

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KOP DAĞI (BAYBURT) KROM MADENİ PASA MALZEMESİNİN KARAYOLU
ÜSTYAPI TEMEL TABAKASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS

Elif Nur ACI

HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KOP DAĞI (BAYBURT) KROM MADENİ PASA MALZEMESİNİN KARAYOLU
ÜSTYAPI TEMEL TABAKASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE USABILITY OF KOP MOUNTAIN (BAYBURT) CHROME
MINE RUST MATERIAL AS HIGHWAY PAVEMENT BASE LAYER**

YÜKSEK LİSANS

Elif Nur ACI

**HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KOP DAĞI (BAYBURT) KROM MADENİ PASA MALZEMESİNİN KARAYOLU
ÜSTYAPI TEMEL TABAKASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE USABILITY OF KOP MOUNTAIN (BAYBURT) CHROME
MINE RUST MATERIAL AS HIGHWAY PAVEMENT BASE LAYER**

YÜKSEK LİSANS

Elif Nur ACI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tevfik SEFEROĞLU

**HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Kop Dağı (Bayburt) Krom Madeni Pasa Malzemesinin Karayolu Üstyapı Temel Tabakası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

13/06/2024

Elif Nur ACI

TEŞEKKÜR

“Kop Dağı (Bayburt) Krom Madeni Pasa Malzemesinin Karayolu Üstyapı Temel Tabakası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez, Gümüşhane Üniversitesi GÜBAP2904:Madencilik İhtisaslaşma Destek Programı tarafından desteklenen 23.F5110.04.01 proje nolu “Maden Sahalarındaki Pasa Kayaç Malzemesinin Karayolu Üstyapı Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması: Kop Dağı (Bayburt) Krom Madeni Örneği” isimli proje kapsamında hazırlanılmıştır.

Tez çalışmam boyunca zaman ayırarak her aşamada bilgi, görüş ve tecrübelerini paylaşan, planlama ve tasarı konusunda yol gösterici olan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tevfik SEFEROĞLU’na saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca karşılaştığım problemlere gerek bakış açılarıyla gerekse tecrübe ve yardımlarıyla her türlü desteği sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül Güneş SEFEROĞLU’na, çalışmamın jeolojik incelemeler bölümünde desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Enver AKARYALI’ya teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her evresinde maddi ve manevi destekleriyle beni güçlü kılan, sevgi, sabır ve inançlarıyla bugüne gelmemde en büyük rolü oynayan annem, babam ve kardeşlerime sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Elif Nur ACI
GÜMÜŞHANE – 2024

ÖZET

Bu çalışmada, Kop Dağı (Bayburt) Krom maden sahasında cevher üretim faaliyetleri sonucu cevher ile birlikte ortaya çıkan ve ekonomik değeri bulunmayan atıl durumdaki pasa malzemenin karayolu üstyapısında bulunan temel malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Metalik maden sahasından seçilen krom pasa kayaç örnekleri belirli oranlarda doğal agregaya ile karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Numune karışım oranları %100 doğal agregaya, %15 pasa+%85 doğal agregaya, %30 pasa+%70 doğal agregaya, %45 pasa+%55 doğal agregaya, %60 pasa+%40 doğal agregaya, %100 pasa olarak belirlenmiştir.

Bu numuneler üzerinde agregaya özelliklerinin belirlenmesi için birtakım deneyler/testler (elek analizi, modifiye proktor ve CBR) uygulanarak bu malzemelerin fiziksel ve mekanik karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Bu numuneler üzerinde gerçekleştirilen testler sonucu elde edilen veriler ile en yüksek CBR oranı belirlenmiştir. Krom pasa örneklerinden parlak kesitler hazırlanarak mikroskobik incelemeleri ve pasa kayaç malzemesinin petrografik-mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde karayolu üstyapısında bulunan temel ve alttemel tabakalarının Karayolları Teknik Şartnamesi'nde belirtilen kriterlere uygunluğu araştırılarak pasa malzemenin geri dönüşüm metoduyla bu alanda kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; krom pasasının fiziksel ve mekaniksel nitelikleri kapsamında karayolu üstyapısının temel tabakalarında doğal agregaya yerine kullanılabileceği ve ekonomik olarak önemli kazançlar oluşturabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karayolu temel tabakası, Krom pasası, Geri dönüşüm, Maliyet analizi

SUMMARY

In this study, the potential use of waste material, which lacks economic value and is generated alongside ore during the ore production activities at the Kop Mountain (Bayburt) Chromite Mine site, as a base material in road pavements was investigated. Samples were prepared by blending chromite waste rock with natural aggregate in varying proportions: 100% natural aggregate, 15% waste + 85% natural aggregate, 30% waste + 70% natural aggregate, 45% waste + 55% natural aggregate, 60% waste + 40% natural aggregate, and 100% waste.

A series of tests, including sieve analysis, modified proctor, and California Bearing Ratio (CBR) tests, were conducted to determine the aggregate properties and the physical and mechanical characteristics of these materials. The data obtained from these tests allowed for the determination of the highest CBR strength ratio. Additionally, polished sections of the chromite waste samples were prepared for microscopic examination to identify the petrographic and mineralogical properties of the waste rock material. The findings were then compared against the criteria specified in the Highway Technical Specifications to assess the suitability of the base and subbase layers in road pavements and to evaluate the feasibility of using the waste material through a recycling method.

As a result, it has been determined that chrome waste, within the scope of its physical and mechanical properties, can be used in the base layers of road superstructures instead of natural aggregate, and can create significant economic gains.

Key Words: Highway base layer, Chrome waste, Recycling, Cost analysis

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
EKLER DİZİNİ	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1.GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Maden Pasaları.....	2
1.3. Literatür Araştırması	4
1.3.1. Uçucu Küllerin Karayollarında Kullanılması ile İlgili Yapılan Çalışmalar	5
1.3.2 Karayollarında Cürufların Kullanılması ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	6
1.3.3. Karayollarında Mermer Atıklarının Kullanılması İle İlgili Çalışmalar	8
1.3.4. Karayolunda İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Kullanılması İle İlgili Çalışmalar	10
1.3.5. Karayolunda Kazınmış RAP Malzemesinin Kullanılması İle İlgili Çalışmalar ...	12
1.3.6. Karayolu Teknik Şartnamesine Göre Plentmiks Temel Tabakası Özellikleri.....	13
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1. Arazi Çalışmaları	18
2.2. Laboratuvar Çalışmaları	20
2.2.3. Modifiye proktor deneyi.....	25
2.2.4. Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi.....	27
2.3. Maliyet Analizi	27
3. BULGULAR VE İRDELEME	29
3.1.CR DA CR-DA Karışım Numunelerine Ait Test Bulguları.....	29
3.1.1 Elek Analizi Test Bulguları	29
3.1.2. Modifiye Proktor Analizi Test Bulguları	31
3.1.2.1 %15 CR-%85 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları	31
3.1.2.2 %30CR-%70 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları	33

3.1.2.3. %45CR-%55 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları	34
3.1.2.4. %60CR-%40 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları	35
3.1.2.5. %100CR Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları	36
3.1.2.6 %100 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları	37
3.1.2.7 Modifiye Proktor Analizi Test Bulguları İncelemesi	38
3.1.3 CBR Analizi Test Bulguları.....	39
3.1.3.1. %15CR-% 85DA Karışımların CBR Testi Bulgular.....	39
3.1.3.2. %30CR-% 70DA Karışımların CBR Testi Bulgular.....	40
3.1.3.3. %45CR-% 55DA Karışımların CBR Testi Bulguları.....	40
3.1.3.4. %60CR-% 40DA Karışımların CBR Testi Bulguları.....	40
3.1.3.5. %100CR Karışımların CBR Testi Bulguları	41
3.1.3.6. %100 DA Karışımların CBR Testi Bulguları	41
3.1.3.7. CBR Testi Bulgularının İrdelenmesi	42
3.2. MALİYET ANALİZİ BULGULARININ İRDELENMESİ	44
3.2.1. %100 DA'nın Ocaktan Konkasöre Taşınma Maliyeti	44
3.2.2. CR Pasa Malzemesini Siloya Taşıma Maliyeti.....	44
3.2.3. Temel Tabakası Yapım Maliyeti.....	45
3.2.4. CR Pasa-DA Karışımlarından Yapılan Temel Tabakalarının Ekonomik Analizi	47
3.2.5. %100 DA Malzemesinden Yapılan PMT Tabakasının Maliyet Analizi	48
3.2.6. DA-CR Karışımlarından Yapılan PMT Tabakasının Maliyet Analizi.....	49
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKÇA	57
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	61

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kaba agrega fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013).....	13
Tablo 2. İnce agrega fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013)	14
Tablo 3. Plentmiks temel tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013)	14
Tablo 4. Plentmiks temel tabakası sıkışma kriteri (KTŞ, 2013).....	14
Tablo 5. Karışım oranları	25
Tablo 6. Elek analizi sonuçları	30
Tablo 7. %15CR- %85DA karışımlarının modifiye proktor testi	32
Tablo 8. %30CR- %70DA karışımlarının modifiye proktor testi	33
Tablo 9. %45CR- %55DA karışımlarının modifiye proktor testi sonuçları	34
Tablo 10. %60CR- %40DA karışımlarının modifiye proktor testi	35
Tablo 11. %100 CR karışımlarının modifiye proktor testi	36
Tablo 12. %100 CR karışımlarının modifiye proktor testi	37
Tablo 13. CR- DA karışımlarının modifiye proktor testi sonuçları	38
Tablo 14. %15CR-%85DA numunesinin 2,54 mm ve 5,08mm penetrasyon batması için CBR sonuçları	39
Tablo 15. %30CR-%70DA numunesinin 2,54 mm ve 5,08mm penetrasyon batma CBR sonucu	40
Tablo 16. %45CR-%55DA numunesinin 2,54 mm ve 5,08mm penetrasyon batma CBR sonucu	40
Tablo 17. %60CR-%40DA numunesinin 2,54 mm ve 5,08mm penetrasyon batma CBR sonucu	41
Tablo 18. %100CR numunesinin 2,54 mm ve 5,08mm penetrasyon batma CBR sonucu	41
Tablo 19. %100DA karışımlarının 2,54 mm ve 5,08mm penetrasyon için CBR değeri	41
Tablo 20. CR-DA karışımlarının yaş CBR test sonuçları	42
Tablo 21. Kazıdan farklılık malzemelerinin taşınmasında kullanılan pozlar.....	45
Tablo 22. KGM/6100/3 pozu analizi	46
Tablo 23. Özel pozlar ile temel tabaka yapım maliyeti hesabında kullanılan veriler.....	47
Tablo 24. DA ve CR-DA karışımları için plentte harmanlanacak numunelerin dane Çaplarının karışım oranları	48

Tablo 25. PMT tabaka yapımında kullanılacak malzemelerin V_{kmax} ve toplam malzeme miktarları.....	48
Tablo 26. %100 DA ile yapılacak temel tabakasının maliyet analizi.....	49
Tablo 27.%15CR- %85DA ile yapılacak temel tabakasının maliyet analizi	50
Tablo 28. CR pasa malzemelerinin farklı mesafelere bağlı taşıma maliyeti tutarları	51
Tablo 29. PMT yapımı, CR pasa atık malzemesinin siloya taşınma maliyeti	52
Tablo 30. CR pasa atık malzemesi karışımı sağladığı kâr veya zarar miktarları ve oranları.....	52



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Endüstriyel atık malzemelerin yol üstyapılarında kullanım örnekleri (Çağlar, 2007).....	4
Şekil 2. Çalışmanın İş Akışı Şeması	17
Şekil 3. Çalışma alanının jeoloji haritası (URL-2)	18
Şekil 4. Krom cevherleşmesinin içinde geliştiği ultramafik kayaların arazi görünüşleri	19
Şekil 5. Doğal agrega numuneleri	20
Şekil 6. Ultramafik kayaların mikroskobik incelemeleri (Olv: .Olivin, Prk: Piroksen, Krm: Kromit)	21
Şekil 7. Kromit ve kemenerit minerallerinin makroskobik görünüşleri	22
Şekil 8. Kromit içeren örneklerin mikroskobik görünüşleri (Krm: Kromit)	23
Şekil 9. Krom pasası ve DA malzemenin elek analizleri sırasında kullanılan numuneleri	24
Şekil 10. Modifiye proktor deney aleti	26
Şekil 11. CBR testi numunelerin sıkıştırılması	27
Şekil 12. Temel tabakası için belirtilen şartname limitleri ve %100 DA elek analizi	29
Şekil 13. CR-DA numunelerinin gradasyon eğrilerinin şartname limitleriyle ilişkisi ...	30
Şekil 14. 15CR- %85DA karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi.....	32
Şekil 15. %30CR- %70DA karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi	33
Şekil 16. %45CR- %55DA karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi	34
Şekil 17.%60CR- %40DA karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi	35
Şekil 18.%100CR karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi	36
Şekil 19. %100CR karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi	37
Şekil 20. CR-DA karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi.....	38
Şekil 21. Farklı penetrasyon derinlikleri için %CR-DA CBR ilişkisi	42

EKLER DİZİNİ

EK 1.%15 CR-%85DA Elek analizi sonuçları ve gradasyon grafiği	61
EK 2. %30 CR-%70DA Elek analizi sonuçları ve gradasyon grafiği	62
EK 3. %45 CR-%55 DA Elek analizi sonuçları ve gradasyon.....	63
EK 4. %60 CR-%40 DA Elek analizi sonuçları ve gradasyon grafiği	64
EK 5. %100 CR Elek analizi sonuçları ve gradasyon grafiği	65



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Güçlülük Katsayısı
A.B.D	: Amerika Birleşik Devleti
C	: Cilt
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
cm	: Santimetre
CR	: Krom
ÇBGT	: Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel
DA	: Doğal Agregat
F	: Mali Tutar
GT	: Granüler Temel
İ.Y.A	: İnşaat yıkıntı atıkları
K	: Motorlu araçlara ait taşıma katsayısı
kg	: Kilogram
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
km	: kilometre
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
M	: Ortalama taşıma mesafesi
m	: Metre
mm	: Milimetre
MMSD	: Madencilik, Mineraller ve Sürdürülebilir
PMT	: Plentmiks Temel
RAP	: Recycled Asphalt Pavement
TL	: Türk Lirası
vb.	: Ve benzeri
vd.	: Ve diğerleri, ve devamı
Wopt	: Optimum su miktarı
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
Yk	: Zemin kuru birim hacim ağırlığı

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnşaat sektörü ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli yenilenme ve değişim sürecindedir. Tükenmek üzere olan doğal kaynaklar ve artan maliyetlerin karşılanabilmesi için yeni yöntem ve kaynakların oluşturulması gerekmektedir. Karayolu üstyapısı inşasında doğal agrega kullanım oranlarının azaltılması, doğal kaynakların kontrollü kullanımı, düşük maliyetli ve kaliteli malzeme üretimi gerekmektedir. Bu nedenle, halihazırdaki hammadde rezervlerinin ve öz kaynakların kontrollü bir şekilde kullanımı önem taşımaktadır. Bu sebeple geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı önem arz etmektedir.

Atık yönetimi konuları, artan atıklar, kapasitesi sınırlı atık depolama alanları ve maliyetleri ve yeni atıklar için tesislerinin kurulması dünya genelinde insanoğlunun dikkatini çekmektedir. Atık miktarı gün geçtikçe artmakta ve atık depolama stratejileri gelişmekte ve önemli hale gelmektedir. Atıklar insanoğlunun sağlığı ve doğa üzerindeki kötü etkilerini sürekli olarak en aza indireyecek şekilde doğru alanlara kurulum ve korunması gerekmektedir.

Avrupa ülkeleri doğal kaynak tüketiminde önde gelen ülkelerden olup bu durum diğer büyümekte olan Dünya ülkeleri için sorun teşkil etmektedir. Avrupa ülkelerindeki nüfus artışı ve yaşam standartlarını geliştirme çabası yeni enerji ve doğal kaynak gereksinimini de beraberinde getirmektedir. Arenamızda kısıtlı doğal kaynaklardan dolayı "geri dönüşüm" Dünya genelinde son dönemlerin trend cümlesi haline gelmiştir. Ülkemizde ise geri dönüşüm çalışmaları son dönemlerde belirli bir hıza ulaşsa da henüz istenilen seviyede değildir. Bu durumun başlıca sebepleri teknoloji alanındaki eksiklikler ve geri dönüşüm bilincinin yerleşmemesi olarak sıralanabilir. Geri dönüşüm kavramı ve bilinci Ülkemiz insanında yer edindikçe, tarımdan turizme, inşaattan sanayiye her alanda önemli kazanımlar beraberinde gelecektir.

Ülkelerin enerji kaynakları arama çalışmaları, birey sayılarının hızlı artışına bağlı olarak enerji talebinin yoğunlaşması ile ülkemizin geri dönüşüm konusunda maden atıkları için düzenlemeler yapma ihtiyacı duyulmuştur. Yapılan düzenlemeler neticesinde maden ocaklarına ağırlaştırılmış yükümlülükler getirildiğinden geri dönüşüm uygulamaları gelişmeye başlamıştır. Ülkemizde bulunan Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı geri dönüşüm konusu üzerinde hassasiyetle durmakta olup bu yönde yapılan araştırmalar, atık dönüşümleri hakkında bilgi sahibi olma, atık miktarlarını

azaltma, atıkların çevreye olan zararlı etkisini azaltma ve mevcutta olan doğal kaynaklarımızı koruyarak hammadde ihtiyaçlarını azaltma amacını taşımaktadır.

Bu tez, krom madenlerindeki kazı çalışmaları sırasında ekonomik değeri bulunmayan ya da işlenecek kadar cevher içeriğine sahip olmayan krom pasa malzemesinin karayolu plentmiks temel tabakasında (PMT) kullanılabilirliğini araştıran çalışmaları kapsamaktadır. Agregalı karayolu temel tabakalarının en önemli malzemesini oluşturmaktadır. Agreganın yol tabakalarındaki kullanım oranı, doğal agrega rezervlerini azalttığından ve yeni taş ocağı arayışlarına neden olduğundan, geri dönüşüm seçeneği değerlendirilmeden bu problemlerin aşılması mümkün gözükmemektedir. Bu alandaki agrega ihtiyacını karşılamak için krom pasasının karayolu üstyapı tabakasında kullanılması hem ekonomik hem de çevreci bir yöntem olarak kabul görecektir. Çalışmanın önemi, krom pasasının madenlerde depolanma probleminin çözülecek ve karayolu üstyapı tabakalarındaki agrega ihtiyacının da geri dönüşüm yöntemiyle karşılanacak olmasıdır. Bu çalışmanın sonuçları, önemli bir bilimsel materyal olacak ve krom pasasının plentmiks temel tabakasında kullanılması konusunda ışık tutacaktır.

1.2. Maden Pasaları

Maden ocakları milyonlarca ton maden pasası üretmektedir. Madencilik, Mineraller ve Sürdürülebilir Kalkınma Projesi'ne (MMSD) göre, dünyada yaklaşık 3500 aktif çalışan madencilik bertaraf tesisi mevcuttur. Bunlar dışında, metallere yönelik oluşan ihtiyaç, pasa atıklarından da cevherlerin çıkarılmasına neden olmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, karmaşık cevherlerin madenciliği, ürün başına ton cinsinden daha fazla pasa üretmekte ve pasaların ince daneli agrega oranını artırmaktadır (Ahmed vd., 2011).

Madenlerin pasalarının depolanma süreci düzgün yönetilmediğinde hem hava hem de su yoluyla kirlilik oluşturabilmektedir. Pasa yönetimlerinde sorun oluştuğunda madencilik pasalarının zararları hem endüstriyi hem de toplumu olumsuz yönde etkilemektedir (Andreola vd., 2012). Maden cevheri arama, geliştirme, çıkarma, taşıma ve işlenmesi vb. olmak üzere madencilik sektöründe her alanda atık üretilmektedir.

Maden atıkları genel olarak 3 sınıftan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla;

Endüstriyel maden atıkları: Bu atıklar, endüstriyel çalışmalardan kaynaklanmakta olup madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan pasa olarak değerlendirilmektedir. Kauçuk, kâğıt, kumaş, kum, cüruf vb. endüstriyel maden atıklarına örnek verilebilir.

Enerji Maden Atıkları: Enerji maden atık pasaları enerji üretimi sırasında oluşan ve çoğunlukla kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerji gibi kaynakların kazanımından

sonra geriye kalan atıklar olarak bilinir. Bu atıklar, enerji üretimi tesislerinde kullanılan yakıtların işlenmesi, yanması veya nükleer işlemler sonucu ortaya çıkmaktadır.

Metalik maden atıkları: Metalik maden sahalarından elde edilen bu pasalar, belirli bir işleme sürecinden geçtikten sonra sanayilerde hammadde olarak tekrar tekrar kullanılabilir. Bu sahalarından elde edilen birinci atık türü yüzey kazısı sırasında biriken pasa malzemesi, ikinci atık türü ise cevherin ortaya çıkarılması sonrasında arda kalan flotasyon atığıdır. Altın, gümüş, krom, bakır, demir vb. madenler metalik madenlere örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada, metalik maden örneklerinden birisi olan krom madeni pasası kullanılmıştır.

Doğada bulunan kimyasal bir element olan krom, metal ve parlak bir görünüme sahiptir. Atom numarası 24 olan ve “Cr” sembolü ile gösterilen element metal yüzeylere kaplanır ve paslanmanın önlenmesine yardımcı olur. Ayrıca farklı alaşımların bir bileşeni olarak da kullanılabilir. Dirençli bir malzeme olması nedeniyle bugün pek çok sektör içerisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Krom metal yüzeylerin korunmasının yanı sıra estetik görünümün iyileştirilmesi gibi bir amaçla da kullanılabilir. Çelik alaşımlar ile birlikte kullanıldığında mukavemeti artırır.

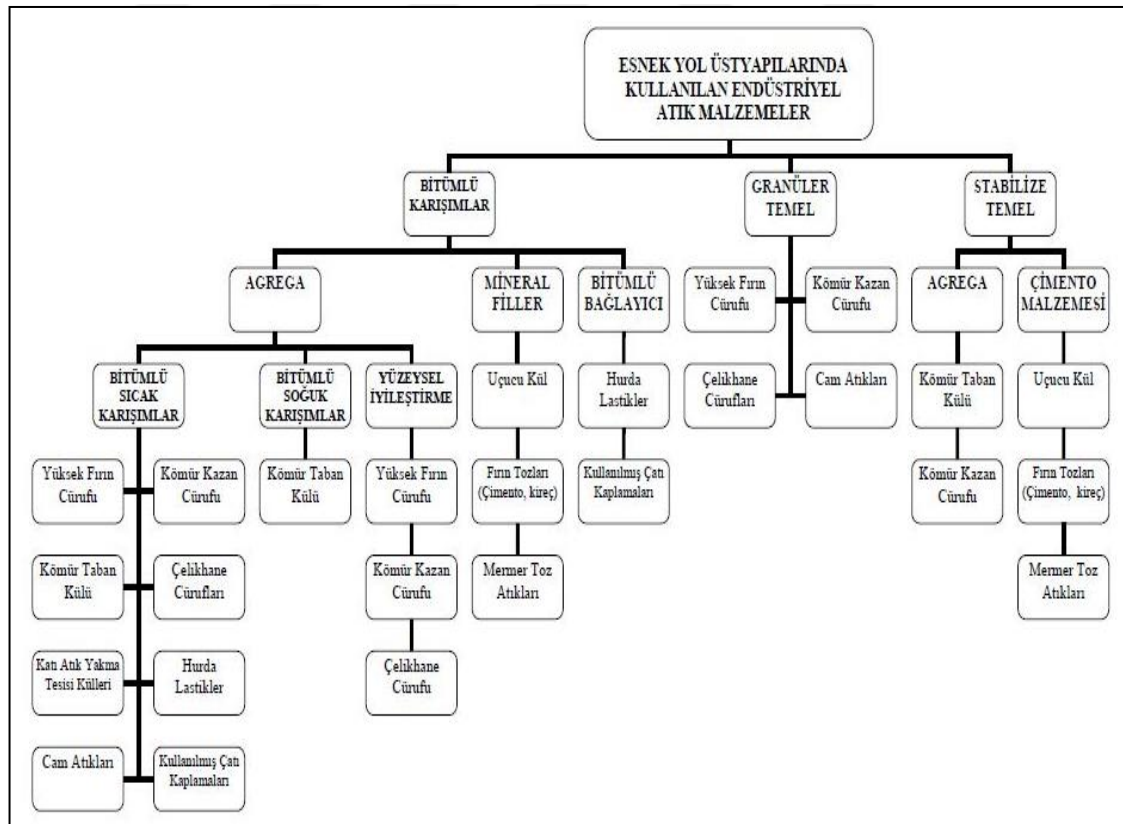
Kromun bu kadar farklı sektörlerde bu kadar farklı amaçlarla kullanılıyor olmasının en temel nedeni korozyona karşı maksimum direnç gösteriyor olmasıdır. Ayrıca kromun özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Oksidasyon ve korozyonu önleyerek malzemelerin daha uzun ömürlü olmasını sağlar,
- Sıcaklığa, aşınmaya ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır,
- Pürüzsüz ve estetik bir görünüme sahiptir,
- Yüksek sıcaklıklara kolaylıkla uyum sağlar ve dayanıklılık gösterir,
- Elektriksel iletkenliği bulunduğu için elektronik eşyalarda kullanılabilir,
- Kimyasallar ile temas ettiği zaman herhangi bir reaksiyona girmez ve bozulmaz,
- Kolay temizlenebilir olması sebebiyle hijyeniktir,
- Yüksek yoğunluğa sahip bir elementtir.

Coğrafi yönden ülkemizdeki krom yatakları 6 farklı bölgede yer almaktadır. Bunlar Guleman (Elazığ), Fethiye-Köyceğiz-Denizli, Bursa-Kütahya-Eskişehir, Mersin-Karsanti-Pınarbaşı, Erzincan-Kopdağı, İskenderun-Kahramanmaraş olarak sıralanabilir. Çalışmamızda Erzincan-Kopdağı yöresinden elde edilen krom pasa malzemesi kullanılmıştır.

1.3. Literatür Araştırması

Dünya üzerindeki nüfus hızla artmaya devam etmekte ve doğal kaynaklarımız hızla azalmaktadır. Bu tüketimin ortaya çıkmasından dolayı çevre kirliliği, hammadde arayışının artması, yeniden dönüştürülüp kullanılması için atıkların azaltılması ve yeniden değerlendirilmesi önem kazanmıştır (Akbulut ve Gürer, 2006). Çevre kirliliği ve insan sağlığına verilen önem giderek artmakta ve atıkların depolanması kolay olmayan bir hale gelmiştir. Atık depolamaları ek maliyetlere sebep olmalarından kaynaklı bu maliyetlerin aza indirgenmesi için atıkların geri dönüştürülüp tekrar kullanılması için araştırmalar yapılmaktadır. Hammadde bakımından gittikçe azalan ya da elde edilmesi çevresel zararlara neden olan ürünlerin, başka sektör ya da endüstriyel ürünlere karşılanması önem arz etmektedir. Karayollarında da en çok kullanılan ürün agrega olduğundan agrega yerinde kullanılabilecek inşaat atıkları, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, mermer atıkları ve kazınmış Recycled Asphalt Pavement (RAP) gibi birçok alternatif malzeme bulunmaktadır. Çağlar, 2007 'te yaptığı çalışmada Şekil 1'de verilen akış şemasında esnek yol üstyapılarında kullanılan geri dönüşüm malzemelerini ortaya koymuştur.



Şekil 1. Endüstriyel atık malzemelerin yol üstyapılarında kullanım örnekleri (Çağlar, 2007).

1.3.1. Uçucu Küllerin Karayollarında Kullanılması ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Termik santrallerde kömürün tek başına yüksek sıcaklıklarda kazanlarda yakılması sırasında baca gazlarındaki taneciklerin elektro filtrelerde tutulmasıyla oluşan bir küldür. Karayollarında dolgu yapımında, alttemel veya temel tabakası yapımında, asfalt kaplamalarda bitüm içindeki mineral toz olarak kullanılır. Rijit kaplamalarda ise betonun kalitesini yükseltmek için tercih edilmektedir.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde içerisinde uçucu küllerle düzleştirilip sıkıştırılan bir yol zemininden alınan numunelerin gevşek bir taban zeminine sahip bir yol numunesinden alınan CBR değerine göre 10 kat daha yüksek dayanımlı sonuçlar verdiği bilinmektedir (Şenol ve Edil, 2004).

Yapılan araştırmalarda uçucu küllerin zemin ile kireç karışım numunelerinin mukavemetinin daha büyük sonuçlar verdiği bilinmektedir. Uçucu kül miktarının karışımın %10'nu aşması halinde maksimum kuru birim hacim ağırlığını veren su ihtiyacı azalmaktadır. Çünkü karışım içindeki ince agrega oranı artmakta ve karışımın içindeki boşlukları doldurduğu bilmektedir (Alataş, 1996).

Donma-çözülme ve ıslanma-kuruma gibi olaylarda iyi sıkışmama veya yanlış seçilen agrega dane boyutlarından dolayı boşluklara sızan suyun donması ve plakaya baskı yapmasıyla dayanımı etkileyecek fiziksel değişimlere daha fazla uğrarlar. Yapılan çalışmada, uçucu küllerin daha ince dane dağılımlarından kaynaklı boşluk oranını azalttığı ve geçirgenliği azalttığı sonucuna ulaşmıştır (Wasti, 1990).

Ferguson (1993), LaCygne Termik Santralinde oluşan C sınıfı uçucu külü Heartland Yarış Pistinin zemin düzleştirilip sıkıştırılmasında tercih edilmiştir. Uçucu kül numunesinin maksimum kuru birim hacim ağırlığını veren su ihtiyacı sonuçları değerlendirilmiştir. Zemin stabilizasyonlarında uçucu külün ekonomik bir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Uçucu kül ince ve mineral filler benzeri bir malzemedir, bu sebepten erozyon oluşumuna sebebiyet vermektedir. Yapılan bir yol çalışmasında erozyon kontrolü de göz önüne alınmalıdır. Trafik boyalarının performanslarını arttırmakta ve daha uzun sürelerde kullanılabildiği sonucuna varılmıştır (Stringfellow, 1994).

Bacher (1990), karayollarında dolgu imalatlarında uçucu kül kullanımını araştırmıştır. Uçucu küllerle kullanılarak kavşak, rampa ve dolgularda kullanımı araştırılmış ve olumlu bir sonuç elde edilmiştir.

Doğal agregalar ile yapılan imalatlara göre maksimum kuru birim hacim ağırlığını veren su ihtiyacı ve oturma performansı arasında bir fark oluşmadığı gözlenmiştir (Ahmed,1993).

Carmargo vd. (2009), çimento, kireç ve uçucu kül karışımlarının soğuk geri dönüşüm yöntemiyle bir araya getirilmesiyle elde edilen karışımın taşıma kapasitesinin artmasında ve nemin potansiyel hasarının düşürülmesinde uçucu küllerin etkili olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Özbayoğlu (1997) yaptığı çalışmada belirli miktarlarda çimento-bentonit ve kireç-bentonit karışimli kum numunelerine uçucu kül ilave ederek kompaksiyon deneyleri yapmıştır. Yapılan deneylerin neticesinde, uçucu külün köy ve trafik yoğunluğu az yollarda zemin düzleştirilmesi, dolgu ve katkı malzemesi olarak kullanılmasının olumlu sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Türkiye’de bir baraj inşaatında ilk kez uçucu kül kullanılmıştır. Bunun üzerine Türk Standartları Enstitüsü uçucu kül (TS 639) ve uçucu küllü çimento (TS 640) standartları hazırlanmıştır. İlk defa çimento sanayisinde katkı maddeli çimentoda uçucu küller tercih edilmiş ve karayollarında çeşitli alanlarda denenmiştir ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Türker vd., 2004).

1.3.2 Karayollarında Cürufların Kullanılması ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Çelik üretimi yapılırken; yüksek fırın cürufu ve çelikhane cürufu gibi iki cüruf türü ortaya çıkmaktadır. Yüksek fırın cürufu (YFC) bir yan ürün olup, demir-çelik tesislerinde yüksek ısıli fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkmaktadır. Yüksek fırın cürufları demir filizi, kok, kireç gibi maddelerin 1450°C-1550°C arasında indirgenmesi prosesinde oluşmaktadır.

Karadağ vd. (2020) yaptıkları araştırmada çelikhane cürufunun yapılan deneyler sonucu dayanımının doğal agregaya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir bu durumun en büyük nedeninin ise farklı dane çaplarının fazla olması ve yüzeyinin pürüzlü bir dokuya sahip olmasıdır. Yapılan CBR deneyinde %300 değerlerine kadar ulaşıldığını ve yol tabakasında kullanımın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

A.B.D.’de karayollarında tercih edilen atık malzemeler için yapılan bir çalışma sonucunda, 44 karayolu işi yapan şirketten 16 tanesinin cürufu karayollarında tercih ettiği tespit edilmiştir. Cürufu tercih eden şirketler, doğal agregalara göre daha ekonomik, çevre dostu bir malzeme olduğunu ve performans bakımından şartname kriterlerine uygun olduğunu belirtmişlerdir (Çağlar, 2007).

Cüruf kimyasal bağlayıcı ile karıştırılarak taşıma kapasitesi yetersiz taban zeminlerinin düzgünleştirilip sıkıştırılmasında kullanılmaktadır. Çelikhane cürufu temel tabaka malzemesi olarak tercih edildiğinde yüksek taşıma gücüne ve dayanıma sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Çelikhane cürufları temel, alt temel veya taban zemininde agrega olarak uzun ve süreli kullanımlarında yoğun trafik altında bile parçalanmadan uzun süre dayanım sağlamaktadır (Ahmed, 1993).

Ferrokrom cürufun yol tabakasında kullanım oranının belirlenmesi çalışmasında ferrokrom cürufunun morfolojik yapısı incelediğinde kristal yapılı keskin ve köşeli bir yapıya sahip olduğu görülmüş olup bu sayede boşluk oranı azaldığı düşünülmüştür. CBR değeri yapılan deneyler sonucu 160 olarak elde edilmiştir. KTŞ şartnamesinde en iyi malzeme olan kırma kaya CBR değerinden ve DA dan daha yüksek değer ortaya koyulmuştur (Yılmaz ve Süttaş, 2008).

Japonya’da yapılan çalışmalar sonucunda çelikhane cürufu, boşlukları ince taneli yapısı sayesinde doldurabilmekte ve cürufun yanında bağlayıcı bir malzeme ile doldurularak karışımdaki aderansı arttırdığı belirlenmiştir. Çelikhane cürufu alttemel ve temel tabaksında kullanıldığında, zeminin yoğun trafik altında dayanımını ve taşıma gücünü arttırdığı sonucuna varılmıştır. Yapılan yolların uzun süre servis ömrünün olduğu ve herhangi bir tekerlek izi oluşumuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır (Kara ve diğ., 2001).

Noureldin vd., (1990). Yaptıkları araştırmada altı farklı gradasyonlara sahip agrega türleri ile yapılan bir karışım kullanılmıştır. Karışımdaki çelikhane cürufu oranı en az %40 oranında kullanılmıştır. Araştırma neticesinde %73 çelik cürufu, %27 doğal kum içeren karışımdan az bitüm oranı bulunmuştur. Şekil değiştirme direnci ve çekme direncinin en yüksek seviyeleri %73 çelik cürufu-%27 kum karışımından elde edilmiştir

İlıcılı (1988) yaptığı çalışmada, agrega cüruf, granüle cürufunu ve çelikhane cürufunu kullanmıştır. Bu üç çeşit cüruf karışımlarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için KTŞ standartlarındaki deneyler yapılmıştır. Donma deneyi sonuçlarında elde edilen verilere göre yüksek fırın cürufunda %0,73-13,1 arasında, çelikhane cüruflarında %3,1-8,1 arasında değerler gözlenmiştir.

Valunjkar (2010) Demir ve çelik yapımında cüruf ve uçucu kül atıklarının temel ve alt temel tabakaları için doğal agregaların kullanım oranını azaltması için bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan karışım oranlarından en iyi sonuç veren karışım %15 Uçucu Kül ve %15 Çelik olduğunu belirtmiştir. %15 Çelik Cüruf karışımı daha ekonomik ve %15 Uçucu Kül karışımından daha dayanımı yüksek ve uzun ömürlü olduğu ortaya koyulmuştur.

1.3.3. Karayollarında Mermer Atıklarının Kullanılması İle İlgili Çalışmalar

Madenler, yenilenmeyen hammadde olmaları, kısıtlı kaynaklardan yer almaları ve coğrafik yapıyı düzeltmelerinden dolayı ülke ekonomisinde önemli bir yerdedir. Natürel taşlardan olan mermer medeniyetin kurulmasından kültürlerin daha da genişlemesine kadar rol oynamıştır. Metamorfizm olayları sonucunda oluşan Mermer, kalker ile dolomitik kalkerlerin yeniden kristalleşmesi üzerinden hayat bulmaktadır. Mermer kullanımı ise gün geçtikçe inşaat alanında kullanımı artmaktadır.

Asfalt kapma tabakaları arasında olan binder ve aşınma tabakaları, yüzeydeki yükleri alt tabakalara esnek bir yapı olmasından kaynaklı aktarım yapar. Mermer pasası asfalt kaplamalarda agrega yerine kullanımının olumlu ya da olumsuz sonuç vereceği konusunda bir araştırma yapılmıştır. Mermer pasasının sürtünme direnç testi yapılmış ve agrega cilama değeri %45 oranından büyük olursa aşınma tabakasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Cilalama değeri %45 değerinin altında bir değer olursa binder tabakasında kullanılabileceği belirtilmiştir (Akbulut ve Gürer, 2006).

Çalışmada belirlenen karışım oranları üzerinde yapılan CBR deneylerinin tüm numunelerde KTŞ'nde belirtilen minimum CBR %120 değerini sağlamıştır. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek CBR değeri %321 olmuştur. Numuneler 4 gün boyunca suda bekletilerek suya doymun hale gelmesi sağlanmış olup gün sonunda hiçbir numunede şişme olayı gerçekleşmediği belirtilmiştir (Kahveci,2020)

Terzi (1998), mermer pasasının asfaltta ince filler malzeme yerine kullanımı konusunda bir çalışma yapmıştır. Belirli oranda doğal agrega ile mermer toz pasası ve asfalt bağlayıcısı belirli oranlarda karıştırılarak bir numune elde edilmiştir. Elde edilen karışım binder tabakasında kullanılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen verilerden çıkan sonuçlara göre bitümlü karışımda mermer tozunun direk kullanılabileceği bilgisine ulaşılmıştır.

İki farklı ocaktan alınan mermer atıklarına yapılan CBR deneyi sonucunda Karayolu Teknik Şartnamesinde istenilen CBR %120 değerini sağlamıştır. 2,54 mm CBR değeri %224 ve 5,08 mm CBR değeri %258 olarak ölçülmüştür (Yakşe, 2016).

Okubay ve Yardım (2016) yaptıkları çalışmalar sonucunda yol tabakalarında agrega hammaddesi olan kalker yerine mermer pasalarının belirli oranlarda kullanılmasını incelemişlerdir. Deney sonuçlarının KTŞ limitleri içerisinde kaldığı görülmüştür. Dolayısıyla mermer pasasının konkasörden kırılarak elde edilen malzemelerin doğrudan bitümlü karışımlarda agrega yerine kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Pasetto ve Baldo (2010) Esnek kaplamalar için temel tabakası ve yol temeli asfalt betonunun, doğal agregaların yerine iki tip elektrik ark ocağı çelik cürufunun kullanımı

konusu üzerinde bir çalışma yapmıştır. İncelenen Elektrik ark ocağı cürufları, genellikle ulaşım altyapısında kullanılan doğal taş agregalarınınkine önemli ölçüde eşdeğer fiziksel-mekanik özellikler, yol kaplamalarında kullanılan hidrokarbon bağlayıcılarla tam kimyasal uyumluluk ve hiçbir tehlikeli sızıntı davranışı göstermediğini belirtmiştir.

Yılmaz vd. (2003) yapmış oldukları araştırmada Karadeniz Bölgesindeki bir yolun üstyapı malzemesi olarak kullanılması için mermer atık pasa malzemesini kullanmışlardır. Yapılan Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen deneyler neticesinde standartlara aykırı bir durum olmadığından kullanılabilceği belirtilmiştir. Yapılan deney sonuçları ise; aşınma kaybı değeri %11,5, soyulma deney değeri %55, cilalanma deney sonucu %0,1, yassılık indeksi %16,5, olarak tespit edilmiştir Çalışma sonucunda mermer ocağında mermer üretiminden sonra oluşan pasanın üstyapı malzemesi olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Rezende ve Carvalho (2003) Taş ocağı pasalarını yol temel tabakalarında kullanılabilirliğini incelenmiştir. Pasaların yapılan deneyler ile özellikleri ve kullanılabilirlik oranları değerlendirilmiştir. Çalışmanın neticesinde taş ocağı atıklarının temel tabakaları içinde potansiyel bir kullanım özelliğinin olduğu, numunelerin yoğun trafiğin olduğu yollarda kullanılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Valunjkar (2010) Demir ve çelik üretimi sırasında cüruf ve uçucu kül atıklarının temeller veya alt temeller için doğal agregaların yerini almak için yaptığı çalışmada. Yol yapımında sırasıyla %15 Uçucu Kül ve %15 Çelik Cüruf karışımı optimum karışım olduğunu belirtmiştir. %15 Çelik Cüruf karışımı ekonomik ve %15 Uçucu Kül karışımından daha güçlü olacağını ortaya çıkarmıştır.

Yakşe ve Ural (2015) Atık mermerlerin karayolu temel malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırması çalışmasında: Mermer ocaklarında mermer üretimi esnasında oluşan pasalar ile karayolları şartname limitleri esas alınarak pasa malzemesinde alttemel ve temel tabakası kullanımı için uygun gradasyonlara oluşturulmuştur. Şartname kriterlerinde belirtilen malzemelerin tüm fiziksel ve mekanik özelliklerini yani dayanım, CBR gibi deneylerin neticesinde kullanımının uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

Okagbue ve Onyeobi (1999) yol yapımı için kırmızı tropik zeminin mermer tozu karıştırılarak stabilize edilebilme durumunu araştırmışlardır. Çalışmalarında üç farklı kırmızı tropik toprağın doğal agrega ile değişik oranda mermer tozu ile karıştırılan numuneler incelenmiştir. Çalışmada CBR başta olmak üzere birçok parametreleri ölçmüştür. Kırmızı tropik toprağın incelenmesi sonucunda yüksek yoğunluklu trafiğe

maruz kalan yollarda kullanımının uygun olmadığı fakat hafif trafiğe maruz yollarda temel malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Gencel vd. (2012) mermer pasalarının beton kayar kalıp finişer özellikleri üzerindeki izlenim değerlendirilmiştir. Bu çalışmada agrega belirli oranda mermer pasası ile karıştırılmıştır. Karışım içinde ise, Parke taşı numunesi çimento, mermer atığı, ince agrega, iri agrega ve su malzemeleri karıştırılarak hazırlanmıştır. Numune %65 oranda bağıl nem ile kürlenmiştir. Yapılan deney sonuçlarında ise; 30 MPa basınç dayanımı, %3,7 MPa çekme dayanımı ve su emme değeri ise 5,25 olduğu sonuçlarını verilmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmada beton parkedeki mermer pasasının karayollarında uygulanabilir ve ekonomik bir sonuç oluşturulabileceği sonucuna varılmıştır.

Ceylan ve Mança (2005), mermer parça atıklarının beton agregası olarak kullanılması araştırmasında maden mermer ocaklarında mermer üretimi esnasında oluşan pasa içerisinde karbonat kökenli pasanın beton üretiminde agrega olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu pasanın kullanılması ile büyük ekonomik kazançlar elde edildiği bilinmektedir. Çalışmadan ulaşılan sonuç ise; Bunun gibi birçok farklı pasa malzemesinin kullanılması ekonomik kazançların yanı sıra çevresel faydalarında oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

1.3.4. Karayolunda İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Kullanılması İle İlgili Çalışmalar

İnşaat sektörü giderek gelişirken yeni yapıların bitimi ile eski yapıların yıkımı ile birlikte atıkların giderek arttığı görülmüştür. Bu tarz yapıların yapımı, yıkım veya tadilatları çok miktarda atık oluşturmuştur ve yaşanan doğal afetler ile beraberinde daha çok atıklar oluşmuştur.

6 Şubat depreminde yıkımın büyüklüğü çok fazla olduğu bilinmektedir. Atık yönetimine uygun biçimde işlenmesi ve deprem atıklarının yeniden dönüşümü enerji kaynaklarının tükenmesi, doğal hammadde ihtiyacının artması, CO2 salınımının artarak iklim değişikliğinden oluşabilecek küresel sorunların azaltılması gibi problemlerin önüne geçebileceğini belirtmişlerdir (Kaplan ve Soyluk, 2024).

Lennon (2005) yaptığı çalışma incelendiğinde 2005 yılındaki verilere göre ABD yılda 130 milyon inşaat yıkıntı atığı oluşturduğu bilinmektedir. ABD bu atıklarının geri dönüştürülmesi için çok sayıda çalışma yaptığı görülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda %92 oranında bu atıkların geri kazanıldıklarını ve maliyette de büyük azalmalar yaptığını ortaya koymuştur. Japonya'da da durum pek farksız sayılmazken geri dönüşüm

hedeflerini %90 oranında belirlemiş ve bu hedefinde üstünde %96 oranında bir geri kazanım yaptığı görülmüştür. Hollanda ise %95 oranında bu atıkların yol tabakalarında kullanarak doğal rezervlerini koruyarak ekonomik kazançlar elde etmiştir.

İYA yönetimi ile ilgili çalışmalarda atığın azaltılması için;

- İnşaat malzemelerin uzun ömürlü, çevresel faktörlere karşı yüksek dayanımlı olması gereklidir.
- Yapı sistemlerine uygun ve kaliteli yapı malzemelerinin tedarik edilmesi ve üretilmesi gerekti.
- Malzemelerin diğer yapı kalemlerinin modülerliğini etkilememesi ve tadilat gereksiniminde tak çıkar yapılabilecek şekilde olması, çalışanların buna karşı önceden bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

İnşaat yıkıntı atıkları ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde bu atıkların konkasör yardımıyla kırılarak elendikten sonra doğal agregaların yerine kullanılabileceği kanısına varılmıştır (Kartam 2004; Rakshvir vd., 2006). Bazı çalışmalarda ise şartname kriterlerini sağlanmadığından taşıma ve dayanım özellikleri olmayan daha önemsiz noktalarda betonda agrega malzemesi olarak kullanılması sonucuna varmışlardır (Topçu vd., 2004).

Terzili ve Vural (2020) Bina beton atıklarının karayollarında bitümlü temelde agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırmasında bina atıklarının bitümlü temellerde %25 oranında kullanımı şartname kriterlerini sağlamıştır. Karayollarında kullanılan agrega hacminin yaklaşık %95 olduğu düşünüldüğünde %25 atık malzeme oldukça büyük bir ekonomik kazanç sağlayacağını belirtmiştir.

Ok ve Demir (2018) demir yapım yıkım atıklarının yol temelinde kullanılabilirliğini incelenmesi adlı çalışmada optimum su muhtevastaki CBR oranı %99,98 olduğu belirlenmiştir. Benzer çalışmalar incelendiğinde ise CBR değeri %43 ile %160 arasında olduğu yapılan çalışmada ise CBR değeri bu çalışmalar arasında kaldığı bilinmektedir.

İnşaat yıkıntı atıklarında elde edilen atıklarla dolgu malzemesi yerine kullanıldığı görülmüştür. (Rakshvir vd., 2006). Park (2003) yaptığı çalışmadan tamamı yiktıntı atıklarından oluşan beton kaplamalı kaldırımlarda kullanılabileceği ve ekonomik kazançlar elde edileceği sonucuna varmışlardır. Karayollarında ise Hollanda ön plana çıkararak %95 oranında yol temel ve alttemel tabakalarında kullanarak ekonomik kazançlar elde etmiştir (Mulder vd., 2007). Stein vd., 1994; Chini vd., 2001; Nataatmadja vd., 2001) yaptıkları çalışmalarda inşaat atıklarının dane boyutlarına göre ayırıp kaba ve ince agrega danelerinde doğal agrega yerine kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

1.3.5. Karayolunda Kazınmış RAP Malzemesinin Kullanılması İle İlgili Çalışmalar

Yol üst yapısının bir parçası olan asfalt kaplamalar belirli bir hizmet ömrüne sahiptir. Hizmet ömrünü tamamlayan kaplamalar ya yeniden yapılmalı ya da onarımları olabilmektedir. Fakat bu durumlar hem maliyet hem de doğal agrega rezervlerinde azalmalar meydana getirmektedir. Onarım ve yeniden imalat yapılabilmesi için öncelikle asfalt kaplamanın kazınması gerekmemektedir. Kazılan bu asfalt kaplamasına ise RAP adı verilmektedir. Asfalt petrol ürünlerinden elde edildiğinde tehlikeli bir yapıya sahip olduğu düşünülse de tehlikeli atık sınıfında yer almaz. Yerden kazınan asfalt tabakaları (RAP) geri kazanım için bir avantaj oluşturduğu bilinmekte ve doğru uygulamalar ile ekonomiye büyük kazançlar elde edildiği görülmüştür (URL-1).

Carmargo vd. (2009) rap malzemesi ve uçucu kül, çimento ve kireç katkı maddesi kullanılarak bu karışım numunesinin yapısal bağlayıcı kapasitesinin yüksek olduğu ve arazide başarılı sonuçlar verdiği bilgisine ulaşılmıştır.

Ganne (2009) doğal agrega ve farklı oranlardaki RAP malzemesinin karıştırılarak temel tabakasında kullanımı ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Bu araştırmasında katkı maddesi olarak da çimento kullanmıştır. Teksas'ta 3 farklı bölgede RAP malzemesi, doğal agrega ve çimento ile harmanlanan bir numune hazırlamış, oluşturduğu numuneleri ıslanma-kuruma deneyinin sonuçlarına göre değerlendirmiştir. En iyi dayanıma sahip olan numuneyi %4 oranında çimentonun %75 oranında RAP malzemesi ile karışımından elde etmiş ve büyük ekonomik kazançlar sağladığını belirtmiştir.

Cosentino vd. (2012) ise yaptığı çalışmada çimento katkısının oranı arttıkça malzemenin daha kırılğan bir davranış sergilediğini belirtmiştir. Yaptığı araştırma sonucunda RAP malzemelerinde çimento katkısının %2 oranının geçmemesi gerektiğini belirtmiştir.

Langer ve Janet (2002) yaptıkları çalışmada, ülke gelişimleri ve ülkelerdeki ekonominin güçlenmesi için doğal agrega kullanımının kaçınılmaz olacağını belirtmişlerdir. Karayollarında ve bunun bir parçası olan asfalt kaplamalarda geri dönüştürülmüş agrega türlerinin kullanılmasının doğal agrega arzını azaltacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Gupta vd. (2009) yaptıkları araştırmalarında, uçucu kül ve RAP malzemesi karışımlarında uçucu kül oranındaki artışın aynı türdeki malzemelerin bağını güçlendirdiğini ve bu sebeple de numunelerin kayma gerilmelerinde artış olduğunu belirlemişlerdir.

Carmargo vd. (2009), RAP ile birlikte kireç ve belirli oranda Portland çimentosunun kullanılabileceği, ağırlıklarının RAP'ın %1-2'si kadar olabileceğini, eğer uçucu kül kullanılacaksa onun da kütlece %8-12 aralığında olması gerektiğini belirtmişlerdir.

1.3.6. Karayolu Teknik Şartnamesine Göre Plentmiks Temel Tabakası Özellikleri

Yol gövdesi, üstyapı ve altyapı bölümlerinden oluşmaktadır. Altyapı bölümü dolgu ile yarmadan oluşur. Üstyapı taşıtları taşıyan ve yükü altyapıya ileten tabakalar halinde ki bölümden oluşur. Üstyapılar, tabakalarda tercih edilen malzemelerin niteliklerine göre rijit, esnek ve yarı-rijit tabaklar olup üç grupta incelenir. Üstyapılar, kaplamada oluşan gerilmeleri altındaki tabakalara dağıtmak ve zemine fazla yük gelmesini önlemeye, trafik akışı için gerekli düzgün yüzeyi oluşturmaya, karayolu tabakalarını çevresel etkilere karşı korumaya elverişli olacak şekilde tasarlanırlar.

Üstyapı tabakalarından birisi olan temel tabakasının fonksiyonu, yüzeye uygulanan yükleri taban zeminine iletmek ve zeminde oluşacak oturma ve kesme deformasyonlarının oluşmasının önüne geçmektir.

Karayollarında temel tabakaları; plentmiks temel (PMT), granüler temel (GT), çimento bağlayıcılı granüler temel (ÇBGT) ve yüksek standartlı yollarda ise bitümlü temel olmak üzere dört çeşit türde yapılabilmektedir. Sıcak bitümlü temel hariç diğer temel tabakalarında tercih edilen agrega çakıl, kırılmış çakıl, kırma taş, kum, cüruf gibi malzemelerden kullanılmıştır. KTŞ'ne göre ince ve kaba agregaların fiziksel özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Kaba agrega fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013).

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık MgSO ₄ ile kayıp, (%)	≤ 20 (MS)	TS EN 1367-2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), (%)	≤ 35 (LA)	TS EN 1097-2 AASHTO T-96
Kil Toprağı ve Dağılabilen Tane Oranı, (%)	≤ 1.0	ASTM C-142
Yassılık İndeksi	≤ 30	BS 812
	≤ 25 (FL)	TS EN 933-3
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), (%)	≤ 3.0 (WA 3)	TS EN 1097-6 (Madde 8)

Tablo 2. İnce agrega fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013).

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standartları
Likit Limit (%)	NP	TS 1900-1 AASHOT T 89
Plastisite İndeksi (%)	NP	TS 1900-1 AASHOT T 90
Organik Madde (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)
Metilen Mavisi, MB, g/kg	İnce agreganın 0/2 mm'lik kısmına $\leq 3.00(\text{MB})$ $\leq 4.5 (\text{MB})$ Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm'lik kısmına $\leq 4.5 (\text{MB})$	TS EN 933-9
Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenilen şartname değerinin sağlanması durumunda bu şart aranacaktır.		

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen temel tabakası türlerinden plentmiks temel tipi kullanılmıştır. Plentmiks temel plakası kırılmış cüruf, kırılmış çakıl, ince malzemeler ve kırmataş kullanılarak Tablo 3'te belirtilen gradasyon değerlerini sağlayan sürekli gradasyon oluşacak şekilde minimum üç çeşit gradasyon sınıfına uygun miktarda suyla plentte harmanlanmasıyla oluşturulan karışım malzemelerinin bir ya da birden çok tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla elde edilen tabakadır (KTŞ, 2013). Uygun sıkıştırma ile ulaşılmaması hedeflenen minimum sıkışma yüzdeleri Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Plentmiks temel tabakası gradasyon limitleri (KTŞ, 2013).

Elek Açıklığı		% Geçen Miktar	
Mm	inç	Tip-I	Tip-II
37.5	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	No.10	20-45	23-50
0.425	No.40	8-25	12-30
0.075	No.200	0-10	2-12

Tablo 4. Plentmiks temel tabakası sıkışma kriteri (KTŞ, 2013).

Minimum sıkışma (%)	100	Modifiye proktor TS1900 ASHTO T-180
	97	Titreşimli Tokmak TS 1900 BS1377
Optimum su içeriği (%)	W(opt-1)-Wopt Wopt=0.5	Modifiye proktor, Titreşimli Tokmak

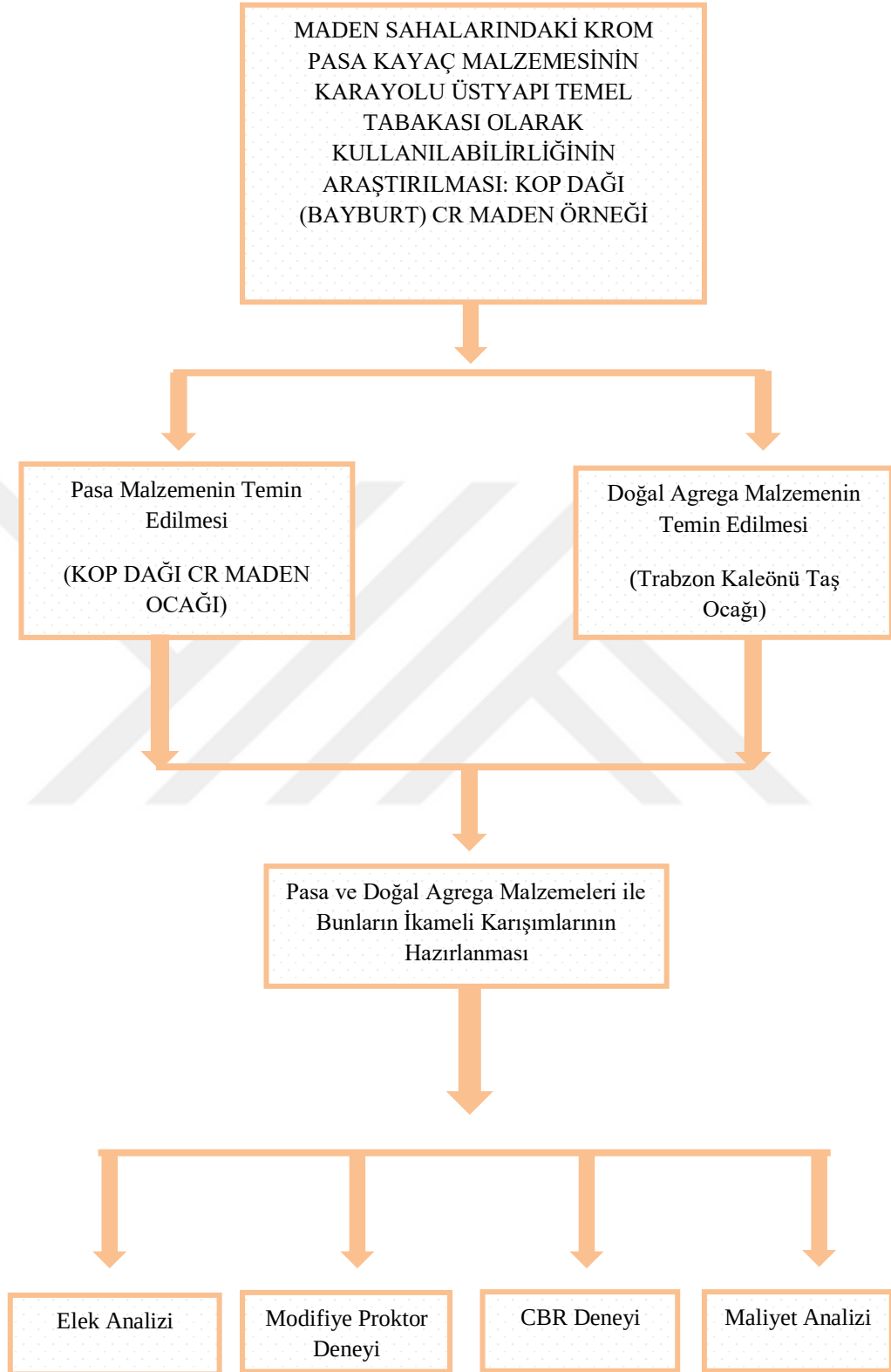
1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu araştırmanın amacı, krom madeninin âtil durumundaki pasa malzemesinin değerlendirilerek karayolu plentmiks temel tabakasında Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ) kriterleri çerçevesinde kullanılabilirliğini ortaya koymak ve ekonomik katkısını belirlemektir. Bu çalışmada, krom pasasının Türkiye KTŞ'nde temel tabakası için gerekli koşulları sağlayıp farklı gradasyondaki doğal agrega ile karıştırılarak hangi oranda etkin olabileceği araştırılmıştır. Laboratuvarda elek analizi, modifiye proktor ve CBR testleri yapılarak krom pasasının fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Kullanılabilir krom pasa oranına karar verilmiştir. Çalışmanın sonunda, maliyet analizi yapılarak plentmiks temel tabakalarının ne kadar az maliyetle inşa edilebileceği belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışma kapsamında maden atıklarının çeşitli alanlardaki faaliyet incelemesi ele alınmıştır. Bu hususta yapılan bilimsel analiz çalışmaları değerlendirilip araştırma sonuçları kıyaslamalı olarak incelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında krom maden sahasındaki pasa malzemelerden sistematik olarak örnek alımı, krom cevherleşmenin oluşum tipine ve yan kayaçlarla olan ilişkisine göre yan kayaçlardan ve cevher içeren kayaçlardan örnek alımı şeklinde arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Krom cevherleşmenin geliştiği alanda yan kayaçlardan alınan örneklerden Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı'nda petrografik ve mineralojik incelemeye yönelik ince kesitler hazırlanmıştır. Diğer taraftan yine arazi çalışmaları sırasında derlenen cevherli örneklerden de cevherin parajenezini belirlemeye yönelik Gümüştaş Madencilik A.Ş. Ar-Ge Laboratuvarında parlak kesitler hazırlanmıştır. Proje kapsamında gerçekleştirilecek deneylerden; elek analizi ve modifiye proktor deneyleri ise Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge laboratuvarlarında tamamlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda krom pasa malzemesinin maksimum oranda plentmiks temel tabakasında kullanımı belirlenmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları tamamlandıktan sonra maliyet analizinin yapılabilmesi için kamu kurumlarına ait iş pozları kullanılmış ve krom pasasını kullanmanın ekonomik avantajları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın iş akış şeması Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Çalışmanın İş Akışı Şeması



Şekil 4. Krom cevherleşmesinin içinde geliştiği ultramafik kayaların arazi görünümü

Çalışma kapsamında kullanılacak pasa malzemesi elde edildikten sonra taş ocaklarından uygun geleneksel olarak karayolu temel tabakalarında kullanıma elverişli taş ocağı arayışına başlanılmıştır. Yapılan araştırmalarda, bazalt kökenli agregaların üretildiği Trabzon mevkiinde bulunan Kaleönü Tütüncüler taş ocağından malzeme alınmasına karar verilmiş ve temini sağlanmıştır. Taş ocağından alınan bu agregalar tez boyunca doğal agrega (DA) olarak ifade edilecektir (Şekil 5)



Şekil 5. Doğal agrega numuneleri

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Pasa Malzemesinin Minerolojik ve Petrografik İncelemeleri

Arazi çalışmaları sırasında krom cevherleşmesine ev sahipliği yapan ultramafik kayaların minerolojik petrografik incelemelerini yapmak adına örnekleme yapılmıştır. Sahadan alınan yan kayaç örneklerinden hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Mikroskobik incelemeler neticesinde yan kayaçların, dünit, serpantinleşmiş harzburjit, harzburjit ve lertzolit bileşiminde olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu yan kayaçların minerolojik incelemelerine ait bulgular aşağıda mikroskop görüntüleri ise Şekil 6'da verilmiştir.

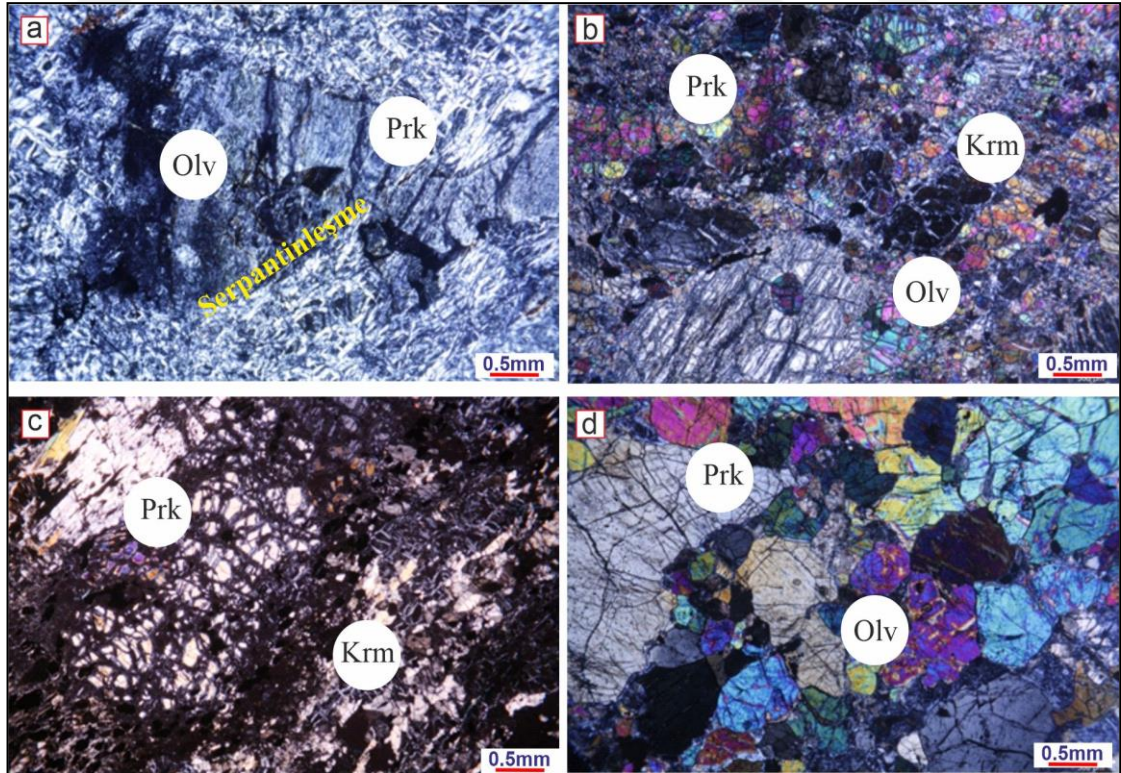
Serpantinleşmiş harzburjit: Kesit, 0.5 mm'den küçük tane boyutuna sahip olivin kristallerinden ve 2-3mm'den büyük öz şekilsiz ortopiroksen kristallerinden oluşmakta olup, kesitte gözlenen olivinler çatlak ve kırıkları boyunca serpantinleşmiştir. Orta-iri taneli granüler dokuya sahip kayaç içerisindeki piroksen kristalleri plastik deformasyon izlerine sahiptir. Kayaç adı aşırı derecede serpantinleşmiş harzburjit olarak belirlenmiştir (Şekil 6a).

Dünit: Kayaç içerisinde modal olarak %90'ın üzerinde bulunan olivin kristalleri kenarlarından itibaren serpantinleşme göstermekle birlikte örnek içerisinde yer yer ortopiroksen fenokristalleri gözlenmektedir. Ayrıca kesit içinde eser miktarda kromit

kristalleri de bulunmaktadır. Ortopiroksenler çatlaklı ve kırıklı bir yapı sunmakta olup, nadiren de olivin kapanımları içermektedir. Kayaç adı dünit olarak belirlenmiştir (Şekil 6b).

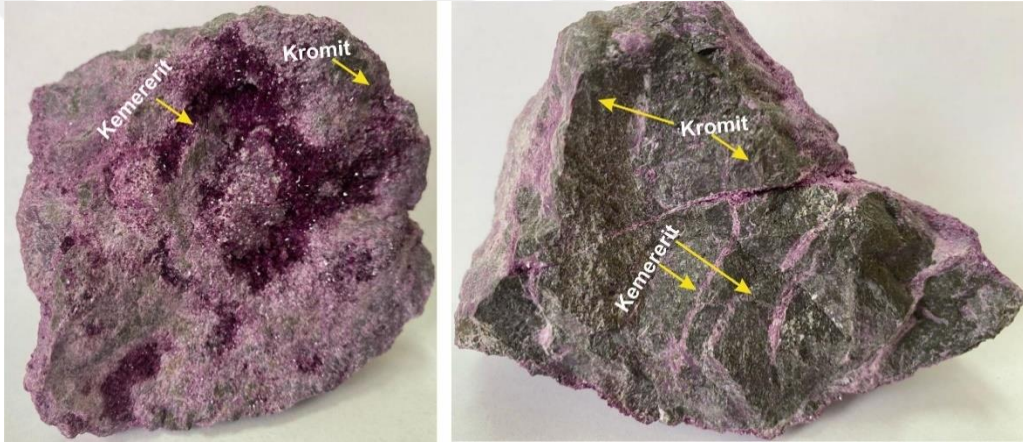
Harzburgit: Olivin, ortopiroksen ve eser miktarda kromit kristallerinden oluşan örnek aşırı derecede serpantinleşmiştir. 0.5mm'den küçük serpantinize olivinler ince-orta taneli granüler doku oluşmasına sebep olmuştur. Ortopiroksenler kayaç içerisinde iri taneli öz şekilsiz kristaller halinde bulunmakta ve klinopiroksen ayrımlaşma (eksolüsyon) lamelleri içermektedir. Kromit kristalleri 0.1mm büyüklüğe sahip öz şekilsiz kristaller halinde kayaç içerisinde dağılım göstermektedir. Kayaç adı harzburgit olarak belirlenmiştir (Şekil 6c).

Lerzolit: Olivin, ortopiroksen, klinopiroksen ve kromit kristallerinden oluşan T-18 örneğinde serpantinleşme kayaç içerisinde eser miktarda ve olivinlerin çatlakları boyunca gözlenebilmektedir. Orta-iri taneli granüler dokuya sahip kayaç içerisinde 0.5-1mm tane boyuna sahip öz şekilsiz klinopiroksen kristalleri birincil fazlar halinde dağılım göstermektedir. Olivinlerden sonra kayaç içerisinde en yaygın olarak gözlenen ortopiroksenler 3-5mm tane boyuna sahip yarı öz şekilli fenoksitaller halinde gözlenmiştir. Kayaç adı lerzolit olarak belirlenmiştir (Şekil 6d).



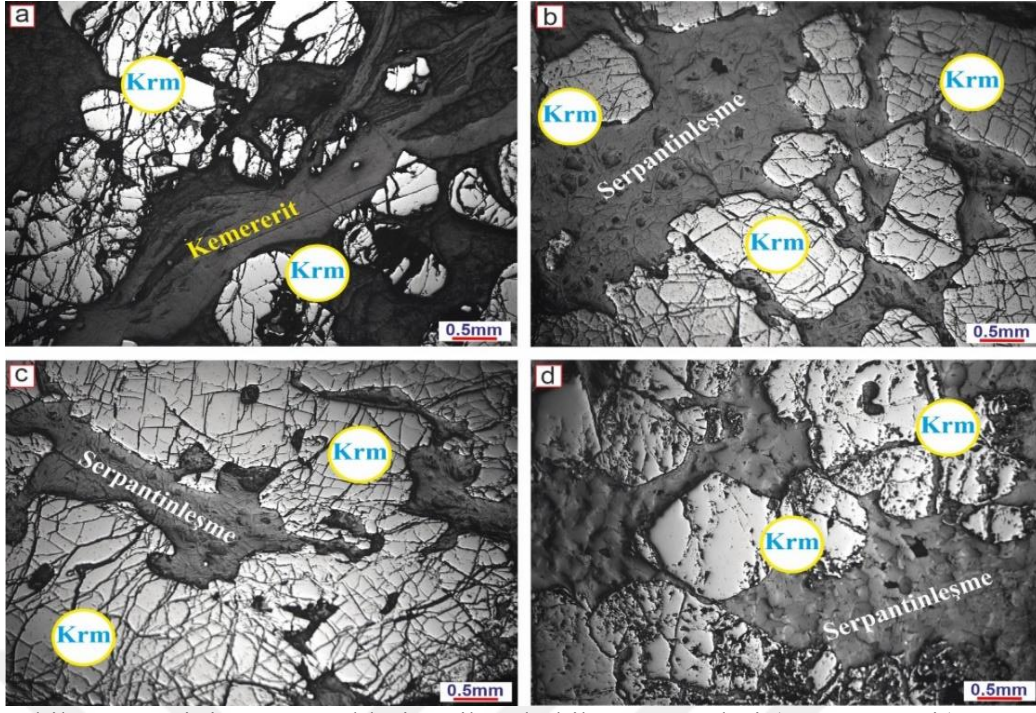
Şekil 6. Ultramafik kayaçların mikroskobik incelemeleri (Olv: .Olivin, Prk: Piroksen, Krm: Kromit)

Arazi alışmaları sırasında krom cevherleşmesini içeren numunelerde örneklenmiştir. Krom cevherleşmesi ultramafik kayaçlardan dnıt içinde gelişmiştir. Harzburgit ve lertzolit gibi diğeri ultramafik kayaçlar cevherleşmenin yan kayacını oluşturmaktadır. Bir diğeri ifade ile Harzburgit ve lertzolit kayaçları, çalışma konusunu oluşturan ekonomik değeri bulunmayan atıl durumdaki pasa malzemesini oluşturmaktadır. Bu bölümde krom cevherleşmesine ait numunelerin cevher mikroskopisi altında incelemelerine yer verilecektir. Krom cevheri içeren örneklerde, cevher minerali olarak kromit, gang minerali (ekonomik değeri olmayan mineral) olarak ise kemererit, uvarovit ve serpantin minerallerinin yanı sıra kısmen talk ve jips oluşumları da makroskobik olarak gözlenmektedir. Kemererit ve kromit minerallerinin makroskobik görünümleri şekil 7’de verilmiştir.



şekil 7. Kromit ve kemererit minerallerinin makroskobik görünümleri

Cevher mikroskopisi incelemeleri neticesinde; kromit minerallerinin iri yuvarlağimsı yarı öz şekilli olarak gzlendiğeri, kataklastik doku gsterdiğeri tespit edilmiştir. Tektonik deformasyonlar sonucu kataklasta uğrayan kromitlerin arasında çoğunlukla serpantinleşme gözlenmekle birlikte, nadir de olsa kemererit oluşumları da gözlenmektedir. şöz konusu kromit içeren cevherli örneklerin cevher mikroskopisi altındaki görünümleri ise şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Kromit içeren örneklerin mikroskopik görünüşleri (Krm: Kromit)

2.2.2. Malzemelerin Elek Analizi

Kop Dağı ocaklarından alınan krom pasaların (CR) ortalama çapı 75 mm ile 100 mm arasında değişmektedir. Bu pasalar laboratuvarlarda kullanılan konkasörde kırılarak 0-25 mm dane çaplarında hazır hale getirilmiştir. Doğal agrega olarak kullanılan taş ocağı malzemeleri ise 0-5mm, 5-12mm, 12-19 mm boyutlarında temin edilmiştir. Elek analizi için hazırlanan numuneler Şekil 9’da gösterilmektedir.





Şekil 9. Krom pasası ve DA malzemenin elek analizleri sırasında kullanılan numuneleri

Malzemelerin dane boyut dağılımlarını belirlemek için çeşitli yöntemler ve teknikler vardır. Bunlar arasında en kolay olanı ve en yaygın olarak kullanılanı, elek analiz yöntemidir. Bu çalışmada da numunelerin dane çaplarının KTŞ sınırları içerisinde kalıp kalmadığını belirlemek için malzemelerin gradasyon analizi yapılmıştır.

Elek analizinde, numune 110 ± 5 °C'deki etüvde bir gün boyunca kurutulup elenmiştir. Maksimum dane çapı 25 mm olmasından kaynaklı $\frac{3}{4}$ " ile No.200 elek arasında elekler kullanılmıştır. Elek analizi için hazırlanan numuneler elek seri dizini verilen eleklerden geçirilmiştir. Eleme işlemine en büyük delik açıklıklı elekten başlanmış ve gittikçe küçülen delik açıklıklı eleklerle devam etmiştir. Eleme işleminde elek ağırlıkları çıkarılıp, her bir elek üstünde kalan miktar tartılıp ağırlık yüzdesi toplam malzeme miktarına oranla hesaplanmıştır. Elek analizleri tamamlandıktan sonra DA malzemesine pasa malzemesinin ikame edilmesiyle farklı oranlarda yeni karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerin karışım oranları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Karışım oranları

Numuneler	DA	CR
1. Numune	%100	%0
2. Numune	%85	%15
3. Numune	%70	%30
4. Numune	%55	%45
5. Numune	%40	%60
6. Numune	%0	%100

2.2.3. Modifiye proktor deneyi

Sıkıştırılan bir zeminde, su içeriklerine göre yeterli sıkışmayı sağlayan optimum su muhtevası ve buna bağlı olarak max. kuru birim hacim ağırlık değerinin elde edilmesinde modifiye proktor deneyi kullanılmaktadır. Deneyin yapılışı; dışarıda kurutulan, 5 kg'lık numunede istenilen gradasyon limitlerine göre hazırlanır. Numune kumlu ve çakıllı bir malzeme ise su içeriği %3-%5 arasında, kohezyonlu bir zemin ise %12-%16 arasında değişen su ilavesiyle karıştırılır. Kalıp, beton yüzey üzerine oturtulur ve nemli zemin, eşit kütleler halinde beş tabaka halinde her tabaka için, 457 mm serbest düşüşlü tokmakla 56 vuruş uygulanması şartı ile yakası takılmış plakalı kalıbın içine tokmak yardımı ile sıkıştırılmaktadır. Tüm katmanların üzerine vuruşlar eşit dağıtılmıştır. Şekil 10'de malzemenin tokmak ile sıkıştırılması göstermektedir. Tokmağın serbest halde düşmesine özen gösterilmelidir. Kalıp üst seviyesinde boşluk olmamalıdır. Zemin ve kalıp, hassas terazide tartılır. Sıkıştırılan zemin, kalıptan çıkarılır ve su kaybı olmayacak bir kaba konur. Zeminden biraz örnek alınarak su içeriği belirlenir. Zeminin geriye kalanı dağıtılıp uygun elekten geçirilir ve deneyin başında hazırlamış olan numuneden artan miktar ile harmanlanır. Deney, en az beş tekrar yapılır ve su muhtevalarına göre en yüksek kuru birim hacim ağırlığını veren optimum su muhtevası belirlenir.



Şekil 10. Modifiye proktor deney aleti

Sıkıştırılmış kesitin yağ birim hacim ağırlığı (ρ_n) olarak varsayılırsa, sonuçlar her karışım için eşitlik (1) kullanılarak belirlenir:

M_1 , Kalıp ağırlığı, (g)

M_2 , Kalıp ve sıkıştırılmış zemin ağırlığı, (g)

V , Kalıbın iç hacmi, (cm^3)

$$\rho_n = \frac{M_2 - M_1}{V} \times 9.81 \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad \text{Eşitlik (1)}$$

Zeminin kuru birim hacim ağırlığı (ρ_k) eşitlik (2) kullanılarak hesaplanır:

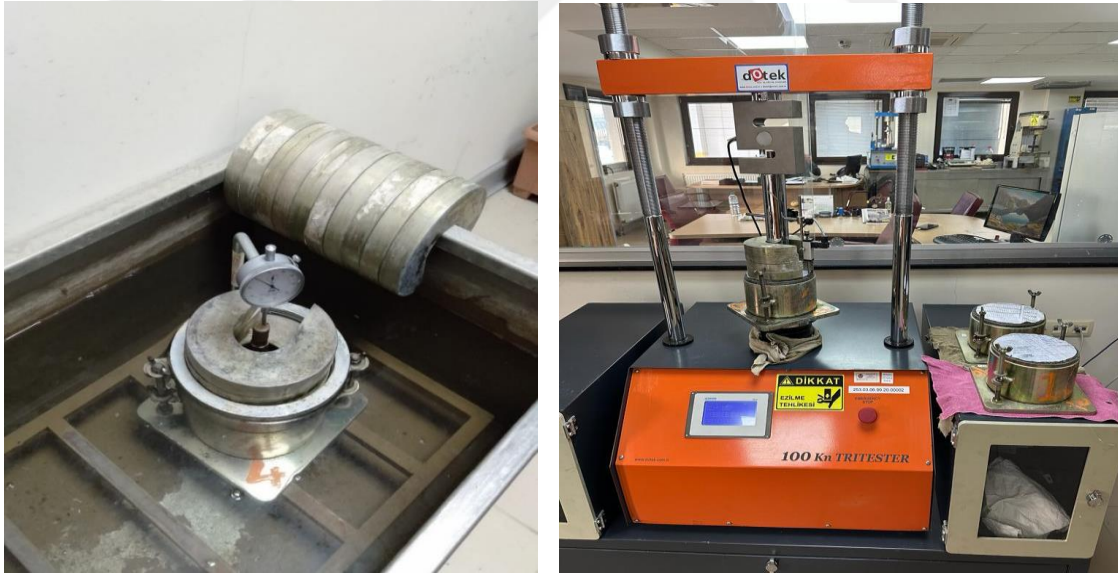
$$\rho_k = \frac{100 \rho_n}{100 + w} \times 100 \text{ (kN/m)} \quad \text{Eşitlik (2)}$$

Deneyler neticesinde bulunan kuru birim hacim ağırlık (ρ_k) ve optimum su muhtevası değerleri grafikler üzerinde gösterilir. Bu sonuçlardan elde edilen noktalar arasında bir eğri oluşturulur ve bu eğrinin maksimum noktası okunmaktadır.

2.2.4. Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi

CBR deneyi, belirli boyutlardaki pistonun özel şekilde hazırlanan numuneye, belirli bir kalınlığa batması için ihtiyaç duyulan basıncın, pistonun istenilen gradasyonda olan kırmataştan hazırlanmış numunede benzer batma değerinin basıncına oranı ve yüzde olarak belirlenen değerdir. Deney yapılırken maksimum dane boyutu 19.0 mm olan malzemenin kullanılması deney sonuçlarını daha sağlıklı olarak vermektedir.

CBR numunesi modifiye proktorda belirlenen optimum su muhtevası oranına göre hazırlanmıştır. Numuneler dört gün suda bekletilerek hazırlanmıştır. Bu süresi zarfında numune, normal koşullarda taşınması beklenen tahmini yük ağırlıkları ile yüklenmiş ve numunelerin su içerisinde şişme yapıp yapmadığı test edilmiştir. İnce daneli agregalar incelendiğinde su içinde bekletildiğinde kabarma görülmemiştir. 4 gün geçtikten sonra numune sudan çıkartılarak normal koşullara alınmıştır. İçerisindeki sular tahliye olana kadar bekletilip CBR deney aletine yerleştirilmiştir (Şekil 11). Sonra standartlarda belirtilen basınçlarda (kg/cm^2) gerekli olan batma değerlerine (mm) denk gelen yük değerleri (kg) not edilmiştir. Elde edilen veriler; x eksene penetrasyon, y eksene basınç değerleri yazılarak grafik oluşturulmuştur.



Şekil 11. CBR testi numunelerin sıkıştırılması

2.3. Maliyet Analizi

Dünyada agregaların neredeyse tamamı, taş ocakları ya da kum ve çakıl yataklarında çıkartılmaktadır. Toplam agrega ihtiyacının %10'luk bölümü atıkların geri dönüşümünden, %8'i inşaat molozu, kül ve cüruflardan, %2'lik bölümü ise denizlerden ve yapay agregalardan oluştuğu bilinmektedir. Türkiye'de ise agregaların önemli bir bölümü taş ocaklarından, dere ve deniz agregalarından temin edilmektedir.

Karayolu temel tabakalarında kullanılan agregalarda, yapılacak yol kesimine en yakın taş ocakları tespit edildikten sonra malzeme ihtiyacı bu ocaklardan karşılanmaktadır. Çalışma kapsamında, pasa kullanımıyla taş ocaklarına alternatif oluşturacak ya da buralardan temin edilecek agrega miktarının azaltılması ile elde edilecek ekonomik kazancın tespiti yapılmıştır.

DA DA-CR pasa atığı belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra hazırlanan malzemelerden oluşturulan temel tabakası için maliyet hesapları yapılırken maliyet kalemleri; malzemelerin taşıma maliyetleri ve temel tabakası yapımında belirtilen pozlar kullanılmıştır. Bu araştırma kapsamında krom pasasının maliyeti, kromun maden sahasından çıkartıldıktan sonra pasa atık sahaslarında depolanacağı için malzemeye ek bir para verilmeyeceği hesaba katılmıştır. Yapılan araştırmada hazırlanan malzemenin siloda harmanlanıp serim yapılacak çalışma sahasına nakliye maliyetleri, taşınan karışım fark etmeksizin uzaklığın aynı olması nedeniyle maliyete katılmamıştır. Hesaplanan nakliye maliyetleri yalnızca CR pasasının depo alanından-siloya olan maliyeti hesaplanmıştır.

Krom pasası ve doğal agreganın belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen malzeme ile yapılacak PMT için nakliye ücretleri; doğal agreganın ocaktan mekanik plente taşınması, krom pasasının çıkartıldığı maden ocağı pasa atık sahasından silolara götürülmesi ve silo bantlarından belirlenen karışım oranları harmanlanıp kamyonlar yardımı ile temel tabakası yapım sahasına nakliyesi kalemleridir. Yapılan çalışma doğrultusunda karışımların taşıma maliyetleri hesaplamalarında temel tabakası yapılacak saha alanına taşımacılık maliyeti hesaplara katılamamıştır. Nedeni ise, krom pasa malzemesi ister kullanılsın ister kullanılsın doğal agreganın inşaat sahasına taşınacağından ötürü ilave bir maliyet doğurmayacak oluşudur.

3. BULGULAR VE İRDELEME

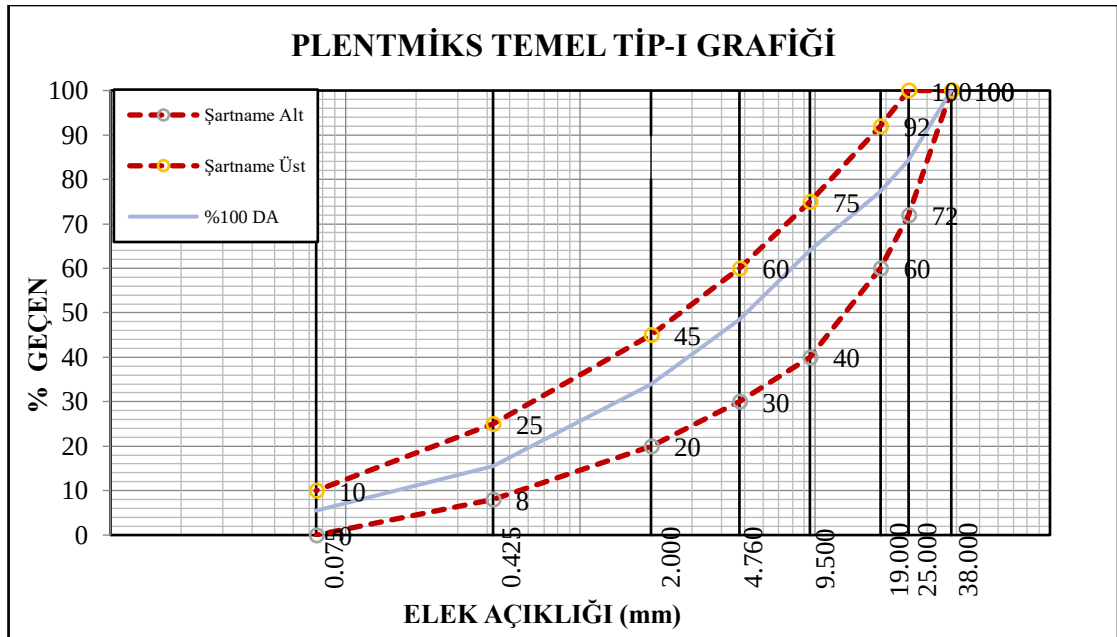
Bu bölümde Krom pasası (CR), DA CR-DA numunelerine uygulanan elek analizi, modifiye proktor ve CBR deney verilerinden elde edilen bulgular verilmiş ve bu bulguların incelenmesi yapılarak KTŞ'ne en uygun ve en fazla miktarda kullanılacak pasa miktarına göre maliyet analizi yapılmıştır.

3.1.CR DA CR-DA Karışım Numunelerine Ait Test Bulguları

3.1.1 Elek Analizi Test Bulguları

CR malzemesi maksimum dane boyutu 25 mm olacak şekilde kırılmıştır. Kırılma işleminden sonra ilk yapılan elek analizinde maksimum elek açıklığı 38 mm olan elekler kullanılmıştır. Burada amaç, maksimum dane çapının temel tabaka kalınlığının 1/3'ünü geçemeyecek olmasıdır. Bu çalışmada, toplam sıkıştırılmış temel kalınlığı 200 mm düşünüldüğü için 25 mm'lik maksimum dane çapı oldukça uygun bir dane çapı olmuştur.

Trabzon Kaleönü Tütücüler bazalt ocağından alınan 3 farklı dane çaplarında ki (0-5 mm, 5-12 mm 12-19 mm) numune ve pasa malzemesi (0-25 mm) için yapılan elek analizi testlerinden elde edilen gradasyon grafikleri KTŞ elek analizi sınırları içerisinde kalacak şekilde dizayn edilmiştir. %100 DA için yapılan elek analizi sonucunda oluşturulan gradasyon eğrisi KTŞ sınırları içerisinde kalmıştır (Şekil 12).



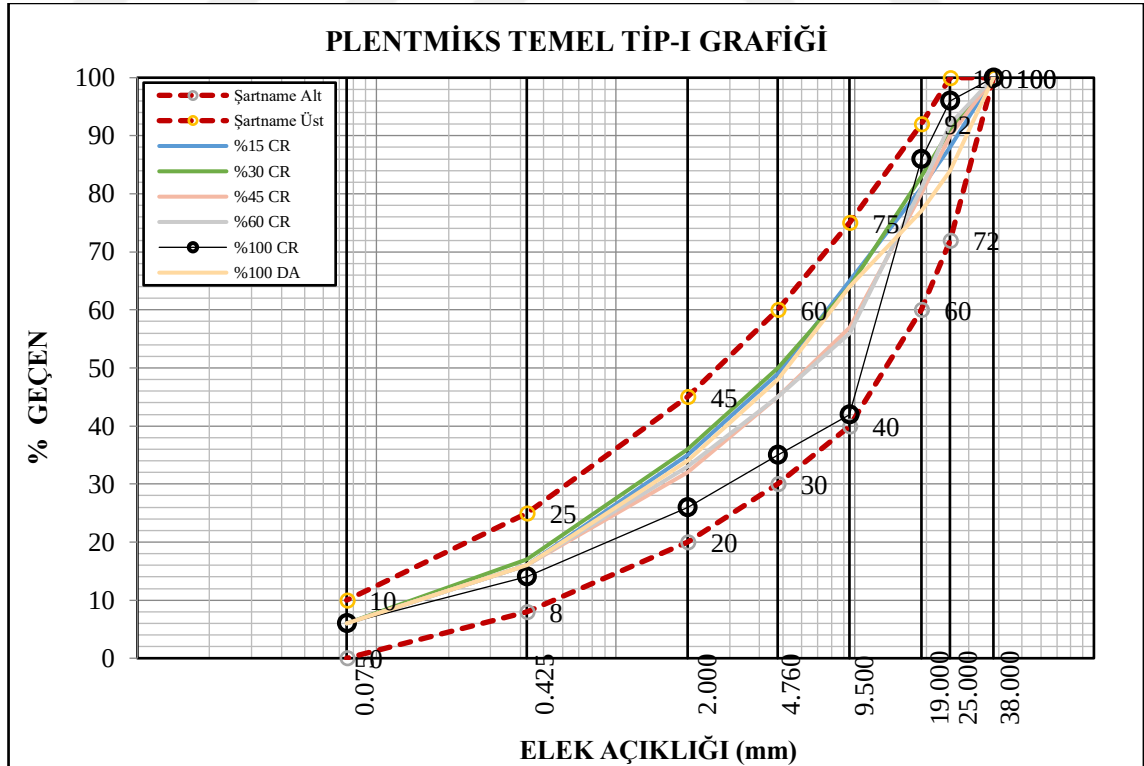
Şekil 12. Temel tabakası için belirtilen şartname limitleri ve %100 DA elek analizi

Belirlenen tüm numuneler için elek analizi verileri ile temel tabakaları için KTŞ gradasyonlarının alt ve üst değerleri Tablo 6’da gösterilmektedir.

Tablo 6. Elek analizi sonuçları

Elek açıklığı		%100 CR	%100 DA	15% CR- 85% DA	30% CR- 70% DA	45% CR- 55% DA	60% CR- 40% DA	KTŞ Limitleri	
								PMT Tip 1	
Mm	inch							Alt	Üst
38	1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100
25	1"	96	84	88	91	90	92	72	100
19	3/4"	82	77	81	83	80	81	60	92
9.5	3/8"	46	64	65	64	57	56	40	75
4.76	No.4	35	48	49	50	45	45	30	60
2	No.10	26	34	35	36	32	33	20	45
0.425	No.40	14	16	16	17	16	16	8	25
0.075	No.200	6	6	6	6	6	6	0	10

Numunelerin elek analizinde ulaşılan verilerin gradasyon grafiği ve Karayolları Teknik Şartnamesi gradasyon limit değerleri Şekil 13’te gösterilmektedir.



Şekil 13. CR-DA numunelerinin gradasyon eğrilerinin şartname limitleriyle ilişkisi

Krom pasa malzemesinin tüm karışımların ve doğal agreganın gradasyon eğrileri şartname kriterleri arasında kalmıştır. CR pasa malzemesinin No.200 elek altında kalan malzeme miktarı da %6 olarak bulunmuştur. KTŞ temel tabaksı yapımı için agrega gradasyonunda No.200 numaralı elek altında kalan miktarı en fazla %10 olduğu bilinmekte ve numunelerin maksimum %6 oranında olması şartname sınırının oldukça altında olduğunu ortaya koymuştur.

Krom pasa numuneleri içerisinde ince agrega miktarı, deformasyon ve tekerlek izi oluşumlarına sebebiyet vermektedir. İnce agrega içeriği fazla olan numunelerde kalıcı deformasyon ve donma-çözünme riski artmaktadır. Bu araştırmada elde edilen veriler neticesinde; hazırlanan karışımların No.200 içeriği %6 olarak belirlenmiş olup şartname kriterlerinin altında olduğu bilinmektedir. Bu değerler krom pasası ile yapılan temel tabakasının KTŞ'nde uygun olduğunu ve kaplamalarda meydana gelebilecek deformasyonların gecikmesine neden olabileceği konusunda ipucu vermektedir.

No 4 Elekten geçen malzeme miktarları incelendiğinde ise %35-50 arasında değişti görülmüştür. Bu durumda segregasyon boşluklarının oluşabileceği ve bununda tekerlek izi oluşumlarına yol açabileceği düşünülmektedir. Kaba agrega oranının fazla olduğu karışımlarda taşıma gücünün artması beklense de malzemeler arası boşluklar arttığında donma çözünme riskinin de artacağı düşünülmektedir.

3.1.2. Modifiye Proktor Analizi Test Bulguları

Modifiye proktor deneyinde hazırlanan numunelerin V_{kmaks} ve W_{opt} arasındaki ilişki her bir numune için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Karışım oranlarına göre incelenecektir.

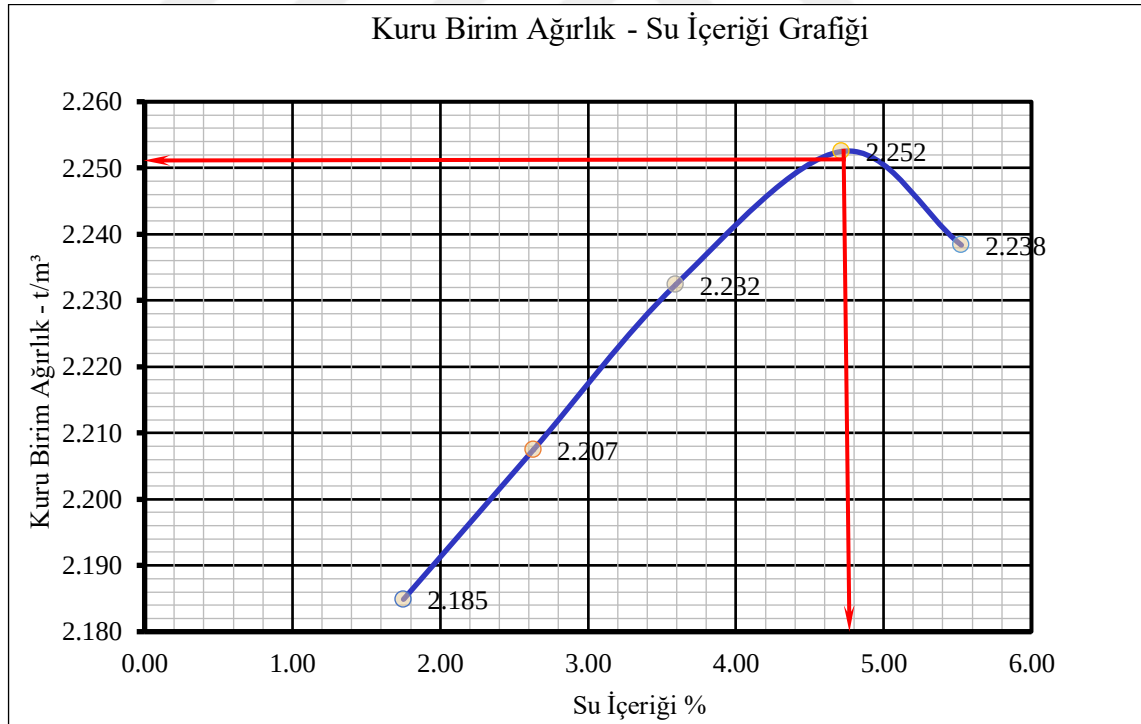
3.1.2.1 %15 CR-%85 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları

%15 CR- %85 DA karışım numunesi üzerinde yapılan elek analizi için yapılan gradasyon malzemelerinin V_{kmaks} ve W_{opt} ilişkileri modifiye proktor testi Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. %15CR- %85DA karışımlarının modifiye proktor testi

Kuru Birim Ağırlığının Belirlenmesi					
Kalıp No	6	6	6	6	6
Kalıp Ağırlığı (w_1) g	2728	2728	2728	2728	2728
Kalıp + yaş numune ağırlığı (w_2) g	7450	7540	7640	7738	7745
Yaş numune ağırlığı ($w_2 - w_1$) g	4722	4812	4912	5010	5017
Yaş birim ağırlık t/m^3	2.223	2.266	2.313	2.359	2.362
Su içeriği (m) %	1.75	2.63	3.59	4.72	5.53
Kuru birim ağırlık t/m^3	2.185	2.207	2.232	2.252	2.238
Su İçeriğinin Belirlenmesi					
Kap Numarası	6	7	8	9	10
Kap Ağırlığı (w_1) g	95.00	92.73	82.60	48.21	37.44
Kap + yaş numune ağırlığı (w_2) g	454.55	455.18	433.78	421.36	415.35
Kap + kuru numune ağırlığı (w_3) g	448.36	445.89	423.89	404.55	395.56
Kuru numune ağırlığı ($w_d = w_3 - w_1$) g	353.36	353.16	275.20	356.34	358.12
Su ağırlığı	6.19	9.29	9.89	16.81	19.79
Su içeriği %	1.75	2.63	3.59	4.72	5.53
γ_{maks}	:	2.252	t/m^3		
Optimum su muhtevası	:	4.72	%		

Numunenin elek analizi verilerinden ulaşılan gradasyon eğrileri γ_{maks} ve W_{opt} temel tabakası için Şekil 14'te gösterilmektedir.



Şekil 14. 15CR- %85DA karışımlarının γ_{maks} ve W_{opt} oranı ilişkisi

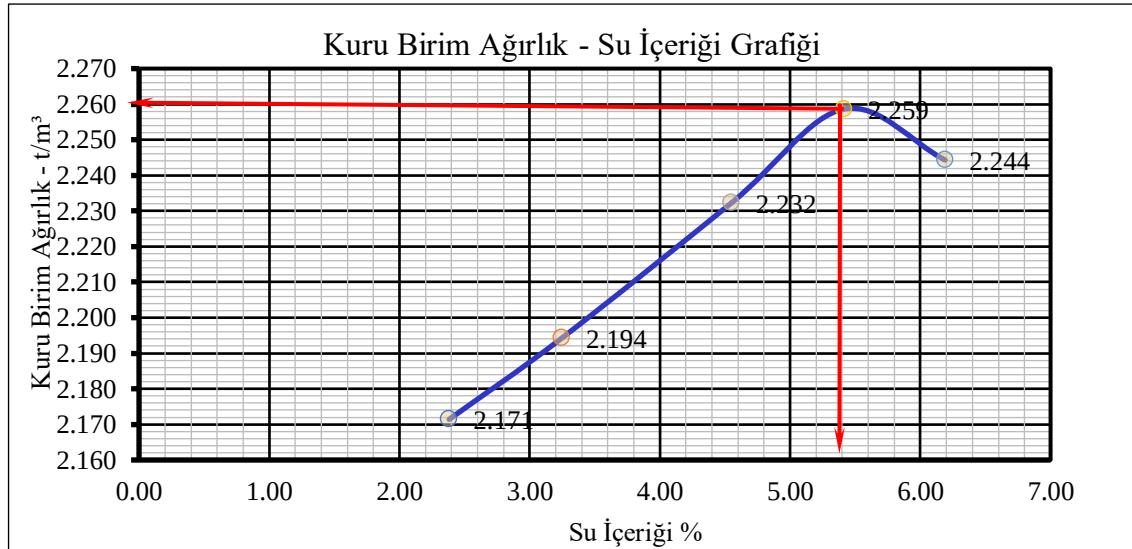
3.1.2.2 %30CR-%70 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları

%30 CR- %70 DA karışım numunesi üzerinde yapılan elek analizi için yapılan gradasyon malzemelerinin V_{kmaks} ve W_{opt} ilişkileri modifiye proktor testi Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8. %30CR- %70DA karışımlarının modifiye proktor testi

Kuru Birim Ağırlığının Belirlenmesi					
Kalıp No	6	6	6	6	6
Kalıp Ağırlığı (w_1) g	2728	2728	2728	2728	2728
Kalıp + yaş numune ağırlığı (w_2) g	7450	7540	7685	7785	7790
Yaş numune ağırlığı ($w_2 - w_1$) g	4722	4812	4957	5057	5062
Yaş birim ağırlık t/m^3	2.223	2.266	2.334	2.381	2.383
Su içeriği (m) %	2.38	3.25	4.55	5.41	6.19
Kuru birim ağırlık t/m^3	2.171	2.194	2.232	2.259	2.244
Su İçeriğinin Belirlenmesi					
Kap Numarası	6	7	8	9	10
Kap Ağırlığı (w_1) g	95.00	92.73	82.60	48.21	37.44
Kap + yaş numune ağırlığı (w_2) g	454.55	455.18	416.32	418.60	415.35
Kap + kuru numune ağırlığı (w_3) g	446.18	443.78	403.80	399.58	393.32
Kuru numune ağırlığı ($w_d = w_3 - w_1$) g	351.18	351.05	275.20	351.37	355.88
Su ağırlığı	8.37	11.40	12.52	19.02	22.03
Su içeriği %	2.38	3.25	4.55	5.41	6.19
V_{kmaks}	2.259		t/m^3		
Optimum su muhtevası	5.41		%		

Numunenin elek analizi verilerinden ulaşılan gradasyon eğrileri V_{kmaks} ve W_{opt} temel tabakası için Şekil 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. %30CR- %70DA karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi

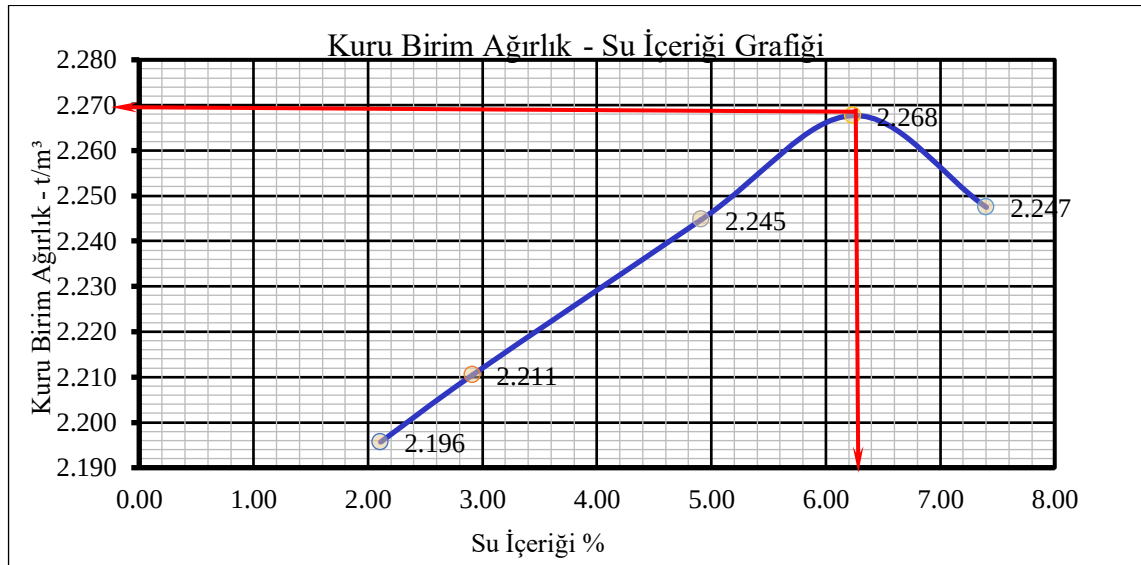
3.1.2.3. %45CR-%55 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları

%45 CR- %55 DA karışım numunesi üzerinde yapılan elek analizi için yapılan gradasyon malzemelerinin V_{kmaks} ve W_{opt} ilişkileri modifiye proktor testi Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9.%45CR- %55DA karışımlarının modifiye proktor testi sonuçları

Kuru Birim Ağırlığının Belirlenmesi					
Kalıp No	6	6	6	6	6
Kalıp Ağırlığı (w_1) g	2728	2728	2728	2728	2728
Kalıp + yaş numune ağırlığı (w_2) g	7490	7560	7730	7845	7855
Yaş numune ağırlığı (w_2-w_1) g	4762	4832	5002	5117	5127
Yaş birim ağırlık t/m^3	2.242	2.275	2.355	2.409	2.414
Su içeriği (m) %	2.11	2.92	4.91	6.24	7.40
Kuru birim ağırlık t/m^3	2.196	2.211	2.245	2.268	2.247
Su İçeriğinin Belirlenmesi					
Kap Numarası	11	12	13	14	15
Kap Ağırlığı (w_1) g	49.71	88.93	87.78	88.48	95.75
Kap + yaş numune ağırlığı (w_2) g	454.55	455.18	416.32	418.60	415.35
Kap + kuru numune ağırlığı (w_3) g	446.18	444.81	402.80	399.22	393.32
Kuru numune ağırlığı ($w_d = w_3 - w_1$) g	396.47	355.88	275.20	310.74	297.57
Su ağırlığı	8.37	10.38	13.52	19.38	22.03
Su içeriği %	2.11	2.92	4.91	6.24	7.40
V_{kmaks}	:	2.268	t/m^3		
Optimum su muhtevası	:	6.24	%		

Numunenin elek analizi verilerinden ulaşılan gradasyon eğrileri V_{kmaks} ve W_{opt} temel tabakası için Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. %45CR- %55DA karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi

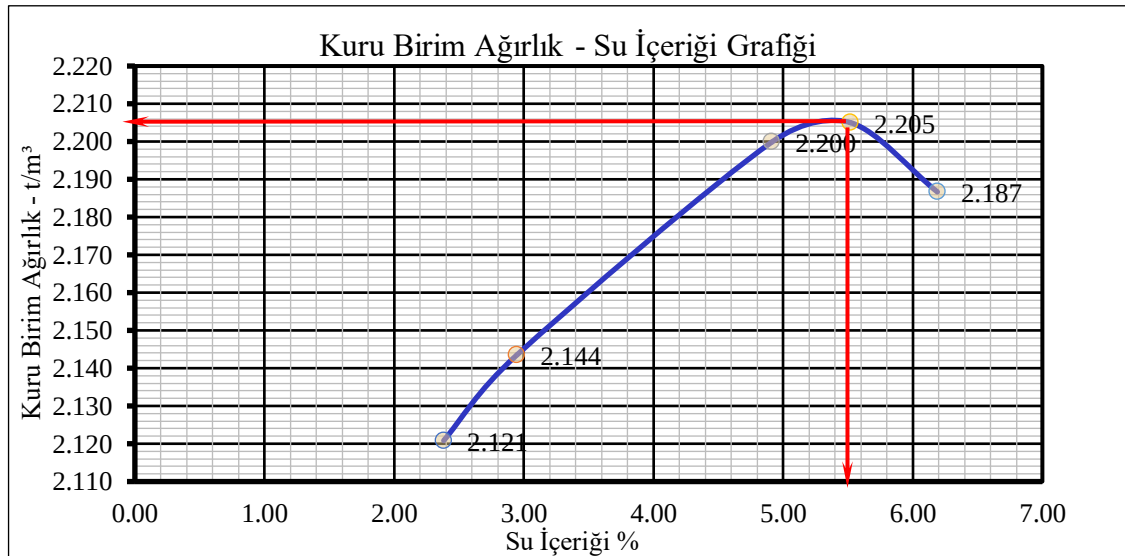
3.1.2.4. %60CR-%40 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları

%60 CR- %40 DA karışım numunesi üzerinde yapılan elek analizi için yapılan gradasyon malzemelerinin γ_{maks} ve W_{opt} ilişkileri modifiye proktor testi Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10.%60CR- %40DA karışımlarının modifiye proktor testi

Kuru Birim Ağırlığının Belirlenmesi					
Kalıp No	6	6	6	6	6
Kalıp Ağırlığı (w_1) g	2728	2728	2728	2728	2728
Kalıp + yaş numune ağırlığı (w_2) g	7340	7415	7630	7670	7660
Yaş numune ağırlığı ($w_2 - w_1$) g	4612	4687	4902	4942	4932
Yaş birim ağırlık t/m^3	2.171	2.207	2.308	2.327	2.322
Su içeriği (m) %	2.38	2.95	4.91	5.52	6.19
Kuru birim ağırlık t/m^3	2.121	2.144	2.200	2.205	2.187
Su İçeriğinin Belirlenmesi					
Kap Numarası	6	7	8	9	10
Kap Ağırlığı (w_1) g	95.00	92.73	82.60	48.21	37.44
Kap + yaş numune ağırlığı (w_2) g	454.55	455.18	416.32	418.60	415.35
Kap + kuru numune ağırlığı (w_3) g	446.18	444.81	402.80	399.22	393.32
Kuru numune ağırlığı ($w_d = w_3 - w_1$) g	351.18	352.08	275.20	351.01	355.88
Su ağırlığı	8.37	10.38	13.52	19.38	22.03
Su içeriği %	2.38	2.95	4.91	5.52	6.19
γ_{maks}	2.205		t/m^3		
Optimum su muhtevası	5.52		%		

Numunenin elek analizi verilerinden ulaşılan gradasyon eğrileri γ_{maks} ve W_{opt} temel tabakası için Şekil 17’de gösterilmektedir.



Şekil 17.%60CR- %40DA karışımlarının γ_{maks} ve W_{opt} oranı ilişkisi

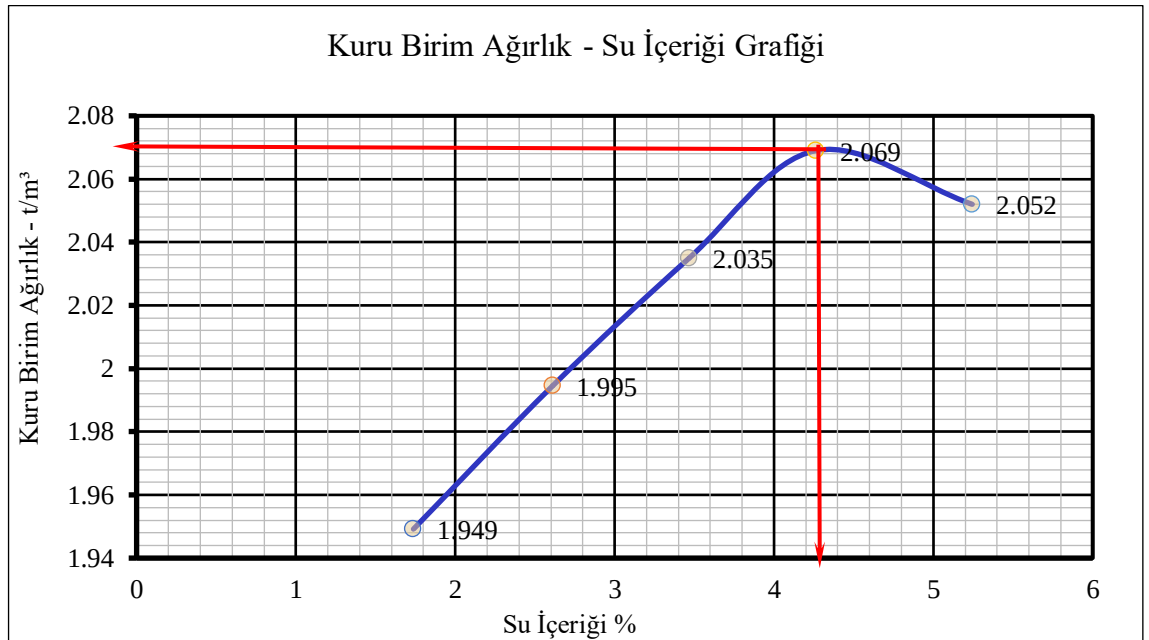
3.1.2.5. %100CR Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları

%100 CR karışım numunesi üzerinde yapılan elek analizi için yapılan gradasyon malzemelerinin γ_{kmax} ve W_{opt} ilişkileri modifiye proktor testi Tablo 11’de gösterilmektedir.

Tablo 11 .%100 CR karışımlarının modifiye proktor testi

Kuru Birim Ağırlığının Belirlenmesi					
Kalıp No	6	6	6	6	6
Kalıp Ağırlığı (w_1) g	2728	2728	2728	2728	2728
Kalıp + yaş numune ağırlığı (w_2) g	6940	7075	7200	7310	7315
Yaş numune ağırlığı ($w_2 - w_1$) g	4212	4347	4472	4582	4587
Yaş birim ağırlık t/m^3	1.983	2.047	2.105	2.157	2.160
Su içeriği (m) %	1.74	2.61	3.47	4.26	5.24
Kuru birim ağırlık t/m^3	1.949	1.995	2.035	2.069	2.052
Su İçeriğinin Belirlenmesi					
Kap Numarası	6	7	8	9	10
Kap Ağırlığı (w_1) g	95.00	92.73	82.60	48.21	37.44
Kap + yaş numune ağırlığı (w_2) g	454.55	412.25	416.32	418.60	415.35
Kap + kuru numune ağırlığı (w_3) g	448.41	404.12	406.78	403.45	396.52
Kuru numune ağırlığı ($w_d = w_3 - w_1$) g	353.41	311.39	275.20	355.24	359.08
Su ağırlığı	6.14	8.13	9.54	15.15	18.83
Su içeriği %	1.74	2.61	3.47	4.26	5.24
γ_{kmax}	2.069		t/m^3		
Optimum su muhtevası	4.26		%		

Numunenin elek analizi verilerinden ulaşılan gradasyon eğrileri γ_{kmax} ve W_{opt} temel tabakası için Şekil 18’de gösterilmektedir.



Şekil 18.%100CR karışımlarının γ_{kmax} ve W_{opt} oranı ilişkisi

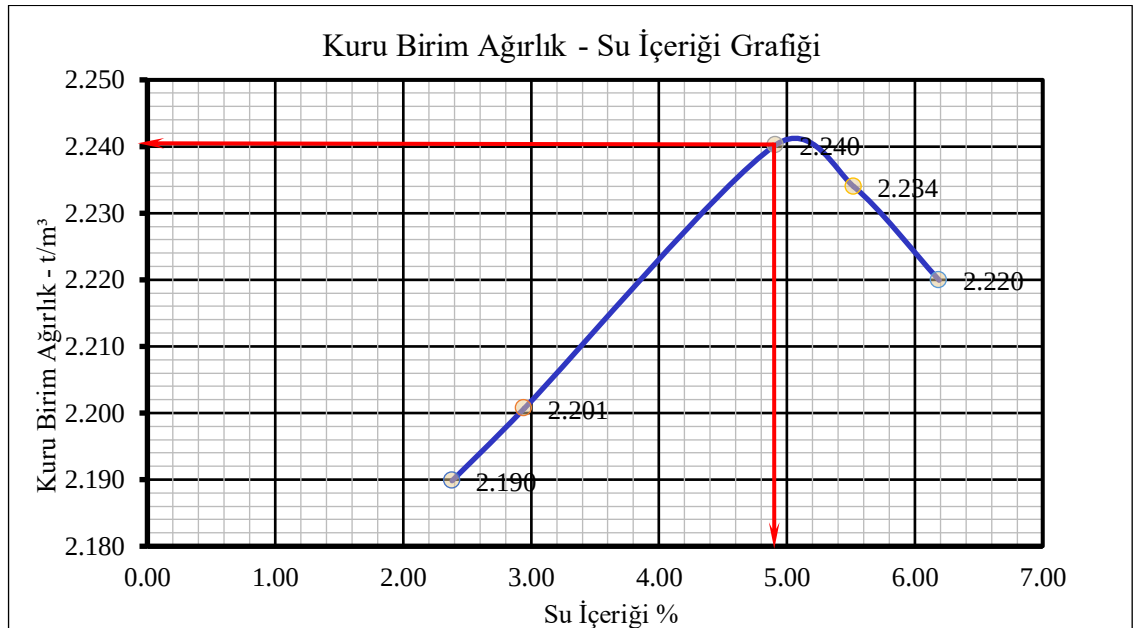
3.1.2.6 %100 DA Karışımların Modifiye Proktor Testi Bulguları

%100 CR karışım numunesi üzerinde yapılan elek analizi için yapılan gradasyon malzemelerinin V_{kmaks} ve W_{opt} ilişkileri modifiye proktor testi Tablo 12'de gösterilmektedir

Tablo 12.%100 CR karışımlarının modifiye proktor testi

Kuru Birim Ağırlığının Belirlenmesi					
Kalıp No	6	6	6	6	6
Kalıp Ağırlığı (w_1) g	2728	2728	2728	2728	2728
Kalıp + yaş numune ağırlığı (w_2) g	6940	7075	7200	7310	7315
Yaş numune ağırlığı ($w_2 - w_1$) g	4212	4347	4472	4582	4587
Yaş birim ağırlık t/m^3	1.983	2.047	2.105	2.157	2.160
Su içeriği (m) %	1.74	2.61	3.47	4.26	5.24
Kuru birim ağırlık t/m^3	1.949	1.995	2.035	2.069	2.052
Su İçeriğinin Belirlenmesi					
Kap Numarası	6	7	8	9	10
Kap Ağırlığı (w_1) g	95.00	92.73	82.60	48.21	37.44
Kap + yaş numune ağırlığı (w_2) g	454.55	412.25	416.32	418.60	415.35
Kap + kuru numune ağırlığı (w_3) g	448.41	404.12	406.78	403.45	396.52
Kuru numune ağırlığı ($w_d = w_3 - w_1$) g	353.41	311.39	275.20	355.24	359.08
Su ağırlığı	6.14	8.13	9.54	15.15	18.83
Su içeriği %	1.74	2.61	3.47	4.26	5.24
V_{kmaks}	2.069		t/m^3		
Optimum su muhtevası	4.26		%		

Numunenin elek analizi verilerinden ulaşılan gradasyon eğrileri V_{kmaks} ve W_{opt} temel tabakası için Şekil 19'da gösterilmektedir.



Şekil 19. %100CR karışımlarının V_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi

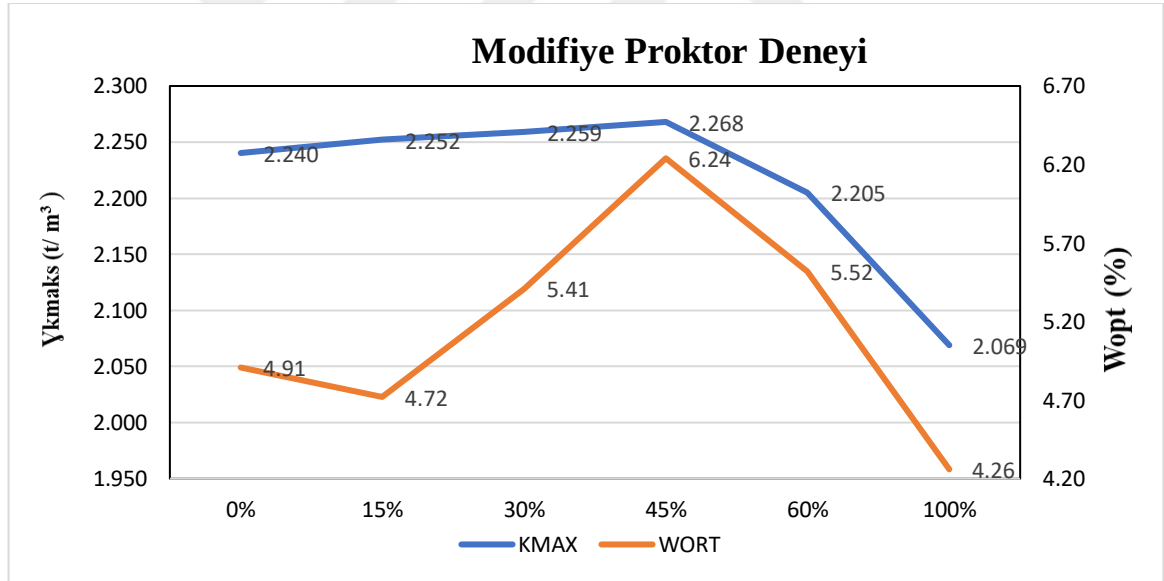
3.1.2.7 Modifiye Proktor Analizi Test Bulguları İncelemesi

Belirlenen numuneler gradasyon sınırları içerisinde hazırlanıp γ_{kmaks} ve W_{opt} modifiye proktor testi ile her biri belirlenmiş ve sonuçları tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. CR- DA karışımlarının modifiye proktor testi sonuçları

CR oranı (%)	DA (%)	γ_{kmaks} (t/m ³)	W_{opt} (%)
0	100	2.24	4.91
15	85	2.252	4.72
30	70	2.259	5.41
45	55	2.268	6.24
60	40	2.205	5.52
100	0	2.069	4.26

Belirlenen numuneler gradasyon sınırları içerisinde hazırlanıp γ_{kmaks} ve W_{opt} modifiye proktor testi ile her biri belirlenmiş ve sonuçları Şekil 20'de gösterilmektedir.



Şekil 20. CR-DA karışımlarının γ_{kmaks} ve W_{opt} oranı ilişkisi

CR pasası DA ile sıkışma sağlamadan γ_{kmaks} sonuçlarında yükselme meydana gelmeyecektir. Sonuçlar incelendiğinde karışım numunelerinin γ_{kmaks} değeri, %45 CR pasası ilavesine kadar artış göstermekte %60 ve %100 CR numunelerinde ise γ_{kmaks} değeri azalmaktadır. %100 CR malzemesinin kuru birim ağırlık değeri 2.069 t/m³ olarak belirlenmiş olup literatürdeki pasa malzemeleri için ortalama değer olan 2 t/m³ değerini sağlamaktadır. %100 CR malzemesinin optimum su muhtevası değeri ise %4.26 olarak belirlenmiştir ve bu sonuç literatürdeki değerlerle (%4-7.5) kıyaslandığında kabul

edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır (Chesner vd., 1998; Saeed, 2008; Carmargo vd., 2009; Seferoğlu, 2017).

Modifiye proktor deneyi sonucunda numunelerin maksimum kuru birim ağırlık değerlerinin (V_{kmaks}) ve optimum su muhtevası değerlerinin (W_{opt}) sırasıyla 2.069-2.268 (t/m^3) ve %4.26-6.24 arasında değiştiği ve bu değerlerin literatürde kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu belirlenmiştir. En düşük V_{kmaks} değeri % 100 krom pasa malzemeye ait iken en yüksek değerler % 45 pasa + % 55 doğal agrega malzeme karışımına ait olup bu sonuçlara göre pasa malzeme miktarının ağırlıkça artan % katkısı ile numunelerin maksimum kuru birim ağırlıklarında doğrusal bir artışın olduğu görülmüştür. En düşük W_{opt} değeri % 100 krom pasa malzeme, en yüksek W_{opt} değeri ise %45 pasa + % 55 doğal agrega malzeme numunesine ait olup % 100 doğal agrega malzemesinin W_{opt} değeri % 100 pasa malzemedan yüksektir. Ancak sonuçlar, 0-5 mm boyuta sahip doğal agrega malzemenin daha yüksek miktarda (% 50) ve 0-5 mm pasa malzemenin belli bir oranda (% 22) karışıma dahil edildiği karışım numunesinin optimum su muhtevası değerinde diğer numunelere göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu nedenle hazırlanan karışım numunelerinde daha küçük boyuta sahip (0-5 mm) doğal agrega malzeme katkısının optimum su muhtevası değerini arttırdığı ve etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir.

3.1.3 CBR Analizi Test Bulguları

3.1.3.1. %15CR-% 85DA Karışımların CBR Testi Bulgular

%15 CR- %85 DA karışım numunesi üzerinde yapılan CBR analizinden elde edilen veriler Tablo 14'te gösterilmektedir.

Tablo 14. %15CR-%85DA numunesinin 2.54 mm ve 5.08mm penetrasyon batması için CBR sonuçlar

Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deney Raporu	
Numunenin Durumu / Yaş-Kuru	Kuru
Kuru Birim Ağırlık (kg/cm^3)	2.252
Su Muhtevası	4.72
Şişme Yüzdesi	0
Ek Ağırlık (g)	9080
2,54 mm CBR Yüzdesi	178.1
5,08 mm CBR Yüzdesi	287.4
2,54 mm CBR Dayanımı MPA	261
5,08 mm CBR Dayanımı MPA	334

3.1.3.2. %30CR-% 70DA Karışımların CBR Testi Bulgular

%30 CR- %70 DA karışım numunesi üzerinde yapılan CBR analizinden elde edilen veriler Tablo 15’te gösterilmektedir.

Tablo 15. %30CR-%70DA numunesinin 2.54 mm ve 5.08mm penetrasyon batma CBR sonucu

Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deney Raporu	
Numunenin Durumu / Yaş-Kuru	Yaş
Kuru Birim Ağırlık (kg/cm ³)	2.259
Su Muhtevası	5.41
Şişme Yüzdesi	0
Ek Ağırlık (g)	9080
2,54 mm CBR Yüzdesi	177.2
5,08 mm CBR Yüzdesi	223.5
2,54 mm CBR Dayanımı MPA	202.2
5,08 mm CBR Dayanımı MPA	235.8

3.1.3.3. %45CR-% 55DA Karışımların CBR Testi Bulguları

%45 CR- %55 DA karışım numunesi üzerinde yapılan CBR analizinden ulaşılan veriler Tablo 16’da gösterilmektedir.

Tablo 16.%45CR-%55DA numunesinin 2.54 mm ve 5.08mm penetrasyon batma CBR sonucu

Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deney Raporu	
Numunenin Durumu / Yaş-Kuru	Kuru
Kuru Birim Ağırlık (kg/cm ³)	2.268
Su Muhtevası	6.24
Şişme Yüzdesi	0
Ek Ağırlık (g)	9080
2,54 mm CBR Yüzdesi	97
5,08 mm CBR Yüzdesi	199.8
2,54 mm CBR Dayanımı MPA	124
5,08 mm CBR Dayanımı MPA	228.9

3.1.3.4. %60CR-% 40DA Karışımların CBR Testi Bulguları

%60 CR- %40 DA karışım numunesi üzerinde yapılan CBR analizinden ulaşılan veriler Tablo 17’de gösterilmektedir.

Tablo 17.%60CR-%40DA numunesinin 2.54 mm ve 5.08mm penetrasyon batma CBR sonucu

Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deney Raporu	
Numunenin Durumu / Yaş-Kuru	Yaş
Kuru Birim Ağırlık (kg/cm ³)	2.205
Su Muhtevası	5.52
Şişme Yüzdesi	0
Ek Ağırlık (g)	9080
2,54 mm CBR Yüzdesi	119.3
5,08 mm CBR Yüzdesi	156.6
2,54 mm CBR Dayanımı MPA	145.3
5,08 mm CBR Dayanımı MPA	180.8

3.1.3.5. %100CR Karışımların CBR Testi Bulguları

%100 CR karışım numunesi üzerinde yapılan CBR analizinden ulaşılan veriler Tablo 18’de gösterilmektedir.

Tablo 18. %100CR numunesinin 2.54 mm ve 5.08mm penetrasyon batma CBR sonucu

Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deney Raporu	
Numunenin Durumu / Yaş-Kuru	Yaş
Kuru Birim Ağırlık (kg/cm ³)	2.069
Su Muhtevası	4.26
Şişme Yüzdesi	0
Ek Ağırlık (g)	9080
2,54 mm CBR Yüzdesi	113.3
5,08 mm CBR Yüzdesi	140.4
2,54 mm CBR Dayanımı MPA	126.9
5,08 mm CBR Dayanımı MPA	155

3.1.3.6. %100 DA Karışımların CBR Testi Bulguları

%100-DA karışım numunesi üzerinde yapılan CBR analizinden elde edilen veriler Tablo 19’da gösterilmektedir.

Tablo 19. %100DA karışımlarının 2.54 mm ve 5.08mm penetrasyon için CBR sonucu

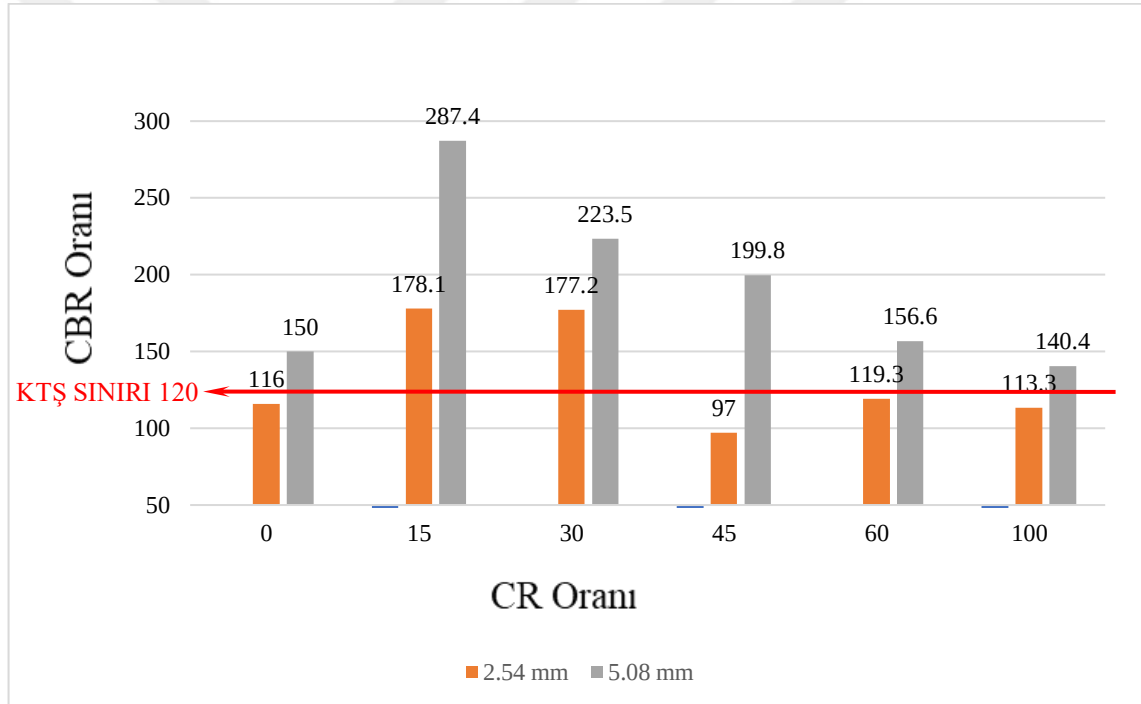
Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deney Raporu	
Numunenin Durumu / Yaş-Kuru	Yaş
Kuru Birim Ağırlık (kg/cm ³)	2.24
Su Muhtevası	4.91
Şişme Yüzdesi	0
Ek Ağırlık (g)	9080
2,54 mm CBR Yüzdesi	116
5,08 mm CBR Yüzdesi	150

3.1.3.7. CBR Testi Bulgularının İrdelenmesi

Yaş CBR testi için hazırlanan numunelerin boşlukları doygun hale geldiği zaman en düşük taşıma kapasitesindeki mukavemete ulaşılmaktadır. Yaş CBR testleri sonucunda 2.54 ve 5.08 mm penetrasyon derinliklerinde elde edilen CBR değerleri Tablo 20'de gösterilmektedir. Ayrıca tabloya göre çizilen grafikler de Şekil 22'de gösterilmektedir.

Tablo 20. CR-DA karışımlarının yaş CBR test sonuçları

	Penetrasyon derinliği (mm)	%100DA	%15 CR	%30 CR	45% CR	60% CR	%100 CR
Yaş CBR	2.54	116	178.1	177.2	97	119.3	113.3
(%)	5.08	150	287.4	223.5	199.8	156.6	140.4



Şekil 21. Farklı penetrasyon derinlikleri için %CR-DA CBR ilişkisi

Şekil 22 incelendiğinde krom pasasının karışımındaki oranı arttıkça 5.08 mm penetrasyon derinliği için elde edilen CBR yüzdeleri bakımından lineere yakın bir azalmanın oluştuğunu söyleyebiliriz. 2.54 mm penetrasyon derinliği için elde edilen CBR yüzdeleri bakımından ise yine lineere yakın bir azalma gözlenmiş ancak bu eğilimi %45 CR ilave edilen karışımın bozduğu anlaşılmıştır. Genel eğilim, karışımındaki CR ilavesi arttıkça CBR yüzdelerinin azaldığı yönünde olduğunu söyleyebiliriz. Literatürde temel tabakalarına doğal agrega dışında ilave edilen farklı türdeki agregaların, CBR yüzdelerini düşürdüğü görülmüştür (Senior vd. 1994, Chesner vd. 1998, Benner ve Maher 2005,

Ayan 2011). Yapılan çalışmanın sonuçları bu bakımından literatürdeki araştırmalara benzerlik göstermektedir. CBR sonuçlarına göre %100 CR malzemesi dahi KTŞ gereği olan minimum %120 CBR değerini sağlamakta ancak PMT tasarım ilkeleri gereği en az üç farklı tipte malzeme kullanılması gerektiğinden tek başına CR malzeme ile PMT tabakası oluşturulamamaktadır. Bununla birlikte %100 CR malzemesinin granüler temel tabakası olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Öyle ki, KTŞ standartlarında granüler temel tabakası için gereken minimum CBR yüzdesi %100 olarak verilmektedir. Yaş CBR test sonuçlarında maksimum CBR değerine %15 CR+%85 DA ile ulaşılmışken CR kullanım oranının en fazla olduğu ve KTŞ sınırları içerisinde kalabilen karışım oranının ise %60 CR+%40 DA olduğu görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde dikkat çeken en önemli husus, DA malzemesinin tek başına kullanılması halinde 5,08 mm penetrasyon derinliği için %150 CBR değeri elde edilmişken %15 CR + %85 DA karışımında CBR değerinin yaklaşık iki kat artarak %287,4 değerine ulaşmış olmasıdır. Bu değişimin nedeni araştırıldığında, karışım içerisine az miktarda da olsa CR pasasının ilave edilmesi ve ardından CBR deneyi için numunelerin 4 gün suda bekletilmesinin karışım içerisinde kimyasal reaksiyonlar oluşturduğu gerçeğine ulaşılmıştır. Çalışmanın mineralojik ve petrografik incelemeler bölümünde pasa malzemesinin olduğu kayaçların mikroskopik fotoğrafları gösterilmiş olup bu fotoğraflarda ve kayaç tanımlamalarında Ca-Mg-Si içerikleri bakımından zengin minerallerin varlığı gözlenmiştir. CBR deneyleri sırasında ise CR ilaveli numunelerin havuzdan çıkarıldıktan sonraki durumları üzerinde gözlemsel olarak yapılan incelemede, numunelerin adeta çimento ilave edilmişçesine sertleştiği anlaşılmış ve numunelerin bu hale gelmesinde CR pasasının kimyasal içeriğinin etkisinin olabileceği düşünülmüştür. DA olarak kimyasal bileşiminde Ca-Na-Si bulunan bazalt malzemesi seçilmiştir. DA malzemesine, içeriğinde yüksek oranda Ca-Mg-Si bulunan CR pasası ilave edilmesi ve ardından karışım malzemesinin sıkıştırılarak suda bekletilmesiyle hem karışımındaki Ca ve Si oranı artırılmış hemde su ile reaksiyonu sonucunda karışımın yüksek dayanım özelliği kazanması sağlanmıştır. Bu bilgiler ışığında, PMT tabakalarında geleneksel olarak bazalt türünde DA malzemelerinin kullanımı tercih edilse de, bu karışımların içerisine Ca ve Si bakımından zengin kayaçların ilave edilmesinin CBR oranlarını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.

3.2. Maliyet Analizi Bulgularının İrdelenmesi

DA DA-CR pasa atığı belirli oranlarda karıştırılan malzemelerden oluşturulan PMT tabakası yapımı için hesaplamalarda maliyet kalemleri; karışım numunelerinin taşıma tutarları ve temel tabakası yapımında ifade edilen pozlardır. Araştırmalar kapsamında krom pasasının maliyeti, kromu maden sahasından çıkartıldıktan sonra pasası atık depolarında boşaltılacağı için malzemeye ek bir para verilmeyeceği hesaba katılmıştır. Yapılan araştırmada hazırlanan malzemenin siloda harmanlanıp serim yapılacak çalışma sahasına nakliye maliyetlerinin taşınan karışım fark etmeksizin uzaklığın aynı olması nedeniyle maliyete katılmamıştır. Hesaplanan nakliye maliyetleri yalnızca CR pasasının depo alanından-siloya, olan maliyeti hesaplanmıştır.

3.2.1. %100 DA'nın Ocaktan Konkasöre Taşınma Maliyeti

Ocaklardan temini sağlanan doğal agregaların konkasör yardımıyla belirlenen gradasyonlara ufanıp, kırılıp ve ayrılarak depolanmak üzere serim yapılacak sahaya getirilir. Doğal agrega çıkartılan sahadan konkasörden geçmesi için taşıma ücreti; taşıma uzunluğunun 150 m geçmemesi durumunda temel tabaka yapımı için gerekli birim fiyat kalemine dâhildir. KGM/6100/3 pozu (elenmiş ve kırılmış taş) temel tabakası yapımına başlayınca ocak ile konkasör arasındaki fark 150 m aşar ve 10.000 m'den de kısa olmasında nakliye ücreti 4 nolu eşitlikteki formülasyon yardımı ile hesaplanmıştır. 10.000 m'den fazla mesafe olursa nakliye ücreti için 5 nolu eşitlik kullanılır (URL-3).

$$F = A \times 1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} - 0.0026 \times K \text{ (TL/ton)} \quad \text{Eşitlik (3)}$$

$$F = A \times 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01) - 0.0026 \times K \text{ (TL/ton)} \quad \text{Eşitlik (4)}$$

Burada; F tutar (TL), M uzaklık (m), K motorlu araçlara ait taşıma katsayısı ve A güçlük katsayısıdır.

3.2.2. CR Pasa Malzemesini Siloya Taşıma Maliyeti

İnşaat kazılarında farklı olarak malzemelerinin taşınması için pozlar KGM tarafından kabul gören iki farklı poz vardır. Bunlar formülleri ile birlikte Tablo 21'de detayları verilmektedir. (URL-4, URL-5)

Tablo 21.Kazıdan farklı malzemelerinin taşınmasında kullanılan pozlar

Poz No	Tanımı	
KGM 07.005/K	Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması $\leq 10000m$	
	$F=A \times 1.25 \times K \times 0.00017 \times \sqrt{M}$	
	F	Tutar (TL)
	M	Metre cinsinden uzaklık
	K	Motorlu araçlara ait taşıma katsayısı
KGM 07.006/K	A	Güçlülük katsayısı
	Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması $>10000m$	
	$F=A \times 1.25 \times K \times (0.0007 \times M + 0.01)$	
	F	Tutar (TL)
	M	m cinsinden ortalama taşıma mesafesi
	K	Motorlu araçlara ait taşıma katsayısı
	A	Güçlülük katsayısı

K= 1400 olup rayiç cetvelinde belirtilen (Poz 07.004/K) motorlu araçların taşıma katsayısıdır.

M= Taşımanın yapıldığı yol üzerindeki uzaklıkların dikkate alınarak ortalama taşıma mesafesinin hesaplanmasıdır.

Zor şartlarda yapılacak taşımalarda; taşımalarda karayollarının özellikleri önemsenmektedir. İklim bakımından zor ve kötü mevsimlere rastlaması gibi faktörlerden aynı zamana denk düşmesi ve işin özelliklerine göre, keşif yapılırken yahut ihaleden idarecilerin onaylanmak kaydıyla (A) katsayısı 1 (dahil) - 3 (dahil) arasında ki katsayı değeridir. Herhangi bir olumsuz durum olmayan koşullarda yapılacak taşımalarda A katsayısı, yine ilk keşif sırasında veya ihaleden önce 1' den küçük bir katsayı olarak kabul edilebilir. Keşif sırasında yahut ihaleden önce A katsayısının değeri tespit edilmemiş ise A = 1 alınarak hesaplamalar yapılacaktır.

3.2.3. Temel Tabakası Yapım Maliyeti

Karayollarınca 1 ton ağırlığındaki elenmiş veya kırılmış ocak taşıyla temel tabakası yapımında şartlara uygun malzemelerin hazırlanmasından ve zeminin nemli kalması için arasöz kullanılmasına kadar olan numunelerin miktarları KGM/6100/3 poz numarası ile Tablo 22'de gösterilmektedir. Ocak-konkasör arası uzaklık 150 m geçen taşıma mesafesi, doğal agreganın ve krom pasasının plent sahasına, suyun taşınması ve plente karışımların serim noktalarına götürülme tutarları birim fiyat içerisinde değildir (URL-3).

Tablo 22.KGM/6100/3 pozu analizi

Rayiç Numaraları	Açıklama	Birim	2024 Birim Fiyat (TL)	Miktarı
KGM/4103	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm. (3/4") ve 12.5 mm. (1/2") lik agrega hazırlanması	ton	244.38	0.28
KGM/4105	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 12.5 mm. (1/2") ve 4.75 mm. (No.4) lik agrega hazırlanması	ton	264.59	0.22
KGM/4107	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 4.75 mm. (No.4) ve daha küçük agrega hazırlanması	ton	280.74	0.5
KGM/4465/3	Plentmiks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	ton	52.81	1
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	ton	0.48	1
KGM/4466/5	Plentmiks alttemel karışımlarının finişer ile serilmesi ve silindirlerle sıkıştırılması	ton	126.09	1
KGM/15.047	Arazöz araç ile sulama	ton	104.79	0.01

Karayolları şartnamesinde KGM/6100/3 numaralı analiz pozunda agregalar için elek çapları ocaklardan temel tabakası için temin edilen 0-5 mm ve 12-19 mm dane çaplarındaki agregalar içindir. Bulunan dane çaplarından 5-12 mm ocaktan kırılmış ve elenmiş agregalar için poz numarası bulunamamıştır. KGM 'de yapı ve inşaat birimi kişilerince keşfe çıkılarak agrega gradasyonları için özel poz numaraları hazırlanabilmektedir. Bu nedenlerle bu araştırma kapsamında kullanılan 0-5 mm, 5-12 mm, 12-19 mm ve 19-25 mm doğal taş ocaklarından elenmiş ve kırılmış agreg gradasyonlara için özel poz hazırlanıp 2024 KGM birim fiyat analizi listesinde KGM/6100/ numaralı pozdan ortalama maliyet hesaplanmıştır. Kaba agreg çapları ince çaplılara nispeten daz az fiyat olması dikkate alınmıştır. KGM' den alınan fiyatları ve özel numaralı pozlar Tablo 23'te gösterilmiştir.

Tablo 23.Özel pozlar ile temel tabaka yapım maliyeti hesabında kullanılan veriler

Rayiç No	Açıklama	Birim	2024 Birim Fiyat (TL)	Miktarı
KGM/4103	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm. (3/4") ve 12.5 mm. (1/2") lik agregaların hazırlanması	ton	244.38	1
Özel Poz/1	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 12.5 mm. (1/2") ve 4.75 mm. (No.4) lik agregaların hazırlanması	ton	272.665	1
KGM/4107	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 4.75 mm. (No.4) ve daha küçük agrega hazırlanması	ton	280.74	1
KGM/4465/3	Plentmiks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	ton	52.81	1
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	ton	0.48	1
KGM/4466/5	Plentmiks alttemel ve temel karışımlarının finişer ile serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	ton	126.09	1
KGM/15.047	Arazöz araç ile sulama	ton	104.79	1

KGM/6100/3 numaralı poza göre yapılacak temel tabakasının yaklaşık imalat ücreti, belirlenen özel numaralı poz yaklaşık maliyetiyle yapılan temel tabakasından daha az maliyetli olmaktadır. Çalışma içeriğinde tercih edilen doğal agrega karışımları ince çaplı agrega içeriğinin çok kullanılması, malzeme temin etme ücretlerinde artış meydana gelmiştir. Çok ince çaplı boyutlarda agrega kullanılırsa daha kaliteli ve işlenebilirliği daha kolay bir temel tabakası yapılabileceği teşkil edilmiştir.

3.2.4. CR Pasa-DA Karışımlarından Yapılan Temel Tabakalarının Ekonomik Analizi

Doğal agrega ile krom pasa malzemeleri ocaktaki silolara dane çaplarına göre ayrı ayrı hesaplanıp yerleştirilir. Doğal agrega ile krom pasası karışım oranlarına göre hesaplanan ağırlıklar sistem verilerine yüklenir ve bantlardan geçen malzemeler en az 15 sn karıştırılır. Temel tabakası yapım çalışmalarında karayollarının CBR şartname limitlerini sağlayan %100 doğal agrega ve belirli oranlarda krom pası ile doğal agrega karışım oranlarının Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. DA ve CR-DA karışımları için plentte harmanlanacak numunelerin dane çaplarının karışım oranları

Malzeme	%DA	%DA	%DA	% CR
Karışım elek boyutları	12/19	5/12	0/5	0/25
Karışım Oranları %				
%100 DA	28	22	50	0
%15 CR- %85 DA	20	20	45	15
%30 CR- %70 DA	14	15	41	30
%45 CR- %55 DA	15	10	30	45
%60 CR- %40 DA	10	5	25	60
%100 CR	0	0	0	100

Bu çalışmada yapılması düşünülen 1 km temel tabakasında kullanılacak malzemelerin toplam miktarları ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmaks}) Tablo 25'te verilmiştir

Tablo 25. PMT tabaka yapımında kullanılacak malzemelerin γ_{kmaks} ve toplam malzeme miktarları

Malzeme	Genişlik (m)	Uzunluk (m)	Kalınlık (m)	γ_{kmaks} (t/m ³)	Toplam malzeme miktarı (ton)
%100 DA	8	1000	0,2	2.24	3.584
%15 CR- %85 DA				2.252	3.603.20
%30 CR- %70 DA				2.259	3.614,40
%45 CR- %55 DA				2.268	3.628.80
%60 CR- %40 DA				2.205	3.528
%100 CR				2.069	3.310.40

3.2.5. %100 DA Malzemesinden Yapılan PMT Tabakasının Maliyet Analizi

%100 doğal agregalardan yapılacak temel tabakasından arazöz ile sulanıp sıkıştırılması kadar malzemenin dane çaplarına göre sınıflandırılıp karışım oranlarına göre hesaplanan maliyeti Tablo 38'de gösterilmiştir. Bu maliyete harmanlanan malzemelerin kullanılacağı temel tabakasına olan taşıma maliyeti katılmamıştır. Ocak ile konkasör makinası arasındaki uzaklık 150 m geçmediği düşünülmüştür. Bu sebeple ocak ile konkasör arasındaki taşıma maliyeti temel tabakası yapımına dahil edilmiştir. 1 km yol için temel tabaka yapımında kullanılacak %100 doğal agrega değeri 3.584 ton olduğu

Tablo 26’da gösterilmiştir. %100 doğal agrega ile yapılan tabakada bu hesaplamalar bu değerlere göre belirlenmiştir.

Tablo 26. %100 DA ile yapılacak temel tabakasının maliyet analizi

Poz No	Tanımı	Kullanım Oranı %	Birim	Miktarı (ton)	2024 Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
KGM/4103	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm. (3/4") ve 12.5 mm. (1/2") lik agregaların hazırlanması	28	ton	1003.52	244.38	245.240,22
Özel Poz/1	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 12.5 mm. ve 4.75 mm. (No.4) lik agregaların hazırlanması	22	ton	788.48	272.665	214.990.90
KGM/4107	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 4.75 mm. (No.4) ve daha küçük agregaların hazırlanması	50	ton	1792	280.74	503.086.08
KGM/4465/3	Plentmiks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	-	ton	3584	52.81	189.271.04
Özel Poz/2	Krom maden pasasından 0-25 mm 'lik malzemesi hazırlanması	0	ton	0	0	-
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	-	ton	3584	0.48	1.720.32
KGM/4466/5	Plentmiks alttemel ve temel karışımlarının finişer ile serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	-	ton	3584	126.09	451.906.56
KGM/15.047	Arazöz araç ile sulama	-	ton	3584	104.79	375.567.36
Agrega ocağı ile konkasör arası mesafe 150 m'ye kadar taşınması fiyata dâhil					Toplam	1.981.782.48

3.2.6. DA-CR Karışımlarından Yapılan PMT Tabakasının Maliyet Analizi

Doğal agrega ve krom pasa karışımından yapılacak bir temel tabakasında kullanılacak malzeme tedarikinden arazözle ıslatılıp sıkıştırılmasına kadar belirlenen maliyetler Tablo 27’de gösterilmiştir. Bu maliyetlere karışımların konkasörden serim yapılacak alana taşıma maliyeti dahil değildir. Taş ocağı ile konkasör makinası arasındaki uzaklık 150 m mesafeden daha az olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple ocak ile konkasör taşıma maliyeti temel tabakası imalat ücretine dahildir. Krom pasası maden ocağından silolara nakliye ücreti Tablo 22’de verilen formüller yardımıyla hesaplamalara dahil edilmiştir. Krom pasasının depolandığı alandan silolara taşınma maliyetinin hesaplarında kullanılmıştır. Krom pasasının depolandığı uzaklığın 50 km olduğundan dolayı 10.000 m’den fazla uzaklıkta olduğundan 07.006/K poz numarasından faydalanarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda KTŞ standartları neticesinde kullanılabilir krom pasası ve doğal agrega karışım oranları %15 CR ve %30 CR karışım oranlarıdır. Maliyet

incelemelerinde belirlenen karışım oranları için hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 39’da hesaplanan verilere göre 1 km temel tabakası yapımı için %15 CR+%85 DA karışımlarından oluşan toplam malzeme miktarı 3.603.2 tondur.

Tablo 27.%15CR- %85DA ile yapılacak temel tabakasının maliyet analizi

Poz No	Tanımı	Kullanım Oranı %	Birimi	Miktarı (ton)	2024 Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
KGM/4103	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 19 mm. (3/4") ve 12.5 mm. (1/2") lik agrega hazırlanması	20	Ton	720.64	244.38	176110
Özel Poz/1	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 12.5 mm. (1/2") ve 4.75 mm. (No.4) lik agrega hazırlanması	20	Ton	720.64	272.665	196493.3
KGM/4107	Konkasörle kırılmış ve elenmiş 4.75 mm. (No.4) ve daha küçük agrega hazırlanması	45	Ton	162.,44	280.74	455203.1
KGM/4465/3	Plentmiks alttemel ve temel karışımı hazırlanması	-	Ton	3603.2	52.81	190285
Özel Poz/2	Krom maden pasasından 0-25 mm ‘lik RAP malzemesi hazırlanması	15	Ton	540.48	0	0
KGM/4269	Malzemenin kantar ile tartılması	-	Ton	3603.2	0.48	1729.536
KGM/4466/5	Plentmiks alttemel ve temel karışımlarının finişer ile serilmesi ve silindirle sıkıştırılması	-	Ton	3603.2	126.09	454327.5
KGM/15.047	Arazöz araç ile sulama	-	Ton	3603.2	104.79	377579.3
	Kazıdan başka inşaat malzemesinin taşınması >10000 m (RAP nakliyesi)	F = A × 1.25 × K × (0.0007 × M + 0.01)				283.752.000
		A		1		
		K		1400		
		M(km)		50		
		Miktar(t)		3603.2		
Toplam					1.894.290.52	

Tüm krom pasa karışımlar için pasa depo alanı ile silo arası uzaklıklar sırasıyla; 10,20,30,40,50,60,70,80,90 ve 100 km olma ihtimallerine göre taşıma hesaplamaları yapılmıştır. Depo ile silo arası 10 km’den az olması durumunda poz numarası 07.005/K formülden yararlanılmıştır. 10 km’den fazla mesafelerin hesaplamasında 07.006/K pozu kullanılmıştır. Krom pasa karışım oranları için gerekli olan pasa miktarları ve krom pasa malzemelerinin farklı uzaklıklara taşıma maliyet tutarı Tablo 28’de gösterilmektedir.

Tablo 28.CR pasa malzemelerinin farklı mesafelere bağlı taşıma maliyeti tutarları

Karışım	%15 CR %85 DA	%30 CR %70 DA	%45 CR %55 DA	%60 CR %40 DA	%100 CR %0 DA
Krom pasa ağr. (ton)	540.48	1084.32	1632.96	2116.8	3310.4
Taşıma mesafesi(km)	CR pasa taşınma maliyetleri (maden sahasından siloya, TL)				
10	16.079.28	32258.52	48.580.56	62.974.8	98.484.4
20	22.700.16	45.541.44	68.584.32	88.905.6	139.036.8
30	29.321.04	58.824.36	88.588.08	114.836.4	179.589.2
40	35.941.92	72.107.28	108.591.84	140.767.2	220.141.6
50	42.562.8	85.390.2	128.595.6	166.698	260.694
60	49.183.68	98.673.12	148.599.36	192.628.8	301.246.4
70	55.804.56	111.956.04	168.603.12	218.559.6	341.798.8
80	62.425.44	125.238.96	188.606.88	244.490.4	382.351.2
90	69.046.32	138.521.88	208.610.64	270.421.2	422.903.6
100	75.667.2	151.804.8	228.614.4	296.352	463.456

Krom pasasının doğal agrega ile karıştırılma oranı arttıkça malzemenin serim yapılacak alana taşıma maliyeti de doğrusal olarak artmaktadır. Karışımda %15 krom pasa kullanılması durumunda 100 km uzaklığa malzemenin taşıma maliyeti %100 oranda krom pasa kullanıldığında nakliye ücreti yaklaşık 1/6'sıdır. Yapılan maliyet analizinde A katsayısı 1 olarak hesaplanmıştır. Arazi ve iklim koşullarının da az zorlayıcı olması durumunda çalışmalar için A katsayısı 1'den daha düşük olabileceği ve bu durumun taşıma maliyetini düşüreceği bilinmektedir.

Tüm karışımların 1 km olarak yapılacak temel tabakası için krom pasa malzemelerinin silolara taşıma masrafları içerisinde farklı uzaklıklardaki toplam maliyet durumu Tablo 29'da belirtilmiştir. Tablo 29'da belirtilen %100 doğal agrega ile yapılacak 1 km uzunluğundaki 8 metre genişliğindeki temel tabakası için konkasörden serimi yapılacak alana 150 m geçmeyecek bir taşıma maliyeti yaklaşık olarak 1.981.782.48 TL olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi %15 CR - %85 DA, %30 CR - %70 DA, %45 CR - %55 DA - %60 CR- %40 DA ve %100 CR karışım oranlarınca hazırlanan malzemelerdeki toplam maliyet 100 km mesafede bile temin edilen krom pasası bile tamamı doğal agregalardan oluşan bir temel tabakası yapım maliyetinden daha ekonomik kazançlar elde edildiği görülmüştür.

Tablo 29. PMT yapımı, CR pasa atık malzemesinin siloya taşınma maliyeti

Karışım	%15 CR	%30 CR	%45 CR	%60 CR	%100 CR	%0 CR
	%85 DA	%70 DA	%55 DA	%40 DA	%0 DA	%100 DA
CR ağır.(ton)	540.48	1084.32	1632.96	2116.8	3310.4	0
Taşıma Mesafesi (km)	Tutar (Krom pasa taşıma maliyeti ve PMT yapımı dahil, TL)					
10	1.867.807.00	1.746.880.54	1.617.367.05	1.447.454.61	1.039.200.77	1.981.782.48
20	1.874.427.88	1.760.163.46	1.657.692.09	1.473.385.41	1.079.753.17	
30	1.881.048.76	1.773.446.38	1.683.622.89	1.499.316.21	1.120.305.57	
40	1.887.669.64	1.786.729.30	1.709.553.69	1.525.247.01	1.160.857.97	
50	1.894.290.52	1.800.012.22	1.735.484.49	1.551.177.81	1.201.410.37	
60	1.900.911.40	1.813.295.14	1.761.415.29	1.577.108.61	1.241.962.77	
70	1.907.532.28	1.826.578.06	1.787.346.09	1.603.039.41	1.282.515.17	
80	1.914.153.16	1.839.860.98	1.813.276.89	1.628.970.21	1.323.067.57	
90	1.920.774.04	1.853.143.90	1.839.207.69	1.654.901.01	1.363.619.97	
100	1.927.394.92	1.866.426.82	1.865.138.49	1.680.831.81	1.404.172.37	

Temel tabakasında %100 doğal agrega kullanılması ve doğal agreganın krom pasası ile karıştırılarak kullanılması durumunda sağlayacağı kâr- zarar karşılaştırması yapılmıştır. Krom pasasının depodan siloya olan mesafesi 50 km uzaklıkta olması durumu hesaplanıp Tablo 30' da belirtilmiştir.

Tablo 30. CR pasa atık malzemesi karışımı sağladığı kâr veya zarar miktarları ve oranları

Malzeme	Tutar (TL/KM)	Kâr(+) / Zarar (-) miktar (TL)	Kâr oranı (%)
%100 DA	1.981.782.48	0	0
%15 CR- %85 DA	1.894.290.52	+87.491.96	4.41
%30 CR- %70 DA	1.800.012.22	+181.770.26	9.17
%45 CR- %55 DA	1.735.484.49	+246.297.99	12.42
%60 CR- %40 DA	1.551.177.81	+430.604.67	21.72
%100 CR	1.201.410.37	+780.372.11	39.37

Tablo 30'da belirtildiği üzere krom pasasının karışım oranlarında kullanımının artması durumunda ulaşılan kâr arttığı görülmektedir. Karışımlarda doğal agreganın artması durumunda ise kâr oranı azalmaktadır. En büyük kâr oranı %100 CR karışımından elde edilmiştir (%39.47). Sonraki sırada ise %60 CR-%40 DA karışımı gelmektedir (%21.72). Fakat %100 CR malzemesi KTŞ'deki plentmiks temel tabakası agrega çeşitliliği şartını sağlamadığından tek başına kullanılamamaktadır. Krom pasa malzemesinin depo alanından siloya olan uzaklığı 50 km olduğu varsayıldığında fakat

daha yakın taşıma mesafelerinde maliyet oranının azaldığından kâr oranı artacağı için ekonomiklik sıralamalarında zirveyi alabilecektir. Ayrıca krom pasaları geri dönüşüm veya çevre kirliliğini önlemek için atık depolarında muhafaza edilmektedir. Bu sebepten ötürü yeni bir taşıma masrafı çıkarmaktadır. Taşıma maliyeti oluşturan krom pasasının depolanan atık sahalarına olan uzaklığı çıkartılarak daha kârlı bir hesaplama yapılacağı aşîkardır.

Dikkatleri üzerine çeken konu: Karışımlardaki krom pasa oranının artması durumunda maliyetin doğal olarak azalması dikkat çekmiştir. Tüm krom pasa karışımlarının tamamı doğal agrega ile oluşturulan temel tabakası için ekonomik ve çevre dostu bir çözüm olduğu düşünülmüştür.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Karayolları Teknik Şartnamesinin temel tabakası %100 doğal agrega malzemesi imalat koşullarını karşılayan krom maden sahasındaki pasa malzemesinin özellikleri, temel tabakasında uygulanabilirliği ve hangi oranda kullanılabilirliği, başarılı durumu ve krom pasası tercih edildiğinde kazandırdığı ekonomik avantajların saptanması üzerine yapılan araştırmaların değerlendirilmesinde aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Kullanılan krom pasa atık malzemesinin yapılan deneyler sonucunda No.200 elek altında kalan malzemenin %6 olarak tespit edilmiştir. Bulunan bu sonuç KTŞ temel tabakası yapımında No.200 elek boyutunda en fazla %10 oranı kabul edilebilir bir değer olmaktadır. Çalışmanın ince içerik oranı tüm karışımlar için bu limitin altında bir sonuç olduğu belirlenmiştir.

Krom pasa numunelerinin pasa oranı lineer arttıkça V_{kmaks} değişimi azalmaktadır. Krom pasa agregalar ince malzemeleri birleştirerek, iri agregalar arasındaki boşluğu doldurarak kenetlenmeyi arttıracaktır. İnce dane boyutlu agregaların miktarı düşük olduğu durumlarda V_{kmaks} değerini düşürmektedir. Ayrıca kaba agrega oranı arttıkça malzemenin sıkışma oranının daha zor olduğu ve CBR da azalmalar olduğu görülmüştür. Krom pasa karışım oranlarındaki artış Wopt değerlerinde azalmaya neden olmuştur.

CBR deney neticeleri incelendiğinde en fazla CBR değeri %15CR- %85 DA oranında karıştırılan numuneden elde edilirken, deney sonuçları değerlendirildiğinde karışımdaki krom pasa oranının %45 oranında karıştırılması ve oranın artması durumunda CBR değerinin azaldığı görülmüştür. Bu durumun nedeni krom pasa atık malzemesinin DA ile tam bir kenetlenme oluşturmaması gelmektedir. Karıştırılan agregalar arasında kenetlenme yapılamaması durumunda da CBR değerinde negatif bir artış meydana gelecektir. Oluşturulan karışım oranlarında krom pasa numunesinin KTŞ tarafından kullanılma olanağına sahip temel tabakası için yeterli görülen minimum CBR değeri (%120). Bu koşulu sağlayan maksimum oranda kullanılabilen krom pasa oranı, bu çalışmada %60 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada %100 CR pasasının KTŞ'nin PMT tabakaları için yapım şartlarında belirttiği gradasyon kriterlerini sağlamadığı belirlenmiş olup maliyet analizindeki hesaplamalara göre %100 CR pasasının %100 DA yerine ikame edildiğinde çokça ekonomik kazanımlar sağladı bulunmuştur.

CR pasası KTŞ'nin PMT tabaka yapımı için gerekli minimum %120 CBR değerini sağlayan en büyük oranda gerçekleştiren CR pasa oranı, yapılan araştırmalar neticesinde

%15 olarak bulunmuştur. Tüm CR pasa numuneleri CBR limitini KTŞ kriterini içerisinde olmayı başarmıştır.

Krom pasa malzemesinin karışım oranlarının tamamında yaş CBR şişme yüzdesi %0 olarak yapılan deneylerle belirlenmiş olup, bu değer numunenin şişmesinin olmadığı sonucunu ortaya koymuştur. Rast gele belirlenen birkaç numune 4 günden fazla süre su içinde bırakılmış lakin herhangi bir değişimin olmadığı saptanmıştır.

DA malzemesine, içeriğinde yüksek oranda Ca-Mg-Si bulunan CR pasası ilave edilmesi ve ardından karışım malzemesinin sıkıştırılarak suda bekletilmesiyle hem karışımındaki Ca ve Si oranı artırılmış hemde su ile reaksiyonu sonucunda karışımın yüksek dayanım özelliği kazanması sağlanmıştır. Bu bilgiler ışığında, PMT tabakalarında geleneksel olarak bazalt türünde DA malzemelerinin kullanımı tercih edilse de, bu karışımların içerisine Ca ve Si bakımından zengin kayaçların ilave edilmesinin CBR oranlarını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.

Krom Pasa karışım oranı arttıkça malzeme serim yapılacağı alana taşımından doğan nakliye ücreti doğrusal biçimde çoğalmaktadır. Karışımında %100 CR atık pasa kullanılırsa 100 km uzaklığa nakliye ücreti %100 krom pasa karışımının nakliye maliyetinin 1/6'sıdır.

En büyük kâr oranı %100 CR karışımından elde edilmiştir (%39.37). Sonraki sırada ise %60 CR- %40 DA karışımı gelmektedir (%21.72). Numunenin temel tabakasında kullanılacak yakın alanlara silo kurulması ve karışımların o bölgedeki silolarda hazırlanması nakliye ücretlerini azalttığı krom pasa kullanılmasından yararlanılacak kar oranı ekonomiklik sıralamasında %100 CR pasa tercih edilme durumu zirveye yerleşebilecektir.

KTŞ limitlerine göre temel tabaka yapım koşulu CBR testinin 120'den aşağı olmama koşullarını %100 CR pasa karışım gradasyonunu başına sağlayamayıp tek başına kullanımının mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır. Maliyet analiz sonuçlarına göre %100 krom pasa atığının %100 doğal agrega yerine kullanılma olanağına sahip olup ayrıca büyük mali kazançlar sağladığı görülmüştür.

1 km uzunluğunda 8 metre genişliğinde 20 cm kalınlığındaki bir temel tabakası için %100 oranında doğal agrega ile serimi yapılan yolun (taş ocaklarından kırılıp serim alanına taşıma mesafesi hariç) maliyeti yaklaşık olarak 1981782.48 TL olarak tespit edilmiştir.

%100 CR ile yapılacak bir PMT tabakası için KTŞ'nin yapım şartında istediği 3 farklı tip gradasyonu tek başına sağlayamadığı için kullanılamayacaktır. Ancak %60 CR %40 DA karışım numunesi ile PMT tabakalarında kullanımının olduğu sonucuna varılmıştır. Maliyet analizindeki hesaplamalar da %100 CR numunesinin %100 DA yerine tercih edilmesi durumunda çok fazla ekonomik kazanç sağladığı görülmüştür.

Tüm karışım numunelerinin V_{kmax} değeri, %45 CR pasası ilavesine kadar artış göstermekte %60 ve %100 CR numunelerinde ise V_{kmax} değeri azalmaktadır. %100 CR malzemesinin kuru birim ağırlık değeri 2.069 t/m^3 olarak belirlenmiş olup diğer karışımlarda ise 2.20 ile 2.26 arasında değişmekte olup literatürdeki pasa malzemeleri için ortalama değer olan 2 t/m^3 değerini sağlamaktadır.

Numunelerde CR ilavesi arttıkça CBR yüzdelerinin azaldığı yönünde olduğunu görülmüştür. CBR sonuçlarına göre %100 CR malzemesi dahi KTŞ gereği olan minimum %120 CBR değerini sağlamaktadır. Literatürde temel tabakalarına doğal agrega dışında ilave edilen farklı türdeki agregaların, CBR yüzdelerini düşürdüğü görülmüştür. Yapılan çalışmanın sonuçları bu bakımından literatürdeki araştırmalara benzerlik gösterdiği sonucuna varılmıştır.



KAYNAKÇA

- Ahmed, A. A., ve Abouzeid, A. Z. (2011). An environmental solution for phosphate coarse waste reject-using them as concrete mix aggregates. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 39(1), 207-218.
- Ahmed, I. (1993). Use of Waste materials in highway construction, Purdue University, Noyes Data Corporation.
- Akbulut, H., Güner, C. (2006). “Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi”, *İmo Teknik Dergisi*, 9, 26-29.
- Alataş, T. (1996). *Afşin-Elbistan termik santrali uçucu külünün yol stabilizasyonunda çeşitli malzemelerle birlikte kullanımı üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu-Türkiye (50970)*.
- Andreola, F., Barbieri, L., Bondioli, F., 2012, Agricultural waste in the synthesis of coral ceramic pigment. *Dyes and pigments*, 94(2), 207-211.
- Ayan, V. (2011). *Assessment of Recycled Aggregates for Use in Unbound Subbase of Highway Pavement, Doktora Tezi , Kingston University, London. (KP 70038805)*
- Bennert, T., Maher, A. (2005). “The Development of a performance specification for granular base and subbase material”, *Federal Highway Administration, Washington, Byproduct Materials in Pavement Construction, Final Report No: FHWA-RD-97*.
- Carmargo, F., Wen, H., Edil, T., B. ve Son, Y., H. (2009). Laboratory Evaluation of Sustainable Materials at MnRoad, In Proceedings of the 86th TRB Annual Meeting, Paper No. 09-3160, *Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC*.
- Chesner, W., Collins, R., MacKay, M. ve Emery, J. (1998). “User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction”, Final Report No: FHWA-RD-97- 148, *Federal Highway Administration, McLean, Virginia*.
- Chesner, W., Collins, R., MacKay, M. ve Emery, J.(1998). User Guidelines for Waste and Chini A.R., Kuo S.S., Armaghani J.M., Duxbury J. P., 2001. Test of Recycled Concrete Aggregate In Accelerated Test Track, *Journal of Transportation Engineering*, 127, 6, 486492.
- Copeland, A. (2011). Reclaimed asphalt pavement in asphalt mixtures: State of the practice, Final report no: FHWA-HRT-11-021, *Office of Infrastructure Research and Development Federal Highway Administration, Washington D.C*.

- Cosentino, P., J., Kalajian, E., H., Bleakley, A., M., Diouf, B., S., Misilo, T., J., Petersen, A., J. ve Sajjadi, A., M. (2012). Improving the Properties of Reclaimed Asphalt Pavement for Roadway Base Applications, Final Report No: FL/DOT/BDK81 97702, *Florida Department of Transportation*.
- Çullu M. (2018). Kurşun-çinko maden artığı kayaçlarla üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 21(2), 427-435.
- Rezende D., R. I., and Carvalho, J. C. (2003). The Use of Quarry Waste in Pavement Construction, *Resources Conversion & Recycling, Department, London*.
- Drew, L.J., Langer, W.H., Sach, Janet, S. (2002). Environmentalism and Natural Aggregate Mining, *Natural Resources Research, Elsevier Science*, 11(11).
- Esin T. ve Coşgun N., 2007. A Study Conducted to Reduce Construction Waste Generation in Turkey, Building and Environment, *Department of Architecture, Faculty of Architecture, Gebze Institute of Technology, Kocaeli*, 42, 1667- 1674.
- Eyuboglu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Yi, K., Kwon, S., Akaryalı, E. (2013). Petrogenesis and U–Pb zircon chronology of adakitic porphyries within the Kop ultramafic massif (Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey). *Gondwana Res.* 24, 742–766.
- Ferguson, G. (1993). Use of Self-Cementing Fly Ashes as a Soil Stabilization Agent, *American Society for Civil Engineers, New York*.
- Ganne, V., K. (2009). Long-Term Durability Studies on Chemically Treated Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials, Master Thesis, University of Texas, Arlington
- Gupta, S., C., Kang, D., H. ve Ranaivosoon, A., 2009. *Hydraulic and Mechanical Properties of Recycled Materials*, Final Report No: 2009-32
- İlcalı, M. (1988). *Karayolu üst yapısında erdemir cürufunun kullanılabilirliğinin araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu-Türkiye, (28705)*
- Kara, M., Günay, E., Kavaklı, B., Bodur, H. (2001). Çelikhane Cüruflarının Farklı Uygulama Alanlarında Değerlendirilmesi Projesi, *Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, Kocaeli*.
- Kartam N., Al-Mutairi N., Al-Ghusain I. ve Al-Humoud J. (2004). Environmental Management of Construction and Demolition Waste in Kuwait, *Waste Management*, 24, 1049-1059.
- KTŞ, “Karayolu Teknik Şartnamesi”, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara (2013).

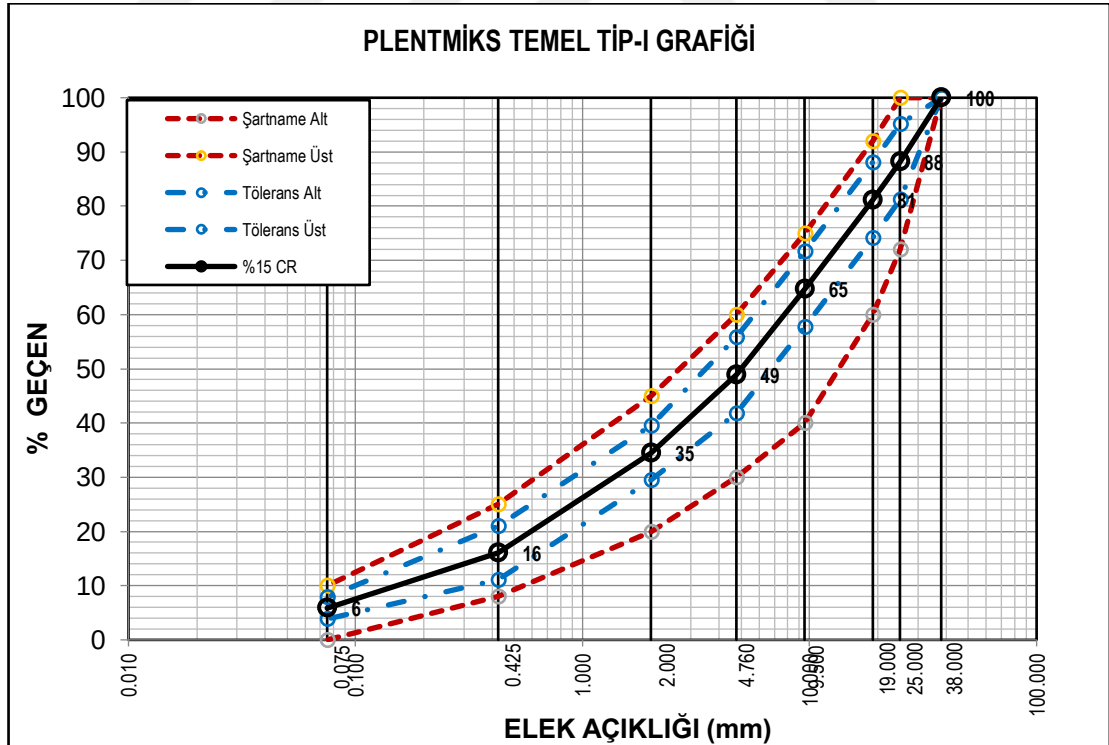
- Lennon, M. (2005). Recycling Construction and Demolition Wastes A Guide for Architects and Contractors, The Institution Recycling Network. Materials for Use in Aggregates, *International Road Federation/Transportation*.
- Mulder E., Jong T.P.R. ve Feenstra L. (2007). Closed Cycle Construction: An Integrated Process for the Separation and Reuse of C&D Waste, *Waste Management*, 27, 1408-1415.
- Nataatmadja A. ve Tan, Y.L. (2001). Resilient Response Noureldin, A.S. and McDaniel, R.S., 1990. Evaluation of Surfaces Mixtures of Steel Slag and Asphalt, *Transportation Research Record* , 1296.
- Okubay M. (2016). *Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agregat Olarak Mermer Atığı Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu-Türkiye, (442550)*
- Özbayoğlu, F., Gürel, A., Aydın, E. (1997). Termik Santral Desülfojipslerinin Değerlendirilmesi, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3 Bildiriler Kitabı*, 145-157.
- Pasetto, M., Baldo N.(2010). Experimental evaluation of high performance base course and road base asphalt concrete with electric arc furnace steel slags. *J. Hazard. Mater.* 181, 938–948.
- Rakshvir M. ve Barai S.V. (2006). Studies on Recycled Aggregates-Based Concrete, *Waste Manage Res*, 24, 225-233. Rao A., Jha K.N.
- Saeed, A. (2008). Performance-Related Tests of Recycled Aggregates for Use in Unbound Pavement Layers, NCHRP Report 598, *Transportation Research Board , Washington, DC*.
- Seferoğlu, A. G., Seferoğlu, M. T., Akpınar, M. V. (2015). Yol Aşınma Tabakasının Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Ulaşım Üstyapısında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara, Türkiye.
- Seferoğlu, A. G. (2017). *Kazınmış asfalt kaplamaların (RAP) çimento takviyesi ile plent-miks temel (PMT) tabakalarındaki performanslarının tekrarlı yükler altında incelenmesi ve maliyet analizi, Doktora Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu-Türkiye, (482567)*.
- Senior, S., A., Szoke, S., I. ve Rogers, C., A. (1994). Ontario's Experience with Reclaimed Stringfellow, M., Mainieri, J., Kolbet, L. And Finch, D., 1994. Fly ash as mineral fillers in traffic marking paint: a feasibility study, *Transportation Research Record* , 1442, 65-73.

- Şenol, A., Edil, T.B. (2004). Uçucu Kül ile Stabilize Edilen Yumuşak Zeminlerin CBR Sonuçlarının Değerlendirilmesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İTÜ, Eylül*.
- Terzili, S. ve Vural, M. (2020). Bina beton atıklarının karayollarında bitümlü temelde agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6), 1035-1041.
- Topçu İ.B. ve Sengel S. (2004). Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate. *Cem Concr Res.*, 34, 8, 1307-1312.
- TS 639, 1998. Uçucu Küller, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1367-2 Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölümü 1999
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğinobalı, A. (2004). Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, *TÇMB, Ankara, Ağustos*.
- URL-1, <http://www.simgemat.com.tr/tr/CevreArge/AsfaltGeriKazanimi>. 20 Ekim 2017
- URL-2, <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/Default.aspx> erişim tarihi 20.05.2024
- URL-3, <http://www.birimfiyat.net/kgm-6100-3-plent-miks-temel-yapilmasi-kirilmis-veelenmis>
- URL4, <http://www.birimfiyat.net/07.005-k-kazidan-baska-insaat-malzemelerinin-tasinmasi>
- URL5, <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/MerkezBirimler/ProgramIzlemeDairesiBaskanligi/2024YiliBirimFiyatListesi.pdf>.
- Valunjkar, S. (2010). Utilization of Fly Ash and Steel Slag in Road Construction -A Comparative Study, *Goal Programming Engineering Optimization 2010 - A Presentation*.
- Wasti, Y. (1990). Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları, *İMO Teknik Dergi*, Cilt:1, Sayı:4, Ankara, s.177-188.
- Yakşe G. ve Ural N. (2015). Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 53-61.
- Yılmaz, E., Kesimal, A., Ercıktı, B., ve Kaya, R. (2003). “Seslidere Taşocağı’ndan Üretilen Kayanın Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği”, *3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul*.

EKLER

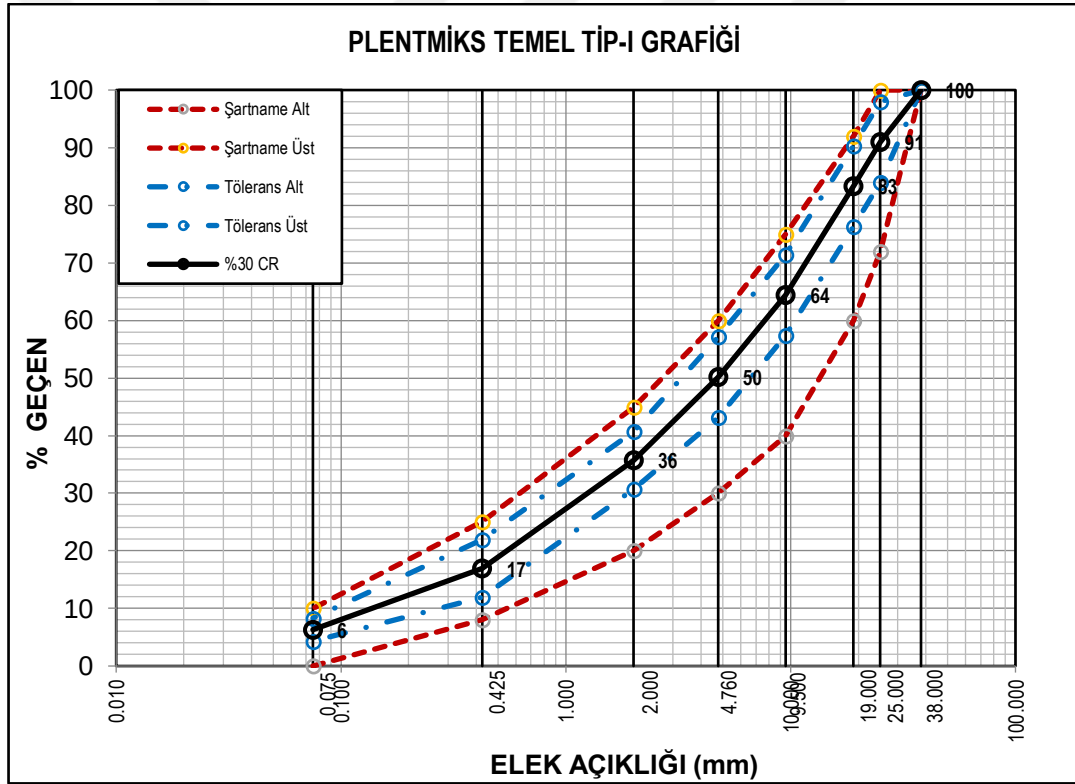
Ek 1. %15 CR-%85DA Elek analizi sonuçları ve gradasyon grafiği

Karışım Oranları % Değerleri		%	%	%	%	Hesaplanan Ortalama Karışım	Şartname Limitleri		
		15 CR	20 DA	20 DA	45 DA		Plentmiks Temel Tip-I		
Karışım Elek Boyutları		0/25	12/25	5/12	0/5				
Mm	inch	A	B	C	D		ALT	-	ÜST
38	1 1/2"	100	100	100	100	100	100,0	-	100,0
25	1"	96	44	100	100	88	72,0	-	100,0
19	3/4"	82	19	100	100	81	60,0	-	92,0
9,5	3/8"	46	0	64	100	65	40,0	-	75,0
4,76	No.4	35	0	2	96	49	30,0	-	60,0
2	No.10	26	0	0	68	35	20,0	-	45,0
0,425	No.40	14	0	0	31	16	8,0	-	25,0
0,075	No.200	6	0	0	11	6	0,0	-	10,0



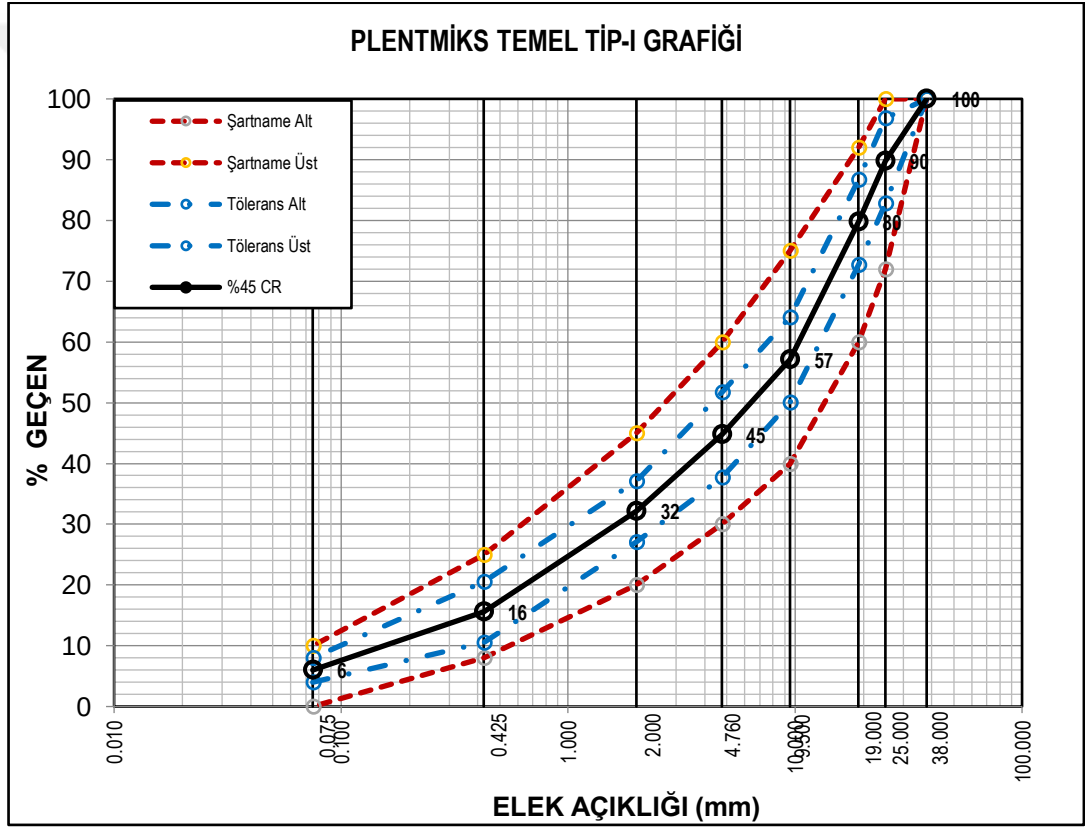
Ek 2. %30 CR-%70DA Elek analizi sonuçları ve gradasyon grafiği

Karışım Oranları %		%	%	%	%	Hesaplanan Ortalama Karışım	Şartname Limitleri		
Değerleri		30	14	15	41		Plentmiks Temel Tip-I		
Karışım Elek Boyutları		0/25	12/25	5/12	0/5				
mm	inch	A	B	C	D		ALT	-	ÜST
38	1 1/2"	100	100	100	100	100	100,0	-	100,0
25	1"	96	44	100	100	91	72,0	-	100,0
19	3/4"	82	19	100	100	83	60,0	-	92,0
9,5	3/8"	46	0	64	100	64	40,0	-	75,0
4,76	No.4	35	0	2	96	50	30,0	-	60,0
2	No.10	26	0	0	68	36	20,0	-	45,0
0,425	No.40	14	0	0	31	17	8,0	-	25,0
0,075	No.200	6	0	0	11	6	0,0	-	10,0



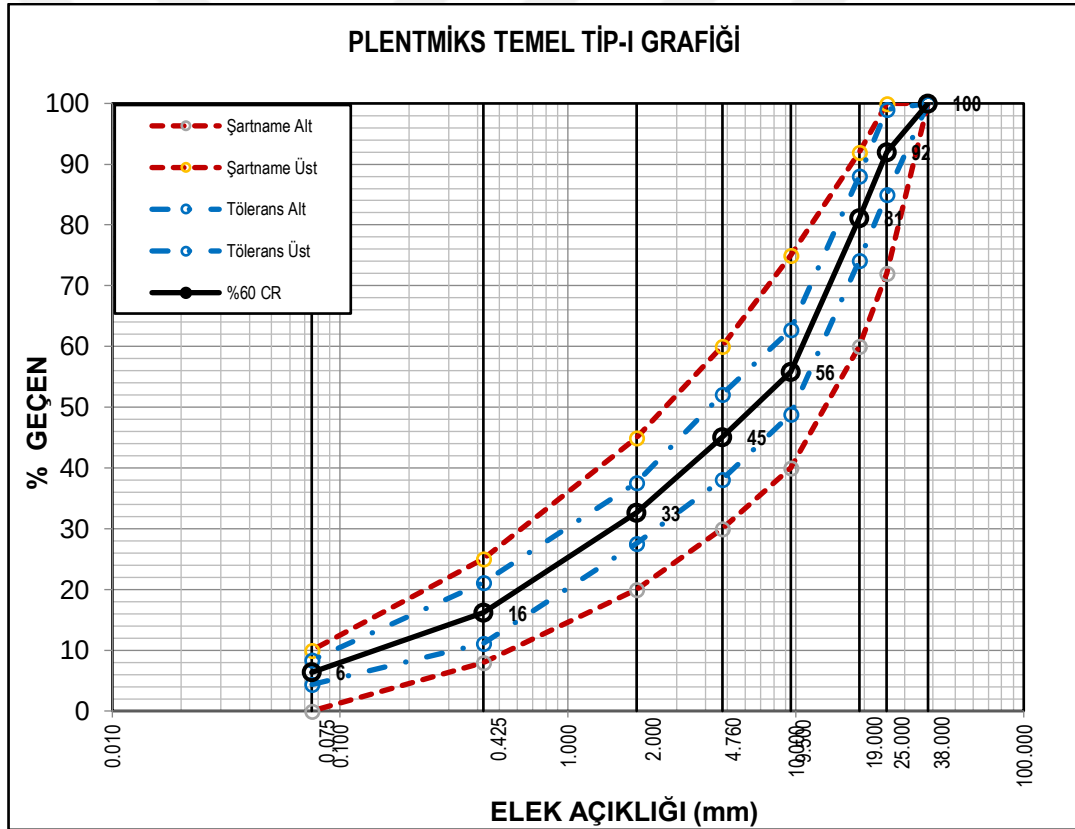
Ek 3. %45 CR-%55 DA Elek analizi sonuçları ve gradasyon

Karışım Oranları %		%	%	%	%	Hesaplanan Ortalama Karışım	Şartname Limitleri		
Değerleri		45	15	10	30		Plentmiks Temel Tip-I		
Karışım Elek Boyutları		0/25	12/25	5/12	0/5		Tip-I		
Mm	inch	A	B	C	D		ALT	-	ÜST
38	1 1/2"	100	100	100	100	100	100,0	-	100,0
25	1"	96	44	100	100	90	72,0	-	100,0
19	3/4"	82	19	100	100	80	60,0	-	92,0
9,5	3/8"	46	0	64	100	57	40,0	-	75,0
4,76	No.4	35	0	2	96	45	30,0	-	60,0
2	No.10	26	0	0	68	32	20,0	-	45,0
0,425	No.40	14	0	0	31	16	8,0	-	25,0
0,075	No.200	6	0	0	11	6	0,0	-	10,0



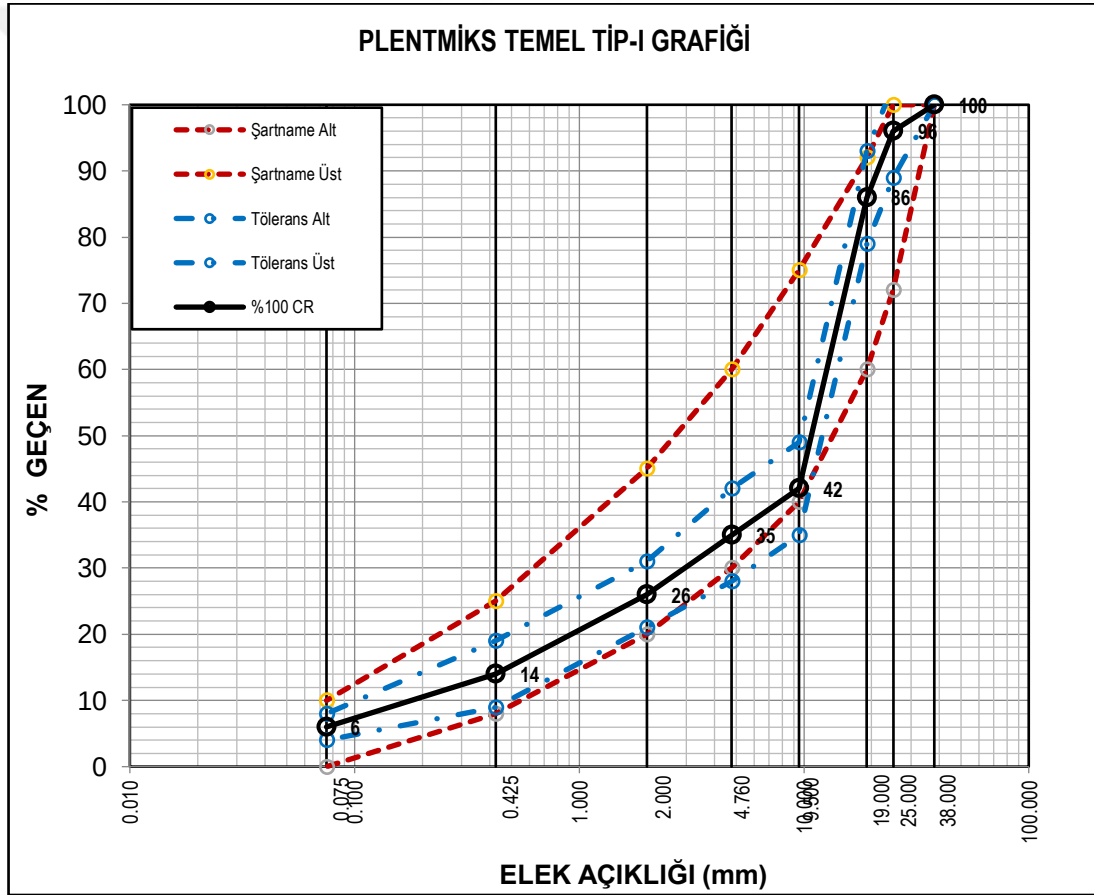
Ek 4. %60 CR-%40 DA Elek analizi sonuçları ve gradasyon grafiği

Karışım Oranları % Değerleri		60% CR	%10 DA	%5 DA	%25 DA	Hesaplanan Ortalama Karışım	Şartname Limitleri
Karışım Elek Boyutları		0/25	12/25	5/12	0/5		Plentmiks Temel Tip-I
mm	inch	A	B	C	D		ALT - ÜST
38	1 1/2"	100	100	100	100	100	100,0 - 100,0
25	1"	96	44	100	100	92	72,0 - 100,0
19	3/4"	82	19	100	100	81	60,0 - 92,0
9,5	3/8"	46	0	64	100	56	40,0 - 75,0
4,76	No.4	35	0	2	96	45	30,0 - 60,0
2	No.10	26	0	0	68	33	20,0 - 45,0
0,425	No.40	14	0	0	31	16	8,0 - 25,0
0,075	No.200	6	0	0	11	6	0,0 - 10,0



Ek 5. %100 CR Elek analizi sonuçları ve gradasyon grafiği

Karışım Oranları %		%	%	%	%	Hesaplanan Ortalama Karışım	Şartname Limitleri		
Değerleri		100	0	0	0		Plentmiks Temel Tip-I		
Karışım Elek Boyutları		0/25	12/25	5/12	0/5				
Mm	inch	A	B	C	D		ALT	-	ÜST
38	1 1/2"	100	100	100	100	100	100,0	-	100,0
25	1"	96	44	100	100	96	72,0	-	100,0
19	3/4"	86	19	100	100	86	60,0	-	92,0
9,5	3/8"	42	0	64	100	42	40,0	-	75,0
4,76	No.4	35	0	2	96	35	30,0	-	60,0
2	No.10	26	0	0	68	26	20,0	-	45,0
0,425	No.40	14	0	0	31	14	8,0	-	25,0
0,075	No.200	6	0	0	11	6	0,0	-	10,0



ÖZGEÇMİŞ

Elif Nur ACI İlk, orta ve lise öğrenimini 2005-2017 yılları arasında Malatya'da tamamladı 2018 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı.2022 yılında mezun oldu. 2022 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında tezli yüksek lisans eğitimine başladı. 2023 Nisan ayında İşkaya İnşaat San. Tic. A.Ş'de göreve başlamış olup halen göreve devam etmektedir.

