

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

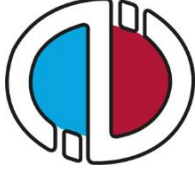
**ATIK MERMER PARÇALARININ YOL TEMEL
MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Gökhan YAKŞE
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Doç.Dr. Nazile URAL**

BİLECİK, 2016

Ref.No:10101722



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**ATIK MERMER PARÇALARININ YOL TEMEL
MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Gökhan YAKŞE
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Doç.Dr. Nazile URAL**

BİLECİK, 2016



ANADOLU UNIVERSITY



**BILECIK SEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering**

**WASTE MARBLE PARTIALS EXPENSING AS BASE
MATERIAL**

**Gökhan YAKŞE
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Associate Professor Dr. Nazile URAL**

BILECIK, 2016



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 06.01.2016 tarih ve 1 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20.01.2016 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gökhan YAKŞE'nin "Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Nazile URAL

ÜYE: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

ÜYE: Doç. Dr. Volkan OKUR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANI:

PROF. DR. Y. CENGİZ TAYKILI

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez Çalışmamı yöneten, tez çalışmam süresince değerli fikirlerinden faydalandığım çok kıymetli hocam Doç. Dr. Nazile URAL'a, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Burak GÖRGÜN ve Uzman Turgut KAYA'ya, Yüksek Lisans eğitimim boyunca her türlü sorularıma özveri ile cevap veren Fen Bilimleri Enstitüsü Personeline, Yüksek Lisans eğitimimi tamamlamamda bana destek olan Bilecik İl Özel İdaresi'ndeki iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında benden her türlü desteği ve özveriyi esirgemeyen, eğitim ve iş hayatım boyunca hep yanımda olan aileme, Yüksek Lisans eğitimimde ve hayatımın her safhasında destek ve katkılarından dolayı sevgili eşim Tuba YAKŞE'ye ve biricik kızım Zümra YAKŞE'ye sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Gökhan YAKŞE

Bilecik - 2016

ÖZET

Günümüzde, atık malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda atıklardan yeni ürünler elde etmek veya atıkların katkı maddesi olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Atıkların yeniden kullanımı yolu ile geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltmakta, çevrenin tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği arttırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevresel sorunları en aza indirmektedir. Mermer bloklarının düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmekte ve bu işlem sonunda mermer atıkları ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda inşaatlarda mermerin kullanımını giderek artmakta ve mermere olan talebi karşılamak amacıyla, mermer işleme tesislerinin sayısının hızla arttığı gözlenmektedir. Bu çalışmada mermer ocağı sayısı çok fazla olan Bilecik İlindeki mermer atıklarının, yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında; hava tesirlerine ve donmaya karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, NaOH ile yapılan organik madde tespiti deneyi, su emme deneyi, Atterberg kıvam limitleri deneyi, metilen mavisi deneyi, kuru ve yaş Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan mermer atıkları, Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen temel malzemesi gradasyonu aralıklarında hazırlanarak, şartnamede belirtilen fiziksel özellikleri taşıyıp taşımadıkları ve kuru / yaş CBR deney sonuçları kontrol edilmiştir. Sonuçta, Bilecik İlinin üç farklı bölgesinden alınan mermer atıklarının Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) belirtilen alt temel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini sağladığı ve CBR eğrilerinin de şartnameye uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- Mermer atığı, Temel malzemesi, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), Bilecik İli

ABSTRACT

Nowadays, about reuse of waste materials and recycling is made intense studies. Thus, it is decreased use of limited natural sources, is prevented environmental damage, and by the result of waste store environmental problems are decreased. Marbles need to cut to take regular geometric shapes and is occurred marble wastes. In last years, marbles usage is increased continuously in buildings, thus marble operated factories number are increased. In this study, it was investigated evaluation as base material to the marble waste. For this reason, it was conducted freezing durability test, Los Angeles test, flakiness index test, organic material (NaOH) test, water absorbing test, Atterberg consistency limits test, methylene blue test, dry and wet California bearing ratio. Consequently, marble wastes which are taken from three different region of Bilecik was seen proper below base material physical appearances that are determined in Highways Technical Specification.

Keywords- Marble waste, Base material, California bearing ratio (CBR), Bilecik city

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR	
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	III
SİMGELER VE KISALTMALAR	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMLARI	10
3. YOL ÜST YAPISI	18
3.1. Esnek Üstyapılar.....	19
3.1.1. Esnek yol üstyapılarında alttemel tabakası	22
3.1.2. Esnek yol üstyapılarında temel tabakası	24
4. MALZEME VE YÖNTEM	30
4.1. Malzeme	30
4.2. Yöntem	31
4.2.1. Elek analizi deneyi	31
4.2.2. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi	32
4.2.3. Los angeles aşınma deneyi	34
4.2.4. Yassılık indeksi deneyi.....	36
4.2.5. Organik madde tespiti deneyi.....	37
4.2.6. Kil topağı deneyi	38
4.2.7. Su emme yüzdesi deneyi	39
4.2.8. Likit limit deneyi	40
4.2.9. Plastik limit deneyi	42
4.2.10. Metilen mavisi deneyi	43
4.2.11. Modifiye proktor deneyi.....	44
4.2.12. Kaliforniya taşıma oranı (cbr) deneyi	46
4.2.13. Arazide kum konisi metodu ile sıkışma testi	47
4.2.14. (XRD), Civa porozimetresi ve (XRF) analizi	49
5. DENEY SONUÇLARI	50
5.1. Elek Analizi Deneyi	50
5.2. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi	52
5.3. Los Angeles Aşınma Deneyi.....	53
5.4. Yassılık İndeksi Deneyi.....	54
5.5. Organik Madde Tespiti Deneyi	55
5.6. Kil Topağı Deneyi	55
5.7. Su Emme Yüzdesi Deneyi.....	55
5.8. Likit Limit Deneyi.....	56
5.9. Plastik Limit Deneyi.....	57
5.10. Metilen Mavisi Deneyi	58
5.11. Modifiye Proktor Deneyi.....	59
5.12. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi	61
5.13. Arazide Kum Konisi Metodu ile Sıkışma Testi	66
5.14. (XRD), Civa Porozimetresi ve (XRF) Analizi	68

6. MALİYET ANALİZİ	69
7. SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR	73
EK-1: Bilecik İli Maden Haritası	77
EK-2: Elek analizi deneyi değerleri	78
EK-3: Hava tesirlerine karşı kayıp deneyi değerleri	78
EK-4: Los Angeles deneyi değerleri	79
EK-5: Yassılık indeksi deneyi değerleri.....	79
EK-6: Su emme deneyi değerleri	79
EK-7: Metilen mavisi deneyi değerleri	80
EK-8a: Merkez ilçe modifiye proktor.	81
EK-8b: Gölpazarı ilçe modifiye proktor.	82
EK-8c: Yenipazar ilçe modifiye proktor.	83
EK-9a: Merkez ilçe yaş Kaliforniya taşıma oranı.	84
EK-9b: Gölpazarı ilçe yaş Kaliforniya taşıma oranı.	85
EK-9c: Yenipazar ilçe yaş Kaliforniya taşıma oranı.	86
EK-9d: Merkez ilçe kuru Kaliforniya taşıma oranı.	87
EK-9e: Gölpazarı ilçe kuru Kaliforniya taşıma oranı.	88
EK-9f: Yenipazar ilçe kuru Kaliforniya taşıma oranı.....	89
EK-10: Kum konisi sıkışma testi değerleri.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR**Simgeler**

mm	: Milimetre
kg	: Kilogram
mg	: Miligram
l	: Litre
sa	: Saat
cm	: Santimetre
m	: Metre
t	: Ton
°C	: Celcius
g	: Gram
km	: Kilometre
ml	: Mililitre
W _L	: Likit limit
W _p	: Plastik limit
IP	: Plastisite indisi
Mg	: Magnezyum
K	: Potasyum
N	: Azot
dk	: Dakika
K	: Motorlu araç taşıma katsayısı
M	: Mesafe
TL	: Türk lirası

F	: Nakliye maliyeti
A	: Yol durum katsayısı
MM	: Metilen mavisi
M_w	: Su kütlesi
M_s	: Dane kütlesi
M_k	: Kuru kütle
W	: Su muhtevası
G_s	: Özgül ağırlık
ρ	: Birim hacim ağırlık
ρ_s	: Dane birim hacim
ρ_k	: Kuru birim hacim ağırlık
kd	: Donma kaybı yüzdesi
w_{opt}	: Optimum su muhtevası
ρ_{kmax}	: Maksimum kuru birim hacim
D	: Dane çapı

Kısaltmalar

AC	: Asfalt çimentosu
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen.
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen.
LAV	: Los Angeles aşınma değeri.
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
Inc	: Amerikan uzunluk birimi (2,54 cm)
AASHTO	: Amerikan Devlet Otoyolları ve Taşımacılık Birliği
CBR	: Kaliforniya taşıma oranı
RT-1	: Bitümlü bağlayıcı malzeme
RT-2	: Bitümlü bağlayıcı malzeme
SS-1h	: Bitümlü bağlayıcı malzeme
CSS-1	: Bitümlü bağlayıcı malzeme
CSS-1h	: Bitümlü bağlayıcı malzeme

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri	23
Çizelge 3.2. Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 3.3. Kaba agreganın fiziksel özellikleri.....	25
Çizelge 3.4. İnce agreganın fiziksel özellikleri	26
Çizelge 3.5. Granüler temel tabakası gradasyon limitleri	27
Çizelge 3.6. Plentmiks temel tabakası gradasyon limitleri	28
Çizelge 3.7. Çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası gradasyonu	29
Çizelge 4.1. Los Angeles deneyi numune miktarları.....	37
Çizelge 4.2. Los Angeles deneyi küre sayıları.....	37
Çizelge 4.3. Yassılık indeksi deneyi malzeme miktarları	38
Çizelge 4.4. Su emme deneyi numune miktarları.....	41
Çizelge 5.1. Merkez numunesi yaş CBR değerleri.....	64
Çizelge 5.2. Gölpazarı numunesi yaş CBR değerleri.....	65
Çizelge 5.3. Yenipazar numunesi yaş CBR değerleri.....	65
Çizelge 5.4. Merkez numunesi kuru CBR değerleri.....	65
Çizelge 5.5. Gölpazarı numunesi kuru CBR değerleri.....	66
Çizelge 5.6. Yenipazar numunesi kuru CBR değerleri.....	66
Çizelge 5.7. Civa porozimetresi analizi sonuçları	66
Çizelge 5.8. XRF deneyi sonuçları	66
Çizelge 6.1 Doğal agreganın birim maliyet analizi.....	71
Çizelge 6.2 Mermer parça atıklarının birim maliyet analizi.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Doğa içerisinde mermer ocakları.....	2
Şekil 1.2. Bilecik İlinde bir mermer ocağı.....	6
Şekil 1.3. Mermer ocağında mermer blokları.....	8
Şekil 3.1. Standart tip yol en kesiti (Umar ve Açar, 1991).....	20
Şekil 4.1. Mermer atık numunesi alımı.....	31
Şekil 4.2. Bilecik İli maden haritası.....	32
Şekil 4.3. Elek analizi deney aleti.....	34
Şekil 4.4. Agregalarda donma çözünme deneyi hazırlığı.....	35
Şekil 4.5. Los Angeles deney aleti.....	36
Şekil 4.6. Yassılık indeksi deney numunesi.....	39
Şekil 4.7. Organik madde tespiti deneyi.....	40
Şekil 4.8. Su emme deneyi sonrası etüvde kurutma işlemi.....	42
Şekil 4.9. Likit limit deney düzeneği.....	43
Şekil 4.10. Likit limit deney sonuç tespit grafiği.....	44
Şekil 4.11. Modifiye proktor deneyi yapılışı.....	47
Şekil 4.12. Kaliforniya taşıma oranı deney aleti.....	49
Şekil 4.13. Kum konisi deney aleti.....	50
Şekil 5.1. Merkez İlçe numunesi elek analizi grafiği.....	52
Şekil 5.2. Gölpaazarı İlçesi numunesi elek analizi grafiği.....	53
Şekil 5.3. Yenipazar İlçesi numunesi elek analizi grafiği.....	53
Şekil 5.4. Donma çözünme deneyi sonuçları.....	54

Şekil 5.5. Los Angeles deney sonuçları.....	55
Şekil 5.6. Yassılık indeksi deney sonuçları.....	56
Şekil 5.7. Su emme deneyi sonuçları.....	58
Şekil 5.8. Metilen mavisi deneyi sonuçları.....	60
Şekil 5.9. Merkez İlçe numunesi modifiye proktor deneyi grafiği.....	61
Şekil 5.10. Gölpazarı İlçesi numunesi modifiye proktor deneyi grafiği.....	62
Şekil 5.11. Yenipazar İlçesi numunesi modifiye proktor deneyi grafiği.....	62
Şekil 5.12. Merkez İlçe numunesi yaş CBR grafiği.....	63
Şekil 5.13. Gölpazarı İlçesi numunesi yaş CBR grafiği.....	64
Şekil 5.14. Yenipazar İlçesi numunesi yaş CBR grafiği.....	64
Şekil 5.15. Merkez İlçe numunesi kuru CBR grafiği.....	65
Şekil 5.16. Gölpazarı İlçesi numunesi kuru CBR grafiği.....	65
Şekil 5.17. Yenipazar İlçesi numunesi kuru CBR grafiği.....	66
Şekil 5.18. Kum konisi deneyi yapımı.....	69
Şekil 5.19. Mermer atığı ile yapılan temel tabakasının sıkıştırılması.....	69

1. GİRİŞ

Günümüzde, atık olarak meydana çıkan malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu atıklardan yeni ürünler elde edilebilmesi veya atıkların katkı maddesi olarak yeniden kullanılması amaçlanmaktadır. Atıkların geri dönüşümü veya tekrar kullanımı; sınırlı olduğunu bildiğimiz doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip olması engellemekte, üretimde verimliliği arttırmakla beraber atık depolanması sonucu meydana gelecek çevre problemlerini en aza indirmektedir (Bilensoy, 2010).

Tüketimin hızla artmasına karşın kaynakların sınırlı olduğu dünyamızda son yıllarda önem arz eden konuların başında geri dönüşüm gelmektedir. Gelişmiş ülkeler kaynak israfını önlemekle birlikte, hayat standartlarını artırma amaçlı ve ortaya çıkan enerji ihtiyacı ile, atıkların geri kazanılmasını amaçlayan yöntemler geliştirilmesine hız vermişlerdir. Ülkemizde ise geri dönüşüm amaçlı çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Daha önceleri göz ardı edilen atık yönetimi planlaması son yıllarda yasal zorunluluklarla birlikte sanayi işletmeleri için vazgeçilmez bir durum haline almıştır. Oluşan atıkların ham madde olarak kullanılması ile yeni bir ürün elde edilmesine geri dönüşüm ismi verilmektedir. Geri dönüşüm evreleri; kaynaktan ayırma, kullanılabilir atıkları ayrı ayrı toplama, sınıflandırma, değerlendirme ve elde edilen yeni ürünü ekonomiye geri kazandırma olarak beş basamaktan oluşmaktadır. Geri kazanım da atıkların yeniden kullanılarak, enerji elde etmek veya fiziksel - kimyasal işlemler uygulayarak yeni ürün elde etmek amacı ile toplanmasıdır. Ekonomik olarak zorluk çeken ve kalkınma evresinde olan ülkelerin doğal kaynaklarından uzun vadede ve verimli bir şekilde yararlanabilmeleri için atık israfını önleyerek, ekonomik değere sahip maddeleri geri kazanma ve yeniden kullanma metotlarını araştırmaları gerekmektedir

Geri dönüşüm sayesinde doğal kaynaklar da gereksiz yere tahrip edilmemiş olurlar. Dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının günden güne değişmesi sebebi ile doğal kaynaklar sürekli azalmaktadır. Bu nedenle malzeme üretiminde hammadde ihtiyacını azaltarak yeniden değerlendirilebilir özellikteki atıkları geri dönüşüm çalışmaları ile yeniden kullanarak az olan doğal kaynaklar verimli bir şekilde kullanılabilir. Bu yüzden geri dönüşüm doğal kaynakların korunması ve gerektiği

gibi kullanılması açısından çok derece önemli bir işlemdir. Geri dönüşüm amaçlı yapılan bütün çalışmaların amacı, atık yönetimi çalışmalarını yaygınlaştırarak, atık miktarlarını azaltmak, dolayısı ile çevreye verilen olumsuz etkileri azaltmak, yeni hammadde kaynağı talebini azaltmak ve enerjide tasarrufu sağlamaktır. Şekil 1.1.'de mermer ocaklarının doğa içerisindeki durumları görülmektedir.



Şekil 1.1. Doğa içerisinde mermer ocakları, Bilecik.

Mermerlere düzgün geometrik şekil verebilmek için onları kesmek gerekmektedir. Kesme işleminin sonucunda ise mermer atığı meydana gelmektedir. Mermerlerin kesimi esnasında parça boyutunda atık olarak ortaya çıkmasının yanında soğutma suyu kullanıldığı için ve toz bastırıcı olarak sulu kesime tabi tutulduğundan, mermer kesiminden meydana gelen mikron boyutundaki parçacıklarda ortaya çıkmaktadır. Toz atıklar başlangıç itibariyle ıslak olarak depolanır ya da doğrudan arazi üzerine bırakılabilir. Dolayısıyla burada çevre kirlenmesinden bahsedilebilmektedir. Son yıllara bakacak olursak, yapılarda mermerin kullanımını giderek yaygınlaşmakta ve mermere olan talebi karşılamak için mermer işleme tesislerinin sayısında da büyük ölçüde artış meydana gelmektedir. Mermer işleme tesislerinin yoğun olduğu bölgelerdeki mermer atıkları, kamuoyu nazarında çevre kirliliği sebep olduğu ve doğal

güzelliğe de zarar verdiği gerekçesiyle birtakım insanların tepkisini çekmektedir (Bilensoy, 2010).

Mermer, kalker ve dolomit esaslı kalkerlerin basınç ve ısı etkileri altında başkalaşıma uğraması sureti ile tekrardan kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayaç olarak tanımlanır (Özcan, 2010). Ticari anlamda ise mermer blok verebilen, kesilerek parlatıldıktan sonra cilalanabilen, göze hoş görünen ve dayanıklı her türlü kayaç mermer olarak tanımlanmaktadır. Mermerler ve mermer olarak kabul edilen taşları günümüz şartlarında sedimanter tip mermerler, başkalaşım tipi mermerler, çökeltme tipi mermerler, mağmatik kökenli mermerler olmak üzere dört ana grupta toplanmaktadır.

Kalkerler, kireçtaşları, tektonik breşler ve pudingler sedimenter tip mermerlerdir. Kalkerler, kimyasal çökeltme veya kalkerli organik artıkların çökeltmesi sonucunda oluşurlar. Kalkerlerin yapılarında kil, grafit, demir, manganez ve çeşitli birçok mineral oksitler bulunabilir. Bazı çeşitlerinde ise fosillere de rastlanmıştır. Hakiki mermerler fosilleri bünyelerinde barındırmazlar. Kalkerler isimlendirilmeleri bileşimindeki ikincil maddelere, dokularına, görünümlere ve içindeki fosillere göre yapılır (Özcan, 2010). Başkalaşım tipi mermerler hakiki mermer olarak adlandırılır. Hakiki mermerler, kalker ve dolomit kalkerlerin ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayaçlar olarak tanımlanmaktadır. Kimyasal bileşiminde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranda magnezyum karbonat, yatağın oluşumuna bağlı olarak silis mineralleri ve mineral oksitleri içermektedir. Başkalaşım tipi mermerlerin mikroskop altında incelendiğinde, birbirlerine sıkıca kenetlenmiş kalsit kristallerinde oluştuğu gözlenmektedir. Bu kristaller oluşum sırasındaki soğuma hızı ile ters olarak çeşitli büyüklüklerde meydana gelmektedirler. Bahsedilen kristal boyutu küçük ise mermerin sertlik, sağlamlık parlama yeteneği artmaktadır. Kalsit kristalleri büyük boyutlu ise mermerin dayanımı azalmakta, yumuşak ve mat bir hal almaktadır (Görgülü, 1994). Çökeltme tipi mermer olan travertenler, kalsiyum bikarbonatlı sıcak kaynak sularının bıraktıkları çökeller olarak tanımlanmaktadır. Üretimi, işlenmesi, kesilmesi çok kolay olup, beyaz, kirli beyaz, krem, açık ve koyu sarı gibi çeşitli renklerde bol olarak bulunması bu kayaçların yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Arıkan, 1968). Traverten mermerler ile aynı alanlarda kullanılmakta, ancak mermerden daha az dayanıklı, parlatma ve cila kabul

etme özelliği daha düşük ve yüzey şartlarında daha kolay ayrıştığı için kullanımı biraz daha sınırlıdır. Gözenekli olmasından dolayı güzel görünüm verdiği için binaların iç ve dış kaplamalarında tercih edilmektedir. Travertenlerin ocak ve fabrika işletmeciliği mermerler ile aynı şekilde yapılmaktadır (Özcan, 2010). Çökeltme tipi mermer sınıfına giren oniksler; kalsiyum karbonatlı kaynak sularının sıcaklığı düşükse çökeltme ve kristalleşme daha geç olmaktadır. Oniks mermerleri genellikle beyaz, sarı, yeşil renklerde olup, yarı saydam olabilmektedirler. Tek renkte olduğu gibi değişik renkler gösteren bantlar, damarlar v.b. hallerde de olabilirler. Oniks mermerleri, kristalleri birbirine sıkı şekilde bağlı olduğundan oldukça sert olabilmektedir (Görgülü, 1994). Yeryüzünde veya derinlerde çıkan magmanın soğuma ve kristalleşme ile oluşan kayalara magmatik kayalar adı verilir. Magmatik kayalardan mermercilik alanında en yaygın olarak kullanılanlarına örnek olarak; granit, serpantin, siyenit, diyabaz, lösitli siyenit, ve granodiyorit verilebilir. Granitler genellikle sert olduklarından işlenmeleri kolay değildir. Yarılma hassasiyetleri yüksektir. Cilayı kabul etmeleri ve cilalandıktan sonra cilalarını uzun süre korumaları, ayrıca sağlıkları nedeniyle çok tercih edilen mermer cinslerindedir (Özcan, 2010).

Mermerlerin başlıca kullanım alanları şöyle sıralayabiliriz; taşıyıcı konsol ve merdiven basamağı, taşıyıcı yapı elemanı (kolon, sütun, kiriş ve sarak), duvar kaplaması, taban kaplaması, tezgâh, masa üstü, iç dekorasyon, plastik sanatlar, çatı kaplaması, heykel ve büst olmaktadır (Vardar, 1990). Mermerlerde aranan bazı özellikler; renk ve desenlerin homojen olması, blok verme ve kesilip cilalanabilme, atmosferik ve kimyasal etkilere mukavemet, çeşitli jeomekanik ve fiziksel özellikler olarak genellenebilir. Mermerlerin en önemli özellikleri renkleridir. Estetik amaçlara yönelik olarak kullanılan endüstriyel hammaddeler sınıfında yer alırlar. Bu sebeple bir taşın ticari anlamda mermer olarak sayılabilmesi için öncelikli olarak renginin cazip olması gerekir. Mermerler tek renk olabildikleri gibi, değişik renkler gösterebilen bantlar, benekler, damarlar halinde çeşitli desenlerde olabilmektedirler (Ersoy, 1991).

Mermerlerin bir diğer önemli özelliği de gözenekli olmalarıdır. Mermerlerin gözenekliliğinin düşük olması gerekmektedir. Gözenekler çok olduğu takdirde su emme yoluyla renk bozulmalarına ve donma ile çatlamalara neden olabilmektedir. Mermerlerin çözülmesi, dış kaplama malzemesi olarak kullanılanlar için önemli bir

hususudur. Atmosfer şartları altında yavaşta olsa kimyasal ve fiziksel etkilerle değişmeye uğrarlar. Çözülme şiddeti her mermerde aynı değildir. Mermerlerin kimyasal bileşimi su emme kabiliyetine göre değişiklik gösterir. Az su emen mermerler örnek olarak; binaların dış kaplamaları için ideal olabilmektedirler. (Ersoy, 1991). Mermerler, taban döşemeleri ve merdivenlerde aşınmaya maruz kalabilmektedirler. Bu nedenle mermerlerin belli bir aşınma dayanımına sahip olmaları istenmektedir.

Dünyada mermer rezervleri incelendiğinde, genel olarak Alp – Himalaya kuşağı içinde kalan Türkiye, İspanya, Portekiz, İtalya, Yunanistan, İran, Pakistan gibi ülkelerde karbonatlı kayaç (traverten ve oniks, mermer, kireçtaşı,) rezervlerinin fazla olduğu görülmektedir. İşlenilebilir magmatik kayaç (serttaş) rezervlerinin İspanya, Finlandiya, Norveç, Ukrayna, Pakistan, Hindistan, Rusya, Çin, Brezilya ve Güney Afrika'da toplandığı görülmektedir. Dünyada mermer sektöründe lider ülke olarak İtalya göz önüne alınabilir. Gerek rezerv olarak gerekse üretim ve işleme teknolojisi bakımından dünya mermerciliğinin merkezi durumundadır. İtalya, dünyanın en büyük blok ithalatçısı konumundadır. Türkiye, Yunanistan, İspanya, Çin, Brezilya, Arjantin, Hindistan, Tayvan, Portekiz, Güney Kore işlenmiş mermer ihraç eden ülkelerdir. İsrail, Almanya, Suudi Arabistan, Fransa, Belçika, Fas, İngiltere, Finlandiya, Japonya, Avustralya, Yeni Zelanda, kendi üretimleri yanı sıra blok ithal eden ülkelerdir. Rusya, İskandinavya Ülkeleri, Orta Asya Cumhuriyetleri, Nepal, Güney Afrika Ülkeleri zengin rezervlerini değerlendiremeyen ve blok olarak satan ülkelerdir. Özellikle Çin'de maliyet faktörü gözetilmeden gerçekleştirilen üretim artışı tüm dünyayı etkilemiştir. Türkiye, İspanya, İtalya, Çin, Fransa, Hindistan ve Portekiz her iki ürün grubunda da önemli ihracatçı ülkeler olmuştur. 2006 yılında dünya ham blok mermer ürün ihracatında İspanya toplam ihracatın % 24'ünü gerçekleştirerek ilk sırada yer almıştır. Türkiye % 17.6'lık ihracatla ikinci sırada yer almıştır (Bilensoy, 2010).

Ülkemiz zengin doğal taş rezervlerine sahiptir. Jeolojik rezerv içindeki işletilebilir rezervin oranı ülke geneli için tam olarak belli değildir. Ülkemizde masif niteliği gösteren metamorfik temeller içinde büyük ya da küçük yayımlı mercek şeklinde mermer yatakları bulunur. Ülkemizde elde edilen mermer, farklı renk çeşitleri ve kalitesiyle dünyanın bir çok ülkesinde, dünyaca tanınmış mekânlarda kullanılmaktadır. Vatikan'da bulunan Saint Pierre Kilisesinin girişindeki yüzey

kaplamalarında Afyon İncehisar mermerleri, ABD'de Beyaz Saray'da, Alman Parlamentosu, Fransa Parlamentosu ve ABD Temsilciler Meclisinde Elazığ vişne mermeri kullanılmıştır. Türkiye'de uygulanan modern ocak üretim metotları ve son teknikler sayesinde rekabetin çok güçlü olduğu dünya doğal maden pazarına uygun üretim ve pazarlama yapabilecek ürünler hazırlayabilen tesis sayımız artmış ve Türkiye dünya doğal taş üretiminde lider yedi üretici ülke arasına girmiştir. Sektör, iç piyasa tüketimi, yüksek ihracat potansiyeli, doğal taş makineleri üretimi ve ihracatıyla Türkiye ekonomisine önemli katkı sağlamaktadır. Son dönemde mermer üretiminde, nitelikli işgücü ve ileri teknolojiye dayanan modern üretim yöntemlerinin daha çok kullanılmaya başlanması, klasik mermer üretim yöntemlerinin değişmeye başlaması, büyük firmaların yaptıkları yatırımlarla birlikte bütünleşmiş üretim yapan tesislerin de devreye girmesi ile birlikte işlenmiş mermer üretimi büyük artış göstermiştir. Uygulanmaya başlanan modern üretim yöntemleri ve son teknikler ile birlikte rekabetin çok yoğun olduğu dünya doğal taş pazarına uygun üretim ve pazarlama yapabilecek ürünler hazırlayan tesis sayımız artmıştır ve Türkiye dünya doğal taş üretiminde lider yedi büyük üreticiden biri olmuştur (Bilensoy, 2010). Mermer üretiminin hemen tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Türkiye'de en fazla üretilen doğal taş çeşitleri arasında mermer, andezit ve bazalt yer aldığını söyleyebiliriz (Uyanık, 2008).



Şekil 1.2. Bilecik İlinde bir mermer ocağı.

Türkiye mermer rezervlerinin çok büyük bir bölümü Bilecik ili sınırları içinde bulunduğu bilinmektedir. Bilecik İli çevresinde kurulu bulunan mermer sanayicilerimiz tarafından üretilen, muhtelif tonlardaki, Bilecik Bej Mermerleri dünyanın seksen ülkesine ihraç edilmektedir. Türkiye mermer ihracatının % 15'lere varan kısmını Bilecik Mermer Sanayicileri yapmaktadır. Bilecik Bej Mermerleri, bugün dünyadaki en lüks yapılarda, büyük ölçekli projelerde ve binalarda, değişen geniş bir yelpazede kullanılan ve öncelikli tercih edilen bir mermer olmuştur. Bu bakımdan Bilecik çevresinde mermer sanayi hızlı bir gelişme içerisindedir. Bilecik Bej Mermer rezervlerinin fazla olması yüzlerce mermer sanayicisine asırlar boyu yetecek çalışma imkânı sunmaktadır. Şekil 1.2'de Bilecik İlinde hizmet veren bir mermer ocağının fotoğrafı verilmiştir (BMD, 2013).

Mermer işleme ve kesme fabrikalarında ortaya çıkan atık ve/veya atıklar, üretim kayıplarının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkemizdeki mermer rezervlerinin büyüklüğü ve günümüzde mermer kullanımının artarak yaygınlaşması, mermer fabrika ve işleme tesislerinin hızla artmasına neden olmuştur. Artan üretim ile birlikte fabrika ve işleme tesislerindeki mermer atıklarının oluşumu da artış göstermiştir. Ülkemizde kesilen ve işlenen doğal taşların yaklaşık olarak %30'luk kısmı atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların çevreye olumsuz etkileri olduğu gibi, ekonomik olarak da bir kayıp oluşturdukları kabul edilebilmektedir. Günümüzde değişik kollarda kullanım alanı bulabilen bu atıklar, alternatiflerinin yerine kullanıldığı takdirde çok daha ucuz bir hammadde kaynağı olabilmektedirler (Bilensoy, 2010).

Mermer ocaklarında bulunan arızalar (yarık, fay, çatlak) blok üretimi sırasında; blok elde edilememesine ve dolayısıyla da irili ufaklı molozların açığa çıkmasına neden olabilmektedir. Bu çeşit mermer atıklarına, ocağın jeolojik yapısına ve kristal yapısına uygun üretim yöntemi seçmemek, yani yanlış üretim metodu uygulamak atıkların oluşumuna sebep olur (Bilensoy, 2010). Çok büyük ve şekilsiz parçalar, çeşitli yöntemlerde istenilen ebatlarda altından, üstünden ve yanlarından kesilirler. Kesim sonucu ortaya çıkan bu atıklara da ocakta oluşan tüm diğer atıklar gibi bir tarafta biriktirilirlir. Bu atıklar ocak üretim miktarının yaklaşık olarak %50'sini oluşturur ve tamamının değerlendirilmesi şu ana kadar mümkün olmadığından, mermer ocak işletmelerinin etrafında bir taş toprak yığını halinde bekletilmektedir (Lappa vd, 1997).

Fabrikalarda kesilen bloklardan belirli boyutlarda plakalar elde edilmektedir. Elde edilen bu plakaların baş kesme ve yan kesmelerde uygun ölçülerde boyutlandırma yapılmaktadır. Bu işlemler esnasında çok küçük boyuttaki mermer tozu atıkları oluşur. Bu işlemler sulu olarak yapılması durumunda açığa çıkan artıklar su ile birlikte taşınmakta olup genellikle havuz yöntemi uygulanarak toplanmaktadır. Bazı durumlarda ise boyutlandırılan ve kesilen plakaların bünyesinde bulunan çatlaklardan dolayı birbirinden ayrılarak kırılmaktadır. Bunun sonucunda küçük levha parçaları açığa çıkar. Bu tür mermer plaka atıklarına paledyen adı verilir (Lappa vd, 1997).



Şekil 1.3. Mermer ocağında mermer blokları.

Molozlar; Mermer ocaklarının teknik ve jeolojik yapısından kaynaklanan kırık, fay ve çatlaklardan dolayı blok üretimi esnasında ortaya çıkan şekilsiz ve çeşitli boyutlardaki mermer parçalarına moloz adı verilir. Köşeleri kırık, geometrik bozukluğu delik kanallı gibi görünür kusurlara sahip olan bloklar da (Şekil 1.3.) molozlar sınıfına girer (Çelik, 1996). Kapaklar; mermer işletme tesislerinde kesim sırasında alt ve yan kısımlarda kalan artıklar ile monolama ve monotel kesme sonucu oluşan atıklardır. Bu

mermer atıklarının bir yüzeyleri düzgündür ve bunlar iri boyutlu mermer parçalarıdır. Paledyenler; mermer işleme tesislerinde, ocaklardan getirilen bloklar katarlar ve S/T Makinesi yardımıyla plakalar halinde kesilirler. Kesilen bu plakalar baş kesme ve yan kesme makinelerinde maksimum alan edilecek şekilde boyutlandırılır. Bu boyutlandırma sırasında geriye kalan ve düzgün geometrik şekilde elde edilemeyen plakalara verilen addır (Bilensoy, 2010). Tozlar; en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer tesislerine plakaların ve blokların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1mm'nin altında mermer taneleridir (Çelik, 1996). Mermer atıklarının değerlendirildiği yerleri; inşaat sanayi, seramik sektörü, çimento imalat sanayi, plastik sanayi, kâğıt sanayi, yol imalatı ve kimya sektörü olarak sıralayabiliriz. Bu çalışmada mermer ocaklarından alınan atıkların, yol üst yapısı temel malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağı ve şartnamelerde istenilen kriterleri sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında; hava tesirlerine ve donmaya karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, NaOH ile yapılan organik madde tespiti deneyi, su emme deneyi, Atterberg kıvam limitleri deneyi, metilen mavisi deneyi, kuru ve yaş Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Atık disiplinleri ile alakalı olarak birçok çalışma yapılmasına karşılık, mermer ocaklarında oluşan pasa atıklarının yol üst yapısı temel tabakasında değerlendirilmesiyle alakalı olarak yapılmış çalışmalar çok az sayıdadır. Bu bölümde artık ve atık malzemelerin yol inşaatı yapımında değerlendirilmesi ve geri dönüşümü sağlanmış olan agregalar üzerinde yapılan çalışmaların özetleri verilmiştir.

Terzi, S., ve Karaşahin, M., düzgün geometrik şekil verilebilmesi amacı ile mermerlerin kesim aşamasında meydana gelen mermer tozu atıklarının filler tozu malzemesi olarak asfalt betonunda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışma granülometri eğrisi aynı olan mermer tozu ve taş tozu filler içeren numunenin Marshall stabilite deneyinin sonuçlarından faydalanılarak optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Belirlenen bitümün yüzdesinden faydalanılarak filler/bitüm yüzdesi oranına göre, filler oranlarına bağlı kalınarak Marshall numuneleri hazır edilmiş ve hazır edilen bu numuneler asfalt tester deney aleti yardımıyla dinamik plastik deformasyon deneyine tabi tutulmuş ve birim deformasyonlar değişimleri saptanmıştır. Deformasyonlar ile filler/bitüm oranına bakılarak ve bu filler oranına göre optimum filler yüzdesi belirlenmiştir. Deformasyon değerleri karşılaştırılmış ve mermer atıkları ile hazırlanan karışımlarda, öğütülerek elde edilen mermer parçalarıyla hazırlanan karışımlara bakılarak birim deformasyonların alt ve üst sınırlar arasında kaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, mermer tozunun yoğun olarak bulunduğu bölgelerde, kurutma taşıma maliyetlerinin filler malzemesi olarak taş tozu yerine mermer tozunun kullanılabileceği kanısına varılmıştır (Terzi ve Karaşahin, 2003).

Çetin, A., plastik (polietilen), otomobil lastiği, petrollü sondaj atığı, kül ve mermer tozu gibi endüstriyel atık olan maddelerin asfalt beton karışımları üzerinde meydana getirdikleri etkilerini araştırmıştır. Çalışmada kullanılmış olan asfalt çimentosu ve agrega Türk Standartlarına uygun olarak seçilmiştir. Lastik parçaları, taşıt lastiklerinin dilimlenmesinden elde edilmiştir. Lastik ve plastik parçaların miktarı %5, %10, ve %20 olarak seçilmiştir. Karışımlarda kullanılan lastik tozları, kül, mermer tozu, petrollü sondaj atığı, kireç ve çimento agreganın filler malzemesi ile yer değiştirilmiştir. Filler malzemesinin miktarı agreganın %5'i olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan kül, kömürle çalışan enerji santralinden elde edilmiştir. Petrollü

sondaj atığı petrol kuyularında elde edilmiştir. Lastik ve plastik ilave edilen asfalt beton kaplama karışımları ve lastik tozu, kül, mermer tozu, petrollü sondaj atığı, kireç ve çimento gibi malzemelerin filler olarak ilave edildiği asfalt beton karışımları üzerinde Marshall stabilite, serbest basınç deneyi, akma deneyi ve su hasarı deneyleri yapılmıştır. Lastik parçalarının dane miktarı ve çapı artarken, Marshall stabilite ve hacim özgül ağırlık değerleri ise azalan bir eğilim göstermiştir ve lastik parçaları ilave edilerek elde edilen asfalt beton karışımlarının akma değerleri ve boşluk oranı ise artmıştır. 4-200 nolu eleklerin arasında kalan lastik parçalarının %10 oranında ilave edildiği asfalt beton karışımlarından en iyi direkt çekme değerleri elde edilmiştir. Plastik ilavesi yapılmış olan asfalt beton kaplama karışımlarının indirekt çekme mukavemeti ve Marshall stabilite değerlerindeki önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Kül Filler malzemesi olarak kullanılmış ve asfalt beton karışımlarının indirekt çekme mukavemeti, marshall stabilite ve serbest basınç değerlerini etkilemediği gözlemlenmiş ve petrol ihtiva eden sondaj çamuru beton asfalt karışımlarının indirekt çekme mukavemetini (%25'i oranında konvansiyonel asfalt karışımları) azaldığı saptanmıştır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda indirekt çekme gerilmesi, Marshall stabilitesi ve serbest basınç gerilmesi deneylerine bakılarak, filler olarak kullanılmış olan malzemeler arasında en iyi sonuç kireç ilavesi ile birlikte gözlemlenmiştir. Plastik ve lastik ilave edilmiş olan asfalt betonu kaplama karışımlarının elastik ve tokluk kabiliyetlerinin daha iyi olduğu ve çatlama kısmen azaldığı anlaşılmıştır (Çetin, 1997).

Amerika 'da her yıl yaklaşık 240 milyon adet araba lastiği, 45 milyon kadar kamyon lastiği birikmekte olup, stok edilen lastik sayısı 188 milyondur. Çevre Koruma Ajansı (EPA) 'nın kurmuş olduğu stok alanları atık talebini karşılayamamaktadır. Atık birikiminin önlenmesi için alternatif olabilecek çareler araştırılmış ve araba lastiklerinin yol dolgularında, istinad duvarları, dalgakıranlar, kaplama alt malzemesi olarak ve çarpma bariyerlerinde hafif agrega olarak ve sıcak karışım asfalt kaplamalarında ise modifiye malzeme olarak kullanılabilmesi saptanmıştır. Avrupa geneline bakacak olursak katı atıkların %5 - %9'u plastik atıklardan meydana gelmektedir. Kullanım sonrasındaki plastik atıklar, tüm plastik atıkların yaklaşık olarak %92 'sini oluşturmaktadır. Bu kullanım sonrasında atıkların hemen %8 'i geri dönüşümde kullanılmakta olup %17 'si ise kontrollü olarak yakılarak imha edilmektedir. Termik santrallerin kömürle çalışanları, kömürün yanması neticesinde atık malzeme

olarak meydana gelen kül, zemin stabilizasyonu ile birlikte tuğla ve çimento imali gibi bir çok alanda kullanılabilir. Amerika 'da termik santrallerden yılda yaklaşık 82 milyon ton, Kanada' da ise yılda 4 milyon tonun üzerinde kül ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin son yıllarda hız kazandırdığı petrol arama çalışmaları esnasında ortaya çıkan petrolü sondaj atıkları da çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu atık malzemenin yerinde stabilize edilmesi ve yol yapımında stabilize malzeme olarak kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır (Tuncan, A., Çetin, A., Tuncan, M. 1998).

H., L., William, J., D., Lawrence ve S., S., Janet yaptıkları çalışmada, ekonominin gelişimini devam ettirmesi ve ülkelerdeki ekonomik kalkınmanın büyük miktarda doğal agrega kullanım ihtiyacı doğuracağına değinmişlerdir. İnsan aktivitesi genel olarak, doğal agregalar kullanılarak inşa edilmiş olan disiplinler üzerine kuruludur. Günlük yaşantımızı kolaylaştıran birçok yapı doğal agregalar ile inşa edilmektedir. Fakat bu doğal agrega kaynaklarının kullanılması neticesinde, insanlık için oluşturulan yararlar ile agreganın çıkarılmasının çevresel etkisi çok az karşılaştırılır. Maden ocakları ve boş taş ocakları önemli negatif çevresel etkilere sebep olmaktadır. Araştırmacılar bu çalışmada çerçevesinde, çevre merkezilik insan merkezilik fikirlerine değinmişlerdir. Çevre merkeziliğine göre düşünecek olursak, doğal dünyayı bir organizma olarak kabul edecek olursak, nehirler bu organizmanın damarları olmaktadır. Zemin ise diğer bir hayati organı temsil etmektedir. Dolayısıyla asfalt veya betonla örtülmesi doğru olmayacaktır. Madencilikle ilgili gürültü kirliliği ve maden ocakları operasyonları sınırlandırılmalıdır. Günümüz şartlarında doğal agreganın üretilmesi esnasında, yer yüzeyinde meydana gelen kazı çukurları gibi çevresel problemler, taş ocağı ve maden uygulamaları ile ortaya çıkan ağır taşıt trafiği oldukça politik toplum ve zor sosyal problemlere sebep olmaktadır. Bu problemler, yaşama alanlarının üretim alanlarıyla işgal edilmesiyle birlikte son yıllarda giderek artmıştır. Çoğu çevresel problem, taş ocağı ve maden ocaklarında yapılan gürültü, patlama ve toz gelişen teknolojinin etkili bir şekilde kullanılmasıyla birlikte azalan bir eğilim göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada yollarda, binalarda ve asfalt kaplamalarda geri dönüştürülmüş olan agreganın kullanılmasının gelecekte doğacak olan yeni doğal agrega talebini azaltacağı belirtilmiştir (Drew et al., 2002).

Ağar, E., ve Hınıslioğlu, S., yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) içeren farklı plastik atıkların asfalt betonu içerisinde polimer katkısı olarak kullanılabilirliği

olasılığını incelemişlerdir. HDPE'nin etkisi bağlayıcı modifiye edici olarak, karışım ısıları, farklı karıştırma zamanları ve HDPE içeriklerinde Marshall stabilite, stabilite akma ve akma oranı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sıcak karışım asfaltta kullanılan bağlayıcı madde, HDPE ile sırasıyla %4, 6 ve 8 oranlarında karıştırılarak (optimum bitüm içeriğinde) ve AC 20 çimentosu ile 145, 155 ve 165 °C sıcaklıklarında 5, 15, 30 dk'lık karıştırma süreleri içersinde hazırlanmıştır. HDPE ile modifiye edilen asfalt betonunda Marshall stabilite değeri ve deformasyon direncinde önemli miktarda artış gözlemlenmiştir. %4 oranında HDPE, 165 °C karıştırma sıcaklığı ve 30 dk karıştırma zamanı ile birlikte akma, Marshall stabilite, ve Marshall oranları için en uygun şartlar olarak saptanmıştır. Marshall oranlarındaki %50'lik artış kontrol karışımlarıyla kıyas edilmiştir. Sonuç olarak baktığımızda, HDPE ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı maddelerin, yüksek stabilitelerinden ve Marshall oranlarına bakılarak kalıcı deformasyona daha iyi dirence sahip olduğu ve plastik malzemelerin bu şekilde geri dönüşümü sağlandığı takdirde, çevrenin korunmasına yarar sağladığı kanısına varılmıştır (Hınıslioğlu ve Ağar, 2003).

De Carvalho, J., C., ve De Rezende, R., L., yapmış oldukları çalışmada Pedreira Contagem Bölgesinde bulunan taş ocaklarının atıklarının değerlendirilmesinin esnek yol üst yapılarının temel tabakaları için araştırmışlardır. Atık malzemenin laboratuvar deney sonuçları sayesinde özellikleri tespit edilerek, kullanabilir olup olmadığına yer verilmiştir. Araştırılan malzemenin alan davranışının belirlemek için, 20 cm kalınlığında bir temel tabakası kullanılarak, 80 m uzunluğa sahip olan bir deneme yolu yapılmıştır. Çalışma kapsamında Dinamik Koni Penetrasyon, Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR), Tabaka Yükleme, Benkelman Kirişi, Kalem Basınç Ölçme ve Düşen Ağırlık Ölçer deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda performans indislerinin azaldığını kanısına varılmış ve yolda 1998 yılında yapıldığından bu yana etkili yapısal bir hasara rastlanmamıştır. Özellikle yağmurlu mevsimlerde malzeme içerisindeki kusurlu miktar arttığından yapısal bozulmalar oluşur. Yapılan bu çalışmanın sonucunda, Pedreira Contagem Bölgesi taş ocağı atıklarının esnek kaplamaya sahip olan temel tabakaları içinde potansiyel bir kullanıma sahip olduğu ve bu malzemenin düşük trafik hacimli yollarda temel malzemesi olarak kullanılabilceği görülmüştür (De Rezende, 2003).

Suparma, L. B. ve Zoorob, S. E. yaptıkları bu çalışmada geri dönüşümü sağlanmış olan plastik agrega ile yer değiştirerek sürekli derecelenmiş asfalt beton olarak adlandırılan '(AC)'nin laboratuvar analizini gerçekleştirmişlerdir. Suparma ve Zoorob'a göre atık malzemelerin yeniden kullanılarak değerlendirilmesi, atıkların yok edilmesi sorunu için iyi bir çevresel çözüm alternatifi olacaktır. UK'daki plastik tüketimi 1995 yılı itibariyle yaklaşık olarak 3.302.000 ton olarak gerçekleşmiştir (Batı Avrupa civarında ise bu değer 24.350.000 ton'dur). Plastiğin kullanıldığı birincil sektör paket endüstrisidir. Tüketim oranı yaklaşık olarak %41'dir. %20'si inşaat ve yapıda, %15'i geniş hacimli endüstride, %9 kadarı elektrik ve elektronik endüstrisinde, %7'si otomotiv sektöründe, %2'si ziraat sektöründe ve kalan %6'sı ise diğer sektörlerde kullanılmaktadır. Geri dönüştürülmüş olan atık plastik, genel olarak düşük yoğunluklu polietilen denilen LDPE topraklarından meydana gelmektedir. Yoğun olarak derecelendirilen bitümlü karışımlarda (hacimce) aynı oranda 5 - 2,36 mm'lik değerlere sahip olan mineral agregayla yer değiştirilmiştir. Araştırmaların sonucunda görülen, aynı hava içeriğine sahip olan ve sıkıştırılmış plastifat karışımları geleneksel olan kontrol karışımlarından çok daha düşük hacim yoğunluğuna sahiptir. Hacimce %30 oranında agrega LDPE ile sıkıştırılmış ve yer değiştirilmiş karışımın hacim yoğunluğunda yaklaşık %16 bir azalma saptanmıştır. Yoğunluktaki bu azalma, taşıma maliyetlerinde avantaj olarak değerlendirilmiştir. LDPE parçacıklarını agregayla yer değiştirdikten sonra Marshall Stabilite değerinde %250 artış gözlemlenmiş ve Marshall katsayısı (deformasyon direnci) gelişmiştir. Bu mukavemet değerine erişmede, en etkili unsur sıkıştırma öncesi doğru sıcaklığın seçilmiş olmasıdır. Karışımın esnek plastik içeriğinden dolayı sahip olduğu plastifalt karışımın akma değerinin kontrol karışımından yüksek olduğu bilinmektedir. 60 °C'de 1 saat yüklemenden sonra plastifalt karışımın geri dönüşümsüz deformasyonu, kontrol karışımına nazaran biraz düşük bulunmuştur. Plastifalt'da yapılan 1 saatlik yükleme sonucunda deformasyonun %14'ü geri dönmüş ve bu değer kontrol karışımında %0,6 olarak bulunmuştur. Numuneler sırasıyla 20°C, 40°C ve 60°C'de indirekt çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar göz önüne alındığında özellikle 20°C'deki indirekt çekme elastisite modülü değeri olarak bulunan ve kontrol karışımında plastifalt karışıma nazaran daha yüksek değerde olduğunu göstermiştir. Fakat bu değer sıcaklığın artmasıyla, birbirine daha yakın hale gelmiştir. Buna ek olarak, plastifalt numunelerinin indirekt çekme değerlerinin kontrol

karışımından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu deney plastifalt karışımları kırılmadan önce, daha yüksek çekme - şekil değiştirme dayanımını verdiğini göstermektedir. Su etkisi ile birlikte soyulma performansının ölçülmesi amacıyla dayanarak, 60°C'deki suya 24 saat süre ile bırakılan plastifalt numuneler, kontrol karışımlarına nazaran çok daha iyi performans göstermişlerdir. Sonuçlar suda bırakılmış olan plastifalt karışımların, suya bırakılmadan önceki stabilite değerini tam olarak (yani %100) koruduğunu göstermiştir. Yapılan indirekt çekme deneyiyle alakalı olan yorulma verileri, yorulma kırılmasına neden olan yükleme sayısı ile birlikte başlangıç çekme- şekil değiştirmesini göstermiştir. Plastifalt numuneler yorulma ömürleri boyunca %50 gelişme sergilemişlerdir. Ayrıca LDPE geri dönüştürülmüş plastik ile gerçekleştirilen plastifalt karışımların üretimi, mevcut bulunan asfalt şantiyelerinin tekniklerinde hiçbir modifiye gerektirmemektedir. Bu çalışmada plastifalt karışımların geri dönüştürülebilirliklerinin alternatifleri de araştırılmıştır. Sonuçta, geri dönüştürülmüş olan karışımın mekanik özellikleri, kontrol karışımlarından daha iyi olduğu görülmüş ve orijinal plastifalta eşit bulunmuştur (Zoorob ve Suparma, 2000).

Onyeobi T., U., S., ve Okagbue, C., O.,'nun Nijerya Üniversitesinde yaptıkları çalışmada, kırmızı tropik zeminin mermer tozu ile yol yapımı için, stabilize edilebilme potansiyelini araştırmışlardır. Değerlendirme farklı olan üç kırmızı tropik toprağın doğal hallerini muhafaza edecek şekilde geoteknik özelliklerinin, farklı oranlarda mermer tozu ile birlikte karıştırılmış durumlarını içermektedir. Çalışmada spesifik gravite, standart sıkışma karakteristikleri, elek analizi, Atterberg limitleri, basınç dayanımları ve Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) gibi parametreler test edilmiştir. Dayanım testleri 28 gün süre ile kür uygulanan numunelere uygulandıktan sonra 24 saat süre ile sırasıyla 40, 60 ve 80 °C'de küre bırakılmış olan numunelere de uygulanmıştır. Elde edilen veriler mermer tozu katkısıyla kırmızı tropik toprağın geoteknik parametrelerinin pozitif yönde eğilim gösterdiği gözlemlenmiştir. Plastisite %20-33 oranları arasında değişiklik göstererek azalmış, CBR ise %30'dan %46'ya artmıştır. %8 mermer tozu ilavesiyle en yüksek mukavemet ve CBR değerine ulaşılmıştır. Sonuçların gösterdiği, mermer tozu ilavesi yapılmış olan zeminlerde normal kürün 7. ve 10. günlerine ulaşıldığında dayanım %80'nin üzerine çıkmıştır. Yüksek dayanım değerine ise 60 °C'de 24 saat, hızlandırılmış kürü takiben ulaşılmıştır. Kırmızı tropik toprağın

geoteknik parametrelerindeki göze çarpan bu gelişmelere karşılık ulaşılan bu yüksek dayanım değeri, ağır trafik yüküne maruz kalan esnek kaplamaların temel tabakalarında kullanılması için uygun olmadığı fakat bununla beraber, geliştirilen malzemenin hafif trafik yüküne maruz yollarda temel malzemesi olarak ve ağır trafik yüküne maruz kalan yollarda alt temel malzemesi olarak kullanılabilmesi sonuçları çıkartılmıştır (Okagbue and Onyeobi,1999).

Banta, L., ve diğerleri “agreganın parçacık boyutlarının dağılım eğrilerinin ve bunların şekillerinin asfalt kaplamalarının dayanımlarını büyük ölçüde etkilediği” gerçeğinden yola koyularak, iki boyuta sahip imaj görüntülerini temel alarak parçacık yığınlarının tahmin edilmesine yeni bir teori meydana getirmişlerdir. Alınan iki boyutlu görüntüler ile birlikte parçacıkların üst üste binmesi, yayılması, kenarların tarif edilmesi, parçacık şekillerinin alan özelliklerinin hesaplanması ve kütle merkezi şekil ilişki özelliklerini barındırmaktadır (Banta et al., 2003).

Yılmaz, E., ve diğerleri yaptıkları çalışmada Karadeniz Bölgesi İyidere-Çayeli yol hattı boyunca üstyapı malzemesi olarak kullanılması için, Seslidere taş ocağında üretimi gerçekleştirilen ocak malzemesinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde taşocağı malzemesinin standartlara aykırı bir durum içeren malzeme olmadığı saptanmış ve hali hazırda kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan deneylerle alakalı olarak bazı sonuçlar şu şekildedir; Los Angeles aşınma kaybı %11.5, soyulma mukavemeti %55, hava tesirine karşı dayanıklılık (Na_2SO_4 donma kaybı) %1.95, kırılma mukavemeti %85, cilalanma değeri %0,1 yassılık indeksi %16.5, özgül ağırlık 2.8 gr/cm^3 ve absorpsiyon yüzdesi %1.05 olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucu, taşocağından üretilen malzemelerin standartlara uygun olarak iyi derecede üst yapı malzemesi olduğu anlaşılmıştır (Yılmaz vd., 2003).

Ilıcalı, Erdemir cüruf maddesinin kullanılabilirliğini karayolu üstyapısı için araştırmıştır. Erdemir cürufunda mevcut olan kimyasal ve fiziksel özelliklere göre bu malzemenin agrega olarak kullanılabilirliği araştırılıp incelenmiştir. Kırılarak elenmek suretiyle elde edilen cürufa granüler cüruf, filler olarak portland çimentosu, bağlayıcı (çimento, kireç) ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu gibi ek malzemeler ilave edilerek alttemel ve temel tabakalarındaki performansları irdelenmiştir. Cüruf ile meydana getirilen bitümlü karışımlardaki performanslar ve suyun etkisi gözlemlenmiştir.

Erdemir cürufunun sahip olduğu kimyasal ve fiziksel özellikleri açısından üstyapı tabakalarında kullanılacak olan agregalarda aranan şartlara uyduğu saptanmıştır. Kırılmış ve elenmiş olan hava soğutmalı cürufa belirli miktarda granüler cüruf katılmak suretiyle elde edilen bağlayıcısı olmayan karışımın mekanik direnci karayolu temel ve alttemel tabakalarında istenilen değerlerin üstünde bulunmuştur. Belirlenen granülometriyi bozmayacak şekilde optimum oranda granüler cüruf ve eser miktarda bağlayıcı olarak çimento ve kireç katılarak elde edilen karışımın mekanik direnci ise yüksek trafik hacmine sahip olan yolların temel tabakasında aranan mekanik şartları karşıladığı görülmüştür. Filler olarak portland çimentosu bağlayıcı madde olarak da asfalt çimentosu ilavesiyle meydana getirilen bitümlü karışımın çok yüksek trafik yüküne maruz kalan yolların aşınma tabakasında kullanılabileceği belirlenmiştir. Cüruf ilavesiyle meydana getirilen bitümlü karışımların su etkisini azaltması, dona karşı mukavemetinin yüksek değerde olması neticesinde yollarda bakım onarım masraflarının azalabileceği söylenmiştir. Buna ek olarak ekonomik boyutu incelendiğinde fabrikalara belirli uzaklıktaki şantiyelerde, karayolu üstyapısında Erdemir cürufunun kullanımı ekonomik açıdan da uygun görülmüştür (Ilıcalı M. 1998).

Deniz ve arkadaşları, kullanılmış olan otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışımların performansına olan etkisini araştırmışlardır. Lastik parçalarını farklı oranlarda olmak üzere (%1, %2, %5 ve %7) bitümlü sıcak karışıma ekleyerek, değişik sıcaklıklarda statik sünme, dolaylı çekme, tekrarlı sünme ve Marshall stabilite deneylerini yapmışlardır. Deneysel çalışmalar neticesinde otomobil lastiklerinin belirli miktarlarda bitümlü karışımlara katılması ile birlikte soğuk iklim koşullarına maruz kalan bölgelerde kalıcı deformasyonlara karşı olumlu etki yaptığı görülmüştür (Deniz, M.T. vd 2005).

3. YOL ÜST YAPISI

Önceden belirlenmiş olan ve geometrik standartlara uygunluğu saptanan güzergâh hattı boyunca, doğal zeminin öngörülen yüksekliklere getirilebilmesi için ve üzerinde motorlu taşıtların istenildiği şekilde güvenlik, hız ve konfor koşullarında hareketlerinin engellenmemesi amacıyla yapılan yapıların tamamı karayolu yapısını oluşturmaktadır. Üstyapıların sınıflandırılması, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin özelliklerine, türlerine ve yapım tekniklerine göre iki sınıf olarak rijit ve esnek yapılardan meydana gelmektedirler. Trafığe, taban zeminine, çevre koşullarına ve ekonomik hususlara bakılarak üstyapı tipi seçimi en uygun şekilde yapılmaktadır (Fındık, 2005).

Çimento betonu kullanılarak yapılan kaplamalarla meydana getirilen üstyapıya “Rijit Üstyapı” ve ya “Beton Yollar” denilmektedir. Yol kaplaması olarak kullanıldığında betonun görevi, üzerine gelen trafik yüklerini tabana ileterek, bu sırada tabanın herhangi bir deformasyona uğramasını engellemektir. Bir beton kaplamanın davranışına bakacak olursak, dökülen beton tabakalarının özellikleri ile beraber, kaplamanın altına serilen alttemel ve temel tabakalarıyla mevcut olan taban zemininin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu sebeple projelendirme esnasında, taban zemini, alttemel ve temel malzemeleri, betonu oluşturan kırmataş, çakıl, kum, çimento ve betonarme demiri gibi kullanılan malzemelerin özelliklerinin iyi bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Beton yollar, boyuna ve enine derzlerle birbirinden ayrılmış olan yaklaşık 20 - 25 m² alana sahip plaklar halinde bulunurlar. Beton plak tabakasının rijitliğinin yüksek olması sebebi ile taban zemininde meydana gelen gerilmeler geniş bir alana yayılmaktadır (Fındık, 2005).

Bitümlü kaplama tabakalarıyla yapılmış olan üstyapılara “Esnek Üstyapı” adı verilmektedir. Esnek üstyapı ise, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas içerisinde olan trafik yüklerini, alttemel, temel ve kaplama tabakaları ile birlikte taban zeminine düzgün bir şekilde dağıtan üstyapı şekli olup; adezyonu, stabilitesi, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi özellikleri ile kullanılan bitümlü bağlayıcının ve agreganın özelliklerine direkt olarak bağlıdır. Trafik yüklerini altyapı tabakasının taşıyabileceği değere indirgemek, altyapıyı muhafaza etmek ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi oluşturmak, esnek üstyapıların amaçlarındandır. Kaplama, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak,

taşıtlara yuvarlanma yüzeyini uygun bir şekilde sağlamak ve yapıya sızan yüzeysel su seviyesini ve temel tabakasına iletilmekte olan kayma gerilmelerini minimuma indirmek amacıyla temel tabakasının üzerine yapılan bir tabakadır. Kaplamanın altında kalan temel tabakası, bağlayıcısız veya bir bağlayıcı madde ile birlikte işlem görmüş belirli granülometri değerlerine sahip malzemeden meydana gelmektedir. Ana görevi, üstyapının yük taşıyabilme kabiliyetini olabildiğince artırmaktır. Buna ek olarak, trafik hareketlerinden meydana çıkan yüksek kayma gerilme değerlerine karşı koyabilecek düzeyde, don olaylarına karşı koruma ve drenaja da yardımcı olabilecek nitelikte olmalıdır. Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine düzgün yayılımını sağlamak ve ince taneye sahip altyapıların temel tabakasına geçişini önlemek, ayrıca don ve su tesirlerine karşı direnimsizlik sağlamak, tampon bölge görevini üstlenmek için tesviye yüzeyinin üzerine serilen tabakadır (İlcalı, 2001).

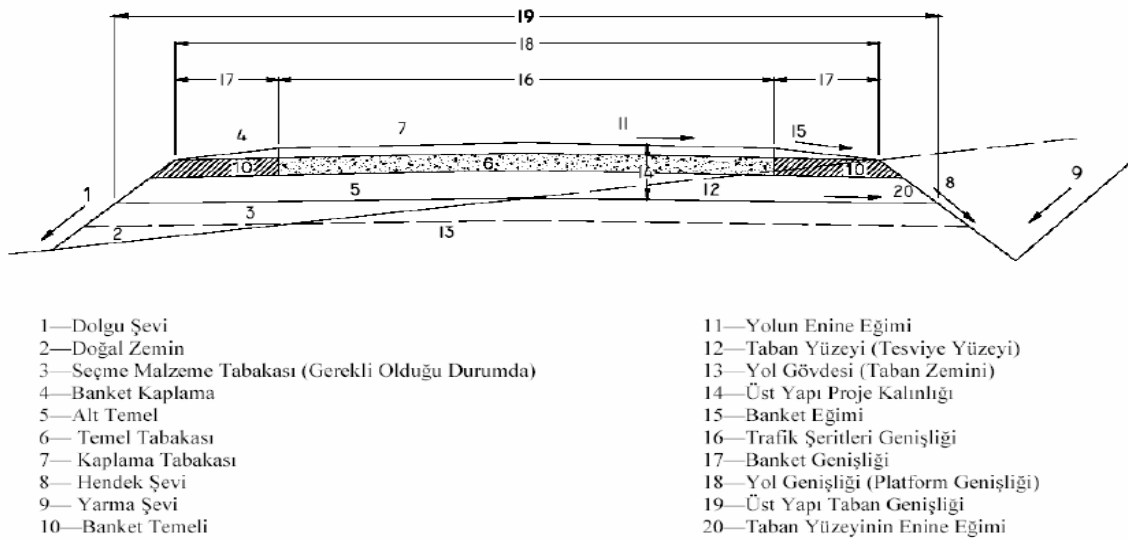
3.1. Esnek Üstyapılar

Esnek üstyapılar; maruz kaldıkları yükleri, içlerindeki çeşitli tabakalardan geçirmek kaydıyla çok iyi yüzeysel temas sağladığı taban zeminine aktaran, aşağıdan yukarıya doğru gidildikçe taşıyıcılık ve nitelik bakımından daha iyi malzemelerden yapılan; stabilite sağlanabilmesi için birincil olarak agrega kilitlemesi, kohezyona ve partikül sürtünmesine dayanan bir üstyapı çeşididir. Aynı zamanda, trafik yüklerini güvenli ve en ekonomik olacak şekilde taşımak zorundadır. Üstyapılar, trafik hacmi, proje ömrü, barındırdığı malzeme durumu ve taban zemini mukavemeti gibi çeşitli kriterler göz önünde bulundurulmak kaydıyla tabakalar halinde projelendirilmektedirler. Bu tabakalara bakacak olursak; üstyapının üst kısmından taban zeminine doğru inildikçe, tabakalarda kullanılacak olan malzemelerin mekanik özellikleri düşecek şekilde kaplama tabakası, temel tabakası, alttemel tabakası ve taban zemini olarak adlandırılmaktadır. Esnek üstyapıların tasarımında banket genişlikleri, platform genişliği, hendek ve şevler oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Türel, 2002).

Hemen bütün yapılarda olduğu şekilde, karayolu üstyapıları da taban zeminine oturmaktadır. Taban zemini, ise sıkıştırılmış doğal zeminden meydana gelmektedir. Bir esnek üstyapının davranışına bakacak olursak, taban zemininin taşıma gücüyle direkt olarak ilişkili olduğundan dolayı yapısal olarak en önemli tabaka konumundadır.

Üstyapı yükünün iletiminin son aşaması bu tabakadır. Bu tabakanın esas görevini üstlenebilmesi için iyi bir drenaja durumuna sahip olması gerekir (Karaşahin, 1993).

Taban zeminiyle temel tabakası arasına yerleştirilen ve sıkıştırılan daneli malzeme ya da uygun bir bağlayıcı malzeme ile birlikte stabilize edilen malzeme tabakasına alttemel tabakası adı verilmektedir. Alttemel tabakasının esas görevi ise, bitüm ile kaplı olan tabakaların yapımı için çalışma platformu oluşturabilmektir. Bu tabakada kullanılan malzemelerin kalitesi genel olarak temel tabakasına göre daha düşüktür. Bunlar granüler malzemedir. Mümkün olduğu müddetçe yerel malzemeler ve yol yapımı için kullanılmaya elverişli olan malzemelere (molozlar, cürufklar, inşaat atıkları gibi) yer verilmeye çalışılmaktadır (Saltan, 1999) (Umar ve Ağar, 1991).



Şekil 3.1. Standart tip yol en kesiti (Umar ve Ağar, 1991).

Temel tabakası; taban zeminini (üstyapının oturduğu doğal zemin) koruyan, bir veya birden fazla tabakadan meydana gelebilen, kaplama tabakasından aktarılan trafik yüklerini alt tabakalara iletebilen tabaka olarak adlandırılmaktadır. Temel tabakasının asıl görevi ise kaplama tabakasına dayanak sağlamak koşuluyla, taşıtların geçişleri ile birlikte meydana gelen gerilmeleri taban zeminine taşıma gücünü aşmadan aktararak yaymaktır. Temel tabakası çeşitli durumlara bakılarak bitüm bağlayıcılı karışım veya çimentolu, stabilize edilmiş veya özenle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik

hacim değerinin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha fazla kullanılmaktadır.

Üstyapının en üst tabakası trafik yüklerine doğrudan maruz kalan kaplama tabakasıdır. Trafik yükleriyle oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin en büyük seviyede olması sebebiyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına nazaran daha yüksek bir elastisite modülüne sahip olması gerekir. Bu tabaka, gerekirse binder ve aşınma olarak iki kısımdan meydana gelmektedir. Aşınma tabakası çok kaliteli yapılması gereken, trafiğe dayanımın yanı sıra su geçirimsizliğini sağlamak ve sürtünme oluşturmak gibi görevlere sahiptir. Binder tabakası ise kaplama tabakası kalınlığının fazla olması durumunda sıkıştırmada kolaylık sağlamak ve ekonomik olmak için, aşınma tabakasına göre daha iri agregalardan yapılan tabakadır. Kaplama tabakasının trafiği olabildiğince emniyetli ve konforlu bir Şekilde aktarabilmesi için yeterli pürüzlülüğe sahip olarak üniform bir yuvarlanma yüzeyli olması gerekmektedir. Ayrıca, taşıtların geçişi esnasında su sıçramasını ve yol yüzeyinde bulunan küçük havuzcukların oluşmasını engellemek amacıyla drenaj tesislerine de sahip olması gerekmektedir (Umar ve Ağar, 1991).

Trafik yüklerinin bu tabakalardan geçmesi ile taban zeminine aktarılması, zemin içerisindeki klasik yk dağılışına benzer. Yani tekerlek yüklerine maruz kalan esnek üstyapıda deformasyon meydana gelir ve her tabaka, üzerine gelen yükü bir alt tabakaya biraz daha yaymak koşulu ile iletmektedir. Böylece, taban zeminine kadar ulaşan yk kısmen de olsa büyük bir alana yayılarak etkisini azaltmış olmaktadır. Esnek üstyapıda meydana gelen gerilmelerin değeri yolun en üst tabakasından daha alt tabakalara doğru inildikçe düştüğü için, bu yapımda kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerinin de bu gerilme dağılımına uygun olması gerekmektedir. Asfalt betonu ile inşa edilen kaplama tabakası, trafiğin ve özellikle iklimin tahrip edici etkilerine doğrudan doğruya maruz kaldığından dolayı yüksek elastisite modülü, ile kaymaya direncin yanı sıra geçirimsizlik özelliğine de sahip olması gerekmektedir. Esnek styapılar iyi projelendirilmedikleri takdirde, taban zemininde veya yol üstyapısı tabakalarının birindeki yüksek basınç gerilmeleri ve rutubet oranındaki önemli değişmeler ve taban zemininde veya yol üstyapısını oluşturan tabakaların birinde meydana gelen

gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerini aşması halinde üst yapıda bozulmalar meydana gelmektedir (Sezgin, 2003).

3.1.1. Esnek yol üstyapılarında alttemel tabakası

Taban zemini üzerine trafik yüklerinin yayılmasını sağlamak, taban zemininin içerisinde mevcut olan ince danelerin temel tabakasına geçişlerini önlemek ve ayrıca don ve su tesirlerine karşı tampon görevini üstlenmek amacı ile; belirli bir granülometri değerinde hazırlanan agreganın en uygun su yüzdesinde karıştırılarak, ince tesviyesi bitmiş olan dolgu veya yarmadan meydana gelen taban üzerine bir veya daha fazla tabakalar halinde, projesinde belirtildiği gibi plan, görünüş ve en kesitlere aykırı olmadan serilip sıkıştırılması ile meydana getirilen tabaka alttemel tabakası ismini almaktadır (İlcalı, 1988).

İyi bir şekilde yapımı tamamlanan alttemel tabakası, üstyapıya ait yük taşıma kapasitesinin genel olarak esasını teşkil ettiğinden dolayı üstyapıdaki deformasyonları ve oturmaları önleyecektir. Alttemel tabakası, taban zemininin taşıma kapasitesini aşabilecek olan yüksek gerilmeleri yayarak taban zeminine gelecek olan zararları önlemektedir. Alttemel malzemesi inşaat ve tesviyesi işlemi tamamlayarak hazırlanan taban zemininin üstüne, sıkışmış haldeki kalınlığı 20 cm' yi aşmayacak şekilde tabaka tabaka serilmektedir. Ancak sıkıştırma makinelerinin kapasitelerinin yüksek olması durumunda ise tabaka kalınlığının 30 cm' ye kadar artırılabilmesi mümkündür. Alttemel tabakası genel olarak dona duyarlı olan taban zeminlerinde, taban zemininde meydana gelen buz mercceklerinin üst tabakalara doğru yükselmesi neticesinde oluşacak olan don kabarmasını engellemek amacıyla yapılmaktadır. Yol kaplamasında don kabarmasının meydana gelmesi durumunda, kaplama tamamen ayrışabilir (Fındık, 2005).

Alttemel, temel tabakası ile taban yüzeyi arasına yerleştirilen, sıkıştırılmış haldeki daneli malzeme veya uygun olan herhangi bir bağlayıcı malzemeyle stabilizasyonu sağlanmış malzeme tabakasıdır. Alttemel tabakası, taban zeminin taşıma kapasitesini aşabilecek yüksek değerdeki gerilmeleri ve tabanda meydana gelebilecek don etkisinin üstyapıya taşmasını önleyecek özelliklere sahip olmalıdır. Ekonomik etkenleri göz önüne aldığımızda alttemel tabakası, o arazide bulunan iyi kaliteye sahip seçme malzemedan meydana getirilmelidir (Umar ve Ağar, 1991). Alttemel tabakası

yapımında kullanılan malzeme özelliklerinin önemi yol mühendisliği için ve özellikle taban zemini taşıma kapasitesi düşük olan zeminlerde ve don tehlikesi altında olan zeminlerde önemli rol oynamakta ve uygulamalarda kullanılmaktadır. Alttemel tabakasında kullanılan malzemeler özellikle granüler olduğundan dolayı agregaları oldukça fazla önem arz ederler. Üstyapının hacimce ve ağırlıkça önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkimekte olan yüklerin meydana getirdikleri gerilmelerin karşılanmasında önemli bir role sahiptirler (Fındık, 2005).

Çizelge 3.1. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri (KTŞ, 2013).

Elek açıklığı		TİP-A	TİP-B
mm	inç	% Geçen	% Geçen
75	3	100	
50	2	-	100
37.5	1.1/2	85 - 100	80 - 100
25	1	-	60 - 90
19	3/4	70 - 100	45 - 80
9.5	3/8	45 - 80	30 - 70
4.75	No.4	30 - 75	25 - 55
2	No.10	-	15 - 40
0.425	No.40	10 - 25	10 - 20
0.075	No.200	0 - 12	0 - 12

Kırmataş ve çakıl alttemellerde, dona hassasiyeti olmayan malzeme kullanılmaktadır. 0.02 mm den küçük dane miktarı kullanılan malzemelerde %3 ten fazla olmamalıdır. Özellikle don bölgelerinde bulunan ve taşıma gücü pek fazla olmayan taban zeminlerinde alternatif olarak düşünülen alttemel tabakası malzemesinin basınca ve don etkisine dayanıklı olması şartı aranmaktadır. En büyük dane boyutu çakıl için 63.5 mm kırmataş için ise 76 mm yi aşması istenmemektedir (Umar ve Açar, 1991).

Karayolları Teknik Şartnamesinde yer alan alttemel tabakasında kullanılan malzeme, Çizelge 3.1' de verilmiş olan gradasyon limitleri içerisinde ve iyi derecelendirilme değerlerine sahip olmalıdır. Alttemelin inşasında kullanılacak olan

malzemenin diğ er fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.2’ de verilen limit değ erleri arasında olmalıdır.

Çizelge 3.2. Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013).

DENEY ADI	ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi MgSO ₄ ile kayıp, %	≤25	TS EN 1367-2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤45	TS EN 1097-2
Yassılık İndeksi %	≤35	TS EN 933-3
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %	≤3.5	TS EN 1097-6
Likit Limit, %	≤25	TS 1900-1 AASHTO T89
Plastite İndeksi, %	≤6	TS 1900-1 AASHTO T90
Kil Topağı, Dağılabilen Tane Oranı, %	≤2	ASTM C-142
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1
Metilen Mavisini, g/kg	≤5.5	TS EN 933-9

3.1.2. Esnek yol üstyapılarında temel tabakası

Temel tabakası, alttemel üzerine hesabı belirli olan bir kalınlıkta yapılan, belirli fiziksel özelliklere sahip olan malzeme ile meydana getirilen bir drenaj sağlamak, don etkisini minimuma indirmek gibi özellikleri olan bir üstyapı tabakasıdır. Alttemel ve temelin ana görevi, yüzeyin maruz kaldığı yükleri kendi içerisinde dağıtarak, bu şekilde tabanda meydana gelen oturma ve kesme deformasyonlarının oluşmasını engellemektir. Karayollarında granüler temel, plent-miks temel ve çimento bağlayıcılı granüler temel olmak üzere üç farklı temel çeşidi uygulanmaktadır. Bu üç tip temel tabakasının yapımında kullanılacak agregalar; kırmataş çakıl, çakıl, kırmataş, kum cüruf veya benzeri malzemelerden hazırlanmaktadır. Kullanılacak malzemenin bunlardan hangisinin olacağı veya karışım halinde bu karışımın hangi malzemelerden ne oranda olacağı hazırlanan proje karışım dizayn raporları ile belirlenmektedir (KTŞ, 2013).

Temel tabakasını meydana getiren ince ve kaba agrega ile ilgili özellikler; kaba agregalar; çakıl; belirli bir şekil ve boyuta sahip olmayan, su etkisi ile yuvarlanan ya da

aşınmış halde bulunabilen doğal agregalara denilir. Teras çakılı; doğal sebepler sonucunda oluşmuş, silt, kum ve kil ile karışık çakıldır. Çok düşük trafik hacmine sahip ya da önem derecesi düşük olan yollarda fiziksel özelliklerinin şartnameye aykırı olmaması koşulu ile kırılmaksızın kullanılabilir (Çizelge 3.3.). Kırılmış çakıl; kırılma işlemi sonucunda elde edilmesi planlanan en büyük tane boyutundan 1.5 katı boyuta sahip olan çakılın kırılmasıyla elde edilen agregaya denilmektedir. Kırma taş; Bazalt, granit, kalker, dolomit, metamorfik kuvarsit ya da benzeri kayaların kırılması sonucu oluşan agregalara verilen addır. Kırılmış cüruf; atmosfer koşullarında soğutulmuş olan yüksek fırın cürufunun kırılması sonucu elde edilen agregadır. Bu agreganın AASHTO T—19 'a göre belirlenen gevşek birim ağırlığının 1100 kg/m³'den az olması istenmemektedir. Temel yapımı aşamasında kullanılacak malzemenin kaba kısmı (2 mm elek üzeri) kullanma esnasında kaba agrega kısmında herhangi donmuş malzeme ve başka bir sebeple karışmış yabancı malzeme bulunmaması gerekmektedir (KTŞ, 2013).

Çizelge 3.3. Kaba agreganın fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013).

DENEY ADI	KRİTER	DENEY METODU
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi MgSO ₄ ile kayıp, %	≤20	TS EN 1367-2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤35	TS EN 1097-2
Kil Topağı, Dağılabilen Tane Oranı, %	≤1.0	ASTM C-142
Yassılık İndeksi %	≤25	TS EN 933-3
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1
Su Emme %	≤3.0	TS EN 1097-6

Temel yapım aşamasında kullanılacak olan malzemenin ince kısmı kırılmış çakıl ya da doğal kum, kırma kum, cüruf kumu veya bunlara benzer malzemeler ya da bunların karıştırılmasından meydana gelmelidir. İnce agregalar; doğal kum; 0.075 mm ile 2.00 mm göz açıklığına sahip olan elekler arasında kalan ve taşların doğal nedenlerle ayrışmasından meydana gelen malzemedir. İnce çakıl; 2.00 mm ile 9.5 mm elekler arasında kalan çakıllara verilen addır. Taş tozu; taş ocaklarından kırım esnasında meydana çıkan ince malzemedir. Cüruf kumu; atmosfer koşullarında soğutulmuş olan yüksek fırın cürufunun elenmesi sonucu elde edilen malzemedir. Temelin yapılmasında

kullanılacak olan malzemenin ince kısmı için (2.00 mm elekten geçen), Çizelge 3.4.'de verilen limit uygunluklarını sağlamalıdır (KTŞ, 2013).

Çizelge 3.4. İnce agreganın fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013).

DENEY ADI	KRİTER	DENEY METODU
Likit Limit, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T89
Plastite İndeksi, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T90
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1
Metilen Mavisi, g/kg	≤3.0	TS EN 933-9

Granüler Temel

Granüler temel tabakası çakıl, kırılmış cüruf, kırılmış çakıl ya da kırma taş vasıtasıyla ince malzeme kullanılarak Çizelge 3.5.'de verilen gradasyon limit değerleri içerisinde devamlı gradasyon verecek tarzda hazırlanmış olan malzemenin, su yardımı ile karıştırılıp ve standartlardaki şartnameye uygun şekilde hazırlanmış yeteri derecede taban veya alt temel tabakasının üstüne bir ya da birden fazla tabakalar halinde, yapılan projede belirtilen profil, plan ve enkesitlere uygun olacak şekilde serilip sıkıştırıldıktan sonra oluşan tabakadır. Granüler temel malzemesinin ağırlıkça en az % 50 olacak şekilde 4.75 mm elek üzerinde kalan kısmı için iki veya daha fazla yüzünün kırılmış olması gerekmektedir (KTŞ, 2013).

Çizelge 3.5. Granüler temel tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013).

Elek açıklığı		% Geçen		
mm	in	A	B	C
50	2	100		
37.5	1.1/2	80- 100	100	
25	1	60 - 90	70 - 100	100
19	3/4	45- 80	60 - 92	75 - 100
9.5	3/8	30 - 70	40 - 75	50 - 85
4.75	No.4	25 - 55	30 - 60	35 - 65
2.00	No.10	15 - 40	20 - 45	25 - 50
0.425	No.40	8 - 20	10 - 25	12 - 30
0.075	Na.200	2 - 8	0 - 12	0 - 12

Plent - Miks Temel (PMT)

PMT tabakası kırılmış cüruf, kırılmış çakıl, kırma taş ve ince malzemelerin kullanılması ile birlikte Çizelge 3.6.'da verilen gradasyon limit değerleri içerisinde olacak ve sürekli gradasyon verecek tarzda ince ve kaba olmak üzere minimum üç ayrı tane boyutu grubunun, oranı belirli olan su ile birlikte bir plentte karıştırılması sonucu hazırlanan malzemenin, yeterliliği bilinen alt temel tabakası üzerine bir veya birden fazla tabaka olacak şekilde serilmesi ve sıkıştırılması ile oluşturulan tabaka kısmıdır. PMT tabakasının yapılmasında kullanılacak olan malzemeler temel tabakasında kullanılacak kaba ve ince agrega fiziksel özelliklerini sağlayan şartlarda ve Çizelge 3.6.'da belirtilen gradasyon limitlerinde olmalıdır (KTŞ, 2013).

Plentte hazırlanmış olan temel tabakalarının yapımında uyulması gereken kurallar mevcuttur. Temel tabakalarının yapımına başlanırken bulunulan bölgenin coğrafi koşulları dikkate alınmalıdır. Yapım süresi için genel olarak Mart ayı başı ile Ekim ayının sonuna kadar olan zaman plentmiks temel imalatına uygun dönemdir. Bu süre miktarı mevsim şartlarına bağlı olarak miktar kısaldı uzatılabilmektedir. Don, yağışlı ve karlı havalarda plentmiks temel serini yapılması uygun değildir (KTŞ, 2013).

Çizelge 3.6. Plentmiks temel tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013).

Elek açıklığı		% Geçen	
mm	in	I	II
37.5	1.1/2	100	
25	1	72 - 100	100
19	3/4	60 - 92	80 - 100
9.5	3/8	40 - 75	50 - 82
4.75	No.4	30 - 60	35 - 65
2.00	No.10	20 - 45	23 - 50
0.425	No.40	8 - 25	12 - 30
0.075	Na.200	0 - 10	2 - 12

Plentmiks temel imalatlarında havanın çok sıcak olduğu zamanlarda yüzeyde bulunan suyun buharlaşması önlenmeli, gerekli görüldüğünde yüzey sürekli olarak nemlendirilmelidir. Serilen tabakaların herhangi birinde bozulma olması durumunda

kısa bir zaman zarfında bozulan kısım düzeltilerek bir üst tabakanın serilmesine elverişli hale getirilmesi gerekmektedir. Plentmiks temel serimi yapılan yollarda yolun hemen trafiğe açılması gerektiği durumlarda yüzey astarlanmalıdır. Astar malzemesinin standartları olan TS 1083' e uygun MC-30, TS 1084' e uygun RT-1 veya RT-2, TS 1082' ye uygun SS—lh, CSS-1 veya CSS-1h malzemelerinden herhangi biri kullanılabilen malzeme yüzeye 0.5-2.5 litre/m² miktarında uygulanmaktadır. Plentte hazır hale getirilen temel tabakasının, üstyapı takviyesi olarak uygulanması söz konusu olduğu durumlarda, özellikle alt geçitlerde ve köprü yaklaşımlarında, yol üst kotunda oluşacak değişiklikler sebebiyle, gabari daralmaları ve kot farklılıkları olmaması için gerekli düzenlemeler yapılarak plentmiks temel serimi yapılmaktadır.

Çimento Bağlayıcı Granüler Temel (ÇBGT)

Çimento bağlayıcı granüler temel tabakası kırılmış cüruf, kırılmış çakıl, çakıl, kırma tas ve ince malzeme kullanılmak şartı ile, Çizelge 3.7.'de verilen gradasyon limit değerleri içinde sürekli olarak gradasyon verecek tarzda hazırlanan malzemenin uygun miktarlarda su ve çimento ile birlikte bir plentte karıştırılması sonucu hazırlanan ve yeterliliği bilinen bir alttemel tabakası üzerine, bir ya da birden fazla tabakalar şeklinde, projesinde belirtilen profil, plan ve enkesitlere uygun olacak şekilde serilip sıkıştırılması sonucu oluşturulan tabakadır. ÇBGT tabakasının yapımı için kullanılacak olan agreganın temel malzemesi fiziksel şartlarını sağlaması gerekmektedir (KTŞ, 2013).

Çizelge 3.7. Çimento bağlayıcı granüler temel tabakası gradasyonu (KTŞ, 2013).

Elek açıklığı		% Geçen
mm	in	
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	Na.200	0 - 10

Çimento bağlayıcı granüler temellerin nakil üzeri branda ile örtülü araçlar ile ve en fazla 30 dakika içerisinde yapılmalıdır. Böylece karışım özelliğini kaybetmemiş olacak ve istenilen özelliklerde serimi gerçekleşecektir. Ayrıca karışımda kullanılacak olan çimentolar, TS - 19, TS - 20 ve TS - 26 da belirtilen şartlara uygun olmalıdır. TS - 24'e göre çimento teknik kontrolleri yapılarak temel tabakası içerisine ilavesi yapılmalıdır. Karışım yapımında kullanılacak su, alttemel malzemesi özelliklerinde de belirtilen şartlara uygun olmalıdır. Agrega içerisinde suda çözünen sülfat mevcut ise, sülfat miktarına bağlı olarak kullanılacak çimento cinsi değişebilmektedir (KTŞ, 2013).

Granülometri değerleri standarda uygun olmayan malzemeler elenip uygun oranlarda karıştırılarak uygun granülometri değerlerine ulaşıldıktan sonra kullanılmalıdır. Serme işleminin homojen olması, düzgün kalınlıklarda ve miktarlarda sermeyi sağlayabilecek ekipmanların kullanılması ile gerçekleşir. Malzemenin alındığı en uzak noktadan başlayarak serme işlemi malzemenin alındığı mevkiye doğru ilerler. Proje istenilen kalınlığın fazla olması sebebi ile birden fazla tabakalar şeklinde serilmesi gerekiyorsa, tabaka kalınlıkları birbirine eşit alınmak koşuluyla sıkıştırılmakta ve bir üst tabakanın serme işlemine geçilmektedir. Temel malzemesinin serilme işlemi, tesviyesi esnasında en uygun su içeriği ayarlanmaktadır (Fındık, 2005).

Kullanılacak malzeme ve serilecek olan tabaka kalınlığına uygun olmak şartı ile sıkıştırma tekniğinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Sıkıştırma işlemi yolun enkesitine paralel olacak şekilde yapılır ve kenarlardan başlamak şartı ile merkeze doğru ilerler. Sıkıştırma sırasında segregasyona uğrayan kesimler kaldırılıp yerlerine uygun olan bir malzeme serilir ve sıkıştırma işlemine aynen devam edilir. Sıkıştırma işlemine tabi tutulmuş olan temel kalınlığı projede kapsamında gösterilen kalınlığın yaklaşık %10'undan farklı olması durumunda ise gerekli ilave yapılmakta veya azaltma yapıldıktan sonra tekrar sıkıştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Yapılan kontroller sırasında tabakanın belirtilen oranlarda sıkışmadığını anlaşılırsa, ilave sıkıştırma ve ıslatma ile istenen yoğunluğa ulaşılmaktadır (Fındık, 2005).

Bu çalışmada Bilecik İlinde üç farklı bölgeden temin edilen mermer atıklarının alttemel/temel malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağı Karayolu Teknik Şartnamesine göre incelenmiştir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

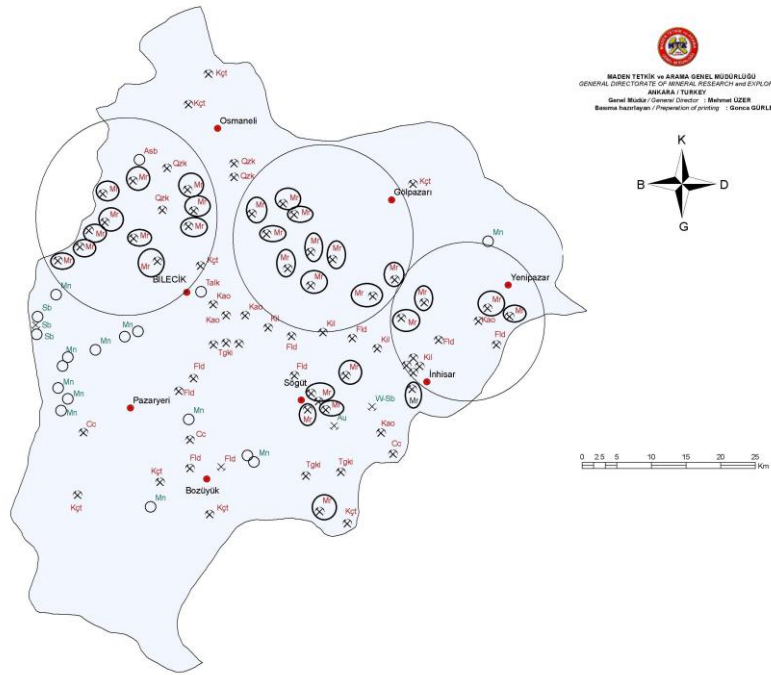
4.1. Malzeme

Bilecik İli mermer haritasında da görüldüğü üzere (Şekil 4.2.) il içerisindeki mermer rezervleri Merkez ilçe, Gölpazarı ilçesi ve Yenipazar İlçelerinin içerisinde bulunduğu bir hat boyunca yoğunluk göstermektedir. Bu yüzden bu hat boyunca mermer atıklarından numune alınarak yol üst yapısı temel malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen deneyler yapılarak değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.1.). Öncelikle ocaklardan moloz halinde alınan ve çapları ortalama 75 mm ila 100 mm olan mermer atıkları laboratuvar ortamında mini konkasör yardımı ile kırılarak 0-25 mm çapları aralığında numuneler elde edilmiştir. Elde edilen bu numuneler elek analizleri yapılmak sureti ile Karayolları Teknik Şartnamesin granüler temel tipi, Tip-C de belirtilen 0–25 mm temel malzemesi gradasyonu aralığında, homojen karışımlar elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Mermer atık numunesi alımı.

BİLECİK İLİ MADEN HARİTASI / MINERAL MAP OF BİLECİK



Şekil 4.2. Bilecik İli maden haritası.

4.2. Yöntem

Karayolları Teknik Şartnamesi granüler temel malzemesi Tip - C gradasyonuna göre hazırlanan karışımlara, elek analizi deneyi, kaba agregalarda $MgSO_4$ ile dona karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi, NaOH ile organik madde tespit deneyi ve su emme deneyini kapsamaktadır. İnce agregalarda ise likit limit, plastik limit, NaOH ile organik madde tespiti ve metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Ayrıca granülometrisi şartname değerlerine göre ayarlanmış numuneler üzerinde modifiye proktor deneyi ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi yapılmıştır. Bu yüzden Merkez İlçe İlyasbey Köyü mevkiinden, Gölpazarı İlçesi Şahinler Köyü mevkiinden ve Yenişehir İlçesi Kuşça Köyü mevkiinden mermer atık numuneleri alınarak, bu numuneler temel malzemesi gradasyonuna (0-25 mm) uygun bir şekilde hazırlanarak üzerinde Karayolları Teknik Şartnamesi yol üst yapısı temel malzemesi kalite kontrol deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, arazide serilen temel malzemesinin arazi sıkışma kontrolü kum konisi deneyi ile yapılmıştır.

4.2.1. Elek analizi deneyi

Kullanılan zeminin ve hafif agrega stabilizasyon malzemelerinin ve dane büyüklüğü dağılımlarının standartta belirtilen sınırlar dahilinde olup olmadığının

araştırılması amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır.

Elek analizi deneyinde, numune 110 ± 5 °C' deki standart etüvde 24 saat kurutulup elek serisinde elenmiştir. Elek serisi olarak; $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , No.4, No.8, No.40 ve No.200 göz açıklıklarına sahip elekler kullanılmıştır (Şekil 4.3.). Eleme sırasında elek üzerindeki malzeme sürekli olarak hareketli olarak yatay ve düşey hareketler yaptırılmıştır. Eleklerin üzerindeki zeminler tartılarak, elekten geçen ve kalan miktarların yüzde olarak tespiti yapılmıştır. Dış ortam şartlarına maruz kalan agregaların boşlukları kısmen suya doymun olduğunda sık sık donma-çözülme olayı etkisi altında kalmaktadır. Böyle bir durumda, agreganın bünyesinde kırılmalar meydana gelir ve kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Bu deneyde, agregaların hava etkisine maruz kaldığında, donarak ufalanmaya karşı gösterdikleri direnç, laboratuarda kısa süre içerisinde karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir. Bu deneyde doymun magnezyum sülfat ya da sodyum sülfat çözeltisi kullanılmaktadır (TS EN 1367-2).



Şekil 4.3. Elek analizi deney aleti.

4.2.2. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi

Dış ortam şartlarına maruz kalan agregaların boşlukları kısmen suya doymun olduğunda sık sık donma-çözülme olayı etkisi altında kalmaktadır. Böyle bir durumda, agreganın bünyesinde kırılmalar meydana gelir ve kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Bu deneyde, agregaların hava etkisine maruz kaldığında, donarak ufalanmaya karşı gösterdikleri direnç, laboratuarda kısa süre içerisinde karar

verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir. Bu deneyde doygun magnezyum sülfat ya da sodyum sülfat çözeltisi kullanılmaktadır (TS EN 1367-2).

Agregaların standartta belirtildiği üzere 19.00 mm, 12.50 mm, 4.75 mm ve 2.00 mm göz açıklığına sahip eleklerden elenerek her elek üzerinde kalan numuneler yıkanmış ve 110 ± 5 °C' de fırında kurutulmuştur. Daha sonra bu kurutulan numuneler hassas olarak elekten tekrar elenmiştir. Eleklerin üzerinde kalan numuneler, tartılarak ayrı kaplara alınmıştır. Deney üç kez olmak üzere hazırlanan, belirtildiği gibi tartılan numuneler özel kap içerisine konulmuş ve üstü en az 5 cm kaplanacak şekilde hazırlanan doygun sodyum sülfat çözeltisi içerisine sokulmuştur (Şekil 4.4.). Elimizdeki numunelerin hafif agrega daneli olanlarının çözelti üzerine çıkmaması için üzerleri tel kafes sistemi kapatılmıştır. Daldırma süresi tamamlandığında numune çözeltide alınarak, 15 dakika boyunca süzülme işlemine tabi tutulmuş ve 110 ± 5 °C' lik fırında kurutulan numune fırından çıkarılarak, soğuyana kadar bekletilmiştir. Bu işlem beş kere tekrarlanıp her kurutma safhasından sonra danelerde çatlama, dağılma, ufalanma, parçalanma ya da ayrılma olup olmadığı kontrol edilerek veriler kaydedilmiştir.



Şekil 4.4. Agregalarda donma çözünme deneyi hazırlığı.

Son uyguladığımız daldırma işlemi sonucunda soğutulmuş numune, üzerindeki sodyum sülfatı uzaklaştırmak amacıyla ılık suyla yıkanmıştır. Yıkama suyunun içerisine bir miktar baryum klorür ($BaCl_2$) katıldıktan sonra numunenin sodyum sülfattan tamamıyla temizlenip temizlenmediği kontrol edilmiştir. Na_2SO_4

çözeltilisinden tamamen temizlenen numuneler 110 ± 5 °C' lik fırında sabit ağırlığına kadar kurutulup, soğutulup, farklı eleklerden dane iriliklerine göre elenip, eleme sonucunda elekler üzerinde kalan miktar tartılmış ve eleklerden geçen kısımlar don kaybı olarak kabul edilmiştir.

M_1 : Deneyden önceki ağırlık (gr)

M_2 : Deneyden sonraki ağırlık (gr)

$$\text{Donma kaybı yüzdesi} = (M_1 - M_2) / M_1 * 100$$

eşitliği kullanacak olursak, her fraksiyon için donma kaybı yüzdesi hesaplanıp, esas granülometri ile çarpılıp, düzeltilmiş kayıp yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin toplamı, tüm malzemenin Na_2SO_4 dan dolayı oluşan donma kaybının yüzdesini vermektedir.

4.2.3. Los Angeles aşınma deneyi

Bu deney, agregaların aşınmaya karşı dirençlerinin belirlenmesi için yapılan bir deneydir (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Los Angeles deney aleti.

Deney numuneleri alınarak, üç seri halinde, aşınma sınıfına göre gerekli eleklerden elenip, elekler üzerinde kalan agrega, tozdan ve kilden iyice temizlenene kadar kaldığı elek üzerinde yıkanarak değerler kaydedilmiştir. Agregalar suyunu sızdırdıktan sonra, 110 ± 5 °C' deki sıcaklık altında sabit ağırlığa kadar kurutulup, kaldıkları elekten tekrar elenmek suretiyle numune hazırlanmıştır (TS EN 1097-2).

Aşınma sınıflarına göre gerekli numune miktarları Çizelge 4.1.'de, deneyde kullanılacak küre sayıları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Los Angeles deneyi numune miktarları (TS EN 1097-2).

Elek açıklığı		Aşınma sınıfları						
Geçtiği elek (mm)	Kaldığı elek (mm)	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500		
63	50					2500		
50	37.5					5000	5000	
37.5	25	1250					5000	5000
25	19	1250						5000
19	12.5	1250	2500					
12.5	9.5	1250	2500					
9.5	6.3			2500				
6.3	4.75			2500				
4.75	2.36				5000			
Toplam		5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Tolerans		± 10	± 10	± 10	± 10	± 100	± 75	± 50
Devir sayısı		500	500	500	500	1000	1000	1000

Çizelge 4.2. Los Angeles Deneyi küre sayıları (TS EN1097-2).

	Küre sayısı	Yüklem (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15
E	12	5000 ± 25
F	12	5000 ± 25
G	12	5000 ± 25

Deney numunesinin toplam kütlesi kaydedilip, aşındırma cisimleri olan küreler Los Angeles aşınma makinesine konulmuş ve ağzı sıkıca kapatılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Makine dakikada 30-33 devir yapacak şekilde ayarlanmış ve aşınma

sınıfı F olan hafif agregalarda 500 devir yaptırılarak deneye devam edilmiştir. İstenilen sayıdaki devir tamamlandıktan sonra numune alınıp 1.70 mm' lik elekten elenip, dane kaybına olmaksızın elek üzerinde kalan numune tartılarak kaydedilmiştir. Aşınma yüzdesi aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

M_1 : Numunenin ilk ağırlığı (gr)

M_2 : Numunenin son ağırlığı (gr)

$$\text{Aşınma Yüzdesi} = [(M_1 - M_2) / M_1] 100$$

4.2.4. Yassılık indeksi deneyi

Bu deney, kalınlığı nominal boyutunun %60'ından daha küçük boyutta olan agrega danelerinin, yassı olarak sınıflandırılması esasında dayanan metottur. İki elek arasında kalan danenin nominal boyutu, bu iki eleğin açıklığının aritmetik ortalaması kadardır. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Deney 6.3 mm'den büyük ve 63 mm'den küçük malzemelere uygulanmaktadır.

Çizelge 4.3. Yassılık indeksi deneyi malzeme miktarları (EN 933-3).

Elek Açıklığı (mm)	Deneye Alınacak Minimum Malzeme Miktarı (kg)
63 - 50	25
50 - 37,5	18
37.5 - 25	8
25 - 19	2.5
19 - 12.5	1
12.5 - 9.5	0.5
9.5 - 6.3	0.250

Deneyde kullanılacak numune için Çizelge 4.3'de gösterilen malzeme miktarlarına mevcut fraksiyonları için eleme işlemi uygulanmaktadır (Şekil 4.6.). Her elek arasında kalan malzeme danelerinin, şablon üzerindeki açıklığından geçip geçmediği her biri için el ile denenmektedir. Her fraksiyonun yassı danelerinin

ağırlığı tartıldıktan sonra kaydedilir ve her fraksiyon ağırlığındaki yassı dane yüzdeleri aşağıdaki formülden ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Deney sonrasında yassı danelerin oranının % 25'i geçmesi istenmemektedir.



Şekil 4.6. Yassılık indeksi deney numunesi.

M_1 =Deneye alınan malzeme ağırlığı, gr.

M_2 =Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığıdır. (gr)

$$\text{Yassı Dane Yüzdesi} = (M_2 / M_1) * 100$$

4.2.5. Organik madde tespiti deneyi

Organik madde tespiti deneyi agregaların organik madde içerip içermediğini göstermektedir. Kaba agregalara uygulanan bu işlemi yaparken NaOH kullanılmaktadır. Kullanılan NaOH oranı su oranının %3 oranında olmalıdır. Ayrıca yapılan bu deney nicel bir sonuç vermeyip gözlem ile yapılmaktadır.

Deneyde öncelikle 900 ml suya %3 oranında yani 27 ml NaOH ilave edilerek çözelti hazırlanmaktadır. Daha sonrasında 4 mm elekten geçen iri agrega hazırlanmakta ve hazırlanan numuneden 130 ml olacak şekilde cam behere konulur. Cam behere konulan agreganın üzerine %3 NaOH içeren çözülden 200 ml ye kadar konulur ve agreganın içinde hava boşluğu kalmayacak hale gelinceye kadar karışım çalkalanmaktadır. Agrega daneleri arası tamamen su ile dolmuş numune 24 saat bekletilmektedir (Şekil 4.7.). Bekletilen numunenin sıvı içeriğinde yoğun bir şekilde

renk değişimi olmuş ve sıvı Őeffaflıęını kaybettiği takdirde agregaların organik madde iğerdiği varsayılır. Eğer numune sıvısı renk kaybetmemiş ve Őeffaflıęını koruyor ise agrega organik madde iğermiyor demektir.



Şekil 4.7. Organik madde tespiti deneyi.

4.2.6. Kil topağı deneyi

Kil topağı deneyi ile agregalar üzerine film tabakası olarak birikmiş kil miktarını tespit etmektir. Bu deney iri agregalar üzerinde yapılmaktadır. Deneyde kullanılacak agregalar öncelikler toz ve killlerinden temizlenmesi amacı ile yıkanmaktadır. Yıkanan agregalar etüve atılarak 105°C de bir gün kurutulmaya bırakılır. Kurutulmuş numuneler tartılarak kuru ağırlıkları not edilmektedir. Daha sonra agregalar birbirine değmeyecek ve üzerleri tamamen suyla kaplı olacak Şekilde geniş bir kaba koyulmaktadır. Daha sonrasında kaptaki bulunan su dikkatli bir Şekilde boşaltılır ve agregalar deneye hazır hale getirilmektedir. Agregaların üzerindeki parmakla ezilmek suretiyle dağılabilen yumuşak taneler kil topağı olarak adlandırılmaktadır. Üzerlerindeki kil topraklarından tamamen arındırılan agregalar yeniden yıkanarak tamamen temizlenir. Temizlenen agregalar kurutulmak için etüve konularak bir gün bekletilir ve tamamen kurutulur ve kurutulmuş malzemeler tartılır. Yapılan deney sonucunda kil topraklarından

temizlenmemiş haldeki ağırlık ile temizlendikten sonraki ağırlık farkının agreganın kuru ağırlığına oranı kil topağı yüzdesini vermektedir.

M1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

M2 : Numunenin etüv öncesi ağırlığı (g)

$$\text{Kil Topağı Oranı} = [(M_2 - M_1) / M_1] 100$$

4.2.7. Su emme yüzdesi deneyi

Su emme yüzdesi deneyi; agregaların sulu ortamlarda kalmaları halinde yüzeylerinde biriktirebilecekleri suyun kütlesinin agrega kütlesine oranını tespit etmek için yapılmaktadır. Deneye tabi tutulacak malzeme miktarı Çizelge 5.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Su emme deneyi numune miktarları (TS EN 1097-6).

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	4	8	16	32	63
Deney Numunesi Miktarı (Kg)	0,8	1,5	2	3	3

Agregalar ilk olarak herhangi bir yabancı madde içermeyecek şekilde temizlenir. Numune 24 saat süre ile su içerisinde bekletilmektedir. Sonra ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek kuru bir tava içerisine yayılmaktadır. Tavadaki numune taneleri üzerinde görülebilen su tabakası kalmayınca kadar havlu, bez gibi bir malzeme yardımı ile kurutulmaktadır. Kurutulan numune tartılır ve 105 °C derecedeki etüvde 24 saat süreyle bekletilmektedir (Şekil 4.8.). Numunenin etüv sonrası ağırlığı da tartılır ve böylece agregaların su kaybı miktarı elde edilmektedir. Elde edilen bu değerlerin agrega ağırlığına oranı agregaların su emme kapasitesini vermektedir.

M1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

M2 : Numunenin DKY durumdaki ağırlığı (g)

$$\text{Su Emme Oranı} = [(M_2 - M_1) / M_1] 100$$



Şekil 4.8. Su emme deneyi sonrası etüvde kurutma işlemi.

4.2.8. Likit limit deneyi

Casagrande cihazı kullanılarak yapılan bu deney, zeminlerin likit limitlerinin belirlenmesinde kullanılır. Açıkta kurutulan zeminin likit limitinin bulunması ile ilgili olup, bu deney doğal durumlarındaki numunelere de uygulanmaktadır.

Deneyin yapılışı; ilk olarak 40 No'lu elekten elenen yaklaşık olarak 200 g numune alınmaktadır. Numune porselen pota olarak adlandırılan kabın içerisine konulmakta ve damıtık su katıldıktan sonra homojen bir hamur durumuna gelene kadar (çok sert olmayacak şekilde), palet bıçağıyla kıvam yakalanana kadar karıştırılmaktadır. Daha sonra bu karışım, suyun numunenin her yanına yayılmasını sağlamak amacıyla, hava geçirmez bir kap içerisine alınmakta ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında desikatörde bekletilir. Başlangıç su miktarının likit limitten düşük olması gerekmektedir. Numune kaptan çıkarılır ve en az 10 dakika süre boyunca yeniden karıştırılmaktadır. Sonuç olarak oluşan zemin-su karışımından bir miktar alınmakta ve likit limit cihazının kabı içine konulmaktadır. Daha sonra yüzeyi tabana paralel olarak düzlenmektedir. Oluk açma bıçağı denilen alet vasıtasıyla, menteşenin ortasından geçen çap boyunca, mümkün olduğunca simetrik bir şekilde numunenin ikiye ayrılması sağlanmaktadır. Böylece numune “ V ” şeklini almış olur. Krank kolu saniyede 2 devir yapacak şekilde çevrilerek, iki yanda kalan zemin, oluğun dip

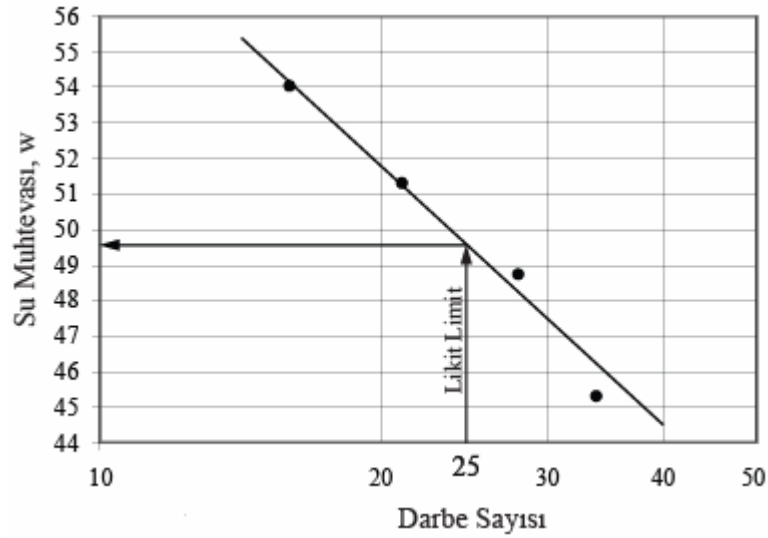
kısımında 13 mm yüksekliği boyunca birbirine değmesi suretiyle kaldırılıp dűşürölür (Şekil 4.9.). Deđmenin sağlandığı kesimin uzunluğu cetvel yardımı ile ölçölmelidir. Olukta oluşun bu kapanma sonucunda deney durdurulur ve dűşűş sayısı kaydedilir. Oluktan palet bıçağı yardımı ile yaklaşık olarak 30 g numune alınır ve deney kabına konularak su muhtevası ölçölüp kaydedilir.



Şekil 4.9. Likit limit deney düzeneği.

Aynı numune kullanılmak şartı ile su muhtevası gittikçe arttırılıp yukarıda yapılan işlemler en az beş defa olmak şartı ile tekrarlanmaktadır. Başlangıçta seçilen su ve deney sırasında eklenen su miktarları, elde edilen dűşűş sayılarının 10 ile 50 arasında eşit aralıklarla dağılması sağlanacak biçimde ayarlanmalıdır. Bu deney numunenin su miktarının sürekli olarak artırılması ile yapılmaktadır. Deneyin yapılışının her seferinde kullanılan oluk açma bıçağı ile kap yıkanıp kurulandıktan sonra deneylere devam edilmelidir.

Deneyde elde edilen dűşűş sayısı ve buna karşılık gelen su muhtevaları, yarı logaritmik bir grafik kâđıdı üzerine işaretlenir. Bu işlem için su muhtevası deđerleri aritmetik dűşey ekseninde, dűşűş sayısı ise logaritmik olarak yatay eksene işaretlenmelidir. Oluşun noktalarından geçecek şekilde bir çizgi çizilir. Elde edilen “akış doğrusu” üzerinde 25 dűşűş karşısındaki su muhtevası zeminin likit limitini verir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Likit limit deney sonuç tespit grafiği.

4.2.9. Plastik limit deneyi

Bu deney, zeminin plastik kıvamda olduğu durumdaki en düşük su içeriğini saptamak amacı ile yapılmaktadır. Likit limit deneyi ile plastik limit deneyinin paralel olarak yürütülmesi gerekmektedir.

Deneyin yapılışı; Likit limit deneyi için hazırlanan numunedan yaklaşık olarak 20 g numune alınır. Numune bir top biçimini alabilecek, homojen bir duruma gelene ve küçük plastik olana kadar, cam plaka üzerinde, saf su ile iyice karıştırılıp yoğrulmaktadır. Hazırlanan numune göz kararı ile iki eşit parçaya bölünmektedir. Bunlara yeniden top biçimi verilir ve iki toptan bir tanesi aşağıdaki işlemlere tabi tutulmaktadır. Diğeri ise daha sonra denemek için paslanmaz, hava geçirmez bir kap içerisine alınmaktadır. Küre halindeki numune cam üzerine konulur ve 3 mm çapında silindirik bir çubuk şeklini alana kadar el ayası ile cam plaka arasında yuvarlanmaktadır. Numunenin çapı göz kararı ile yaklaşık olarak 3 mm olduğunda çatlama ve kopma belirmemişse zemin tekrar toprak haline getirilerek yoğrulur ve yeniden yumrulanmaktadır. Çap tam 3 mm'ye indiği anda, yuvarlanan zeminde çatlayıp dağılmalar görülene kadar bu işlem tekrarlanmaktadır. Çapın doğru olarak belirlenebilmesi için karşılaştırma ölçeği olarak bir metal çubuk kullanılır. Numunenin dağılan parçaları toplanıp bir numune kabına konulmakta ve su muhtevası tayin edilmektedir. Ölçüm için alınan numunenin yaş haldeki kütlelerinin 10gr'dan daha az

olamamasına dikkat edilmelidir. Yukarıda anlatılan işlemler, numunenin ikinci yarısı için aynen tekrarlanmaktadır. Böylece aynı zemin örneğine ait iki adet plastik limit deneyi uygulanmış olmaktadır.

Hesaplamalar; plastik limit deneti en az iki kere tekrar edilmeli ve uygulanan plastik limit deneyinden elde edilen su muhtevalarının ortalaması, zeminin plastik limiti (w_p) olarak kabul edilir ve 0.1 hanesine yuvarlatılarak hesaplanmalıdır. Numunenin deneyden önceki durumu, “kurutma metodu bilinmiyor”, “açıkta kurutulmuş”, “etüvde kurutulmuş” veya “doğal su muhtevası”, biçiminde belirtilmelidir.

Zeminin plastisite indisi, likit limit kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir;

$$I_p = w_L - w_p$$

4.2.10. Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi deneyi ile agregalardaki kirlilik oranı tespit edilmektedir. Deney, ince agregalara uygulanmaktadır. Deneyde metilen mavisi boyası, 0-2 mm çaplarında agrega ve su kullanılmaktadır.

Deneye başlarken öncelikle deneyde kullanılacak 500 ml su 40°C yi aşmayacak şekilde ısıtılmaktadır. Isıtılan suya 200 gr 0-2 mm çaplarında hazırlanmış agrega ilavesi yapılmaktadır. Oluşturulan karışım dakikada 600 devir yapacak karıştırıcı vasıtası ile yoğun bir şekilde karıştırılır. Karıştırılan numuneye karıştırma işlemi devam ederken 5 ml metilen mavisi boyası ilave edilmektedir. İlave edilen metilen mavisi numune içerisinde homojen olarak tamamen dağıldığında ve su mavi renk aldığı anda baget yardımıyla bir miktar sıvı karışım alınır ve beyaz süzgeç kâğıda damlatılmaktadır. Bu işlem beyaz süzgeç kâğıt üzerine damlatılan numunenin ortada mavi nokta etrafına da bu noktayı çevreleyen açık mavi halka oluşması ve bu halkanın varlığını 5 dakika koruması durumunda deney sonlandırılmaktadır. Deney sonucu ise aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

MV : Deneyde kullanılan metilen mavisi miktarı (ml)

M : Deneyde kullanılan agrega miktarı (g)

$$\text{Metilen mavisi değeri \% (MB)} = (MV / M) / *100$$

4.2.11. Modifiye proktor deneyi

Bu deney, belirli bir metot yardımı ile sıkıştırılan bir zeminde, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren su muhtevasının tayin edilmesi ile ilgili bir deneydir. 457 mm'den serbestçe düşen 4.53 kg'lık tokmağın sağladığı mekanik iş bu deney için kullanılmaktadır.

Deneyin yapılışı; açıkta kurutulup, 5 kg'lık bir numune istenilen gradasyonuna göre hazırlanan zemin örneğinden alınır. Numunenin kumlu ve çakıllı olması durumunda %3 ile %5 arasında değişen su içeriği, kohezyonlu zeminlerde ise plastik limitin %12 ile %16 arasındaki su muhtevası iyice karıştırılır. Numunenin kumlu ve çakıllı olması durumunda %3 ile %5 arasındaki su içeriği, kohezyonlu zeminlerde ise plastik limitin %12 ile %16 arasında değişen su muhtevası ile iyice karıştırılır. Kalıp, sert bir yüzey üzerine (örn: beton zemin) oturtulur ve nemli zemin, mümkün olduğu kadar eşit kütlede olmak üzere üç tabaka olarak, her bir tabaka üzerine, 457 mm serbest düşüş yapan tokmakla 56 darbe uygulanmak suretiyle, üst ucuna yakası takılmış kalıbın içine sıkıştırılmaktadır. Her tabaka üzerine darbeler mümkün olduğu kadar eşit dağıtılmalıdır (Şekil 4.11.). Tokmak kılavuzunun, tokmağın serbest düşüşünü engellememesine dikkat edilmelidir. Kullanılan zemin miktarının kalıbı dolduracak şekilde olması gerekir. Ancak sıkıştırılıp yaka çıkarıldıktan sonra kesilip atılacak artık zeminin yüksekliğinin 6 mm'yi geçmemesine özen gösterilmektedir. Yaka çıkarılır ve sıkıştırılmış zemin, çelik cetvel yardımı ile kalıbın üst kenarı düzlenir. Zemin ve kalıp, 1 g duyarlıklı terazide hassas olarak tartılır. Sıkıştırılan zemin, kalıptan çıkarıldıktan sonra büyükçe bir metal kaba konulur. Zeminden bir numune alınarak su muhtevası ölçülür. Zeminin geriye kalanı, ufalanıp ilgili elekten geçirildikten sonra deneyin başında hazırlanmış olan numunedan artan numune ile karıştırılır. Kohezyonlu zeminler için %2-3, Kumlu ve çakıllı zeminler için %1-2 oranında su katılarak iyice karıştırılmak suretiyle yukarıdaki işlemler aynen tekrarlanır. Deney, en az beş değer alınacak şekilde tekrarlanmalıdır ve kullanılan su muhtevaları, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren optimum su muhtevasını da içine alan sınırlar arasında değişiklik göstermelidir.



Şekil 4.11. Modifiye proktor deneyi yapılışı.

Hesaplamalar; sıkıştırılmış zeminin yağ birim hacim ağırlığı (ρ_n) olarak alınacak olursa, değerler her numune için aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

M_1 , Kalıp ve tabanın kütlesi, (g)

M_2 , Kalıp, tabanı ve tabanı sıkıştırılmış zemin kütlesi, (g)

V , Kalıbın iç hacmi, (cm^3)

$$\rho_n = \frac{M_2 - M_1}{V} * 9.81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Zeminin kuru birim hacim ağırlığı (ρ_k) aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$\rho_k = \frac{100 \rho_n}{100 + w} * 100 \text{ (kN/m)}$$

Bir seri deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık (ρ_k) ve bunlara karşılık olan su muhtevası değerleri, bir grafik kâğıdı üzerine işlenir. Sonuç olarak elde edilecek olan noktalar arasında bir çizgi çizilir ve bu çizginin en büyük değeri okunmaktadır.

4.2.12. Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi

Kaliforniya taşıma oranı (CBR), belirli boyutlar sahip bir pistonun özel olarak sıkıştırılarak hazırlanmış olan bir numuneye, belirli bir derinliğe kadar batması için gerekli basıncın, aynı pistonun düzgün bir gradasyonu olan kırmataştan hazırlanmış bir numunede aynı batmayı sağlayan basıncına olan oranı ve yüzde olarak ifade edilen bir sayıdır. Deney, ince daneli topraklar ve 19.0 mm elek üzerinde kalan kısmı çok az olan bazı temel malzemelerini değerlendirmede yararlı olmaktadır.

CBR numunesi optimum su muhtevasında hazırlanarak aynı sıkıştırma yöntemiyle hazırlanmıştır. Boşlukların tamamıyla su ile dolu olduğu en düşük taşıma gücünü bir başka deyişle arazideki doğa koşullarını birebir numunede belirlenebilmesi amacı ile yaş CBR metodu kullanılmıştır. Numune 4 gün suda bekletilmek suretiyle hazırlanmıştır. Bu bekletme süresi boyunca numune, normal koşullarda üzerine gelecek olan tahmini yükü temsil eden ağırlıklar ile sağlanmıştır. Bu malzemelerin su içerisinde kabarma yapıp yapmadığı kontrol edilmiştir. Hafif agregalarda su altında şişme görülmemiştir. Dört günün sonunda numune su içerisinden çıkarılarak normal şartlar altına alınmıştır. Bünyesindeki serbest sular drene edilene kadar bekletilip CBR'ye yerleştirilmiştir (Şekil 4.12.). Daha sonra standarda uygun olarak verilen basınçlarda (kg/cm^2) gerekli batma değerlerine (mm) karşılık gelen yük değerleri (kg) kaydedilmiştir. Bu değerler; yatay eksene penetrasyon, dikey eksene basınç değerleri yazılarak basınç - penetrasyon eğrisi çizilmiştir.

Gerekli görülen düzeltmeler sonucunda, 2.54 mm (0.1 in.) ve 5.08 mm (0.2 in.)'lik penetrasyonlara karşı gelen düzeltilmiş basınç değeriyle, Kaliforniya Taşıma Oranları bulunmuştur. 2.54 mm (0.1 in.)'lik penetrasyondaki düzeltilmiş basınç değeri, 70.31 kg/cm^2 'ye, 5.08 mm (0.2 in.)'lik penetrasyondaki düzeltilmiş basınç değeri ise 105.46 kg/cm^2 'lik standart basınç değerine oranlanıp 100 ile çarpılarak CBR değerleri bulunmuştur.

$$\text{CBR} = \frac{\text{Düzeltilmiş basınç}}{\text{Standart basınç}} * 100$$

Genel olarak 2.54 mm (0.1 in.) batmaya karşı gelen CBR değeri, taşıma oranı olarak alınmaktadır. Eğer 5.08 mm (0.2 in.) batmadaki oran daha büyük ise deney tekrarlanır. Aynı sonucun tekrar elde edilmesi durumunda, 5.08 mm'lik batmaya karşı gelen oran CBR değeri olarak kabul edilir. Deney sonuçları ortalama değerlerin %10'undan az sapma gösteriyorsa, sonuçların ortalaması verilir. Aksi takdirde deney tekrar uygulanır.



Şekil 4.12. Kaliforniya taşıma oranı deney aleti.

4.2.13. Arazide kum konisi metodu ile sıkışma testi

Zemin sıkışma deneyinde kullanılan kum konisi aleti ASTM D 1556-00 (2003) standartlarında zeminin birim ağırlığının tespit edilmesinde kullanılan alettir (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Kum konisi deney aleti.

Laboratuvar ortamında proktor deneyi yapılarak optimum su muhtevası ve bu su muhtevasına karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlık bulunur. Arazide yapılan sıkışma testlerinde ise maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri laboratuvarda bulunan değere oranı % 98'in altında olmaması gerekmektedir. Arazide çalışılırken elimizde laboratuvarda tespit edilen maksimum kuru yoğunluk (γ_k) değeri mevcut olup, sıkıştırılmış zeminde ise deney yapılarak arazideki maksimum kuru yoğunluk ($\gamma_{k\text{arazi}}$) bulunur. Hesaplanan değer şartnamede belirtilen oranın üstünde ise sıkışma kabul edilmektedir. Bunun altında ise sıkıştırmaya devam edilmelidir. Bu oranın kontrolü için deney yapılan yerde arazinin doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) ve bununla birlikte su içeriği saptanarak arazinin maksimum kuru yoğunluğu hesaplanmaktadır (Arslan, 2007).

Deneyin yapılışı; birim ağırlığı zeminin üzerindeki tam olarak sıkışmamış gevşek kısım alınarak taban plakasının yerleştirileceği yer dikkatle düzeltilmelidir. Hazırlanan zeminin üzerine taban plakası yerleştirilir ve dört taraflı deliklerden çivi çakılarak zemine sabitlenmelidir. Taban plakasının ortasında bulunan dairesel delik içinden 15 cm derinliğinde silindir şeklinde bir çukur açılmalıdır. Çukurda herhangi bir deformasyona mahal vermeyecek şekilde çekiç ve keski kullanılmalıdır. Çukurdan çıkarılan zemin numunesinin su içeriği değişikliğe uğramayacak şekilde bir torbaya konarak ağırlığı tartılarak kayıt altına alınmalıdır. Kum ile dolu olan birim ağırlık

konisi zemine monte edilen taban plakası üzerine ağzı kapalı şekilde oturtulur. Önceden ağırlığı tespit edilen deney kumu koninin silindirik kısmına doldurulur. Anahtarın açılması ile kum akmaya başlar. Kum akışı tamamlandığında anahtar kapatılmalıdır. Artan kum, torbaya koyulur ve ağırlığı tartılarak not edilir. Böylelikle çukuru dolduran ve konide kalan kum hesaplanmış olmaktadır. Çukurun hacmi, deneyde ölçülen kumun birim hacim ağırlığı ve kum konisinin hacminden yararlanılarak bulunmaktadır (Arslan, 2007).

4.2.14. X-ışınları difraktogram analizi (XRD), cıva porozimetresi ve X-ışını floresans spektrometre (XRF) analizi

X-ışınları difraktogram analizi (XRD) yapılarak toz yada belli şekle sahip katı parçaların mineral içerikleri hakkında bize bilgiler veren bir nitelik analizdir. XRD, katı ve toz haldeki malzemelerin faz analizinde kullanılan temel tekniklerden birisidir. X-ışını difraktometresi ile malzemedeki fazlar, fazların miktarı, kristal boyutu, yapıdaki değişimler, kristal yönelmesi ve atom pozisyonları hakkında da bilgi alınmaktadır. Cıva porozimetresi, toz ve bulk gözenek boyut ve boyut dağılımının belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan tekniklerden birisidir. Son yıllarda, zeminlerin boşluk çapı dağılımının belirlenmesinde yaygın olarak cıva porozimetrisi kullanılmaktadır. Ayrıca mermerin kimyasal içeriği yüzdelerinin belirlenebilmesi için X-ışını floresans spektrometre (XRF) analizi de mermer parçaları üzerinde yapılmıştır.

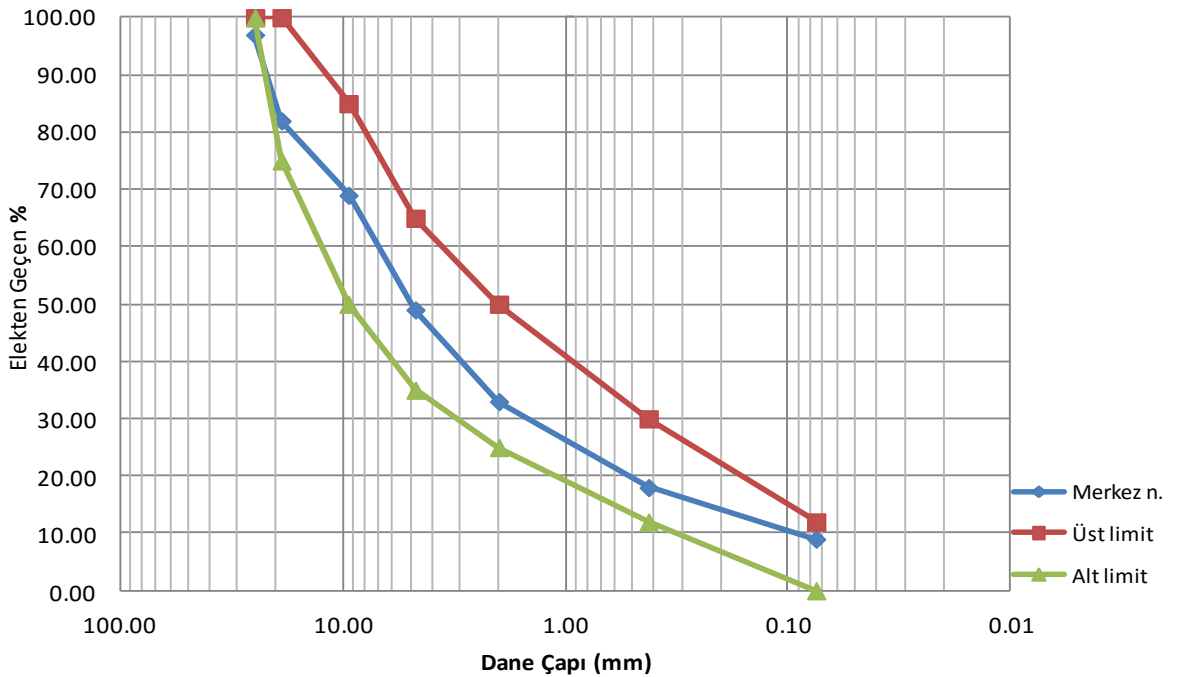
5. DENEY SONUÇLARI

Karayolları Teknik Şartnamesinde yol üst yapısı temel malzemelerinin standartlarını belirleyen deneyler Merkez İlçe, Gölpazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesinde bulunan mermer ocaklarından temin edilerek atık mermer numunelere uygulanmıştır.

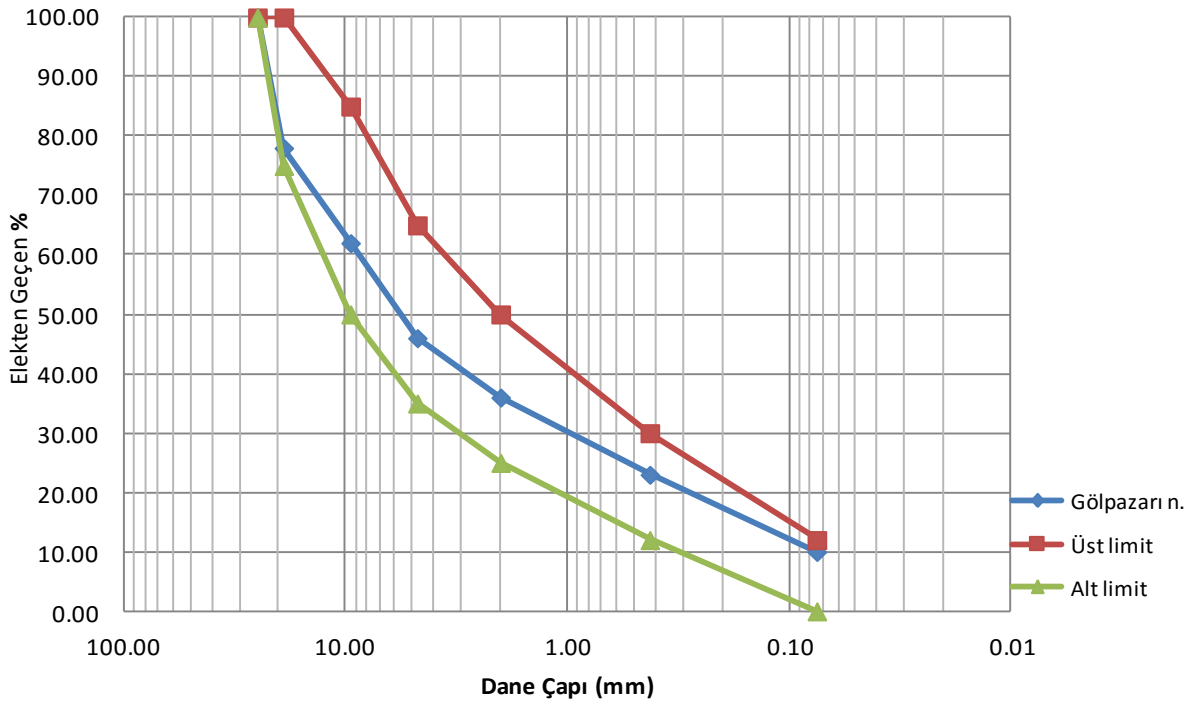
5.1. Elek Analizi Deneyi

Elek analizi deneyi ile yol temel malzemesi olarak kullanılacak malzemelerin Karayolları Teknik Şartnamesinde istenilen aralıklar içerisinde olması hedeflenmektedir. Karayolları Teknik Şartnamesine göre farklı temel türlerinde farklı temel gradasyonları öngörülmektedir. Bu çalışmada deneye tabi tutulan gradasyon aralığı granüler temeller için 0 -25 mm dane çapında agrega içeren temel çeşidine göre yapılmıştır.

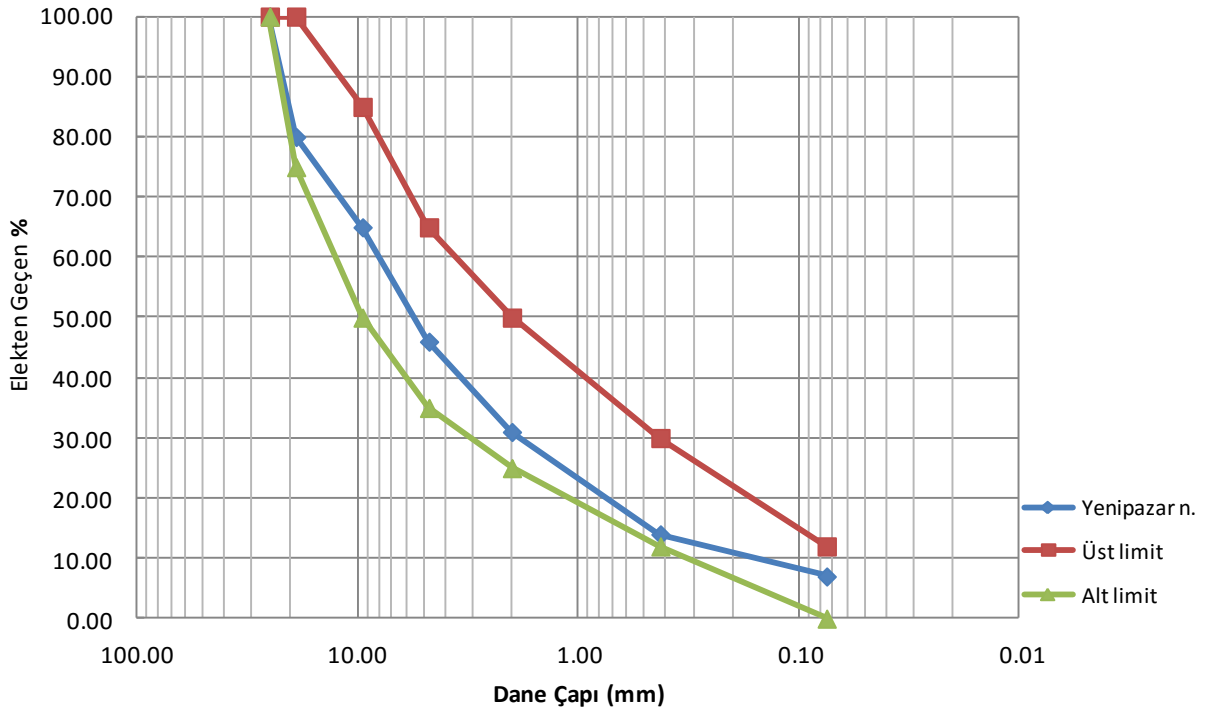
Yapılan çalışmada öncelikle mermer ocaklarından temin edilen mermer atıkları mini konkasör yardımı ile kırılarak istenilen agrega dane çapları elde edilmiş, sonrasında elek analizi deneyine tabi tutulmuştur. Merkez İlçe, Gölpazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesinden alınan mermer atık numuneleri üzerinde yapılan elek analizi deneyleri sırası ile Şekil 5.1. , Şekil 5.2. , Şekil 5.3.' de verilmiştir.



Şekil 5.1. Merkez İlçe numunesi elek analizi grafiği.



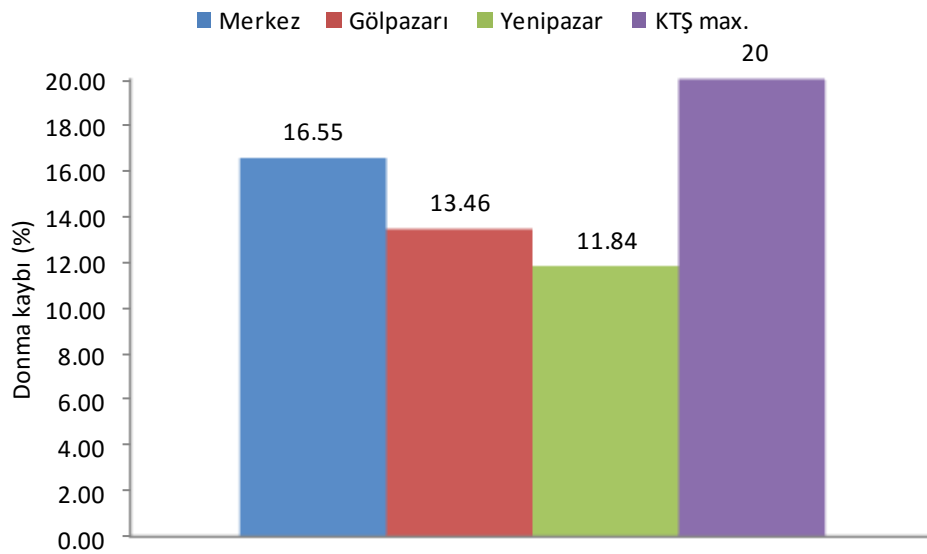
Şekil 5.2. Gölpaazarı İlçesi numunesi elek analizi grafiği.



Şekil 5.3. Yenipazar İlçesi numunesi elek analizi grafiği.

5.2. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi

Uzun zaman hava tesirleri altında kalan agregaların, donma ve çözülme olayları sonucunda gradasyon bozulmasına uğradıkları bilinmektedir. Gradasyon bozulmasının da yolun bozulmasına neden olacağından dolayı agregalar, don ve çözülme olaylarına karşı dayanıklı olmalıdır. Mermer atık numuneleri donma çözünme etkisine karşı dayanıklılık deneyi TS EN 1367-2 kriterlerine göre yapılarak Çizelge 5.4' deki sonuçlar elde edilmiştir.

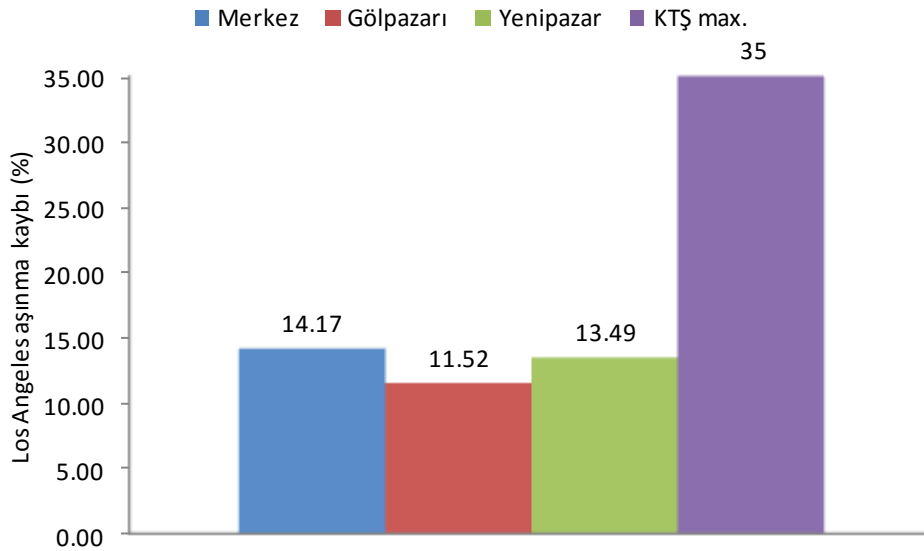


Şekil 5.4. Donma çözünme deneyi sonuçları.

Karayolları Teknik Şartnamesinde en fazla %20 olması gereken donma – çözünme etkilerine karşı kayıp miktarları, Merkez İlçe numunesinde %16.55, Gölpazarı İlçesi numunesinde %13.46 ve Yenipazar İlçesi numunesinde %11.84 olarak hesaplanmış olup şartname değerini altında sonuç göstererek don etkisine karşı dayanıklı oldukları anlaşılmaktadır. Yenipazar İlçesinden alınan mermer numunesinin dona karşı en dayanıklı numune olduğu görülmektedir.

5.3. Los Angeles Aşınma Deneyi

Los Angeles deneyi, agregaların maruz kalacağı aşınma faktörleri sonucu mineral agreganın standart gradasyonunun bozulmasının bir ölçümüdür. Agregaların gradasyonun bozulmasıyla iri agregaların azalması ve ince agregaların artması yol taşıma gücünü olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bu durumun segregasyonlara sebep olacağından istenilen sıkışma oranı sağlanamaz ve trafik yüklerine maruz kalan yol temelini çökmesine sebep olabilmektedir. Bu yüzden yol inşaatlarına kullanılacak agregaların şartname sınırları içerisinde olması gerekmektedir. Los Angeles aşınma kaybı deneyi TS EN 1907 – 2 de belirtildiği üzere yapılmış ve Çizelge 5.5'deki sonuçlar elde edilmiştir.

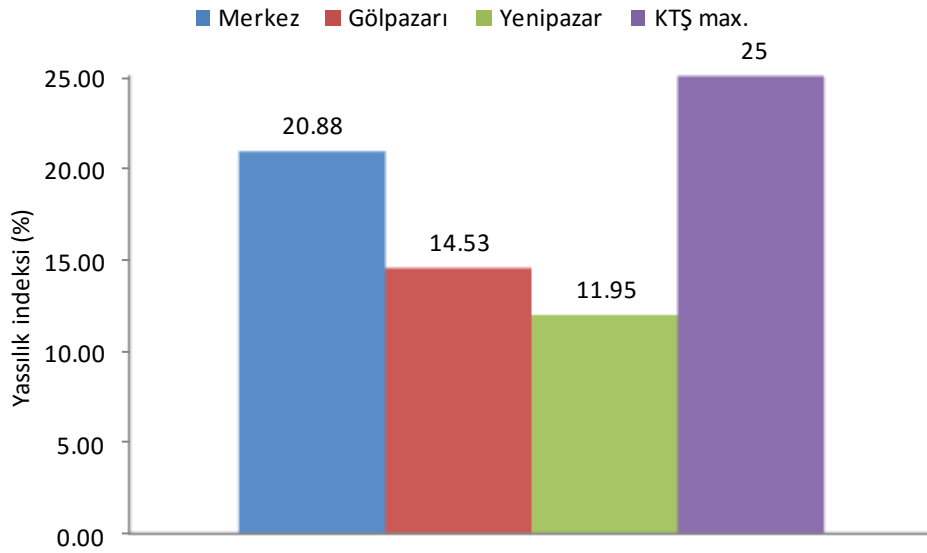


Şekil 5.5. Los Angeles deney sonuçları.

Numunelerin aşınma kayıpları Merkez İlçe numunesinde %14.17, Gölpazarı İlçesi Numunesinde %11.52 ve Yenipazar İlçesi numunesinde %13.49 olarak hesaplanmıştır. Karayolları Teknik Şartnamesinde en fazla %35 olması gereken aşınma kayıpları miktarları, analizini yaptığımız üç numunede de bu değer altında sonuç göstererek aşınmaya karşı dayanıklı oldukları anlaşılmaktadır. Gölpazarı İlçesi mermer numunesi aşınma değeri olarak en dayanıklı numune olup Merkez İlçe numunesi ise numuneler arasında aşınması en fazla numune olarak karşımıza çıkmaktadır.

5.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Yassılık indeksi deneyi, kalınlığı, nominal boyutunun 0.6'sından daha küçük olan agrega tanelerinin yassı olarak tanımlanmasını esas alan metottur. Yol inşaatlarında kullanılan agregaların kırma taş olması ve yassı olmaması istenmektedir. Trafik yüküne maruz kalan agregalar dört bir yönden gelen basınçlara maruz kalacağından yassı daneler istenilen mukavemeti sağlamamaktadır. Ayrıca yassı danelerin sıkıştırılması da istenilen düzeylerde olmamaktadır. Mermer atık numunelerine yassılık indeksi deneyi TS EN 933-3 kriterlerine göre yapılarak Çizelge 5.6.'daki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Yassılık indeksi deney sonuçları.

Numunelerin yassılık indeksi sonuçları Merkez İlçe numunesinde %20.88, Gölpazarı İlçesi numunesinde %14.53 ve Yenipazar İlçesi numunesinde % 11.95 olarak hesaplanmıştır. Karayolları Teknik Şartnamesinde en fazla %25 olması gereken yassı daneli malzeme oranı miktarları, analizini yaptığımız üç numunede de bu değerin altında sonuç göstererek numunelerin şartname sınırları içerisinde oldukları anlaşılmaktadır. Bu deney numunelerin minerolojik özelliklerinden ziyade fiziksel özellikleri yani kırılma şekilleri ile alakalıdır. Bu yüzden kullanılan numunelerin düzgün kırılmış olmaları şartnamede istenilen kriteri sağlamalarını sağlamıştır. İstenilen şartlarda istenilen yassılık oranına sahip olmayan herhangi bir mermer parçası numunesinin yol temel malzemesi olarak kullanılması uygun değildir.

5.5. Organik Madde Tespiti Deneyi

NaOH ile yapılan organik madde deneyi nicel bir sonuç vermeyip gözlemsel bir deneydir. Deneyde agrega numunelerinin organik madde bulundurup bulundurmadığı tespit edilmektedir. Organik madde içeren agregalar bulunduğu yapı içerisinde kimyasal tepkimeler verebilecek olduğundan deformasyonlara sebep olabilmektedir. TS EN 1774-1 de belirtildiği üzere % 3 NaOH ile yapılan organik madde varlığı tespit deneyi Merkez İlçe, Gölpazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesinden alınan numuneler uygulanmıştır. Organik madde tespiti deneyi agregaların organik madde içerip içermediğini göstermektedir. Yapılan deney sonucunda %3 oranında NaOH içeren sıvı içerisinde karıştırılan agregaların bir gün bekletilmesi sonucunda herhangi bir numune kabının sıvı renginde bir değişme olmayıp numunelerin sıvısının şeffaf oldukları gözlemlenmiştir. Bu da kullanılan mermer atık numunelerinin üçünün de organik madde ihtiva etmediğini belirtilmektedir. Fakat yapılan bu çalışmada deneye tabi tutulan numuneler özellikle seçilmiş, yani herhangi bir zemin lokasyonundan kazı veya patlatma sonrası elde edilen numuneler olmadıkları için organik madde barındırma oranlarının oldukça düşük olacağı bilinmektedir.

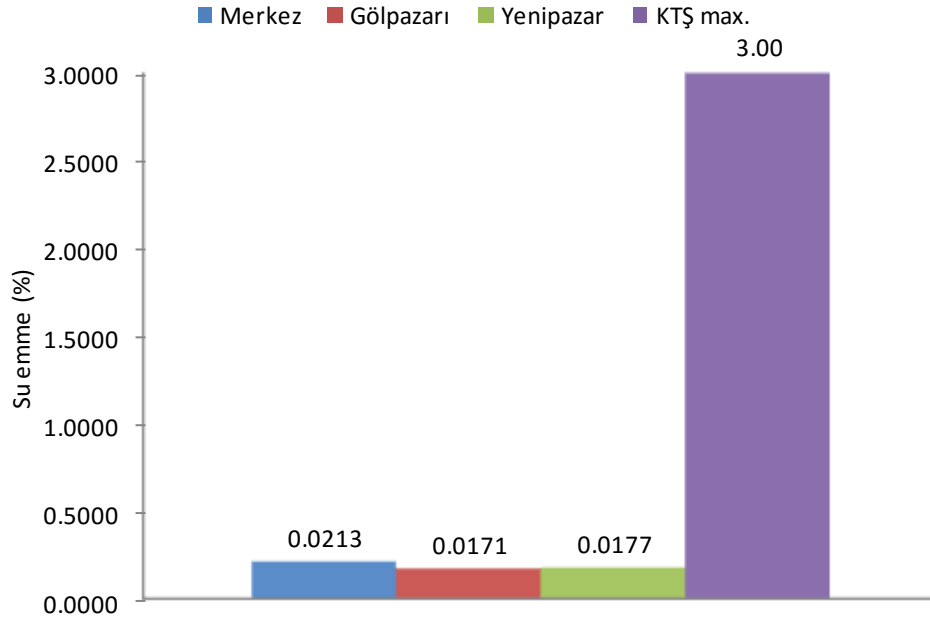
5.6. Kil Topağı Deneyi

Kil topağı deneyi ile agregalar üzerine film tabakası olarak birikmiş kil miktarını tespit etmektir. Bu deney iri agregalar üzerinde yapılmaktadır. Deney ASTM C-142 de anlatıldığı üzere Merkez İlçe, Gölpazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesinden alınan mermer atık numunelerine uygulandığında her üç deney sonucunda da numunelerin üzerinde kil topağına rastlanmamıştır. Karayolları Teknik Şartnamesinde yol temel tabakasında kullanılacak malzemelerin kil topağı oranı maksimum %1 olarak olması istenmektedir. Yapılan bu çalışmada deneye tabi tutulan numuneler özellikle seçilmiş, yani herhangi bir zemin lokasyonundan kazı veya patlatma sonrası elde edilen numuneler olmadıkları için kil barındırma oranlarının oldukça düşük olacağı bilinmektedir.

5.7. Su Emme Yüzdesi Deneyi

Su emme deneyi ile agrega danelerinin yüzeylerinde su biriktirme kapasitelerini tayin edilmektedir. Su emme kapasitesi yüksek olan agregalar

buldukları temel zemini içerisinde suyun barınmasına imkân sağlayarak zemin bozulmalarına neden olmaktadır. Bu yüzden yol temel inşaatlarında kullanılan agregaların su emme kapasitelerinin düşük olması gerekmektedir. Mermer atık numunelerine su emme deneyi TS EN 1097-6 kriterlerine göre yapılarak Çizelge 5.7.'deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Su emme deneyi sonuçları.

Numunelerin su emme yüzdeleri Merkez İlçe numunesinde %0.0213, Gölpazarı İlçesi numunesinde %0.0172 ve Yenipazar İlçesi numunesinde % 0.0177 olarak hesaplanmıştır. Karayolları Teknik Şartnamesinde en fazla %3 olması gereken su emme miktarları, analizini yaptığımız üç numunede de bu değerlerin çok altında sonuç göstererek şartname sınırları içerisinde oldukları anlaşılmaktadır. Analiz sonuçlarından anlaşılacağı üzere mermerin yapısal olarak suyu yüzeyinde barındırma yüzdesi düşük bir malzeme olduğu anlaşılmaktadır.

5.8. Likit Limit Deneyi

Likit limit deneyi Casagrande cihazı kullanılarak numunelerin likit limitinin tespit edilmesi amacıyla yapılmaktadır. Yapılan bu deney ile zeminlerin vizkoz halden plastik kıvama dönüştüğü su muhtevası tespit edilmektedir. Casagrande cihazı ile

yapılan bu deneyde likit limit; zeminlerin farklı su muhtevalarındaki likit halden plastik hale geçişleri, Casagrande aletinin vuruş sayısına bağlı olarak elde edilen eğrinin 25. vuruşa karşılık gelen değeri olarak kabul edilir. Bu sonucu elde edebilmek için ise vuruş sayısını 10 ila 40 arasında olmasını sağlayacak miktarda su ilavesi yapılmalıdır.

Bu çalışmada Bilecik İlinin 3 farklı bölgesinden alınan mermer atıkları mini konkasör vasıtası ile kırarak elde edilen numunenin 40 No'lu elekten geçen kısmı ile yapılmıştır. Fakat tüm numunelere farklı su muhtevaları içeren durumlarda yapılan deneylerin hepsinde 25. vuruşa gelmeden deney sonuçlanmıştır. Bu durum zeminlerin plastik olmayan (NP) zeminler olduğunu göstermektedir. Yol inşaatlarının temel tabakalarında kullanılacak zeminlerin likit limitlerinin Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtildiği üzere NP olarak istendiğinden ötürü, deney yapılan üç numunenin de bu kriteri sağladıkları görülmektedir

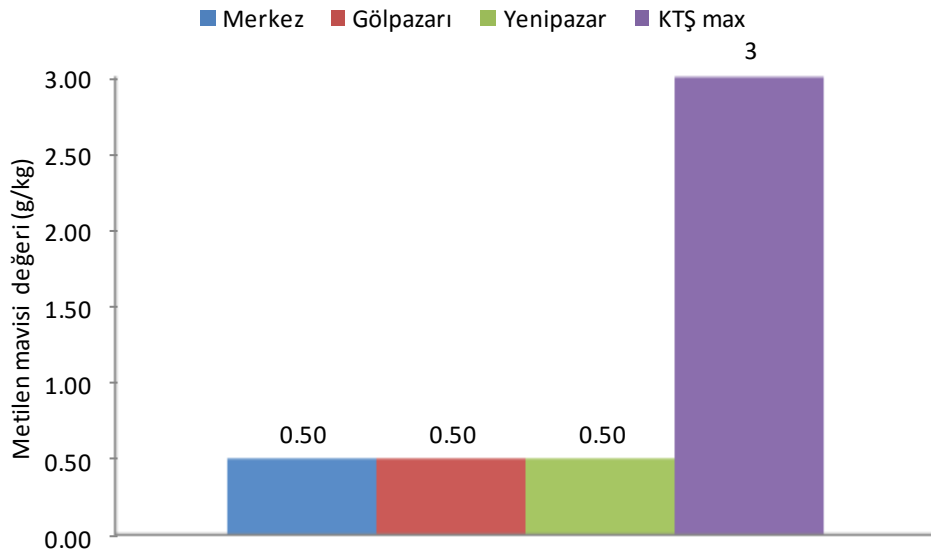
5.9. Plastik Limit Deneyi

Plastik limit deneyi zeminin plastik kıvama geldikleri durumdaki en düşük su muhtevasını belirlemek amacıyla yapılır. Plastik limiti tespit etmek amacıyla yapılan deney, likit limit deneyi ile bağlantılı şekilde yapılmaktadır. Yapılan deneyde hazırlanan numune 3 mm çapında silindirik bir çubuk şeklini alarak üzerinde çatlama belirdiği andaki su muhtevası zeminin plastik limitini vermektedir.

Bu çalışmada, Bilecik İlinin 3 farklı bölgesinden alınan mermer atıkları likit limit deneyinde olduğu gibi mini konkasör vasıtası ile kırarak elde edilen numunenin 40 No'lu elekten geçen kısmı ile yapılmıştır. Fakat tüm numunelere farklı su muhtevaları içeren durumlarda yapılan deneylerin hepsinde numune, 3 mm'lik silindirik çubuk halini almadan dağıldığından ötürü numunelerin plastik limiti bulunamamıştır. Bu durum zeminlerin plastik olmayan (NP) zeminler olduğunu göstermektedir. Yol inşaatlarının temel tabakalarında kullanılacak zeminlerin plastik limitlerinin Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtildiği üzere NP olarak istendiğinden dolayı, deney yapılan üç numunenin de bu kriteri sağladıkları görülmektedir.

5.10. Metilen Mavisi Deneyi

Metilen mavisi deneyi agregaların kirlilik oranını belirlemek için 2 mm'lik elekten geçen agregalar ile yapılmaktadır. Yol inşaatlarının temel tabakalarında kullanılacak agregaların kirlilik oranının en fazla 3 değerinde olabileceği şartnamelerde belirtilmektedir. Çünkü kirli agregalar barındırdıkları kir tabakaları ile yol temel zeminin trafik yükleri karşısında dayanımlarını azaltmaktadır. Metilen mavisi deneyi TS EN 933-9 de belirtildiği üzere Merkez İlçe, Gölpazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesinden alınan numuneler uygulanmıştır. Deneyin sonucunda Şekil 5.8' deki sonuçlar elde edilmiştir.

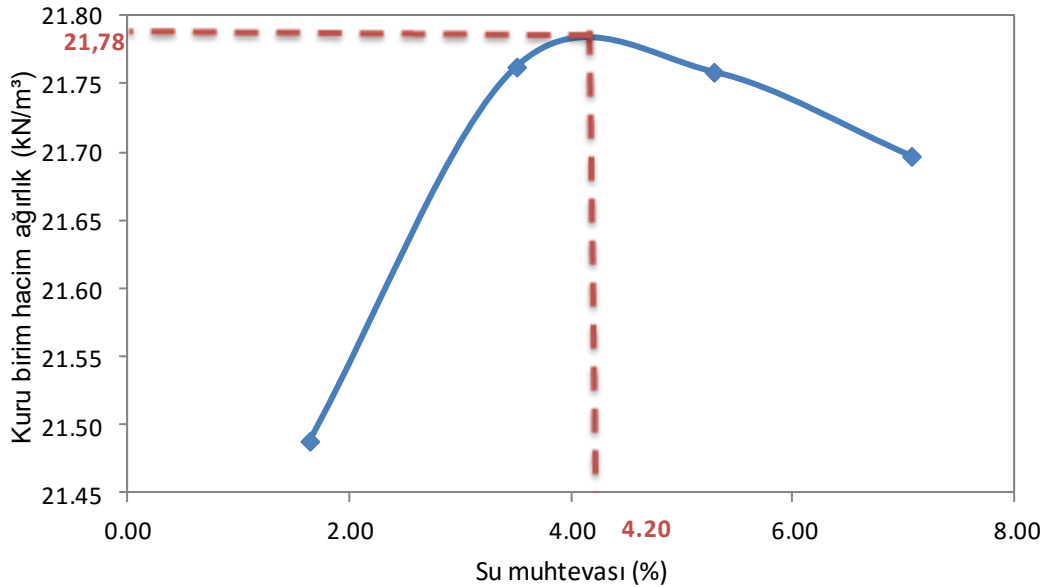


Şekil 5.8. Metilen mavisi deneyi sonuçları.

Numunelerin metilen mavisi deneyi sonuçları tüm numunelerde 0,5 olarak elde edilmiştir. Karayolları Teknik Şartnamesinde en fazla 3 olması gereken metilen mavisi miktarları, analizini yaptığımız üç numunede de bu değer altında ve eşit sonuç göstererek şartname sınırları içerisinde oldukları anlaşılmaktadır. Analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi metilen mavisi deneyine tabi tutulan her üç mermer atığı numunesi de kirlilik değerleri yol temeli olarak kullanılmasına mani olmayacak değerdedir.

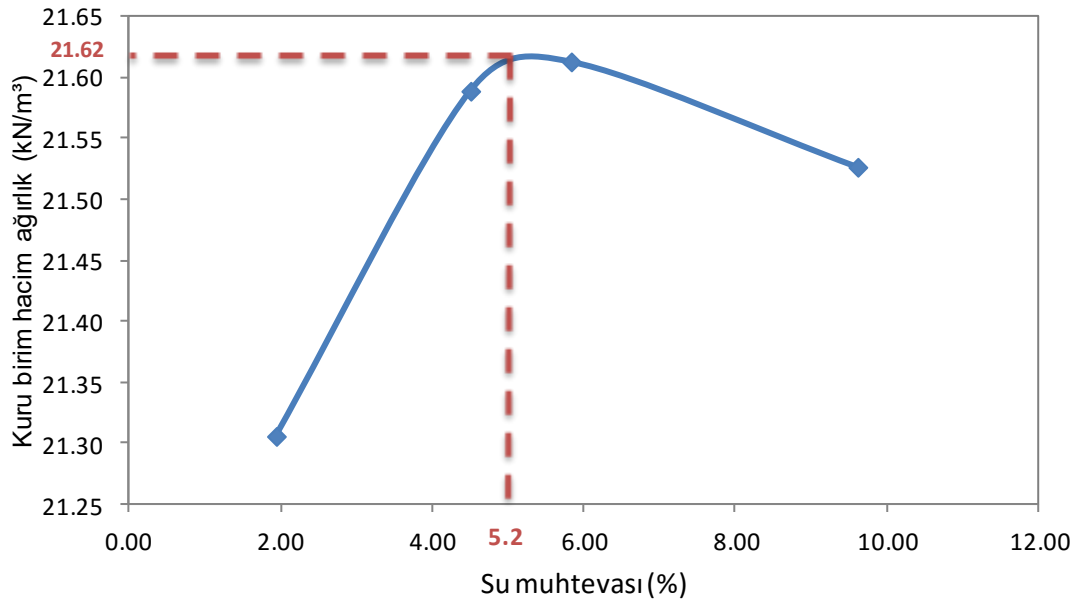
5.11. Modifiye Proktor Deneyi

Zeminlere farklı yüzdelerde su katılarak sıkıştırılması ile yapılan bu deney ile zeminlerin kuru birim hacim ağırlıkları ve su muhtevaları hesaplanmaktadır. Farklı yüzdelerde katılan su miktarlarına göre elde edilen kuru birim hacim ağırlıkların su muhtevaları ile kesiştirilerek elde edilen grafikten ise maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevaları hesaplanmaktadır. Merkez İlçe numunesi, Gölpaazarı İlçesi numunesi ve Yenipazar İlçesi numuneleri Karayolları Teknik Şartnamesi Yol Üst Yapısı Granüler Temel Tabakası standartlarına göre 0 – 25 mm gradasyonlarında hazırlanarak TS-1900-1 de anlatıldığı üzere söz konusu deneye tabi tutulmuş olup deney sonuçları Şekil 5.9., Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de verilmiştir.

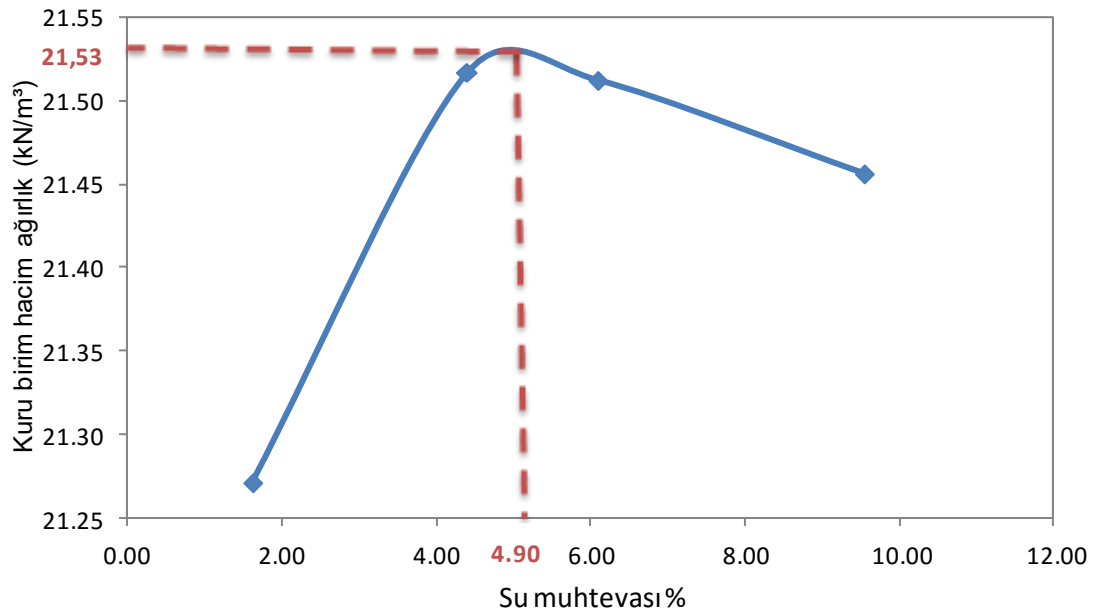


Şekil 5.9. Merkez İlçe numunesi modifiye proktor deneyi grafiği.

Yapılan modifiye proktor deneyi sonucunda Merkez İlçe numunesinin, $\gamma_{kmax}=21.78 \text{ kN/m}^3$, $w_{opt}=0.042$ olarak bulunmuştur. Gölpaazarı İlçesi numunesine yapılan modifiye proktor deneyi sonucunda Gölpaazarı İlçesi numunesinin, $\gamma_{kmax}=21.62 \text{ kN/m}^3$, $w_{opt}=0.052$ olarak bulunmuştur.



Şekil 5.10. Gölpaazarı İlçesi numunesi modifiye proktor deneyi grafiği.

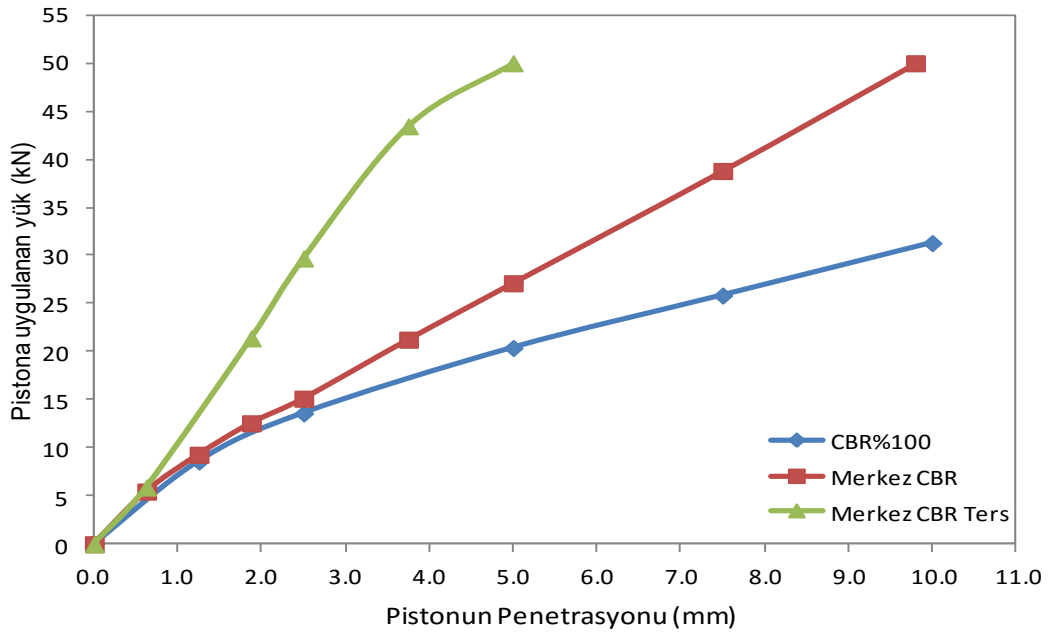


Şekil 5.11. Yenipazar İlçesi numunesi modifiye proktor deneyi grafiği.

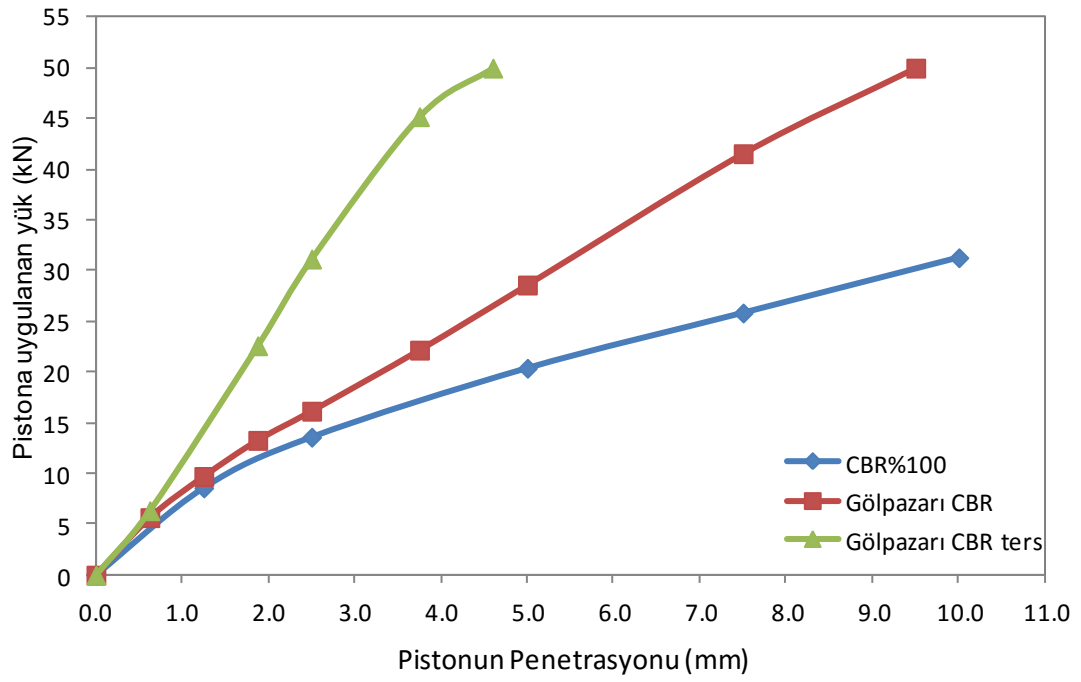
Yapılan modifiye proktor deneyi sonucunda Yenipazar İlçesi numunesinin, $\gamma_{kmax}=21.53 \text{ kN/m}^3$, $w_{opt}=0.049$ olarak bulunmuştur.

5.12. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi

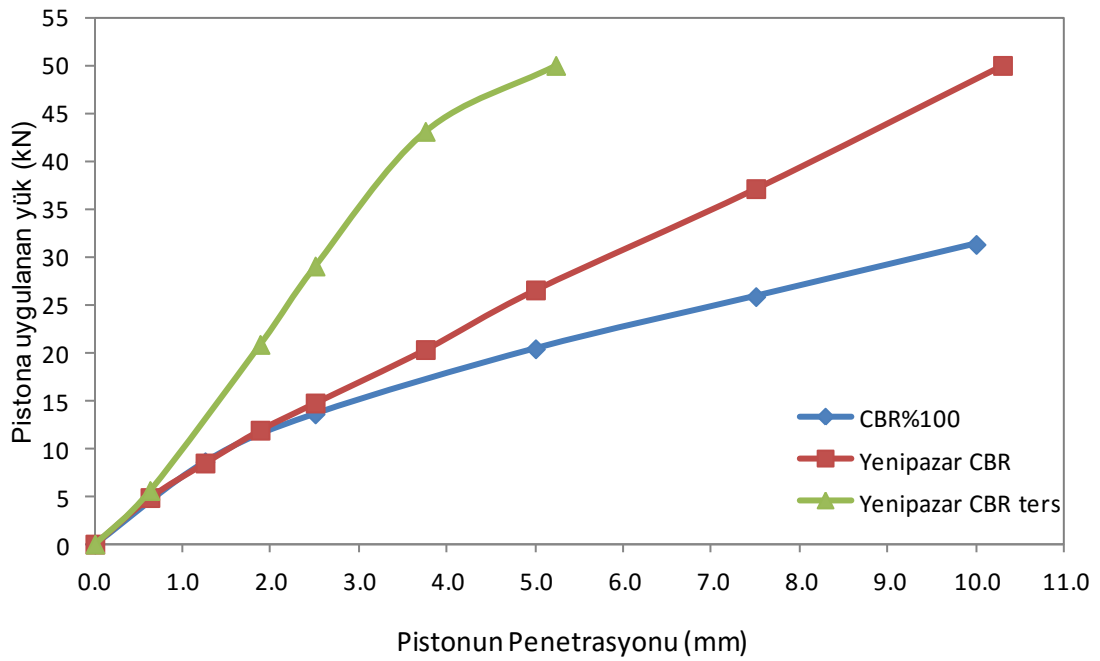
Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi ile zeminlerin üzerlerine uygulanan yük miktarı ile zeminde meydana getirdiği penetrasyon arasındaki bağıntı kullanarak zeminlerin taşıma oranının bulunmasını sağlamaktadır. Karayolları Teknik Şartnamesinde temel malzemesinin modifiye proktor deneyi ile bulunan maksimum kuru birim ağırlığının % 98'ine sıkıştırılan numunelerin yaş CBR değerinin % 100'den aşağı olmaması istenmektedir. Bunun için öncelikle numuneler modifiye proktor deneyi yapılarak tespit edilen maksimum kuru birim hacim ağırlığında karışım yapılarak yine modifiye proktor yapılmak suretiyle sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numunelere yaş CBR deneyi yapılacağından ötürü 4 gün suda bekletilmek sureti ile suya doyurulmuştur. Ayrıca bu işlem esnasında malzemelerin suyun etkisi altında şişme yapıp yapmayacağı kontrolü yapılmıştır. Suda bekletme işlemi sonrasında numunelere CBR deneyi yapılarak şartnamede istenilen % 100 değeri ulaşıp ulaşmadıkları kontrol edilir. Karayolu Teknik Şartnamesinde CBR % 100 kırma taş eğrisi 1.25 mm'lik penetrasyonda 0.84kN, 2.5 mm'lik penetrasyonda 13.2 kN ve 5.0 mm'lik penetrasyonda ise 20 kN'dur. Deney sonuçları Şekil 5.12. - Şekil 5.17.'de verilmiştir.



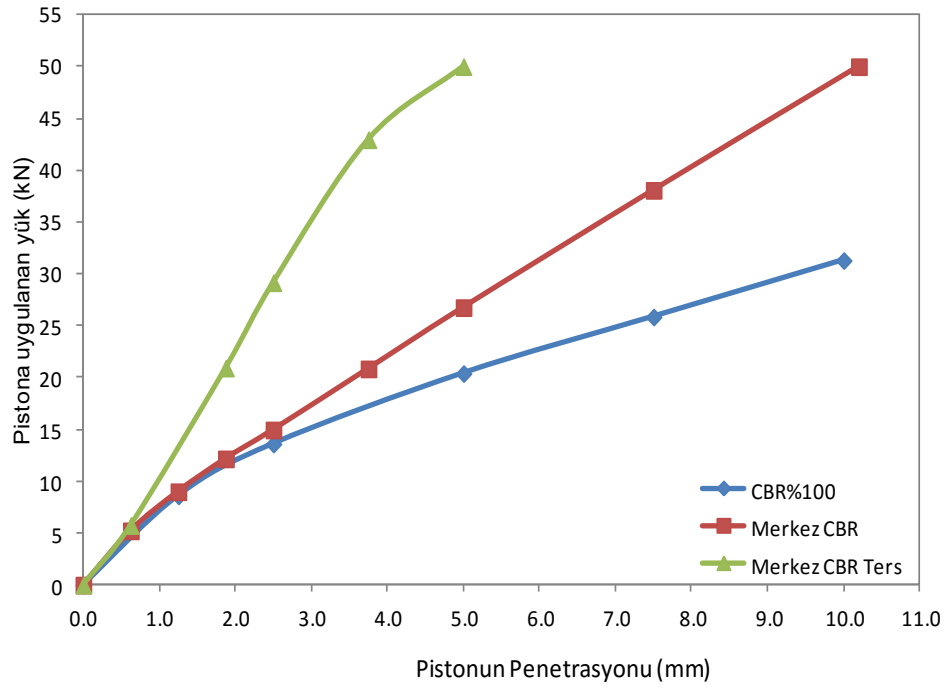
Şekil 5.12. Merkez İlçe numunesi yaş CBR grafiği.



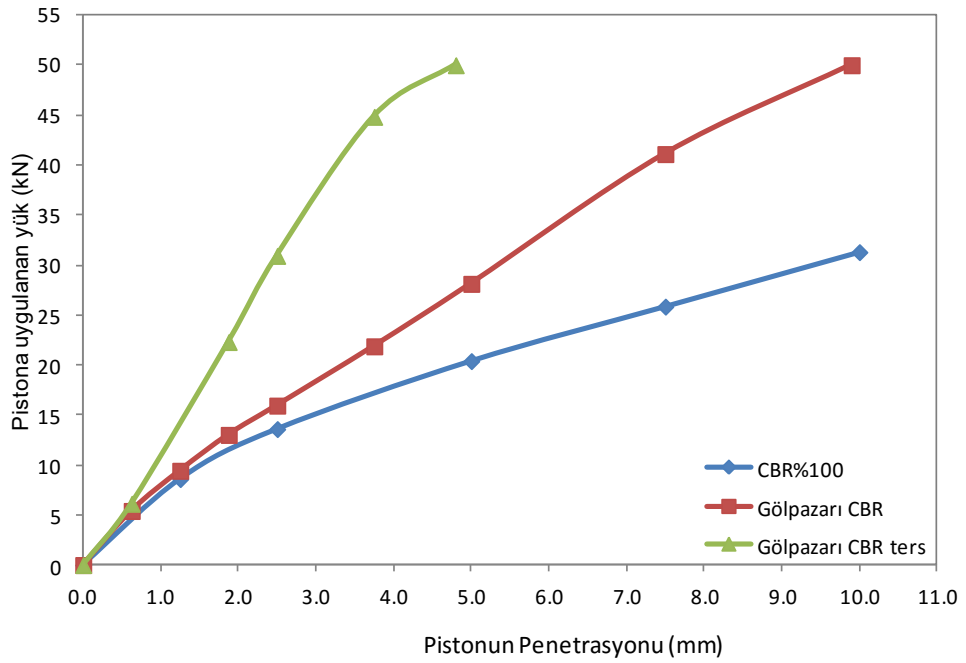
Şekil 5.13. Gölpaazarı İlçesi numunesi yaş CBR grafiği.



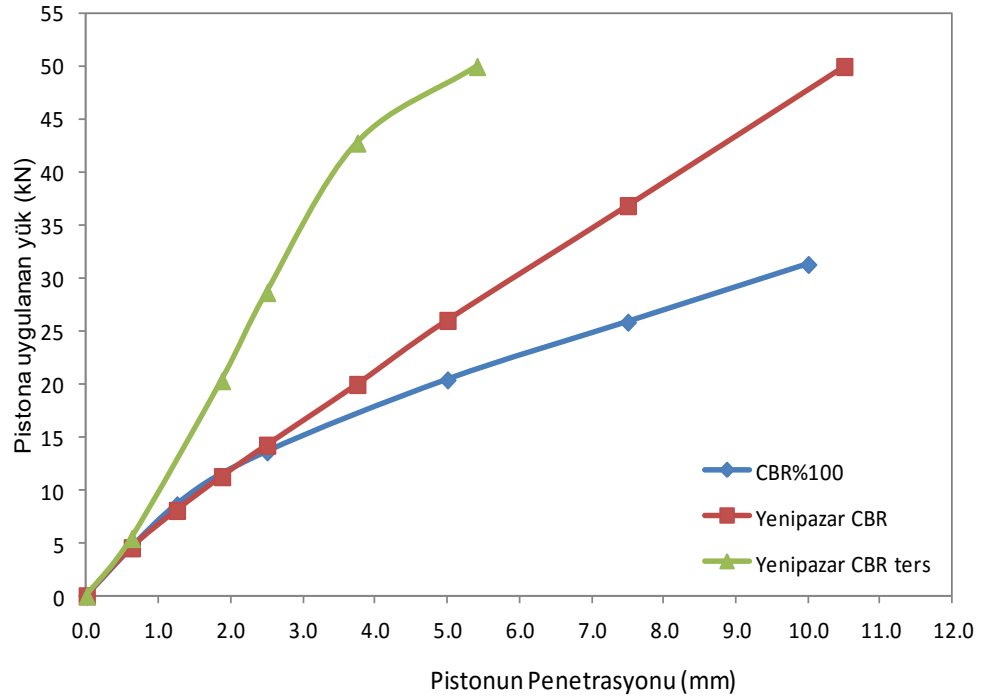
Şekil 5.14. Yenipazar İlçesi numunesi yaş CBR grafiği



Şekil 5.15. Merkez İlçe numunesi kuru CBR grafiği.



Şekil 5.16. Gölpazarı İlçesi numunesi kuru CBR grafiği.



Şekil 5.17. Yenipazar İlçesi numunesi kuru CBR grafiği.

Merkez İlçe numunesi, Gölpaazarı İlçesi numunesi ve Yenipazar İlçesi numunesi üzerine yapılan Kaliforniya taşıma oranı deneylerinin hepsinde Karayolu Teknik Şartnamesinde istenilen CBR %100 değerine ulaşılmış olduğu görülmektedir. Ayrıca numuneler 4 gün boyunca suya doyurulması işleminde hiçbir numunede şişme olayı gerçekleşmemiştir. Yaş ve kuru numunelere uygulanan CBR deney değerleri Çizelge 5.1. - Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

Çizelge 5.1. Merkez numunesi yaş CBR değerleri.

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.6		13.6		20.4	25.85	31.3
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	5.47	9.30	12.57	15.13	21.26	27.13	38.80	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	5.90		21.40	29.70	43.45	50.00		
Standart yük (kN)				13.24		19.96		
CBR %				224.32		250.50		

Çizelge 5.2. Gölpezarı numunesi yaş CBR değerleri.

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.60		13.60		20.40	25.85	31.30
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	5.67	9.73	13.29	16.17	22.19	28.61	41.56	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	6.35		22.62	31.17	45.21	50.00		
Standart yük (kN)				13.24		19.96		
CBR %				235.42		250.50		

Çizelge 5.3. Yenipazar numunesi yaş CBR değerleri.

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.60		13.60		20.40	25.85	31.30
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	4.86	8.47	11.90	14.74	20.32	26.55	37.13	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	5.60		20.86	29.05	43.11	50.00		
Standart yük (kN)				13.24		19.96		
CBR %				219.41		250.50		

Çizelge 5.4. Merkez numunesi kuru CBR değerleri.

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.6		13.6		20.4	25.85	31.3
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	5.23	9.00	12.17	14.96	20.85	26.76	38.07	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	5.74		20.93	29.16	42.95	50.00		
Standart yük (kN)				13.24		19.96		
CBR %				220.24		250.50		

Çizelge 5.5. Gölpaazarı numunesi kuru CBR değerleri.

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.60		13.60		20.40	25.85	31.30
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	5.41	9.43	13.02	15.95	21.88	28.13	41.11	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	6.13		22.31	30.93	44.84	50.00		
Standart yük (kN)				13.24		19.96		
CBR %				233.61		250.50		

Çizelge 5.6. Yenipazar numunesi kuru CBR değerleri

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.60		13.60		20.40	25.85	31.30
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	4.54	8.07	11.26	14.23	19.97	26.02	36.86	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	5.42		20.33	28.65	42.77	50.00		
Standart yük (kN)				13.24		19.96		
CBR %				216.38		250.50		

5.13. Arazide Kum Konisi Metodu ile Sıkışma Testi

Arazide yapılan kum konisi deneyi ile serimi yapılan yol dolgusu, alttemel tabakası ve temel tabakalarının sıkışma yüzdeleri hesaplanmaktadır. Tez çalışmasında numune olarak kullandığımız Merkez İlçe numunesinin temin edildiği İlyasbey Köyünde bulunan mermer ocağına kurulan seyyar konkasör yardımı ile büyük tonajlarda mermer atığı 0 - 25 mm gradasyona getirilerek Bilecik İl Özel İdaresi Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü ekiplerince Merkez İlçede bulunan Okluca Köyü yoluna temel malzemesi olarak serilmiştir. Serimi yapılan çaplanmış mermer atığı numuneleri silindir vasıtası ile sıkıştırılarak yol temeli imalatı yapılmıştır (Şekil 5.18.). Merkez İlçe numunesi ile yapılan temel imalatının üç farklı bölgesinde kum konisi deneyi yapılmış olup yapılan deney sonucunda malzemenin sıkışma yüzdeleri sırası ile %99.2,

%99.6, ve %99.7 olarak hesaplanmıştır. Yapılan arazi deneyleri sonucunda sıkışma yüzdeleri Karayolu Teknik Şartnamesi göre uygun olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.18. Kum konisi deneyi yapımı



Şekil 5.19. Mermer atığı ile yapılan temel tabakasının sıkıştırılması

5.14. X-Işınları Difraktogram Analizi (XRD), Cıva Porozimetresi ve X-Işını Floresans Spektrometre (XRF) Analizi

X-ışınları difraktogram analizi çalışması ile elde edilen, X-ray difraksiyon grafikleriyle, mermer içerisinde bulunan mineral fazları belirlenmiştir. Merkez, Gölpazarı ve Yenipazar mermer parçaları üzerinde yapılan X-ray analizi sonucunda Kalsitin esas mineral olduğu görülmüştür. Cıva porozimetresi analizi sonuçları Çizelge 5.7.' de verilmiştir. XRF deneyinden elde edilen veriler Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Cıva porozimetresi analizi sonuçları

Malzeme	Toplam Hacim (mL/g)	Porozite, (%)
Merkez	0.0018	0.8195
Gölpazarı	0.0013	0.5385
Yenipazar	0.0014	0.5250

Çizelge 5.8. XRF deneyi sonuçları

Analit	Merkez Numunesi (%)	Gölpazarı Numunesi (%)	Yenipazar Numunesi (%)
O	4.872	5.217	-
Na	-	0.041	0.046
Mg	0.093	0.081	0.102
Al	0.083	0.652	0.115
Si	0.296	1.052	0.288
P	0.275	0.287	0.271
S	0.009	0.011	0.008
Cl	0.009	0.021	0.010
K	0.011	0.160	0.058
Ca	94.229	91.329	98.735
Ti	-	0.198	-
Mn	-	0.026	0.034
Fe	0.086	0.865	0.167
Ni	-	0.013	0.016
Zn	-	0.017	0.012
Sr	0.036	0.026	0.133
Zr	-	0.005	-

6. MALİYET ANALİZİ

Yol inşaatlarında temel malzemesi olarak taş ocaklarından temin edilen kırma taş agregalar kullanılmaktadır. Bu malzemelerin hem elde edilme maliyetleri hem de nakliye bedelleri büyük bütçe oluşturduğundan daha yakın mesafelerde daha ucuza elde edilen malzemeler inşaat maliyetlerini ciddi ölçüde düşürmektedir. Doğal agreganın elde edilme maliyeti; taş ocağından patlayıcı madde kullanılarak çıkartılan taşın maliyeti, ocaktan elde edilen taşın kompresörle veya elle hazırlanması, lastik tekerlekli yükleyici ile yüklenmesi, konkasörde kırılması-elenerek sınıflandırılması, araçlara yüklenmesi ve inşaat sahasına nakliyesi Karayolları Genel Müdürlüğü 2015 yılı birim fiyatları dikkate alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 Doğal agreganın birim maliyet analizi.

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : Doğal Agreganın Analizi					
Açıklama : Taş ocağından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 inç) lik temel malzemesi maliyeti					
Birim :m³					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	2015 Fiyatı	Toplam (TL)
	36,4294% MALZEME				14.87
08.021(Y)	Ocaktaşı	m ³	1	14.87	14.87
	6,9662% İŞÇİLİK				4.63
01.409	Formen	sa	0.25	11.60	2.9
01.501	Düz işçi	sa	0.3	5.75	1.73
	15,1689% MAKİNA				9.01
03.521	Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti	sa	0.03	68.32	2.05
03.530	Konkasörün 1 saatlik ücreti	sa	0.045	154.69	6.96
	41,4355% DİĞER				9.14
KGM/08.021/K	El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması	m ³	1	8.35	8.35
02.017	"k" katsayısı (taşıt)	K	0.00375	210	0.79
				Toplam	37.65
				Yüklenici Karı%25	9.41
				Genel Toplam	47.06

2015 birim maliyetleri kullanılarak doğal agregadan elde edilen 1m³ temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti 47.06 TL olarak hesap edilmiştir. Doğal agreganın yığın birim ağırlığı ortalama 1.6 t/m³ olarak alındığı takdirde, 1 ton temel malzemesinin birim maliyeti 29.41 TL'dir.

Mermer parça atıkları maliyeti olarak; lastik tekerlekli yükleyici ile yüklenmesi, konkasörde kırılması, elenerek çaplarına ayrılması, taşıma aracına yüklenmesi ve inşaat sahasına nakliyesi işleri Karayolları Genel Müdürlüğü 2015 yılı birim fiyatları kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Mermer parça atıkları imal edilen 1 m³ temel malzemesinin 2015 yılı birim fiyatları ile nakliye hariç birim maliyeti 22.69 TL olarak hesap edilmiştir. Mermer parça atıklarının yığın birim ağırlığı ortalama 1.56 t/m³ olduğundan, 1 ton temel malzemesinin birim maliyeti 14.54 TL'dir.

Çizelge 6.2 Mermer parça atıklarının birim maliyet analizi.

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : Atık Mermer Analizi					
Açıklama : Atık mermerin konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 inç) lik temel malzemesi maliyeti					
Birim :m ³					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	2015 Fiyatı	Toplam(TL)
	0,0% MALZEME				-
	-				-
	10.9582% İŞÇİLİK				-
	23.8615% MAKİNA				9.01
03.521	Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti	sa	0.03	68.30	2.05
03.530	Konkasörün 1 saatlik ücreti	sa	0.045	154.69	6.96
	65.1802% DİĞER				9.14
08.021/K	El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması	m ³	1	8.35	8.35
02.017	"k" katsayısı (taşıt)	K	0.00375	210	0.79
				Toplam	18.15
				Yüklenici Karı%25	4.54
				Genel Toplam	22.69

Doğal agregadan temin edilen 1 ton temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti 29.41 TL olarak bulunmuştur. Mermer atıklarının değerlendirilmesi ile temin edilen 1 ton temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti de 14.54 TL olarak bulunmuştur.

1 ton temel malzemesi için fiyat farkı: $29.41 - 14.54 = 14.87$ TL olur.

İki malzeme arasındaki bu birim fiyat farkının taşıma uzaklığı olarak kaç kilometreye karşılık geldiği hesap edilecek olursa:

$M > 10$ km olan taşımalar için taşıma formülü aşağıdaki gibidir.

$$F = 1.25 \times A \times K \times (0.0007 \times M + 0.01)$$

(A: Yol durum katsayısı, K: Taşıma katsayısı birim fiyatı, M: Mesafe, F: Birim fiyat)

Analiz çalışması yapılan Yenipazar ve Gölpazarı ilçelerinin A katsayıları 1.25 olduğundan (İl Özel İdaresi Komisyon Raporu, 2015),

$$F = 1.25 \times 1.25 \times 210 \times (0.0007 \times M + 0.01) = (0.2756 \times M + 3.28) \text{ (TL/t) olur.}$$

$$F = 0.2296 \times M + 3.2812 = 14.87 \text{ TL/t}$$

$$M = 50.47 \text{ km olarak bulunur.}$$

Yapılan hesaplarla elde edilen 50.47 km taşıma uzaklığına mermer parça atıkları ve doğal agrega için ekonomik eşitlik mesafesi denilebilir. Diğer bir deyişle, mermer parça atıkları sahasına 50.47 km uzaklıktaki bir yol şantiyesi için, hemen şantiye yanında bir taş ocağı olsa dahi, 50.47 km uzaklıktan mermer parça atıkları getirerek kullanmak, doğal agrega kullanımı ile aynı maliyeti vermektedir.

7. SONUÇLAR

Bilecik İlinin mermer yapısı olarak birbirinden farklı özellikler gösteren 3 bölgesi olan Merkez İlçe, Gölpazarı İlçesi ve Yenipazar İlçesinden alınan mermer atık numunelerine Karayolları Teknik Şartnamesi Yol Üst Yapısı Temel Malzemelerinin kriterlerinin belirlendiği deneyler uygulanmış olup deney sonuçlarına göre tüm numunelerin temel malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Numuneler fiziksel özelliklerine bakıldığında donma etkisine karşı en dayanıklı numunenin Yenipazar İlçesinden alınan atık olduğu görülmektedir. Gölpazarı İlçesinden alınan mermer atık numunelerinin ise aşınma dayanımının diğer numunelere göre yüksek olduğu görülmektedir. Laboratuarda yapılan yaş ve kuru CBR deneyleri sonuçları ve arazide yapılan deney sonuçları Karayolu Teknik Şartnamesi kriterlerini sağlamıştır.

Bilecik İlinde yol malzemesi üreten taş ocaklarının ve konkasörlerinin Merkez İlçe ve Bozüyük İlçesinde olmasından ötürü Merkez İlçede mermer atıklarının yol temellerinde kullanılması daha ekonomiktir. İl merkezine uzak mesafede bulunan Gölpazarı ve Yenipazar ilçelerindeki mermer atıklarının konkasör yardımı ile istenilen dane boyutlarına getirilmesi halinde yol inşaatlarında temel malzemesi olarak kullanılmasının; hem mermer atıklarının bulunduğu yörede değerlendirilmesi açısından, hem de yol inşaatlarında nakliye maliyetlerini azaltması açısından uygun olacağı görülmektedir. Ayrıca Karayolları Teknik Şartnamesinde temel malzemesi fiziksel özellikleri, alttemel malzemesinin fiziksel özelliklerini de sağladığından dolayı, mermer atıkları alttemel gradasyonuna uygun hale getirilmeleri halinde alttemel malzemesi olarak da kullanılabilirler.

KAYNAKLAR

- Özcan, K., “Eflani (Karabük) bölgesindeki kireç taşının mermer ve agrega olma yönünden değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2010).
- Görgülü, K., “Bazı mermer ocaklarında (Isparta - Burdur - Sivas) işletme sistemlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas (1994).
- Arıkan, M., “Mermer ve Mermercilik”, *Ankara Basımevi*, (1968).
- Vardar, M., “Nerede, niçin, nasıl hangi mermer”, *Mermer Dergisi*,13:10-15(1990).
- Ersoy, T., “Ladik (Konya) mermerlerinin jeomekanik özellikleri ve işletmeciliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1991).
- Bilensoy, M., “Mermer fabrikaları toz atıklarının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2010).
- Uyanık, T., “Doğaltaşlar”, *Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Merkezi*, Ankara (2008).
- Lappa, Ş., Yıldız, A., Demirbilek, Ö., “ Mermercilikte atık sorunu, atıkların değerlendirilmesi ve çevre ilişkileri”, *Mermercilik Semineri Raporu*, Afyonkarahisar (1997).
- Çelik, M. Y., “Mermer atıklarının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar (1996).
- Terzi, S., Kardeşahin, M., , "Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımlarında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi*, 14(2): (2003).
- Çetin, A., “Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (1997).

- Tuncan, A., Çetin, A., Tuncan, M., "Lastik atıkların asfalt betonu kaplamaların mekanik özelliklerine etkileri", **2. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, Ankara (1998).
- Drew, L.J., Langer, W.H., Sach, Janet, S., 2002,"Enviromentalism and Natral Aggregate Mining", **Natural Resources Research**, Elsevier Sience, 11(11): (2002).
- Hınıslıoğlu, S., Ağar, E., "Use of Waste High Density Polyethylene as Bitumen Modifier in Asphalt Concrete Mix", **Material Letters**, (2003).
- D Rezende, R, I., and Carvalho, J. C., “ The Use of Quarry Waste in Pavement Constructioné”, **Resources Conversion & Recycling**, (2003).
- Zoorab, S.E., Suparma, L.B., “ Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plactics Aggregate Replacement”, **Cement & Concrete Compasites**, (2000).
- Okagbue, C., O., Onyeobi, T.U.S., “ Potansiyel of marble dust to Stabilise Red Tropical Soils For Road Construction”, **Engineering Geology**, 53: (1999).
- Banta, L., Cheng, K., Zaniewski, J.,”Estiomation of Limestone Particle Mass From 2D Images”, **Powder Technology**, 132: (2003).
- Yılmaz, E., Kesimal, A., Ercıktı, B., ve Kaya, R., “Seslidere Taşocağı'ndan Üretilen Kayanın Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği”, **3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu**, İstanbul (2003).
- İlcalı, M., “Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Doktora Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (1998).
- Deniz, M.T., Sönmez, İ., Yıldırım, S. A., Eren, B. K., “Kullanılmış otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışım performansına etkisi”, **6. Ulaştırma Kongresi**, İstanbul, (2005).

- Fındık F. S., “Karayolu Esnek Üst Yapılarının Alttemel Tabakasının Stabilizasyonunda Hafif Agregaların Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2005).
- Ilıcalı, M., “Asfalt ve uygulamaları”, *İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, (2001).
- Türel, Ö., “Antalya ve Çevre İllerdeki Bölgesel Devlet Yollarının Mevcut Üstyapı Uygulamalarının İncelenmesi, “Rijit Üstyapı” Formunda Yeniden Çözülmesi, Maliyet Karşılaştırmalarının Yapılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya (2002).
- Karaşahin, M., “Resilient Behaviour of Granular Materials for Analysis of Highway Pavements”, PhD thesis, *Department of Civil Engineering, University of Nottingham*, England (1993).
- Saltan, M., “Esnek üstyapıların analitik değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (1999).
- Umar, F., Ağar, E., “ Yol Üstyapısı”, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul (1991).
- Sezgin, H., “Karayolları Esnek Üstyapılarında Alttemel Tabakasının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2003).
- Gürer, C., “Atık mermer parçalarının bitümlü yol kaplamalarında değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar (2005)
- Arslan, M., “Bardat (Mersin-Gülnar-Köseçobanlı) göleti mühendislik jeolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2007)

KTŞ, “Karayolu Teknik Şartnamesi”, *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara (2013).

TS Türk Standartları 9581, “Şehiriçi Yollar - Esnek Üstyapılı Alttemel ve Temel Tabakaları Yapım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1991)

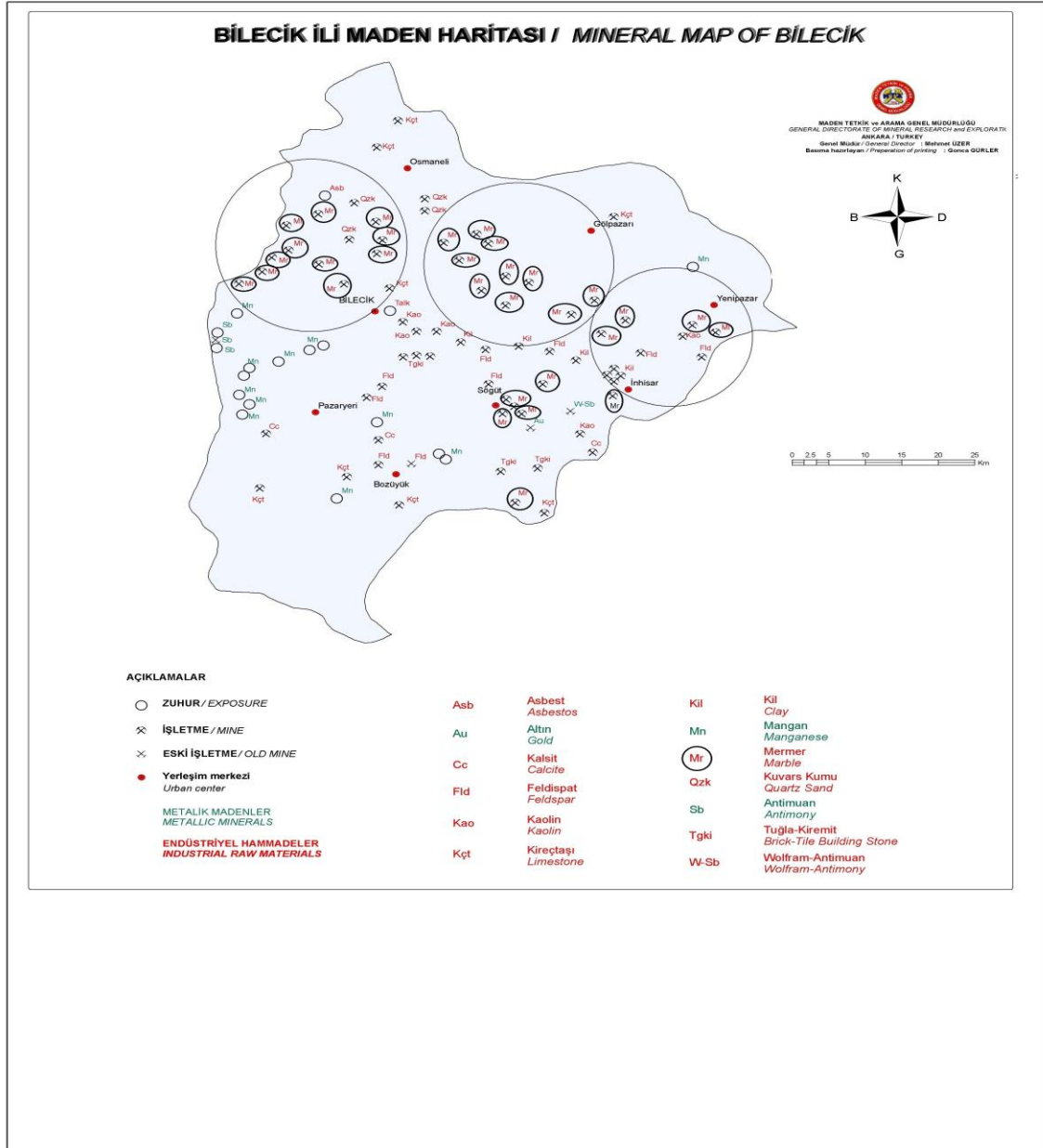
TS Türk Standartları 1900-1, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2006).

TS Türk Standartları 1900-1, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2006).

Birim Fiyat Analizleri, Karayolları Genel Müdürlüğü, *T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı*, Ankara (2015).

BMD, Bilmerder,(2013) Bilecik Mermer ve Granit Sanayicileri Birliği internet sitesi, www.bilmerder.org (Ziyaret Edilme Tarihi, 15.01.2015).

EK-1: Bilecik İli Maden Haritası.



EK-2: Elek analizi deneyi değerleri.

Elek açıklığı		% Geçen		
mm	in	Merkez	Gölpazarı	Yenipazar
50	2	100	100	100
37.5	1.1/2	100	100	100
25	1	97	100	100
19	3/4	82	78	80
9.5	3/8	69	63	65
4.75	No.4	49	46	46
2.00	No.10	33	36	31
0.425	No.40	18	23	14
0.075	Na.200	9	10	7

EK-3: Hava tesirlerine karşı kayıp deneyi değerleri.

	Merkez Numunesi	Gölpazarı Numunesi	Yenipazar Numunesi
Numune+Kab(gr)	1248	1268	1287
Deney sonrası Numune+Kab(gr)	1080	1131	1169
Kab ağırlığı (gr)	233	250	290
Numune (gr)	1015	1018	997
Deney sonrası Numune (gr)	847	881	879
Fark (gr)	168	137	118
Kayıp (%)	16.5517	16.5517	11.8355

EK-4: Los Angeles deneyi değerleri.

	Merkez Numunesi	Gölpazarı Numunesi	Yenipazar Numunesi
Toplam Numune (gr)	5002	5001	5003
Deney Sonrası Numune (gr)	4293	4425	4328
Fark (gr)	709	576	675
Yassılık (%)	14.17	11.52	13.49

EK-5: Yassılık indeksi deneyi değerleri.

	Merkez Numunesi	Gölpazarı Numunesi	Yenipazar Numunesi
Toplam Numune (gr)	3999	4000	4000
Yassı olmayan Numune (gr)	3164	3419	3522
Fark (gr)	835	581	478
Yassılık (%)	20.88	14.53	11.95

EK-6: Su emme deneyi değerleri.

	Merkez Numunesi	Gölpazarı Numunesi	Yenipazar Numunesi
Yaş Numune+Kab(gr)	1413.97	1533.02	1458
Kuru Numune+Kab(gr)	1413.741	1532.81	1457.82
Kab ağırlığı (gr)	341	310	441
Yaş Numune (gr)	1072.97	1223.02	1017
Kuru Numune (gr)	1072.741	1222.81	1016.82
Fark (gr)	0.229	0.21	0.18
Su Emme (%)	0.0213	0.0213	0.0177

EK-7: Metilen mavisi deneyi değerleri.

	Merkez Numunesi	Gölpazarı Numunesi	Yenipazar Numunesi
Metilen Mavisi (gr)	10	10	10
Numune (gr)	200	200	200
Deney Sonucu (g/kg)	0.50	0.50	0.50

EK-8a:Merkez ilçe modifiye proktor.**MODİFİYE PROKTOR DENEYİ**

Numunenin Yeri : Merkez İlçe

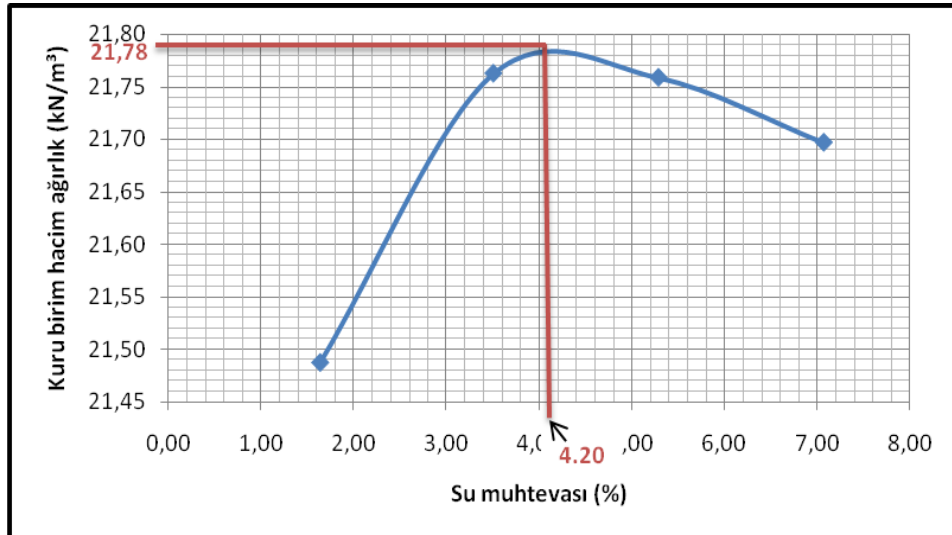
Kalıp Kütlesi, g : 6246.50

Kalıbın Hacmi, cm³ : 2066.51Kuru birim hacim ağırlık, γ_k , kN/m³

Deney Sıra No	1	2	3	4	5
Kap + Sıkıştırılmış numune,	10847.3	10991.70	11072.49	11140.30	
Kap kütlesi, g	6246.50	6246.50	6246.50	6246.50	
Sıkıştırılmış numune, g	4600,80	4745.20	4825.99	4893.80	
Kuru birim hacim kütle,	21.48	21.76	21.75	21.69	

Su muhtevası, w_n , %

	1	2	3	4	5
Yaş numune + kap, g	154.33	210.77	197.62	178.82	
Kuru numune + kap, g	134.72	205.46	190.27	169.42	
Su miktarı, g	2.21	5.31	7.35	9.4	
Kap, g	17.40	54.10	51.30	36.50	
Kuru numune, g	134.72	151.36	138.97	132.92	
Su muhtevası, (%)	1.64	3.50	5.28	7.07	

 ρ_k , kN/m³ :21,78 w_{opt} , % : 4,20

EK-8b: Gölpaazarı ilçe modifiye proktor.**MODİFİYE PROKTOR DENEYİ**

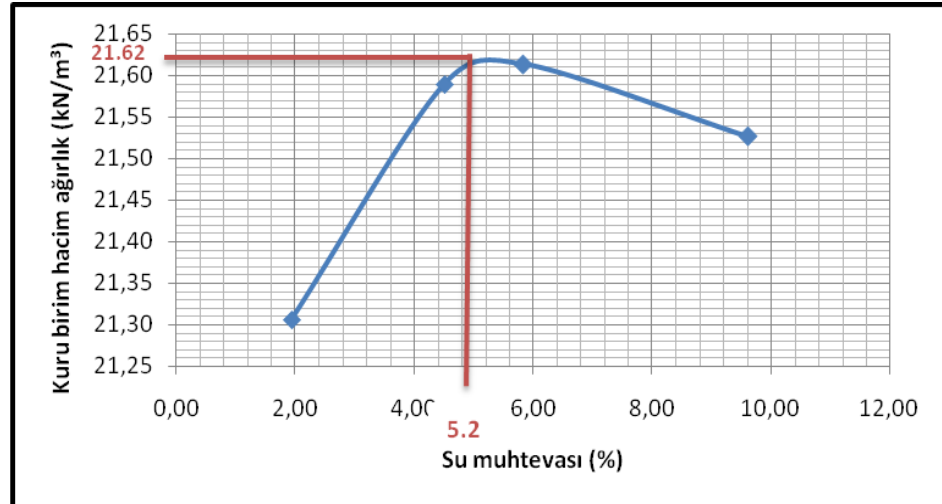
Numunenin Yeri : Gölpaazarı İlçe
 Kalıp Kütlesi, g : 6246.50
 Kalıbın Hacmi, cm³ : 2066.51

Kuru birim hacim ağırlık, γ_k , kN/m³

Deney Sıra No	1	2	3	4	5
Kap + Sıkıştırılmış numune,	10821.71	10999.20	11064.93	11217.11	
Kap kütlesi, g	6246.50	6246.50	6246.50	6246.50	
Sıkıştırılmış numune, g	4775.21	4752.70	4818.43	4970.61	
Kuru birim hacim kütle,	21.30	21.58	21.61	21.52	

Su muhtevası, w_n , %

	1	2	3	4	5
Yaş numune + kap, g	255.21	201.24	164.51	144.86	
Kuru numune + kap, g	251.28	194.79	156.32	133.49	
Su miktarı, g	3.93	6.45	8.19	11.37	
Kap, g	48.72	51.62	15.90	15.22	
Kuru numune, g	202.56	143.17	140.42	118.27	
Su muhtevası, (%)	1.94	4.50	5.83	9.61	



ρ_k , kN/m³ : 21,62

w_{opt} , % : 5,20

EK-8c: Yenipazar ilçe modifiye proktor.**MODİFİYE PROKTOR DENEYİ**

Numunenin Yeri : Yenipazar İlçe

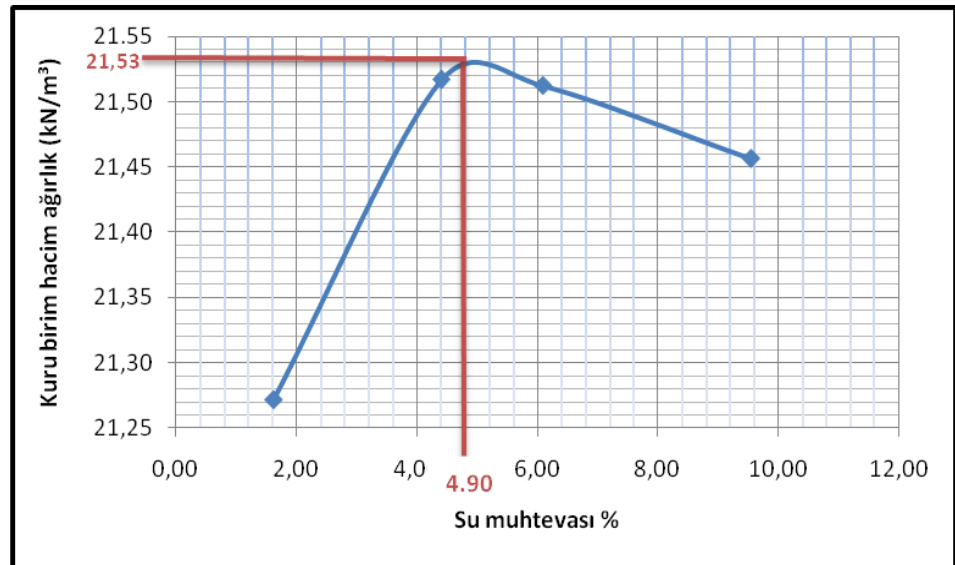
Kalıp Kütlesi, g : 6246.50

Kalıbın Hacmi, cm³ : 2066.51**Kuru birim hacim ağırlık, γ_k , kN/m³**

Deney Sıra No	1	2	3	4	5
Kap + Sıkıştırılmış numune,	10799.86	10978.69	11054.13	11197.76	
Kap kütlesi, g	6246.50	6246.50	6246.50	6246.50	
Sıkıştırılmış numune, g	4553.36	4732.19	4807.63	4951.26	
Kuru birim hacim kütle,	21.27	21.51	21.52	21.45	

Su muhtevası, w_n , %

	1	2	3	4	5
Yaş numune + kap, g	174.14	158.37	188.63	207.85	
Kuru numune + kap, g	171.61	152.36	179.92	194.21	
Su miktarı, g	2.53	6.01	8.71	13.64	
Kap, g	15.20	15.90	36.90	51.30	
Kuru numune, g	156.41	136.46	143.02	142.91	
Su muhtevası, (%)	1.61	4.40	6.09	9.54	

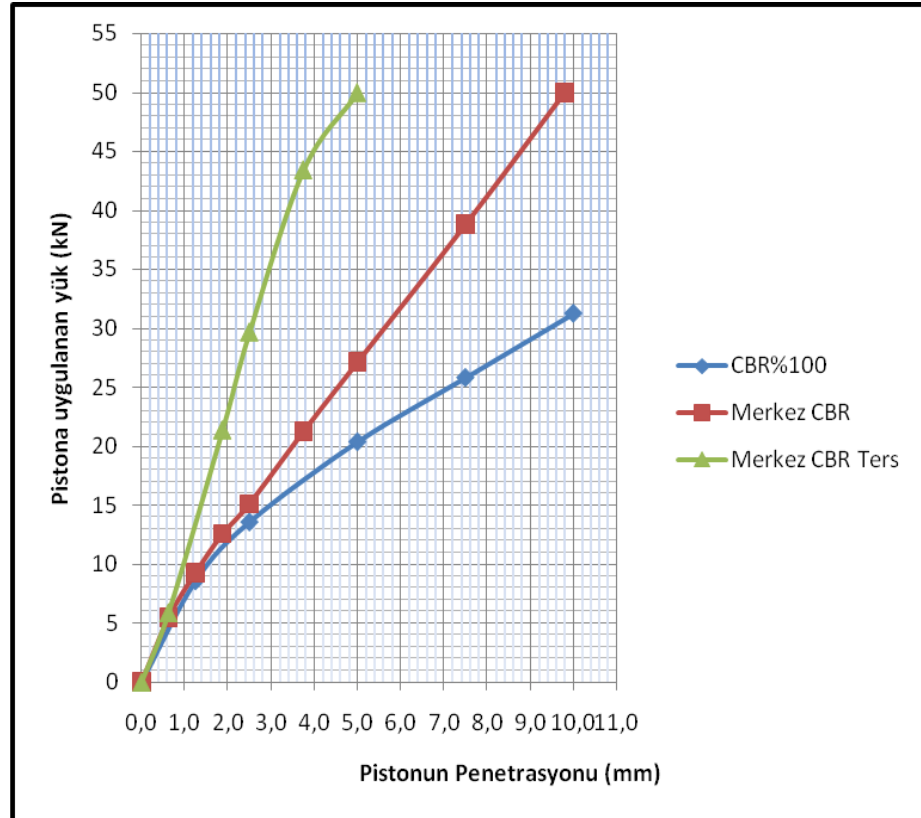
 ρ_k , kN/m³ : 21,53 w_{opt} , % : 4,90

EK-9a: Merkez ilçe yaş Kaliforniya taşıma oranı.

KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI DENEYİ

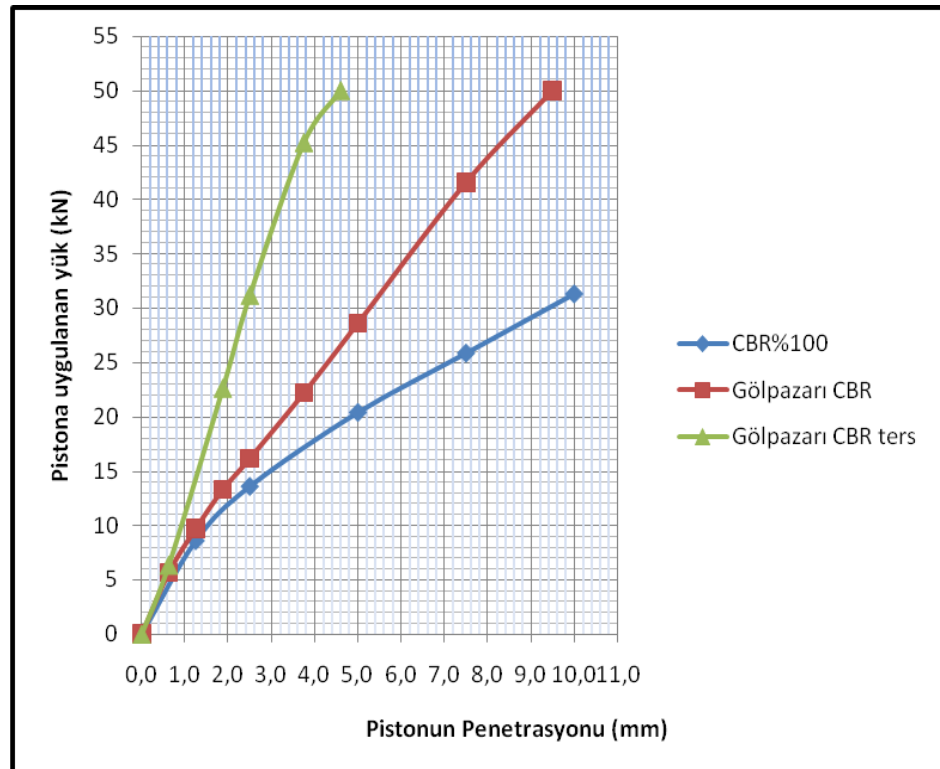
Numunenin Yeri : **Merkez** İlçe numunesi (yaş)

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.6		13.6		20.4	25.85	31.3
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	5.47	9.30	12.57	15.13	21.26	27.13	38.80	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	5.90		21.40	29.7	43.45	50.00		



EK-9b: Gölpazarı ilçe yaş Kaliforniya taşıma oranı.**KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI DENEYİ**Numunenin Yeri : **Gölpazarı** İlçesi numunesi (yaş)

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.60		13.60		20.40	25.85	31.30
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	5.67	9.73	13.29	16.17	22.19	28.61	41.56	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	6.35		22.62	31.17	45.21	50.00		

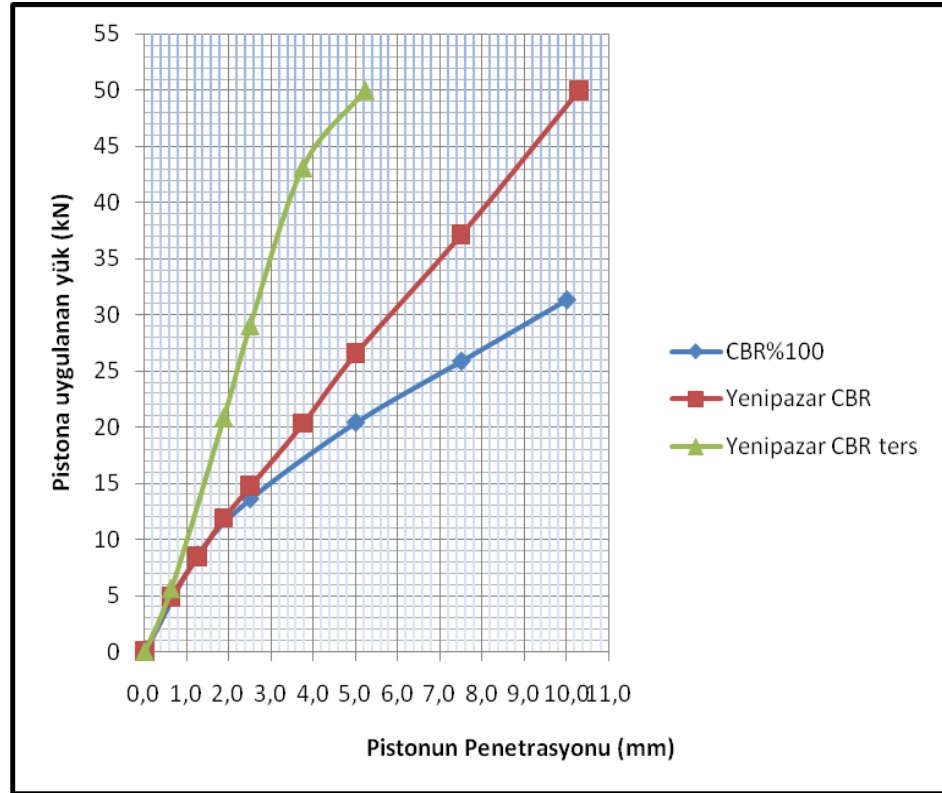


EK-9c: Yenipazar ilçe yaş Kaliforniya taşıma oranı.

KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI DENEYİ

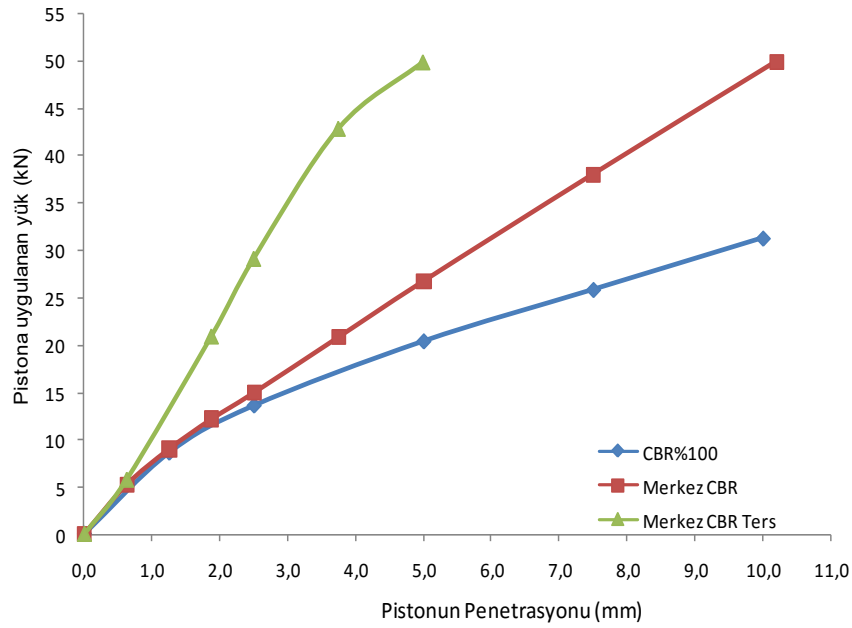
Numunenin Yeri : **Yenipazar** İlçe numunesi (yaş)

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.6		13.6		20.4	25.85	31.3
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	4.86	8.47	11.90	14.74	20.32	26.55	37.13	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	5.60		20.86	29.05	43.11	50.00		



EK-9d: Merkez ilçe kuru Kaliforniya taşıma oranı.**KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI DENEYİ**Numunenin Yeri : **Merkez** İlçe numunesi (kuru)

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.6		13.6		20.4	25.85	31.3
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	5.23	9.00	12.17	14.96	20.85	26.76	38.07	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	5.74		20.93	29.16	42.95	50.00		

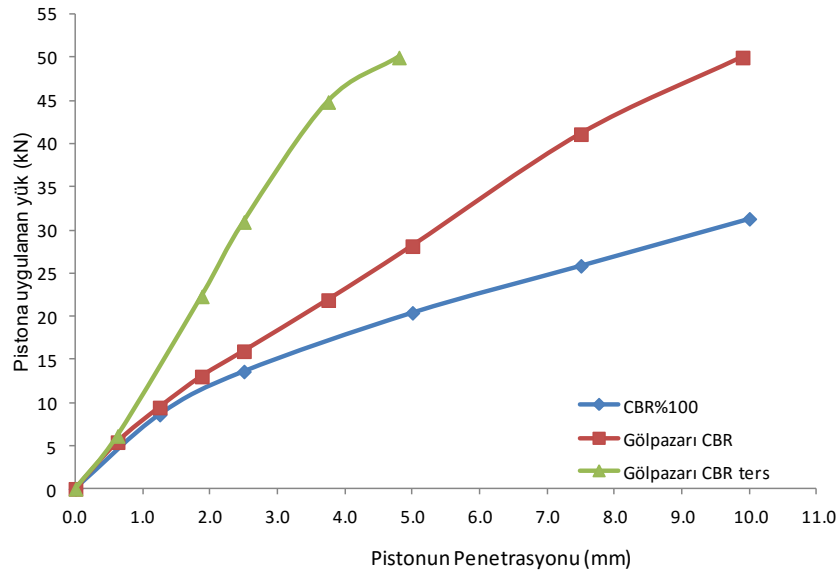


EK-9E: Gölpazarı ilçe kuru Kaliforniya taşıma oranı.

KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI DENEYİ

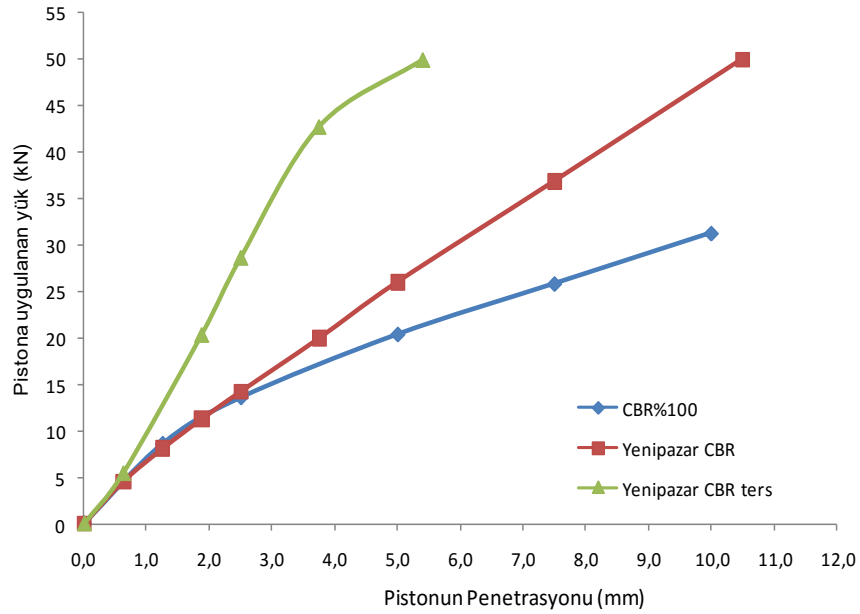
Numunenin Yeri : **Gölpazarı** İlçesi numunesi (kuru)

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.60		13.60		20.40	25.85	31.30
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	5.41	9.43	13.02	15.95	21.88	28.13	41.11	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	6.13		22.31	30.93	44.84	50.00		



EK-9f: Yenipazar ilçe kuru Kaliforniya taşıma oranı.**KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI DENEYİ**Numunenin Yeri : **Yenipazar** İlçe numunesi (kuru)

Penetrasyon (mm)	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5	7.5	10
CBR %100 eğrisi için uygulanan yük (kN)		8.6		13.6		20.4	25.85	31.3
Numune ön yüze uygulanan yük (kN)	4.54	8.07	11.26	14.23	19.97	26.02	36.86	50.00
Numune ters yüze uygulanan yük (kN)	5.42		20.33	28.65	42.77	50.00		



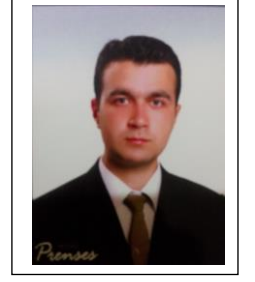
EK-10: Kum konisi sıkışma testi değerleri.

Merkez İlçe numunesine kum konisi ile sıkışma testi				
	Birim	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Kumun birim ağırlığı	g/cm ³	1.39	1.39	1.39
Cihaz + kum ağırlığı	g	7780	6843	6713
Cihaz + kum ağırlığı (deney sonrası)	g	4900	4040	3625
Konideki kumun ağırlığı	g	1707	1707	1707
Çukurdaki kumun ağırlığı	g	1173	1096	1381
Çukur hacmi	cm ³	844	788	994
Çukurdan çıkan yaş örnek ağı.	g	1887	1786	2230
Çukurdan çıkan kuru örnek ağı.	g	1867	1752	2208
Optimum su içeriği	%	4.20	4.20	4.20
Max. Kuru birim ağırlık	g/cm ³	2.23	2.23	2.23
Su içeriği	%	1.07	1.94	1.00
Kuru birim ağırlık	g/cm ³	2.21	2.22	2.22
Sıkışma yüzdesi	%	99.2	99.6	99.7

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gökhan YAKŞE
Doğum Yeri ve Tarihi : Beykoz - 21.02.1986



Eğitim Durumu

Lise Öğrenimi : Paşabahçe Ferit İnal Lisesi
Lisans Öğrenimi : İnşaat Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce, Arapça

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurum : Bilecik Valiliği, Bilecik İl Özel İdaresi

İletişim

Adres : Hürriyet Mahallesi Dumlupınar 5. Sokak
No: 2 Merkez BİLECİK, Bilecik İl Özel İdaresi
Tel : 0228 212 10 80 (316 dahili)
E-Posta Adresi : gokhanyakse@gmail.com

Akademik Çalışmaları

- Ural, N., Yakşe, G., “Mermer atık parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi”, Fen Bilimleri Dergisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik (2015)
- “Adapazarı Terminal Kavşağı sinyalizasyon yönetimi projelendirilmesi”, Lisans Bitirme Tezi, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya (2009)
- “Çelik sanayi yapısı tasarımı”, Lisans Tasarım Tezi, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya (2008)

Yabancı Dil Bilgisi

İngilizce (Orta), Arapça (Az)

Tarih:05/01/2016