

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FELDSPAT MADENİ YAN ÜRÜNÜNÜN KARAYOLU ESNEK
ÜSTYAPILARI TABAN ZEMİNİ STABİLİZASYONUNDA
KULLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yelda ÜRGÜL ACAR

**Danışman
Prof. Dr. Mehmet SALTAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2016**



© 2016 [Yelda ÜRGÜL ACAR]

TEZ ONAYI

Yelda ÜRGÜL ACAR tarafından hazırlanan " **Feldspat Madeni Yan Ürününün Karayolu Esnek Üstyapıları Taban Zemini Stabilizasyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

| | |
|-------------------|--|
| Danışman | Prof. Dr. Mehmet SALTAN Süleyman Demirel Üniversitesi |
| Jüri Üyesi | Prof. Dr. Serdal TERZİ Süleyman Demirel Üniversitesi |
| Jüri Üyesi | Yrd. Doç. Volkan Emre UZ Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi |

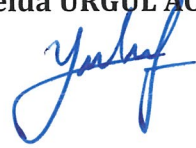


Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Yasin TUNCER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Yelda ÜRGÜL ACAR



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| İÇİNDEKİLER..... | i |
| ÖZET | iii |
| ABSTRACT | iv |
| TEŞEKKÜR... .. | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KARAYOLU BİLGİSİ..... | 4 |
| 2.1. Karayolu | 4 |
| 2.1.1. Karayolu alt yapısı..... | 5 |
| 2.1.2. Karayolu üst yapısı..... | 6 |
| 2.1.2.1. Üstyapı tipleri | 7 |
| 2.1.2.1.1. Rijit (Beton) üstyapılar | 7 |
| 2.1.2.1.2. Yarı rijit üstyapılar | 8 |
| 2.1.2.1.3. Esnek üstyapılar..... | 8 |
| 2.1.2.1.3.1. Üstyapı tabanı..... | 10 |
| 2.1.2.1.3.2. Alttemel..... | 10 |
| 2.1.2.1.3.3. Temel..... | 10 |
| 2.1.2.1.3.4. Kaplama tabakası..... | 11 |
| 2.1.3. Esnek üstyapılarda taban zemini..... | 11 |
| 2.1.3.1. Taban zemininde kullanılan malzeme özellikleri | 13 |
| 2.1.3.2. Taban zemini stabilizasyonu..... | 23 |
| 3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI (Kaynak Özetleri) | 27 |
| 4. METARYEL ve YÖNTEM..... | 30 |
| 4.1. Kullanılan Malzemeler | 30 |
| 4.1.1. Feldspat..... | 30 |
| 4.1.1.1. Feldspatların fiziksel özellikleri..... | 31 |
| 4.1.1.2. Dünyadaki durum | 32 |
| 4.1.1.3. Rezervler..... | 32 |
| 4.1.2. Yol taban zemini olarak ve kullanılan Isparta havalimanı civarından temin edilen malzeme | 33 |
| 4.2. Kullanılan Metodlar..... | 33 |
| 4.2.1. Elek Analizi Deneyi | 34 |
| 4.2.2. Likit limit ve plastik limit deneyleri | 35 |
| 4.2.3. Standart proktor deneyi | 36 |
| 4.2.4. Kalifornia taşıma oranı (CBR) deneyi..... | 37 |
| 4.2.5. Dinamik üç eksenli basınç deneyi..... | 39 |
| 4.2.5.1. Esneklik modülü deneyi..... | 42 |
| 4.2.5.2. Numune Hazırlanması | 44 |
| 4.2.5.3. Deneyde uygulanan gerilmeler | 46 |
| 5. ARAŞTIRMA BULGULARI | 48 |
| 5.1. Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılacak Feldspatın Fiziksel Özellikleri..... | 48 |
| 5.2. Stabilize Edilecek Malzeme ve Özellikleri | 53 |
| 5.2.1. Isparta havalimanı malzemesi plastik killi zemin | 53 |

| | |
|--|----|
| 5.2.1.1. Isparta havalimanı malzemesinin esneklik modülü (Mr) deney bulguları..... | 57 |
| 5.3. Stabilizasyon İşlemi..... | 59 |
| 5.3.1. Isparta havalimanı malzemesinin feldspat madeni yan ürünü ile stabilizasyon işlemi | 59 |
| 5.3.2. Isparta havalimanı malzemesinin feldspat madeni yan ürünü karışımının esneklik modülü (Mr) deney bulguları | 62 |
| 6. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR..... | 68 |
| 7. KAYNAKLAR..... | 71 |
| EKLER | 73 |
| EK A. Likit Limit ve Plastik Limit Deney Bulguları Çizelgeleri ve Grafikleri | 74 |
| EK B. Proktor Deney Bulguları Çizelgeleri ve Grafikleri..... | 79 |
| EK C. CBR Deney Bulguları Tabloları ve Grafikleri..... | 85 |
| ÖZGEÇMİŞ | 90 |



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FELDSPAT MADENİ YAN ÜRÜNÜNÜN KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPILARI TABAN ZEMİNİ STABİLİZASYONUNDA KULLANILİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yelda ÜRGÜL ACAR

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

Bu çalışmada, yer kabuğunun %60-65'ini oluşturan ve Aydın Çine yataklarından çıkarılan feldspat madeninin işlenmesi sonucu oluşan feldspat madeni yan ürününün esnek üstyapılarda yol taban zemininde stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Feldspat madeni yan ürünü, plastik özelliği yüksek killi Isparta havalimanı civarından alınan malzeme ile belirli oranlarda karıştırılmıştır. Numuneler üzerinde limit deneyleri, proktor, CBR ve dinamik üç eksenli deneyleri uygulanmıştır.

Yol taban zemininde stabilizasyonunda, feldspat madeni yan ürünü ile, plastiklik değeri yüksek olan Isparta havalimanı malzemesinin plastikliğini azaltmak için farklı oranlarda karıştırılmıştır. Bu karışımlar üzerinde limit deneyleri yapılarak bulunan kullanılabilir malzeme üzerinde taşıma oranının belirlenmesi için CBR deneyleri yapılmıştır. Ayrıca bu karışım oranlarında malzemelerin esnekliğini belirlemek için dinamik üç eksenli deneyleri uygulanmış ve Esneklik modülü değerleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak; Isparta havalimanı civarından alınan plastik özelliği yüksek killi malzemeye % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 oranında feldspat yan ürünü karıştırıldığında su muhtevasının % 20 karışım oranına kadar düştüğü, % 25 oranında arttığı görülmektedir. CBR değeri % 20 oranına kadar yükseldiği % 25 oranında azalma görülmektedir. Dinamik üç eksenli deneyde ise karışımda feldspat yan ürününü arttıkça esneklik modülünün azaldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Stabilizasyon, Yol Taban Zemin, Feldspat.

2016, 90 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

FELDSPAT MINE WASTE STABILIZATION ROAD in THE AVAILABILITY of FLEXIBLE PAVEMENTS INVESTIGATION of GROUND FLOOR

Yelda ÜRGÜL ACAR

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

In this study, it was investigated the availability of the feldspar mine byproduct of the processing of the feldspar mine, which constitutes 60-65% of the earth crust, and which has been removed from the Aydın Çine mine bed, as a stabilizing material on the road floor base in flexible superstructures. The feldspar mine byproduct is mixed at certain rates with the high plasticity and clay material, which was taken from vicinity of Isparta airport. Limit experiments, proctor, CBR and dynamic triaxial experiments were applied on the samples.

In the road pavement stabilization, feldspar by-product has been mixed with the airport material at different rates to reduce its plasticity. CBR experiments have been carried out to determine the transport rate on available materials by conducting limit experiments on these mixtures. In addition, to determine the flexibility of materials at these mixing ratios, dynamic triaxial tests were applied and Flexibility module values were determined.

As a result; It seems that the plastic feature increase by 25% and the water content decrease by 20% mixture ratio when the feldspar by-product is mixed with airport material at a rate of 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. CBR value increases by 20%, a 25% decrease is seen. In the dynamic triaxial experiment, the flexural modulus decreases as the feldspar by-product increases in the mixture.

Keywords: Stabilization, Subgrade, Feldspar

2016, 90 pages

TEŞEKKÜR

Tüm çalıőmalarım boyunca beni yönlendiren, karşılaőtığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof Dr. Mehmet SALTAN' a sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca literatür araőtırmalarımnda yardımcı olan değerli arkadaőım Onur UYSAL' a teşekkür ederim.

Araőtırmamın deney çalışmaları aşamasında bana yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Ulaştırma Laboratuvarında görev alan tüm hocalarıma ve arkadaőlarıma teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme ve eőime sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Yelda ÜRGÜL ACAR
ISPARTA, 2016

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. Zeminlerde dane boyut dağılımı | 15 |
| Şekil 2.2. Zemin yapısı ve tipleri | 15 |
| Şekil 4.1. Alkali feldspatlar ve plajiyoklaz feldspatların isimlendirilmesi | 31 |
| Şekil 4.2. Çeşitli feldspat mineralleri..... | 32 |
| Şekil 4.3. Standart Proktor Deneyi Uygulanışı | 37 |
| Şekil 4.4. Üç eksenli basınç deneyi gerilme durumu | 40 |
| Şekil 4.5. Tekrarlı yükler altındaki plastik ve elastik şekil değiştirmeler | 41 |
| Şekil 4.6. Dinamik üç eksenli deneyindeki yükleme formu..... | 42 |
| Şekil 4.7. Tekrarlı yüke maruz kalan malzemenin gerilme-şekil değiştirme grafiği..... | 43 |
| Şekil 4.8. Beş aşama da sıkıştırılan numune | 45 |
| Şekil 4.9. Nemini kaybetmemesi için streç filme sarılmış 1 gün bekletilecek numuneler | 45 |
| Şekil 4.10. Uygulanan yarım sinüs dalgası şeklindeki yüklemenin zamanla değişimi..... | 46 |
| Şekil 5.1. Klasik yöntemle feldspat üretimi yapılan bir açık işletme..... | 50 |
| Şekil 5.2. Türkiye'nin Feldspat haritası..... | 50 |
| Şekil 5.3. saf feldspat yan ürünü numunesi standart proktor eğrisi | 53 |
| Şekil 5.4. Killi zemin numunesi elek analizi granülometre grafiği | 54 |
| Şekil 5.5. Killi katkısız zemin numunesi standart proktor eğrisi..... | 55 |
| Şekil 5.6. Isparta Havalimanı Malzemesi CBR grafiği..... | 56 |
| Şekil 5.7. Esneklik modülü – deviatör gerilme grafiği | 58 |
| Şekil 5.8. Esneklik modülü – toplam gerilme grafiği | 59 |
| Şekil 5.9. Stabilize işlemlerinde karışım oranına göre CBR değişimi..... | 61 |
| Şekil 5.10. Stabilize işlemlerinde karışım oranına göre likit limit ve plastisite indeksi bulgularının değişimi..... | 61 |
| Şekil 5.11. 50 kPa da esneklik modülü – toplam gerilme grafiği | 65 |
| Şekil 5.12. 50 kPa da ilk üç kademe esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği.. | 66 |
| Şekil 5.13. 50 kPa da ilk üç kademe esneklik modülü- toplam gerilme grafiği.... | 67 |
| Şekil A.1. % 5 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği..... | 74 |
| Şekil A.2. %10 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği | 75 |
| Şekil A.3. % 15 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği | 76 |
| Şekil A.4. %20 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği | 77 |
| Şekil A.5. %25 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği | 78 |
| Şekil B.1. % 5 feldspat katkılı zemin numunesi Proktor Deneyi grafiği | 79 |
| Şekil B.2. % 10 feldspat katkılı zemin numunesi proktor deneyi grafiği | 80 |
| Şekil B.3. % 15 feldspat katkılı zemin numunesi proktor deneyi grafiği | 81 |
| Şekil B.4. % 20 feldspat katkılı zemin numunesi proktor deneyi grafiği | 82 |
| Şekil B.5. % 25 feldspat katkılı zemin numunesi proktor deneyi grafiği | 83 |
| Şekil B.6. % 30 feldspat katkılı zemin numunesi Proktor Deneyi grafiği..... | 84 |
| Şekil C.1. % 5 feldspat katkılı zemin numunesi CBR deneyi grafiği..... | 85 |
| Şekil C.2. % 10 feldspat katkılı zemin numunesi CBR Deneyi grafiği | 86 |
| Şekil C.3. % 15 feldspat katkılı zemin numunesi CBR deneyi grafiği..... | 87 |
| Şekil C.4. % 20 feldspat katkılı zemin numunesi CBR Deneyi grafiği | 88 |
| Şekil C.5. % 25 feldspat katkılı zemin numunesi CBR deneyi grafiği..... | 89 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Çizelge 2.1. Zeminlerin plastisite sınıflaması | 19 |
| Çizelge 2.2. LL ve PI Değerlerinin Zemin Özelliklerine Etkisi | 19 |
| Çizelge 2.3. Ana Zemin Tiplerinin Genel Özellikleri | 20 |
| Çizelge 2.4. Esnek üstyapılarda yol taban zemininin özellikleri | 23 |
| Çizelge 4.1. ASTM ye göre kullanılacak olan kompaksiyon enerjileri..... | 38 |
| Çizelge 4.2. AASHTO TP46-94 ince taneli ve taban zemini malzemeleri (Mr) deney şeması..... | 47 |
| Çizelge 5.1. Dünya Felspat Rezervleri..... | 49 |
| Çizelge 5.2. Dünya feldspat üretimi | 49 |
| Çizelge 5.3. Türkiye de üretilen feldspatın özellikleri | 51 |
| Çizelge 5.4. Feldspat yan ürünü standart proktor deneyi..... | 52 |
| Çizelge 5.5. Isparta havalimanı killi zemin malzemesi elek analizi sonuçları | 54 |
| Çizelge 5.6. Killi katkısız zemin numunesi standart proktor deneyi..... | 55 |
| Çizelge 5.7. Isparta Havalimanı malzemesi CBR deneyi sonuçları ve hesabı | 56 |
| Çizelge 5.8. Isparta malzemesi ile yapılan analiz bulguları..... | 57 |
| Çizelge 5.9. Isparta havalimanı malzemesi esneklik modülü deney bulguları..... | 58 |
| Çizelge 5.10. Isparta Havalimanı malzemesi ile feldspat madeni yan ürününün karışım deneyi bulguları..... | 60 |
| Çizelge 5.11. Karışım oranlarında standart proktor deney bulguları..... | 62 |
| Çizelge 5.12. % 5 karışım için esneklik modülü deney bulguları | 63 |
| Çizelge 5.13. % 10 karışım için esneklik modülü deney bulguları..... | 63 |
| Çizelge 5.14. % 15 karışım için esneklik modülü deney bulguları..... | 64 |
| Çizelge 5.15. % 20 karışım için esneklik modülü deney bulguları..... | 64 |
| Çizelge 5.16. % 25 karışım için esneklik modülü deney bulguları..... | 65 |
| Çizelge A.1. %5 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları | 74 |
| Çizelge A.2. %10 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları | 75 |
| Çizelge A.3. %15 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları | 76 |
| Çizelge A.4. %20 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları | 77 |
| Çizelge A.5. %25 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları | 78 |
| Çizelge B.1. % 5 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan Deneyi sonuçları | 79 |
| Çizelge B.2. % 10 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları | 80 |
| Çizelge B.3 % 15 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları | 81 |
| Çizelge B.4. % 20 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları | 82 |
| Çizelge B.5 % 25 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları | 83 |
| Çizelge B.6. % 30 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları | 84 |

| | |
|--|----|
| Çizelge C.1. % 5 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları | 85 |
| Çizelge C.2. %10 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları | 86 |
| Çizelge C.3. % 15 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları | 87 |
| Çizelge C.4. % 20 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları | 88 |
| Çizelge C.5. % 25 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları | 89 |



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------|--|
| CBR | Kalifornia Taşıma Oranı |
| Dr | relatif yoğunluk, % |
| e | zeminin tabii boşluk oranı |
| eD | zeminin en sıkı durumdaki boşluk oranı |
| eL | zeminin gevşek stabil durumdaki boşluk oranı |
| Er | Esnek Şekil Değişirme |
| KPa | Kilopascal |
| LL | Likit Limit |
| MPa | Megapascal |
| PI | Plastisite İndeksi |
| γ_d | zeminin tabii birim ağırlığı |
| γ_D | zeminin en sıkı durumdaki birim ağırlığı |
| γ_L | zeminin gevşek durumdaki birim ağırlığı |
| σ_d | Deviatör Gerilme |

1. GİRİŞ

Küresel anlamda pek çok gelişmenin yaşandığı günümüzde, küreselleşmeyle birlikte ulaştırma sektörünün önemi de giderek artmaktadır. Ülkeler arası ticarete ve ülkelerin ekonomisinde çok önemli bir yere sahip olan ulaştırma sektöründe bu anlamda farklı çalışmalar yapılmaktadır.

Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de karayolu ulaştırması, ulaştırma türleri arasında yük ve yolcu taşımacılığında en çok kullanılan ulaşım türüdür. Zemine, topografyaya, taşınacak yük miktarına ve zamana göre en esnek, kolay, hızlı ve aktarmasız taşıma olanağı vermesi nedeniyle karayoluna olan talep sürekli artan bir eğilim göstermektedir.

Türkiye’de 1950’lerden sonra karayolları yapımına ağırlık verilmiş ve ülkenin sanayi ve tarım ürünleri daha etkin dağıtım imkânlarına kavuşarak ekonomik kalkınmanın hızlanması sağlanmıştır (Karluk, 2009). Karayolları Genel Müdürlüğü, 1950 yılında ülkenin karayolu ağının kurulması ve devamlılığının sağlanması amacıyla kurulmuştur. Önceleri ülkenin her yöresine ulaşabilmesi hedeflenmiştir. O dönemde çok az olan motorlu taşıt trafiği henüz yüksek standartlı yollar gerektirmiyor gerekçesiyle daha alt limitlerde bir standardizasyon kullanılarak yollar inşa edilmeye çalışılmıştır (Kaplunan, 2014).

Düşük standardizasyon kullanılarak yapılmış olan karayolları teknolojinin gelişmesi ile birlikte ortaya çıkan araç trafiğine ve araçların yüksek hızlarına cevap verememiş olup, 1960 - 1970 yılları arasındaki dönem asfalt kaplamaya ağırlık verilmesi gereksinimi hissedilmiştir.

Karayolu yapıları genellikle esnek ve rijit üstyapı olarak iki farklı şekilde taban zemini üzerine inşa edilmektedir. Kaplamadan ve araçlardan kaynaklanan yükler direk olarak taban zeminine ulaşır ve burada sönmülenir. Bu nedenle yol kaplamalarının stabilitesi üzerine oturduğu zeminin ve dolguda kullanılan zeminin özelliklerinden önemli ölçüde etkilenir. Zeminler kaplamaların

temelini oluşturduğundan dolayı kaplamadan ve araç tarifiğinden doğan gerilmelere emniyetle karşı koyabilmelidir.

Türkiye’de son yıllarda yol maliyetleri oldukça artmıştır. Söz konusu maliyetlerin artmasında üstyapı tabakalarının seçme malzemelerden oluşması etki etmektedir. Üstyapı tabakalarının kalınlığını azaltarak maliyeti düşürmek, don etkisinden korumak ve taşıma gücünü artırmak, iyi bir taban zemini ile mümkün olmaktadır.

Ülkemizde inşaat sektöründe devamlı olarak hammaddenin kullanılması, giderlerin artmasına ve elde edilen ürünlerden atık malzeme ya da yan ürünlerin ortaya çıkmasına neden olduğu gibi büyük enerji zayıfları da doğurmaktadır.

Atık malzemelerin yada yan ürünlerin değerlendirilmesi ile hem yan ürünlerin oluşturacağı çevre kirliliği önlenmekte, hem de yolların bazı özellikleri iyileştirilmektedir. Ayrıca, ülke ekonomisine de katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmada Aydın İli, Çini İlçesinden temin edilen ve feldspatın yan ürünü olan malzeme yol stabilizasyonunda kullanılmıştır. Söz konusu malzeme ile plastik özelliği yüksek, taşıma gücü zayıf killi zemin özelliğine sahip yol taban zemininde stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelemesi yapılmıştır.

Feldspatlar genellikle cam ve seramik sektöründe ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.

Feldspat yer kabuğundaki birçok magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaç bileşiminde büyük ölçüde bulunması dolayısıyla ticari olarak çeşitli kaynaklardan üretimi veya feldspat oranı yeterli olduğu takdirde bu kayaçların direk olarak sanayide kullanılması mümkün olmaktadır.

Hafif agrega ve plastiklik özelliği yüksek olan Isparta hava alanından temin edilen zemin malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri yanında karayolu esnek üstyapıları yol taban zemini için malzeme standart deneyleri yapılmıştır. Malzemelerin taşıma gücü için CBR deneyi, esnekliğini belirlemek için ise malzemeler üzerine dinamik üç eksenli deneyi uygulanmış ve esneklik modülleri belirlenmiştir.

Mekanik stabilizasyonda, killi ve plastik özelliği yüksek yol taban zemini malzemesi ile feldspat yan ürünü malzeme belirli oranlarda karıştırılarak, yol taban zemininde kullanılabilir hale getirilen karışım malzemesinin mukavemetinin nasıl değiştirdiği belirlenmiştir. Bu çalışmada, feldspatın yan ürünü 10 nolu elekten elenerek elek altında kalan malzeme yol taban zemini mekanik stabilizasyonla iyileştirmek için farklı oranlarda kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmalar sonunda, Isparta havalimanı civarından alınan plastik özelliği yüksek killi malzemeye % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 oranında feldspat yan ürünü karıştırıldığında su muhtevasının % 20 karışım oranına kadar düştüğü, % 25 oranında arttığı görülmektedir. CBR değeri % 20 oranına kadar yükseldiği % 25 oranında azalma görülmektedir. Dinamik üç eksenli deneyde ise feldspat yan ürününü arttıkça dinamik dayanımın azaldığı görülmektedir.

2. KARAYOLU BİLGİSİ

2.1. Karayolu

Türkiye, Asya, Avrupa, Orta Doğu ile Kafkasya arasındaki konumu nedeniyle stratejik önem kazanmakta; Avrupa ile Asya'dan gelen karayolu bağlantılarının geçişine imkân sağlamaktadır. Ayrıca yer aldığı coğrafyanın sahip olduğu nüfusun büyüklüğü ülke için önemli bir pazar olarak gösterilmektedir. Türkiye, bölgesel ve bölgeler arası karayolu bağlantısını sağlamaya yönelik birçok uluslararası karayolu ulaşımı koridorlarının geliştirilmesi projesinde de rol almaktadır. Bu projeler, AB (Avrupa Birliği), BM (Birleşmiş Milletler), KEİ (Karadeniz Ekonomik İşbirliği), EİT (Ekonomik İşbirliği Teşkilatı) ve TRACECA (Avrupa Kafkasya Ulaşım Koridoru) çatısı altında faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu kapsamda Türkiye sınırlarından geçen uluslararası karayolu koridorlarının toplam uzunluğu 10 bin km'yi bulmaktadır.

Karayolunun tarihine bakıldığında, ilk yol izlerine Mısır' da rastlanılmaktadır. Piramitlere ve diğer anıtlara gerekli yapı malzemesinin taşınması işinin kolaylıkla yapılabilmesi için, malzeme taşımaya yarayan yollar yapılmıştır. Yol konusundaki gelişmeler, 18. asırda Fransız mühendis Tresaguet' in taş ve kırma taş yolların yapımı ile bakım konularında getirdiği yeniliklerle başlamıştır. 1775 yılında yazdığı Memoire adlı eseri ile yol mühendisliğinde ilk ciddi etütleri yapmıştır. Bu eser, temel kalınlıklarının seçiminde araba ağırlıklarının göz önüne alınması açısından önemlidir. Ayrıca yol yüzeyindeki taşların aşınması az olan sert taşlardan seçilmesi hususunda titizlik gösterilmesi gerektiği de belirtilmiştir. Yüzeye yakın tabakalarda kullanılan taşların, yolun dayanıklılığına ve uzun ömürlülüğüne etkisi fazla olduğundan, ortaya atılan bu fikir yol yapım tekniğinde önemli bir aşama sağlamıştır.

İlk modern asfalt yol 1852 yılında Paris ile Perpignan arasında yapılmıştır. 1836 yılında İngiltere' de yaya kaldırımlarında (Londra), 1838' de ABD Filadelfiya şehrinde yol yapımında asfalt kullanılmıştır. Bu yolların kaplamasında silindirme yapılmamış olup, 1854 yılında ilk defa asfalt kaplama yolların

silindirlenmesine başlanmıştır. Ülkemizde ise karayolu yapımına Cumhuriyetin ilk yıllarından önem verilmeye başlanmıştır. Bu nedenle 1929 yılında Nafia Vekaletine bağlı “Şose ve Köprüler Reisliği” kurulmuş ve yol kanunu çıkarılarak yol çalışmalarına hız verilmiştir. Ancak uzun bir savaş döneminin yarattığı kaynak yetersizliği daha sonra gelen II. Dünya Savaşı, çalışmaların istenen düzeye çıkmasını engellemiştir. İkinci Dünya Savaşı’ nın bitiminden hemen sonra motorlu taşıt sayılarında önemli artışlar olmuştur. İşte motorlu taşıt sayılarındaki ani artışlar ülkemizde karayolu çalışmalarının yeni bir biçimde ele alınmasını gerekli kılmış ve 01.03.1950’ de Karayolları Genel Müdürlüğü kurulmuştur. Bu dönemde Marshall yardımıyla gerekli makine parkı sağlanmış ve yeni teknolojik uygulamalara imkan verecek yol çalışmaları hızla başlatılmıştır. Ancak Karayolları Genel Müdürlüğü ülkemizdeki ilk yol çalışmalarına, yol standartlarından ziyade, “tekerlek dönsün” sloganı ile başlamış ve daha sonra açılan bu yollarda standart yükseltme ve iyileştirme çalışmalarına geçilmiştir (İlçalı, 1985).

Karayolları yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir. Karayolu yapısı, görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üst yapı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir (Kavlak, 2008).

2.1.1. Karayolu alt yapısı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye sathıyla doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye “altyapı” adı verilir. Altyapı; yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Ancak, yarma kesimlerinde tesviye yüzeyini oluşturmak amacıyla yapılan dolgu çalışmaları da alt yapıya dahildir. Ayrıca; köprü, viyadük, tünel, menfez ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı olarak kabul edilir (İlçalı vd, 2001).

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir satıh sağlamak, üstyapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa yolu dış etkilerden korumaktır. Yolun sayılan bu görevleri yerine getirebilmesi için, trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapı oluşturulurken bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırılmaya elverişli olmayan zeminler kullanılmamalıdır. Bu nedenle altyapıyı oluşturan zeminin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir (Umar ve Ağar, 1985).

2.1.2. Karayolu üst yapısı

Üstyapı, trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değerlere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacı ile altyapı üzerine yerleştirilen, alttemel, temel ve kaplamalardan oluşan tabakalı yol yapısıdır (İlıcılı vd, 2001).

Kaplama, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarlarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilimlerini azaltmak amacı ile temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı madde ile işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemelerden oluşturulur. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşıda koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılmasını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmesini önlemek ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnimsizlik sağlamak, tampon bölge görevi yapmak amacı ile tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır (Umar ve Ağar, 1985).

2.1.2.1. Üstyapı tipleri

Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit, yarı rijit ve esnek üstyapı olarak üç ana gruba ayrılmaktadır.

2.1.2.1.1. Rijit (Beton) üstyapılar

Beton kaplamalar, çok yüksek trafik hacmine ve ağır trafiğe sahip karayollarında ve havaalanlarında taşıtlar için gerekli sürüş konforu ve sürüş emniyetini temin etmek amacıyla yapılan yüksek standartlı rijit üstyapılardır.

Rijit üstyapılar yeterli taşıma gücüne sahip zeminler üzerine, trafik hacmine bağlı olarak belirlenen kalınlıklarda serilen granüler alttemel ve/veya temel üzerine grobeton ve onun üzerine de donatılı veya donatısız, anolar halinde serilmiş beton plakalardan oluşur.

Beton kaplamaların esnek kaplamalara göre bir takım avantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- Yağışlı havalarda daha fazla kayma direnci sağlamaktadır.
- Betonun üretimi daha kolay ve kontrolü nispeten daha azdır.
- Çimento kendi ülkemizde üretilebilmektedir ve rezervi oldukça fazladır.
- Bakım ve onarım ihtiyaçları oldukça azdır.
- Mekanik özellikleri (mukavemet, yorulma mukavemeti vb.) daha yüksek olduğunda daha düşük kalınlıklarda projelendirilir ve daha uzun ömürlüdür.
- Çimento nakliye mesafesi daha kısadır.
- 5°C' nin üstündeki sıcaklıklarda ve rutubetli havalarda inşa edilebildiklerinden dolayı inşaat mevsimi daha uzundur.

Ancak beton kaplamaların esnek kaplamalara göre bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Yapım maliyetleri çok yüksektir.
- Derz dolgularının onarım ihtiyacı fazla ve maliyetleri de yüksektir.
- Beton plaklar arasındaki derzler, sürüş konforunun azalmasına ve teker gürültüsünün artmasına neden olmaktadır.
- Kademeli inşaata uygun değildir.
- Beton kaplamaların inşaatı daha zordur.
- Onarım süreleri çok uzun olduğundan ve onarım sırasında trafiğe kapatılması gerekli olduğundan dolayı servis yollarının yapılmasını gerektirmekte ve onarım maliyetini arttırmaktadır (Tunç, 2007).

2.1.2.1.2. Yarı rijit üstyapılar

Yarı rijit üstyapılarda, esnek üstyapılardan farklı olarak granüler temel veya alttemel yerine çimento bağlayıcılı granüler temel veya çimento ile stabilize edilmiş alttemel kullanılır. Bu tabakaların üzerine sırasıyla bitümlü temel, asfalt betonu binder ve aşınma tabakaları serilir. Türkiye 'de dizayn trafik değerleri çok yüksek olan devlet ve otoyollarında bu tür üstyapılar kullanılmaktadır (Önal ve Kahramangil, 1993).

2.1.2.1.3. Esnek üstyapılar

Esnek kaplamalar , taşıtlar için gerekli performansa (sürüş konforu ve emniyeti sağlayabilme özelliğine) ve taşıtların yarattığı gerilmelere karşı yeterince stabiliteye (deformasyona karşı gösterdiği dirence) sahip olacak şekilde farklı özelliklere sahip farklı tabakalardan yapılan çok tabakalı esnek bir yapıdır (Tunç, 2007).

Esnek üstyapılar taban zemini üzerine serilmiş granüler alttemel ve temel tabakaları üzerine bitümlü kaplamaların serilmesi şeklinde inşa edilirler (Önal ve Kahramangil, 1993). Esnek üstyapı, tesviye sathı ile sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yolu ile tabii zemine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi faktörlere bağlıdır (Umar ve Ağar, 1985).

Esnek üstyapı belirli özelliklere sahip malzemelerden oluşmuş bir seri tabakayı içerir. Tabaka kalınlıkları tabanın taşıma gücü ve trafik yüklerine bağlı olarak hesaplanır (Önal ve Kahramangil, 1993).

Esnek üstyapıların performansı ve stabilitesi;

- Sürüş konforu için pürüzsüz ve düzgün yüzeylere sahip,
- Sürüş emniyeti için yeterince kayma direncine sahip,
- Trafik yüklerinin yarattığı gerilemelerden ötürü kalıcı deformasyonlara karşı yeterince dirençli,
- Trafik yüklerini zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde yayabilecek kalınlık ve mukavemete sahip,
- Trafik, çevre ve iklim şartlarının aşındırmasına karşı yeterince dirençli (durabil),
- Kaplama üzerindeki yüzeysel suların temele ve zemine intikal ettirmeyecek şekilde geçirimsiz olmaları gibi nedenlere bağlıdır.

Esnek üstyapılar;

- Düşük standartlı kaplamalar (yüzeysel ve koruyucu tabakalar)
- Yüksek standartlı kaplamalar (bitümlü sıcak karışımlar) olmak üzere iki ayrı kalitede imal edilirler. Düşük standartlı kaplamalar, trafik hacminin düşük olduğu (genel olarak günlük ağır taşıt trafiğinin 500 den az olan veya 8.2 ton standart dingil yükünün 20 yıldaki tekerrür sayısı 2 milyondan az olan) yollarda ekonomik olup, yeterli performansı sağlayabilmektedirler (Tunç, 2007).

Esnek üstyapı tabakaları, üstyapı tabanı, alttemel, temel ve kaplama tabası olmak üzere 4 farklı tabakadan oluşmaktadır.

2.1.2.1.3.1. Üstyapı tabanı

Yol üstyapısı tabakalarının, sanat yapılarının ve banketlerin oturduğu altyapı zeminin üst yüzeyi olan ve tesviye yüzeyi altında kalan, yarma veya dolgularda üstyapının taşıma gücüne etkisi olabilecek bir derinliğe kadar devam eden tabakadır. Tabanın CBR (Kaliforniya Taşıma Gücü) değeri üstyapı tabakalarının kalınlıklarını belirleyen en önemli faktörlerden birisidir.

2.1.2.1.3.2. Alttemel

Alttemel tabakası esnek üstyapı kaplamaların en alt tabakasını oluşturur. İyi drenaj kabiliyetine sahip olan alttemel tabakası, düşük elastikiyet modülüne veya CBR değerine sahiptir.

Alttemel tabakasında kullanılacak olan agreganın maksimum dane boyutu, gradasyonu, permabilitesi ve diğer fiziksel özellikleri temel tabakasına nazaran bir miktar farklı olsa da alt temel ile granüler temel tabakasının işlevleri açısından önemli bir fark yoktur. Alttemel tabakası ile granüler temel tabakası arasındaki en önemli fark, daha düşük maliyette daha kalın bir tabakanın inşa edilebilmesidir. Zira alttemel tabakasında dere malzemesi kullanılabilmesinden, gradasyon limitleri daha geniş aralıkta ve maksimum dane boyutunun daha büyük olmasından dolayı daha ekonomiktir. Ayrıca alttemel tabakasının stabilitesi temel tabakasına nazaran daha düşük ama dren kabiliyeti daha yüksektir (Tunç, 2007).

2.1.2.1.3.3. Temel

Temel tabakası kaplama tabakasının altına yapılan bir çeşit temel tabakası görevi gören tabakadır. Temel ve alttemel tabakasının kaplamadan intikal eden yükleri zemine yaymak, drenaj sağlamak, şişme ve büzülmeye karşı koymak, dona karşı dirençli olmak, üstyapı inşaatının maliyeti düşürmek ve hızlandırmak, deformasyonlara karşı dirençli olmak, kaplama tabakası inşaatı için düzgün platform oluşturmak, uzun dönemli oturmalara karşı fleksibl bir yapı oluşturmak görevleridir.

Temel ve alttemel tabaları kaplama tabakasına göre daha az gerilmeye maruz kalırken sıkıştırılmış zemine göre daha fazla gerilmelere maruz kalır. Kaplamaya göre daha düşük bir stabiliteye sahiptir.

Karayollarında üç farklı temel tipi uygulanmaktadır:

- Granüler Temel,
- Plent-Miks Temel,
- Çimento Bağlayıcı Granüler Temel.

2.1.2.1.3.4. Kaplama tabakası

Üstyapının en üst tabakasıdır. Genellikle; asfalt betonu veya sathi kaplama olarak inşa edilir. Ana işlevi, trafik yüklerini taşımak (asfalt betonu için), kaymaya, trafiğin aşındırma ve iklim koşullarının ayrıştırıcı etkisine karşı koymak, seyahat konforu ve su yalıtımı sağlamaktır.

2.1.3. Esnek üstyapılarda taban zemini

Taban zemininin taşıma gücü üzerine inşa edilen esnek üstyapının davranışı belirlenir. Bu nedenle taban zeminleri üstyapıdan gelecek gerilmelere emniyetle karşı koyabilmelidir. Ayrıca iklim koşullarından doğan zemin özelliklerinin, don kabarması , oturma , su içeriğinde değişiklikler vb. değişimler taşıma gücünde azalmalara mahal vermemesi gerekmektedir.

Yol kaplamasının ömrü, performansı ve bakım masrafları vb. hususlar kaplamanın dizaynı, yapım tekniğine ve kullanılan malzeme ve materyallere bağlı olduğu kadar zeminin stabilitesine de bağlıdır. Bu nedenle uygun olmayan zeminler doğrudan kaldırılamayacağı için iyileştirme yapılarak stabil hale getirilmelidir.

Zemin iyileştirme; zeminlerin kompaksiyonu, zeminlerin stabilizasyonu, zeminlerin drenajı, zeminlerin konsolidasyonu, zeminlerin şev stabilitesi olarak gruplara ayrılmaktadır. Gerek tasarım, gerekse yapım aşamalarında bu hususlara dikkat etmek gerekir.

Zemin değişik dane çapındaki mineral ve organik maddeleri içeren, su-katı-gaz fazlarından oluşan değişik orjinlere sahip, çeşitli kompozisyon ve özellikler arz eden, yer kürenin dış kabuğunu oluşturan ve kayaların fiziksel ve kimyasal etkilerle parçalanmasından meydana gelen malzemelerdir. Zemin çok karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı zemine ait özelliklerin belirlenmesi halinde zemin ışlah teknikleri başarıyla uygulanabilir (Tunç, 2007).

Zeminler toprak ve kaya olmak üzere iki farklı malzemedir. Kaya zeminler hafriyat güçlükleri ya da kompaksiyon hariç problem yaratmaz iken, toprak zeminlerin potansiyel problemleri nedeniyle iyileştirme yapılması gerekebilir.

Zeminler oluşum şekillerine göre 2 gruba ayrılır:

- Yerli zeminler,
- Sürüklenmiş zeminler.

Yerli zeminler ana kayaların zaman içerisinde fiziksel ve kimyasal etkiler sonucu parçalanıp, ufalanarak çeşitli dane boyutlarında oldukları yerde birikmesi sonucu oluşmuştur. Sürüklenmiş zeminler ise yerli zeminler gibi oluşup, buzulların hareketi, su, rüzgar, heyelan ve tektonik hareketler sonucu taşındıkları yerde biriken zeminlerdir.

Ulaştırma yapıları için en tehlikeli temin türü organik zeminlerdir. Yeryüzünün en st kısmında bitki ve diğer canlılarla etkileşim sonucu oluşmuşlardır. Organik zeminler, testler sonucu belirlenebileceği gibi, renk, koku, görünüm ve olumsuz etkileri ile de belirlenebilir.

Taban zeminleri, zemin cinsine ve sıkıştırma ekipmanının kapasitesine uygun kalınlıklarda tabakalar halinde serilip, sıkıştırılmalıdır. Tabaka kalınlığı, killi zeminlerde genellikle 20-25 cm, granüler zeminlerde ise 30-40 cm düzeyindedir. Toprak yarmalarda tesviye yüzeyi altındaki 20 cm' lik kesim kabartılıp optimum su muhtevasında maksimum yoğunluğa erişinceye kadar sıkıştırılmalıdır. Kaya yarmalar tesviye yüzeyinin 15 cm altına kadar kazılıp bu kesim uygun dolgu malzemesi ile doldurulup düzeltmelidir. Bu malzeme de

optimum su muhtevasında maksimum yoğunluğa erişinceye kadar sıkıştırılmalıdır. Taban zeminlerinin maksimum kuru yoğunluğu 1.45 t/m³' den az olmamalıdır. Taban zeminlerinde yer altı su seviyesi tesviye yüzeyinin en az 100 cm altında tutulmalıdır. Bunu sağlamak için uygun yer altı drenajı uygulanmalıdır. Çünkü su taban zeminlerinin taşıma gücünü düşürücü bir etki yapmaktadır (Umar ve Ağar, 1985).

Projelendirme sırasında, taban zemininin dona karşı hassasiyeti belirlenmelidir. Genel olarak, don olayı için uygun olan koşullarda, (düşük hava sıcaklığı, yüzey veya yer altı suyunun varlığı için) buz parçacıkları oluşmayan, don kabarması olmayan ve don çözülme mevsimlerinde, taşıma gücünde önemsenmeyecek oranda kaybı olan malzemelere dona hassas değildir denir. Bu koşullara uymayan malzemeler ise dona karşı hassastır. Dona hassas malzemelerin içerisinde, uygun don koşullarında, buz parçacıkları oluşur ve büyür, sonuç olarak aşırı don kabarmaları meydana gelir, ayrıca don çözülme mevsimlerinde taşıma gücünde azalma gözlenir. Üstyapı projesi hazırlanırken taban zemininin dona karşı hassas olup olmadığı, hassasiyetin derecesi çeşitli sınıflandırma değerleriyle belirlenir. Genel olarak, bu değerlerin dikkate alındığı malzeme özellikleri granülometri ve Atterberg limitleridir (Kavlak, 2008).

Ayrıca pratik olarak, üniform derecelenmiş kumlar (D₆₀/D₁₀ < 5 olmalı), % 10' dan daha az filler ihtiva ediyorsa, dona karşı hassas değildirler. Organik zeminler ile bataklık topraklarının dona karşı hassasiyeti değişken olup, özel laboratuvar testleriyle belirlenmelidir. Tebeşirleşmiş kalkerli zeminler dona karşı kesinlikle hassastır (Umar ve Ağar, 1985).

2.1.3.1. Taban zemininde kullanılan malzeme özellikleri

Yol yapımında malzeme kalitesi kaplama tabakasından alttemel tabakasına kadar üstyapı olarak belirlenir. Bu tabakalarda yukarıdan aşağıya doğru inildikçe malzeme kalitesi azalmaktadır. Taban zemininde, yol güzergahının geçtiği yerdeki doğal zemin kullanılmaktadır. Trafik yükleri, üstyapıda kaplama tabakasına intikal ederek, yükün üstyapının sırası ile kaplama, temel ve alttemel

tabakalarından yayılarak, en son taban zemini tarafından taşındığından kullanılan zeminin özellikleri büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla taban yüzeyi altındaki zeminin özelliklerinin yol standartlarında olması gerekmektedir. Zeminin yol taban zemininde kullanılabilmesi için taşıma gücü, dona hassaslığı, granülometrisi gibi özellikleri belirlenmeli ve buna bağlı olarak zeminin hangi zemin sınıfına girdiği belirlenmelidir. Bu durumda zeminin zayıf veya sağlam zemin sınıfında olup olmadığı ortaya çıkmaktadır.

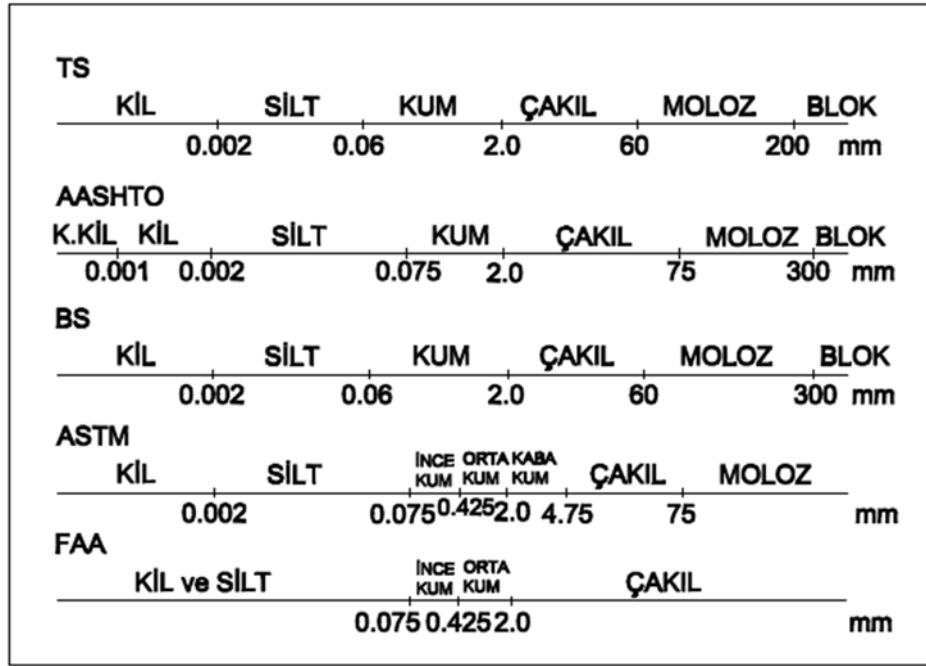
Zeminlerin fiziksel özellikleri;

- Dane şekli, büyüklüğü ve dağılımı (gradasyonu),
- Yapısı,
- Yoğunluğu ve özgül ağırlığı,
- Kıvamı,
- Orijini, kompozisyonu, çökelme-sürüklenme durumu vb.

Dane Şekli: Zemin daneleri şekil yönünden, kübik, yassı ve iğne olmak üzere üç farklı biçimde incelenir. Kübik daneler genellikle granüler zeminlerde ve çok nadiren de kil ve siltlerde rastlanır. Bunların köşeli (açısal) olanları kırmataş agregalarda olduğu gibi, yuvarlak ve cilalı olanlara göre içsel sürtünmeleri daha yüksek olduğundan stabiliteleri de büyüktür.

Yassı biçimde daneler, genel olarak killerde rastlanır ve düzgün biçimde kristaller şeklinde olup zeminlerin plastisite değerlerine etki eden en önemli etkendir. İğne biçimli zeminler, bazı killi zeminlerde rastlanan ve 2 mikron çaplı silindirler şeklinde olup, zeminlerin aktivitesine etki eder.

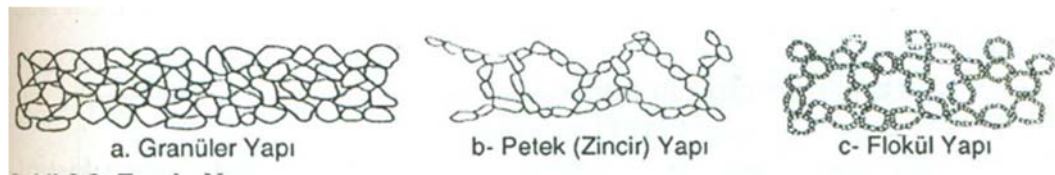
Dane boyutu ve dağılımı (gradasyonu): Zemini oluşturan daneler büyüklükleri bakımından farklılık gösterirler. Bu büyüklük yoğunluk ve stabilite açısından önemlidir.



Şekil 2.1. Zeminlerde dane boyut dağılımı

Zeminlerin boyut dağılım analizi, silte kadar boyutlu olan agregalar için elek analizi ile siltten daha küçük malzemeler için ($\leq 0,075$ mm veya No.200'den geçen) ise hidrometrik analiz ile yapılır. Zeminlerin sahip oldukları gradasyonlar, yoğun-sürekli, kesikli, tek boyutlu olarak adlandırılır.

Zemin yapısı: Zeminler mikroskopik boyutta granüller, petek (zincir) ve floküler olmak üzere üç tiptir (Tunç, 2007).



Şekil 2.2. Zemin yapısı ve tipleri

Granüler yapıda daneler birbirleri ile sıkı temasta bulduklarından dolayı içsel sürtünmeleri yüksek olup, stabil bir yapı gösterirler. Çakıl, kum ve bazen de iri silt boyutundaki zemin danelerinde görülen bu zemin yapısında iyi bir derecelenme mevcutsa taşıma gücü oldukça yüksek olup, sıkışma konsolidasyon duyarlılıkları azdır. Gevşek fakat iyi derecelenmiş olan zeminler kompaksiyonla

boşlukları azaltılarak veya yoğunlukları artırılarak stabil hale dönüştürülebilirler. Petek yapı genellikle kohezyonsuz veya çok az kohezyonlu silt ve filler de rastlanır. Bu yapı küçük kemerler halinde zincir halka oluştururlar. Daneler arası moleküler çekim kuvveti, danenin kendi ağırlığından fazla olması nedeniyle küçük kemerler halinde zincir halka oluştururlar. Daneler arasında moleküler çekim kuvveti, danenin kendi ağırlığından fazla olması nedeniyle küçük kemerler halinde birbirlerine zincir halka şeklinde bağlanmış olup %50-%60'a varan boşluklarına rağmen belli bir statik yük karşısında çok az deformasyonla büyük yük taşıma kabiliyeti gösterebilirler. Fakat kritik yükün üzerinde yüklendiklerinde aşırı oturmalara neden olurlar. Bu yapıdaki zeminler, örselendiklerinde özelliklerinde ve yapılarında önemli değişiklikler oluşmaktadır. Flokül yapı, kil ve kolloidal kil danecikleri birbirleri ile önce petekleri ve peteklerde birbirleri ile yapışarak daha büyük petekleri petekleri oluştururlar. Bu tip yapıdaki zeminlerde çok büyük boşluk oranlarına rastlanır. Örselendiklerinde yapılarında ve özelliklerinde önemli değişiklik gösterirler. Yük altındaki sıkışma miktarları genel olarak daha yüksektir. Buradan da anlaşılacağı gibi granüler yapıdaki zeminler ideal iken petek yapı ve özellikle flokül yapıdaki zeminler çoğunlukla potansiyel problemlere sahiptir (Tunç, 2007).

Zeminin Yoğunluğu ve Özgül Ağırlığı: belirli sıcaklıktaki ve hacimdeki bir cismin ağırlığının aynı sıcaklıkta ve hacimdeki saf suyun ağırlığına oranıdır. Zeminlerin özgül aralığı genellikle 2,60 – 2,80 aralığındadır. Zeminlerin belirli kısımları farklı özgül ağırlıkta olabilir. Farklı özgül ağırlığa sahip zeminlerin özgül ağırlığı bulunan farklı özgül ağırlıkların ortalaması alınarak bulunur (Formül 2.1).

$$SG_{ort} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n (\% \frac{W_i}{SG_i})} \quad (2.1)$$

$\%W_i$: farklı zemin gruplarının ağırlıkça yüzdesi

SG_i : farklı zemin gruplarının özgül ağırlıkları

Zeminin tabii yoğunluğu çok değişken olup optimum su içeriğinde sıkıştırıldıklarında maksimum yoğunluğa erişir. Realitif yoğunluk Formül 2.2 ile bulunur.

$$D_r = \frac{e_L - e}{e_L - e_D} = \frac{\gamma_D (\gamma_d - \gamma_L)}{\gamma_d (\gamma_D - \gamma_L)} \quad (2.2)$$

D_r : relatif yoğunluk, %

e : zeminin tabii boşluk oranı

e_L : zeminin gevşek stabil durumdaki boşluk oranı

e_D : zeminin en sıkı durumdaki boşluk oranı

γ_d : zeminin tabii birim ağırlığı

γ_L : zeminin gevşek durumdaki birim ağırlığı

γ_D : zeminin en sıkı durumdaki birim ağırlığı

Zeminlerin Kıvamı: zemin daneciklerinin hangi su içeriğinde hangi katılığa sahip olacağını, yük karşısında kayma direncini ve stabilitesini, danecikler arası adezyon kuvvetini belirleyen özelliktir. Zeminler muhtevastaki su içeriği arttıkça katı halden sıvı hale geçmede farklı fazlar gösterir. Ayrıca farklı zemin türlerinde aynı su miktarında dahi farklı fazlar ortaya çıkar. Bu nedenle, zeminlerin hangi su yüzdesinde hangi kıvamda olacağını tespit etmek ve özellikle plastik, likit (viskoz) kıvamlardaki su içeriğinin belirlenmesi önemlidir. Örneğin granüler mineral malzemeler su içeriği değiştikçe hacimsel değişmeler göstermediği gibi suyun varlığından ötürü yük altındaki davranışlarında da az değişim gösterirler. Oysa ki kohezyonlu zeminler (kil, silt vb.) su içeriği değiştikçe büyük hacimsel değişmeler gösterdiği gibi en önemlisi su içeriği arttıkça yüke karşı dirençleri düşer ve büyük deformasyon gösterir.

-Plastisite İndeksi:

$$PI = LL - PL \quad (2.3)$$

-Likitide İndeksi:

$$LI = \frac{W - PL}{PL} \quad (2.4)$$

-Kıvamlılık İndeksi

$$CI = \frac{LL - W/C}{PI} \quad (2.5)$$

- Büzülme (Rötre) Limiti (RL): Zeminin su içeriği değiştikçe hacim değiştirmesi belli bir aralılda eğriseldir. Eğrisellikten doğrusallığa geğtiği noktadan çizilen teğet ile hacim değişikliği yapmadığı yani hacminin sabit kaldığı noktadan çizilen teğetin keşiştiği nokta büzülme limitini veya başka bir deyişle hacim değişimini bittiği limiti verir (Tunç, 2007).
- Plastik Limit(PL): Zeminin zamanla artan su muhtevasında yarı katı halden plastik kıvamda geğtiği su muhtevasıdır. Söz konusu zemin yüke maruz kaldığı taktirde geçici deformasyona uğrayabildiği gibi kalıcı deformasyona da uğrar. PI değeri plastik sınırı işaret eden su içeriğidir.
- Likit Limit(LL): Zeminin su muhtevası arttırılarak plastik halden viskoz sıvı hale dönuştüğü anda sahip olduğu su içeriği olup taşıma gücünün pratik olarak en az olduğu kıvamdır.
- Plastisite İndeksi(PI): Zeminin plastik kıvamda bulunduğu aralıktır. Zeminin hacim değiştirme ve kohezyon kuvvetini temsil eder. Zemin çerisindeki su içeriği belli bir miktardan daha fazla arttığı takdirde kohezyon azalır. Çünkü, kil danelerinin etrafındaki su bir nevi yağlanma yaratır ve daneler birbiri üzerinde kaymaya çalışır. Dane çapı azaldıkça su filminin kalınlaşmasına dolayısı ile birbirlerini iterek hacim artmasına neden olur. Yani plastisite indeksi, zeminin suya olan duyarlılığıdır.

Zeminlerin dane çapı azaldıkça, boşluk oranı azaldıkça, daneler yassılaştığı, mineral kompozisyonların suyu çekme kuvvetleri arttığı su ihtiyacı değişeceğinden farklı zeminlerde farklı LL, PL ve PI değerleri olacağı kesindir. Zemine ait bu karakteristikler ne kadar küçük olursa o kadar az ıslah edilme ihtiyacı göstermektedir. PI değerine bağlı olarak zeminlerin plastisite özellikleri Çizelge 2.1' de gösterilmiştir. (Tunç,2007)

Çizelge 2.1. Zeminlerin plastisite sınıflaması

| PI | Plastisite Özelliği |
|-------|----------------------------|
| 0-6 | Plastik değil (NP) |
| 6-10 | Az plastisiteli |
| 10-15 | Orta derecede plastisiteli |
| 15-40 | Plastik |
| >40 | Aşırı plastik |

Plastik değeri yüksek (killi, siltli vb.) olan zeminlere kohezyonlu, plastik olmayan zeminlere kohezyonsuz (kum- çakıl) zeminler denir. Kohezyonlu zeminler, PL ve LL arasındaki su içeriklerinde kalıcı deformasyon yaparlar.

LL ve PL değerlerinin zeminin özelliklerine bağlı olarak mukayesesi Çizelge 2.2' de verilmiştir (Tunç, 2007).

Çizelge 2.2. LL ve PI Değerlerinin Zemin Özelliklerine Etkisi

| Zeminin Özellikleri | LL aynı iken PL artarsa | PL aynı iken LL artarsa |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Sıkışabilirlik | Yaklaşık aynı | Artar |
| Permabilite | Azalır | Artar |
| Hacim değiştirme | Azalır | - |
| PL Civarında dayanıklılık | Artar | Azalır |
| Kuru Halde Mukavemet | Artar | Azalır |

Zemin tipleri ve bu tiplerin mühendislik özellikleri mukayesesi Çizelge 2.3' de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Ana Zemin Tiplerinin Genel Özellikleri

| Özellikler | Kohezyonsuz | Kohezyonlu | Organik |
|--|--|--|---|
| Kompaksiyon | Yüksek yoğunlukta sıkıştırılır. (Özellikle vibrasyonlu yükler ile) | Yüksek yoğunlukta sıkıştırmak zordur.(Bazı şartlar hariç) | Sıkıştırılmaları çok zordur. |
| Drenaj kabiliyeti | Kolay dren olurlar. | Zor dren olurlar. | Dren etmek hemen hemen imkansız |
| Su içeriği ile hacim değiştirme eğilimi | Hemen hemen hiç | Az veya çok büzülme-kabarma; büyük kabarma basınçları | Aşırı büzülme ve kabarma; kabarma basıncı az |
| Statik yük altında konsolidasyon | Son derece az | Suyun dren etmesine bağlı olarak yumuşak killerde çok, sert killerde daha az | Aşırı fazla ve kontrol altına almak imkansız |
| Don kabarması | Yok | Silt yüzdesi arttıkça fazlaşır. | Aşırı fazla |
| Kesme mukavemeti | Çok iyi (ϕ arttıkça) | Zayıf (c azaldıkça) | Yok |
| Şişme potansiyeli ve basıncı | Yok($PI < 6$ ise) | $15 < PI < 25$ ise orta $25 < PI < 40$ ise çok $PI > 40$ ise çok fazla | Şişme basıncı az olup aşırı kabarmalar gözlenir |

Zeminlerin mühendislik özellikleri aşağıdaki şekilde verilebilir:

- **Permeabilite (geçirgenlik) ve dren kabiliyeti:** permeabilite suyun zemin içerisindeki boşluklardan geçebilme kabiliyeti iken zemin muhtevasında yer alan suyun zemin bünyesinden atılabilmesi ise dren kabiliyettir. Sıkışma miktarı, ince malzeme ve plastiklik zeminin permeabilitesine etki eden önemli bir husus iken zemin içerisindeki boşluk miktarı ve boşlukların birbirleri ile teması, non plastiklik ve dane çapı dren kabiliyetine etki eden önemli husustur. Büyük daneli zeminler ince daneli zeminlere göre daha geçirgendir. İnce daneli zeminler (siltler , en çok killer) az geçirgen ya da geçirimsiz malzemelerdir. İnce daneli zeminlerde yüzey alanı büyük olduğundan dolayı yüzeysel çekim kuvveti

fazladır. Bu özelliğe su tutma kabiliyeti arttırdığı gibi dren kabiliyetini düşürmektedir.

- **Zeminin su tutma kabiliyeti:** Zeminin suyu serbest olarak dren yapamamasıdır. Yani zemindeki su tablasından yüzeysel çekim ve absortif (emme) kuvvetleri ile suyu emmesi olarak tariflenir.

- **Elastisite (veya esneklik):** Zeminin yük altında elastik şekil değiştirme ölçüsüdür. Yani zeminin, uygulanan yük altında oluşan şekil değiştirmesinin yük kalktıktan sonra eski haline dönebilme özelliğidir.

- **Plastisite (veya rijit dayanım):** Elastisite özelliğinin tam tersi özellik gösterir. Uygulanan yük altında şekil değiştirmenin geri dönüşü olmamaktadır. Zeminin kayma mukavemetinin aşılması durumunda oluşur. Büyük oturmalara neden olduklarından olayı istenmeyen zemin türüdür.

- **Kohezyon:** zemin içerisinde yer alan danelerin birbirlerinden ayrılmaya karşı gösterdiği dirençtir. Zemin içerisindeki ince malzemenin varlığından kaynaklanır ve su içeriğine göre değişiklik gösterir.

- **Kayma Mukavemeti:** Zemin kitlesi içindeki danelerin birbirleri arasındaki sürtünme kuvveti ile kohezyonun büyüklüğüne bağlıdır. Killi zeminlerin kayma mukavemetinden kohezyon sorumludur. Halbuki granüler (kohezyonsuz) temel tabakalarında ise içsel sürtünme açısı (Φ) kayma mukavemetini belirler. Zeminin kayma mukavemeti sabit bir değer olmayıp su içeriği, yükleme hızı-süresi ve birçok faktöre bağlı olarak değişir. Örneğin optimum su içeriğinde sıkıştırılan bir zeminin kayma mukavemeti maksimum değere sahiptir. Ancak yapılan araştırmaların sonucuna göre, optimumdan daha kuru su içeriğinde sıkıştırılan zeminlerin kayma mukavemeti, optimumdan daha fazla su içeriğinde sıkıştırılan zeminlerin kayma mukavemetinden genellikle daha fazla olduğu görülmüştür (Tunç, 2007).

- **Sıkışabilirlik:** Zeminler su, daneler ve havadan oluşmaktadır. Zeminlerin içerisinden sıkıştırma sonucu hava çıkarılarak yerine su ve danelerin alması ile hacimde azalma meydana gelmektedir. Bu tarz sıkıştırma geri dönüşümlüdür. Fakat su ve havanın birlikte zeminden çıkarılması durumunda kalıcı deformasyonlar meydana gelmektedir. Zeminin muhtevassından sadece suyun atılması sonucu oluşan oturmalara konsolidasyon, sadece havanın atılması sonucu oluşan yoğunluk artmasına kompaksiyon denilmektedir.
- **Hacim değıştirme:** Herhangi bir yükün etkisi altında kalmadan zeminin hacim değıştirmesi sonucu oluşan deformasyonlardır. Suyun etkisi ile zemin hacim değıştiriyorsa bu tip zeminlerden kaçınılmalıdır ya da drenajı çok iyi yapılmalıdır.
- **Don Duyarlılığı:** zeminin bünyesindeki suyun donması sonucu zemin hacminin artmasına olan duyarlılığa denir. Don duyarlılığı olan zeminlerde muhtevassında yer alan su donup çözüldükçe kaplama tabakasına basınç uygular ve zemin tabanında taşıma gücünü düşürür.

Karayolları Genel Müdürlüğü'ne göre; zayıf zeminler, yol üstyapısını ve yol yapılarını (dolgu, yarma, köprü, viyadük, tünel vb.) işletme süresince problem çıkarmadan emniyetli ve ekonomik bir şekilde taşıyamayan zeminler ya da yer altı su seviyesinin yüksek olduğu killi, siltli, organik madde içeren zeminler, gevşek ince kumlu alüvyon zeminler ile kontrolsüz şekilde oluşturulmuş yapay dolgular olarak adlandırılmıştır. Üstyapının oturacağı taban zeminin bu bakımdan bazı kriterlerde olması istenmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün esnek üstyapılarda taban zemininde kullanılacak malzemenin özellikleri Çizelge 2.4' de verilmiştir (KGM).

Çizelge 2.4. Esnek üstyapılarda yol taban zemininin özellikleri(KGM)

| Deney Adı | Limit Değer | Standart No |
|--|-------------|----------------------|
| 0,075 mm(No.200) elekten geçen malzeme | <%50 | TS 1900 AASHTO T-11 |
| Likit Limit (LL) | <40 | TS 1900 AASHTO T-89 |
| Plastisite İndeksi(PI) | <15 | TS 1900 AASHTO T-90 |
| Kalifornia Taşıma Oranı (CBR) | ≥%10 | TS 1900 AASHTO T-193 |

Çizelge 2.4' de görüldüğü üzere yol taban zemininde kullanılacak bir malzemenin CBR değerinin % 10' dan büyük olması ve likit limit değerinin 40' dan, plastisite indeksi değerinin ise 15' den küçük olması gerekmektedir.

2.1.3.2. Taban zemini stabilizasyonu

Sağlam bir taban zemini veya sağlam bir üstyapı malzemesinden, üzerine gelen yükler altında aşırı deformasyon yapmaması, dayanıklı olması, ayrışmaması ve hava koşulları doğrultusunda bu özelliklerinin değişmemesi beklenir (Fındık, 2005).

Taşıma gücü düşük, geçirimsizliği, su içeriği vb. özellikleri fazla olan zeminlerde üç alternatif ortaya çıkmaktadır. Birincisi sağlam taban zemini özelliği göstermeyen zemini olduğu gibi kabul edip üst yapıyı ona göre projelendirmek. Bu yöntemde hesaplayamadığımız ve öngöremediğimiz kaplama kalınlıkları çıkacağından dolayı ekonomik olmayabilir. İkincisi sağlam taban zemini özelliği göstermeyen zemini olduğu gibi kaldırıp yerine sağlam zemin koymak. Yapılan birçok yapım işinde maliyetlerin bir çoğunu kazı ve taşıma maliyetleri kaplamaktadır. Bu yöntemde de sağlam olmayan zemini kazıp uygun bir depoya taşımak ve uygun zeminin bulunduğu yerden depoya taşıyıp şantiye alanına getirmek gerekeceğinden dolayı yüksek maliyetler çıkacağı aşikardır. Üçüncü yöntem ise sağlam olmayan zemini stabilizasyon yöntemleri ile uygun hale getirmek.

Stabilizasyon işleminde; agrega ve bağlayıcı madde ilavesi ile zeminin ya da üstyapı malzemesinin taşıma gücü artırılır ve su tutma kabiliyetleri azaltılarak geçirimsiz hale getirilir. Yol inşaatında altyapının sağlamlaştırılması ya da üstyapıda kullanılmak için mekanik özellikleri yetersiz olan malzemeleri iyileştirilerek üstyapıda kullanılmalarını sağlamak amacı ile stabilizasyon yapılır (Fındık, 2005).

Zeminlerin problem yaratan özellikleri tam olarak belirlendikten sonra hangi tip stabilizasyon metodunun uygulanması gerektiği saptanmaktadır. Bunun için değişik zemin stabilizasyon metotları kullanılmaktadır. Zemin stabilizasyon metotları aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Kavlak, 2008):

- Mekanik karıştırma,
- Kimyasal stabilizasyon (çimento, kireç, uçucu kül, vb.),
- Bitüm stabilizasyonu,
- Zemin enjeksiyonu,
- Yeni stabilizasyon teknikleri.

Mekanik stabilizasyon, iki veya daha fazla farklı zeminin uygun oranlarda karıştırılarak istenilen şartları sağlayan bir zemin haline dönüştürülmesidir. Böylelikle yük altında kalıcı deformasyon olmayan yani stabil bir zemin elde edilmiş olur. Zeminin karıştırılması yolda, sabit veya hareketli bir plentte veya malzeme ocağında yapılır. Karışım yola serilerek klasik yöntemlerle sıkıştırılır. Mekanik karıştırmadaki amaç, gradasyon düzeltilmesi, likit limit veya plastisite indeksinin azaltılması, dren kabiliyetinin artırılması, mukavemet ve durabilitenin artırılması, uzun dönemde oturmaların azaltılması ve don duyarlılığının azaltılması olarak sayılabilir. Zeminin kaba malzemesinin miktarı ile gradasyonu ve ince malzemesinin plastisitesi, zemin özelliklerinin iyileştirilmesinde çok önemlidir. Zemindeki maksimum dane boyutunun çok büyük olması işlenebilirliği azaltmakta ve kaba kısmının çok olması da segregasyona neden olabilmektedir. Zemindeki ince danelerin (genellikle No.40' dan geçen kısmı) fazla olması halinde yüksek su içeriğinde karışımı güçleştirmekte ve kuru halde topaklanmalara neden olarak homojen karışımlar elde edilememektedir. Zeminde çok ince malzemenin (No.200' den geçen kısmı)

fazla olması halinde plastisite ve kohezyon artmaktadır. Uygun olmayan zemine bir başka zemin ve düşük plastisiteli bir malzeme karıştırılarak uygun zeminler elde edilebilmesi için karışımın homojen olması gerekir. Ancak ince kısmı fazla plastisiteli zeminler, özellikle kuru halde iken ufalanmalarının zor olması nedeniyle problem yaratmaktadır. Bu yöntemde karışım oranları için belli bir sistem yoktur. Değişik tip zeminlerin ağırlıkça farklı oranlarda karıştırılarak, özelliklerinin belirlenmesi suretiyle karar verilmektedir (Tunç, 2001).

Zemin-çimento stabilizasyonu ise, ufalanması mümkün olan zeminlerin belirli oranlarda çimento ilavesi ile sertleşme başlamadan önce optimum su muhtevasında maksimum yoğunluk elde edilebilecek şekilde sıkıştırılmasıdır. Zemine mukavemet kazandırmak için çimento karıştırıldığında, zeminin kayma mukavemeti artar ve zeminin geçirgenliği azalır. Çimento ile stabilizasyon, sadece tabii zeminler için değil, aynı zamanda kullanılmış veya atık malzemelere mukavemet kazandırılmasında da kullanılır. Genellikle plastisite indeksi 30' dan az olan zeminler ile No.4 elekten (4.76 mm) geçen kısmı, % 45' den fazla olmayan kaba gradasyonlu granüler zeminlerde etkili bir stabilizör olarak kullanılır (Tunç, 2001).

Zemin-çimento stabilizasyonu, yol inşaatında daha çok siltli ve killi zeminlere uygulanır. Genellikle stabilizasyonun kalınlığı 0.15 m kadar yapılır. Bunun sebebi karışım makinelerinin daha derin tabakaları etkileyememesidir. Daha kalın stabilizasyon ihtiyacı olduğunda birden fazla tabaka halinde yapılması uygun olur (Kavlak, 2008).

Zemin-kireç stabilizasyonunda ise, orta, ince ve çok ince daneli zeminlerle kireç reaksiyona girerek, plastisitenin düşmesine, işlenebilirliğin artmasına, şişmenin azalmasına ve mukavemetin artmasına neden olmaktadır. Zemin sınıfı; CH, CL, MH, ML-CL, SC, SM-SC, SM, GC, GM-GC, GM olan ve silt, kil içeren ince gradasyonlu zeminler kireçle stabilize edilerek ıslah edilmeleri mümkün olabilmektedir. Stabilizasyon işleminde karışım oranlarının tespitinden önce malzemelerin fiziksel özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Bu özellikler; dane boyutu dağılımı, likit limit ve plastisite indeksi, hava tesirlerine karşı

dayanım, Los Angeles aşınma kaybıdır. Bu şartlardan biri veya birkaçı standarda uygun değilse, uygun malzeme ilavesi ile standartlara uygun malzeme elde edilir (Kavlak, 2008).



3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI (Kaynak Özetleri)

Ilıcalı (1985), Erdemir cürufunun sahip olduğu kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre bu malzemenin agrega olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Kırılıp elenen cürufa granüler cüruf, bağlayıcı (çimento, kireç) filler olarak portland çimentosu ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu gibi ek malzemeler kullanılarak alttemel ve temel tabakalarındaki etkisi gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonunda Erdemir cürufunun sahip olduğu kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından üstyapı tabakalarında kullanılacak agregalarda istenen şartlara uyduğu belirlenmiştir. Kırılmış ve granülometrisi belirlenmiş hava soğutmalı cürufa granüler cüruf katılarak elde edilen bağlayıcısız karışımın mekanik direnci alttemel ve temel tabakalarında aranan değerlerin üstünde bulunmuştur. Belirlenen granülometriyi bozmayacak optimum oranda granüler cüruf ve çok az miktarda bağlayıcı katılarak elde edilen karışımın mekanik direnci yüksek trafikli yolların temel tabakasında aranan mekanik şartları sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak belirli mesafedeki şantiyelerde, karayolu üstyapısında Erdemir cürufunun kullanılabilirliğinin ekonomik olarak elverişli olduğu belirlenmiştir.

Güngör ve Sağlık (1996), Afşin Elbistan uçucu külünün esnek yol üst kaplamalarında filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Taş tozu, portland çimentosu ve uçucu kül fillerli karışımlara Marshall deneyi yapılmış, optimum bitüm yüzdesi, bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve stabilite değerleri elde edilmiş, sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda uçucu külün esnek üst yapılarda filler malzemesi olarak kullanılabileceği uygun görülmüştür.

Yılmaz (2008), yaptığı çalışmada endüstriyel atıklardan olan Antalya Ferrokrom Fabrikası atıklarının (FeCr cürufu, SiFeCr cürufu, silis dumanı) yol üstyapısındaki kullanım potansiyelini araştırmıştır. Malzemelerin fiziksel kimyasal özellikleri, mekanik özellikleri ve laboratuvar liç davranışı deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde CBR, Proktor, Los Angeles, serbest basınç dayanımı, ultra ses hızı, donma-çözülme dayanımı vb. laboratuvar deneylerinin yanı sıra çalışma kapsamında dinamik üç

eksenli (DÜE) deney cihazı kullanılmıştır. Geliştirilen deney cihazı ile yol malzemelerinin esneklik modülü, Poisson oranı ve tekrarlı yükler altındaki plastik deformasyonu belirlenmiştir. Sonuç olarak, Ferrokrom (FeCr) ve Silikoferrokrom (SiFeCr) cürufunun fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından yol üst yapısının granüler tabakalarında doğal agregaya alternatif olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Ayrıca bir bağlayıcı ile stabilize edilen FeCr cürufunun yüksek basınç dayanımına sahip olması sebebiyle, stabilizasyon temel olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Kizirgil (2001), çalışmada, zemin stabilizasyonunda kullanılan çimentonun belirli bir kısmı yerine, Sivas Demir-Çelik Fabrikası cürufunun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Değişik boyutlardaki cüruf, kırılıp, öğütülerek 80 nolu elekten (0.177 mm) elenip hazırlanan zemin ve cüruf malzemeleri üzerinde, laboratuvar deneyleri yapılarak fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Zemine değişik oranlarda çimento katılarak optimum su içerikleri belirlendiğinde, karışım %5 cüruf ilavesiyle optimum su içeriği maksimum değere ulaşmıştır. Çalışmada, zemine % 8 çimento katılarak elde edilen 21.5 kg/cm² lik basınç mukavemetinden daha büyük mukavemetler zemine % 4 çimento % 5 cüruf katılmasıyla elde edilmiştir.

Varlıorpak vd. (1995), Metaş Demir-Çelik Fabrikası cürufunu kullanmıştır. Çalışmada taşıma gücü düşük zeminlerin cüruf katkısı ile zemin özelliklerini iyileştirme işlemi yapılmıştır. Modifeye Proktor ve CBR deneyleri uygulanmış ve katkısız numunelerin başlangıçta % 6 olan CBR değerleri, % 35 (% 32 cüruf + % 3 kireç) katkı ile % 68.5' e çıkmıştır. Sonuçta, yol inşaatında kullanılmayacak özellikteki plastik malzemenin, cüruf katkısı ile kullanılabilir duruma geldiği görülmüştür.

Toprakçı (2002), çalışmada tuğla-kiremit atıklarının puzolonik katkılarla yol stabilizasyon malzemesi olarak değerlendirilmesini incelemiştir. Farklı killi zemin numunelerine belli oranlarda öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kireç, çimento ve tras gibi bağlayıcı maddeler karıştırılarak serbest basınç değerleri belirlenmiştir. Yapılan deneylere göre, malzemelerin serbest basınç değerleri,

tuğla tozu-çimento karışımı için maksimum 16.25 kg/cm² ve minimum 3.71 kg/cm² ,tuğla tozu-kireç karışımı için maksimum 13.94 kg/cm² , minimum 2.12 kg/cm² olarak bulunmuştur. Kiremit tozu-kireç karışımı için serbest basınç dayanım değerleri maksimum 13.34 kg/cm², minimum 1.96 kg/cm² olarak, kiremit tozu-çimento karışımı için de maksimum 14.40 kg/cm² ve minimum 3.51 kg/cm² olarak tespit edilmiştir.

Turabi vd (2002), fosforik asit gübre fabrikası atığı fosfoalçının, yol stabilizasyonunda kullanımını araştırmışlardır. İki farklı zemin örneğinde, % 0, 5, 10, 15 fosfoalçı katkı oranlarında, proktor değerlerinin ve plastisite indislerinin değişimini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, fosfoalçı katkısıyla zemin örneklerinin kuru birim ağırlıklarında artış, optimum su içeriklerinde ve plastisite indislerinde azalma görülmüştür.

4. METARYEL ve YÖNTEM

4.1. Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Feldspat

Feldspatlar yerkabuğunun %60-65'ini oluşturan sodyum, potasyum, kalsiyum, lityum ve bazen de baryum ve sezyum ve bu elementin izomorf birleşimi ile oluşmuş susuz alümina silikatlarıdır. Bu mineraller her magma kütlelerinde değişik şekillerde bulduklarından bunların soğuyup kristalleşmesi ile yer yer feldspat zonları ve yatakları oluşmuştur. Seramik ve cam sektörünün temel hammaddesi olan feldspatlar ülkemizde de yaygın olarak bulunmakla birlikte çoğunlukla safsızlık olarak rutil, sfen, mika, vb. demir ve titan mineralleri içermekte ve kullanılabilmesi için bu safsızlıklardan temizlenerek alkali içerikleri açısından zenginleştirilmeleri gerekmektedir.

Feldspatlar kimyasal bileşim ve yapıları açısından iki ana gruba ayrılmaktadırlar:

i) Plajiyoklaz Feldspatlar

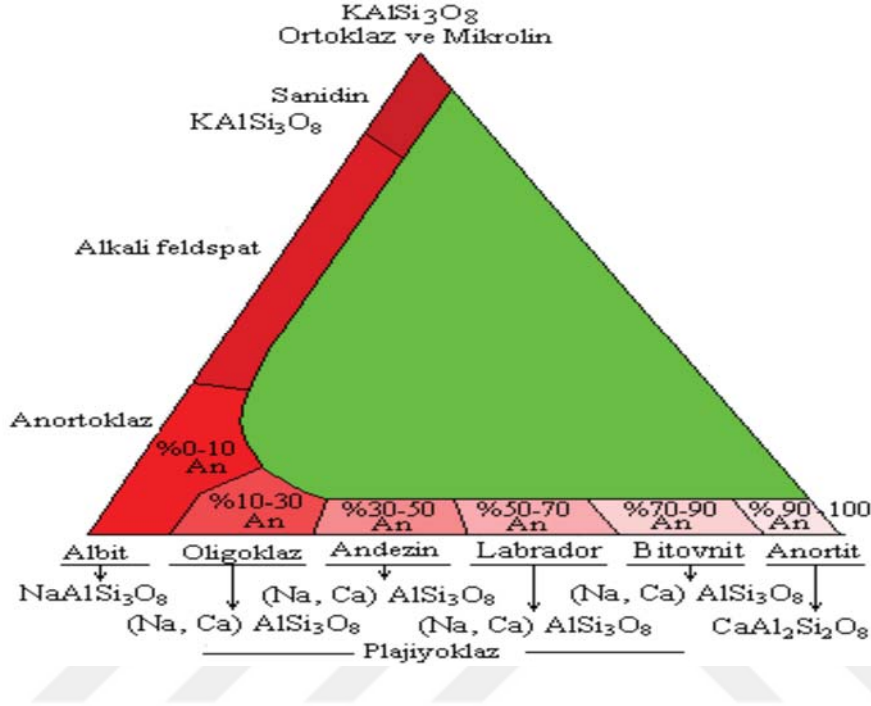
- Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$,
- Oligoklaz $(\text{Na}, \text{Ca}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$,
- Andezin $(\text{Na}, \text{Ca}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$,
- Labrador $(\text{Na}, \text{Ca}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$,
- Bitovnit $(\text{Na}, \text{Ca}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$,
- Anortit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

ii) K-Feldspatlar veya Alkali Feldspatlar

- Mikroklin KAlSi_3O_8 ,
- Sanidin KAlSi_3O_8 ,
- Ortoklaz KAlSi_3O_8 .

Bu minerallerin birbirleriyle olan ilişkileri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bunlar arasında ticari öneme sahip feldspat mineralleri şunlardır;

1. Ortoklaz (Or); potasyum alüminyum silikat, $KAlSi_3O_8$,
2. Albit (Al); Na- alüminyum silikat, $NaAlSi_3O_8$,
3. Anortit (An); kalsiyum alüminyum silikat, $CaAl_2Si_2O_8$.



Şekil 4.1. Alkali feldspatlar ve plajiyoklaz feldspatların isimlendirilmesi

4.1.1.1. Feldspatların fiziksel özellikleri

Feldspatların parlak vitra görünümlü, renkleri beyaz, krem, kahverengi, pembe, kırmızı, gri, yeşil ve mavimsi olmakta, renksiz veya sütümsü de olabilmektedir. Yapıları düzgün değildir. Mohs sertlik değerine göre 6-6.5 sertlik derecesinde, yoğunlukları $2.5-2.76 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Şekil 4.2' de çeşitli feldspat mineralleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çeşitli feldspat mineralleri

Seramik ve cam sektörü için feldspatların erime derecelerinin büyük önemi vardır. Genel olarak feldspat minerallerinin erime sıcaklıkları;

Potasyum feldspat: 1200-1250°C,

Sodyum feldspat: 1150-1225°C,

Kalsiyum feldspat: 1500-1550°C aralıklarındadır.

4.1.1.2. Dünyadaki durum

Feldspat, seramik, porselen ve cam endüstrisinde kullanılan önemli bir endüstriyel hammaddedir. Dünya feldspat üretiminin %60'ı seramik, %35'i cam sanayinde, %5'i kaynak elektrotu, kauçuk, plastik ve boya sanayilerinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

4.1.1.3. Rezervler

Dünya feldspat kaynağı olarak granitler, metagranitler, gnayslar, pegmatitler, nefelinli siyenitler ve feldspatik kumlar görülmektedir. Bu kaynakların bolluğu

nedeniyle dünya feldspat rezervlerini rakamsal değerlerle ifade etmek mümkün değildir. Literatürde de bu kaynaklardan bahsedilmekte ancak kesin rakamlar verilememektedir.

Dünya toplam feldspat rezervlerinin 1740×10^6 ton olduğu, bu rezervin büyük bir bölümü Asya kıtasında yer aldığı bilinmektedir. Türkiye 240×10^6 * tonluk rezerv ile dünya feldspat rezervinin yaklaşık %14'ünü oluşturmakta ve dünya ülkeleri içinde en büyük Na-feldspat rezervine sahiptir.

4.1.2. Yol taban zemini olarak ve kullanılan Isparta havalimanı civarından temin edilen malzeme

Bu çalışmada Isparta Hava Limanına yakın bölgeden alınan zemin numunesi esnek üst yapılarda yol taban zemininde kullanımı için incelenmiştir.

Söz konusu zemin numunesi üzerinde bir takım deneyler yapılarak fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Aydın İli Çine İlçesinden çıkarılan feldspat madeninin yan ürünü ile mekanik stabilizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Zemin üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları ilerleyen bölümlerde verilecektir.

4.2. Kullanılan Metodlar

Bir karayolu esnek üst yapısının davranışı taban zeminin taşıma gücü ile doğrudan doğruya ilgili olduğundan, taban zemininin üst yapıya istenen desteği sağlayacak şekilde hazırlanması gerekmektedir. Taban zemini üzerine oturan alttemel, temel ve bitümlü kaplama tabakalarından oluşan esnek yol üst yapısının başarısı, belirtilen tabakaların ve taban zeminin şartnamelere uygun şekilde projelendirilip gerçekleştirilmesine bağlıdır (Umar ve Ağar, 1991).

Bir yol projesinde, üstyapının oturacağı taban zemininin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bölümde malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan deney yöntemleri hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

4.2.1. Elek Analizi Deneyi

Elek analizi deneyi, plastiklik özelliği yüksek tabii zeminin, dane boyutu dağılımlarının, standartta belirtilen sınırlar dahilinde olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Elek analizi deneyi ile 0.075 mm' den daha büyük danelerin dane boyutu dağılımı belirlenebilmektedir. 0.075 mm' den daha küçük danelerin dane boyutu dağılımı ise hidrometre metoduyla belirlenmektedir.

İyileştirme işlemine tabii tutulan siltli - killi zeminin dane büyüklüğü dağılımını belirlemek için elek analizi deneyi yapılmıştır.

Elek analizi deneyinde zemin numunesi etüvde 110 ± 5 °C' de 24 saat bekletildikten sonra Karayolları Genel Müdürlüğü'nün belirttiği standart elek serisinde elenmiştir.

Her elek üzerinde kalan zemin numunesi tartılarak, her elekten geçen ve kalan miktarlar % olarak tespit edilerek kaydedilmiştir.

4.2.2. Likit limit ve plastik limit deneyleri

Kıvam limitleri olarak bilinen Atterberg limitleri; zeminin tanecikleri ile su arasındaki ilişkileri ve değişen su içeriklerine göre zeminin durumunun tanımlanmasına yardımcı olurlar.

Kıvam, zemin danecikleri arasında adezyonun derecesine ve zemin kütlesini biçim değiştirmeye ve kırılmaya zorlayan kuvvetlere karşı gösterdiği direnci gösteren bir kavramdır. Farklı zeminler değişik su içeriklerinde değişik kıvamlar gösterirler (Kavlak, 2008).

Zemine fazla su verilirse zemin sıvı (likit) hale gelmektedir. Bu durumda zemin akıcı olup kesme direnci yoktur. Ancak içeriğindeki su miktarı azaltılırsa belirli bir kesme direnci kazanır. Bu geçiş durumundaki su muhtevasına likit limit denir (W_L). Eğer su kaybı daha fazla olursa zemin yavaş yavaş plastiklik özelliğini kaybeder ve düz bir satıhta yuvalanırsa ufalanır. Bu durumdaki su içeriğine plastik limit denir (W_P).

0.425 mm elekten elenen zemin numunesi üzerinde TS 1900' e göre likit limit değeri tespit edilmiştir. Su içeriği yüzdesi ile darbe adedi arasındaki ilişkiyi gösteren "akma eğrisi", yarı logaritmik bir grafik kağıdı üzerine rutubet miktarı aritmetik ölçekli apsis ekseninde ve darbe adetleri logaritmik ölçekli ordinat ekseninde olmak üzere işaretlenmiştir. Akma eğrisi, üç noktanın mümkün olduğu kadar yakınından geçen düz bir doğru parçası olarak çizilmiştir. Çizilen bu akma eğrisi üzerinde 25 düşüşe karşılık gelen su içeriği değeri likit limit değeri olarak belirlenmiştir.

Plastik limit ise Zeminin 3 mm çapında silindirik çubuklar biçiminde yuvarlandığında, çubukların yüzeyinde çatlama ve kopmalar olduğu andaki su içeriğinin sayısal değeridir. Plastik limit deneyi, 0.425 mm (No.40) elekten geçen kurutulmuş zemin üzerine yapılarak, plastik limit değeri tespit edilmiştir.

4.2.3. Standart proktor deneyi

Boyutları bilinen (çap, yükseklik, hacim) Standart Proktor kalıbına doldurulan numuneye, ağırlığı bilinen bir tokmağın sabit bir yükseklikten belirli sayıda düşürülerek enerji verilmesi işlemidir.

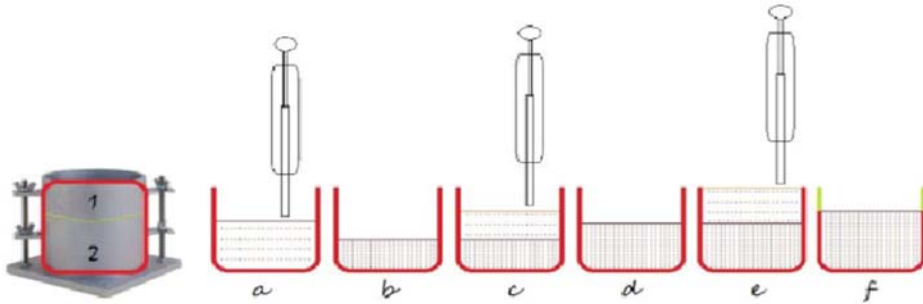
Deney süresince, bilinen su muhtevalarına karşılık gelen kuru yoğunluk değerleri bulunur ve deney sonunda zeminin maksimum kuru yoğunluğu ile optimum su içeriği elde edilir.

Feldspat ve iyileştirmeye tabi tutulan killi zemin 110 ± 5 °C etüvde 24 saat bekletildikten sonra feldspat 10 nolu elekten, siltli-killi zemin ise 4 nolu elekten elenmiştir. Elek altında kalan malzemeler deneyde kullanılmıştır.

Öncelikle katkısız killi zemin numunesi ile deney yapılmıştır. Söz konusu numune 929.37 cm^3 'lük Standart Proktor kalıbına üç eşit tabaka halinde serilmiştir. Her tabakaya 2.49 kg ağırlığındaki Standart Proktor tokmağıyla 30.48 cm yükseklikten 25 adet tokmağın düşürülmesi ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numunenin ağırlığı belirlenmiştir. Birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır. Su muhtevasının belirlenebilmesi için sıkıştırılmış olan numunenin altından ve üstünden bir miktar numune alınarak darası daha önceden belirlenen farklı kaplara koyulmuştur. Bu işlem numune içerisindeki su miktarı arttırılarak beş kere tekrarlanmıştır. Alınan numuneler 24 saat boyunca 110 ± 5 °C etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan her numune (toplamda 5 farklı su muhtevası için) tekrar tartılarak kuru yoğunluğu ve su muhtevası belirlenmiştir.

Daha sonra kuru yoğunluk ve su muhtevası eğrisi çizilerek eğrinin tepe noktasına karşılık gelen maksimum kuru yoğunluk ve maksimum kuru yoğunluğa karşılık gelen optimum su muhtevası belirlenmiştir.

Bu deney, iyileştirmeye tabi tutulan killi zemin numunesine ağırlığınca %5, %10, %15, %20, %25' ine denk gelen miktarlarda feldspat eklenerek yapılmıştır.



Şekil 4.3. Standart Proktor Deneyi Uygulanışı

4.2.4. Kalifornia taşıma oranı (CBR) deneyi

CBR (California Bearing Ratio), 1929' da zeminlerin karayollarının alt yapılarında kullanılabilir olup olmadığını belirlemek amacıyla geliştirilmiş bir deneydir.

Zemin numunesinin, numune içerisine 1.28 mm/dk hızla batırılan penetrasyon pistonuna karşı gösterdiği direnimin, aynı penetrasyon derinliği için standart bir kırma taş numunenin gösterdiği direnime oranı, California Taşıma Oranı (California Bearing Ratio) ya da kısaca CBR olarak adlandırılır.

CBR deneyi, kontrol altında tutulabilen bir su içeriğinde ve yoğunluğundaki zeminin kayma direnimini ölçmek için kullanılır. Deney sonunda bir taşıma gücü oranı (CBR) elde edilir. Bu değer, bir zemin için sabit bir değer olmayıp, zeminin su içeriğine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen CBR değeri sadece zeminin mevcut su içeriği ve yoğunluğu için geçerli olmaktadır. CBR değeri, arazide yerinde yapılan deneylerle de belirlenebilir (Aytekin, 2004).

CBR değeri, ya da kısaca CBR, bilinen bir su içeriğinde ve yoğunluğunda hazırlanan zemin numunesinin üzerine belli bir hızla batırılan penetrasyon

pistonunun istenen derinliğe kadar batması için uygulanan gerilmenin, kırma taşla yapılan deneyde aynı pistonun aynı batma derinliğine kadar gelmesi için uygulanan standart gerilmeye oranı olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir (Aytekin, 2004).

$$CBR = \frac{\text{Deneyde Uygulanan Gerilme (veya yük) } \times 100}{\text{Standart Gerilme (veya yük)}} \quad (4.1)$$

CBR deneyinde kullanılacak zemin numuneleri genellikle optimum su içeriğinde hazırlanırlar. Zemine ait optimum su içeriği Standart Proktor ya da Modifiye Proktor Deneyi ile belirlenir. Sonra numuneler, ASTM D698-66T (veya D1557-66T) deki B veya D yöntemi kullanılarak Çizelge 4.1' de verilen kompaksiyon enerjilerinde sıkıştırılarak deneye hazır hale getirilirler (Aytekin, 2004).

Çizelge 4.1. ASTM ye göre kullanılacak olan kompaksiyon enerjileri

| Deney Yöntemi | Vuruş Sayısı(N) | Tabaka Sayısı | Tokmak Kütlesi (kg) |
|----------------------------------|-----------------|---------------|---------------------|
| ASTM-D698 B (ince daneli zemin) | 56 | 3 | 2.5 |
| ASTM-D698 D (iri daneli zemin) | 56 | 3 | 2.5 |
| ASTM-D1557 B (ince daneli zemin) | 56 | 5 | 4.5 |
| ASTM-D1557 D (iri daneli zemin) | 56 | 5 | 4.5 |

Her bir karışım oranının Standart Proktor deneyi ile belirlediğimiz optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları dikkate alınarak CBR deneyi için gerekli numuneler hazırlanmıştır. Söz konusu numuneler şartnamesinde belirtilen şartlarda 3 tabaka halinde ve 2.5 kg ağırlığındaki tokmak ile düzeltilmiş değeri olan 61 vuruş sayısı ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numunenin üzeri spatula yardımı ile düzeltilerek tartılmış ve deney kabında sıkışma tamamlandıktan sonra olması gereken numune ağırlığı kontrol edilmiştir. Daha sonra CBR deney aletine yerleştirilmiştir. Daha sonra yük ve penetrasyon pistonuna hızı dakikada 1.28 mm olacak şekilde yük uygulanmıştır. Standartta belirtilen penetrasyon değerlerinde yük okumaları alınmıştır. Bu

değerler yardımı ile gerekli düzeltmeler yapılarak basınç-penetrasyon eğrisi çizilmiştir.

Basınç-penetrasyon eğrisindeki gerekli düzeltmelerden sonra, 2.54 mm (0.1 inç) ve 5.08 mm (0.2 inç)' lik penetrasyonlara karşı gelen düzeltilmiş basınç değerleri yardımıyla Kaliforniya Taşıma Oranı bulunmuştur. 2.54 mm' lik penetrasyondaki düzeltilmiş basınç değeri, 70.31 kg/cm²' ye 5.08 mm' lik penetrasyondaki düzeltilmiş basınç değeri ise 105.46 kg/cm²' lik standart basınç değerlerine oranlanıp 100 ile çarpılarak CBR değerleri bulunmuştur.

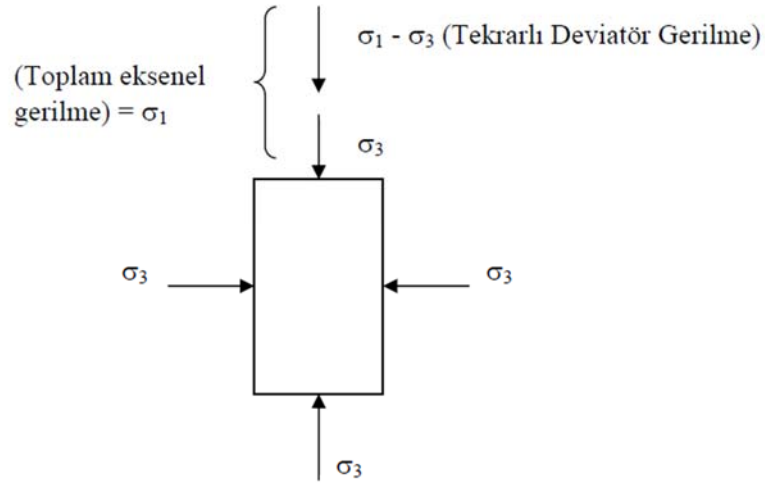
Genel olarak 2.54 mm (0.1 inç) batmaya karşı gelen CBR değeri, taşıma oranı olarak alınmaktadır. Eğer 5.08 mm (0.2 inç) batmadaki oran daha büyük ise deney tekrarlanmalıdır. Yine aynı sonuç elde ediliyorsa, 5.08 mm' lik batmaya karşı gelen oran CBR değeri olarak alınır (Kavlak, 2008).

4.2.5. Dinamik üç eksenli basınç deneyi

Zeminlerin konsolidasyonsuz, drenajsız kayma mukavemeti parametrelerini belirlemek için yapılan bir deneydir. (kN/m²).

Bu deney yöntemi çoğunlukla yol üstyapısının kalınlık hesaplarında (üstyapı tasarımında) malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Üstyapı malzemesinin doğrudan mukavemeti yerine üç eksenli deneyi ile tekrarlı yük altında malzemelerin klasik elastisite modülünün tespitinde olduğu gibi esneklik modülü (Mr) tayin edilmektedir. Malzemelerin üç eksenli deney şartlarında tekrarlı yük altındaki gerilme-deformasyon ilişkisi saptanmaktadır (Kavlak, 2008).

Üç eksekli basınç deneyi gerilme durumu şekil 4.4' de gösterilmiştir.

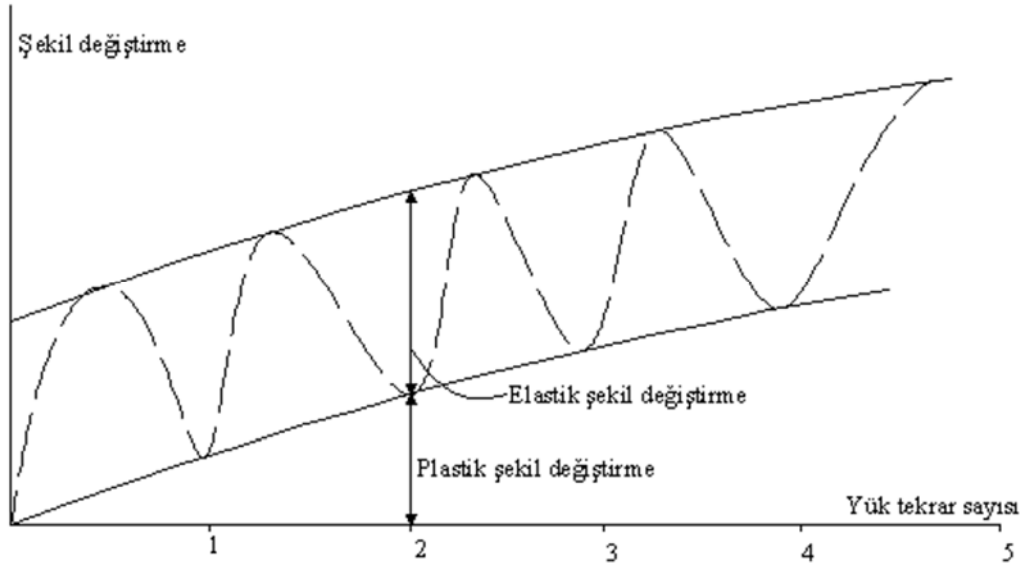


Şekil 4.4. Üç eksenli basınç deneyi gerilme durumu (Kavlak, 2008).

Üç eksenli basınç deneyi zeminin kayma mukavemeti parametreleri olan c "kohezyon" ve ϕ "İçsel sürtünme" açısını belirlemek için yapılır. Bu deneyde eğer projemiz bir dolgu ise UU "Konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli kesme deneyi" sıkıştırma deneyinden elde ettiğimiz maksimum birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği değerleri baz alınarak sıkıştırılmalıdır.

Bu deneyin en önemli özelliği, malzemenin tekrarlı yük şartları altındaki esneklik modülünü tespit etmesidir. Gerçekten de trafik yükleri kaplama vasıtasıyla zemine tekerrürlü yük olarak intikal etmekte ve zeminde yarattığı deformasyonların büyük bir kısmı kalıcı olmayan yani elastik deformasyonlar olmaktadır. Bu nedenle üstyapı tasarımında malzeme özelliklerini temsil etmesi açısından esneklik modülünü kullanmak doğrultusundaki yaklaşımlar daha çok kabul görmektedir (Kavlak, 2008).

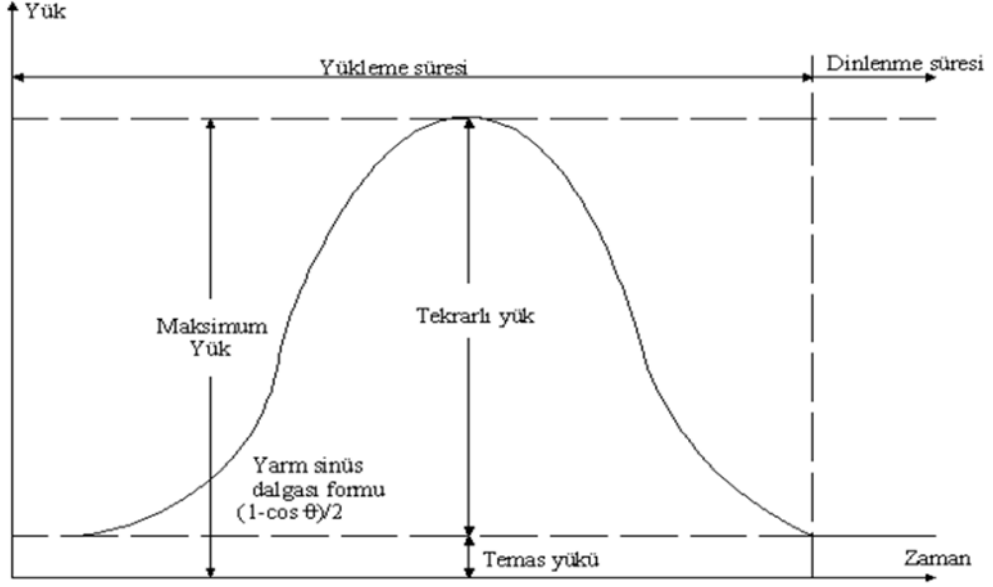
Şekil 4.5' da tekrarlı yüke maruz kalan malzemenin elastik ve plastik şekil değiştirmesi görülmektedir.



Şekil 4.5. Tekrarlı yükler altındaki plastik ve elastik şekil değiştirmeler (Kavlak, 2008).

Esneklik modülü deneyleri için Şekil 4.6' da görülen yük uygulama süresi 0.1 sn ve dinlenme süresi de 0.9 sn olarak standartlarda tanımlanmıştır. Bu 0.1 sn' lik süre ortalama 70 km/sa hızla yoldan geçen bir aracın dingil yükünün yolun 70 cm derinliğindeki bir cisme etkiye süresini temsil etmektedir. Bu yükleme hızı ancak hidrolik sistemlerde mümkün olabilmektedir. Pnömatik sistemlerde ise yükleme süresi 0.5 – 0.9 sn arasında değişmektedir.

Şekil 4.6' da görülen maksimum yük ile temas yükü arasındaki fark ($P_{maks} - P_{temas}$) uygulanan deviatör gerilmeyi göstermektedir. Deneyde yükleme süresi, deviatör gerilmenin uygulama süresini (Δt), dinlenme süresi ise deviatör gerilmenin uygulama aralığını (dakikadaki yük uygulama sayısını) ifade ettiğinden gerilmenin büyüklüğünün yanı sıra gerilmenin her bir tekrardaki uygulama süresi ile gerilmenin tekrar aralığı da deneyin sonucu açısından önem taşımaktadır (Kavlak, 2008).



Şekil 4.6. Dinamik üç eksenli deneyindeki yükleme formu

Yapmış olduğumuz bu çalışmada dinamik üç eksenli basınç deneyi ile sadece düşey deformasyonlar ölçüldüğünden dolayı Esneklik Modülü (M_r) bulunmuştur.

4.2.5.1. Esneklik modülü deneyi

Esneklik modülü, bir malzemenin tekrar eden yük altındaki elastiklik modülü olup, üstyapı tabakalarında yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Esneklik modülü, kaplamanın altında trafik etkisiyle meydana gelen ve yorulma çatlaklarına neden olan çekme gerilmelerinin ve üstyapı tabakalarında oluşan basınç gerilmesinin neden olduğu kalıcı deformasyonları kontrol eder. Tek eksenli dinamik yükleme altındaki esneklik modülü genel olarak maksimum gerilmenin maksimum birim şekil değiştirmeye oranıdır. Üstyapı malzemeleri normal olarak elastik değildir ve her yük tekrarından sonra bir miktar plastik (kalıcı) deformasyon gösterir. Bununla beraber, eğer trafik yükü malzemenin mukavemetine nazaran küçük ise, belirli sayıda yük tekrardan sonra malzeme elastik davranış göstermeye başlar (Güngör ve Sağlık, 2008).

Üç eksenli ve tekrarlı yük şartlarında test edilen malzemenin esneklik modülü aşağıdaki Formül 4.2 ile hesaplanır.

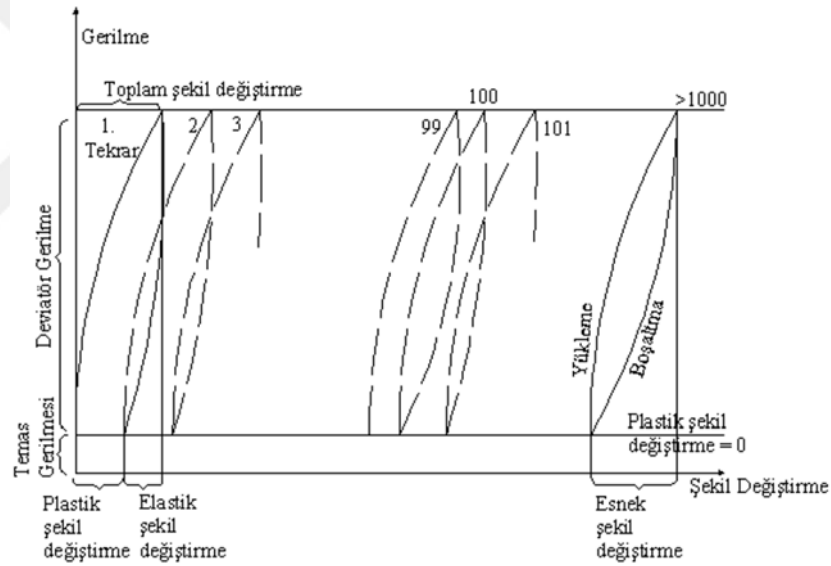
$$M_r = \sigma_d / \epsilon_r \quad (4.2)$$

M_r : Esneklik modülü

σ_d : Deviator gerilme ($\sigma_1 - \sigma_3$) = Toplam eksenel gerilme – hücre basıncı

ϵ_r : Esnek şekil değiştirme (Eksenel yönde)

Buradaki, esnek şekil değiştirme değeri, plastik şekil değiştirmenin minimum düzeye indiği andaki esnek şekil değiştirme değeridir. Bu yüzden deney öncesinde en az 500 yükleme tekrarı ile ön yükleme (şartlandırma yüklemesi) yapılmaktadır. Bu sırada numunenin plastik deformasyonunun büyük bir kısmını tamamlaması sağlanır (Kavlak, 2008).



Şekil 4.7. Tekrarlı yüke maruz kalan malzemenin gerilme-şekil değiştirme grafiği

Eğer şartlandırma süresinde eksenel yöndeki toplam kalıcı şekil değiştirme değeri % 5' e ulaşırsa şartlandırmaya son verilir. Numunenin yeterli sıkışmamasına sebep olan sıkıştırma sürecinde doğan nedenlerin tespit edilmesi için sıkıştırma süreci gözden geçirilir (Kavlak, 2008).

4.2.5.2 Numune Hazırlanması

Dinamik üç eksenli basınç deneyinde 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde silindirik deney kabı içerisine sıkıştırılmış numuneler kullanılmıştır. Plexiglass hücre içerisindeki numuneye hava basıncı ile çevre basıncı uygulanmış ve basınç kontrolü (1000 kPa kapasiteli) elektro-pnömatik basınç regülatörü ile yapılmıştır.

Numuneler hazırlanırken, AASHTO TP46-94, "Zeminlerin ve Agregaların Esneklik Modülünün Bulunmasında Standart Deney Yöntemi" esas alınmıştır. Bu deney yönteminde 1. Tip ve 2. Tip olmak üzere 2 farklı yöntem vardır. 1. Tip deney yöntemi ince taneli zeminlerin, özellikle taban zemininin esneklik modülünün bulunmasında, 2. Tip ise temel ve alttemel malzemelerinin esneklik modülünün bulunmasında kullanılır. Bu çalışmada kullanılan malzemeler 1. Tip'e girmektedir (Kavlak, 2008).

Katkısız killi zemin ve her karışım oranı için (%5, %10, %15, %20, %25 feldspat) proktor deneyi ile bulunan su muhtevalarında üç eksenli deney kalıbının alacağı hacimde numuneler hazırlanmıştır. Deney kalıbının iç yüzeyine numuneyi etkilemeyecek miktarda gres yağı sürülmüştür. Proktor deneyi ile tayin edilen kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırılabilmesi için söz konusu deney kalıbına numuneler 5 kademe de ve 25'er darbe yapılarak sıkıştırılmıştır (Şekil 4.8). Son tabaka sıkıştırıldıktan sonra kalıp yakası çıkartılarak fazla malzeme kalıp üzerinden bir spatula yardımı ile alınıp numune yüzeyi düzgün hale getirilmiştir. Birim ağırlık tayini için kalıpla yağ numune birlikte tartılmıştır. Daha sonra deney kalıbı gevşetilerek numuneler deney kalıbından çıkarılmıştır. Numuneler nemini kaybetmeyecek şekilde streç film ile sarılarak 1 gün bekletilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Beş aşama da sıkıştırılan numune

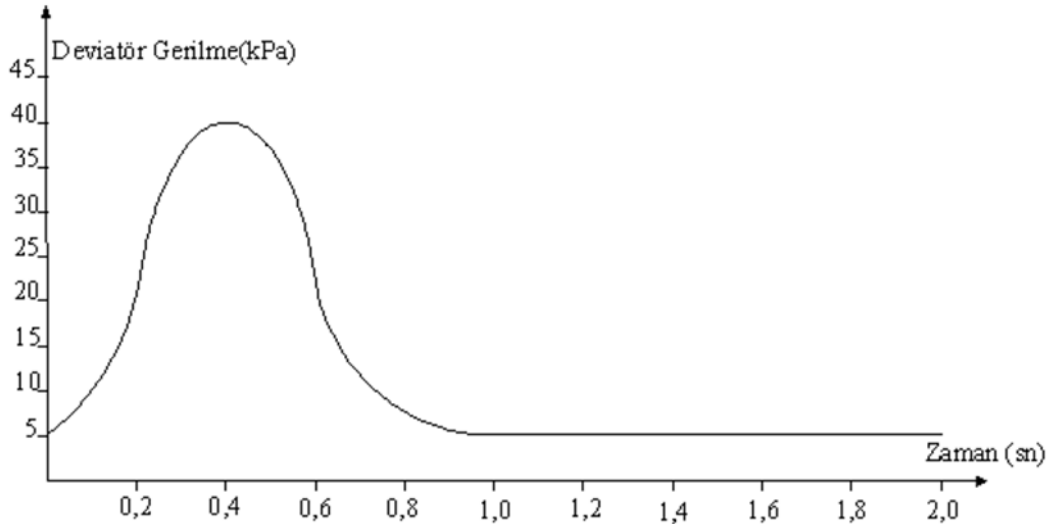


Şekil 4.9. Nemini kaybetmemesi için streç filme sarılmış 1 gün bekletilecek numuneler

Bir gün sonra numunenin altına ve üstüne, filtre kağıdı ve poroz taş ve üst platen yerleştirilmiştir. Latex membran üst platen üzerine saracak şekilde yukarıya kaldırılıp O-ring halkalar ile sızdırmazlığı sağlanmıştır. Daha sonra numune üç eksenli hücre sine yerleştirilerek, hücrenin flexiglass çeperi ve onun üzerine de hücre üst kapağı kapatılarak vidalarından sıkılmıştır. Drenaj muslukları açılıp numune deneye hazır hale getirilmiştir.

4.2.5.3. Deneyde uygulanan gerilmeler

Deneyde, aksel yönde yarım sinüs (haversine) dalgası şeklindeki tekrarlı yük dalgası uygulanmıştır. Maksimum aksel yük, tekrarlı yük ile temas gerilmesinin toplamından oluşmaktadır. Temas gerilmesi ise maksimum gerilmenin %10' u mertebesindedir. Deneyde hücre basıncı (kademeli olarak) sabit tutulmuştur. Deneyde yükleme-boşaltma süresi (tekrarlı yükün uygulanma süresi) olarak 1 sn' dir. Bekleme süresi de 1 sn' dir. Bir yükleme tekrarı 1 sn yükleme + 1 sn bekleme olmak üzere, toplam 2 sn sürmektedir. Temas gerilmesi, deney sırasında yükleme pistonu ile numune üzerindeki platenin sürekli temas halinde olmasını ve tekrarlı yüklerin numuneye uygun bir şekilde etkimesini sağlamaktadır. Yüklemenin zamanla değişimi Şekil 4.10' da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Uygulanan yarım sinüs dalgası şeklindeki yüklemenin zamanla değişimi (Kavlak, 2008).

AASHTO TP46-94 deney standardının granüler malzemeler için (ince taneli zeminler, özellikle taban zemini) önerdiği yükleme şeması çizelge 4.2' de görülmektedir. Çizelge 4.2' den de görüleceği üzere, öncelikle belirli bir çevre basıncında ve belirli deviatör gerilme altında en az 500 tekrar içeren şartlandırma yüklemesi yapılmaktadır. Şartlandırma yüklemesiyle numune hazırlama aşamasındaki (karıştırma, sıkıştırma vb.) muhtemel farklılıklar varsa, numune içindeki büyük boşluklar giderilmekte ve ayrıca yükleme platenleri ile numune arasında sıkı bir temas sağlanmaktadır. Şartlandırmadan sonra numune, tabloda görülen farklı büyüklükteki tekrarlı gerilmelere maruz bırakılır.

Çizelge 4.2. AASHTO TP46-94 ince taneli ve taban zemini malzemeleri için (Mr) deney şeması

| Sıra No | Çevre Basıncı | | Maksimum Eksenel Gerilme | | Tekrarlı Gerilme | | Temas Gerilme | | Tekrar Sayısı |
|---------|---------------|-----|--------------------------|-----|------------------|-----|---------------|-----|---------------|
| | kPa | psi | kPa | psi | kPa | psi | kPa | psi | |
| 0 | 41,4 | 6 | 27,6 | 4 | 24,8 | 3,6 | 2,8 | 0,4 | 500-1000 |
| 1 | 41,4 | 6 | 13,8 | 2 | 12,4 | 1,8 | 1,4 | 0,2 | 100 |
| 2 | 41,4 | 6 | 27,6 | 4 | 24,8 | 3,6 | 2,8 | 0,4 | 100 |
| 3 | 41,4 | 6 | 41,4 | 6 | 37,3 | 5,4 | 4,1 | 0,6 | 100 |
| 4 | 41,4 | 6 | 55,2 | 8 | 49,7 | 7,2 | 5,5 | 0,8 | 100 |
| 5 | 41,4 | 6 | 68,9 | 10 | 62 | 9 | 6,9 | 1 | 100 |
| 6 | 27,6 | 4 | 13,8 | 2 | 12,4 | 1,8 | 1,4 | 0,2 | 100 |
| 7 | 27,6 | 4 | 27,6 | 4 | 24,8 | 3,6 | 2,8 | 0,4 | 100 |
| 8 | 27,6 | 4 | 41,4 | 6 | 37,3 | 5,4 | 4,1 | 0,6 | 100 |
| 9 | 27,6 | 4 | 55,2 | 8 | 49,7 | 7,2 | 5,5 | 0,8 | 100 |
| 10 | 27,6 | 4 | 68,9 | 10 | 62 | 9 | 6,9 | 1 | 100 |
| 11 | 13,8 | 2 | 13,8 | 2 | 12,4 | 1,8 | 1,4 | 0,2 | 100 |
| 12 | 13,8 | 2 | 27,6 | 4 | 24,8 | 3,6 | 2,8 | 0,4 | 100 |
| 13 | 13,8 | 2 | 41,4 | 6 | 37,3 | 5,4 | 4,1 | 0,6 | 100 |
| 14 | 13,8 | 2 | 55,2 | 8 | 49,7 | 7,2 | 5,5 | 0,8 | 100 |
| 15 | 13,8 | 2 | 68,9 | 10 | 62 | 9 | 6,9 | 1 | 100 |

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılacak Feldspatın Fiziksel Özellikleri

Bu çalışmada yol taban zemininin stabilizasyonunda Aydın-Çine ilçesinden çıkarılan feldspat stabilizasyon malzemesi olarak kullanılmıştır.

Yörede feldspat madeni işletimini yapan birçok firma bulunmaktadır. Feldspat seramik, porselen ve cam endüstrisinde kullanılmaktadırlar. Dünya feldspat üretiminin %60'ı seramik, %35'i cam sanayinde, %5'i kaynak elektrotu, kauçuk, plastik ve boya sanayilerinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Feldspatların parlak vitra görünümlü, renkleri beyaz, krem, kahverengi, pembe, kırmızı, gri, yeşil ve mavimsi olmakta, renksiz veya sütümsü de olabilmektedir. Yapıları düzgün değildir. Mohs sertlik değerine göre 6-6.5 sertlik derecesinde, yoğunlukları 2.5-2.76 g/cm³ arasında değişmektedir.

Feldspat mineralleri özellikle Aydın-Çine, Muğla-Milas albitlerinin bir kısmında olduğu gibi doğrudan veya basit yıkama ve eleme işlemlerinden sonra piyasaya sunulabilmektedir.

Dünya feldspat kaynağı olarak granitler, metagranitler, gnayslar, pegmatitler, nefelinli siyenitler ve feldspatik kumlar görülmektedir. Bu kaynakların bolluğu nedeniyle dünya feldspat rezervlerini rakamsal değerlerle ifade etmek mümkün değildir. Literatüründe de bu kaynaklardan bahsedilmekte ancak kesin rakamlar verilememektedir (Feldspat Raporu, 2010).

Dünya toplam feldspat rezervlerinin 1740x10⁶ ton olduğu, bu rezervin büyük bir bölümü Asya kıtasında yer almıştır. Türkiye 240x10⁶* tonluk rezerv ile dünya feldspat rezervinin yaklaşık %14'ünü oluşturmakta ve dünya ülkeleri içinde en büyük Na-feldspat rezervine sahiptir (Feldspat Raporu, 2010).

Çizelge 5.1. Dünya Feldspat Rezervleri (Feldspat Raporu, 2010)

| Kıta Adı | Rezerv ×10 ⁶ ton |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Kuzey Amerika (Kuzey Carolina) | 350(200) |
| Güney Amerika | 200 |
| Avrupa | 250 |
| Afrika | 200 |
| Türkiye | 240* |
| Asya | 500 |
| TOPLAM | 1.740 |

*Güncelleştirilmiş rezervlerimiz bunun çok üzerindedir.

Feldspat dünyada 50'den fazla ülkede üretilmektedir. United State Geological Survey, USGS'nin yapmış olduğu araştırmalar ve tahminlere göre dünya feldspat üretimi Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Dünya feldspat üretimi (Feldspat Raporu, 2010)

| Ülke Adı | Üretim Miktarı, x 10 ³ ton | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------------|------------------|------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2003 | 2006 | 2007 | 2008 |
| A.B.D | 635 | 630 | 880 | 790 | 800 | 760 | 730 | 600 |
| Almanya | 322 | 418 ^t | 330 | 450 ^t | 450 | 167 | 171 | 170 |
| Brezilya | 110 | 105 | 199 | 118 | 75 | 123 | 125 | 130 |
| Çek Cumhuriyeti | BA | BA | BA | 337 | 350 | 475 | 490 | 490 |
| Çin | BA | BA | BA | BA | BA | 1,9 | 2 | 2 |
| Fransa | 172 | 420 ^t | 632 | 642 ^t | 650 | 650 | 650 | 650 |
| Hindistan | 46 | 54 | 100 | 110 ^t | 150 | 160 | 160 | 160 |
| İspanya | 136 | 214 | 379 | 460 ^t | 450 | 580 | 600 | 600 |
| İtalya | 1116 | 1610 | 2199 | 2500 | 2500 | 3000 | 4200 | 4200 |
| Mısır | 19 | 10 | 75 | 330 ^t | 350 | 350 | 350 | 350 |
| Tayland | 104 | 311 | 670 | 626 | 780 | 1000 | 1000 | 800 |
| Türkiye* | 20 ^t | 182 | 760 | 1148 | 1800 | 2300 | 3800 | 3800 |
| Diğer | | | | | | | | |
| Toplam | 4100 | 6000 | 7900 | 9500 | 10800 | 15400 | 81000 | 18300 |



Şekil 5.1. Klasik yöntemle feldspat üretimi yapılan bir açık işletme (Feldspat Raporu, 2010)

Türkiye, Dünya kaliteli feldspat rezervinin yaklaşık %14'üne sahiptir. Türkiye'nin maden rezervlerinin zenginlik sınıflandırılmasında, feldspat açısından çok zengin kategorisinde yer almaktadır. Türkiye' de yer alan feldspat yatakları şekil 5.2' de yer alan harita ile gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Türkiye'nin Feldspat haritası

Çizelge 5.3. Türkiye de üretilen feldspatın özellikleri

| Kırılmış ve Harmanlanmış | | | | Flotasyonla Zenginleştirilmiş | | | | Öğütülmüş |
|--------------------------------|-----------------------|-------------|---------------|-------------------------------|--------------|-------------|----------------|------------------------|
| Bileşenler % | Standart Kalite | Orta Kalite | Yüksek Kalite | Cam Kalite | Flote Kalite | Frit | Yüksek | K Feldspat |
| Al ₂ O ₃ | 17-18 | 17-18 | 17-18 | 18 | 18 | 18 | 18-19 | 18 |
| TiO ₂ | max0.30 | max 0.16 | 0.1-0.12 | max 0.20 | max0.03 | Max0.02 | Max0.05 | eser |
| Fe ₂ O ₃ | max0.15 | max0.08 | max0.08 | max0.04 | max0.02 | Max0.01 | 150ppm | max0.12 |
| Na ₂ O | 10 | 10 | 10 | min 10 | min 10 | min10 | min10 | min3.0 |
| K ₂ O | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | min10.0 |
| LOI | 0.6 | 0.5 | 0.5-0.60 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.25 | 0.4 |
| Boyut | -10 mm yada öğütülmüş | | | -250 mikron | -400 mikron | -250 mikron | -400+74 mikron | - 10 mm yada öğütülmüş |

Ülkemizin ekonomik sayılabilecek albit yatakları Batı Anadolu'da, Çine-Milas-Yatağan-Bozdoğan yöresinde bulunan ve üretim yapılan yataklardır. Bu yatakların önemi, rezerv açısından zenginliği, kalitesi, limana ve tüketim alanlarına olan yakınlığından kaynaklanmaktadır. MTA verilerine göre bölgenin rezervi 250-300x10⁶ ton civarında olmasına karşın bölgedeki rezervler bu değerlerin birkaç katı kadardır. Bu büyük rezervler işletme açısından gerekli yatırımların yapılması durumunda tüm Avrupa'yı ve Türkiye'nin komşu ülkelerinin çok uzun yıllar besleyebilecek bir büyüklüğe sahiptir. Bölgedeki özel şirketlerin beyanlarına göre, bölgenin görünür rezervi 400x10⁶ tonun üzerindedir. Kapsamlı bir arama programı görünür rezervi iki katına çıkarabilecektir (Feldspat Raporu, 2010).

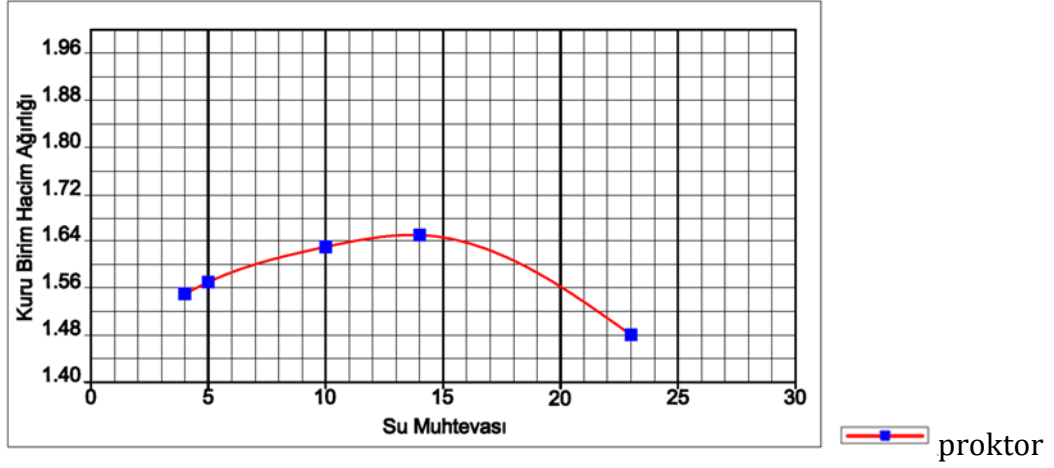
Stabilizasyon malzemesi Aydın İli, Çine İlçesinde yer alan Ak Maden Madencilik Tic. A.Ş. (SİBELCO) firmasının Çine maden yataklarından elde edilmiştir. Cam ve seramik malzeme yapımı sırasında yan ürün olarak ortaya çıkmış olup, kullanılamaz malzeme olarak geçmektedir. İkinci ve üçüncü sınıf malzeme grubunda yer almaktadır. Mika ve titan ağırlıklı malzemedir. Firma tarafından yapılan deneyler sonucunda özgül ağırlığı 2.5 , katı halde 2.4 ve serbest halde 1 kg da hacimsel ağırlığı ise 1.6 olarak bulunmuştur. 1200 °C 'de sıkışıp ergime özelliği vardır. Isı yalıtımında, tuğla ve kiremit yapımında kullanılmaktadır. Rutil grubu malzemedir.

İçeriğinde, % 1.5-2 TiO₂ , % 65-68 SiO₂ , % 18-20 Al₂O₃, % 8-9 Na₂O₃ olduğu belirlenmiştir.

Feldspat yan ürünü üzerinde yol taban zemini için standartta verilen deneyler uygulanarak sonuçlar incelenmiştir. Malzemenin sıkıştırılmasında önemli bir bulgu olan maksimum kuru birim ağırlık – optimum su muhtevası için standart proktor deneyi yapılmıştır. Optimum su muhtevası 0.1446, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.65 ton/m³ bulunmuştur. Deney sonuçları Çizelge 5.4’ de, proktor eğrisi ise Şekil 5.3’ de verilmiştir. Ayrıca katkı malzemesine CBR deneyi yapılmıştır. CBR deney sonuçlarına göre saf feldspat yan ürününün CBR değeri 4.54 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Feldspat yan ürünü standart proktor deneyi

| STANDART PROKTOR DENEYİ | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Karışım Oranı | | : Saf Feldspat Yan Ürünü | | | | | | | | |
| Standart Proktor Kalıbı Hacim: | | 929.37 cm ³ | | | | | | | | |
| Dene No | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| Islak Numune+ Kalıp | 5014 | | 5056 | | 5190 | | 5274 | | 5212 | |
| Kalıp | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | |
| Islak Numune | 1490 | | 1532 | | 1666 | | 1750 | | 1688 | |
| Birim Hacim Ağırlığı (γ _n) | 1.60 | | 1.65 | | 1.79 | | 1.88 | | 1.82 | |
| Kap No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Islak Numune + Dara | 62.89 | 71.46 | 96.9 | 80.54 | 74.78 | 79.11 | 76.67 | 74.38 | 91.77 | 87.52 |
| Kuru Numune + Dara | 61.38 | 69.75 | 93.44 | 77.76 | 70.01 | 73.65 | 69.73 | 67.5 | 78.45 | 75.12 |
| Su Miktarı | 1.51 | 1.71 | 3.46 | 2.78 | 4.77 | 5.46 | 6.94 | 6.88 | 13.32 | 12.4 |
| Dara | 20.51 | 20.43 | 20.23 | 20.4 | 20.68 | 20.01 | 20.66 | 20.51 | 20.32 | 20.29 |
| Kuru Numune | 40.87 | 49.32 | 73.21 | 57.36 | 49.33 | 53.64 | 49.07 | 46.99 | 58.13 | 54.83 |
| Su Muhtevası | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.14 | 0.15 | 0.23 | 0.23 |
| Ort. Su Muhtevası (W) | 0.04 | | 0.05 | | 0.10 | | 0.14 | | 0.23 | |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.55 | | 1.57 | | 1.63 | | 1.65 | | 1.48 | |
| Optimum Su Muhtevası | % 14.46 | | | | | | | | | |
| Max. Kuru Brm. Hac. Ağırlığı | 1.65 | | | | | | | | | |



Şekil 5.3. saf feldspat yan ürünü numunesi standart proktor eğrisi

5.2. Stabilize Edilecek Malzeme ve Özellikleri

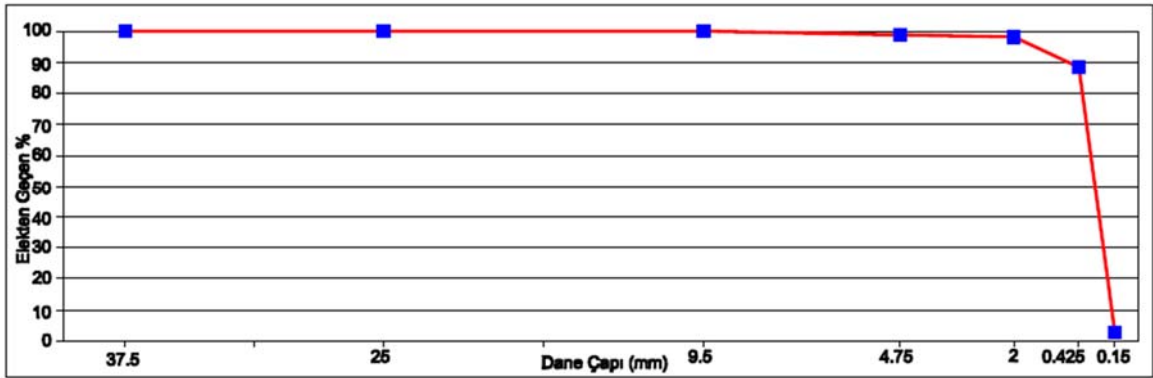
5.2.1. Isparta havalimanı malzemesi plastik killi zemin

Isparta havalimanından alınan malzemenin öncelikle esnek üstyapılarda yol taban zemini malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla standartta belirtilen Elek Analizi, Kıvam Limitleri, Standart Proktor, CBR ve Üç Eksenli Basınç deneyleri yapılmıştır. İlk olarak malzemenin granülometrisini belirlemek amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır.

Belirlenen zemin numunesinden alınan 500 g lık kısım #200 nolu elekte su yardımıyla elendikten sonra #200 nolu elek üstünde kalan kısım etüve koyulup kuru hale getirilmiştir. Etüvden çıkartılan numune tartılmış ve 218.98 g ağırlıkta olduğu görülmüştür. Sonrasında yapılan elemeler sonucunda Çizelge 5.5'de ki değerler bulunmuştur.

Çizelge 5.5. Isparta havalimanı killi zemin malzemesi elek analizi sonuçları

| Elek Açıklığı | Ağırlıkça Geçen(%) |
|-----------------|--------------------|
| 37,5 mm | 100 |
| 1'(25 mm) | 100 |
| 3/8''(9,5 mm) | 100 |
| No.4 (4,75 mm) | 98,82 |
| No.10 (2 mm) | 98,12 |
| No.40 (425 µm) | 88,42 |
| No.200 (150 µm) | 0,33 |



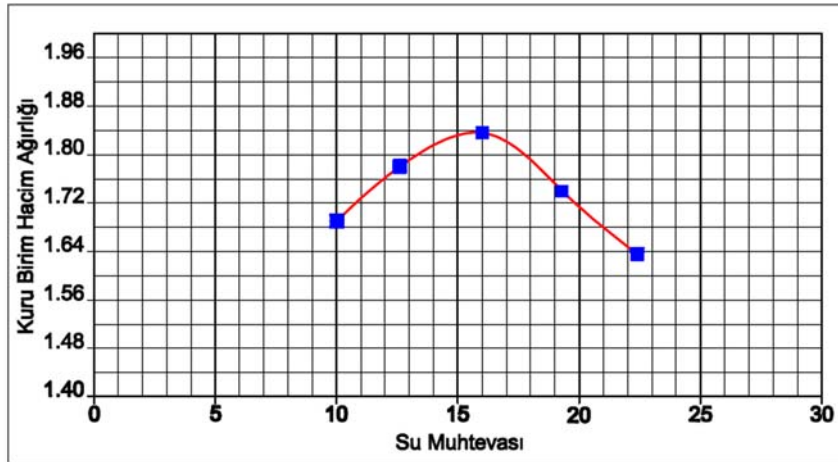
Şekil 5.4. Killi zemin numunesi elek analizi granülometre grafiği

Isparta Havalimanı killi zemin malzemesinde No.200 eleğinin altına geçen malzeme miktarı az olduğundan dolayı hidrometre deneyine gerek duyulmamıştır.

Isparta Havalimanı killi zemin numunesi üzerinde, yol taban zemini için standartta verilen deneyler uygulanarak sonuçlar incelenmiştir. Malzemenin sıkıştırılmasında önemli bir bulgu olan maksimum kuru birim ağırlık – optimum su muhtevası için standart proktor deneyi yapılmıştır.

Çizelge 5.6. Killi katkısız zemin numunesi standart proktor deneyi

| STANDART PROKTOR DENEYİ | | | | | | | | | | |
|--|----------------|------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Karışım Oranı | | : Killi Zemin Numunesi | | | | | | | | |
| Standart Proktor Kalıbı Hacim: | | 929.37 cm ³ | | | | | | | | |
| Deney No | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| Islak Numune+ Kalıp | 5252 | | 5389.5 | | 5504.5 | | 5454 | | 5384.5 | |
| Kalıp | 3525 | | 3525 | | 3525 | | 3525 | | 3525 | |
| Islak Numune | 1727 | | 1864.5 | | 1979.5 | | 1929 | | 1859.5 | |
| Birim Hacim Ağırlığı (γ _n) | 1.86 | | 2.01 | | 2.13 | | 2.08 | | 2.00 | |
| Kap No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Islak Numune + Dara | 83.57 | 84.81 | 89.42 | 89.71 | 98.77 | 93.43 | 94.4 | 96.04 | 95.4 | 100.43 |
| Kuru Numune + Dara | 78.03 | 79.14 | 81.64 | 81.79 | 88.2 | 83.01 | 82.5 | 84.5 | 81.61 | 85.52 |
| Su Miktarı | 5.54 | 5.67 | 7.78 | 7.92 | 10.57 | 10.42 | 11.9 | 11.54 | 13.79 | 14.91 |
| Dara | 22.6 | 22.53 | 19.56 | 19.39 | 19.41 | 19.92 | 21.11 | 24.61 | 20.05 | 19.21 |
| Kuru Numune | 55.43 | 56.61 | 62.08 | 62.4 | 68.79 | 63.09 | 61.39 | 59.89 | 61.56 | 66.31 |
| Su Muhtevası | 0.10 | 0.10 | 0.13 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.19 | 0.22 | 0.22 |
| Ort. Su Muhtevası (W) | 0.10 | | 0.13 | | 0.16 | | 0.19 | | 0.22 | |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.69 | | 1.78 | | 1.84 | | 1.74 | | 1.63 | |
| Optimum Su Muhtevası | %15.707 | | | | | | | | | |
| Max. Kuru Birim Hac. Ağırlığı | 1.84 | | | | | | | | | |



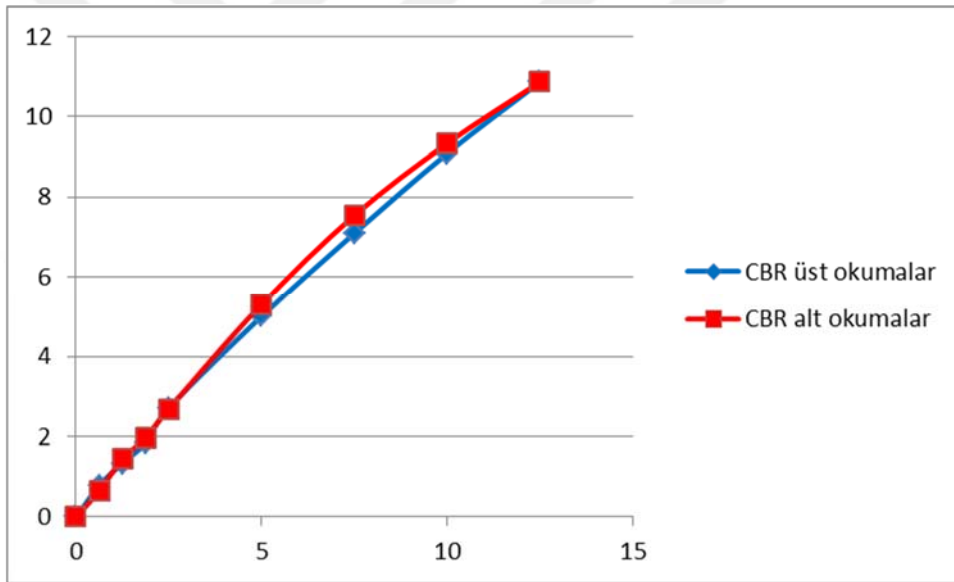
proktor

Şekil 5.5. Killi katkısız zemin numunesi standart proktor eğrisi

Söz konusu stabilize edilecek killi zemin numunesinin proktor deneyine göre maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.8366 t/m³, optimum su muhtevası ise %15.7 olarak bulunmuştur. Deney sonuçları Çizelge 5.6' da, proktor eğrisi ise Şekil 5.5' de verilmiştir. Ayrıca zemin numunesine likit limit, plastik limit ve CBR deneyleri yapılmıştır. CBR deney sonuçları Çizelge 5.7' de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Likit limit, plastik limit ve CBR sonuçları KGM standartları ile mukayese edilerek Çizelge 5.8' de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Isparta Havalimanı malzemesi CBR deneyi sonuçları ve hesabı

| TAŞIMAORANI (CBR) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------|---------|--------------------|--------------------|---------|------------|------|--------------------|--------------------|---------|
| Penetrasyon (mm) | Standart Yük kg/cm ² | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | |
| | | µm | KN | kg/cm ² | kg/cm ² | % | µm | KN | kg/cm ² | kg/cm ² | % |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | |
| 0.625 | | 6.0 | 0.1512 | 0.78945 | | | 5.0 | 0.13 | 0.65787 | | |
| 1.25 | | 10.2 | 0.25704 | 1.34206 | | | 11.0 | 0.28 | 1.44732 | | |
| 2 | | 14.1 | 0.35532 | 1.8552 | | | 15.0 | 0.38 | 1.97361 | | |
| 2.5 | 70.31 | 20.6 | 0.51912 | 2.71043 | 0.03855 | 3.85497 | 20.4 | 0.51 | 2.68411 | 0.03818 | 3.81754 |
| 5 | 105.46 | 38.0 | 0.9576 | 4.99982 | 0.04741 | 4.74096 | 40.3 | 1.02 | 5.30244 | 0.05028 | 5.02792 |
| 7.5 | | 53.9 | 1.35828 | 7.09185 | | | 57.3 | 1.44 | 7.5392 | | |
| 10 | | 69.0 | 1.7388 | 9.07862 | | | 70.9 | 1.79 | 9.32861 | | |
| 12.5 | | 82.5 | 2.079 | 10.8549 | | | 82.5 | 2.08 | 10.8549 | | |
| Ortalama CBR = %4.88 | | | | | | | | | | | |



Şekil 5.6. Isparta Havalimanı Malzemesi CBR grafiği

Çizelge 5.8. Isparta malzemesi ile yapılan analiz bulguları

| | Isparta Havalimanı Numunesi Deney Sonuçları | Standart Sınır Değerleri |
|-------------------------------|--|---------------------------------|
| Likit Limit (LL) | 48 | < 40 |
| Plastisite İndeksi (PI) | 31 | < 15 |
| Kalifornia Taşıma Oranı (CBR) | 4.88 | CBR ≥ %10 |

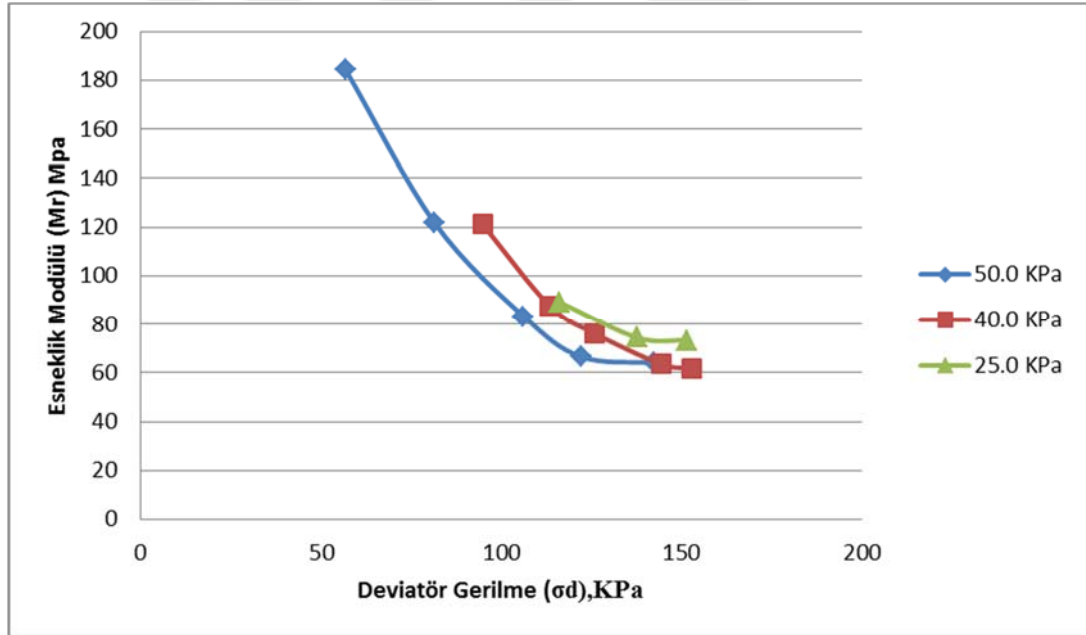
Isparta havalimanı numunesinin CBR değeri standartın belirlediği % 10 CBR değerinden çok düşük çıkmıştır. Ayrıca likit limit ve plastisite indeksi değerleri standartta istenilen değerlerden yüksektir. Bu durumda, iyileştirme işlemi yapılmadan taban zemin malzemesi olarak kullanılamamaktadır. Isparta havalimanı malzemesi üzerinde yapılan deneyler neticesinde plastikliği ve çok düşük CBR değerinden dolayı taban zemininde kullanılmaya uygun bir malzeme olmadığı belirlenmiştir. Ancak bu malzeme üzerinde yapılacak olan mekanik stabilizasyon ile taban zemininde kullanılabilir hale getirilebilir. Isparta havalimanı malzemesinin yol taban yüzeyinde kullanılabilmesi için feldspatın yan ürünü belirli oranlarda eklenerek bir takım araştırmalar yapılmıştır.

5.2.1.1. Isparta havalimanı malzemesinin esneklik modülü (Mr) deney bulguları

Buraya kadar yapılan ve değerlendirmesi yapılan deney sonuçları, yol taban zemininde kullanılacak bir malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneylerdir. Bu deneylerin sonuçlarına göre Isparta havalimanı malzemesi yol taban zemininde kullanılamayacağı belirlenmiştir. Ancak, kıvam limitleri, proktor, CBR deneyleri tek başına malzeme davranışını belirlemede yeterli olmamaktadır. Dinamik yüklerin de temsil edildiği gelişmiş deney yöntemleri ile bu temel bulguların desteklenmesi gerekmektedir. Bu amaçla çalışmada tekrarlı yüklemeli üç eksenli deney cihazı ile gerçekleştirilen deney bulgularına yer verilmiştir.

Çizelge 5.9. Isparta havalimanı malzemesi esneklik modülü deney bulguları

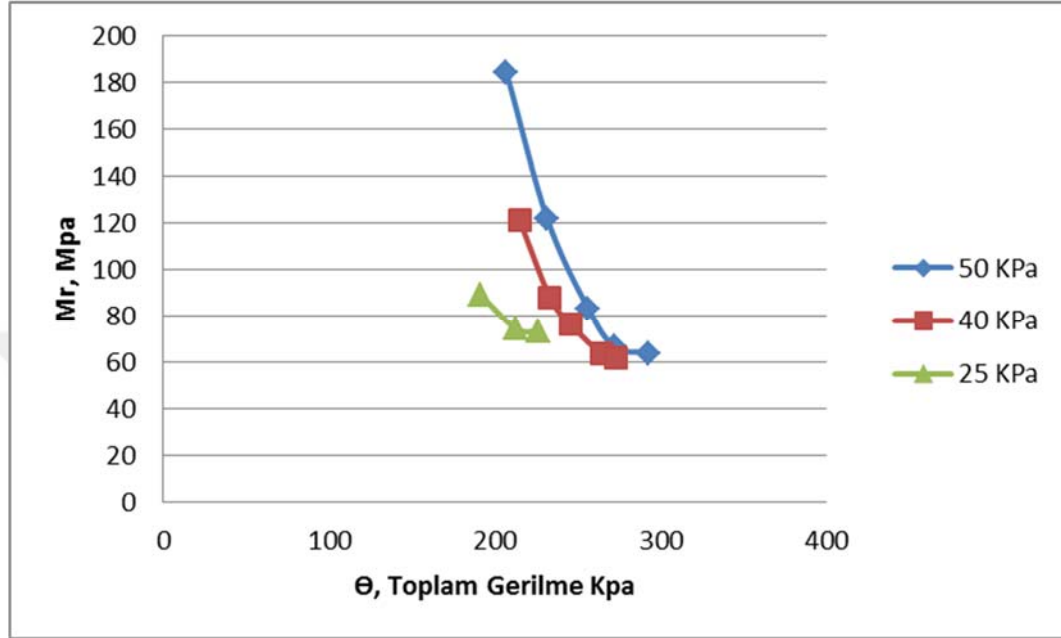
| Yük Basamakları | Düşey Esnek Deformasyon (mm) | Esnek Şekil Değ. (mm/mm) | Deviatör Gerilme (Kpa) | Hücre Basıncı (Kpa) | Mr (Mpa) | Toplam Gerilme (Kpa) | Ortalama Normal Gerilme (Kpa) |
|-----------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.0616435 | 0.000308218 | 56.7769354 | 50.0 | 184.2106156 | 206.7769 | 68.92565 |
| 2 | 0.133811 | 0.000669055 | 81.4430977 | 50.0 | 121.728554 | 231.4431 | 77.1477 |
| 3 | 0.254915 | 0.001274575 | 106.1092601 | 50.0 | 83.2506993 | 256.1093 | 85.36975 |
| 4 | 0.366854 | 0.00183427 | 122.0468521 | 50.0 | 66.53701588 | 272.0469 | 90.68228 |
| 5 | 0.445036 | 0.00222518 | 142.1779273 | 50.0 | 63.8950230 | 292.1779 | 97.39264 |
| 6 | 0.156364 | 0.00078182 | 94.7303141 | 40.0 | 121.1663991 | 214.7303 | 71.57677 |
| 7 | 0.258602 | 0.00129301 | 113.3182818 | 40.0 | 87.6391380 | 233.3183 | 77.77276 |
| 8 | 0.33077 | 0.00165385 | 125.8398341 | 40.0 | 76.08902507 | 245.8398 | 81.94661 |
| 9 | 0.4555605 | 0.002277803 | 144.4160223 | 40.0 | 63.4014680 | 264.416 | 88.13867 |
| 10 | 0.494515 | 0.002472575 | 152.7794298 | 40.0 | 61.78960387 | 272.7794 | 90.92648 |
| 11 | 0.2601055 | 0.001300528 | 115.9686574 | 25.0 | 89.1704769 | 190.9687 | 63.65622 |
| 12 | 0.369861 | 0.001849305 | 137.5839429 | 25.0 | 74.39764827 | 212.5839 | 70.86131 |
| 13 | 0.4134625 | 0.002067313 | 151.4012345 | 25.0 | 73.2357757 | 226.4012 | 75.46708 |
| 14 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 15 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |



Şekil 5.7. Esneklik modülü - deviatör gerilme grafiği

Isparta havalimanı malzemesi üzerinde yapılan Esneklik modülü deney bulguları Çizelge 5.9' da verilmiştir. Deney bulgularına bağlı olarak Esneklik modülü - Deviatör gerilme arasında ilişki Şekil 5.7' de ve Esneklik modülü - Toplam gerilme ilişkisi ise Şekil 5.8' de grafik olarak gösterilmiştir. Deney bulgularına bakıldığında Isparta havalimanı malzemesinin en yüksek Esneklik

modülü değeri 50 kPa çevre basıncında 184.21 MPa olarak bulunmuştur. Çevre basıncı azaldıkça Esneklik modülü değeri de azalmaktadır. Yine toplam gerilmenin Esneklik modülüyle değişimine aynı çevre basıncında bakıldığında Esneklik modülü arttıkça toplam gerilme azalmaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Esneklik modülü – toplam gerilme grafiği

Deney bulgularından da anlaşılacağı üzere 15 kademe yükleme yapılmamıştır. 13. yüklemeden sonra numunede çok fazla deformasyon olmuştur. Hücre basıncını değiştirerek bir çok deney yapıldıktan sonra malzemenin en uzun süre dayanabildiği 25 kPa, 40 kPa ve 50 kPa hücre basınçları seçilmiştir.

5.3. Stabilizasyon İşlemi

5.3.1. Isparta havalimanı malzemesinin feldspat madeni yan ürünü ile stabilizasyon işlemi

Plastiklik özelliği taban malzemesi olarak kullanabilmesi için gerekli plastik değerinden yüksek olan Isparta Havalimanı malzemesinin plastiklik özelliğini düşürmek ve düşük taşıma gücünü arttırabilmek içine çeşitli oranlarda (%5,

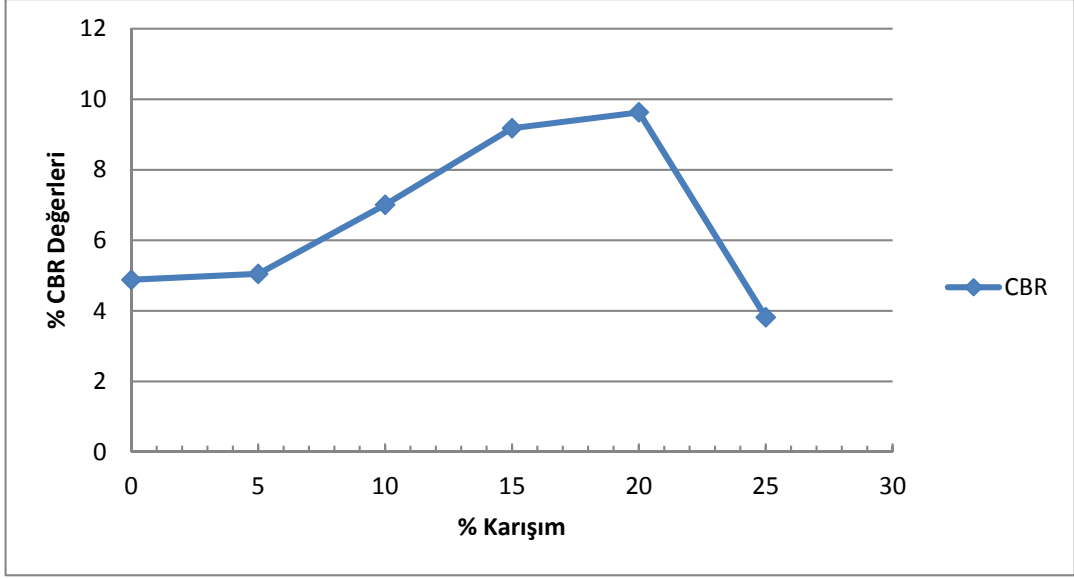
%10, %15, %20 ve %25) feldspat madeni yan ürünü karıştırılarak plastisite ve likit limit değerleri incelenmiştir.

Isparta havalimanı malzemesinde likit limit ve plastisite indeksi değerlerine en uygun % 15 feldspat madeni yan ürünü karışımında elde edilmiştir. Bu karışımın sıkıştırılmasında büyük bir etken olan maksimum kuru birim ağırlık-optimum su muhtevası değerlerinin belirlenmesi için % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 karışım oranlarında standart proktor deneyi yapılarak, proktor eğrileri çizilmiştir. Karışımlara ait maksimum kuru birim ağırlık-optimum su muhtevası değerleri proktor eğrilerinden belirlenmiştir. Karışımın standart proktor deney bulgularından yararlanılarak, CBR deneyleri uygulanmıştır. Yine % 5, % 10, % 15, %20 ve % 25 karışım oranları için CBR değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.10. Isparta Havalimanı malzemesi ile feldspat madeni yan ürününün karışım deneyi bulguları

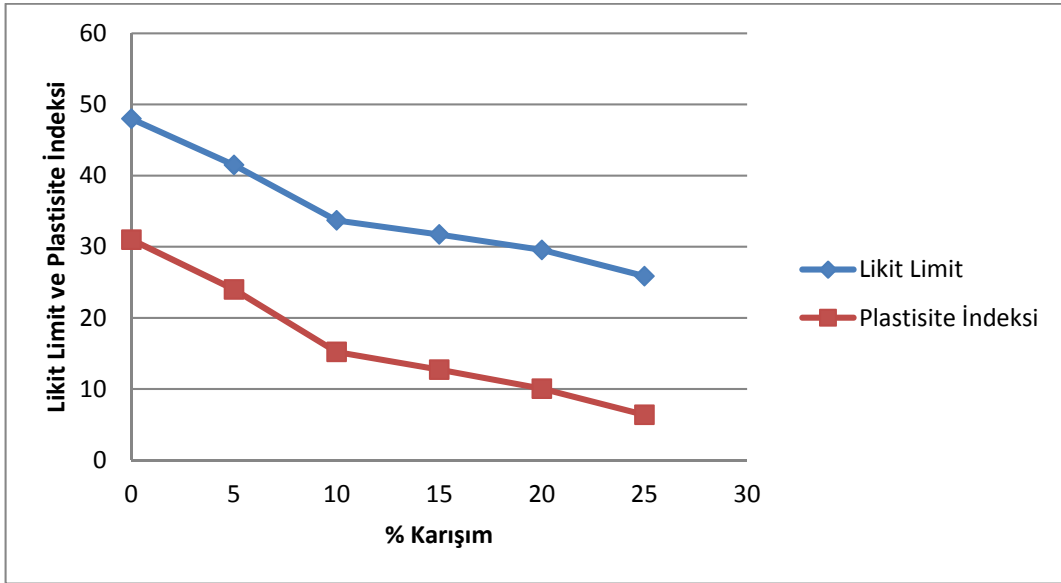
| | % Karışım | Likit Limit | Plastisite İndeksi | CBR |
|-----------------|-----------|-------------|--------------------|------|
| Standart | - | <40 | <15 | ≥10 |
| Orijinal Numune | - | 48 | 31 | 4.88 |
| 5 % | 95+5 | 41.5 | 24 | 5.05 |
| 10 % | 90+10 | 33.72 | 15.22 | 7.01 |
| 15 % | 85+15 | 31.73 | 12.73 | 9.18 |
| 20 % | 80+20 | 29.56 | 10.06 | 9.81 |
| 25 % | 75+25 | 25.87 | 6.37 | 3.82 |

Çizelge 5.10' dan görüleceği üzere deney sonuçlarında % 15 karışım için likit limit 31.73 ve plastisite indeksi 12.73 olarak tespit edilmiştir. Likit limit ve plastisite indeksi % 15 karışım için standartları sağlamıştır. CBR değerlerine bakıldığında ise % 20 karışıma kadar CBR değerinin yükseldiği fakat % 25 karışımında tekrar düştüğü gözlenmiştir. % 20' e kadar CBR değerinde artış gözlemlenmişse de standartın taban zeminleri için belirlemiş olduğu CBR ≥ % 10 değerini sağlayamamıştır (Çizelge 5.10). Ayrıca, bu karışım değerleri için yapılan standart proktor deneyi bulguları Çizelge 5.11' de verilmiştir.



Şekil 5.9. Stabilize işlemlerinde karışım oranına göre CBR değişimi

Söz konusu stabilize malzemesi feldspat yan ürünü, Isparta havalimanı civarından temin edilen taban zemini taşıma gücünü belli bir orana kadar arttırmış fakat %20 oranından fazla feldspat madeni yan ürünü taşıma gücünü olumsuz etkilemiştir.



Şekil 5.10. Stabilize işlemlerinde karışım oranına göre likit limit ve plastisite indeksi bulgularının değişimi

Çizelge 5.11. Karışım oranlarında standart proktor deney bulguları

| | Maksimum Kuru Birim Ağırlık (t/m ³) | Optimum Su Muhtevası (%) |
|--------------------------|---|--------------------------|
| Isparta Havalimanı Malz. | 1.8366 | 15.707 |
| 5 % | 1.82 | 15.282 |
| 10 % | 1.8257 | 15.19 |
| 15 % | 1.83 | 14.853 |
| 20 % | 1.822 | 14.7 |
| 25 % | 1.8558 | 15.115 |

Proktor deneyine göre feldspat oranı % 20 oranına gelinceye kadar optimum su muhtevası artış göstermekte, %25 oranında optimum su muhtevası düşmektedir.

5.3.2. Isparta havalimanı malzemesinin feldspat madeni yan ürünü karışımının esneklik modülü (Mr) deney bulguları

Mekanik deneylerin yanı sıra, % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 feldspat- Isparta havalimanı malzemesi karışımları için dinamik üç eksenli deneyleri de yapılmıştır.

Dinamik üç eksenli deney numuneleri proktor kalıbı (100/200) ile sıkıştırılarak, her bir karışım için dinamik üç eksenli deneyler yapılmıştır. Yapılan deney bulguları Tablo 5.11 - 5.15' te gösterilmiştir.

Esneklik Modülü deney bulgularına bakıldığında, % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 karışım oranlarının hiçbirinin 15 kademeye kadar gidemediği görülmüştür. % 5 on üç kademe, % 10 on iki, % 15 üç, %20 üç, % 25 üç kademe de yükleme yapılabildiği görülmüştür.

Çizelge 5.12. % 5 karışım için esneklik modülü deney bulguları

| Yük Basamakları | Düşey Esnek Deformasyon (mm) | Esnek Şekil Değ. (mm/mm) | Deviatör Gerilme (Kpa) | Hücre Basıncı (Kpa) | Mr (Mpa) | Toplam Gerilme (Kpa) | Ortalama Normal Gerilme (Kpa) |
|-----------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.0766785 | 0.000383393 | 56.7769354 | 50.0 | 148.0908870 | 206.7769 | 68.92565 |
| 2 | 0.174406 | 0.00087203 | 80.6892131 | 50.0 | 92.53031789 | 230.6892 | 76.8964 |
| 3 | 0.2510845 | 0.001255423 | 97.3806898 | 50.0 | 77.5680615 | 247.3807 | 82.46023 |
| 4 | 0.351819 | 0.001759095 | 115.2147728 | 50.0 | 65.49661773 | 265.2148 | 88.40492 |
| 5 | 0.4194765 | 0.002097383 | 135.69923139 | 50.0 | 64.6993247 | 285.6992 | 95.23308 |
| 6 | 0.1578675 | 0.000789338 | 93.21076545 | 40.0 | 118.0873396 | 213.2108 | 71.07026 |
| 7 | 0.24056 | 0.0012028 | 110.65612671 | 40.0 | 91.9987751 | 230.6561 | 76.88538 |
| 8 | 0.3142315 | 0.001571158 | 122.80073674 | 40.0 | 78.15940588 | 242.8007 | 80.93358 |
| 9 | 0.4525535 | 0.002262768 | 145.24058360 | 40.0 | 64.1871441 | 265.2406 | 88.41353 |
| 10 | 0.493148 | 0.00246574 | 157.72679760 | 40.0 | 63.96732729 | 277.7268 | 92.5756 |
| 11 | 0.234546 | 0.00117273 | 110.65612671 | 25.0 | 94.3577181 | 185.6561 | 61.88538 |
| 12 | 0.303707 | 0.001518535 | 124.62655105 | 25.0 | 82.07025261 | 199.6266 | 66.54218 |
| 13 | 0.3593365 | 0.001796683 | 134.16790326 | 25.0 | 74.6753549 | 209.1679 | 69.72263 |
| 14 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 15 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |

Çizelge 5.13. % 10 karışım için esneklik modülü deney bulguları

| Yük Basamakları | Düşey Esnek Deformasyon (mm) | Esnek Şekil Değ. (mm/mm) | Deviatör Gerilme (Kpa) | Hücre Basıncı (Kpa) | Mr (Mpa) | Toplam Gerilme (Kpa) | Ortalama Normal Gerilme (Kpa) |
|-----------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.078182 | 0.00039091 | 53.74961743 | 50.0 | 137.4987016 | 203.7496 | 67.91654 |
| 2 | 0.183427 | 0.000917135 | 82.58570410 | 50.0 | 90.04748931 | 232.5857 | 77.52857 |
| 3 | 0.2631125 | 0.001315563 | 99.27718074 | 50.0 | 75.4636748 | 249.2772 | 83.09239 |
| 4 | 0.366854 | 0.00183427 | 115.59171507 | 50.0 | 63.01783002 | 265.5917 | 88.53057 |
| 5 | 0.445036 | 0.00222518 | 136.05261481 | 50.0 | 61.1422963 | 286.0526 | 95.35087 |
| 6 | 0.1608745 | 0.000804373 | 93.21076545 | 40.0 | 115.8800996 | 213.2108 | 71.07026 |
| 7 | 0.2420635 | 0.001210318 | 108.38269340 | 40.0 | 89.5489765 | 228.3827 | 76.12756 |
| 8 | 0.327773 | 0.001638865 | 120.90424575 | 40.0 | 73.77315749 | 240.9042 | 80.30142 |
| 9 | 0.48563 | 0.00242815 | 151.60148507 | 40.0 | 62.4349752 | 271.6015 | 90.53383 |
| 10 | 0.520211 | 0.002601055 | 158.90474231 | 40.0 | 61.09241916 | 278.9047 | 92.96825 |
| 11 | 0.237553 | 0.001187765 | 110.27918440 | 25.0 | 92.8459623 | 185.2792 | 61.75973 |
| 12 | 0.36084 | 0.0018042 | 133.81451984 | 25.0 | 74.16834045 | 208.8145 | 69.60484 |
| 13 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 14 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 15 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |

Çizelge 5.14. % 15 karışım için esneklik modülü deney bulguları

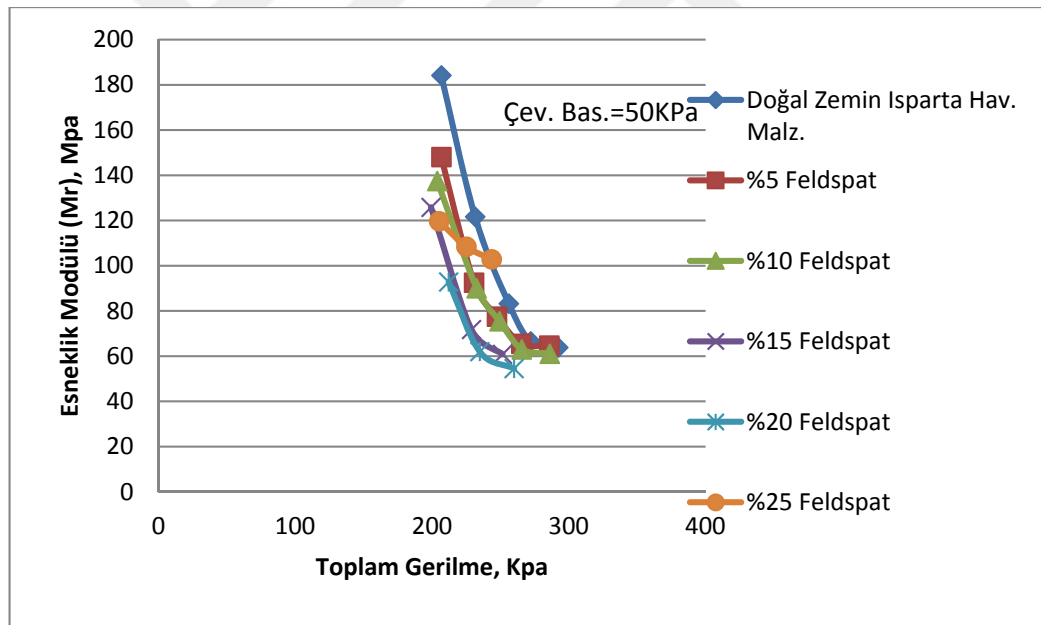
| Yük Basamakları | Düşey Esnek Deformasyon (mm) | Esnek Şekil Değ. (mm/mm) | Deviatör Gerilme (Kpa) | Hücre Basıncı (Kpa) | Mr (Mpa) | Toplam Gerilme (Kpa) | Ortalama Normal Gerilme (Kpa) |
|-----------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.078182 | 0.00039091 | 49.19097138 | 50.0 | 125.8370760 | 199.191 | 66.39699 |
| 2 | 0.219511 | 0.001097555 | 78.79272212 | 50.0 | 71.78931545 | 228.7927 | 76.26424 |
| 3 | 0.333777 | 0.001668885 | 101.55061405 | 50.0 | 60.8493779 | 251.5506 | 83.8502 |
| 4 | - | - | - | 50.0 | - | - | - |
| 5 | - | - | - | 50.0 | - | - | - |
| 6 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 7 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 8 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 9 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 10 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 11 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 12 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 13 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 14 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 15 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |

Çizelge 5.15. % 20 karışım için esneklik modülü deney bulguları

| Yük Basamakları | Düşey Esnek Deformasyon (mm) | Esnek Şekil Değ. (mm/mm) | Deviatör Gerilme (Kpa) | Hücre Basıncı (Kpa) | Mr (Mpa) | Toplam Gerilme (Kpa) | Ortalama Normal Gerilme (Kpa) |
|-----------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.1338115 | 0.000669058 | 62.08946603 | 50.0 | 92.8013901 | 212.0895 | 70.69649 |
| 2 | 0.273637 | 0.001368185 | 84.85913741 | 50.0 | 62.02314556 | 234.8591 | 78.28638 |
| 3 | 0.402938 | 0.00201469 | 109.90224209 | 50.0 | 54.5504480 | 259.9022 | 86.63408 |
| 4 | - | - | - | 50.0 | - | - | - |
| 5 | - | - | - | 50.0 | - | - | - |
| 6 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 7 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 8 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 9 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 10 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 11 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 12 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 13 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 14 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 15 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |

Çizelge 5.16. % 25 karışım için esneklik modülü deney bulguları

| Yük Basamakları | Düşey Esnek Deformasyon (mm) | Esnek Şekil Değ. (mm/mm) | Deviatör Gerilme (Kpa) | Hücre Basıncı (Kpa) | Mr (Mpa) | Toplam Gerilme (Kpa) | Ortalama Normal Gerilme (Kpa) |
|-----------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.092 | 0.00046 | 55.0924744109 | 50.0 | 119.7662487 | 205.0925 | 68.36416 |
| 2 | 0.138322 | 0.00069161 | 74.9997401270 | 50.0 | 108.4422436 | 224.9997 | 74.99991 |
| 3 | 0.181913 | 0.000909565 | 93.5877077602 | 50.0 | 102.8928199 | 243.5877 | 81.1959 |
| 4 | - | - | - | 50.0 | - | - | - |
| 5 | - | - | - | 50.0 | - | - | - |
| 6 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 7 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 8 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 9 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 10 | - | - | - | 40.0 | - | - | - |
| 11 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 12 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 13 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 14 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |
| 15 | - | - | - | 25.0 | - | - | - |



Şekil 5.11. 50 kPa da esneklik modülü – toplam gerilme grafiği

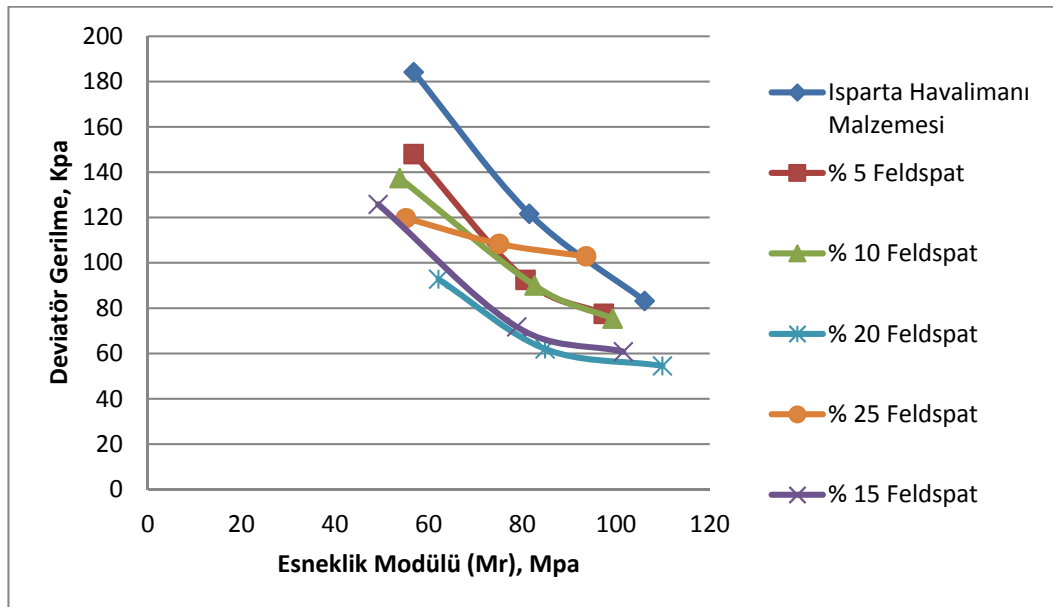
Esneklik modülü deney bulgularına bakıldığında Isparta havalimanı malzemesine karışan feldspat madeni yan ürünü oranı arttıkça esneklik modülü düşmektedir. % 25 karışım oranında beklenmedik bir yükselme gözlemlenmiştir. Fakat yine de Isparta havalimanı malzemesinin esneklik modülü değerini geçememiştir. Isparta havalimanı malzemesinin 50 kPa çevre

basıncında esneklik modülü 184.21 mPa, % 5 karışımda 148.1 mPa, % 10 karışımda 137.5 mPa, % 15 karışımda 125.83 mPa, % 20 karışımda 92.8 mPa ve % 25 karışımda 119.77 mPa olarak bulunmuştur. %25 karışım oranında esneklik modülünde artış gözlemlense de saf taban zemini malzemesinin esneklik modülü değerini yakalayamamıştır.

Şekil 5.11'de çevre basıncının 50 kPa da olduğu aralıkta %20 karışım oranına kadar toplam gerilme arttıkça esneklik modülü düşmektedir.

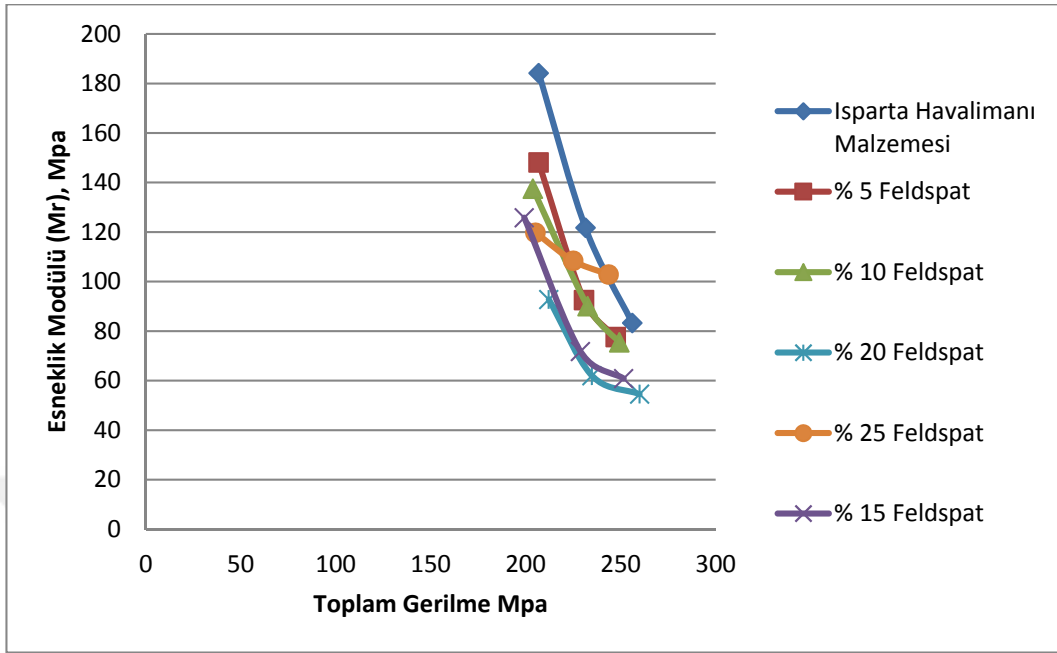
Mevcut olan üç yükleme kademesi bakıldığında çevre basıncı sabit iken her karışım oranının kendi içerisinde esneklik modülü azalmaktadır. Her deneyin 1., 2. ve 3. kademeleri karşılaştırıldığında da %20 karışım oranına kadar esneklik modülünde azalış, %20 karışım oranından sonra artış gözlemlenmektedir.

Buna göre, karışım malzemesi ince daneli bir numune olduğundan dolayı çevre basıncının yüksek olduğunda esnekliğinin artacağı ve yüzeyine gelen gerilmenin artacağı ortaya çıkmıştır. Ayrıca karışıma eklenmesi ile birlikte esneklik modülünde düşüş gözlenmesi mekanik stabilizasyonla karayolunda taban malzemesi iyileştirilmesinde kullanılamayacağı ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.12. 50 kPa da ilk üç kademe esneklik modülü- deviator gerilme grafiği

Şekil 5.12' de okuması alınabilen ilk üç kademe için değerlendirme yapılmıştır. Deviyör gerilme arttıkça esneklik modülü azalmaktadır.



Şekil 5.13. 50 kPa da ilk üç kademe esneklik modülü- toplam gerilme grafiği

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

Karayolu esnek üst yapılarında, üzerine gelen trafik yüklerinden kaynaklı gerilmeler kaplama, temel ve alttemel tabakalarından artarak tesviye yüzeyi altında bulunan taban zeminine ulaşır. Taban zeminleri istenilen kotta düzgün bir satıh sağladığı, üstyapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaydığı ve azda olsa yolu dış etkilerden koruduğu için ayrı bir önem taşır. Bu nedenle taban zemininin özellikleri çok iyi incelenmelidir. Yol taban zemini her zaman istenilen özellikte olmayabilir. Dolayısıyla taban zemininin istenilen standartlarda olmaması durumunda, farklı bir malzeme ile iyileştirilmesi faydalı olacaktır.

Bu çalışmada stabilizasyon malzemesi olarak Aydın İli, Çine İlçesinde yer alan Ak Maden Madencilik Tic. A.Ş. (SİBELCO) firmasının Çine feldspat maden yataklarından elde etmiş olduğu feldspat madeninin yan ürünü kullanılmıştır. Cam ve seramik malzeme yapımı sırasında yan ürün olarak ortaya çıkmış olup, kullanılamaz malzeme olarak geçmektedir. İkinci ve üçüncü sınıf malzeme grubunda yer almaktadır. Mika ve titan ağırlıklı malzemedir. Firma tarafından yapılan deneyler sonucunda özgül ağırlığı 2.5 , katı halde 2.4 ve serbest halde 1 kg da hacimsel ağırlığı ise 1.6 olarak bulunmuştur. 1200 °C 'de sıkışıp ergime özelliği vardır. Isı yalıtımında, tuğla ve kiremit yapımında kullanılmaktadır. Rutil grubu malzemedir.

Yol taban zemini olarak kullanılan Isparta havalimanı malzemesi üzerine yapılan deneylerde ise, malzemenin likit limit değeri 48, plastisite indeksi 31 olarak belirlenmiştir. Standart sınır değerinin çok üzerinde olduğundan plastik özelliği yüksek ve taşıma oranı bakımından ise $CBR = \% 4,88 < \% 10$ değerinden çok düşük olduğundan yol taban zemini malzemesi olarak kullanılabilecek özellikte değildir. Bunun neticesinde Isparta havalimanı malzemesi feldspat madeni yan ürünü ile mekanik stabilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. İlk olarak Isparta havalimanı malzemesi belirli oranlarda feldspat ile karıştırılarak, (% 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25) likit limit ve plastisite indeksi değerleri belirlenmiştir. Bu deneyler sonucunda likit limit ve plastisite

indeksini KGM standartlarının belirlemiş olduğu sınırlara ilk %15 karışım değerinde geldiği belirlenmiştir. Karışım oranı arttıkça likit limit ve plastisite indeksinin düştüğü görülmüştür. Ayrıca taşıma oranını belirlemek için CBR deneyi yapılmıştır. CBR deney bulgularına göre taşıma oranı % 20 oranına kadar 9.81 değerine ulaştığı fakat % 25 karışım oranında 3.18'e düştüğü belirlenmiştir. Şekil 5.9 ve Çizelge 5.10' dan da görüleceği üzere her ne kadar %20 karışım oranında en yüksek değerine ulaşmış olsa da KGM' nin belirlenmiş olduğu CBR ≥ 10 standardını sağlayamamıştır.

Aynı zamanda bu deneylerin yanında malzemenin esnekliğini belirlemek için dinamik üç eksenli deneyi yapılmıştır. Yapılan üç eksenli deneylerle Isparta havalimanı malzemesi, % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 25 karışım oranları için esneklik modülü ve eksenal Şekil değiştirme değerleri belirlenmiştir. Esneklik modülü deney bulgularına bakıldığında Isparta havalimanı malzemesine karışan feldspat madeni yan ürünü oranı arttıkça esneklik modülü düşmektedir. % 25 karışım oranında beklenmedik bir yükselme gözlemlenmiştir. Fakat yine de Isparta havalimanı malzemesinin esneklik modülü değerini geçememiştir. Isparta havalimanı malzemesinin 50 kPa çevre basıncında esneklik modülü 184.21 mPa, % 5 karışımında 148.1 mPa, % 10 karışımında 137.5 mPa, % 15 karışımında 125.83 mPa, % 20 karışımında 92.8 mPa ve % 25 karışımında 119.77 mPa olarak bulunmuştur. Buna göre, karışım malzemesi ince daneli bir numune olduğundan dolayı çevre basıncının yüksek olduğunda esnekliğinin artacağı ve yüzeyine gelen gerilmenin artacağı ortaya çıkmıştır. Ayrıca karışıma eklenmesi ile birlikte esneklik modülünde düşüş gözlenmesi mekanik stabilizasyonla karayolunda taban malzemesi iyileştirilmesinde kullanılamayacağını ortaya çıkarmıştır.

Malzemenin yol taban zemininde kullanılması ağısından statik esaslı CBR deneyi ile dinamik esaslı dinamik üç eksenli deneyi farklı statik ve dinamik deneyler olduğundan farklı kategorilerde değerlendirilmiştir. Her iki deneyin sonucu olumsuz çıkmasına rağmen %20 oranına kadar CBR değeri artış gösterirken esneklik modülü azalmaktadır. Bunun nedeni ise dinamik üç eksenli basınç deneyinde malzemenin etrafı lateks membran ile sarılı iken CBR deneyinde

numune alüminyum deney kalıbı içerisinde. Bu durum numune içerisinde oluşan gerilmeleri farklı etkileyebilmektedir. Sonuç olarak, yol taban zemini malzemesine belirli oranlarda feldspat madeni yan ürünü karıştırıldığında karışımın CBR değerinde ve esneklik modülü değerinde düşüş gözlenmiştir. Buna göre yapılan deneyler sonucunda esnek üstyapılarda yol taban zemini malzemesi olarak düşünülen Isparta havalimanı malzemesine, iyileştirilmesi için feldspat madeni yan ürününün belirli oranlarda karıştırılarak karayolu esnek üstyapılarında yol taban zemini malzemesi olarak değerlendirilemeyeceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Feldspat madeni yan ürünü plastik özelliği yüksek zeminlerin plastiklik indeksini düşürmek için stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir fakat taşıma gücünü iyileştirmek ve kalıcı deformasyonları önlemek için iyi bir stabilizasyon malzemesi değildir.

7. KAYNAKLAR

- Ağar, E., Umar, F., 1991. Yol Üstyapısı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Aytekin, M., 2004. "Deneysel Zemin Mekaniği", Teknik Yayınevi, Ankara, 188, 321-329.
- Demirel, Z., Kadioğlu, M., Aray, S., Orhan, F., Alp, A., 1999. Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı. K.G.M. 180s. Ankara.
- Fındık, F.S., 2005. Karayolu Esnek Üstyapıları Alt Temel Tabakasının Stabilizasyonunda Hafif Agregaların Kullanılabilirliği, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 73s, Isparta.
- Güngör, M.M., 1996. Afsin Elbistan uçucu külünün esnek yol kaplamalarında filler olarak kullanımı üzerine bir araştırma, M.Sc. Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ilıcalı, M., Özen, H., 2001. Asfalt ve Uygulamaları İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Bilimsel Yayın No: 1, 280s., İstanbul.
- Ilıcalı, M., 1988. Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152s. İstanbul.
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Ulaştırma Bakanlığı, Ankara.
- Kapluhan, E., 2014. Ulaşım Coğrafyası Açısından Türkiye’de Karayolu Ulaşımının Tarihsel Gelişimi ve Mevcut Yapısı, Uluslar Arası Sosyal Araştırmalar Dergisi(7), 436-439.
- Kizirgil, M.E., 2001. Sivas Demir-Çelik Fabrikası Cürufunun Yol Stabilizasyonunda Kullanılmasının Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 46s. Elazığ.
- Önal, M.A., Kahramangil, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı. K.G.M. 200s. Ankara.
- Özbayoğlu, F., Gürel, A., 1997. Nevşehir Pomzalarının Puzolonik Maddeler Katkısı ile Yol Stabilizasyonunda Kullanılması, I. Isparta Pomza Sempozyumu, 113- 119, Isparta.
- Sağlık, A., Güngör, A.G., 2006. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, K.G.M. 126s. Ankara.
- Sezgin, M., Davraz, M., 2005. Pomza Endüstrisine Sektörel Bir Bakış, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 9-22, Isparta.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010. Feldspat Raporu, 40.

- Turabi, A., Okucu, A., Degirmenci, N., 2002. Fosforik asit üretim atığı fosfojipsin stabilizasyon malzemesi olarak kullanım olanaklarının araştırılması, 4. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, 93.
- Tunç, A., 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım. Yayın No: 22. İstanbul.
- Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, Yayın No:01, İstanbul.
- Tunç, A., 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel Yayın Dağıtım, Yayın No:1200, Ankara.
- Varlıorpak, Ç., Tanyel, S., Eren, A., 1995. Yol Üst Yapımında Cüruf Kullanımı, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, ss: 129- 139, Ankara.
- Yılmaz, A., 2008. Ferrookrom ve Silikoferrookrom Cürufları İle Silis Dumanının Yol Üstyapısında Kullanımının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 220s, Isparta.
- Güngör A. G., Sağlık A., 2008. Mekanistik Ampirik Üstyapı Tasarımında Esneklik Modülünün Şartnamelere Uyarlanması. <https://www.kgm.gov.tr> , Erişim Tarihi:07.07.2016

EKLER

EK A. Likit Limit ve Plastik Limit Deney Bulguları Tabloları ve Grafikleri

EK B. Proktor Deney Bulguları Tabloları ve Grafikleri

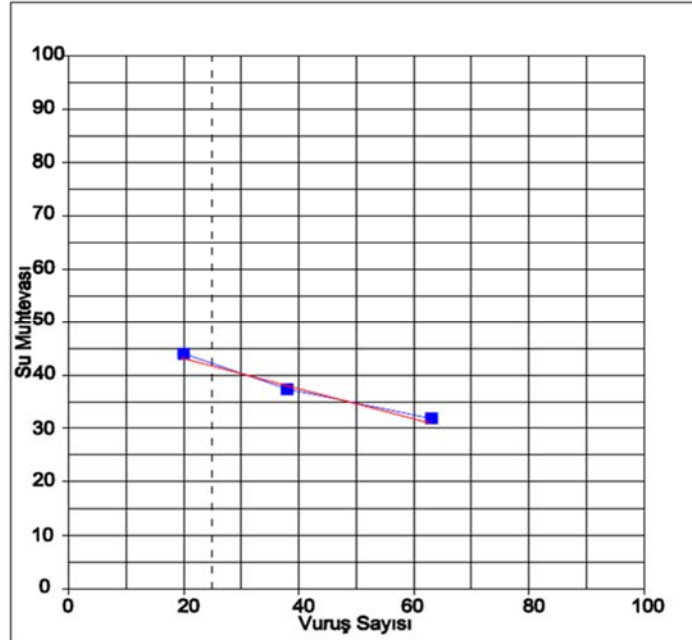
EK C. CBR Deney Bulguları Tabloları ve Grafikleri



EK A. Likit Limit ve Plastik Limit Deney Bulguları Çizelgeleri ve Grafikleri

Çizelge A.1. %5 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları

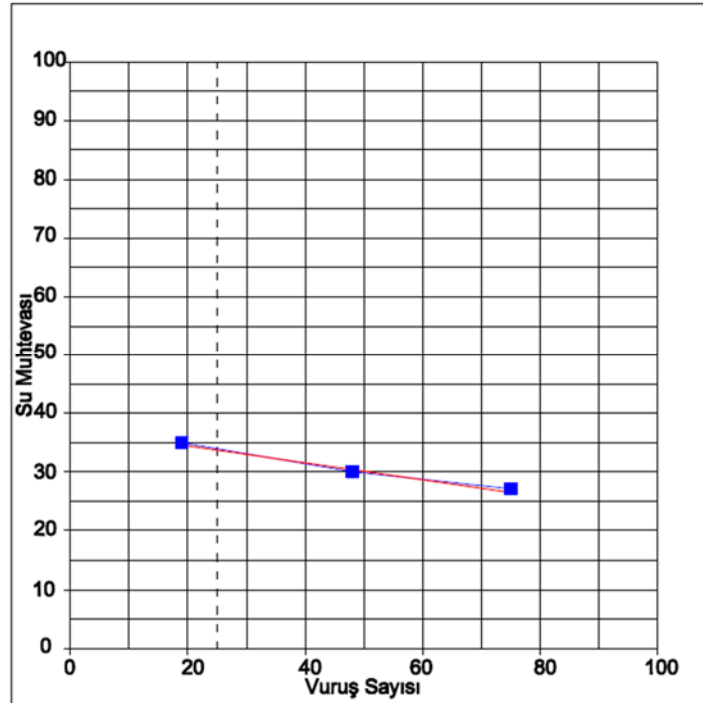
| NUMUNENİN ÖZELLİĞİ: | | %5 Feldspat Katkılı Killi Zemin | | |
|---------------------------|--------------------|---------------------------------|-------|-------|
| Plastik Limit | Islak Num + Dara | 27.41 | 28.88 | |
| | Kuru Num.+ Dara | 26.40 | 27.58 | |
| | Su Miktarı | 1.01 | 1.30 | |
| | Dara | 20.62 | 20.53 | |
| | Kuru Zemin | 5.78 | 7.05 | |
| | Su Muhtevası | 0.17 | 0.18 | |
| Likit Limit | Vuruş Sayısı | 63 | 38 | 20 |
| | Islak Numune +Dara | 44.97 | 41.43 | 42.07 |
| | Kuru Numune +Dara | 39.03 | 35.67 | 35.58 |
| | Su Miktarı | 5.94 | 5.76 | 6.49 |
| | Dara | 20.38 | 20.27 | 20.84 |
| | Kuru Numune | 18.65 | 15.40 | 14.74 |
| | Su Muhtevası | 31.85 | 37.40 | 44.03 |
| Plastik Limit | | 17.50% | | |
| Likit Limit | | 41.5% | | |
| Plastisite İndeksi | | 24 | | |



Şekil A.1. % 5 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği

Çizelge A.2. %10 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları

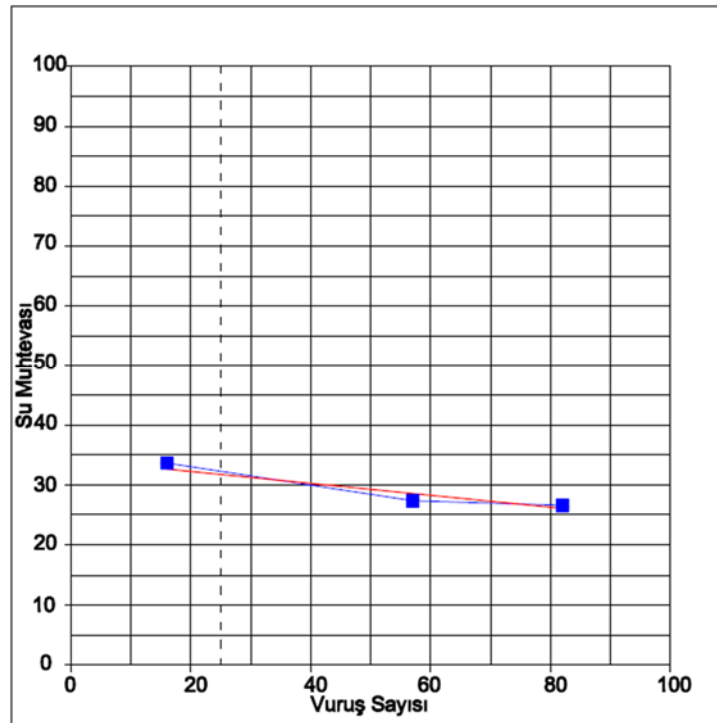
| NUMUNENİN ÖZELLİĞİ: | | %10 Feldspat Katkılı Killi Zemin | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|
| Plastik Limit | Islak Num + Dara | 27.98 | 27.53 | |
| | Kuru Num.+ Dara | 26.84 | 26.48 | |
| | Su Miktarı | 1.14 | 1.05 | |
| | Dara | 20.42 | 20.82 | |
| | Kuru Zemin | 6.42 | 5.66 | |
| | Su Muhtevası | 0.18 | 0.19 | |
| Likit Limit | Vuruş Sayısı | 75 | 48 | 19 |
| | Islak Numune +Dara | 40.80 | 44.69 | 42.75 |
| | Kuru Numune +Dara | 36.45 | 39.02 | 36.88 |
| | Su Miktarı | 4.35 | 5.67 | 5.87 |
| | Dara | 20.41 | 20.12 | 20.11 |
| | Kuru Numune | 16.04 | 18.90 | 16.77 |
| | Su Muhtevası | 27.12 | 30.00 | 35.00 |
| Plastik Limit | | 18.50% | | |
| Likit Limit | | 33.72% | | |
| Plastisite İndeksi | | 15.22 | | |



Şekil A.2. %10 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği

Çizelge A.3. %15 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları

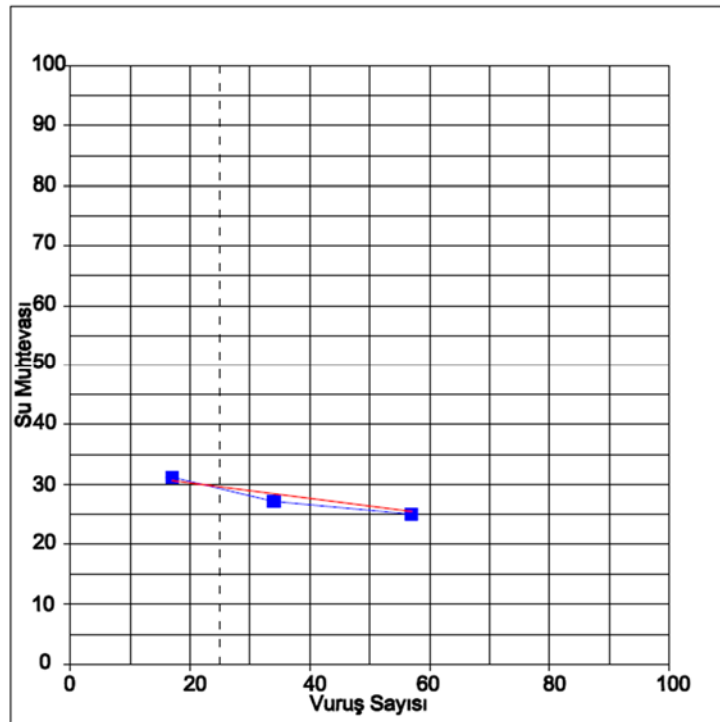
| NUMUNENİN ÖZELLİĞİ: | | %15 Feldspat Katkılı Killi Zemin | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|
| Plastik Limit | Islak Num + Dara | 26.98 | 25.75 | |
| | Kuru Num.+ Dara | 25.97 | 24.83 | |
| | Su Miktarı | 1.01 | 0.92 | |
| | Dara | 20.52 | 20.02 | |
| | Kuru Zemin | 5.45 | 4.81 | |
| | Su Muhtevası | 0.19 | 0.19 | |
| Likit Limit | Vuruş Sayısı | 82 | 57 | 16 |
| | Islak Numune +Dara | 40.80 | 44.29 | 42.62 |
| | Kuru Numune +Dara | 36.54 | 39.12 | 36.98 |
| | Su Miktarı | 4.26 | 5.17 | 5.64 |
| | Dara | 20.51 | 20.22 | 20.21 |
| | Kuru Numune | 16.03 | 18.90 | 16.77 |
| | Su Muhtevası | 26.58 | 27.35 | 33.63 |
| Plastik Limit | | 19.00% | | |
| Likit Limit | | 31.73% | | |
| Plastisite İndeksi | | 12.73 | | |



Şekil A.3. % 15 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği

Çizelge A.4. %20 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları

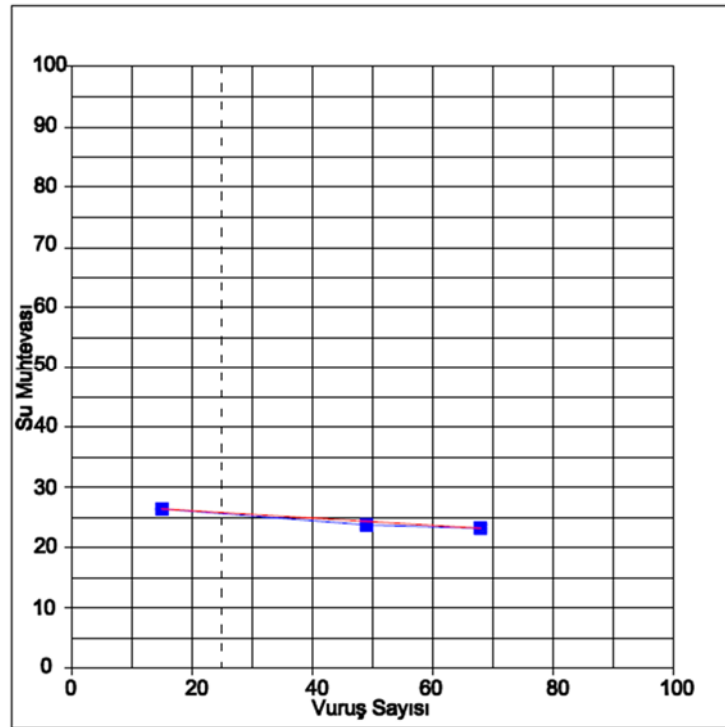
| NUMUNENİN ÖZELLİĞİ: | | %20 Feldspat Katkılı Killi Zemin | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|
| Plastik Limit | Islak Num + Dara | 27.31 | 27.00 | |
| | Kuru Num.+ Dara | 26.25 | 25.92 | |
| | Su Miktarı | 1.06 | 1.08 | |
| | Dara | 20.69 | 20.54 | |
| | Kuru Zemin | 5.56 | 5.38 | |
| | Su Muhtevası | 0.19 | 0.20 | |
| Likit Limit | Vuruş Sayısı | 57 | 34 | 17 |
| | Islak Numune +Dara | 44.93 | 41.20 | 39.88 |
| | Kuru Numune +Dara | 40.01 | 36.70 | 35.25 |
| | Su Miktarı | 4.92 | 4.50 | 4.63 |
| | Dara | 20.32 | 20.12 | 20.40 |
| | Kuru Numune | 19.69 | 16.58 | 14.85 |
| | Su Muhtevası | 24.99 | 27.14 | 31.18 |
| Plastik Limit | | 19.5% | | |
| Likit Limit | | 29.56% | | |
| Plastisite İndeksi | | 10.06 | | |



Şekil A.4. %20 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği

Çizelge A.5. %25 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan kıvam limitleri sonuçları

| NUMUNENİN ÖZELLİĞİ: | | %25 Feldspat Katkılı Killi Zemin | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|
| Plastik Limit | Islak Num + Dara | 26.70 | 26.60 | |
| | Kuru Num.+ Dara | 25.69 | 25.52 | |
| | Su Miktarı | 1.01 | 1.08 | |
| | Dara | 20.35 | 20.02 | |
| | Kuru Zemin | 5.34 | 5.50 | |
| | Su Muhtevası | 0.19 | 0.20 | |
| Likit Limit | Vuruş Sayısı | 68 | 49 | 15 |
| | Islak Numune +Dara | 39.09 | 44.29 | 45.86 |
| | Kuru Numune +Dara | 35.55 | 39.64 | 40.53 |
| | Su Miktarı | 3.54 | 4.65 | 5.33 |
| | Dara | 20.32 | 20.12 | 20.40 |
| | Kuru Numune | 15.23 | 19.52 | 20.13 |
| | Su Muhtevası | 23.24 | 23.82 | 26.48 |
| Plastik Limit | | 19.5% | | |
| Likit Limit | | 25.87% | | |
| Plastisite İndeksi | | 6.37 | | |

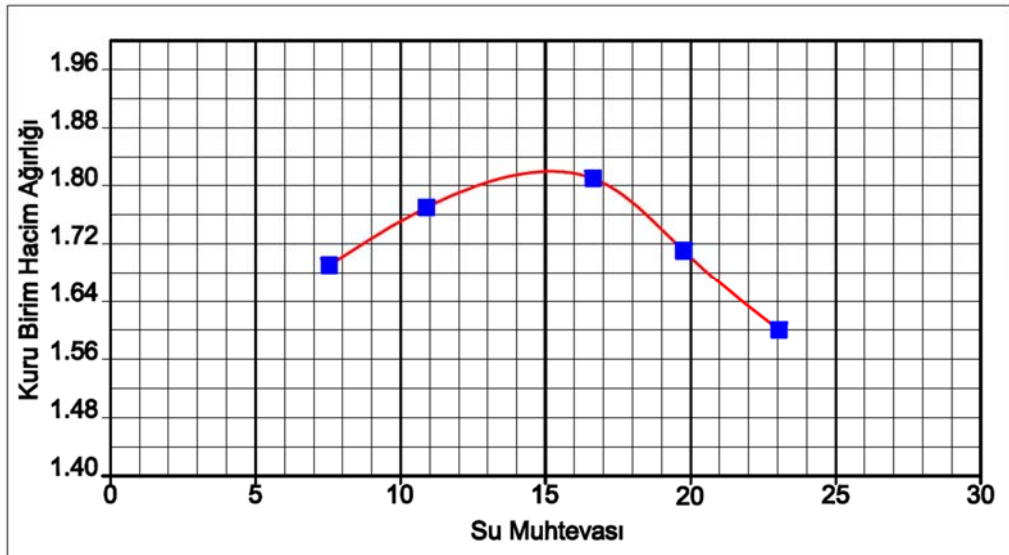


Şekil A.5. %25 katkılı zemin numunesi likit limit grafiği

EK B. Proktor Deney Bulguları Çizelgeleri ve Grafikleri

Çizelge B.1. % 5 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları

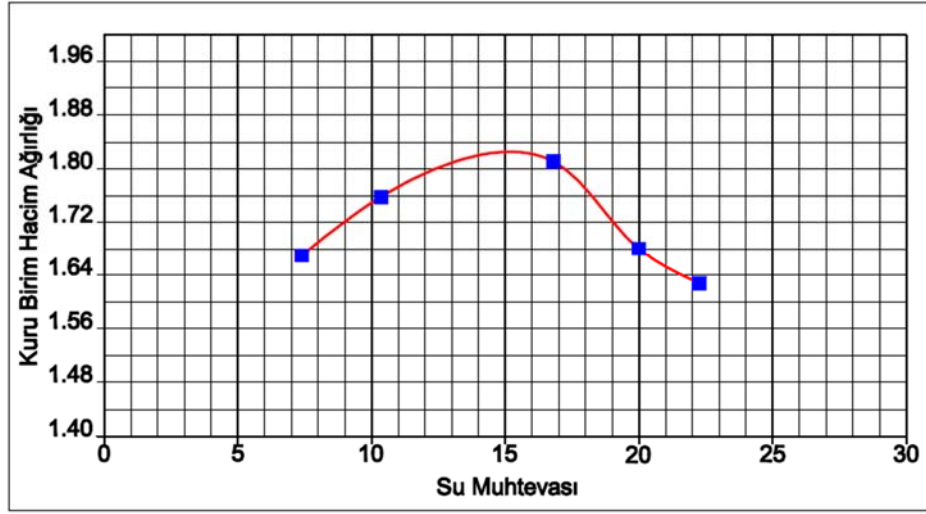
| STANDART PROKTOR DENEYİ | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Karışım Oranı | : %5 | | | | | | | | | |
| Standart Proktor Kalıbı Hacim: | 929.37 cm ³ | | | | | | | | | |
| Deney No | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| Islak Numune+ Kalıp | 5213.5 | | 5345.5 | | 5489.5 | | 5427.5 | | 5356 | |
| Kalıp | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | |
| Islak Numune | 1689.5 | | 1821.5 | | 1965.5 | | 1903.5 | | 1832 | |
| Birim Hacim Ağırlığı (γ _n) | 1.82 | | 1.96 | | 2.11 | | 2.05 | | 1.97 | |
| Kap No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Islak Numune + Dara | 61.6 | 48.26 | 60.11 | 65.55 | 84.72 | 90.45 | 101.47 | 87.96 | 108.4 | 125.84 |
| Kuru Numune + Dara | 58.73 | 46.09 | 56.12 | 61.14 | 75.18 | 80.59 | 88.12 | 76.52 | 91.82 | 105.78 |
| Su Miktarı | 2.87 | 2.17 | 3.99 | 4.41 | 9.54 | 9.86 | 13.35 | 11.44 | 16.57 | 20.06 |
| Dara | 19.84 | 17.93 | 19.78 | 20.48 | 19.64 | 19.49 | 20.25 | 18.89 | 19.45 | 19.42 |
| Kuru Numune | 38.89 | 28.16 | 36.34 | 40.66 | 55.54 | 61.1 | 67.87 | 57.63 | 72.37 | 86.36 |
| Su Muhtevası | 0.07 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.17 | 0.16 | 0.20 | 0.20 | 0.23 | 0.23 |
| Ort. Su Muhtevası (W) | 0.08 | | 0.11 | | 0.17 | | 0.20 | | 0.23 | |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.69 | | 1.77 | | 1.81 | | 1.71 | | 1.60 | |
| Optimum Su Muhtevası | %15.282 | | | | | | | | | |
| Max. Kuru Birim Hac. Ağır. | 1.82 | | | | | | | | | |



Şekil B.1. % 5 feldspat katkılı zemin numunesi Proktor Deneyi grafiği

Çizelge B.2. % 10 feldspat katkıli zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları

| STANDART PROKTOR DENEYİ | | | | | | | | | | |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Karışım Oranı : %10 | | | | | | | | | | |
| Standart Proktor Kalıbı Hacim: 929.37 cm ³ | | | | | | | | | | |
| Deney No | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| Islak Numune+ Kalıp | 5195.5 | | 5331 | | 5490 | | 5400 | | 5372.5 | |
| Kalıp | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | |
| Islak Numune | 1671.5 | | 1807 | | 1966 | | 1876 | | 1848.5 | |
| Birim Hacim Ağırlığı (γ _n) | 1.80 | | 1.94 | | 2.12 | | 2.02 | | 1.99 | |
| Kap No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Islak Numune + Dara | 61.52 | 65.29 | 58.35 | 57.4 | 88.65 | 82.14 | 89.34 | 97.38 | 124.5 | 98.97 |
| Kuru Numune + Dara | 58.74 | 61.93 | 54.58 | 53.63 | 78.61 | 73.15 | 77.47 | 84.39 | 105.3 | 85.4 |
| Su Miktarı | 2.78 | 3.36 | 3.77 | 3.77 | 10.04 | 8.99 | 11.87 | 12.99 | 19.16 | 13.57 |
| Dara | 19.3 | 18.87 | 19.78 | 19.4 | 18 | 20.26 | 19.26 | 19.9 | 19.07 | 24.62 |
| Kuru Numune | 39.44 | 43.06 | 34.8 | 34.23 | 60.61 | 52.89 | 58.21 | 64.49 | 86.24 | 60.78 |
| Su Muhtevası | 0.07 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.17 | 0.17 | 0.20 | 0.20 | 0.22 | 0.22 |
| Ort. Su Muhtevası (W) | 0.07 | | 0.11 | | 0.17 | | 0.20 | | 0.22 | |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.67 | | 1.75 | | 1.81 | | 1.68 | | 1.63 | |
| Optimum Su Muhtevası | %15.19 | | | | | | | | | |
| Max. Kuru Birim Hac. Ağır. | 1.83 | | | | | | | | | |



Şekil B.2. % 10 feldspat katkıli zemin numunesi proktor deneyi grafiği

Çizelge B.3 % 15 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları

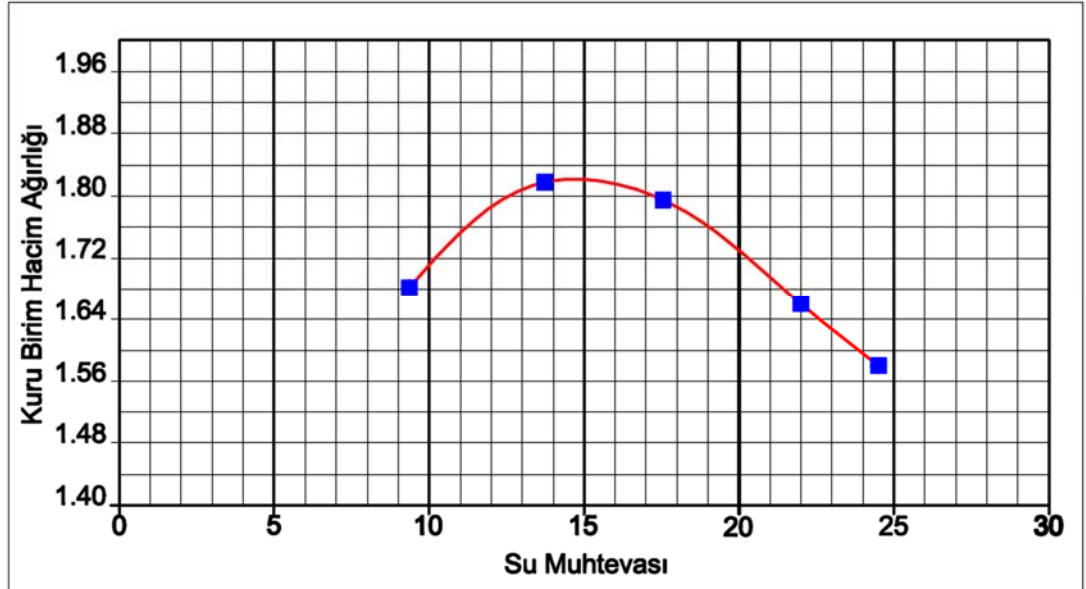
| STANDART PROKTOR DENEYİ | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| Karışım Oranı : %15 | | | | | | | | | | |
| Standart Proktor Kalıbı Hacim: 929.37 cm ³ | | | | | | | | | | |
| Deney No | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| Islak Numune+ Kalıp | 5172 | | 5320 | | 5456.5 | | 5472.5 | | 5363.5 | |
| Kalıp | 3525 | | 3525 | | 3525 | | 3525 | | 3525 | |
| Islak Numune | 1647 | | 1795 | | 1931.5 | | 1947.5 | | 1838.5 | |
| Birim Hacim Ağırlığı (γ _n) | 1.77 | | 1.93 | | 2.08 | | 2.10 | | 1.98 | |
| Kap No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Islak Numune + Dara | 81.36 | 74.59 | 84.65 | 62.97 | 81.3 | 91.23 | 78.69 | 79.05 | 106.1 | 119.6 |
| Kuru Numune + Dara | 76.76 | 70.4 | 78.19 | 58.64 | 73.78 | 82.41 | 68.73 | 69.9 | 90.01 | 100.59 |
| Su Miktarı | 4.6 | 4.19 | 6.46 | 4.33 | 7.52 | 8.82 | 9.96 | 9.15 | 16.11 | 19.01 |
| Dara | 22.5 | 19.35 | 19.52 | 20.04 | 19.42 | 19.3 | 17.61 | 22.11 | 22.62 | 19.21 |
| Kuru Numune | 54.26 | 51.05 | 58.67 | 38.6 | 54.36 | 63.11 | 51.12 | 47.79 | 67.39 | 81.38 |
| Su Muhtevası | 0.08 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.14 | 0.14 | 0.19 | 0.19 | 0.24 | 0.23 |
| Ort. Su Muhtevası (W) | 0.08 | | 0.11 | | 0.14 | | 0.19 | | 0.24 | |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.64 | | 1.74 | | 1.82 | | 1.76 | | 1.60 | |
| Optimum Su Muhtevası | %14.853 | | | | | | | | | |
| Max. Kuru Birim Hac. Ağır. | 1.83 | | | | | | | | | |



Şekil B.3. % 15 feldspat katkılı zemin numunesi proktor deneyi grafiği

Çizelge B.4. % 20 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları

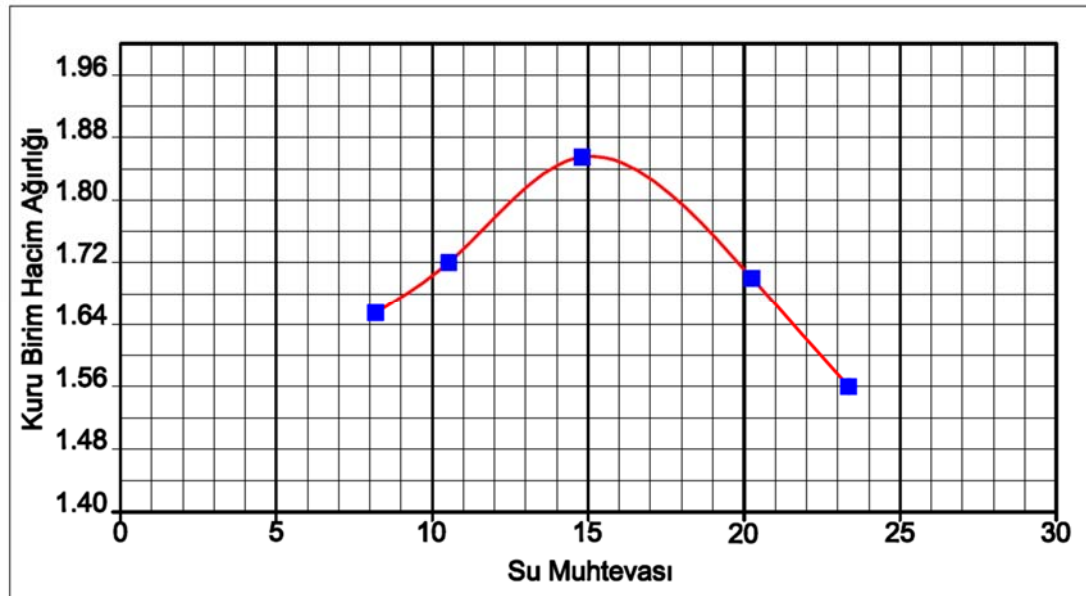
| STANDART PROKTOR DENEYİ | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|--------|------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Karışım Oranı : %20 | | | | | | | | | | |
| Standart Proktor Kalıbı Hacim: 929.37 cm ³ | | | | | | | | | | |
| Deney No | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| Islak Numune+ Kalıp | 5233 | | 5448.5 | | 5489 | | 5407 | | 5359 | |
| Kalıp | 3525 | | 3525 | | 3525 | | 3525 | | 3525 | |
| Islak Numune | 1708 | | 1923.5 | | 1964 | | 1882 | | 1834 | |
| Birim Hacim Ağırlığı (γ _n) | 1.84 | | 2.07 | | 2.11 | | 2.03 | | 1.97 | |
| Kap No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Islak Numune + Dara | 78.9 | 65.94 | 61.69 | 61.8 | 83.53 | 109.63 | 121.12 | 106.21 | 110.6 | 92.58 |
| Kuru Numune + Dara | 73.83 | 62 | 56.52 | 56.5 | 73.91 | 96.17 | 102.76 | 90.56 | 92.71 | 78.1 |
| Su Miktarı | 5.07 | 3.94 | 5.17 | 5.3 | 9.62 | 13.46 | 18.36 | 15.65 | 17.84 | 14.48 |
| Dara | 20.27 | 19.78 | 18.87 | 18 | 19.07 | 19.89 | 19.25 | 19.31 | 19.58 | 19.41 |
| Kuru Numune | 53.56 | 42.22 | 37.65 | 38.5 | 54.84 | 76.28 | 83.51 | 71.25 | 73.13 | 58.69 |
| Su Muhtevası | 0.09 | 0.09 | 0.14 | 0.14 | 0.18 | 0.18 | 0.22 | 0.22 | 0.24 | 0.25 |
| Ort. Su Muhtevası (W) | 0.09 | | 0.14 | | 0.18 | | 0.22 | | 0.25 | |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.68 | | 1.82 | | 1.80 | | 1.66 | | 1.58 | |
| Optimum Su Muhtevası | %14.7 | | | | | | | | | |
| Max. Kuru Birim Hac. Ağır. | 1.82 | | | | | | | | | |



Şekil B.4. % 20 feldspat katkılı zemin numunesi proktor deneyi grafiği

Çizelge B.5 % 25 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları

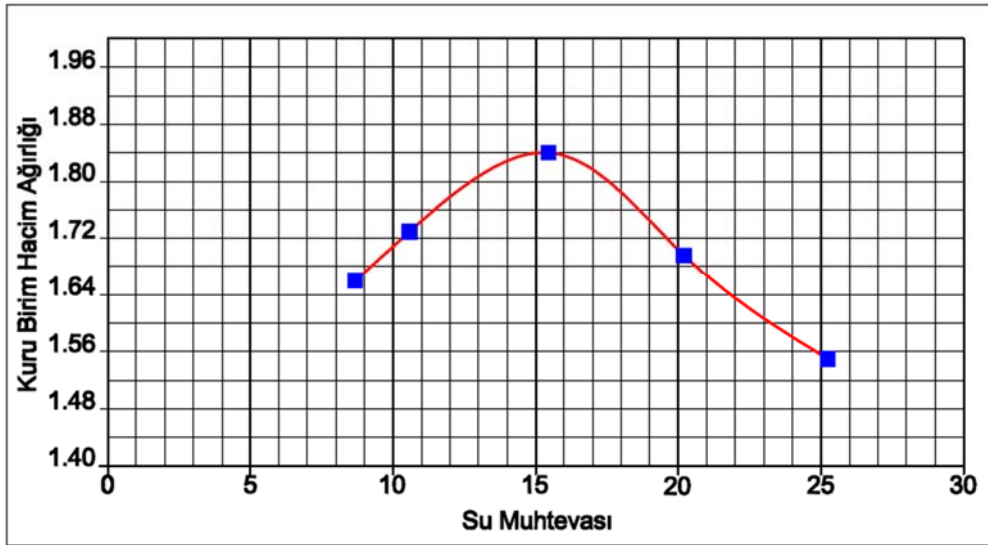
| STANDART PROKTOR DENEYİ | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Karışım Oranı | : %25 | | | | | | | | | |
| Standart Proktor Kalıbı Hacim: | 929.37 cm ³ | | | | | | | | | |
| Deney No | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| Islak Numune+ Kalıp | 5191 | | 5287.5 | | 5500.5 | | 5429 | | 5350 | |
| Kalıp | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | |
| Islak Numune | 1667 | | 1763.5 | | 1976.5 | | 1905 | | 1826 | |
| Birim Hacim Ağırlığı (γ _n) | 1.79 | | 1.90 | | 2.13 | | 2.05 | | 1.96 | |
| Kap No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Islak Numune + Dara | 67.4 | 76 | 70.24 | 74.15 | 90.46 | 96.27 | 96.07 | 114.24 | 119.5 | 128.3 |
| Kuru Numune + Dara | 63.74 | 71.7 | 65.44 | 68.92 | 81.2 | 86.36 | 83.18 | 98.42 | 99.16 | 106.25 |
| Su Miktarı | 3.66 | 4.3 | 4.8 | 5.23 | 9.26 | 9.91 | 12.89 | 15.82 | 20.38 | 22.05 |
| Dara | 18.77 | 19.37 | 19.92 | 19.25 | 18.58 | 19.46 | 20.03 | 19.76 | 19.08 | 19.15 |
| Kuru Numune | 44.97 | 52.33 | 45.52 | 49.67 | 62.62 | 66.9 | 63.15 | 78.66 | 80.08 | 87.1 |
| Su Muhtevası | 0.08 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.25 |
| Ort. Su Muhtevası (W) | 0.08 | | 0.11 | | 0.15 | | 0.20 | | 0.25 | |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.66 | | 1.72 | | 1.85 | | 1.70 | | 1.57 | |
| Optimum Su Muhtevası | %15.115 | | | | | | | | | |
| Max. Kuru Brm. Hac. Ağır. | 1.86 | | | | | | | | | |



Şekil B.5. % 25 feldspat katkılı zemin numunesi proktor deneyi grafiği

Çizelge B.6. % 30 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan proktor deneyi sonuçları

| STANDART PROKTOR DENEYİ | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Karışım Oranı : %30 | | | | | | | | | | |
| Standart Proktor Kalıbı Hacim: 929.37 cm ³ | | | | | | | | | | |
| Deney No | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| Islak Numune+ Kalıp | 5200.5 | | 5301 | | 5502 | | 5419 | | 5328 | |
| Kalıp | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | | 3524 | |
| Islak Numune | 1676.5 | | 1777 | | 1978 | | 1895 | | 1804 | |
| Birim Hacim Ağırlığı (γ _n) | 1.80 | | 1.91 | | 2.13 | | 2.04 | | 1.94 | |
| Kap No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Islak Numune + Dara | 80.23 | 83.88 | 83.42 | 84.56 | 96.57 | 99.81 | 106.59 | 89.57 | 121.1 | 135.37 |
| Kuru Numune + Dara | 75.46 | 78.66 | 77.21 | 78.4 | 86.32 | 88.94 | 91.71 | 77.89 | 100.5 | 111.95 |
| Su Miktarı | 4.77 | 5.22 | 6.21 | 6.16 | 10.25 | 10.87 | 14.88 | 11.68 | 20.58 | 23.42 |
| Dara | 20.03 | 19.05 | 19.24 | 19.46 | 19.74 | 18.72 | 18.6 | 19.93 | 19.32 | 19.13 |
| Kuru Numune | 55.43 | 59.61 | 57.97 | 58.94 | 66.58 | 70.22 | 73.11 | 57.96 | 81.16 | 92.82 |
| Su Muhtevası | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.25 |
| Ort. Su Muhtevası (W) | 0.09 | | 0.11 | | 0.15 | | 0.20 | | 0.25 | |
| Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.66 | | 1.73 | | 1.84 | | 1.70 | | 1.55 | |
| Optimum Su Muhtevası | %15.305 | | | | | | | | | |
| Max. Kuru Birim Hac. Ağır. | 1.84 | | | | | | | | | |



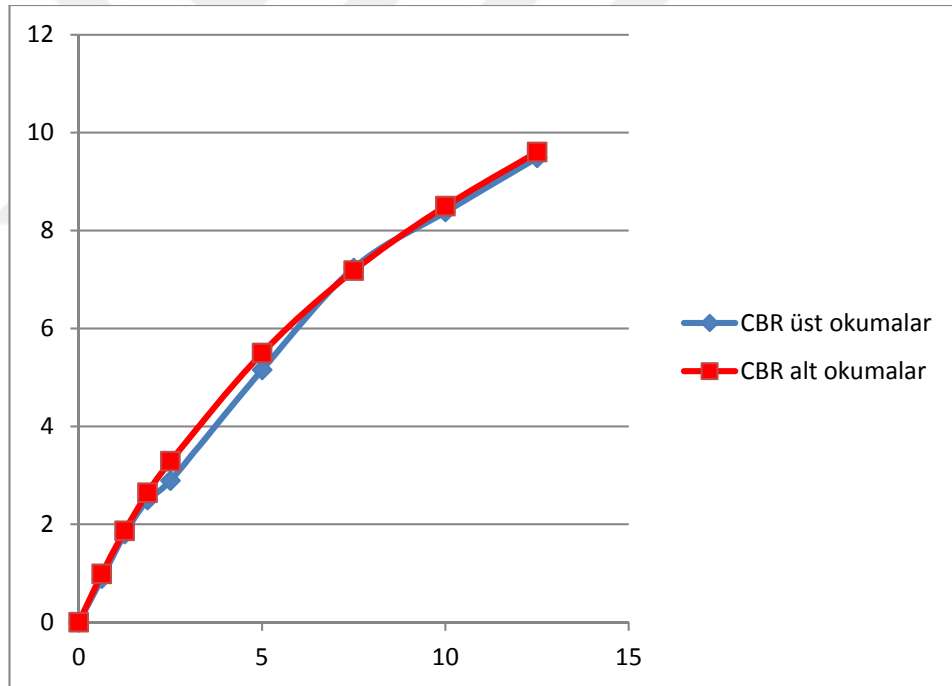
Şekil B.6. % 30 feldspat katkılı zemin numunesi Proktor Deneyi grafiği

EK C. CBR Deney Bulguları Tabloları ve Grafikleri

Çizelge C.1. % 5 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları

| TAŞIMAORANI (CBR) | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|------------|------|--------|-----------------|--------|------------|------|--------|-----------------|--------|
| Penetrasyon (mm) | Standart t Yük | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | |
| | | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | |
| 0.625 | | 6.8 | 0.17 | 0.8947 | | | 7.5 | 0.19 | 0.9868 | | |
| 1.25 | | 13.7 | 0.35 | 1.8026 | | | 14.2 | 0.36 | 1.8684 | | |
| 2 | | 19.0 | 0.48 | 2.4999 | | | 20.1 | 0.51 | 2.6446 | | |
| 2.5 | 70.31 | 22.0 | 0.55 | 2.8946 | 0.0412 | 4.117 | 25.0 | 0.63 | 3.2894 | 0.0468 | 4.6784 |
| 5 | 105.46 | 39.2 | 0.99 | 5.1577 | 0.0489 | 4.8907 | 41.8 | 1.05 | 5.4998 | 0.0522 | 5.2151 |
| 7.5 | | 55.0 | 1.39 | 7.2366 | | | 54.6 | 1.38 | 7.184 | | |
| 10 | | 63.7 | 1.61 | 8.3813 | | | 64.6 | 1.63 | 8.4997 | | |
| 12.5 | | 72.1 | 1.82 | 9.4865 | | | 73.0 | 1.84 | 9.6049 | | |

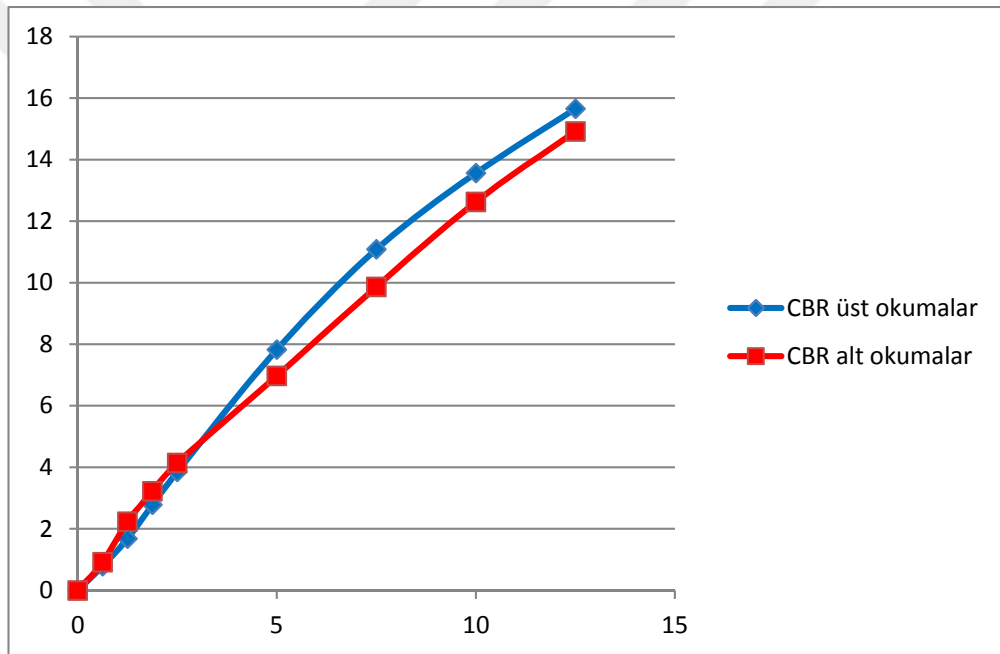
Ortalama CBR= %5.05



Şekil C.1. % 5 feldspat katkılı zemin numunesi CBR deneyi grafiği

Çizelge C.2. % 10 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları

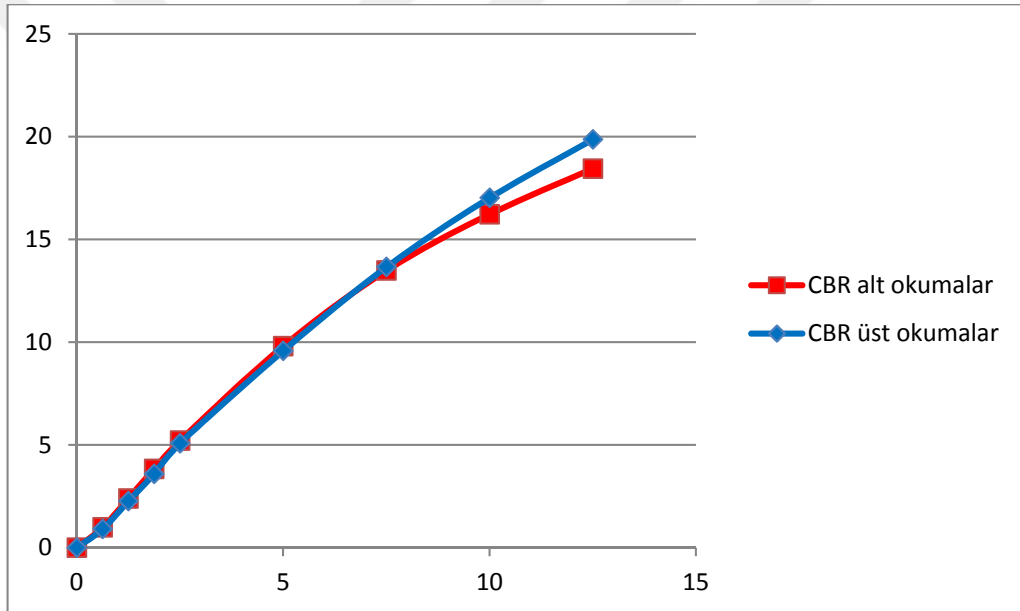
| TAŞIMAORANI (CBR) | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------|------------|------|--------|-----------------|--------|------------|------|--------|-----------------|--------|
| Penetrasyon (mm) | Standar t Yük | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | |
| | | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | |
| 0.625 | | 6.0 | 0.15 | 0.7894 | | | 7.0 | 0.18 | 0.921 | | |
| 1.25 | | 12.8 | 0.32 | 1.6841 | | | 17.0 | 0.43 | 2.2368 | | |
| 2 | | 21.2 | 0.53 | 2.7894 | | | 24.5 | 0.62 | 3.2236 | | |
| 2.5 | 70.31 | 29.3 | 0.74 | 3.8551 | 0.0548 | 5.483 | 31.5 | 0.79 | 4.1446 | 0.0589 | 5.8947 |
| 5 | 105.46 | 59.5 | 1.50 | 7.8287 | 0.0742 | 7.4233 | 53.0 | 1.34 | 6.9734 | 0.0661 | 6.6124 |
| 7.5 | | 84.3 | 2.12 | 11.092 | | | 75.0 | 1.89 | 9.8681 | | |
| 10 | | 103.1 | 2.60 | 13.565 | | | 96.0 | 2.42 | 12.631 | | |
| 12.5 | | 119.0 | 3.00 | 15.657 | | | 113.4 | 2.86 | 14.921 | | |
| Ortalama CBR= %7.01 | | | | | | | | | | | |



Şekil C.2. % 10 feldspat katkılı zemin numunesi CBR Deneyi grafiği

Çizelge C.3. % 15 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları

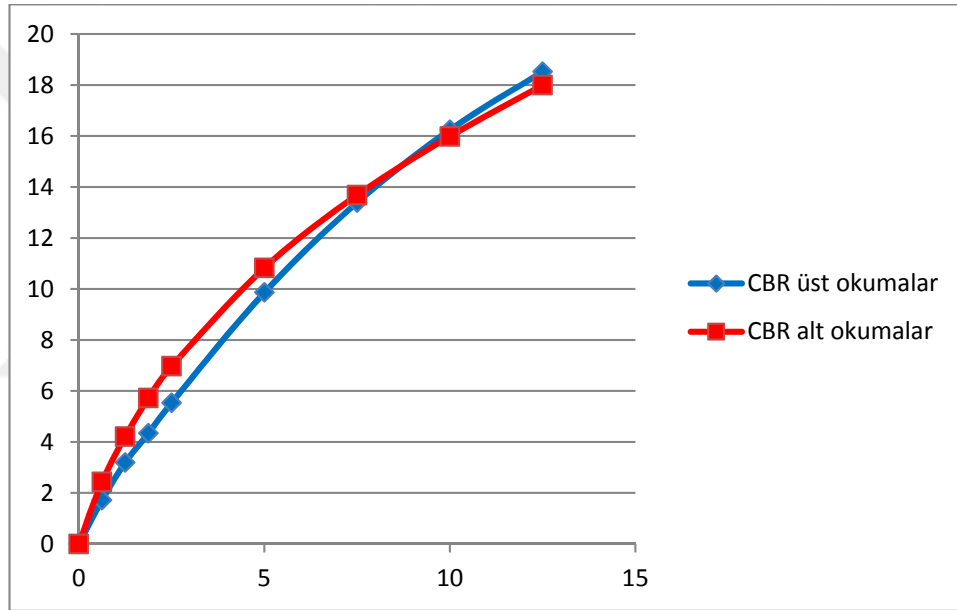
| TAŞIMAORANI (CBR) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|------------|--------|--------|-----------------|--------|------------|------|--------|-----------------|--------|
| Penetrasyon (mm) | Standart t Yük | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | |
| | | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | |
| 0.625 | | 6.9 | 0.1739 | 0.9079 | | | 7.5 | 0.19 | 0.9868 | | |
| 1.25 | | 17.2 | 0.4334 | 2.2631 | | | 18.2 | 0.46 | 2.3947 | | |
| 2 | | 27.3 | 0.688 | 3.592 | | | 29.1 | 0.73 | 3.8288 | | |
| 2.5 | 70.31 | 38.6 | 0.9727 | 5.0788 | 0.0722 | 7.2234 | 39.6 | 1.00 | 5.2103 | 0.0741 | 7.4105 |
| 5 | 105.46 | 72.8 | 1.8346 | 9.5786 | 0.0908 | 9.0827 | 74.5 | 1.88 | 9.8023 | 0.0929 | 9.2948 |
| 7.5 | | 103.8 | 2.6158 | 13.657 | | | 102.5 | 2.58 | 13.486 | | |
| 10 | | 129.4 | 3.2609 | 17.026 | | | 123.3 | 3.11 | 16.223 | | |
| 12.5 | | 151.0 | 3.8052 | 19.868 | | | 140.2 | 3.53 | 18.447 | | |
| Ortalama CBR= % 9.18 | | | | | | | | | | | |



Şekil C.3. % 15 feldspat katkılı zemin numunesi CBR deneyi grafiği

Çizelge C.4. % 20 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları

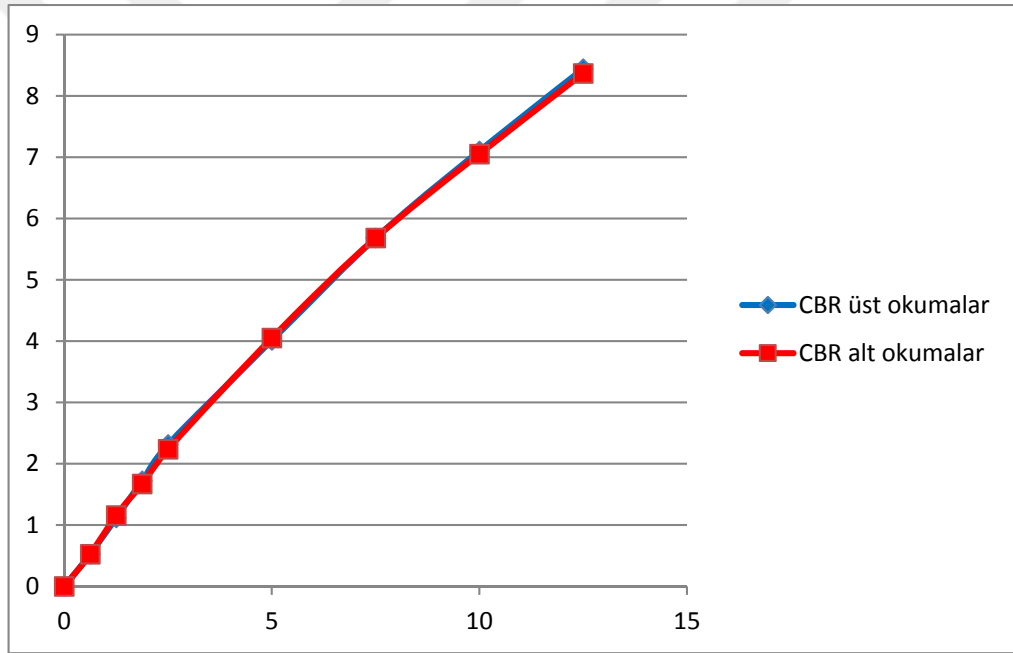
| TAŞIMAORANI (CBR) | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------|------------|------|--------|-----------------|--------|------------|------|--------|-----------------|--------|
| Penetrasyon (mm) | Standar t Yük | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | |
| | | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | |
| 0.625 | | 13.1 | 0.33 | 1.7236 | | | 18.5 | 0.47 | 2.4341 | | |
| 1.25 | | 24.3 | 0.61 | 3.1973 | | | 32.0 | 0.81 | 4.2104 | | |
| 2 | | 33.0 | 0.83 | 4.3419 | | | 43.5 | 1.10 | 5.7235 | | |
| 2.5 | 70.31 | 42.1 | 1.06 | 5.5393 | 0.0788 | 7.8784 | 53.0 | 1.34 | 6.9734 | 0.0992 | 9.9181 |
| 5 | 105.46 | 75.0 | 1.89 | 9.8681 | 0.0936 | 9.3572 | 82.3 | 2.07 | 10.829 | 0.1027 | 10.268 |
| 7.5 | | 101.8 | 2.57 | 13.394 | | | 104.0 | 2.62 | 13.684 | | |
| 10 | | 123.5 | 3.11 | 16.249 | | | 121.5 | 3.06 | 15.986 | | |
| 12.5 | | 140.8 | 3.55 | 18.526 | | | 136.8 | 3.45 | 17.999 | | |
| Ortalama CBR= %9.81 | | | | | | | | | | | |



Şekil C.4. % 20 feldspat katkılı zemin numunesi CBR Deneyi grafiği

Çizelge C.5. % 25 feldspat katkılı zemin numunesi üzerine yapılan CBR deneyi sonuçları

| TAŞIMAORANI (CBR) | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|------------|------|--------|-----------------|--------|------------|------|--------|-----------------|--------|
| Penetrasyon (mm) | Standart t Yük | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | | Okunan Yük | | | Düzeltilmiş CBR | |
| | | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % | µm | KN | kg/cm2 | kg/cm2 | % |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | |
| 0.625 | | 4.0 | 0.10 | 0.5263 | | | 4.0 | 0.10 | 0.5263 | | |
| 1.25 | | 8.5 | 0.21 | 1.1184 | | | 8.8 | 0.22 | 1.1579 | | |
| 2 | | 13.1 | 0.33 | 1.7236 | | | 12.7 | 0.32 | 1.671 | | |
| 2.5 | 70.31 | 17.6 | 0.44 | 2.3157 | 0.0329 | 3.2936 | 17.0 | 0.43 | 2.2368 | 0.0318 | 3.1813 |
| 5 | 105.46 | 30.5 | 0.77 | 4.013 | 0.0381 | 3.8052 | 30.8 | 0.78 | 4.0525 | 0.0384 | 3.8427 |
| 7.5 | | 43.2 | 1.09 | 5.684 | | | 43.2 | 1.09 | 5.684 | | |
| 10 | | 54.0 | 1.36 | 7.105 | | | 53.6 | 1.35 | 7.0524 | | |
| 12.5 | | 64.2 | 1.62 | 8.4471 | | | 63.6 | 1.60 | 8.3681 | | |
| Ortalama CBR= %3.82 | | | | | | | | | | | |



Şekil C.5. % 25 feldspat katkılı zemin numunesi CBR deneyi grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yelda ÜRGÜL ACAR
Doğum Yeri ve Yılı : Denizli, 1988
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yl1130101007@stud.sdu.edu.tr
: yelda1306@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Kazım Kaynak Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, 2006
Lisans :SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim

Mega Yapı Denetim Saha Kontrol Elemanı2012-2013

Isparta Devlet Su İşleri 2013-.....(halen)