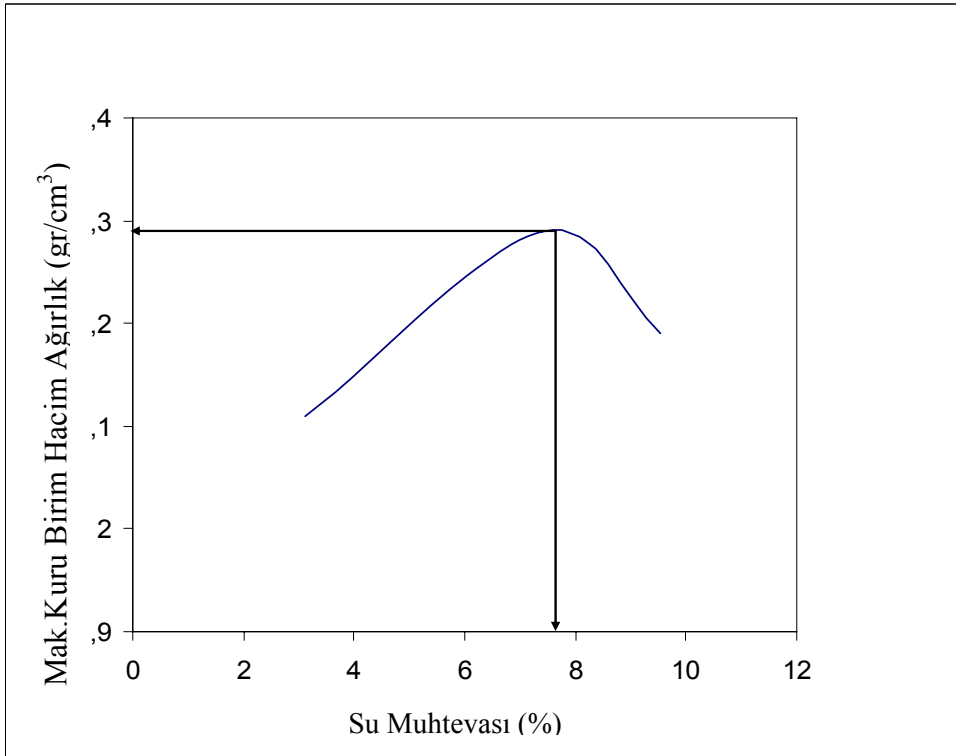
Şekil 4.2. Sadece agregalı zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları



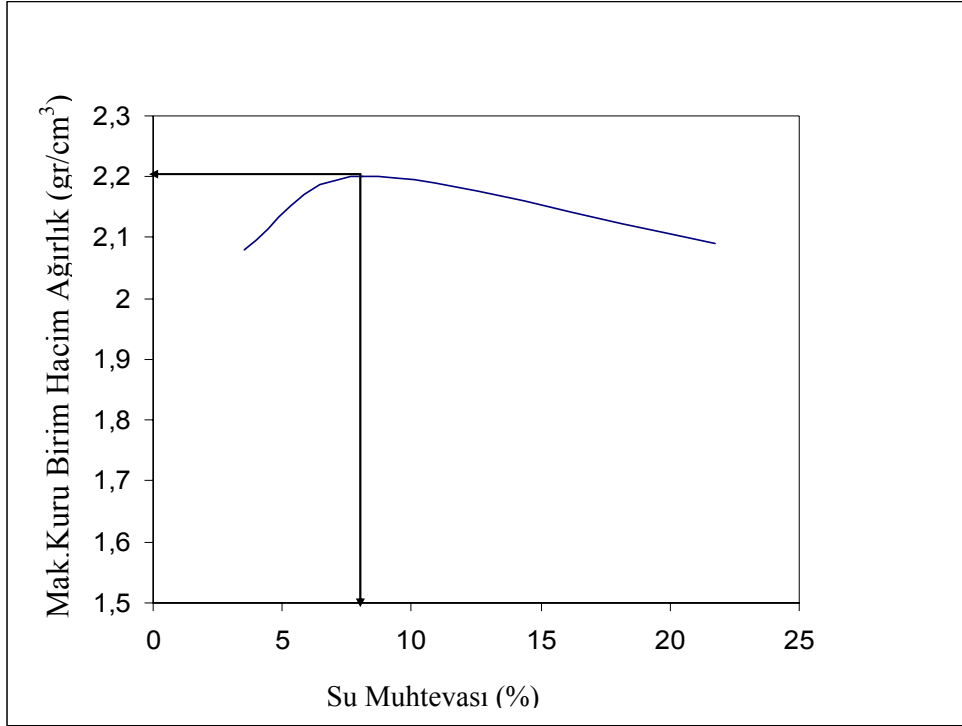
Şekil 4.3. Agregata +%4 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları



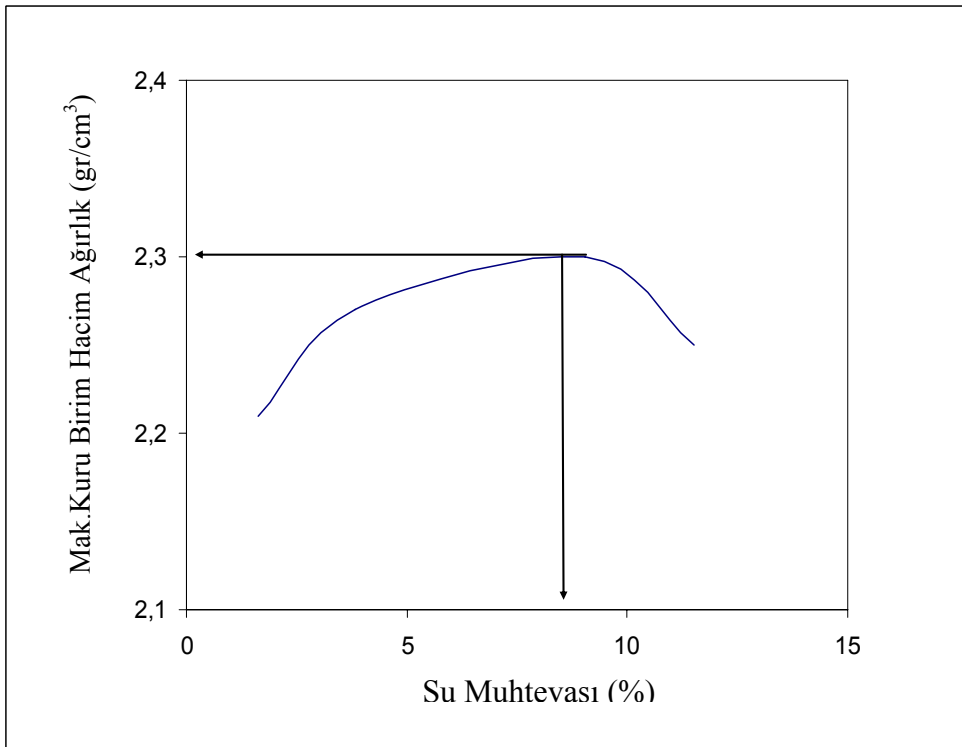
Şekil 4.4. Agrega+ %6 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları



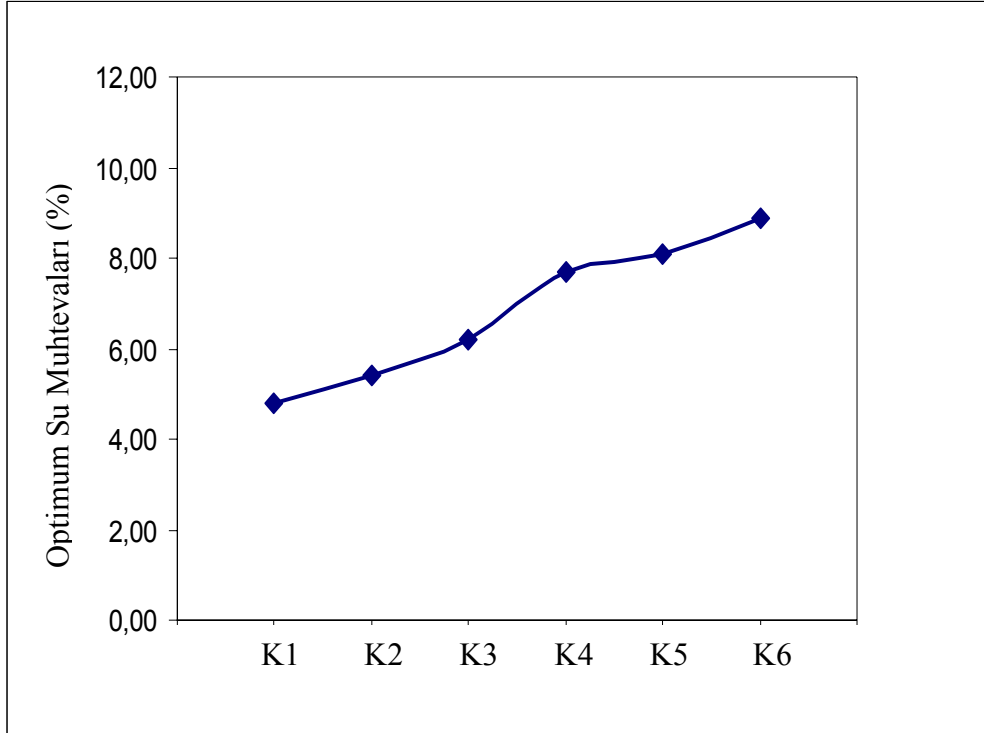
Şekil 4.5. Agrega+ %8 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları



Şekil 4.6. Agrega+ %10 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları



Şekil 4.7. Agrega+ %20 çimentolu zemin örneğinin kompaksiyon deney sonuçları



Şekil 4.8. Tüm grupların optimum su muhtevaları eğrisi

Çizelge 4.1. Grupların W_{opt} (%) - γ_{kmax} (gr/cm³) ilişkisi çizelgesi

Gruplar (Karışım Oranları)	W_{opt} (%)	γ_{kmax} (gr/cm ³)
K1 Sadece Malzeme (Kontrol Karışımı)	4,8	2,18
K2 Malzeme + %4 Çimento	5,4	2,19
K3 Malzeme + %6 Çimento	6,2	2,30
K4 Malzeme + %8 Çimento	7,7	2,29
K5 Malzeme + %10 Çimento	8,1	2,22
K6 Malzeme + %20 Çimento	8,9	2,30

Çizelge 4.1.'de çimento oranının artması ile doğru orantılı olarak karışımların optimum su muhtevalarının sürekli arttığı görülmektedir. Bu artışla birlikte kontrol karışımına göre (K_1 'e) göre, γ_{kmax} değerleri de artmıştır. Bu artış iyileşmenin göstergesi olarak kabul edilebilir.

4.3. Çimento+ Borojipsli Karışımların Serbest Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

Uygulama yöntemi Bölüm 3.2.4.'de anlatılan 10x20 cm boyutundaki numuneler üzerinde yapılmış olan 7 günlük basınç dayanımı deney sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.2.'te verilmiştir. Numuneler çıkarılırken, alttemel tabakası agrega gradasyonunun iri daneli bir yapıda olmasından ve çimento+borojips+agrega karışımlarının mukavemetinin iyi olmamasından dolayı, altta ve üstte düz bir yüzey elde edilememiş baş kısımlarda ufalanmalar oluşmuştur.

Çizelge 4.2. Grupların su küründeki davranışları

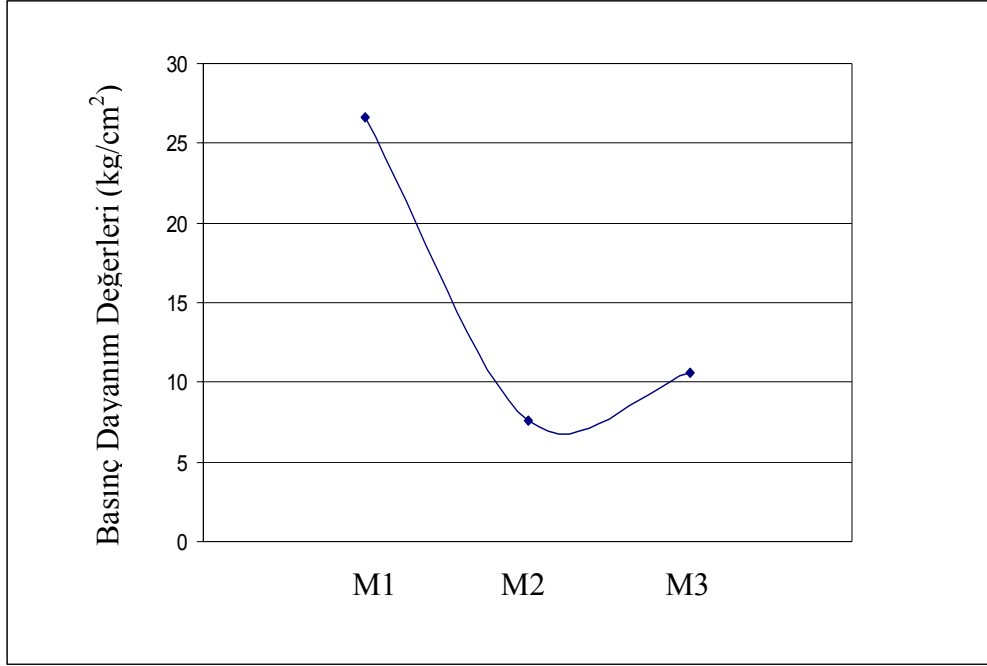
Çimento Oranı (ÇO) (%)	Borojips Oranı (Ç.O.x %B.jips)	Gruplar	Sonuçlar
4	20	L1	3 Numune dağıldı
	30	L2	3 Numune dağıldı
	40	L3	3 Numune dağıldı
	50	L4	3 Numune dağıldı
6	20	L5	3 Numune dağıldı
	30	L6	3 Numune dağıldı
	40	L7	3 Numune dağıldı
	50	L8	3 Numune dağıldı
8	20	L9	3 Numune dağıldı
	30	L10	3 Numune dağıldı
	40	L11	3 Numune dağıldı
	50	L12	3 Numune dağıldı
10	20	L13	3 Numune dağıldı
	30	L14	3 Numune dağıldı
	40	L15	3 Numune dağıldı
	50	L16	3 Numune dağıldı
20	20	L17	3 Numune dağıldı
	30	L18	3 Numune dağıldı
	40	L19	3 Numune dağıldı

Çimento ve borojipsle yapılan 3'er numunelik tüm grupların, ya su kürüne girer girmez ya da kısa bir süre sonra dağıldıkları gözlemlenmiştir. Bu durum, borojipsin priz geciktirici özelliğinden dolayı su küründe çimentonun hidrasyonuna mani olarak numunelerin dağılmasına neden olduğu şeklinde açıklanabilir. Bu çalışma sonucunda kür ortamlarının değiştirildiğinde numunelerin nasıl davranacağı merak edilmiş, aynı grup numuneler 3 farklı küre tabi tutulmuş, çalışmanın yönü bu sonuca göre şekillenmiştir.

Başlangıçta %4 çimento+%40 borojips+agrega karışımı su kürüne dayanamamıştır. Daha sonra nem ve açık havada yapılan kür sonucu aynı numunelerin basınç dayanım sonuçları karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.3. ve Şekil 4.9). Kür değişimi sonucunda su kürüne göre numuneler bir miktar dayanım kazanmıştır. Bu çalışmalar sonucu çimento ile borojipsin, su küründe bir arada kullanılabilirliğinin avantajlı olmadığı sonucu çıkmıştır.

Çizelge 4.3. Farklı kür şekillerinin çimento+agrega+borojips karışımlarının basınç dayanımına etkisi

Gruplar	Basınç Dayanımları(Kg/cm ²) (7 Günlük)
(M1) %4 Çimento+Agrega (Su Kürü)	26,617
(M2) %4 Çimento+%40Borojips+Agrega (Açık Hava Kürü)	7,550
(M3) %4 Çimento+%40Borojips+Agrega (Nem Kürü)	10,60
(M4) %4 Çimento+%40Borojips+Agrega (Su Kürü)	–



Şekil 4.9. Farklı küre maruz kalan karışımların serbest basınç dayanım değişimi

4.4. Borojipsli Karışımların Su Muhtevalarının Belirlenmesi

İlk aşamada karışıma giren agrega ve borojipsin optimum su muhtevaları ayrı ayrı bulunmuştur. Karışımın optimum su muhtevası ise karışıma giren agrega ve borojipsin oranları ile her birinin optimum su muhtevalarının çarpılması sonucu hesaplanmıştır. Bölüm 3.2.3.'de anlatıldığı şekilde, sadece agreganın optimum su muhtevası Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere %4,8 olarak bulunmuştur. Borojipsin optimum su muhtevası %18,70 olarak bulunmuştur (Şekil 4.17.). Hazırlanan ilk karışımlar bu iki değer karışıma giren agrega ve borojips oranları ile çarpılması sonucu (formül (2) den) bulunmuştur

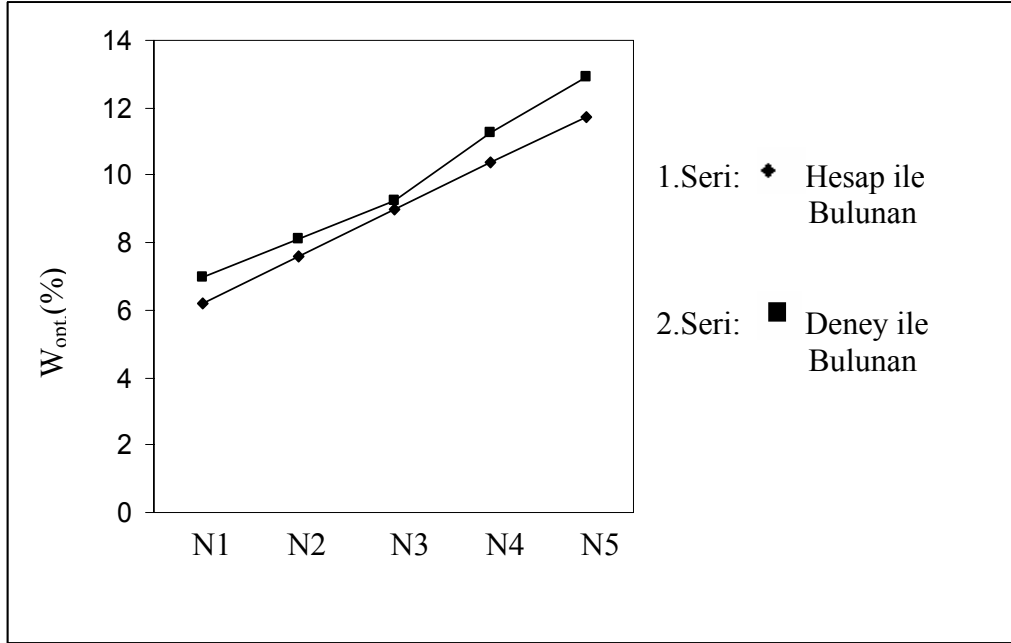
$$W_{opt.} = (\%4,8 \times \text{AgregaOranı}) + (\%18,70 \times \text{BorojipsOranı}) \dots\dots\dots(2)$$

Elde edilen optimum su muhtevaları değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir. Hesapla bulunan bu değerler 2 ayrı malzemenin bileşik etkisi olmadığı göz önüne alınarak

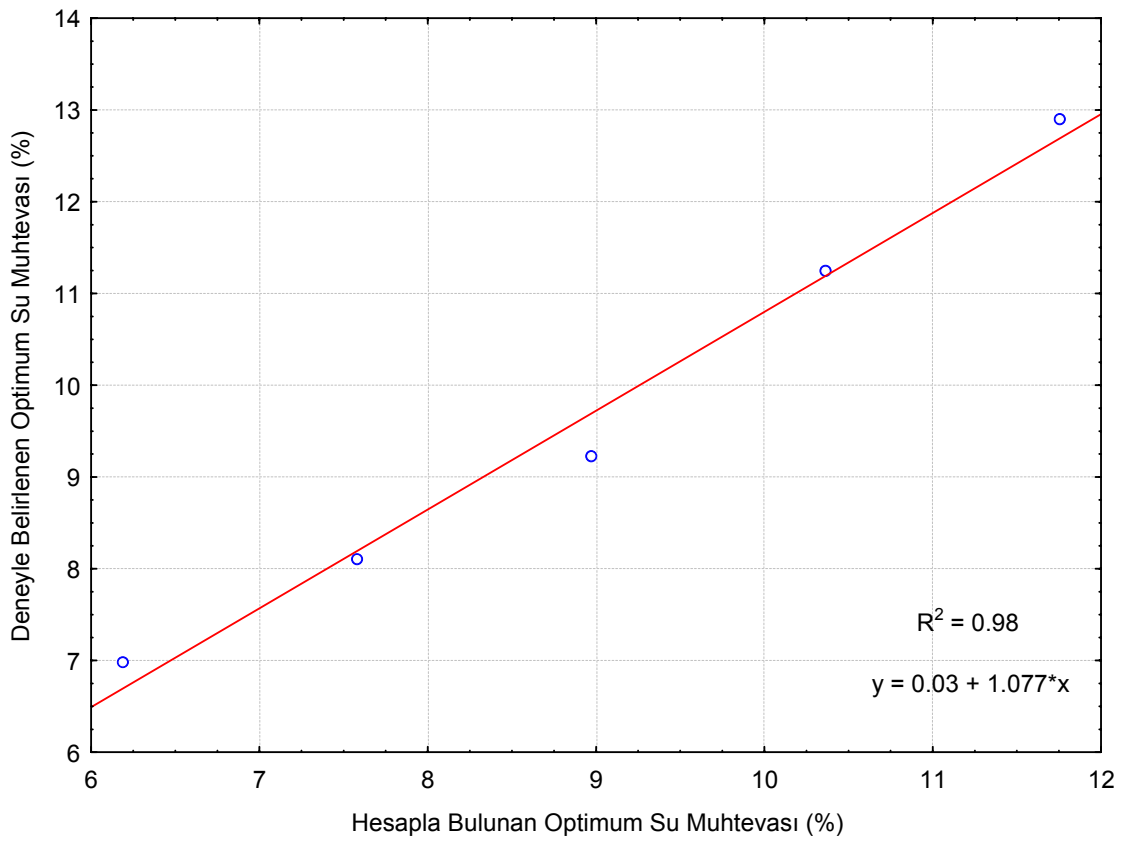
hesaplanmıştır ama gerçekte bileşik etkinin varlığının tespitinde deneysel yöntemler kullanılarak karar verilmelidir. İkinci aşama olarak her bir borojips+agrega karışımlarının optimum su muhtevaları deney ile bulunmuş ve hesapla bulunan sonuçlar ile yakınlık gösteren değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Deneyle elde edilen tüm borojipsli karışımların kompaksiyon deney sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Çizelge 4.4. Hesap ve deney ile bulunan optimum su muhtevalarının sonuçları

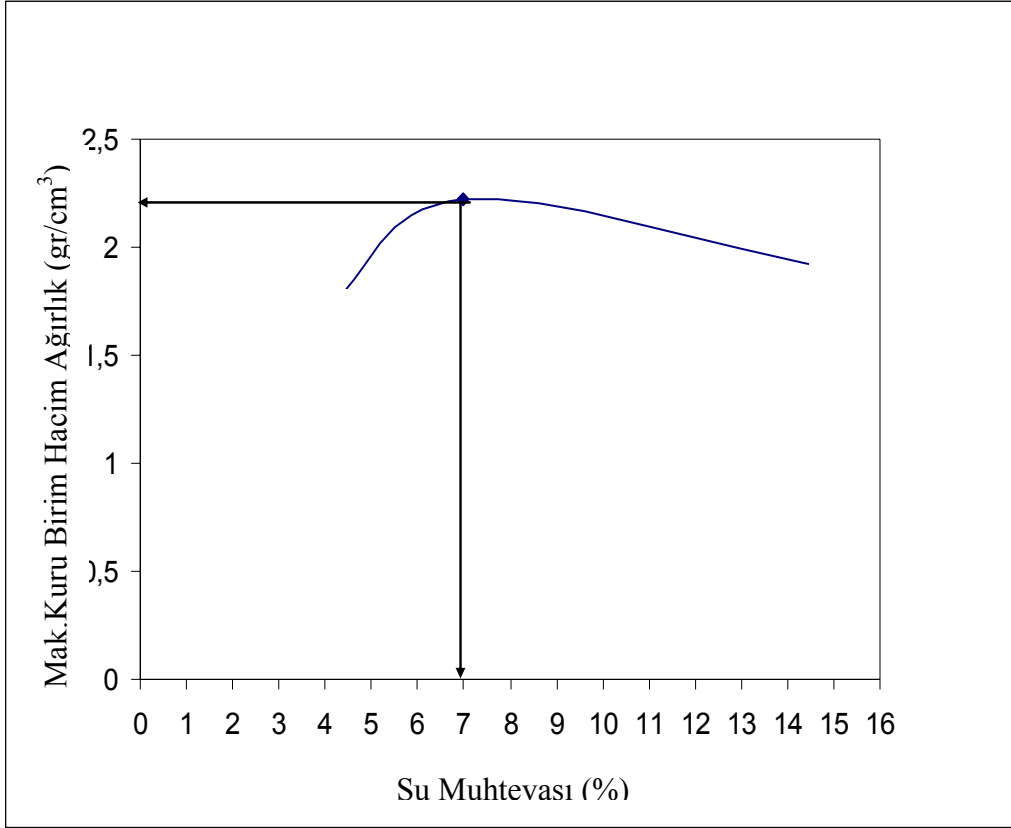
Gruplar	Hesapla Bulunan W_{opt} Değerler	Deney ile Bulunan W_{opt} Değerler
N1 %10 Borojips+%90 Agreg	6,19	6,98
N2 %20 Borojips+%80 Agreg	7,58	8,1
N3 %30 Borojips+%70 Agreg	8,97	9,23
N4 %40 Borojips+%60 Agreg	10,36	11,25
N5 %50 Borojips+%50 Agreg	11,75	12,89



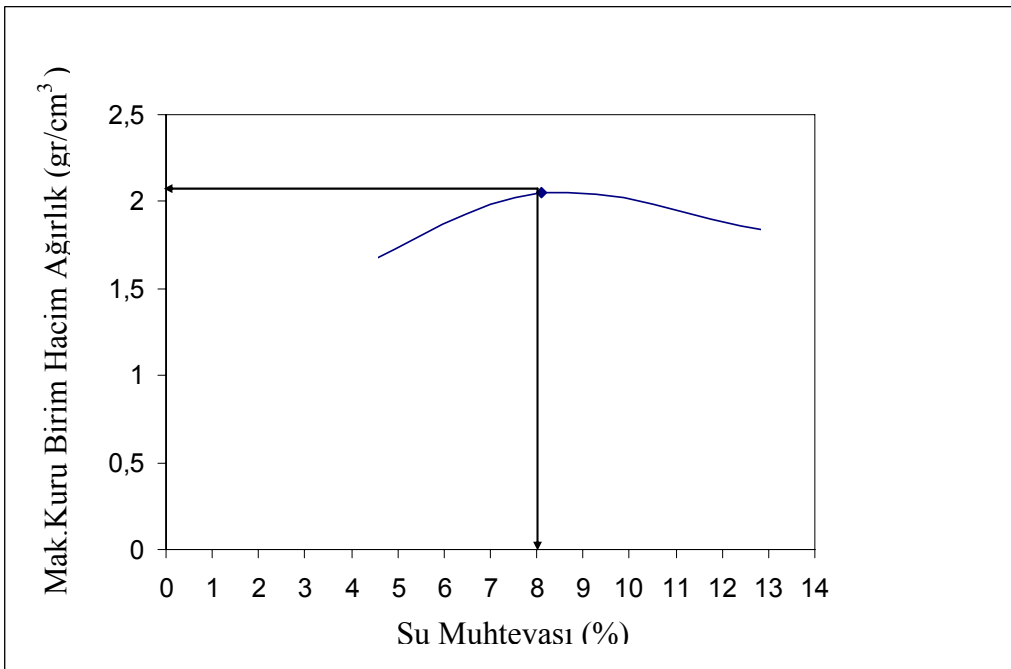
Şekil 4.10. Hesap ve deney ile bulunan optimum su muhtevaları eğrisi



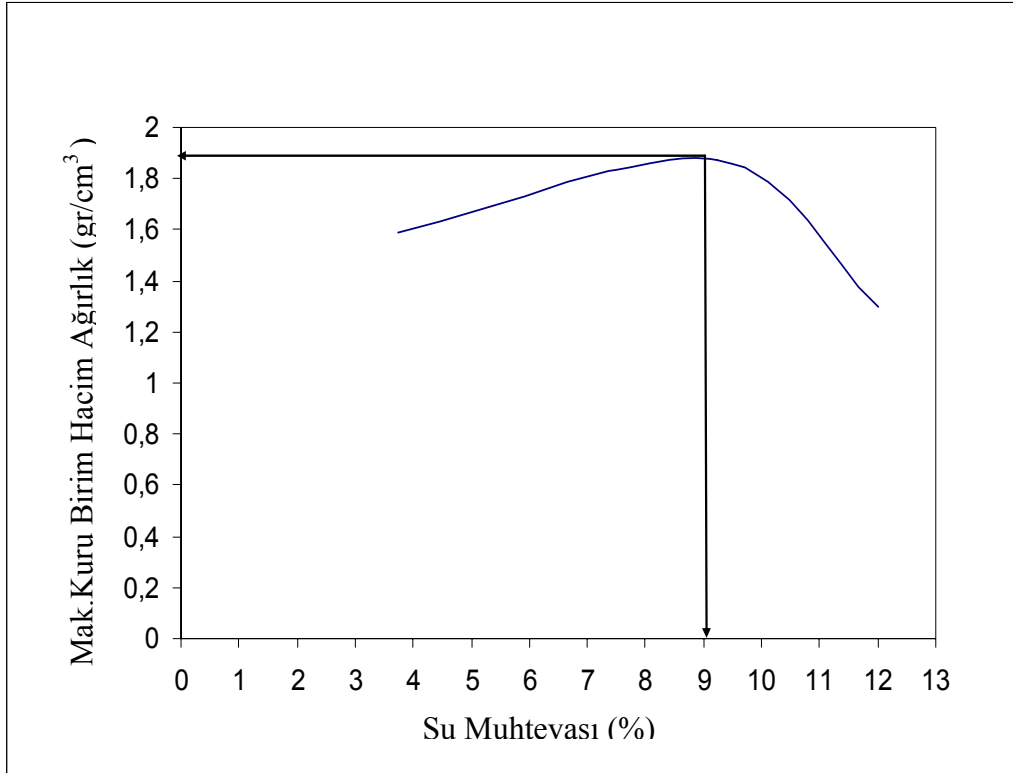
Şekil 4.11. Optimum su muhtevalarının hesaplanmasında kullanılabilecek eğri



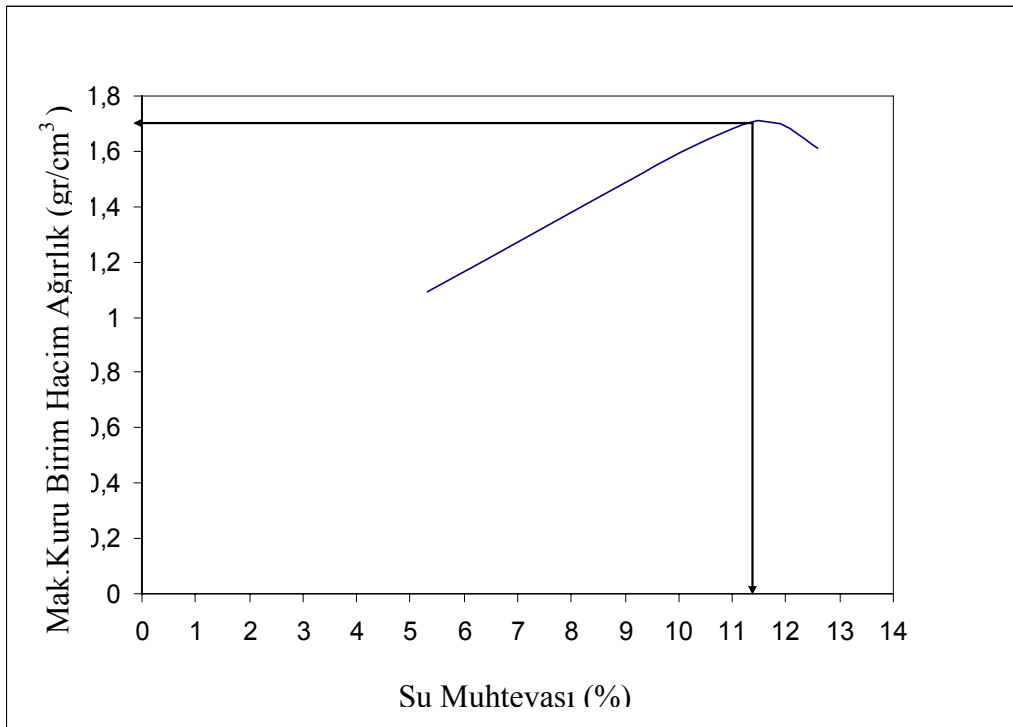
Şekil 4.12. %10 Borojipsli karışımın kompaksiyon deneyi sonuçları



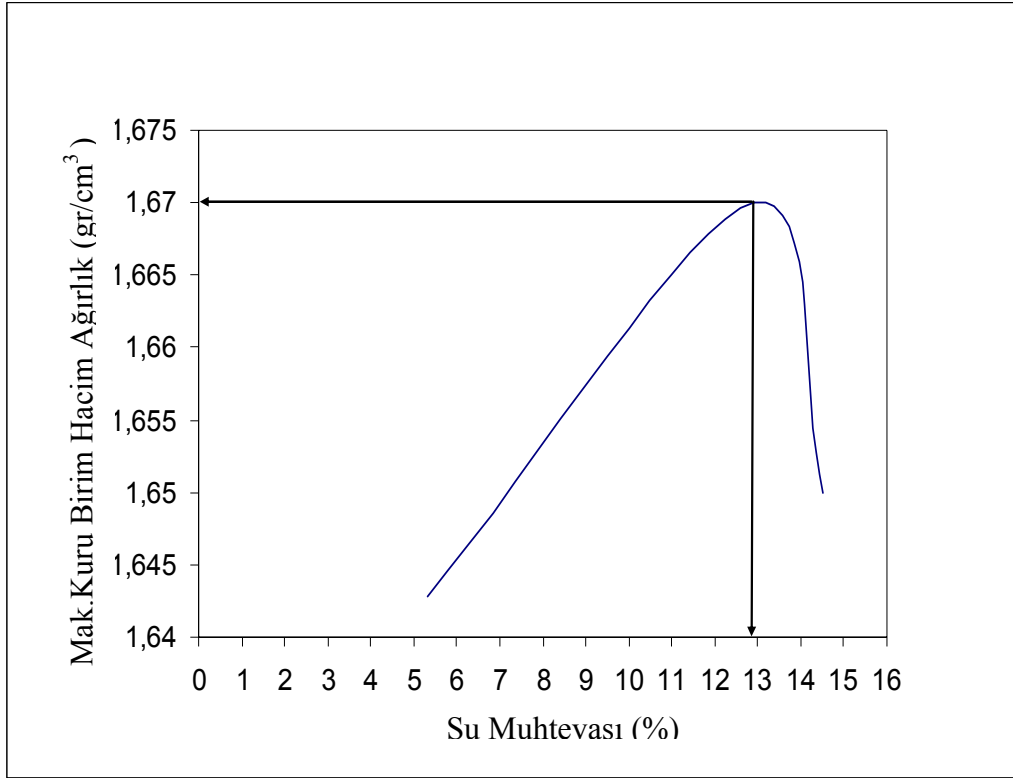
Şekil 4.13. % 20 Borojipsli karışımın kompaksiyon deneyi sonuçları



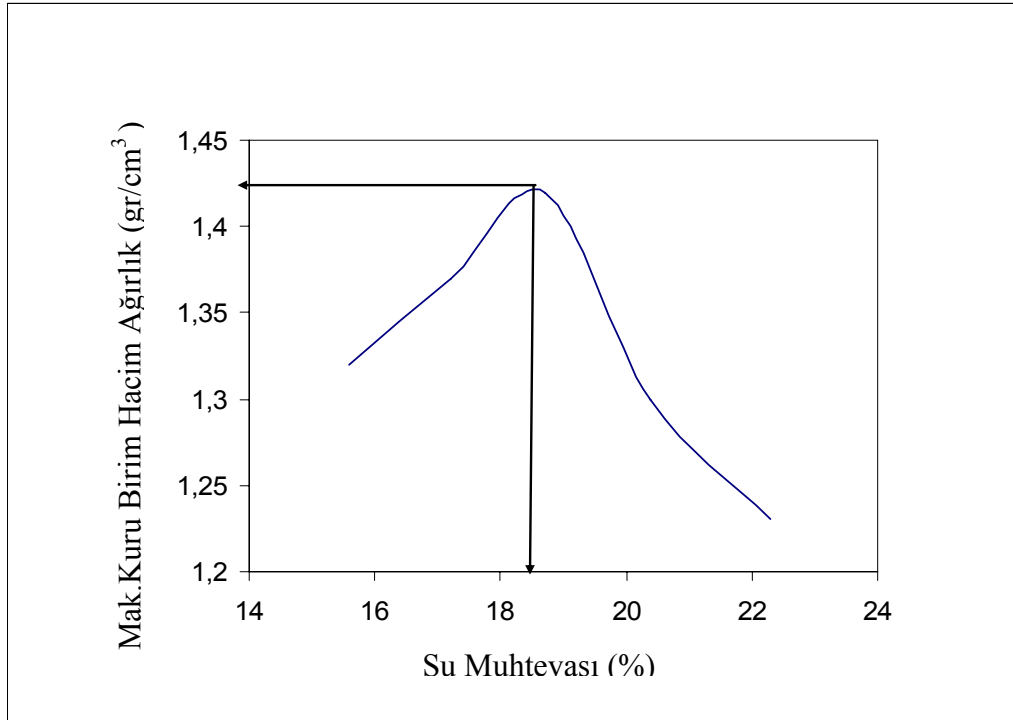
Şekil 4.14. %30 Borojipsli karışımın kompaksiyon deneyi sonuçları



Şekil 4.15. %40 Borojipsli karışımın kompaksiyon deneyi sonuçları



Şekil 4.16. %50 Borojipsli karışımın kompaksiyon deneyi sonuçları



Şekil 4.17. %100 Borojipsli karışımın kompaksiyon deneyi sonuçları

4.5. Borojipsli Karışımların Serbest Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

Uygulama yöntemi Bölüm 3.2.4.'de anlatılan 10x20 cm boyutundaki numuneler üzerinde yapılmış olan 7 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Numuneler çıkarılırken, alttemel tabakası agrega gradasyonunun iri daneli bir yapıda olmasından dolayı altta ve üstte düz bir yüzey elde edilememiş baş kısımlarda bir miktar ufalanmalar oluşmuştur. Yükün üniform bir şekilde etkimesini sağlamak için numuneler kükürt kullanılarak başlıklanmıştır. Şekil 4.18'de numunelerin kalıptan çıktıktan sonraki ve Şekil 4.19'de kükürt ile başlıklanmış halleri verilmiştir.



Şekil 4.18. Borojips ilaveli numunelerin kalıptan çıktıktan sonraki hali

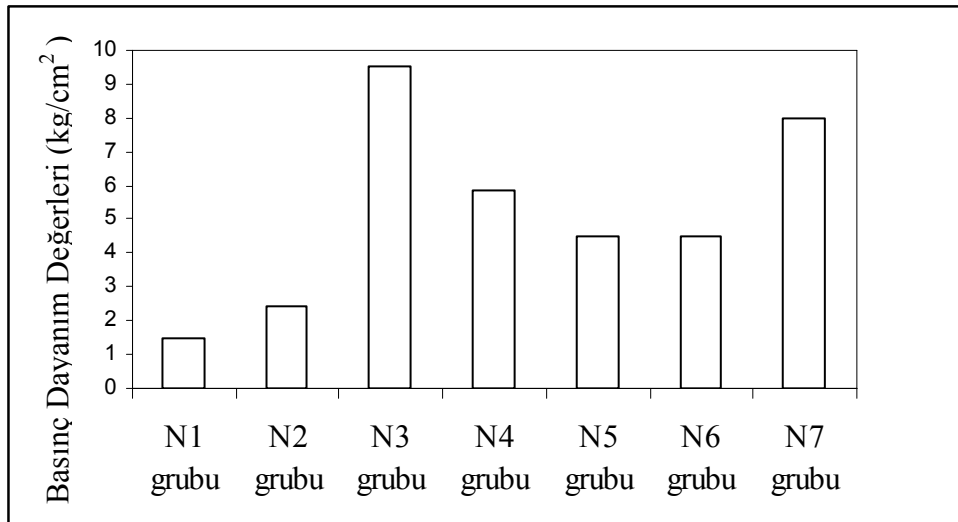


Şekil 4.19. Borojips ilaveli numunelerin kükürtle başlıklanıp prese girmiş hali

Borojips ilave edilmeksizin Bölüm 3.2.4.'te anlatıldığı şekilde hazırlanan agrega numunelerinin dayanımı, bağlayıcısız çok düşük çıkmıştır. Çizelge 4.5'de ve Şekil 4.20'de tüm numune guruplarının serbest basınç dayanım değeri sonuçları verilmiştir. Borojips miktarının artması ile numuneler dayanım kazanmıştır. En yüksek serbest basınç değerini, % 20 borojips+agrega karışımı grubu vermiştir. Karışım içindeki borojips bu oranda agregaların adhezyonunu artırarak daha iyi bir kenetlenme temin etmiştir.

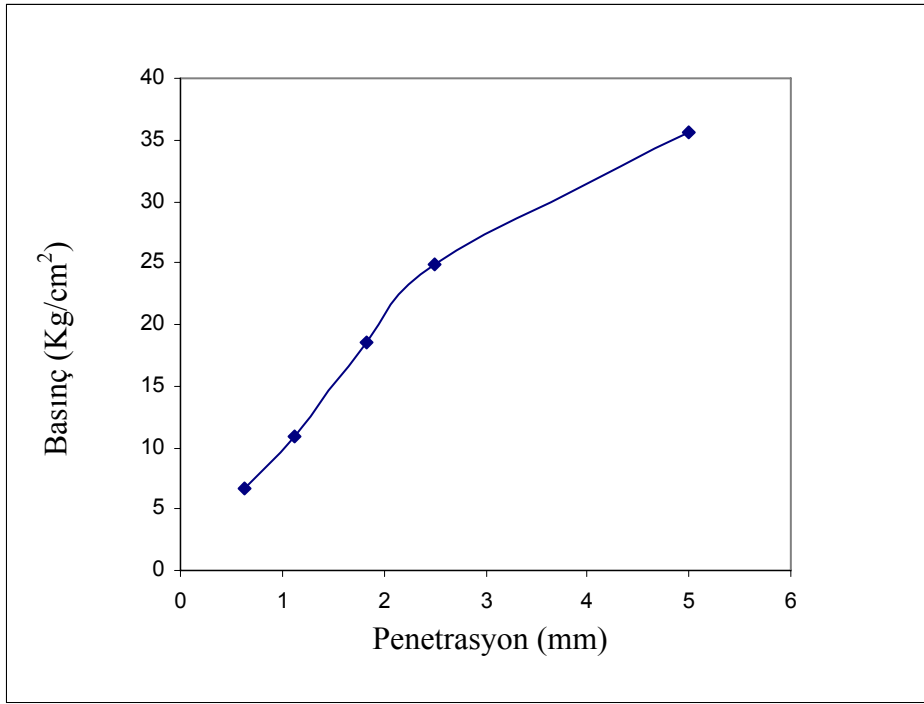
Çizelge 4.5. Borojipsli gruplarının serbest basınç dayanım değerleri

Gruplar (Açık Hava Kürü)	Basınç Dayanımları (7 günlük) (Kg/cm ²)
N1 Sadece Agregası	1,50
N2 %10 Borojips+Agregası	2,43
N3 %20 Borojips+Agregası	9,50
N4 %30 Borojips+Agregası	5,85
N5 %40 Borojips+Agregası	4,52
N6 %50 Borojips+Agregası	4,50
N7 %100 Borojips	8,00

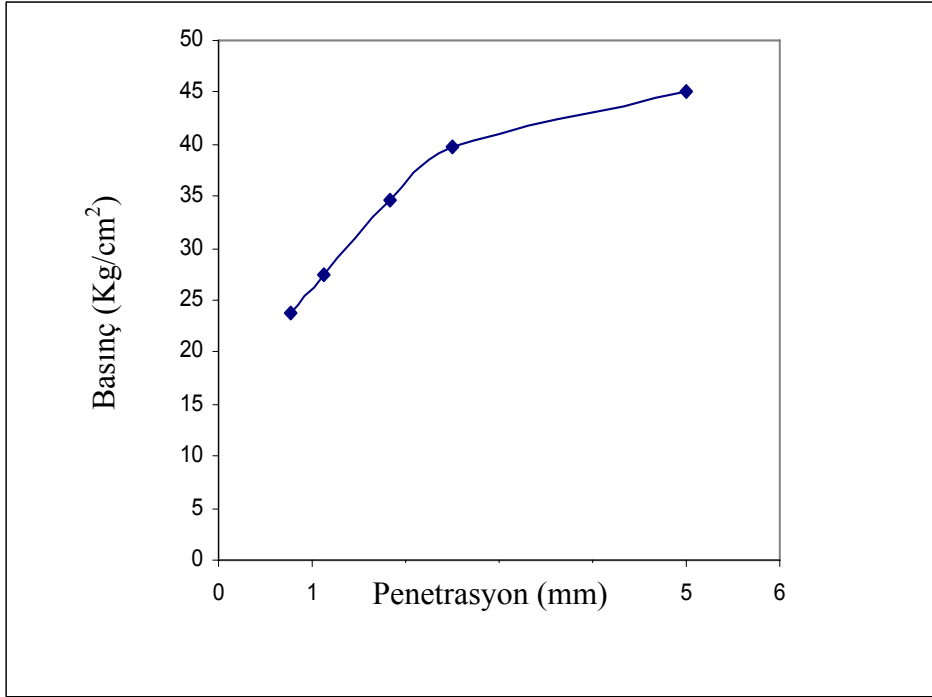
**Şekil 4.20.** Farklı agrega+borojips karışımlarının serbest basınç dayanım değişimi

4.6. Borojipsli Karışımların CBR Deney Sonuçlarının Belirlenmesi

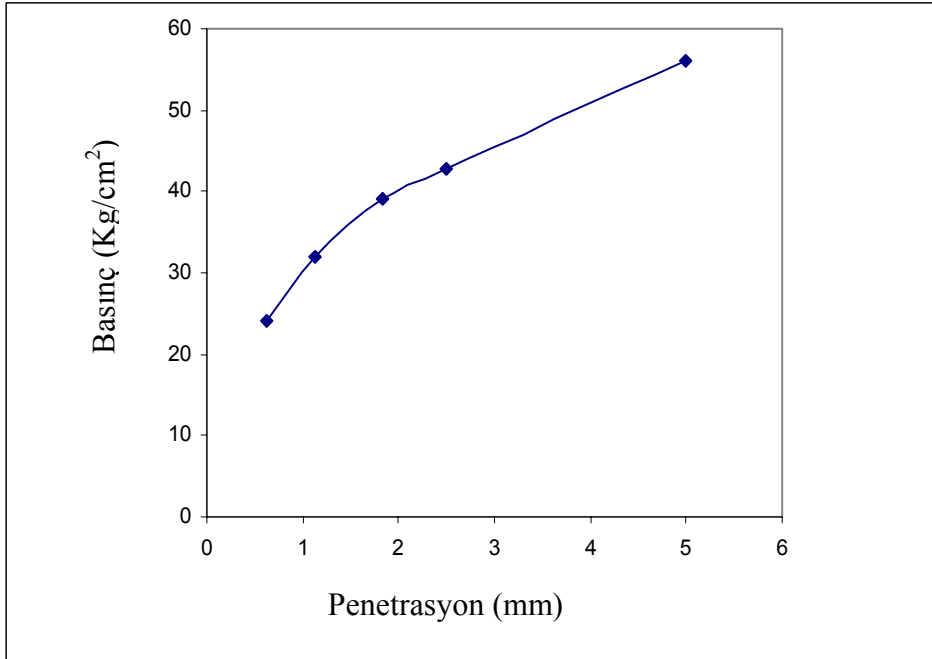
Uygulama yöntemi Bölüm 3.2.5.'de anlatılan 4 günlük numuneler üzerinde yapılmış olan CBR deneyi sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



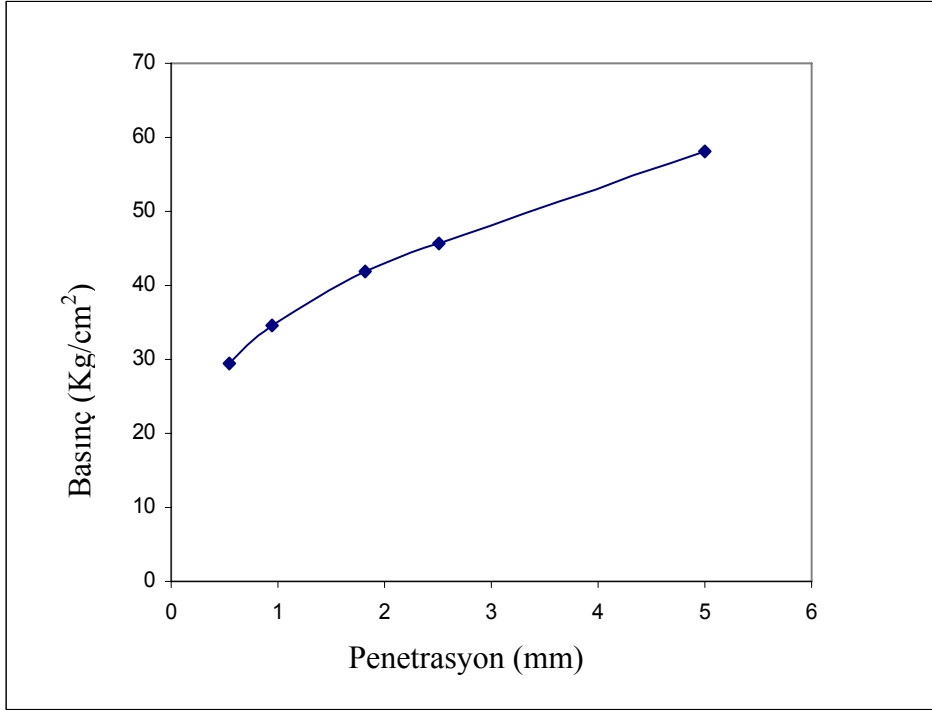
Şekil 4.21. Sadece agregalı karışımın CBR deney sonuçları



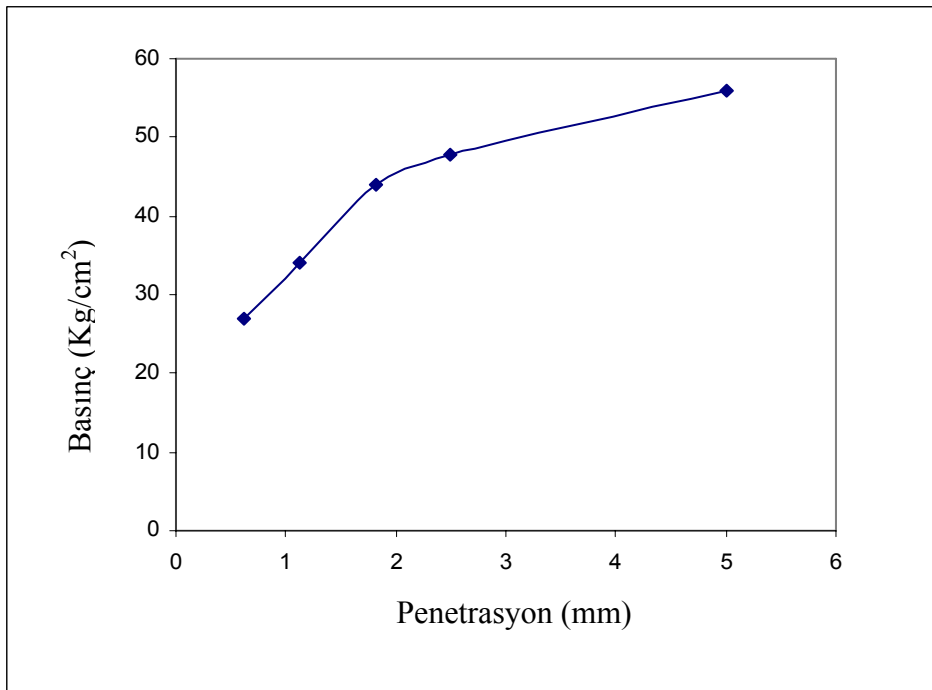
Şekil 4.22. %10 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları



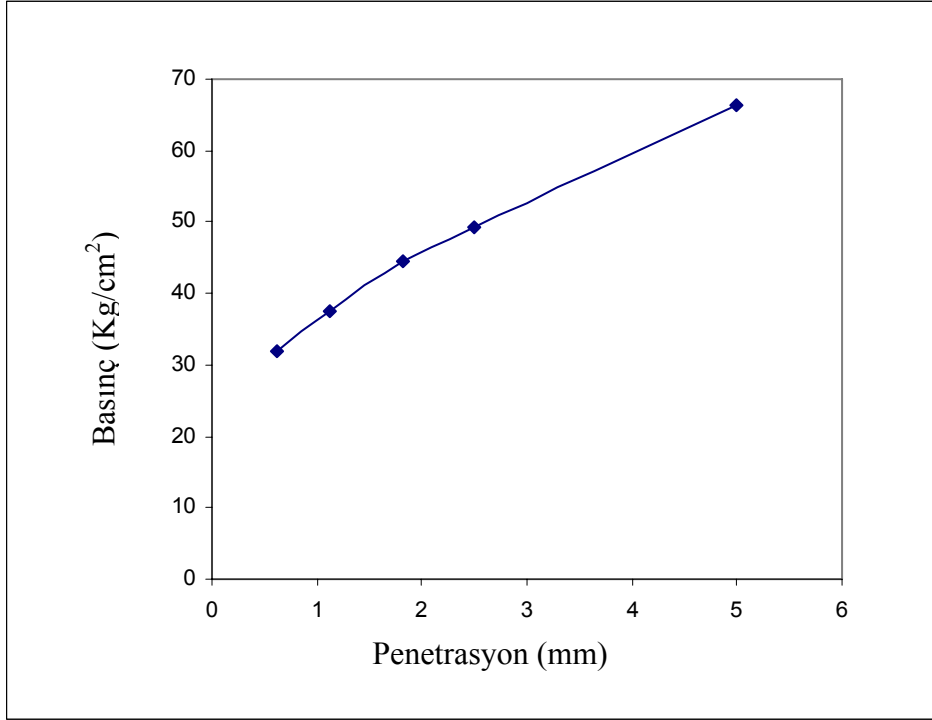
Şekil 4.23. %20 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları



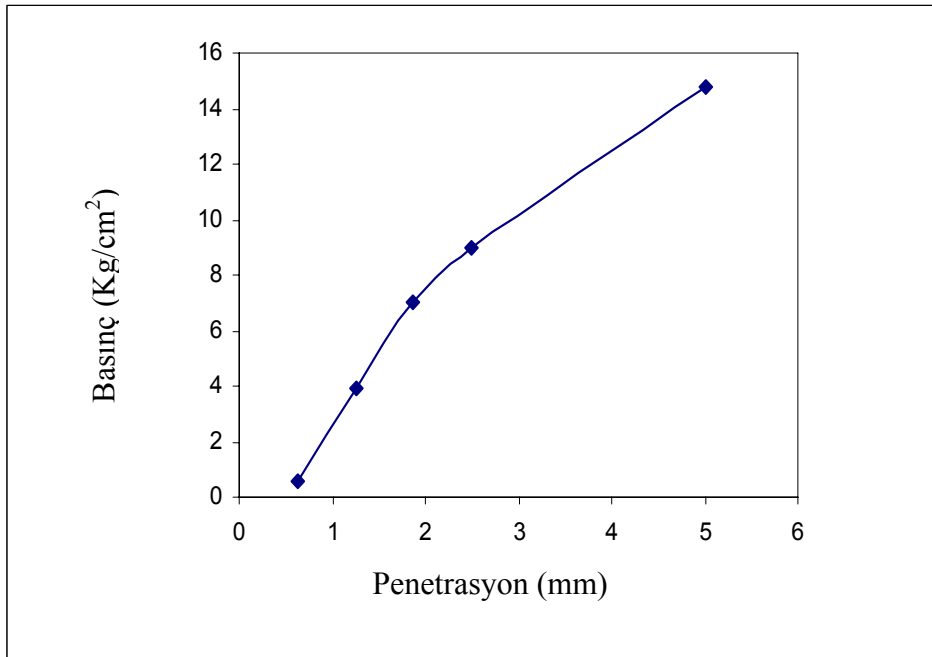
Şekil 4.24. %30 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları



Şekil 4.25. %40 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları



Şekil 4.26. %50 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları

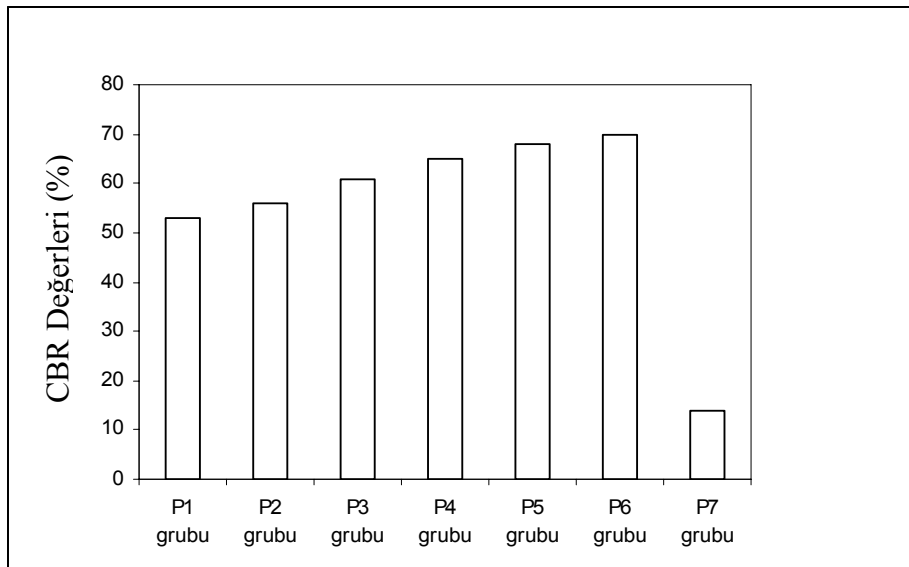


Şekil 4.27. %100 Borojipsli karışımın CBR deney sonuçları

Çizelge 4.6. Grupların CBR değerleri

Gruplar	CBR (%)
P1 Sadece Agregası	53
P2 %10 Borojips+Agregası	56
P3 %20 Borojips+Agregası	61
P4 %30 Borojips+Agregası	65
P5 %40 Borojips+Agregası	68
P6 %50 Borojips+Agregası	70
P7 %100 Borojips	14

Çizelge 4.6.'da ve Şekil 4.28.'de verilen tüm grupların CBR deney sonuçlarına göre en yüksek CBR değerini P6 numune grubu olan, %50 borojipsli karışım vermiştir.

**Şekil 4.28.** Farklı agregası+borojips karışımlarının CBR değişimi

4.7. Esnek Üstyapı Tasarımı (AASHTO – 1986 Metodu ile)

Amerika’da AASHTO tarafından 1960 yılının ikinci yarısında başlatılıp 1970 yılı ilk yarısında tamamlanan AASHO yol deneyleri sonunda, AASHO proje komitesi tarafından (AASHO Interium Guide for the design of rijit and flexible pavements-AASHO rijit ve esnek üst yapıların projelendirilmesi geçici rehberi), 1972 yılında ise aynı komite tarafından geliştirilmiş olarak ‘ AASHTO Üst Yapıların Projelendirilmesi Geçici Rehberi’ çıkarılmıştır. 1981 yılında alt komite tarafından 1972 baskısı revize edilmiş projelendirme girdileri ve parametrelerinde yeni kavramlar ortaya atılmış ve sonuç olarak 1986 yılında son baskısı yayınlanmıştır. Ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından 1971’de ‘Karayolu Esnek Üst Yapılarını Projelendirme Kuralları’ adlı teknik bültenle AASHO metodu kullanılmaya başlanmış, 1984 yılında ‘Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberi’ nin basımı ile ülkemizde AASHTO metodu resmi olarak uygulanmaya başlanmıştır.

AASHTO –1986 metodu ile AASHTO-1972 metodu arasındaki temel farklar aşağıda kısaca belirtilmiştir;

- Zemin dayanım değeri yerine zemin esneklik modülü kullanılmaktadır,
- Tabaka katsayıları, malzemenin esneklik modülüne göre tayin edilmektedir,
- Bölge faktörü yerine rasyonel değerlere dayalı çevre etkileri göz önüne alınmaktadır,
- Trafik hacminin tahminine bağlı riskleri azaltmak amacıyla güvenilirlik katsayısı getirilmiştir,
- Drenaj durumunu yansıtan drenaj katsayısı getirilmiştir,
- Kademeli inşaat – üst yapı takviyesi gibi projelendirme esasları göz önüne alınmıştır,

4.7.1. Esnek üstyapı tasarımında takip edilecek sıra ve yöntem

Esnek üst yapı tasarımı için AASHTO-1986 Rehberinde takip edilecek sıra şöyledir.

Asfalt betonu veya sathi kaplamalı esnek üst yapıların tasarımında temel yaklaşım, hizmet ömrü içinde dingil yüklerinin üst yapıda oluşturacağı bozulmaları önleyerek bir üst yapı sayısının (SN) tespit edilmesidir.

ADIM 1 : İhtiyaç duyulan üst yapı sayısı (SN):

$SN = a_1 * D_1 * m_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 + \dots + a_n * D_n * m_n$ denklemiyle veya Nomograf yardımıyla bulunabilir. Bunun için aşağıdakilerin bilinmesi gerekir:

$W_{8,2}$: Proje trafiği (Kümülatif ETDY-Performans Periyodu ilişkisinden)

M_R : Efektif taban zemini esneklik modülü .

S_0 : Toplam standart sapma

Z_R : Standart normal sapma $Z_R = f(R)$

ΔSYI : Toplam servis yeteneği kaybı

ADIM 2 : Esnek üst yapıyı oluşturan tabaka kalınlıklarının tespitinde aşağıdaki formül kullanılacaktır:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Burada ;

SN : üst yapı sayısı (inç veya cm olarak).

a_n : n. tabaka katsayısı.

D_n : n. tabaka kalınlığı (inç veya cm olarak).

m_n : n. tabaka drenaj katsayısı.

Bu denklemin tek bir çözümü yoktur. Tabaka kalınlıkları için bu denkleme sağlayan pek çok kombinasyon mevcuttur.

Üst yapı tasarımında ilk önce taban zemini için daha sonra aynı şekilde temel ve alttemel tabakaları için SN değerleri hesap edilir. Tavsiye edilen asgari kalınlıklar, birazda yöresel tecrübe ve ortamlara bağlıdır. Sathi kaplama tabakası kalınlığı için SN değeri ihmal edilebilmektedir. Kaplamaya su sızmasının temel ve alt temele olan menfi etkisi de unutulmamalıdır.

4.7.2. Borojipsli bir alttemel tabakasının üstyapı tasarımına etkisi

Değerler Yol Üstyapısı adlı kaynaktan alınmıştır. Bu bölümde %50 borojips içeren karışımın alttemel tabakasında kullanılması durumunda, üstyapı tasarımında meydana gelecek değişiklikler ve maliyet analizi sunulmuştur.

ÖRNEK: Bizim çalışmamız sonucu bulunan değerler için üstyapıyı AASHO metoduna göre projelendirelim.

- Yol 2X2 =4 şeritli devlet yolu
- Bölge faktörü $R=1,0$
- Proje başlangıç yılındaki trafik değerleri (Y.O.G.T olarak)

Kamyon : 2200
 Treyler : 250
 Otobüs : 300
 Otomobil : 2000 bulunmuştur.

- Yıllık trafik artış yüzdeleri
- Kamyon ve Treyler için : % 5
- Otobüs ve Otomobil için : % 4
- Taban CBR değeri : %10
- Sadece agrega için CBR : %53
- %50 Agrega+ %50 Borojips : %70

CÖZÜM:

- Yol 4 şeritli devlet yolu olduğuna göre $P_t=2,5$ alınır.

- 20 yıllık analiz süresi için yoldan geçecek trafik sayısı EK 1' de verilen Tablo 3.3 kullanılarak hesaplanır.

Çizelge 4.7. 20 Yıllık analiz süresi için yoldan geçecek trafik sayısı

Taşıt Grubu	İlk Trafik (Günlük)	Son Trafik (Günlük)	Ortalama Günlük Trafik Proje Trafığı	20 Yıllık Toplam Trafik
Kamyon	2200	$2200 \times 2,6533 = 5837$	3727	27 207 100
Treyler	250	$250 \times 2,6533 = 663$	424	3 095 200
Otobüs	300	$300 \times 2,1911 = 657$	456	3 328 800
Otomobil	2000	$2000 \times 2,1911 = 4382$	3037	22 170 100

2,6533- 2,1911 değerleri EK 1'den (Tablo 3.3'ten) alınır. Ladometre çalışması sonucu taşıt eşdeğerlik faktörleri aşağıdaki gibi bulunmuştur:

Kamyon : 1,85 standart dingil / araç
Treyler : 2,86 standart dingil / araç
Otobüs : 0,95 standart dingil / araç
Otomobil : 0,0006 standart dingil / araç

Çizelge 4.8. Şerit dağıtma faktörü

İki Yöndeki Şerit Sayısı	Şerit Dağıtma Faktörü
2	1,0
4	0,90
6 veya daha fazla	0,80

Çizelge 4.8.'den şerit dağıtma faktörü 0,90 olarak alınır. Hesap şeridindeki ortalama günlük ve toplam standart dingil sayıları:

(Yön Dağıtma Faktörü: $-\frac{1}{2}$ dir.)

$$\text{Kamyon} \quad : -\frac{1}{2} \times 0,90 \times 1,85 \times 3727 = 3103$$

$$\text{Treyler} \quad : -\frac{1}{2} \times 0,90 \times 2,86 \times 424 = 546$$

$$\text{Otobüs} \quad : -\frac{1}{2} \times 0,90 \times 0,95 \times 456 = 195$$

$$\text{Otomobil} \quad : -\frac{1}{2} \times 0,90 \times 10,006 \times 3037 = 1$$

$$\text{Günlük Toplam } W_g = 3845 \text{ Standart dingil / gün}$$

20 Yıllık Toplam

$$T_{8,2} = 3845 \times 20 \times 365 = 28\,068\,500 \text{ Standart dingil / 20 yıl}$$

Taban CBR değeri % 10 W_g , $R=1,00$ için EK 2'deki (Şekil 3.6.) nomograftan gerekli SN değerleri bulunur.

<u>KM</u>	<u>Tabanını CBR Değeri</u>	<u>SN</u>
25+000-45+000	%10	13,00

Bu yolda, üstyapı tabakalarında kullanılacak malzeme cinsleri, tabaka kalınlıları, tabaka katsayıları aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Tabaka Adı	Kullanılacak Malzeme Cinsi	Önerilen Tabaka Kalınlığı(cm)	Tabaka Katsayısı	SN
Aşınma	Asfalt Betonu	5	$a_1=0,42$	2,10
Binder	Asfalt Betonu	5	$a_1=0,40$	2,00
Temel	Sıcak Bitümlü Karışım	15	$a_2=0,32$	4,80
Temel	Plent-miks Kırmataş	15	$a_2=0,15$	2,25
Alttemel	Granüler	-	$a_3=0,07$	-
Toplam SN =				11,15

Tabanın CBR Değeri	Mevcut SN	Gerekli SN	ΔSN	$\frac{\Delta SN}{a_3}$	Önerilen Alttemel Kalınlığı
%10	11,15	13,00	1,85	$\frac{1,85}{0,07}$	30

Bulunan Kalınlıkların kontrolü:

EK 3'teki Tablo 3.8'den Plent-miks kırmataş temelin CBR değeri %100, Granüler alttemelin CBR değeri %53 olarak bulunur. Bu tabakalar üstüne gerekli SN değerleri sırasıyla SN_1 ve SN_2 olsun.

EK 2'deki (Şekil 3.6.) nomograftan;

$$SN_1 = 8,30$$

$$SN_2 = 9,25 \text{ bulunur.}$$

Plent-miks kırmataş temel üzerindeki tabakaların SN leri toplamı SN_1^* 'i hesaplayalım:

$$SN_1^* = 5 \times 0.42 + 5 \times 0.40 + 15 \times 0.32 = 8,90$$

$(SN_1^* = 8,90) > (SN_1 = 8,30)$ uygundur.

Granüler Alttemel üzerindeki tabakaların SN leri toplamı SN_2^* 'yi hesaplayalım:

$$SN_2^* = 5 \times 0,42 + 5 \times 0,40 + 15 \times 0,32 + 15 \times 0,15 = 11,15$$

$(SN_2^* = 11,15) > (SN_2 = 9,25)$ uygundur.

Taban zemini üzerindeki tabakaların SN leri toplamı SN_3^* 'ü hesaplayalım:

Taban CBR değeri %10 için;

$$SN_3^* = SN_2^* + a_3 \times D_3 = 11,15 + 35 \times 0,07 = 13,60$$

$(SN_3^* = 13,60) > (SN_3 = 13,00)$ uygundur.

EK 3'teki Tablo 3,8'den Plent-miks kırmataş temelin CBR değeri %100, %50 Borojipsli alttemelin CBR değeri %70 olarak bulunur. Bu tabakalar üstüne gerekli SN değerleri sırasıyla SN_1 ve SN_2 olsun.

EK 2'deki (Şekil 3.6.) nomograftan;

$$SN_1 = 8,30$$

$$SN_2 = 8,75 \text{ bulunur.}$$

Plent-miks kırmataş temel üzerindeki tabakaların SN leri toplamı SN_1^* 'ı hesaplayalım:

$$SN_1^* = 5 \times 0.42 + 5 \times 0.40 + 15 \times 0.32 = 8.90$$

$(SN_1^* = 8,90) > (SN_1 = 8,30)$ uygundur.

Borojipsli alttemel üzerindeki tabakaların SN leri toplamı SN_2^* 'yi hesaplayalım:

$$SN_2^* = 5 \times 0,42 + 5 \times 0,40 + 15 \times 0,32 + 15 \times 0,15 = 11,15$$

$(SN_2^* = 11,15) > (SN_2 = 8,75)$ uygundur.

Taban zemini üzerindeki tabakaların SN leri toplamı SN_3^* 'ü hesaplayalım:

Taban CBR değeri %10 için;

$$SN_3^* = SN_2^* + a_3 \times D_3 = 11,15 + 30 \times 0,07 = 13,25$$

$(SN_3^* = 13,25) > (SN_3 = 13,00)$ uygundur.

20 yıllık analiz süresi için önerilecek tabaka kalınlıkları;

Tabanının CBR (%)	Granüler Alttemel (cm)	Plent-miks Kırmataş Temel (cm)	Sıcak Bitümlü Temel (cm)	Asfalt Binder (cm)	Betonu Aşınma (cm)
	Borojipsli Alttemel (cm)				
% 10	35	15	15	5	5
	30				

4.8. Maliyet Analizi

Yapılan deneysel çalışmalar ışığında, agrega ile borojipsin belli bir oranda yer değiştirme durumunun ekonomik olup olmadığının araştırılması için maliyet hesabı yapılması gerekmiştir. Bu amaçla yapılacak bir stabilizasyon işi için, borojipsin Eti Bor A.Ş.'den 10 km lik bir mesafeden şantiyeye getirilmesi ve alttemel malzemesinin aynı mesafe için şantiyeye getirilmesi maliyetinin hesabı ve karşılaştırılması yapılmıştır.

Borojips Maliyeti:

Borojips maliyeti olarak, borojipsin nakliye bedelleri ve hazırlama bedelleri hesaplanmıştır. Borojips Eti Bor A.Ş.'den bedelsiz olarak alındığı düşünülürse sadece depodan şantiyeye kadar nakliye giderleri hesaplanmıştır. Borojipsin hazırlanma bedeli olarak malzemenin farklı boyutlarda olması nedeni ile kırılıp parçalanması ve elekten

geçirilerek stabilizasyonda kullanılabilir boyutlara getirilmesi için yapılacak giderlerdir.

Borojipsin Nakliye analizi:

Borojipsin Eti Bor A.Ş.'nin atık deposundan alınarak konkasör önüne getirilmesi için nakliye analizi gerekmektedir.

Bandırmadaki Eti Bor A.Ş.'den şantiyeye 1 ton borojipsin nakliyesi:

Mesafe	: 10,00 km	Yoğunluk	: 1,435
K Katsayısı	: 120,00 YTL	A Katsayısı	: 1,150
FORMÜL	: $A * K * D * 0,00017 * \text{SQRT}(M * 1,000)$		

$F = A * K * D * 0,00017 * \text{SQRT}(M * 1,000)$:	= 3,37 YTL
% 25 Mütahhit Karı ve Genel Giderler	:	= 0,84 YTL
09.005/1A Borojips Yükleme Boşaltma		= 3,44 YTL
TOPLAM		= 7,65 YTL

Borojips Hazırlama:

03.530 Konkasörün 1 saatlik ücreti

Poz No	İşin Adı	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.530/1	Makine	0,000171	17,92	0,0031
04.109	Mazot ve yağ	27,0 kg	2,21	59,67
01.409	Formen	0,48 sa	5,90	2,83
01.403	Makinist	2,88 sa	4,10	11,81
01.408	Yağcı	4,00 sa	3,00	12,00
01.501	Düz İşçi	3,00 sa	2,75	8,25
Toplam :				94,56 YTL/sa

03.521.1 Lastik Tekerlekli Yükleyicinin 1 saatlik ücreti

Poz No	İşin Adı	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.521/1	Makine Yükleyici,Amortisman, Parça, bakımvs.	0,0002	9,82	0,0002
04.109	Mazot ve yağ	14,4kg	2,21	31,82
01.404	Operatör	1,44sa	4,70	6,77
01.408	Yağcı	1,00sa	3,00	3,00
Toplam:				41,59YTL/sa

Borojips Kırma ve Eleme Maliyeti (1m³)

Poz No	İşin Adı	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
03.521	Konk. Taşıtlara yükleme ve Konk.altı boşaltma	0.030	41,59	1,25
03.530	Kırma	0.00017	94,56	0,0161
01.409	Formen	0.25 sa	5,90	1,475
01.501	Düz İşçi	0.05 sa	2,75	0,14
Toplam :				2,88YTL/ m ³
% 25 Mütcaahhit Karı ve Genel Giderler :				0,72YTL/ m ³
Toplam:				3,60 YTL/ m ³
1 ton Borojipsin Kırma ve Eleme Maliyeti 3,60YTL/ m ³ /1,435ton/m ³				2,51 YTL/ton

Eti Bor A.Ş + Şantiye mesafesi)

: 7,65 YTL/ton

Borojips hazırlama bedeli

: 2,51 YTL/ton

Borojips Toplam Maliyeti (Hazırlama ve Nakliye) : 10,16 YTL/ton

Agrega Nakliye analizi:

Alttemel malzemesinin şantiyeye kadar getirileceği 10,00 km'lik yol için nakliye analizi gerekmektedir.

Mesafe	: 10,00 km	Yoğunluk	: 1,600
K Katsayısı	: 120,00 YTL	A Katsayısı	: 1,150
FORMÜL	: $A * K * D * 0,00017 * \text{SQRT}(M * 1,000)$		

$F = A * K * D * 0,00017 * \text{SQRT}(M * 1,000)$:	= 3,75 YTL
% 25 Müteahhit Karı ve Genel Giderler	:	= 0,94 YTL
09.005/1A Agrega Yükleme Boşaltma		= 6,89 YTL
TOPLAM		= 11,58 YTL

Agrega Toplam Maliyeti: Satın alma + Nakliye : 11,58 + 40,00 YTL
TOPLAM : 51,58 YTL/ton

Sonuç olarak sadece alttemel malzemesi kullanılarak yapılan 1km'lik uzunlukta, 3m genişlikte 35 cm granüler alttemel tabaka kalınlığına sahip 1050 m³ lük bir yol;

Kullanılan zemin ağırlığı : 1050 m³ x 1,640 ton / m = 1722 ton

$$1722 \times 51,58 = 88.820,76 \text{ YTL}$$

Alttemel üstü maliyeti = 300 000,00 YTL

$$\text{TOPLAM} = 388 820,76 \text{ YTL}$$

Aynı ölçülerdeki 30 cm alttemel tabaka kalınlığına sahip yol için borojips (450 m³), granüler malzeme (450 m³) kullanılarak yapılan 900 m³ lük bir yol;

$$450 \times 1,435 \times 10,16 = 6 560,82 \text{ YTL}$$

$450 \times 1.640 \times 51,58 =$	38 066,00 YTL
Toplam 900 m ³ lük bir yol =	44 626,39 YTL
Alttemel üstü maliyeti =	300 000,00 YTL
TOPLAM =	344 626,39 YTL

Yapılan bu maliyet analizi sonucuna göre %100 granüler malzeme kullanılarak yapılan bir yol alttemelinin yerine %50 borojips kullanılarak alttemel yapılması sonucu tabaka kalınlığı 35 cm'den 30 cm'ye düşmüş böylece kullanılan agrega miktarı %43, yol yapım maliyeti tüm yol için %12, alttemel için %50 azalmıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bor madeni atığı olan borojipsin alttemel malzemesinde farklı oranlarda kullanılarak en uygun agrega+borojips karışım oranının araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Farklı oranlardaki çimento+borojipsli numuneler optimum su muhtevalarında sıkıştırılmış, serbest basınç deneyine tabii tutulmak için su kürüne bırakılmış, ancak su küründe tüm numunelerin dağıldıkları gözlemlenmiştir.

Bu durum, borojipsin priz geciktirici özelliğinden dolayı su küründe çimentonun sertleşmesine mani olmasından dolayı numunelerin dağılmasına neden olduğu şeklinde açıklanabilir. Dolayısı ile çimento ile borojipsin bir arada optimum su muhtevasında sıkıştırılarak su küründe kullanılmasının dayanım açısından iyi sonuç vermediği gözlemlenmiştir.

Alttemel malzemesinde sadece borojips kullanılması durumunda, serbest basınç deneyi sonuçlarına göre en iyi dayanımı $9,5 \text{ kg/cm}^2$ 'lik değerle %20 borojipsli karışım vermiştir.

Borojipsli karışımların CBR deneylerinde en iyi sonucu %50 borojipsli karışım %70 ile vermiştir.

%53 CBR değerine sahip granül alttemel ve %70 CBR değerine sahip %50 borojips içeren granül alttemel tabakalarının kullanılması durumları için ayrı ayrı yapılan AASHTO esnek üstyapı tasarım sonuçlarından, granül alttemel tabakası için 35 cm, borojipsli granüler alttemel için 30 cm tabaka kalınlıkları hesaplanmıştır. Böylece kullanılacak agrega miktarı azalacak, kısıtlı doğal kaynakların daha verimli kullanılması mümkün olacak ve çevre kirliliğinin önlenmesine önemli bir katkıda bulunulmuş olacaktır.

Bu değerler kullanılarak yapılan maliyet analizi sonucu yol yapım maliyetinden %12 tasarruf edileceği bulunmuştur.

İlerde yapılacak olan çalışmalarda %60'dan daha yüksek borojips oranları için CBR değerlerinin incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 1995. Bor Mineralleri, Trona, Sodyum Sülfat, Stronsiyum Mineralleri, Tuz, DPT.
- Anonim, 1996. Bor Bileşikleri, DPT.
- Aksoy, A., 2002. Avrupa Ülkelerinde Asfalt Kaplama Uygulamalarına Genel Bir Bakış, Yalıtım Dergisi, Yıl:6, Sayı:36, 43-47.
- Alataş, T., 1996. Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Çeşitli Malzemelerle Birlikte Kullanımı, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., Elazığ.
- Aiban, S.A., Hamad, I., Wahhab, A.A., Baghabra, O.S. and Habibur, R.A., 1998. Performance of a stabilized marl base: a case study. Construction and Building Materials, 12, 329-340.
- ASTM D 698-00, 2000. Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM West Conshohocken, PA. Modified
- ASTM D 1140-00, 2000. Standard Test Method for Amount of Material in Soils Finer Than No.200 Sieve. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 1883-05, CBR Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted
- ASTM D 2166-00, 2000. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 4318-00, 2000. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM West Conshohocken, PA.
- Aşkın, S., Olgun, A. ve Erdoğan, Y., 2002. Bor Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Fen Bilimleri Dergisi 10. Yıl Özel Sayısı, No:3, 44-49.
- Aytekin, Y., 1995. Maden Mühendisliğine Giriş. DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:167, 271, İzmir.
- Aytekin, M. ve Nas, E., 1998. Soil Stabilization with Lime and Cement, Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers, 9, 471-477.
- Aytekin, M., 2000. Deneysel Zemin Mekaniği, Akademi Yayınevi, Trabzon.
- Bayındırlık Bakanlığı, 1999. Taşım Genel Teknik Şartnamesi, Ankara.
- Bentli, İ., Çakı, M., 2001. Kırka Boraks İşletmesi DSM Atık Kilinin Çini Hamuru Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. X. Ulusal Kil Sempozyumu, Konya.
- Bonçukcuoğlu, R., Yılmaz, M.T., Kocakerim, M.M and Tosunoğlu, V., 2002. Utilization of Borogypsum as Set Retarder in Portland Cement Production. Cement and Concrete Research, 32, 471-475.
- Bonçukcuoğlu, R., Yılmaz, M.T., Kocakerim, M.M., Tosunoğlu, V., 2002. Utilization of Trommel Sieve Waste As An Additive In Portland Cement Production. Cement and Concrete Research, 32, 35-39.
- Bor ve Türkiye, <http://www.etimineusa.com>. Bor, (15.08.2006).
- Bormadenedir, <http://www.boraxtr./Anadosya//bormadannedir.htm>, (17.05.2006).
- Bor Raporu, Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği <http://www.maden.org.tr./yeni3/yayinlar/raporlar/borraporu.htm> (03.07.2006).

- Bozkurt, R., 1989. Mineralojik İncelemelerin Cevher Zenginleştirmedeki Rolüne İki Örnek. Anadolu Üniversitesi Müh-Mim. Fakültesi Dergisi, 5(1), 15-21.
- Çolak, M., 1997. Etibank Kırka Boraks İşletmesi Atıklarının Turgutlu Killeri İle Tuğla-Kiremit Denemesi. VIII. Ulusal Kil Sempozyumu, Kütahya.
- Çolak, M., 1997. Hisarcık-Emet Kolemanit Ocağı Killeri. VIII. Ulusal Kil Sempozyumu, Kütahya.
- Değirmenci, N., Okucu, A. ve Turabi, A., 2006. Application of Phosphogypsum in Soil Stabilization. Building and Environment, 42(9), 3393-3398.
- Demir, İ., Orhan, M., 2002. Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.
- DPT, 1998. Bor Madenleri Madencilik Ana Planlama Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- Derun, E.M., Elbeyli, İ.Y., Tuğrul, N. ve Pişkin, S., 2003. Utilization of Boric Acid Wastes as an Additive in Lightweight Concrete. 8 th International Conference on Environmental Science and Technology Lemnos Island, Greece.
- Ediz, N., Özdağ, H., 1995. Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 34(4), 27-34.
- Ediz, N., Yurdakul, H., İssi, A., 2002. Etibor Kırka Boraks İşletmesi DSM Elek Üstü Atığının Duvar Karosu Bünyesinde Katkı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.
- Ediz, N., Yurdakul, H., İssi, A., 2002. Etibor Kırka Boraks İşletmesi DSM Elek Üstü Atığının Duvar Karosu Bünyesinde Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.
- Elbeyli, İ.Y., Derun, E.M., Gülen, J. and Pişkin, S., 2003. Thermal Analysis of Borogypsum and Its Effects on the Physical Properties of Portland Cement. Cement and Concrete Research, 33, 1729-1735.
- Erdaş, O., 1997. Orman Yolları, KTÜ, Orman Fakültesi No:188-26, Cilt II, Trabzon.
- Erdoğan, Y., Genç, H., Demirbaş, A., 1992. Utilization Of Borogypsum For Cement, Cement and Concrete Research, 23, 37-42.
- Erdoğan, Y., Zeybek, M.S., Demirbaş, A., 1998. Cement Mixes Containing Colemanite From Concentrator Wastes, Cement and Concrete Research, 32, 35-39.
- Erkal, İ.F., Girgin, İ., 1992. Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Kaba Artıklarının Konsantre Üretimi Amacıyla Değerlendirilmesi. IV. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Antalya.
- Eroğlu, H., 2003. Orman Yollarında Kağıt Fabrikası Atığının (Kireç Çamuru) Stabilizasyon Amaçlı Kullanımı Üzerine Bir araştırma. Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bil. Enst., Trabzon.
- Eti Maden İşletmeleri, <http://www.etiholding.gov.tr> (22.04.2006).
- Ferguson, G., 1993. Use of Self-Cementing Fly Ash as a Stabilization Agent. Geotechnical Special Publication, 36, 1-14.
- Frederic, V. and Lawrence, J.R., 1975. Fluxes in Industrial Minerals and Rocks (AIME), Ed. Stanley, J.L., 3, 251-261.
- Genç, S., Sevinç, U., Özşeker, A., Çakı, M., 1998. Etibor Kırka-Boraks İşletmesi Konsantratör Atığının Sır Hammaddesi Olarak Değerlendirilmesi. IV. Seramik Kongresi, Eskişehir.

- Güyağüler, T., 2001. Türkiye Bor Potansiyeli. IV. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Hınıslioğlu, S., 1991. Stabilization of Crushed Stone Mixes with Low Cement Content. MS Thesis, DEU. Fen Bilimleri Enst., İzmir.
- Ilıcalı, M., 1988. Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürüfunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- Ilıcalı, M., 1999. Uygun Karayolu Üstyapı Seçiminin Önemi. Türkiye Hazır Beton Birliği Makaleleri, 23, 41-47.
- Karasu, B., Gerede, E., 2002. Fritleştirilmiş Boraks Konsantre Atığının Yer Karosu Sırlarının Özelliklerine Etkisi. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.
- Karasu, B., Kaya, G., Yurdakul, H., 2002. Etibor Kırka Boraks İşletmesi Konsantre ve Türev Atıklarının Duvar Karosu Bünye Özelliklerine Etkisi. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.
- Karasu, B., Kaya, G., Kozulu, R., 2002. Konsantre Boraks Atığının Duvar Karosu Sırlarında K-Feldispat Yerine Kullanımı. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2004. Karayolları Genel Şartnamesi. Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, 435, Ankara.
- Karinaj, S.R., and Havanagi, V.G., 1999. Compressive Strength of Cement Stabilized FlyAsh-Soil Mixtures, Cement and Concrete Research, 29, 673-677.
- Kavas, T., Emrulloğlu, Ö.F., 1999. Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıklarının Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı. I. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, İzmir.
- Kavas, T., Olgun, A. and Erdoğan, Y., 2005. Setting and Hardening of Borogypsum-Portland Cement Clinker-Fly Ash Blends. Studies on Effects of Molasses on Properties of Mortar Containing Borogypsum, 35, 711-718.
- Köseoğlu, K., Bayça, S.U., 2002. Döküm Çamuruna %10 ve %20 Kolemanit ve Üleksit Atıkları İlavesinin Viskozite ve Mukavemet Özellikleri Üzerine Etkileri. I. Uluslararası Bor Sempozyumu. Kütahya.
- Kula, İ., Olgun, A., Erdoğan, Y., Sevinç, V., 2002. Effects Of Colemanite Waste, Coal Bottom Ash and Fly Ash On The Properties Of Cement and Concrete. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.
- Kumbasar, V., ve Kip, F., 1984. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, No:26.
- Leckebush, R., 1984. Türkiyedeki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı Üzerine İncelemeler. Türkiye Çimento Muhtasilleri Birliği Yayınları No:213.
- Lee, S.W. and Fishman, K.L., 1987. Improved Resilient Modulus Realized with Waste Product Mixtures. Geotechnical Practice for Waste Disposal. Geotechnical Special Publication, 13, 1356-1367.
- Locource, W.C. and Stevens, H.C., 1978. Properties of Silica Glasses Containing Small Amounts of B₂O₃, Borate Glasses. Structure, Properties, Applications, Pye *et.al.*, eds. Material Science Research, No:12, 541-542.
- Lyday, P.A., 1996. Boron, US Department Of The Interior. Bureau Of Mines, Washington D.C.
- Oruç, F., Sabah, E. ve Erkan, Z.E., 2004. Türkiye'de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri .II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Özaydın K., 1989. Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- Özbayoğlu, F.U., 1993. Köy Yollarının Termik Santral Külleri ile Stabilizesi. Köy Hizmetleri Dergisi, 45, 8-19.
- Sabah, E., Yeşilkaya, L., 2000. Farklı Tipte Polimerlerle Kırka Boraks İşletmesi Tinkal Konsantratörü Atıklarının Çökelme Davranışlarının İncelenmesi. Cevher Hazırlama, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Derneği Yayını, No: 3, 112s, İzmir.
- Son Yılların Ulaşım İstatistikleri, <http://www.die.gov.tr>. (13.03.2006).
- Sönmez, E., Özdağ, H., Özler, A., Sümer, G., 1993. Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerinin Seramik Endüstrisinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Türkiye XIII. Madencilik Kongresi, İstanbul.
- Sönmez, E., Yorulmaz, S., 1995. Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Smith, R. L., 1993. Stabilization of Industrial Wastes, ASCE, Fly Ash for Soil Improvement. Geotechnical Special Publication, 36, 58-72.
- Sur, H., Yaman, C., Pişkin, S., 1997. Bor Atıklarının İnşaat Tuğlası Üretiminde Kullanılması. VIII. Ulusal Kil Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Kütahya.
- Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B., Sevinç, V., 2002. Kula Cürufu, Bentonit ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya.
- Toprakçı, E.M., 2002. Tuğla-Kiremit Atıklarının Puzolonik Katkılarla Yol Stabilizasyon Materyali Olarak Değerlendirilmesi. Y. Lisans Tezi, Niğde Üniv. Fen Bil. Enst. , Niğde.
- Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. 840, İstanbul.
- Turner, J. P., 1997. Evaluation of Western Coal Fly Ashes for Stabilized of Low-Volume Roads. Testing Soil Mixed with Waste or Recycled Materials, ASTM STP, 33, 1210-1275.
- Tüdeş, E., 1996. Zeminlerin Kireç ve Çimento Katkısı ile Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Transport Research Laboratory, 1993. A Guide to the Structural Design of Bitumen Surfaced Roads in Tropical and Sub-tropical Countries, Overseas Roads Note, 31, 75, Crowthorne, Berkshire, United Kingdom.
- TS 1900, 1987. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 3114, Beton Basınç Mukavemeti Tayini. TSE, Ankara.
- Umar, F. ve Açar, E., 1991. Yol Üstyapısı. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası. 339, İstanbul.
- Uslu, T., Arol, A.I., 2004. Use of Boron Waste As An Additive In Red Bricks. Waste Management, 24, 217-220.
- Yaman, C., Maraşoğlu, M., 1998. Bor Minerali Atıklarından Üretilen Camsı Maddenin Olası Kullanım Alanları. IV. Seramik Kongresi, Eskişehir.
- Yayla, N., 2002. Karayolu Mühendisliği. Birsen Yayınevi, 216, İstanbul.
- Yeşilkaya, L., 1989. Kırka Boraks İşletmesi Tinkal Konsantratörü Atıklarındaki Kilin Flokülasyon İle Ayrıştırılması ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

EKLER

EK 1

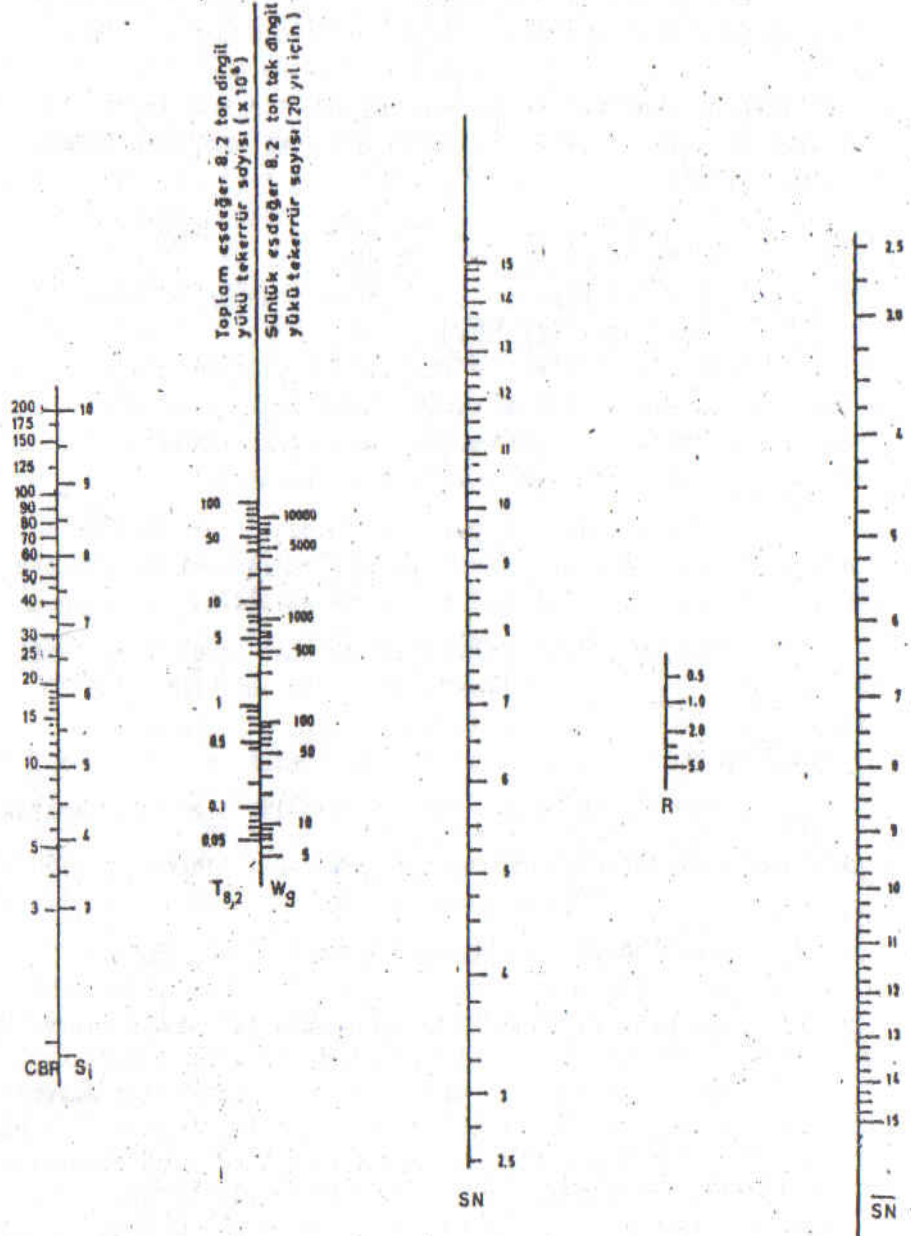
Tablo.3.3. t Yıl Sonraki Günlük Trafik Değerleri

(1+r)^t DEĞERLERİ

t yıl (1+r)	2	3	4	5	10	15	20	21	22	23	24	25
1.01	1.0201	1.0303	1.0406	1.0510	1.1046	1.1610	1.2202	1.2324	1.2447	1.2571	1.2617	1.2824
1.02	1.0404	1.0612	1.0824	1.1041	1.2190	1.3458	1.4859	1.5157	1.5460	1.5769	1.6084	1.6405
1.03	1.0609	1.0927	1.1255	1.1591	1.3439	1.5580	1.8061	1.8603	1.9161	1.9736	2.0326	2.0937
1.04	1.0816	1.1249	1.1699	1.2166	1.4802	1.8009	2.1911	2.2788	2.3699	2.4646	2.5633	2.6658
1.05	1.1025	1.1576	1.2155	1.2763	1.6289	2.0316	2.6533	2.7859	2.9252	3.0715	3.2250	3.3863
1.06	1.1236	1.1910	1.2625	1.3382	1.7939	2.3966	3.2072	3.3996	3.6036	3.8198	4.0490	4.2919
1.07	1.1449	1.2250	1.3108	1.4025	1.9672	2.7591	3.8697	4.1406	4.4304	4.7406	5.0724	5.4275
1.08	1.1664	1.2597	1.3605	1.4693	2.1589	3.1722	4.6610	5.0339	5.4366	5.8715	6.3413	6.8486
1.09	1.1881	1.2950	1.4116	1.5386	2.3673	3.6424	5.6043	6.1087	6.6584	7.2577	7.9109	8.6228
1.10	1.2100	1.3310	1.4641	1.6105	2.5938	4.1773	6.7276	7.4004	8.1404	8.9545	9.8498	10.8349
1.11	1.2321	1.3676	1.5181	1.6851	2.8394	4.7846	8.0623	8.9492	9.9336	11.0263	12.2392	13.58
1.12	1.2544	1.4049	1.5735	1.7823	3.1059	5.4736	9.6463	10.8038	12.1003	13.5523	15.1786	17.0000
1.13	1.2769	1.4429	1.6307	1.8423	3.3945	6.2542	11.5228	13.0208	14.7155	16.6262	18.7877	21.2300
1.14	1.2996	1.4815	1.6890	1.9254	3.7072	7.1380	13.7436	15.6677	14.8612	20.3617	23.2124	26.4621
1.15	1.3225	1.5209	1.7490	2.0114	4.0456	8.1371	16.3667	18.8217	21.8449	24.8917	28.6255	32.9152

Tablo 3.3.

EK 2

Şekil 3.6. Esnek Üstyapılar için Projelendirme Abağı ($P_t=2,5$)

EK 3

Tablo 3.8. Tabaka Katsayıları

Tabaka Tipi	M.S (kg)	CBR %	β_7 kg/cm ²	a katsayısı
a) KAPLAMA TABAKASI :				
Asfalt-Betonu Aşınma	750-900			0.42-0.44
Asfalt Betonlu Binde	600-750			0.40-0.42
b) TEMEL TABAKASI :				
Penetrasyon mak.temel				
Asfaltlı makadam temel				
Bitümlü temel	400-500			0.32-0.34
Çimentolu temel			70	0.30
"			45-70	0.23
"			28-45	0.20
"			28	0.15
Yıkılmış çakıl veya kırma taş temel		90		0.14
Plent-Miks kırma taş temel		100		0.15
c) ALTTEMEL TABAKASI				
Bitümlü Stabilize edilmiş zemin				0.20
Kireç ile Stabilize edilmiş zemin			7	0.12
Çimento ile Stabilize edilmiş zemin			17.5	0.14
Kum-çakıl alttemel		30		0.11

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Erzurum'da tamamladı. 1997 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında mezun oldu. 2004 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

MSB. Erzurum İnşaat Emlak ve NATO Enfrastrüktür Bölge Başkanlığında Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır.