

T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZALT AGREGASININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN YOL
ÜSTYAPISINDA KULLANIMI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Alev AKILLI

Danışman: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2012

TEZ ONAYI

Alev AKILLI tarafından hazırlanan “**Bazalt Agregasının Mekanik Özelliklerinin Yol Üstyapısında Kullanımı Açısından İncelenmesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mehmet SALTAN

Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Serdal TERZİ

Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Meltem SAPLIOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLGİSİ	3
2.1. Karayolu.....	3
2.1.1. Karayolu alt yapısı	4
2.1.2. Karayolu üst yapısı.....	5
2.1.3. Esnek üstyapılar	6
2.1.4. Esnek üstyapılarda taban zemini	9
2.1.5. Taban zemininde kullanılan malzemelerin özellikleri	10
2.1.6. Üstyapıdaki yük tekrarları	11
2.2. Agregalar.....	12
2.2.1. Tanım	12
2.2.2. Agregalar ve kökeni	12
2.2.3. Magmatik kayalar	13
2.2.4. Bazalt agregası	15
2.2.4.1. Bazalt agregasının kullanım alanları.....	17
2.2.5. Diğer mekanik özellikler.....	17
2.3. Daha Önceden Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	19
3. MATERYAL VE METOD	24
3.1. Elek analizi.....	24
3.2. Hidrometre Deneyi (TS 1900-1)	26
3.3. Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyleri (TSE-3529)	28
3.4. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini (TS-EN 1097-6)	30
3.4.1. Tel sepet metodu (iri agregalar için)	30
3.4.2. Piknometre metodu (ince agregalar için)	32

3.5. Agregalar İçin Yassılık İndeksi Değeri Tayini	35
3.6. Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini (Sodyum Sülfat Deneyi)	36
3.7. Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro-Deval Katsayısı)	38
3.8. Parçalanma Direncinin Tayini-Agrega Darbelenme Değeri	40
3.9. Birim Hacim Ağırlık-Su İçeriği İlişkisi	41
3.10. Modifiye Proktor Deneyi	41
3.11. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi	42
3.12. Dinamik Üç Eksenli Deney Yöntemi.....	43
3.12.1. Dinamik yükleme yapabilen deney sistemleri	43
3.12.2. Dinamik üç eksenli deney cihazının elemanları.....	44
3.12.3. Deney çerçevesi	45
3.12.4. Üç eksenli hücresi	46
3.12.5. Pnömatik hücre basınç sistemi	46
3.12.6. Veri toplama ve kontrol sistemi	47
3.12.7. Yazılım.....	48
3.12.8. Esneklik modülü.....	49
3.12.9. Esneklik modülünü etkileyen faktörler	50
3.12.10. Esneklik modülü (M_p) tahmin modelleri	51
3.12.11. Deney malzemesinin hazırlanması.....	54
3.12.12. Deneylerde uygulanan gerilme değerleri	56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	60
4.1. Yapılan Deneyler ve Sonuçları	60
4.1.1. Elek analizi (TSE 3530 EN 933-1)	60
4.1.2. İri agregaların zahiri ve hacim özgül ağırlıkları.....	60
4.1.3. İnce agregaların zahiri ve hacim özgül ağırlıkları.....	63
4.1.4. Agregalarda hidrometre deney sonuçları	65
4.1.5. Agregalarda yassılık indeksi değeri	68
4.1.6. Sıkışık gevşek birim ağırlık sonuçları.....	70
4.1.7. Agregalarda aşınmaya karşı dayanıklılık (Mikro-Deval).....	71
4.1.8. Agregalarda darbelenme deney sonuçları	73
4.1.9. Agregalarda modifiye proktor deney sonuçları.....	74
4.1.10. Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini (sodyum sülfat deneyi) ..	77

4.1.11. Agregalara uygulanan esneklik modülü deney sonuçları.....	78
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	90
6. KAYNAKLAR	92
EKLER.....	95
ÖZGEÇMİŞ	110

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZALT AGREGASININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN YOL ÜSTYAPISINDA KULLANIMI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Alev AKILLI

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

Bu çalışmada ülkemizde yaygın olarak bulunan volkanik kökenli bazalt agregasının yol malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Dört farklı şehirden temin edilen bazalt malzemesi ile aynı şehirlerden temin edilen kalker malzemesine kıyaslanması açısından, dona karşı dayanıklılık (Sodyum Sülfat deneyi), sağlamlık (Aşınma), tane yoğunluğu ve su emme değerleri, yassılık endeksi, aşınmaya karşı direnç (Mikro-Deval), proktor, CBR ve dinamik üç eksenli deneyleri uygulanmıştır. Bazalt ve kalker malzemesinin esnek üstyapı malzemesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Isparta, Ankara-Polatlı, Gaziantep, Afyon-Emirdağ bazalt ve kalker malzemesine fiziksel özelliklerinden dayanıklılık, yassılık, sağlamlık ve aşınmaya karşı dirençleri belirlendikten sonra malzemeler üzerinde taşıma oranının belirlenmesi için CBR deneyleri yapılmıştır. Ayrıca bu karışım oranlarında malzemelerin esneklik modülünü belirlemek için üç eksenli deneyleri uygulanmış ve Esneklik modülü değerleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak, temin edilen bazalt ve kalker malzemesinin yol üstyapısında kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bazalt, kalker, yol üstyapısı

2012,110 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF BASALT AGGREGATE'S MECHANICAL PROPERTIES FOR USE IN ROAD PAVEMENTS

Alev AKILLI

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

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet SALTAN

In this study, usability of the volcanogenic basalt aggregate for the pavement of road was searched. The basalt which was provided from four different cities and the limestone which was provided from the same cities were put to the tests of strength against freezing (sodium sulphate experiment), hardness (erosion), grain density, water absorption, flatness index, resistance against the erosion (Mikro-Deval), proctor, CBR' to compare each other. According to the results of the tests, we saw that we can use the basalt and limestone for pavement of road.

The basalt and the limestone from Isparta, Ankara-Polatli, Gaziantep, Afyon-Emirdağ were put to tests of strength, flatness, hardness, CBR to evaluate their physical characteristics. Besides those, triaxial experiment was applied into basalt and limestone to evaluate their flexibility and the values of the modulus of elasticity were found.

In conclusion we can use the basalt and the limestone as the base ground for the pavement of road.

Key Words: Basalt, Limestone, Pavement of road

2012,110 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şeklidir. Esnek üstyapılarda kütleli miktarda kullanılan malzemelerin başında granüler malzemeler gelmektedir. Üstyapıdaki granüler tabakalar kaplama tabakası ile taban zemini arasında yer alırlar ve kaplamadan gelen araç yüklerini bünyesine alarak bu yükleri azaltır ve daha az dirençli olan taban zeminine iletirler. Bu şekilde araçlar tabanda aşırı deformasyonlar oluşturmadan defalarca yoldan geçebilirler. Kısaca granüler tabakalar için üstyapının taşıyıcı iskeleti benzetmesi yapılabilir. Çalışmada iki farklı mineralojik kökene sahip agregalar kullanılmıştır. Bu faktörlerin Esneklik Modülü (MR) üzerindeki etkisi istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Böylece ülkemizde kullanılan granüler yol malzemelerinin özellikleri hakkında detaylı bilgi sahibi olunacak ve tasarım aşamasında kullanılabilir güvenilir veriler elde edilecektir.

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın her aşamasında bilgi, görüş ve desteğini, aynı zamanda bana karşılaştığım her sorunla başa çıkabilme yeteneği kazandıran danışman Hocam Prof. Dr. Mehmet SALTAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu araştırma çalışmasında beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesiyle aşmama yardımcı olan kullandığım deney cihazları hakkında bilgi, fikir ve görüşleriyle katkı sağlayan Arş. Gör. V. Emre UZ'a , çalışmamın her aşamasında destekleyen Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER'e ve bu çalışmanın her aşamasında 2775-YL-11 nolu proje kapsamında maddi destek sağlayan BAP'a ve çalışmalarım sırasında yardımını üzerimden esirgemeyen İzzet ÇALIŞKAN abime teşekkür ederim.

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

Alev AKILLI

Isparta, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tipik bir esnek üstyapı kesiti	7
Şekil 2.2. Tipik bir üstyapı enkesiti	8
Şekil 2.3. Karayolu esnek üstyapısını oluşturan tabakalar.....	8
Şekil 2.4. Esnek üstyapı bünyesindeki tabakalar	9
Şekil 2.5. Tekerlek yükü altındaki üstyapı malzemesine etkiyen gerilmeler	12
Şekil 2.6. Magmatik kayaların oluşumu	13
Şekil 2.7. Bazalt agregasının doğal görünüşü	16
Şekil 2.8. Bazalt agregası örnekleri.....	16
Şekil 3.1. Numune alınan bölgelerin harita üzerinde gösterilmesi	24
Şekil 3.2. Numunelerin genel görünümü	24
Şekil 3.3. Agregaların tane boyutlarına göre sınıflandırılması	25
Şekil 3.4. Kullanılan gradasyon eğrisi	26
Şekil 3.5. Hidrometre deneyinin uygulanması	28
Şekil 3.6. Sıkışık ve Gevşek Birim Ağırlık Deneyinin Genel Görünümü	30
Şekil 3.7. Numunenin suya daldırılması ve hava kabarcıklarının alınması	30
Şekil 3.8. Tel Sepet metodunda agregaların kurutulması işlemi.....	31
Şekil 3.9. Tel Sepet Metodu	32
Şekil 3.10. Piknometre yönteminde taneler arasındaki hava boşluklarının alınması	34
Şekil 3.11. Yassılık indeksi deney şablonu.....	36
Şekil 3.12. Numunelerin kimyasal karışımdan çıktıktan sonraki görüntüsü	37
Şekil 3.13. Donma-çözülme deneyi sonrası numunelerin görüntüsü.....	37
Şekil 3.14. Mikro-deval deney cihazı ve tamburlar	39
Şekil 3.15. Darbe ile parçalanma deneyinin uygulanması	41
Şekil 3.16. Modifiye Proktor Deneyi	42
Şekil 3.17. CBR Deney Düzeneği.....	43
Şekil 3.18. Dinamik Üç Eksenli Deney Cihazı	45
Şekil 3.19. Üç Eksenli Deney Alet Çerçevesi.....	46
Şekil 3.23. DÜE Deney Cihazının genel görünümü	49
Şekil 3.24. Üstyapı malzemelerinin tekrarlı yükler altındaki davranışı ve esneklik Modülü	50
Şekil 3.25. 15 cm çapında 30cm yüksekliğinde ayrılabilir 2 parçalı kalıp	55
Şekil 3.26. Latex membran içinde hazırlanmış silindir numune.....	56

Şekil 3.27. Latex membran içinde hazırlanmış numune ve üst başlığı.....	56
Şekil 3.28. Uygulanan yarım sinüs dalgası şeklindeki yüklemenin zamanla değişimi.....	57
Şekil 4.1. Kullanılan agregaların tane büyüklüğü dağılımı.....	60
Şekil 4.2. İri agrega için özgül hacim ağırlık deney sonuçları.....	61
Şekil 4.3. İri kalker agregaları için özgül hacim ağırlık deney sonuçları	61
Şekil 4.4. İri bazalt agregaları için özgül hacim ağırlık	62
Şekil 4.5. İri agregalar için su emme oranları	62
Şekil 4.6. Piknometre metodu ile bulunan ince agrega hacim özgül ağırlık değerleri	63
Şekil 4.7. İnce kalker agregaları için hacim özgül ağırlık değerleri	64
Şekil 4.8. İnce bazalt agregaları için hacim özgül ağırlık değerleri.....	64
Şekil 4.9. Numunelerin ince agrega su emme oranları	65
Şekil 4.10. Polatlı kalker agregası hidrometre deney grafiği.....	66
Şekil 4.11. Emirdağ bazalt agregası hidrometre deney grafiği	66
Şekil 4.12. Isparta kalker agregası hidrometre deney grafiği.....	66
Şekil 4.13. Polatlı bazalt agregası hidrometre deney grafiği	67
Şekil 4.14. Emirdağ kalker agregası hidrometre deney grafiği.....	67
Şekil 4.15. Isparta bazalt agregası hidrometre deney grafiği	67
Şekil 4.16. Gaziantep bazalt agregası hidrometre deney grafiği.....	68
Şekil 4.17. Agregaların yassılık indeksi deney bulguları.....	68
Şekil 4.18. Kalker agregalarının yassılık indeksi değerleri.....	69
Şekil 4.19. Bazalt agregalarının yassılık indeksi değerleri.....	69
Şekil 4.20. Numunelerin sıkışık birim hacim ağırlık deney bulguları	70
Şekil 4.21. Numunelerin gevşek birim hacim ağırlık deney bulguları	70
Şekil 4.22. Numunelerin aşınmaya karşı dayanım sonuçları	71
Şekil 4.23. Kalker agregalarının aşınmaya karşı dirençleri	71
Şekil 4.24. Bazalt agregaların aşınmaya karşı dirençleri	72
Şekil 4.25. Numunelerin darbelenme deney bulguları.....	73
Şekil 4.26. Kalker agregasının darbelenme deney bulguları.....	73
Şekil 4.27. Bazalt agrelarının darbelenme deney sonuçları	74
Şekil 4.28. Polatlı-bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi	74
Şekil 4.29. Polatlı Kalker su muhtevası birim ağırlık ilişkisi	75
Şekil 4.30. Emirdağ Bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.....	75

Şekil 4.31. Isparta-Kalker su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.....	75
Şekil 4.32. Isparta Bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.....	76
Şekil 4.33. Gaziantep-Bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.....	76
Şekil 4.34. Numunelerin CBR deney bulguları	77
Şekil 4.35. Donma çözülme deney bulguları	78
Şekil 4.36. Emirdağ kalker agregasının esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği ..	79
Şekil 4.37. Emirdağ kalker agregasına ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği.....	80
Şekil 4.38. Isparta kalker agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği..	80
Şekil 4.39. Isparta kalker agregasına ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği....	81
Şekil 4.40. Polatlı kalker agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği ..	81
Şekil 4.41. Polatlı kalker agregasının esneklik modülü toplam gerilme grafiği	82
Şekil 4.42. Çalışmada kullanılan kalker agregaların esneklik modülü-deviatör gerilme arasındaki ilişki.....	82
Şekil 4.43. Çalışmada kullanılan kalker agregaların esneklik modülü-toplam gerilme arasındaki ilişki.....	83
Şekil 4.44. Gaziantep bazalt agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği.....	84
Şekil 4.45. Gaziantep bazalt agregasının esneklik modülü-toplam gerilme grafiği ..	84
Şekil 4.46. Polatlı bazalt malzemesine ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği.....	85
Şekil 4.47. Polatlı bazalt malzemesine ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği.....	85
Şekil 4.48. Emirdağ bazalt agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği.....	86
Şekil 4.49. Emirdağ bazalt agregasına ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği.....	86
Şekil 4.50. Isparta bazalt agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği ..	87
Şekil 4.51. Isparta bazalt agregasına ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği	87
Şekil 4.52. Çalışmada kullanılan bazalt agregaların esneklik modülü-deviatör gerilme arasındaki ilişki.....	88
Şekil 4.53. Çalışmada kullanılan bazalt agregaların esneklik modülü-toplam gerilme arasındaki ilişki.....	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2-1. Bazı kayaçların tipik Los Angeles aşınma kaybı değerleri	18
Çizelge 3-1. Ayırıştırıcı çözeltide kullanılan tuzlar	26
Çizelge 3-2. Numuneler için kullanılacak elek açıklığına göre malzeme miktarları	35
Çizelge 3-3. Deneye alınacak malzeme miktarları	38
Çizelge 3-4. AASHTO TP46-94 Temel/Alt temel malzemeleri için Mr deney şeması.....	58
Çizelge 3.5. Numunelerde uygulanan yükleme ve Mr (Esneklik Modülü) değerleri	58

1. GİRİŞ

Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şeklidir. Esnek üstyapılarda kütleli miktarda kullanılan malzemelerin başında granüler malzemeler gelmektedir. Üstyapıdaki granüler tabakalar kaplama tabakası ile taban zemini arasında yer alırlar ve kaplamadan gelen araç yüklerini bünyesine alarak bu yükleri azaltır ve daha az dirençli olan taban zeminine iletirler. Bu şekilde araçlar tabanda aşırı deformasyonlar oluşturmadan defalarca yoldan geçebilirler. Kısaca granüler tabakalar için üstyapının taşıyıcı iskeleti benzetmesi yapılabilir. Bu malzemelerin mekanik özelliklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenebilmesi için, düşey yükten dolayı oluşan gerilmelerin büyüklüğü ve frekansı, malzeme gradasyonu ve sıkıştırılma şartları gerçek ortam şartlarına en uygun şekilde dikkate alınmalıdır. Bu trafikten kaynaklanan dinamik yüklerin de temsil edildiği kompleks deney yöntemlerinin uygulanması önem kazanmaktadır.

Yol üstyapısının performansına etki eden en önemli hususlardan birisi, temel ve alt temel tabakalarında kullanılan granüler malzemelerin mekanik özelliğidir. Tekerlek yükü etkisiyle, yolun alt tabakalarına intikal eden yüklerinin üstyapıda kalıcı (plastik) deformasyonlar oluşturmaması istenir ve dolayısıyla bu granüler tabakaları oluşturan yapı malzemelerinin (granüler malzemeler) gerçekçi dinamik yükler altındaki elastik davranışının belirlenmesi ve tasarımda dikkate alınması önem arz etmektedir. Gerçekte de araç trafiğinden kaynaklanan yükler tek eksenli ve statik yükler değil, daha karmaşık doğası olan dinamik yüklerdir. Günümüzün modern mekanistik tasarım anlayışında kullanılan malzemelerin performansı elastik özellikleri yani “Esneklik modülü” ve “Poisson oranı” ile ilişkilendirilmiştir. Esneklik modülü laboratuvarında belirli frekans dâhilinde tekrarlı yükler uygulayan “dinamik üç eksenli deney cihazı” yardımıyla belirlenebilmektedir. Uygulanan gerilme durumuna, yükleme süresince ve aralığına, su muhtevasına, numune yoğunluğuna, sıcaklığa ve agrega gradasyonu gibi faktörlere bağlıdır. İyi bir yol tasarım sürecinde, tüm malzemelerin sağlamlık ve dayanım gibi karakteristik özellikleri net bir şekilde belirlenmeli ve kullanılacak optimum seviyede bu malzemeler kullanılmalıdır.

Yol üstyapı inşasında kullanılan granüler malzemelerin özellikleri hususunda mevcut bilgi düzeyi hala sınırlıdır. Bu malzemelerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan deney yöntemleri ampirik temellere dayanmaktadır. Bu şekilde elde edilen parametrelerin günümüzün modern mekanistik üstyapı tasarım süreçlerinde bir girdi olarak kullanılması gerçekçi değildir. Mevcut durumda granüler malzemelerin tam yapısal kapasiteleri kullanılmaktadır. Granüler malzemelere sınırlı düzeyde yapısal-işlevsel görev atanmaktadır. Hâlbuki bu tür malzemelerin özelliklerinin detaylı olarak belirlenmesi ve tam kapasitelerinin kullanılması sağlanırsa daha ekonomik düzeyde ve yüksek verimlilikte üstyapı tasarımı mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada, ülkemizde yol inşaatlarında yoğunlukla kullanılan granüler malzemelerden sedimanter kökenli (kalker) ve volkanik kökenli (bazalt) olmak üzere iki farklı agrega kullanılmıştır. Öncelikle bu malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Elek analizi, Özgül ağırlık, Su emme, Mikro-Deval aşınma, Darbelenme ve Donma-Çözülme deneyleri uygulanmıştır. Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde CBR, Proktor deneylerinin yanı sıra silindir numunelerinin tekrarlı yükler altındaki elastik davranışını incelemek için bilgisayar kontrollü dinamik üç eksenli deney cihazı kullanılmıştır. Bu deney yöntemi bağlayıcısız yol malzemeleri için yoldaki gerçek gerilme durumunu en iyi temsil eden yöntem olduğu için tercih edilmektedir. Dinamik deneyler sonucunda malzemelerin esneklik modülü belirlenmektedir. Çalışmadaki asıl amaç bazalt agregasının yol inşaatında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Ancak bu çalışmada bazalt agregasının uygunluğunun kıyaslanması için yol inşaatında oldukça yaygın olarak kullanılan kalker malzemesiyle karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmada iki farklı mineralojik kökene sahip agrega ile farklı su muhtevaları, farklı agrega gradasyonları, farklı sıkıştırma enerjileri ve farklı yükleme büyüklükleri kullanılmıştır. Bu faktörlerin Esneklik Modülü (MR) üzerindeki etkisi istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenecektir. Böylece ülkemizde kullanılan granüler yol malzemelerinin özellikleri hakkında detaylı bilgi sahibi olunacak ve tasarım aşamasında kullanılabilir güvenilir veriler elde edilecektir.

2. KAYNAK BİLGİSİ

2.1. Karayolu

İyi bir karayolu ağının sağladığı ulaşım kolaylığı, o ülkenin kalkınmasında büyük rol oynamaktadır. Bir ülkenin ulaşımının kolaylaşmasıyla, ülkenin gelişmesin büyük bir hız kazanacağı aşikârdır.

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 1854 yılında Paris ile Perapgnan arasında yapılmıştır. 1836 yılında İngiltere'de yaya kaldırımlarında (Londra), 1838'de ABD Philadelphia 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 vermeye başlanmıştır. Bu nedenle 1922 yılında Nafia Vekâletine 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. II. Dünya Savaşının 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 1950'de Karayolları Genel Müdürlüğü kurularak, karayolları ile ilgili tüm çalışmalar kuruluşa devredilmiştir. Marshall yardımıyla gerekli makine parkı sağlanmış ve yeni teknolojik uygulamalara imkân verecek yol çalışmaları hızla başlatılmıştır.

Ancak Karayolları Genel Müdürlüğü ülkemizdeki ilk yol çalışmalarına, yol standartlarından ziyade, “Tekerlek Dönsün” sloganıyla başlamış ve daha sonra açılan bu yollarda standart yükselme ve iyileştirme çalışmalarına geçilmiştir (İlıcılı, 1985).

Karayolları yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergâh 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.

2.1.1. Karayolu alt yapısı

Karayolunda tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye “ Karayolu Altyapısı” adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde dışarıdan getirilen toprak ile oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Alt yapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapı tarafından istenilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa, yolu dış etkilerden korumaktır. Bu görevlerin yerine getirilebilmesi için trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapının oluşturulmasında, bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırılmaya elverişli olmayan zeminlerin kullanılmaması gerekmektedir. Bu nedenle altyapıyı oluşturan zemin özelliklerini çok iyi etüt edilmeleri gerekmektedir (İlıcılı, 1988).

Bir esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan doğruya ilgili olduğundan, taban zemininin üstyapıya istenilen desteği sağlayacak şekilde hazırlanması gerekir. Bu yüzden taban zemininin tesviye yüzeyine kadar iyi sıkıştırılması gerekmektedir.

Taban zeminleri dolgularda zemin cinsi ve sıkıştırma ekipmanının kapasitesine uygun kalınlıklardaki tabakalar halinde serilip, sıkıştırılmalıdır. Tabaka kalınlığı killi zeminlerde genellikle 20-25 cm, granüler zeminlerde 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 düzeltilmelidir. Bu malzemede optimum su muhtevasında maksimum yoğunluğa erişinceye kadar sıkıştırılmalıdır (Umar ve Ağar, 1985).

Karayollarında taban zemininde yer altı suyuna dikkat edilmelidir. Özellikle taban zemininin ve buna bağlı olarak ta üstyapının bozulmasında büyük etki yaratan suyun drenajı en iyi şekilde yapılmalıdır. Su, zeminlerle temas ettiğinde Donma-Çözülme etkisiyle zemini gevşettiğinden taban zemininin taşıma gücünü düşürmektedir. Taban zemininin, taşıma gücünün düşmesiyle hem yol altyapısında hem de üstyapıda bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bakımdan suyun, yolun ömrü boyunca tabandan ve üstyapı tabakalarından uzaklaştırılması sağlanmalıdır.

2.1.2. Karayolu üst yapısı

Taşıtlardan kaynaklanan dingil yüklerini altyapının taşıyabileceği değerlere indirmek, alt yapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacıyla altyapı üzerine yerleştirilen çoğunlukla alttemel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı yol yapısını “Karayolu Üstyapısı” adı verilir (Yılmaz, 2008).

Üstyapılar kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, niteliklerine ve yapım yöntemlerine göre Rijit (Beton yol) ve Esnek (Asfalt yol) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Üstyapı tipi seçilirken; taban zemini, trafik, çevre şartları ve ekonomik faktörler dikkate alınıp, en uygun üstyapı seçilmektedir.

Çimento betonu ile yapılan kaplamalarla oluşturulan üst yapıya “Rijit Üstyapı” ya da “Beton Yollar” denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi trafik yüklerini tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktadır. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakaların özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen temel ve alt temel tabakaları ile mevcut taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle projelendirme sırasında, taban zemini, temel ve alt temel malzemeleri betonu oluşturan kum, çakıl, çimento ve betonarme demiri gibi malzemelerin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Beton yollar enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmış 20-25 m² alana sahip plaklar halinde inşa

edilmektedir. Beton plağın rijitliğinin yüksek olması nedeniyle taban zemininde oluşan gerilmeler geniş alana yayılır.

Bitümlü kaplama tabakaları ile oluşturulan üstyapılara “Esnek Üstyapı” denir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alt temel tabakaları vasıtasıyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi, adezyon, dane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır (Fındık, 2005).

2.1.3. Esnek üstyapılar

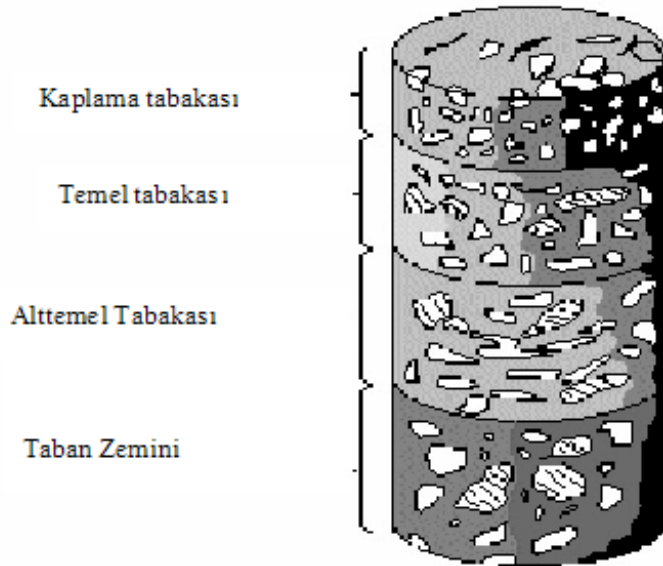
Bir karayolu üstyapısı, trafiği güvenli olarak ve ekonomik bir şekilde taşımak zorundadır. Güvenli olarak taşıma, araç tekerliği ile üstyapı yüzeyi arasındaki sürtünme ile sağlanır. Ekonomi ise yapım sırasında kullanılan malzemelerle, işletme ve taşıt maliyetleri ile ilgilidir.

Bir esnek üstyapı, aşınma tabakası, temel tabakası ve alttemel tabakalarından oluşur ve üstyapının üst kısmından taban zeminine inildikçe, tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, kaliteleri düşer. Bu tabakalanma durumunu belirleyen proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemini dayanımı gibi kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Bir esnek üstyapıda en üstteki tabaka kaplama tabakasıdır. Bu tabaka aşınma ve binder olarak iki kısımda oluşur. Bu tabakanın trafiği emniyetli ve konforlu bir şekilde geçirebilmesi için yeterli pürüzlülükte üniform bir yuvarlanma yüzeyine sahip olması gerekir. Ayrıca aşınma tabakalarının, taşıtlardan su sıçramasını ve yol yüzeyindeki küçük havuzcukların oluşmasını önlemek için drenaj tesislerine de sahip olması gereklidir. Aşınma tabakasında binder tabakasına göre daha ince malzeme kullanılır (Umar ve Ağar, 1991).

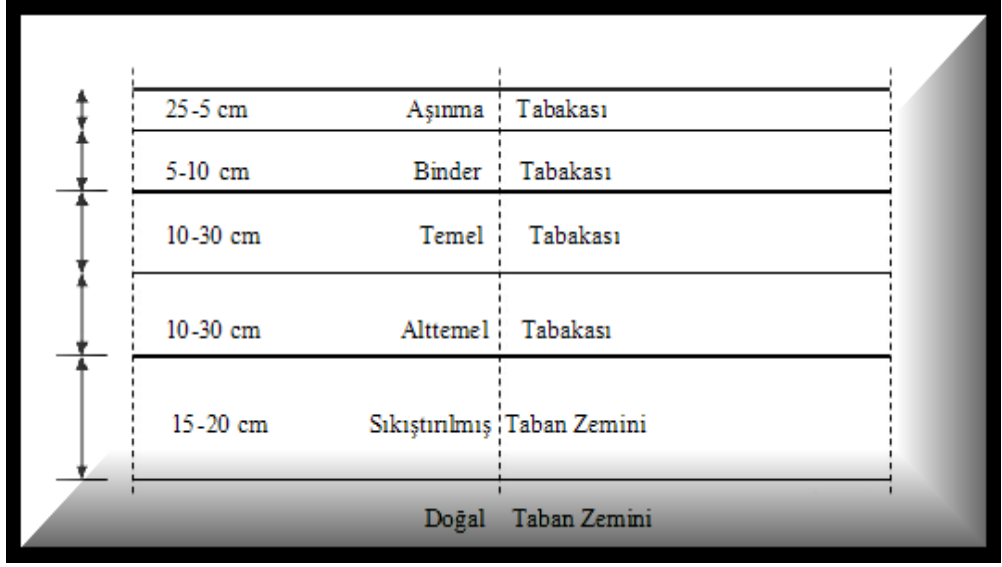
Esnek üstyapılar, çekme dirençleri fazla olmayan malzemelerden yapılmış alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşur. Trafik yüklerinin bu tabakalardan geçerek taban zeminine iletilmesi, zemin içindeki klasik yük dağılışı gibidir. Yani tekerlek yükleri altında esnek üstyapı deforme olur ve her tabaka, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletir. Böylece, taban zeminine ulaşan yük kısmen büyük

bir alana yayılmış olur. Esnek üstyapıda oluşan gerilmelerin değeri yolun en üst tabakasından alta inildikçe düştüğü için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri de bu gerilme dağılımına uygun olarak seçilir. Bitümlü karışımlardan, asfalt betonundan yapılan kaplama tabakası, trafiğin iklimin bozucu etkilerine doğrudan doğruya maruz kaldığı için, yüksek elastisite modülü, kaymaya direnç yanında geçirimsizlik özelliğine de sahip bulunmalıdır.

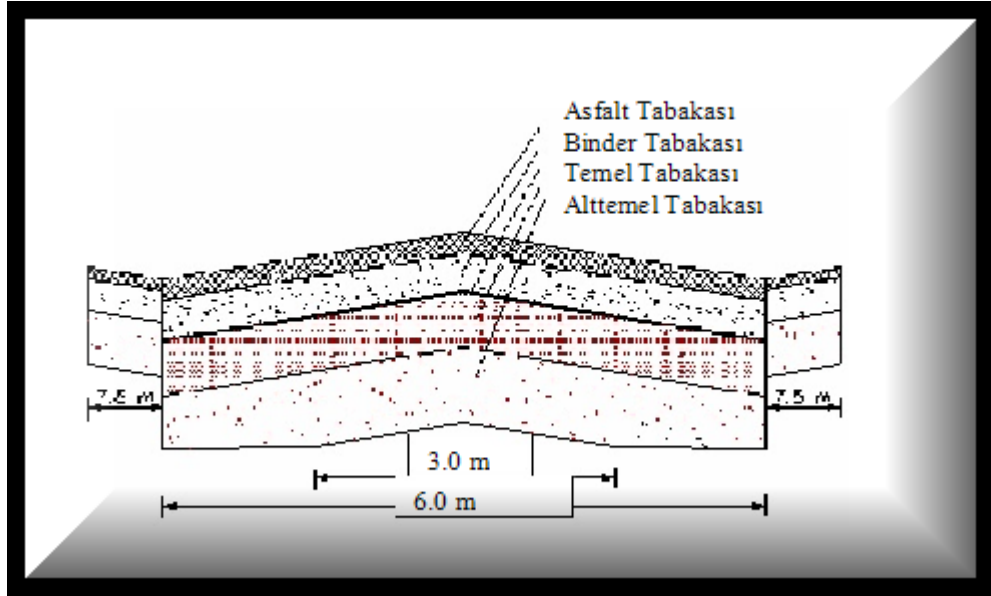
Aşınma tabakasının altında, üstyapının oturduğu doğal zemin olan taban zeminini koruyan temel tabakası bulunur. Temel tabakası bir veya birden fazla tabakadan oluşabilir. Temel tabakasının asıl görevi taşıtların geçişlerinden dolayı gerilmeleri taban zeminin taşıma gücü sınırları içinde yaymaktır. Temel tabakası duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcılı karışım, stabilize edilmiş veya dikkatle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Esnek üstyapı tabakaları Kaplama, Temel, Alttemel, Taban zemininden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Ayrıca üstyapı en kesiti de şekil 2.2’de gösterilmektedir. Esnek üstyapıların dizaynında platform genişliği, banket genişlikler, hendek ve şevler oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.1. Tipik bir esnek üstyapı kesiti



Şekil 2.2. Tipik bir üstyapı enkesiti



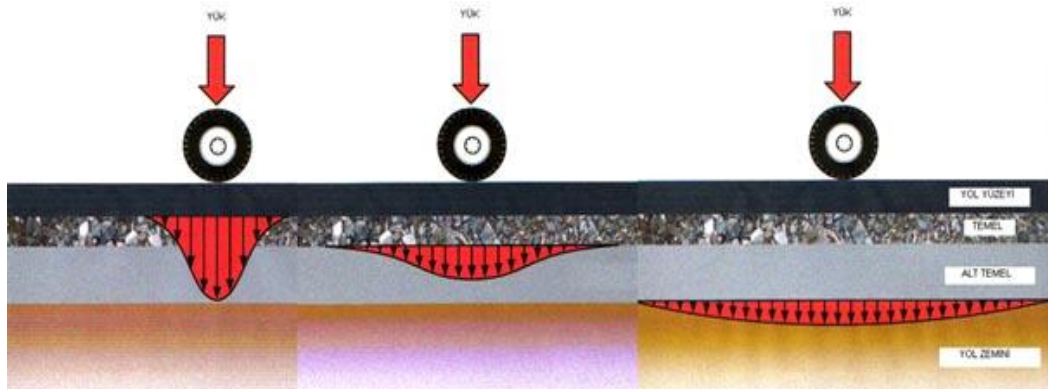
Şekil 2.3. Karayolu esnek üstyapısını oluşturan tabakalar

Temel tabasının altında alttemel tabakası bulunur. Alttemel tabakasının esas görevi, bitümlü tabakaların inşası için çalışma platformu oluşturmaktır. Bu tabakada kullanılan malzemeler genel olarak temel tabakasına göre daha düşük kalitededir ve granüler malzemedir. Mümkün mertebe yerel malzemeler ve yol inşaatında kullanılmaya elverişli malzemeler kullanılmaya çalışılır.

Taban zemini, sıkıştırılmış doğal zeminden oluşur. Yapısal olarak en önemli tabakadır. Üstyapı yükü son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın esas görevini iyi yapabilmesi için iyi bir drenaja ihtiyacı vardır (Karaşahin, 1993).

2.1.4. Esnek üstyapılarda taban zemini

Esnek üstyapılar, yapılış esasına göre kaplama, temel, alt temel tabakaları ve taban zemininden oluşmaktadır (Şekil 2.4). Bu tabakalı yapı, trafik yüklerini kaplama tabakasından alarak temel ve alttemel tabakasına, en son olarak taban zeminine iletir.



Şekil 2.4. Esnek üstyapı bünyesindeki tabakalar

Trafik yükleri taban zeminine üstyapıdan itibaren yayılarak etki eder. Esnek üstyapılardaki bitümlü ve granüler tabakalar yükün taban zeminine geniş bir alanda etki etmesini sağlar. Genellikle doğal zeminden inşa edilen taban zemininin üstyapıya geçilmeden önce zemin özelliğinin laboratuvar ortamında belirlenmesi gerekir. Buna bağlı olarak, zemin taşıma gücü, donma kaybı ve o bölgedeki yer altı su seviyesine bağlı özelliklerinin belirlenerek, yol taban zemini standartlarına uygun olup olmadığı belirlenmelidir. Esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan ilişkili olduğundan, taban zemini üstyapıya istenen desteği sağlamalıdır (Brown, 1985).

Taban zeminleri, zemin cinsine ve sıkıştırma ekipmanının kapasitesine uygun kalınlıklarda tabakalar halinde serilip, sıkıştırılmalıdır. Tabaka kalınlığı, killi zeminlerde genellikle 20-25 cm, granüler zeminlerde 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 düzeltilmelidir. Bu malzeme de optimum su muhtevasında maksimum yoğunluğa erişinceye kadar sıkıştırılmalıdır. Taban zeminlerinin maksimum kuru yoğunluğu $1.45t/m^3$ 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 vd., 1985).

Projelendirme sırasında taban zemininin dona karşı hassasiyeti belirlenmelidir. Genel olarak, don olayı için uygun olan koşullarda (düşük hava sıcaklığı, yüzey veya yeraltın 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.

2.1.5. Taban zemininde kullanılan malzemelerin özellikleri

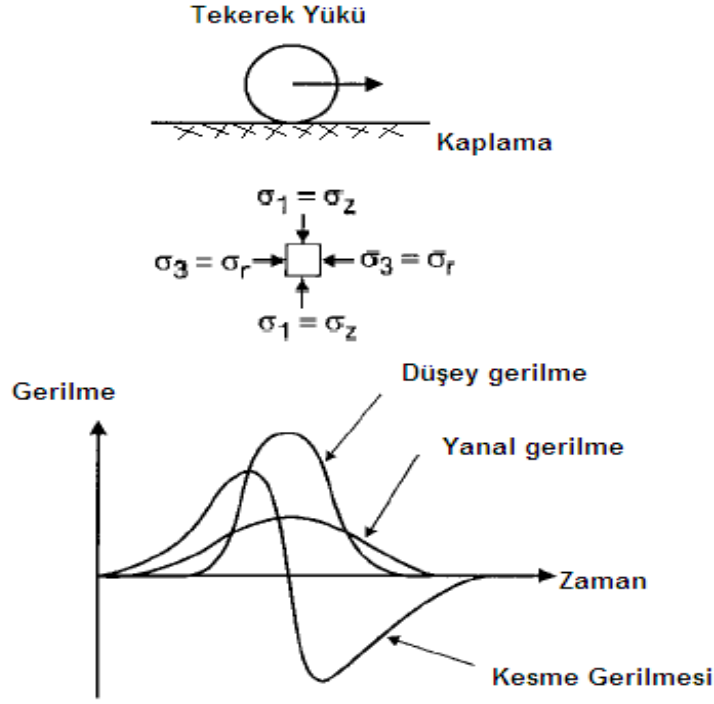
Yol yapımında malzeme kalitesi kaplama tabakasından alttemel tabakasına kadar üstyapı olarak belirlendiğinden, bu tabakalarda yukarıdan aşağıya doğru inildikçe malzeme kalitesi azalmaktadır. Fakat taban zeminine göre iyi kaliteli seçme malzemelerden, ekonomik etkenler de göz önünde bulundurularak granüler malzemeler kullanılmaktadır. Taban zemininde, yol güzergâhının 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 (Boyce, 1976). Dolayısıyla taban yüzeyi altındaki

zeminin özelliklerinin yol standartlarında olması gerekmektedir. Zeminin yol taban zemininde kullanılabilmesi için taşıma gücü, donatı 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.

2.1.6. Üstyapıdaki yük tekrarları

Yük tekrarlarının üstyapı tabakaları üzerindeki etkileri 1950'li yıllardan itibaren çeşitli ülkelerde incelenmeye başlamıştır. 1960'dan sonra başlayan yoğun çalışmalarda ise laboratuvarında hazırlanan karışım numuneleri yol koşullarına benzer şekilde tekrarlı yüklerle maruz bırakılarak, gerilme ve deformasyon özellikleri incelenmiştir (Sweere, 1990).

Karayolu üstyapısındaki gerilme durumu daha çok malzemenin maruz kaldığı düşey ve yatay gerilmelerle ilgilidir. Üstyapıya etkiyen gerçek gerilmeler; tekrarlı düşey ve yatay gerilmeler ile kesme gerilmesinden oluşur. Bu gerilmeler tekerlek yükü aracılığıyla oluşan σ_1 , σ_2 , σ_3 temel gerilmelerinin bir varyasyonudur. Üstyapının belirli bir kesitinden geçen düşey yük zamana bağlı olarak yarım sinüs dalgası şeklindedir. Trafığın kompozisyonuna göre de yükleme frekansı değişir (Shaw, 1980). Tekerlek yükü sebebiyle üstyapı içerisindeki tipik bir malzemeye etkiyen gerilmeler ve bu gerilmelerin zamanla değişimi Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5. Tekerlek yükü altındaki üstyapı malzemesine etkiyen gerilmeler (Lekarp, 2000)

2.2. Agregalar

2.2.1. Tanım

Agrega yol yapım ve bakım çalışmalarında kullanılan ana malzemedir. Üstyapının ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bakımdan agregaların özellikleri, yol mühendisleri için çok önemli olup, değişik agrega tiplerinin karakteristiklerinin bilinmesi yolların projelendirilmesi için gereklidir.

2.2.2. Agregalar ve kökeni

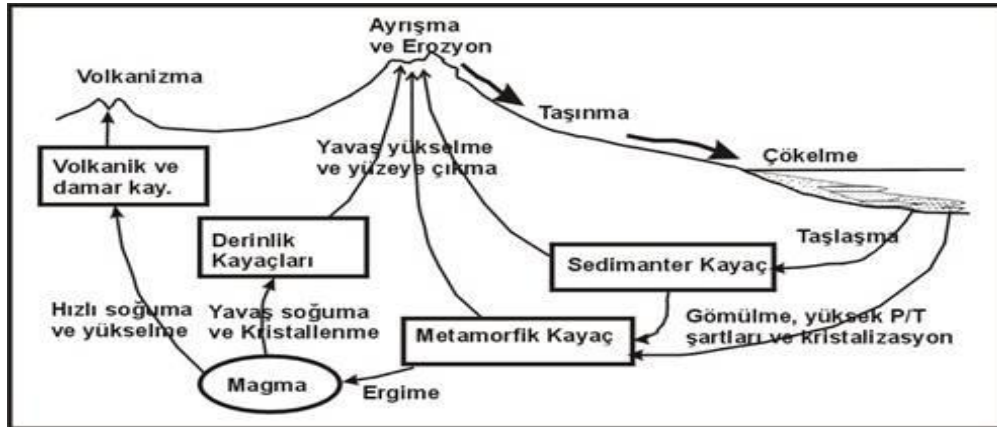
Yapı malzemesi olarak kullanılan, doğal mineraller ve kayalar “Mineral Agregalar” olarak adlandırılırlar. Doğal mineral agregaların birleşimi kayalar ve minerallerdir. Mineraller, kimyasal bileşimleri tanımlanmış, özel kristal yapısına sahip doğal oluşumlardır. Kayalar ise bu minerallerin bir araya gelmesiyle oluşmuşlardır. Gelişen teknoloji ve bayındırlık faaliyetlerinin hızla artması bu kayaların çeşitli şekillerde kullanılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Baraj, tünel ve yol inşaatlarında, hafriyat işlerinde, maden ve petrol aramalarında mühendisler kayalarla iç içedir.

İnşaat sektöründe bu derece önemli olan kayaçların mühendislik özelliklerinin bilinmesi gerekir (Allen, 1974). Bu nedenle, kayaçlar ve bunları oluşturan minerallerin özelliklerini kısaca şu şekilde özetleyebiliriz;

Doğal agregaları meydana getiren kayaçlar, kökenlerine göre;

- Magmatik,
- Metamorfik,
- Sedimanter

olmak üzere üç temel grupta yer alırlar. Kırmataş olarak kullanılan bu parçaları, bağlayıcı yardımı ile bağlandıklarında, beton, harç, asfalt betonu veya benzeri sağlam kütleler meydana getirirler. Kırmataş olarak kullanılan bu kayaçların sınıflanması Şekil 2.6’te verilmiştir (Esenli, 1996).



Şekil 2.6. Magmatik kayaçların oluşumu (Esenli, 1996)

2.2.3. Magmatik kayaçlar

Sert, dayanıklı ve yoğun oldukları için volkanik kayaçlar mükemmel bir agrega kaynağı olarak bilinmektedir. Bununla birlikte bazı volkanik kayaç türleri çok gevrek, bazıları ise oldukça gözenekli bir yapıya sahiptir. Agregaların dayanımı ve sertliği son malzemenin mekanik bozulmaya karşı direnç kapasitesini etkiler.

Yumuşak ve zayıf parçacıkların işleme ve karıştırma sırasında parçalanıp kırılması karışımlarda zararlı etki yaratmaktadır. Bu tip bozulmalar agreganın gradasyonunu

etkileyerek trafik ve atmosferik ortam etkilerini ağırlaştırır. Yol üstyapısındaki bozulmaların birincil veya ikincil nedeni uygun olmayan agrega kullanımı veya kullanılan agregaların istenmeyen maddeler içermesidir. Magmatik kayalar yerin derinliklerinde akkor (erilmiş) vaziyette bulunan magmanın, yerin içinde ve yüzeye yakın derinliklerinde veya yüzeyde soğuyarak katılaşmasıyla oluşan kayalardır. Magma yer içinde bulunan gazlarla doymuş yüksek basınç ve sıcaklıkta olan ergimiş, silikatların heterojen karışımıdır. İçerdikleri SiO₂ yüzdesine göre bu kayaları oluşturan magmalar, asit (granit), nötr (andezitik), bazik (bazaltik) ve ultrabazik magma (peridotitik) tiplerine ayrılırlar.

Magmanın ortalama sıcaklığı yaklaşık 1300 °C kadardır. Magma yerin derinliklerinde ve yüzeyde hareket edebilir. Magmanın yerin derinliklerindeki hareketlerine plütonizma, yeryüzündeki hareketlerine de volkanizma adı verilir. Magmatik kayalar ekstrusif (dış volkanik) ve intrusif (iç volkanik) kayalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Dış volkanik kayalar, volkanik hareket gibi sebeplerden dolayı yeryüzüne çıkmış olan malzemelerden oluşmakta ve genel olarak camsı yapılardan seçilmektedir (Riolit, Bazalt, Andezit, vs.). İç volkanik kayalar ise yer kabuğunun derinliklerinde soğuma ve tabakalaşma sonucu meydana gelmiştir. Bunlar bütünüyle kristal dokuya sahiptir (Granit, Diorit, Gabro, vs.). Yeryüzünün altında orijinal şekilde oluşmalarının yanında, genellikle yeryüzü hareketleri ve erozyondan dolayı günümüzde yüzeyde de bulunmaktadır.

Magmatik kayalar genel olarak aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir:

- Magmatik kayalar ergimiş silikat karışımı halinde olan magmanın çeşitli derinliklerde katılaşmasıyla oluştuğu için sedimanter kayalarla hiçbir ilişkisi yoktur. Yani fosilsizdir.
- Magmanın çeşitli ısıda katılaşmasıyla kayalar meydana geldiği kristalli ve yarı kristalli olabilirler.
- Tabakalı bir yapıları yoktur. Yalnız soğumadan dolayı sütunsal bir yapı kazanırlar.
- Magmatik kayalar kütle halindedir.

Magmatik kayaçların oluşumunda, dolayısıyla bu kayaçların değişik yapı ve doku kazanmalarında magmanın hareketinin yerleşme derinliğinin önemi büyüktür.

Magmatik kayaçlar oluşum derinliklerine göre 3 alt gruba ayrılırlar. Bunlar;

- Derinlik Kayaçları (Plütonik Kayaçlar)
- Yarı Derinlik Kayaçları (Damar Kayaçlar)
- Yüzey Kayaçları (Volkanik Kayaçlar)

Söz konusu magmatik kayaçların doğal taş olarak kullanılabilirliğiyle ilgili olarak çok sayıda çalışma yapılmıştır (Konak 2009, Kirca 2001). Ayrıca andezitik bileşimli volkanik kayaçların yol agregası olarak kullanılabilirliği üzerinde küçük çapta çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalardan olumlu sonuçlar alınmıştır (Kılıç, 2003).

2.2.4. Bazalt agregası

Bazalt doğada en yaygın olarak bulunan volkanik kayaç grubunu teşkil eder. Çok geniş alanlarda yayılıma sahip lav akıntıları olup, bazen yüzlerce kilometrekarelik alanları kaplayacak şekilde bulunabilirler. Yerkabuğunun 2,5 milyon km² den fazlasını bazalt örter. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'deki gibi bazaltlar ayrıca subvolkanik koşullar altında gelişmiş dayk, sil ve baca dolguları şeklinde de bulunabilirler.

Bazalt esas olarak Si₂O₂, Al₂O₃, MgO, CaO'dan meydana gelmektedir. Bunların dışında bileşim az miktarda Na₂O, K₂O, P₂O₅, MnO ve TiO₂ oksitlerini de içermektedir (Elliot, 1996).



Şekil 2.7. Bazalt agregasının doğal görünüşü



Şekil 2.8. Bazalt agregası örnekleri

Bazalt lavları volkanlardan çıkarken içerlerindeki gazlar uçar ve taşın içinde boşluklar oluşur. Bu türlere boşluklu bazalt denir. Bu boşluklar çeşitli minerallerle dolar. Bazaltın birçok türü vardır ve bunlara içindeki feldispatın cinsine göre isim verilir. Bazaltlar yeryüzünde dayk, sil, örtü, akıntı gibi pek çok halde bulunur. Türkiye’de bazaltlara spilit, pilow lavı, akıntı veya geniş platolar ve örtüler halinde pek çok yerde rastlanır. Bunların büyük bir kısmı Miosen sonrası ve Kuvaterner başındaki püskürmelerle oluşmuştur (Ünsal, 1993)

Bazaltik lavlar bacası, yarık ve çatlaklar aracılığı ile yayılırlar. Okyanus sırtlarından çıkan bazaltik lavlar, deniz suyu içinde yastık lavları şeklinde katılaşırlar. Bazaltik lavların yüzeye çıkarak katılması sonucu, volkanizmanın karakteri ve ortam koşullarına bağlı olarak çeşitli killer kazanırlar. Bu ürünler akıcı lavlar veya ani çıkışlı patlamalı proklastik maddeler veya killer şeklindedir.

Yanardağ çıkışlı bazaltlar, çeşitli evrelerde üst üste yığılarak tabakalı yapılar kazanırlar. Çatlak çıkışlı lavlar ise çoğunlukla geniş alanlara yayılırlar.

Tabakalı istifler akma yapıları gösterirken, karasal çıkışlı lavlarda, masif, aglomeratik kolon yapıları izlenir. Bazalt yüksek çekme mukavemeti, alkalilere karşı yüksek direnci, yüksek termal iletkenliği, kanserojen yada diğer sağlık sakıncaları içermemesi, inert olması sayesinde dış etkenlerden etkilenmemesi, asit gibi agresif kimyasallara karşı yüksek direnci, iyi yorulma dayanımı ve elektro-manyetik direnci sayesinde pek çok alanda kullanılmaktadır (Yılmaz, 1997).

2.2.4.1. Bazalt agregasının kullanım alanları

Ticari olarak siyah volkanik kayalar denilen bazaltların üretim yerlerinin, tüketim alanlarına yakınlığı büyük önem taşımaktadır. Bu kayalar, ocaklardan kırma taş olarak çıkartılırlar. Kırma taş şeklinde yol yarmalarında veya duvar yapımında kullanılırlar. Mıçır boyutunda kırılarak karayolu yapımında barajlarda dolgu maddesi, demiryolu balastı, çimento harcı gibi alanlarda tüketilirler. Ayrıca nükleer reaktörlerin duvarlarında kullanılan çimentoya yüksek yoğunluklu harç olarak katılırlar. Aynı zamanda kıyı koruma yapılarında da bloklar halinde kullanılmaları söz konusudur. İzolasyon amaçlı kullanımları da mevcuttur.

Bazaltların yoğunluğu yapıtaşı olarak kullanılması için uygundur. Ayrıca patlayıcı vasıtası ile kolay parçalanmaları kimyasal ve mekanik etkilere karşı dayanıklı olmaları aranan özellikleridir. Buna karşı radyoaktivite ölçümlerinin yapılması, asbest gibi lifli mineraller bulundurmamaları istenir. Bu gibi kayaların kullanım alanları ile ilgili birçok esas ve standartlar mevcuttur.

2.2.5. Diğer mekanik özellikler

Karışım içindeki agregaların karıştırma, donanım, trafik ve hava etkileri sonucu mekanik bozulması genelde agreganın dayanıksız olmasına bağlı olmaktadır. Mekanik bozulma agrega tanelerinin nokta teması sonucu kırılması ile gerçekleşir, kırıcı hareket danelerin birbirine aşındırıcı teması sonucu daha da artar. Mekanik

kökenli agregalar mekanik dayanım yönünden diğer agregalara göre daha üstündür (Karacan, 2006).

Agregaların aşınma özellikleri, üretildikleri kayaların türlerine göre değişim göstermekte ve bu özellikler agregaların üstyapı içerisindeki performansında etkili olmaktadır. Farklı cins agregalara ait aşınma dayanımı özellikleri Çizelge.2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2-1. Bazı kayaların tipik Los Angeles aşınma kaybı değerleri (Deney Metodu ASTM C31)

Kayaç Tipi	Tipik L.A. Aşınma Kaybı(%)
Sert, Volkanik Kayalar	10
Yumuşak Kireçtaşları Ve Kumtaşları	60
Bazalt	10-17
Dolomit	18-30
Gnays	33-57
Granit	27-49
Kireçtaşı	19-30
Kuartz	20-35

Mekanik gerilim, üretim ve taşıma öncesi (karışım, yerleştirme ve sıkıştırmayla ilgili olarak) kompaksiyon esnasında, agrega kullanıma girdikten sonra sabit ve değişken yük ve gerilim altında meydana gelebilir. Bu tür gerilim altında agregalar basınç ve darbe nedeniyle çatlayabilir veya parçalanabilir. Agreganın parçalanma aşınmaya direnci sertlik, sıklık ve klivaj gibi doğal özellikleri ve kayaç bileşenlerinin bireysel özellikleri tarafından son derece etkilenir.

Performansı da, porozite, boyut, mineral-kayaç tane şekli, bu taneler arasındaki kohezyon kuvvetleri ve düzeni gibi dokusal özelliklerine, katmanlaşma, tabakalaşma çatlağı, sistozite, makaslama gibi zayıflıklarla ilişkili kayaç bileşenlerinin yapısal

karakteristiklerine ve kırık, çatlak, damar, katmanlaşma gibi kayacın müşterek süreksizliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Parçalanma direnci darbe ve basınç altında gevreklik kavramı olarak tanımlanır, sertlik ve poroziteden daha az da olsa, yukarıda değinilen özelliklere bağlıdır. Parçalanma direnci, kayacın içerdiği mineral taneleri arasındaki kohezyon kuvvetlerine özellikle hassasiyet gösterir. Kaba tane boyutunda bir kayaç tipi için özellikle bazı mineralleri dilinim gösteriyorsa, parçalanmanın oluşması daha kolay olacaktır. Örneğin, iri kristalli metamorfik kireçtaşı ince taneli sedimanter kireçtaşına göre parçalanmaya karşı daha az direnç gösterir. İnce taneli volkanik kayaçlar da, plütonik eşdeğerleri ile kıyaslandığında (örneğin granit, aynı mineralojik kompozisyona sahip olmasına karşılık riyoilitten) nispeten kaba taneli kayaçlardan daha sağlamdır (Davraz, 2007).

2.3. Daha Önceden Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Ülkemizde agregalarla ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıdaki paragraflarda verilmiştir.

Esenli (1996), kırmataş hammaddelerini ve standartlarını araştırmıştır. Doğal kırmataş kaynaklarının jeolojik tanımlamaları yapılmış ayrıca ekonomik önemlerinin hızla arttığı günümüzde kırma taşların kalite özellikleri, kullanım alanları ve bu alanlarda ne şekilde kullanılmaları gerektiği ele alınmış, kırmataş standartlarına özet olarak yer verilmiştir. Sonuç olarak kırmataş talebinin ve kullanımının hızla arttığı günümüzde bu konunun daha ayrıntılı olarak ele alınması ve standartlardaki kırmataş kapsamının genişletilmesi yönünde çalışmaların yapılmasının gerekli olduğu belirtilmiştir.

Standartlarda teknik bilgilerin artması ekonomik açıdan yarar sağlayacağı gibi kullanım esnasında zamandan da tasarruf sağlanacağı ve seçilecek kırma taşın teknolojik uygulamasının daha kaliteli ve hızlı bir şekilde gerçekleşebileceği belirtilmiştir.

Kırca (2001), Isparta ve yöresinde bulunan agrega potansiyellerinin değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma yapmıştır, yapılan bu çalışmada, özellikle mevcut agrega ocaklarına uzak bölgelerde bulunan agregaların beton imalinde

kullanılıp kullanılmayacağı incelenmiştir. Sonuç olarak Sütçüler-Menteşe yöresinden alınan doğal agreganın granülometri eğrisi TS standartlarında tanımlanan eğrinin dışında olduğu saptanmış ve agreganın iyileştirme yapılmadan beton yapımında kullanılmasının uygun olmadığı anlaşılmıştır. İnce ve iri agreganın özgül ağırlık ve su emme oranları beton yapımında kullanılabilir nitelikte olduğu saptanmıştır. Birim ağırlık açısından agreganın beton üretimine uygun olduğu belirlenmiştir.

Kılıç ve Keskin (2003), Adana-Yılkale, Ceyhan ilçesi giriş ve çıkışında bulunan üçtaş ocağından elde edilen kireçtaşlarının kırmataş (agrega) olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yapılan çalışmada, birim hacim ağırlık, porozite ve dona karşı dayanım gibi fiziksel özellikler belirlenmiştir. Ayrıca, tek eksenli basınç direnci, çekme dayanımı gibi mekanik özellikler bulunmuştur. Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda, bölge kireçtaşlarının kırmataş (agrega) olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Akpınar vd. (2004), Yapılan çalışmada agregaların tanımı yapılmış, sahip olması gereken genel özellikler belirtilmiş ve yapı sağlamlığı açısından agregaların betonda sağladığı işlevler anlatılmıştır. Üç farklı bölgeden alınan numunelere TSE tarafından belirlenen ilgili kurallara bağlı kalarak fiziksel, kimyasal ve mekanik uygunluk testleri yapılmıştır. Sonuç olarak, tüm numuneler 28 gün sonundaki tek eksenli basınç deneylerinde tatmin edici sonuçlar verseler de en dayanımlı beton, bazalt agregasından yapılan üretim ile elde edilmiştir .

Binici ve Çağatay (2004), Osmaniye’de kullanılan sekiz ayrı bölgeden alınan agregaların değişik özellikleri, beton yapımında kullanılıp kullanılmayacağını ilgili TS standartlarına göre araştırmıştır. Agregaların birim ağırlıkları, özgül ağırlıkları, su emme kapasiteleri, organik madde miktarı, Los Angeles aşınma miktarları, porozite, kompozite, tane şekli, yüzey tekstürü, granülometri eğrileri deneysel olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, incelenen özellikler açısından agregalar hissedilir değişkenlikler göstermiştir. Alınan örneklerden bazılarının kullanılamaz olduğu bazılarının iyice yıkanarak ve granülometrisi düzeltilerek kullanılabilmesi ve bazılarının da iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Arslan ve Demir (2005), Kırşehir yöresi taş ocaklarından elde edilen kırmataş agregalarının mühendislik özelliklerini incelemiştir. Seyfe, Obruk, Keçikale, Küçükbüklüm, Demirli, İnaç ocakları ve Kızılırmak havzasından deney numuneleri alınmıştır. Numuneler üzerinde tane dağılımı, özgül ağırlık, su emme, birim ağırlık, donma çözülme, aşınma dayanımı, tane şekli, sülfat miktarı, klorür miktarı, alkali-agrega reaksiyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; Seyfe, Demirli ve Kızılırmak agregalarının su emme oranlarının yüksek olduğu ayrıca Seyfe agregasında aşınma kaybının da yüksek olduğu bu agregaların diğer özellikleri bakımından standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan Keçikale agregalarının belirtilen özellikleri bakımından en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

Temiz vd. (2006), Kahramanmaraş ve Gaziantep'te önemli oranda kullanılan agregaların değişik özelliklerini, ilgili TS standartlarına göre araştırmıştır. Agregaların birim ağırlıkları, özgül ağırlıkları, su emme kapasiteleri, organik madde oranı, aşınma miktarları, granülometri eğrileri ve don etkisine karşı dayanımları deneysel olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, agrega içinde betona zarar verebilecek oranda ince ve hafif maddeler bulunduğu ve bu maddelerin elenerek ve yıkanarak uzaklaştırıldığı belirlenmiştir. Agregaların aşınma direnci değerleri standardın öngördüğü sınır değerlerin altında kalması sayesinde beton agregası olarak kullanılması yanında yol betonu ve bitüm betonu agregası olarak da kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Karacan ve Doğan (2006), Zonguldak-Sapça taş ocağından alınan agrega numunelerinin fiziksel, mekanik, dayanıklılık özelliklerinin deneysel yöntemle belirlenmesi, belirlenen özelliklerin TS ve ASTM standartlarına uygunluğunu araştırmıştır. Sonuç olarak, dokuz adet agrega numunesinin bazıları standartları sağlarken bazılarının sağlayamadığı görülmüştür.

Öztürk vd. (2007), ülke genelindeki agrega üretim faaliyetlerinin bir anlamda fotoğrafını çekerek, sektörün büyüklüğü, gerekliliği, sorunları, çözüm önerileri ve ileriye dönük beklentileri araştırmış ve bir rapor halinde ortaya koymuştur.

Turabi ve Okucu (2007), Balıkesir ili yol çalışmalarının temel tabakalarında kullanılan üç farklı agreganın özelliklerini incelemiştir. Agregaların özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvarında, elek analizi, standart Proktor, likit limit, plastik limit ve aşınma deneyleri, arazide doğal birim hacim ağırlık deneyi ve sıkışma kontrolü yapılmıştır. Sonuç olarak yapılan deney sonuçlarına göre Balıkesir ili yol çalışmalarında kullanılan agregaların Yollar Fenni Şartnamesinde aranan özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

Caymaz (2009), beton agregası olarak kullanılan kalker ve dere malzemelerine alternatif olarak baritin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Araştırmalar neticesinde üretilen betonların dayanımlarına bakıldığında barit ile yapılan betonun kalker ve dere malzemesi ile yapılan betonlara göre daha sağlam olduğu tespit edilmiştir .

Konak vd. (2009), İzmir ili inşaat sektörü hammadde ihtiyacını karşılayan kalker işletmelerinin gerekliliğini ve sorunlarını araştırmıştır. Sonuç olarak kireçtaşı açısından ülkemizde herhangi bir sorun yaşanmadığı ancak üretim maliyetleri içinde nakliye giderlerinin fazla olması nedeniyle inşaat sektörünün ihtiyacı olan hammaddelerin kent sınırları içerisinde karşılanmasının esas olduğunu, bu hammaddelerden kireçtaşı üretiminin hem üretim miktarları hem de pazar büyüklüğü açısından ön plana çıkmakta olduğunu, kireçtaşının hazır beton üretiminde yol-altyapı çalışmalarında asfalt üretiminde ve çimento hammaddesi olarak yoğun olarak kullanılmakta olduğu belirlenmiştir.

Mevcut kalker ocaklarının kentsel faydayı sağlayacak şekilde ilin ihtiyacı olan kireçtaşını çevresel etkileri de ön planda tutarak temin etmek zorunda olduğunu, ayrıca yeni açılması düşünülen kalker ocaklarının kentin duyarlılıkları ön planda tutularak projelendirilmesi gerektiği vurgulamıştır.

Akbulut vd. (2006), Afyonkarahisar bölgesi yol üstyapılarında yaygın olarak kullanılan volkanik kökenli bir agrega numunesi üzerinde Los Angeles aşınma ve darbelenme aşınması özelliklerini incelemiştir. Sonuçlar volkanik kökenli bir agrega numunesi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kaplamalarda kullanılacak agregaların kompaksiyon ve trafik yükleri altında kırılma ve aşınmaya karşı direncini tespit

etmek için yapılan Los Angeles aşınma deneyi ile darbelenme deneyleri sonuçlarına göre her iki numunede sınır değerleri sağlanmıştır. Volkanik agreganın her iki deneyde de sınır değerinin çok daha altında kayıp verdiği görülmüştür.

Akbulut vd. (2009), Alternatif bir agrega kaynağı olarak andezit kayaçlarının sıcak karışım asfalt kaplamalarda agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Agrega örnekleri üzerinde Elek Analizi, Özgül Ağırlık, Birim Ağırlık, Su Emme, Los Angeles Aşınma, Darbelenme Kaybı ve (MgSO₄) Donma Çözülme Dayanıklılık deneyleri, sıcak karışım asfalt deneyi olarak da Marshall Stabilite ve Akma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Andezit kökenli agrega örneğine ait sonuçlar kireçtaşı kökenli agrega örneğiyle karşılaştırılmış ve elde edilen bulgulara göre andezit kökenli agregaların alternatif agrega kaynağı olarak sıcak karışım asfalt kaplamalarda kullanılabileceği belirlenmiştir

Tutmaz ve Karaman (2010), Yeşilirmak nehrinden sağlanan ve Tokat merkez ilçesindeki tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan agregaların beton yapımına uygunluğunu araştırmıştır. Agrega örnekleri üzerinde granülometri, birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme oranı, dona dayanıklılık, aşınmaya dayanıklılık, ince madde oranı ve organik madde miktarı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak incelenen agrega ocaklarına ilişkin agregaların granülometrik dağılımının uygun olmadığı, diğer özelliklerinin ise beton üretimi için uygun olduğu ve agregalarla üretilen betonun basınç dayanımının da yeterli olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOD

Deneysel çalışmalar için Isparta, Ankara-Polatlı, Afyon-Emirdağ ve Gaziantep illerinden Bazalt ve Kalker agregaları temin edilmiştir. Şekil 3.1’de alınan numuneler bölgesel olarak görülmektedir.



Şekil 3.1. Numune alınan bölgelerin harita üzerinde gösterilmesi



Şekil 3.2. Numunelerin genel görünümü

3.1. Elek analizi

Bu deney yöntemi, standartlarda nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın büyüklük dağılımının saptanmasını amaçlar. Eleme işlemi elle ya da eleme makinesiyle yapılır. Deneye başlamadan önce, eleme yöntemi kullanılan eleklerin numaraları ve göz açıklıkları belirlenmelidir. Elek serisi içindeki elek sayısı, malzeme hakkında gerekli bilgiyi vermeye yetecek kadar olmalıdır. Elek analizine

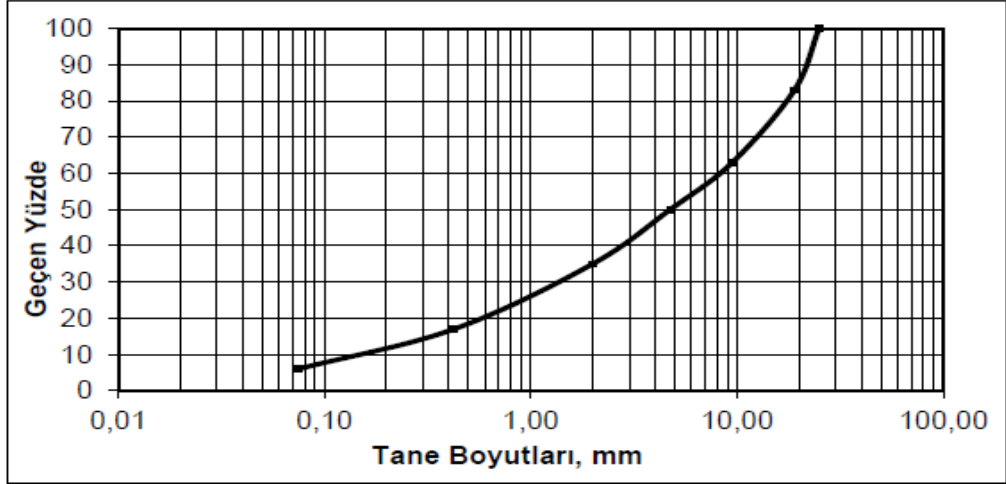
girecek numune miktarı kullanılacak en büyük tane boyutuna göre seçilir. Numuneler elekler üzerinde en az 2 dakika sarsıldıktan sonra her bir elek üzerinde kalan en ince eleği geçen agrega ağırlıkları yüklemenin %0.1'i duyarlılıkla saptanır. Bu ağırlıkların toplamıyla yükleme miktarı arasında %2'den fazla ayırım çıkarsa deney tekrarlanır.



Şekil 3.3. Agregaların tane boyutlarına göre sınıflandırılması

Elek analizinde eleğin fazla yüklenmesi önemli yanlışlara neden olduğundan, elekler üzerindeki numune ağırlıkları ve tane boyutları Şekil 3.3'de sınırlandırılmıştır. Deney, kullanılan elek serisi içindeki her bir elekten geçen miktarın, toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanıp, grafik olarak gösterilmesiyle tamamlanır.

Bu çalışmada kullanılan agrega gradasyonu Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) granüler temel tabakaları için önerdiği, "Tip-C" gradasyonudur. Burada maksimum tane büyüklüğü 25 mm ve No.4 elekten geçen malzeme miktarı % 50'dir.



Şekil 3.4. Kullanılan gradasyon eğrisi

3.2. Hidrometre Deneyi (TS 1900-1)

Hidrometre deneyi malzemenin dane boyutu dağılımını belirlemede, 0,075 mm (No.200)'den daha küçük danelerin dane boyutu dağılımını belirlemek amacıyla yapılır. Hidrometre deneyi, farklı dane boyutundaki taneciklerin, farklı çökelme hızına sahip olmaları esnasından yararlanılarak bulmaya yarar.

Hidrometre deneyinde toprak taneciklerini birbirinden ayırmak ve tekrar birleşimlerini engellemek için bazı ayrıştırıcı çözeltiler kullanılır. Bu çözeltiler Çizelge 3.1'de verilen maddelerden, belirtilen şekilde hazırlanır.

Çizelge 3-1. Ayrıştırıcı çözeltide kullanılan tuzlar (Demirel vd., 1999)

Kimyasal Adı	Kullanılacak Tuz Miktarı(gr)
Sodyum Hegzametafosfat	40
Sodyum Polifosfat	21,60
Sodyum Tripolifosfat	18,80
Sodyum Tetrafosfat	35,10

Bu tuzlardan Sodyum Hegzamet meta fosfat deneyde belirtilen miktarda tartılarak alınıp, yeteri kadar damıtık su içinde eritilip 1 lt'ye tamamlanmıştır.

Hidrometre deneyi için No.200 (0,075 mm) elekten geçen ve 110 ± 5 °C'lik etüvde kurutulmuş malzemeden toprağın cinsine göre, hazırlanacak olan süspansiyonda kil boyutundaki tanecik miktarı 20 gr/lt' den fazla olmayacak miktarda numune alınır. Kil boyutundaki tanecik miktarı çok fazla olduğunda, hidrometre deneyinin esası olan Stoke Kanunu geçerli olmaz. Bu nedenle killi topraklarda 50 gr, kumlu topraklarda 100 gr civarında numune yeterlidir (Demirel vd., 1999).

Deneyde 0,075 mm (No.200) elekten geçen malzemeden 50 gr kadar alınarak, 250 ml'lik behere konup, üzeri hazırlanmış olan ayrıştırıcı çözüldüden 125 ml ilave edilmiştir. İyice karıştırılıp, taneciklerin birbirinden ayrışması için en az 16 saat bekletilmiştir. Numune daha sonra ayrıştırma kabına alınmıştır. Karıştırıcıda danelerine ayrılan karışım, 1 litrelik çökeltme silindire aktarılmış ve üzeri saf su ile 1 litreye tamamlanmıştır.

Bu şekilde hazırlanan karışım, sabit sıcaklığa geldikten sonra çökeltme silindirinin ağzı el ayası ile sıkıca kapatılarak diğer el yardımı ile alt-üst edilmek yoluyla 1 dakika süre içerisinde 60 çevirme işlemi yapılmıştır. Ölçekli çökeltme silindiri, düz ve sarsılmayacak bir yere konup, kronometre çalıştırılarak zaman kaydedilmiştir. Çalkalama işleminin bitiminden, yani kronometrenin çalıştırılmasından sonraki 0,25;0,50;1;2;4;8;15;30;60;120;240;480 ve 1440 dakikalarda hidrometre okuması alınmıştır.

Deney boyunca hidrometre temiz bir su banyosunda bulundurulmuştur. Okumalardan 20-25 saniye önce hidrometre su banyosundan çıkartılıp, toprak süspansiyonuna daldırılmıştır. Okuma, hidrometre dengeye geldikten sonra ve hidrometrenin çevresinde meydana gelen menüsküsünün üst kısmından alınmıştır.



Şekil 3.5. Hidrometre deneyinin uygulanması

3.3. Sıkışık ve Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyleri (TSE-3529)

Sıkışık Birim Hacim Ağırlık Deneyi TS 3529'a göre şu şekilde yapılmıştır:

- Sıkışık birim hacim ağırlık deneyinde ağırlığı tartılarak belirlenmiş uygun ölçü kabı üçte birine kadar doldurulur.
- Bu işlem esnasında yüzeyin her tarafına yapılacak 25 vuruş ile sıkıştırma yapılır.
- Sıkıştırma işlemi, kap ikinci kez 2/3'ü, üçüncü kez tamamı taşarcasına doldurularak oluşturulan ikinci ve üçüncü tabakalar içinde 25 kez şişlenerek tekrarlanır.
- Ölçü kabı üst yüzü şişleme çubuğu ile sıyrılarak düzeltilir.
- Daha sonra ölçü kabı agregası ile birlikte tartılır.

Agreganın sıkışık birim ağırlığı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$P_s = (M_2 - M_1) / V \quad (3.1)$$

Burada;

P_s : Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)

M_2 : Sıkışık Agregası İle Dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (gr)

M_1 : Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (gr)

V: Ölçü Kabının İç Hacmi (dm³)

Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyi TS 3529'a göre şu şekilde yapılmıştır:

- Gevşek birim hacim ağırlık deneyinde ağırlığı tartılarak belirlenmiş uygun ölçü kabı üçte birine kadar doldurulur.
- Ölçü kabı, küreğin ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm'den daha fazla yükseğe kaldırılmamasına özen gösterilerek, taşarcasına doldurulur.
- Ölçü kabı üst yüzeyindeki fazla iri agregaya elle sıyrılarak düzlenir, sıyırma düzleminden taşan iri agregaya varsa yerine elle ince agregaya ilave edilir. Ölçü kabı içindeki agregaya ile birlikte tartılır.

Agreganın gevşek birim ağırlığı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$P_s = (M_2 - M_1) / V \quad (3.2)$$

Burada;

P_s : Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m³)

M_2 : Gevşek Agregaya İle Dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (gr)

M_1 : Ölçü Kabı Boş Ağırlığı (gr)

V: Ölçü Kabının İç Hacmi (dm³)



Şekil 3.6. Sıkışık ve Gevşek Birim Ağırlık Deneyinin Genel Görünümü

3.4. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini (TS-EN 1097-6)

3.4.1. Tel sepet metodu (iri agregalar için)

Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini 7 ayrı numune üzerinde yapılmıştır. Her deney numunesi için ayrı ayrı 4 mm ile 16 mm elek arasında kalan numunelerden 3,5 kg alınarak deneye tabi tutulmuştur. Hazırlanan numuneler üzerlerinden 1cm yukarıda olacak şekilde su içerisine konularak 24 saat bekletilmiştir. 24 saat su içerisinde bekletilen numuneler ince taneli malzemelerin uzaklaştırılması için elenerek etüvde kurumaya bırakılmıştır. Hazırlanan deney numuneler tel sepete yerleştirilerek ve tel sepet su seviyesi sepetin en az 50 mm yukarıda olacak şekilde su tankına daldırılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Numunenin suya daldırılması ve hava kabarcıklarının alınması

Daldırmadan hemen sonra sepet, tankın tabanından 25 mm yukarıya kaldırılarak saniyede bir kez olmak üzere 25 defa bu yükseklikten düşürülerek hapsolmuş hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Deney numunesi ile dolu olan sepet su içerisinde tartılarak kaydedilir. Sepet ve numune sudan çıkartılıp suyun uzaklaşması için birkaç dakika bekletilmiştir. Agregas sepetten kuru bir bez üzerine numune kaybına yol açmadan dikkatlice dökülür. Boş sepet tekrar suya daldırılır ve tartılarak kaydedilir. Agregas taneleri dikkatlice kurutularak bez rutubet emmeyecek hâle geldiğinde, taneler, ikinci bir kuru, yumuşak emici bez üzerine aktarılır.

Agregas taneleri, kalınlık bir agregas tanesinden daha fazla olmayacak şekilde bu ikinci bez üzerine yayılır ve görülebilir bütün su filmleri uzaklaştırılana kadar direk güneş ışığından veya herhangi bir ısı kaynağından korunarak atmosfere maruz bırakılır (Şekil 3.8). Agregas taneleri tartılarak kaydedilir. Daha sonra agregalar tepsiye yerleştirilerek etüve konularak sabit kütle gelmesi sağlanarak, tartılarak kaydedilir.



Şekil 3.8. Tel Sepet metodunda agregaların kurutulması işlemi

$$\text{Görünür tane yoğunluğu : } \rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (3.3)$$

$$\text{Etüvede kurutulmuş esasta tane yoğunluğu : } \rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.4)$$

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu :

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.5)$$

$$\text{Su emme oranı: } W_{A24} = \frac{100x(M_1 - M_4)}{M_4} \quad (3.6)$$

Burda;

M_1 : Doymun yüzey kuru numune ağırlığı (gr)

M_2 : Doymun agrega numunesi + kap ağırlığı (gr)

M_3 : Boş sepetin ağırlığı (gr)

M_4 : Kuru ağırlık (gr)

ρ_w : Su yoğunluğu



Şekil 3.9. Tel Sepet Metodu

3.4.2. Piknometre metodu (ince agregalar için)

Piknometre metodu için 7 deney numunesi için uygulanmıştır. Her bir deney numunesi için 4 mm ile 0.063 mm elekler kullanılarak numune hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numunesi kısmı, piknometrede bulunan, (22±3) °C sıcaklıktaki suya daldırılır ve hapsolmuş hava, piknometre, eğik konumda hafifçe yuvarlanarak

ve sallanarak uzaklaştırılmıştır. Piknometre, su banyosu içerisinde düşey hâle getirilerek ve deney numunesi kısmı, $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$ ($24 \pm 0,5$) saat süreyle tutulur. Şekil 3.10'de görüldüğü üzere ıslatma süresinin sonunda, piknometre su banyosundan çıkarılarak ve varsa geriye kalan hapsedilmiş hava, piknometreyi hafifçe yuvarlamak ve sallamak suretiyle ayrıca vakum pompası ile uzaklaştırılmıştır.

Piknometre, su ilâve edilerek taşacak şekilde doldurularak ve kap içerisinde hiç bir hava hapsedilmeden tepe kısmına bir kapak yerleştirilmiştir. Daha sonra, piknometrenin dış kısmı kurutulup tartılmıştır. Suyun sıcaklığı kaydedilmiştir. Agregataneleri, sudan çıkarılarak ve birkaç dakika süreyle kurumaya bırakılmıştır. Piknometre tekrar su ile doldurularak kapak daha önce belirtildiği şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra, piknometrenin dış kısmı kurutulup tartılmıştır.

Suyu süzölmüş deney numunesi kısmı, kuru bezlerden birinin üzerine alınarak agregatanelerinin yüzeyi dikkatlice kurutulup bez rutubet ememeyecek hâle geldiğinde taneler ikinci bir kuru ve yumuşak emici bez üzerine aktarılmıştır.

Agregataneleri, kalınlığı bir agregatanesinden daha fazla olmayacak şekilde, bu ikinci bez üzerine yayılarak görülebilir bütün su filmleri uzaklaştırılana kadar kurutulmuştur.

Doygun ve yüzeyi kuru deney numunesi kısmı, bir tepsiye aktarılıp ve tartılmıştır. Agregataneleri, hava dolaşımı bir etüvde, $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ ta, sabit kütle kadar kurutulmuştur.



Şekil 3.10. Piknometre yönteminde taneler arasındaki hava boşluklarının alınması

$$\text{Görünür tane yoğunluğu: } \rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (3.7)$$

$$\text{Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: } \rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.8)$$

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu:

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.9)$$

Su emme oranı:

$$W_{A24} = \frac{100x(M_1 - M_4)}{M_4} \quad (3.10)$$

Burada;

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agrega ağırlığı (gr)

M_2 : Piknometre saf su numune ağırlığı (gr)

M_3 : Piknometre saf su ağırlığı (gr)

M_4 : Etüvde kurutulduktan sonraki ağırlık (gr)

3.5. Agregalar İçin Yassılık İndeksi Değeri Tayini

Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney 6,3 mm'den büyük ve 63 mm'den küçük malzemelere uygulanır (BS 812). Deney uygulanacak numune için Çizelge 3.2'de belirtilen ağırlıkta agrega numunelerinde mevcut fraksiyonlar için eleme işlemi yapılır. Her elek arasında kalan malzeme danelerinin, şablon üzerindeki kendi açıklığından geçip geçmediği el ile teker teker denir. Her fraksiyonun yassı danelerinin ağırlığı tartılarak kaydedilir. Daha sonra her fraksiyon ağırlığındaki yassı dane yüzdesi aşağıdaki formül yardımıyla ayrı ayrı hesaplanır. BS 812 Metodu ile bulunan yassılık indeksi %40'ı geçmemelidir. Şekil 3.9 yassılık indeksi deney şablonu verilmektedir.

Çizelge 3-2. Numuneler için kullanılacak elek açıklığına göre malzeme miktarları

Elek Açıklığı (mm)	Minimum Malzeme Miktarı (kg)
63-50	25
50-37,5	18
37,5-25	8
25-19	2,5
19-12,5	1
12,5-9,5	0,5
9,5-6,3	0,250

Yassı Dane Yüzdesi;

$$M_2/M_1 \times 100 \quad (3.11)$$

Burada;

M_1 ; Deneye alınan malzeme ağırlığı (gr)

M_2 ; Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığıdır (gr)



Şekil 3.11. Yassılık indeksi deney şablonu

3.6. Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini (Sodyum Sülfat Deneyi)

Bu deney yöntemi, doygun sodyum sülfat (Na_2SO_4) kullanılarak, uzun zaman hava tesirleri altında kalacak agregaların don ve çözölmeye karşı mukavemetlerinin kısa sürede laboratuvarında tayin edilmesini kapsar. Önce sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözöltisi kullanılır. Çözöltinin hazırlanması için saf tuz ve susuz sodyum sülfat tuzu ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 25-30 °C sıcaklıktaki su içinde iyice karıştırılarak yavaş yavaş çözölür. Her litre su için en az 250 gr sodyum sülfat tuzu veya en az 750 gr kristalize sodyum sülfat tuzu katılır. Çözölti ayrıca, saf ve susuz magnezyum sülfat tuzu (MgSO_4) ve kristalize magnezyum sülfat tuzu ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ile de hazırlanabilir. Bu durumda her litre su için 350 gr susuz magnezyum sülfat tuzu veya 1400 gr kristalize magnezyum sülfat tuzu eklenir.

Agregalar standartta belirtildiği gibi 19,00 mm, 12,50 mm, 4,75 mm ve 2,00 mm'lik eleklerden elenip, her elek üzerinde kalan numuneler yıkanarak, $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ' de etüvde kurutulmuştur. Her elek üzerinde kalan numunelerden Çizelge 3.3'de belirtilen miktarlarda tel sepetler içine konularak, üzeri en az 2 cm kaplanacak şekilde sodyum sülfat çözöltisi içine daldırılmıştır. Kabin üzeri buharlaşma olmaması için kapatılmıştır. Sıcaklığı 21 °C olan ortamda 16-18 saat çözölti içinde numuneler bekletilmiştir. Daldırma süresi sonunda numuneler çözöltiden çıkartılarak 2 saat süzemeye bırakılmış ve $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Numune ikinci kez çözöltiye daldırılarak anlatılan işlemler 5 kez tekrarlanmıştır. Her daldırma süresi sonunda çözöltinin derişimi çözöltiden alınan örnekle kontrol

edilerek, derişimin aynı oranda kalması sağlanmıştır. Çözeltinin derişiminin azalması durumunda çözeltiye ilk yoğunluğu sağlamak için sodyum sülfat ilave edilmiştir. 5. daldırma işlemi sonunda üç seri yapılan numuneler etüvde kurutulduktan sonra soğutulup, numune çözeltiden tamamen temizleninceye kadar yıkanmıştır. Yıkama suyuna bir miktar Baryum Klorür ($BaCl_2$) katılarak numunenin tamamen sodyum sülfattan temizlenip temizlenmediği kontrol edilmiştir. Na_2SO_4 çözeltisinden tamamen arındırılan numuneler 110 ± 5 °C' lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulup, soğutulduktan sonra dane iriliklerine göre Çizelge 3.3'de belirtilen eleklerden elenip, eleme sonunda her elek üzerinde kalan miktar tartılarak eleklerden geçen kısımlar don kaybı olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.12. Numunelerin kimyasal karışımdan çıktıktan sonraki görüntüsü



Şekil 3.13. Donma-çözülme deneyi sonrası numunelerin görüntüsü

Donma-Çözülme deneyi sonucundaki kütle yüzde kaybı (F), aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.12)$$

Burada;

M_1 : Deney numunesinin toplam ilk kuru kütlesi, (gr)

M_2 :Belirtilen elekte tutulan deney numunesinin toplam nihai kuru kütlesi, (gr)

F: Donma-Çözülme döngüsünden sonra üç deney numunesinin kütlece yüzde kaybı,

Çizelge 3-3. Deneye alınacak malzeme miktarları

Elek Açıklığı (mm)		Alınacak Miktar (gr)		Deney Sonunda Elendiği elek (mm)
4.75 – 2.00 arası		100 ± 0.1		2.00
9.5 – 4.75 arası		300 ± 5		4.00
19.0-9.5 arası	12.5 - 9.5 arası 19.0 - 12.5 arası	1000 ± 10	330 ± 5 670 ± 10	8.00
37.5-19.0 arası	25.0 - 19.0 arası 37.5 - 25.0 arası	1500 ± 50	500 ± 30 1000 ± 50	16.00
63.0-37.5 arası	50.0 - 37.5 arası 63.0 - 50.0 arası	5000±300	2000 ± 200 3000 ± 300	31.50
Bundan iri tanelerin elek boyutunun her 25mm artışında		7000 ± 1000		üzerinde kaldığı elek

İklimsel etkilere karşı dayanım özellikle gece-gündüz ısı farkının yüksek olduğu kara iklimlerinde oldukça önem arz eder. KGM şartnamelerine göre temel tabakasında kullanılacak olan malzemenin Na_2SO_4 ile Donma-Çözülme kaybı maksimum %15 olmalıdır.

3.7. Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro-Deval Katsayısı) (TS-EN 1097-1)

Yol ve hava meydanlarındaki kullanılan agregaların aşınmaya ve parçalanmaya karşı büyük mukavemete sahip olması gereklidir. Agregalarda aşınmaya dayanıklılık Los Angeles aşınma deneyi ya da Mikro-Deval deneyi ile belirlenir. Mikro-Deval deneyinde suyun aşındırıcı etkisi de dikkate alındığı için özellikle iri agregalar ve su ile temas halindeki malzemeler için bu deney yöntemi tercih edilmektedir (Nataatmadja, 1989).

Şekil 3.14’de Mikro-Deval deney cihazı ve içerisine numunelerin yerleştirilmiş olduğu tamburlar görülmektedir. Deneyde belirli bir hızla dönen bir tambur içerisine konan agregalar ile aşındırıcı malzeme (su ve çelik bilyalar) arasındaki sürtünmenin neden olduğu aşınma ölçülmektedir.

Deney sonucunda dönme işlemi tamamlandığında, orijinal numunenin 1,6 mm’den daha küçük tane büyüklüğüne indirilen kısmının yüzdesi Mikro-Deval Katsayısı olarak dikkate alınmıştır. Mikro-Deval katsayısının yüksek olması agregaların aşınma direncinin düşük olduğunun gösterir. Mikro-Deval deneyi TS-EN 1097-1’e göre uygulanmıştır. Ancak deney bulgularının sınır değerleri için henüz ülkemizde bir şartname mevcut olmamakla birlikte Amerika’da yapılan araştırmalar sonucunda Mikro-Deval değeri için kabul edilebilir sınır değerin maksimum %18 olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.14. Mikro-deval deney cihazı ve tamburlar

3.8. Parçalanma Direncinin Tayini-Agrega Darbelenme Değeri (TS-EN 1097-2)

Agregaların tekrarlı dinamik yükler altında parçalanmaya karşı dirençli olması gereklidir. Bu nedenle kullanılmadan önce kontrol edilmelidir. Darbelenme deneyi sonucunda elde edilen darbe ile parçalanma değeri (SZ), agreganın mekanik direncinin önemli bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bu deneyde agregaya çelik bir kalıp içine serbestçe yerleştirilir ve belirli mesafeden belirli bir ağırlık 190 defa düşürülmek suretiyle malzeme darbe etkisi altında tutulur. Elekten elenmek suretiyle çarpma etkisi altındaki agreganın parçalanma miktarı tespit edilir. Bu çalışmada parçalanma direnci deneyi için TS-EN 1097-2 deney standardı kullanılmıştır. 8mm ile 12.5 mm tane büyüklüğü aralığındaki malzeme darbelenme deney makinesinde 370 mm yükseklikten 10 darbe uygulanarak parçalanmıştır.

Darbe ile parçalanma değeri SZ, yüzde olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$SZ = \frac{M}{5} \quad (3.13)$$

Burada;

SZ: Darbe değeri

M: Beş deney eleğinin her birinden ayrı ayrı geçen kütlelerin %'sinin toplamıdır.



Şekil 3.15. Darbe ile parçalanma deneyinin uygulanması

Agregaların darbelenme değerinin düşük olması o agreganın parçalanmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. Deney yönteminin Britanya orjinli olması sebebiyle sınır değerler için Britanya Standartları esas alınmaktadır. BS 812 Part 112'ye göre agrega darbe değeri 10'un altında olan malzemeler oldukça mukavemetli, 10 ile 35 arası olanlar kabul edilebilir, 35'in üstü ise çok zayıf agrega olarak kabul edilmektedir.

3.9. Birim Hacim Ağırlık-Su İçeriği İlişkisi

Agrega karışımlarının oluşturulabilmesi için öncelikle agregaların “Kuru Birim Hacim Ağırlık”- “Su İçeriği” ilişkisinin saptanması gereklidir. Buradan karışıma girecek olan optimum su miktarı belirlenmektedir. Karışımların “Kuru Birim Hacim Ağırlık”- “Su içeriği” ilişkisinin belirlenmesinde Modifiye Proktor deneyi uygulanmıştır.

3.10. Modifiye Proktor Deneyi

Bu deneyde belirli bir metotla sıkıştırılmış zeminde maksimum kuru birim hacim ağırlığı veren su içeriği civarındaki su içeriğinde birim hacime sığacak en çok zemin ağırlığı bulunur.

Bu deneyde 458 mm'den serbestçe düşen 4.5 kg'lık tokmağın sağladığı mekanik iş kullanılmaktadır (Şekil 3.16). 152 mm çapındaki silindir kalıpta 5 tabaka halinde ve 56 darbe ile yapılan kompaksiyon (Modifiye Proktor) deneyi sonucunda bulunan Proktor eğrileri olarak kaydedilmiştir.

Proktor deneyinde her ayrı su muhtevası için CBR deneyi uygulanmıştır. Böylece malzemelerin CBR değeri üzerinde su içeriğinin etkisi rahatlıkla görülmektedir. Agregaların optimum su içeriği %6-%10,5 aralığında elde edilmiştir. Maksimum kuru birim ağırlık değerleri ise 1,96-2,46 gr/cm³ aralığındadır.



Şekil 3.16. Modifiye Proktor Deneyi

3.11. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi

CBR deneyi, malzemenin mukavemet ve deformasyon özelliklerinin standart olarak alınan kırma-taşa göre göreceli durumunu % cinsinden göstermektedir. Burada standart kırma-taşın CBR değeri %100 kabul edilmektedir. CBR değeri, standart (iç çapı 6 inç olan silindir metal) kalıp içinde bulunan malzemenin 1.95 inç çapındaki pistonun saniyede 0.05 inç'lik penetrasyona karşı gösterdiği direncin aynı pistonun aynı hızla standart kırma-taş malzeme içindeki aynı miktar penetrasyonu için tespit edilmiş olan dirence oranıdır ve % olarak ifade edilir. CBR deneyi sonunda etkileyen en önemli faktör sıkıştırma yöntemidir (Pappin, 1979).

Standart Proktor veya Modifiye Proktor enerjisinden hangisi ile sıkıştırıldığı da belirtilmelidir. Bu çalışmada Modifiye Proktor enerjisi kullanılmıştır. Deneyler

ASTM D 1883 standardına göre yapılmıştır. Şekil 3.17’de CBR deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.17. CBR Deney Düzeneği

Çalışmada 7 farklı numune üzerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Laboratuarda CBR değeri bulunacak malzemeye, önce kompaksiyon deneyi yapılmış. Böylece optimum su muhtevası ile maksimum kuru birim ağırlık saptanmıştır. Daha sonra CBR deneyi uygulanmıştır.

3.12. Dinamik Üç Eksenli Deney Yöntemi

Esnek üstyapılarda kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenebilmesi için trafikten kaynaklanan dinamik yüklerin de temsil edildiği gelişmiş deney yöntemlerinin uygulanması önem kazanmaktadır.

3.12.1. Dinamik yükleme yapabilen deney sistemleri

Dinamik deneylerde eksenel yöndeki tekrarlı yükün, elektronik kontrollü bir yükleme sistemi aracılığıyla uygulanması gerekmektedir. Bu yükleme sistemi genellikle;

- Hidrolik (sıvı basınç ile çalışan)
- Pnömatik (hava basıncı ile çalışan)
- Elektromekanik

Sistemlerden birisi olmaktadır. Pnömatik yükleme sistemleri yaklaşık 10 KN kapasiteye kadar verimli çalışmaktadır. Ancak basınçlı havanın sıvı kadar kararlı bir ortam olmaması ve havanın sıkıştırılabilir özelliği nedeniyle pnömatik sistemlerde yükleme hızını ayarlamak daha zordur ve hızlar nispeten daha düşüktür (Pınar, vd, 2003).

Hidrolik sistemlerde ise kurulu sistemin gücüne bağlı olarak çok daha yüksek yükleme kapasitelerine çıkılmaktadır.

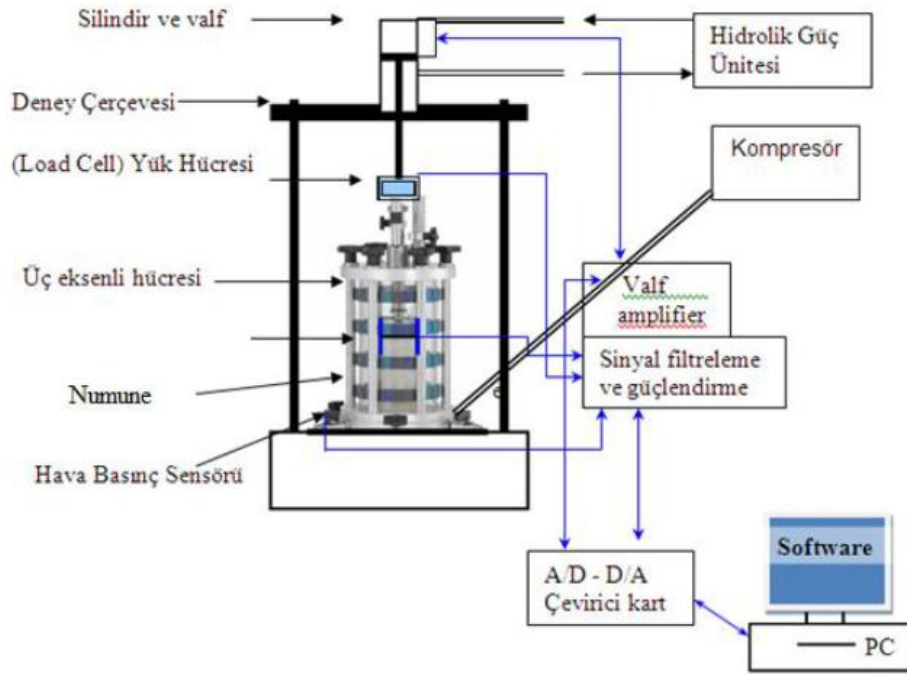
Yükleme hızı da pnömatik sistemlere oranla daha yüksektir. Dinamik Üç Eksenli deneylerinde, yanal gerilmeyi temsil eden basıncını sağlamak için su veya hava gibi akışkan kullanılmaktadır. Basınçlı hava kullanılması suya göre daha pratik bir yöntemdir. Su kullanılması durumunda sızdırmazlık önem kazanmakta ayrıca üç eksenli hücresi içerisine yerleştirilen ölçüm aletlerinin suya karşı geçirimsiz olması ve paslanmaz olması gerekmektedir. Bu durum sistem maliyetlerini artırmaktadır (Yılmaz, 2008).

3.12.2. Dinamik üç eksenli deney cihazının elemanları

Dinamik üç eksenli deney sistemi aşağıda belirtilen elemanlardan oluşmaktadır.

- Deney çerçevesi
- Pnömatik Sabit Hücre Basınç Sistemi
- Üç Eksenli Hücresi
- Veri Toplama ve Kontrol Sistemi yazılım

Dinamik bir üç eksenli deney cihazının genel şeması Şekil 3.18'da görülmektedir.



Şekil 3.18. Dinamik Üç Eksenli Deney Cihazı (Yılmaz, 2008).

3.12.3. Deney çerçevesi

Deney çerçevesi, tekrarlı yük uygulanacak olan piston boyutlarına ve uygulanacak olan maksimum yüke göre tasarlanmıştır. Alt başlık sabit olup üst başlık istenilen yüksekliğe ayarlanabilmektedir. Çerçevesi, alt tablası 30 mm kalınlığında çelik sac levhadan, üst başlığı 80x80 mm ebatlarında dolu gövdeli çelik lamadan imal edilmiştir.



Şekil 3.19. Üç Eksenli Deney Alet Çerçevesi

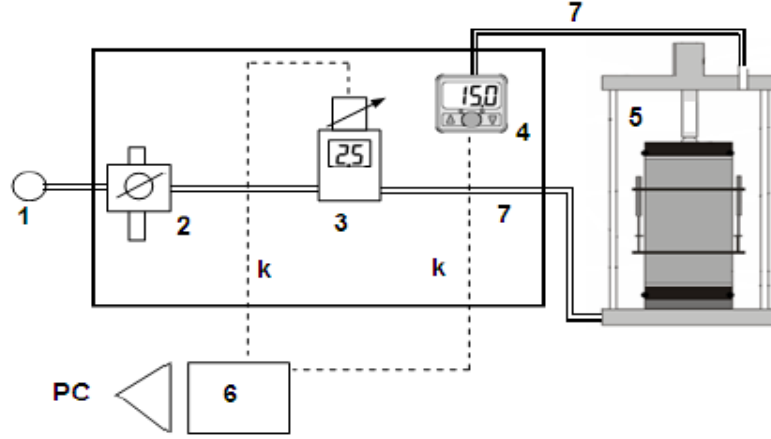
3.12.4. Üç eksenli hücresi

Üç eksenli deney hücresinin kullanılma amacı silindirik numuneye çevre basıncı uygulanabilecek kapalı bir mekan oluşturmaktadır. Şekilde görülen hücre 10 mm kalınlıkta plexiglass malzemeden imal olup, 1000 kpa basınca dayanıklıdır. Hücre alt tablasında hücre içi ayarlamak için iki adet vana, numunenin alt ve üst drenajını sağlamak için iki adet drenaj musluğu, hücre içinde LVDT ve benzeri ölçüm elemanlarının yerleştirilmesi için kendinden contalı 4 adet kablo giriş yeri bulunmaktadır (Zaman, 1994).

3.12.5. Pnömatik hücre basınç sistemi

Bu sistem üç eksenli hücresi içinde sabit bir hava basıncı oluşturmak yani numuneye çevresel basınç uygulamak amacıyla kullanılmaktadır. Basınç büyüklüğü 0-1000 kPa aralığında 1 kPa hassasiyetle ayarlanabilmektedir. Hava basınç kaynağı olarak 10 bar'lık kompresör kullanılmaktadır. Hücre basınç sistemi içerisinde bir adet dijital göstergeli basınç sensörü bulunmaktadır. Bu sensör hücre içerisine regülatör vasıtasıyla verilen basınçlı havanın farklı bir kaynaktan kontrol edilebilmesini

sağlamaktadır. Bu sensörden deney süresince alınan veriler hücre basıncının değişimini göstermekte ve veri dosyasına kaydedilmektedir.



Şekil 3.20. Pnömatik hücre basınç sisteminin devre şeması



Şekil 3.21. Hücre basıncını ayarlayan regülatör

3.12.6. Veri toplama ve kontrol sistemi

Veri toplama ve kontrol donanımı, ilgili yazılım ile bir araya geldiğinde deney düzeneğine bağlanarak deneylerin standartlara uygun olarak otomatik bir şekilde gerçekleştirilmesini ve verilerin toplanarak kaydedilmesini sağlamaktadır.

Kontrol sistemi aşağıdaki elamanlardan oluşur;

1. PC
2. Veri toplama yazılımları
3. AD/DA, Analog-Dijital/Dijital-Analog evirici
4. Tüm sensörler ve kontrol valflerin bağılı olduğu konektör bloğu

3.12.7. Yazılım

Deney sisteminin en önemli parçalarından birisi de yazılımdır. Deney sırasında alınan tüm veriler monitörden gözlenebilmektedir. Load Cell'den ve LVDT'den alınan veriler bilgisayara aktarılmakta ve grafikleri çizilmektedir. Deney ile ilgili tüm bilgiler; test tarihi, numune numarası, malzeme tipi, numune çapı, numune boyu, numune ağırlıkları gibi bilgiler, deney raporunda yazdırılmak üzere yazılıma kullanıcı tarafından girilebilmektedir. Deney başlatıldıktan sonra yazılım kullanıcıdan bağımsız olarak belirlenen limit değerleri takip ederek limit aşımında gerekli işlemleri otomatik olarak uygulanmaktadır. Veri toplama sistemi içinde eř zamanlı olarak kullanılan sensörler aşağıda tanımlanmıştır(Heydinger, vd, 1996) .

Load Cell (Yük Hücresi): Yük hücresi piston kolu ile numunenin üstündeki platen arasındadır. Uygulanan yükü kendi üzerinden st plakaya oradan da numuneye aktarır. Bu transfer sırasında uygulanan yükün büyüklüğünün analog olarak çok kk seviyelerde voltaja çevirir. Eksenel yöndeki dinamik yükleri ölçmek için kullanılmaktadır.

LVDT (Deformasyon ler); LVDT bir düzenek yardımı ile numune üzerine sabitlemekte ve deney süresince numunenin yatay ve düşey yöndeki deformasyonu ölçmektedir. Bu araç ölçtüğü mesafeyi voltaja çevirerek doğrudan AD evirici kart üzerinden bilgisayara aktarmaktadır.

Basınç Sensörü: Hücre i basıncımı ölçmek için kullanılmıştır.

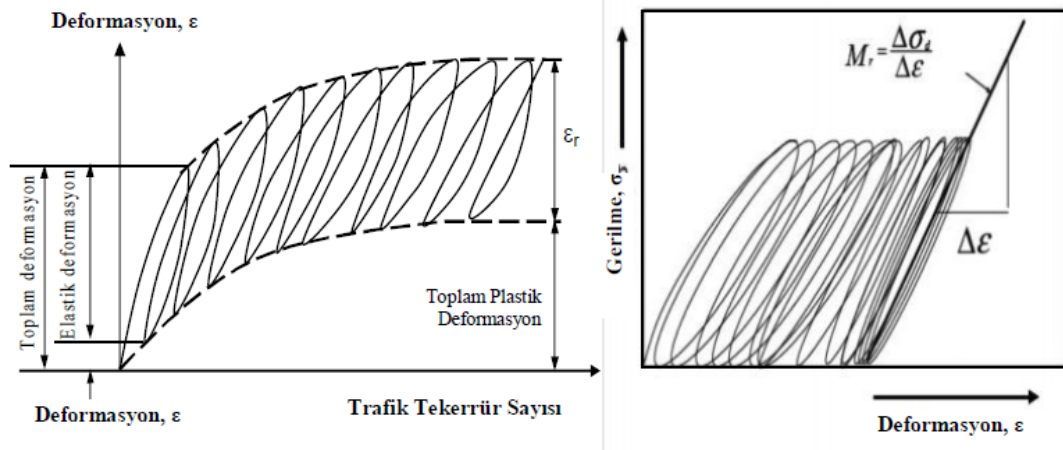


Şekil 3.20. DÜE Deney Cihazının genel görünümü

3.12.8. Esneklik modülü

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 (Barksdale, 1993).

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 tekerrüründen sonra malzeme elastik davranış göstermeye başlar (Baus, 2006).



Şekil 3.21. Üstyapı malzemelerinin tekrarlı yükler altındaki davranışı ve esneklik Modülü

Yukarıdaki şekil bir numunenin tekrarlı yükler etkisi altında deformasyon eğrisini göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, esneklik modülü deneyinde tekrar eden yükler altında başlangıçta plastik deformasyonlar oldukça fazla oranda gelişirken, tekrar eden yük sayısı arttıkça plastik deformasyonun artışı giderek azalmakta ve yaklaşık olarak 100-200 yük tekrarından sonra elastik davranış görülmektedir. Üç eksenli ve tekrarlı yük şartlarındaki devlatör gerilme ($\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$) ve elastik deformasyon (σ_r) değerleri için test edilen malzemenin esneklik modülü (M_R);

$$M_R = \sigma_d / \sigma_r \quad (3.14)$$

formülü ile bulunur.

3.12.9. Esneklik modülünü etkileyen faktörler

Esneklik modülü rijitlik modülünde olduğu gibi sabit bir mukavemet parametresi değildir. Uygulanan gerilme durumuna, yükleme süresine ve aralığına, su muhtevasına, kuru yoğunluğa ve gradasyon gibi faktörlere bağlıdır (Thompson 1990).

Barksdale (1975), yarım sinüs dalgası şeklindeki yükleme tekrarının, yol temel tabakaları için trafik yüklerini en iyi şekilde temsil ettiğini belirtmiştir. Ancak yapılan araştırmalar göstermiştir ki, yükleme şeklinin M_r üzerindeki etkisi oldukça azdır. Shaw (1980), üç eksenli deneyleri ile agrega gradasyonunun M_r üzerindeki

etkisini araştırmıştır. Araştırmacı aynı kaynaktan alınmış 40 mm maks. tane byklgne sahip açık gradasyonlu granüler malzemeler ile 3 mm maks. byklge sahip tek boyutlu agregalar üzerinde karşılaştırma yapmıştır. Açık gradasyonlu malzemenin tek boyutlu malzemeye göre esneklik modülü (M_r) değeri daha yüksek çıkmıştır. Thompson (1990) Dolomit kökenli maks. tane çapı 10 mm olan kırma kireç-taşı malzeme üzerinde DE deneyleri uygulamış, gradasyon açısından üniform dağılıma sahip agregalarda daha yüksek esneklik modülü (M_r) değeri elde etmiştir. Ancak açık gradasyonlu malzemelerde kayma dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Santha (1994), 15 farklı granüler malzemenin fiziksel özelliklerinin esneklik modülü üzerindeki etkisini araştırmış ve No.40 elekten geçen malzeme miktarı artıkça M_r değerinin bir miktar dştgn tespit etmiştir. Lekarp (2000), esneklik modülü üzerindeki en etkili faktörün uygulanan gerilme byklg olduğunu ve granüler malzemelerin esneklik modülünün uygulanan evre basıncının ve toplam gerilmenin artması ile artmakta olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, su muhtevasının azalması ve yoğunluğun artması esneklik modülünün artmasına sebep olmaktadır. Hicks ve Monismith (1971) yaptıkları çalışmada, üç eksenli deneyleri ile granüler malzemelerin üzerinde su muhtevası, kuru birim ağırlık ve evre basıncının etkisini araştırmıştır. Araştırma bulguları göstermiştir ki optimum su muhtevasının üzerine çıkıldığında birim ağırlık azalmakta ve esneklik modülü değerinde de düzgün bir azalma meydana gelmektedir. Benzer şekilde birçok diğer araştırma da bu olguyu doğrulamaktadır.

3.12.10. Esneklik modülü (M_r) tahmin modelleri

Geleneksel elastisite teorilerine göre malzemelerin elastik özellikleri malzemeye özgü sabitler olan elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) değerleri ile tanımlanmıştır. Granüler malzemeler için de benzer yaklaşım geniş oranda kullanılmaktadır. Fakat elastisite modülü yerine, malzeme davranışının non-lineritesini ifade edebilmek amacıyla esneklik modülü kullanılmaktadır. Pek çok araştırmacı esneklik modülünün farklı gerilme durumları için değişimini tanımlamak için matematiksel yöntemler ortaya koymuştur. Literatürdeki modellerin büyük bir çoğunluğu, laboratuarda elde edilen DE deney verilerini kullanarak bu verilerin

dağılımına en uygun eğriyi geçirme tekniği üzerine kurulmuştur (Yılmaz, 2008). Bunlardan bazılarını kısaca bakacak olursak:

Toplam Gerilme Modeli (K- θ Modeli): Toplam gerilme modeli, toplam gerilme kavramını kullanarak, esneklik modülünü hesaplamakta kullanılmıştır. Model Denklem 3'te görülmektedir. Burada toplam gerilme (θ) en önemli ve tek gerilme parametresidir, P_a birim referans gerilme olarak M_r ve θ ile aynı birimde verilmiştir. k_1 ve k_2 malzeme ve fiziksel sabitlerdir.

$$M_r = k_1 P_a (\theta/P_a)^{k_2} \quad (3.15)$$

M_r : Esneklik Modülü

$$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (\text{her üç yöndeki asal gerilmelerin toplamı}) \quad (3.16)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ değerleri x, y, z yönlerindeki asal gerilmeleri ifade etmektedir. σ_1 aksenal yöndeki gerilme değerini, σ_2 ve σ_3 de radyal yöndeki gerilmeleri ifade etmektedir. Silindir numenlerdeki aksenal simetri nedeniyle σ_2 ve σ_3 değerleri birbirine eşit alınabilir. Bu değer üç eksenli hücrenin içindeki çevre basıncına eşittir.

$$\text{Dolayısıyla } \sigma_2 = \sigma_3 \text{ ve } \theta = \sigma_1 + 2.\sigma_3 \text{ olur.} \quad (3.17)$$

σ_1 aksenal yöndeki toplam gerilme değeridir. Deviatör gerilme (σ_d) ile hücre basıncının (σ_3) toplamına eşittir.

$$\sigma_1 = \sigma_d + \sigma_3 \quad (3.18)$$

$$\theta = \sigma_d + 3\sigma_3 \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir. Bu modeldeki eksiklik, deviatör gerilme etkisinin yeteri kadar modellenememesidir. Bu da esneklik modülünün hesaplanmasında anahtar bir faktördür.

Uzan Modeli: Bu model deviatör gerilme etkisinin dikkate alınması ile K- θ modelinin bir versiyonu olarak ortaya çıkmıştır. Model Denklem 3.20’de verilmiştir. Burada σ_r radyal gerilmedir. Sabit Poisson oranı ve sıfır başlangıç deviatör gerilimi problemi nedeniyle sabit katsayılar hala mevcuttur. A, B, C malzeme ve fiziksel katsayılarıdır .

$$M_r = A (3p_{\max})^B q^C \quad q > 0.1 \sigma_r \quad (3.20)$$

$$p = \frac{(\sigma_1 + 2\sigma_3)}{3} \quad (\text{Normal gerilme}) \quad (3.21)$$

$$q = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (\text{Deviatör Gerilme}) \quad (3.22)$$

AASHTO/SHRP Modeli: AASHTO ve SHRP her ikisi de esneklik modülü (M_r) ve toplam gerilme (θ) arasında Denklem 7’de görülen bağıntıyı önermektedir.

$$M_r = 10^{k_1} \theta^{k_2} \quad (3.23)$$

AASHTO ve SHRP her ikisi de esneklik modülü (M_r) ve deviatör gerilme (σ_d) arasında bir bağıntı önermektedir. Bu bağıntı Denklem 8’de görülmektedir.

$$M_r = 10^{k_1} \sigma_d^{k_2} \quad (3.24)$$

Burada k_1 ve k_2 malzeme ve fiziksel sabitlerdir.

AASHTO Modeli: AASHTO şartnameleri M_r ile σ_d ’nin logaritmik grafiğinden en küçük kareler yöntemi kullanılarak üssel bir modelin uygulanmasını önermektedir. Model denklem 9’da görülmektedir. Burada k_1 ve k_2 malzeme parametreleridir.

$$M_r = k_1 \sigma_d^{k_2} \quad (3.25)$$

Universal Model (Modifiye Uzan Modeli): Uzan (1985) toplam gerilme modelinin zeminlerin lineer olmayan özelliklerini yeterince tanımlayamadığını göstermiştir.

Dolayısıyla bu modeli modifiye ederek granüler malzemelerin lineer olmayan özelliklerini daha iyi tanımlayabilen bir model geliştirmiştir. Bu model hem ince taneli hem de granüler malzemeler için kullanılabilir. İnce taneli zeminler yanal gerilmeden fazla etkilenmemektedir, ancak deviatör gerilmeden fazlasıyla etkilenmektedir. Modifiye Uzan modeli, bu faktörlerin her ikisini de birleştirerek uygun bir model haline gelmiştir. Burada k_1 , k_2 , k_3 malzeme parametreleri, P_a birim referans gerilme, θ toplam gerilme ($\sigma_d + 3\sigma_3$) ve σ_d deviatör gerilmedir.

$$M_r = k_1 P_a (\theta/P_a)^{k_2} (\sigma_d / P_a)^{k_3} \quad (3.26)$$

Bağlayıcısız granüler malzemeler tekrarlı yüklemelere maruz bırakıldığında kompleks elasto-plastik davranış göstermektedir. Literatürdeki araştırmalara bakıldığında granüler malzemelerin davranışının pek çok parametreden etkilendiği görülmektedir. Bu parametrelerden bazıları için araştırmacılar ortak kanıda olsa da bazı parametrelerin etkileri hakkında tam ters görüşler de bulunmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan bu çalışmalarda, farklı kalitedeki laboratuvarlar, farklı deney prosedürleri ve farklı çevresel koşullar kullanılmaktadır. Bu sebepten deneylerde ve bulgulardaki bu farklılıkların incelenmesi gerekmektedir.

3.12.11. Deney malzemesinin hazırlanması

Granüler malzemeler üzerinde deney yapmanın en büyük zorluğu malzemenin kohezyonsuz olmasından dolayı kendini taşıyamaması ve numuneye belirli bir şekil vermenin zorluğudur. Bu yüzden silindirik numuneler hazırlanırken, malzeme latex'ten yapılmış şeffaf bir membran içinde tutulmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan karışımın maksimum tane çapı (D_{max}) 25 mm olduğu için silindirik numunelerin çapı da D_{max} ile orantılı olarak 150 mm alınmıştır.

Bu durumda $2R/D_{max}$ oranı 6 olmaktadır, standart değerler ise 4 - 6 arasındadır. 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 alt temel malzemelerinin esneklik modülünün bulunmasında kullanılır. Bu çalışmada kullanılan malzemeler 2. Tip'e girmektedir. Numuneler 15 cm çapında, 30 cm yüksekliğinde, ayrılabilir 2 parçalı kalıp içerisinde hazırlanmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.22. 15 cm çapında 30cm yüksekliğinde ayrılabilir 2 parçalı kalıp

Öncelikle tane büyüklüğüne göre sınıflanmış olan 6 farklı fraksiyonun gradasyon oranlarına göre karıştırılması ile 12 kg kuru karışım elde edilmektedir. Bu sayede karışımlar homojen bir dağılıma sahip olmaktadır ve karışımın nihai mukavemetine etkiyebilecek muhtemel tane büyüklüğü dağılımı farklılıkları ve aşırı sapmalar önlenmiştir. Daha sonra, önceden Proktor yöntemi ile belirlenmiş olan optimum su miktarı kuru karışıma ilave edilir ve homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılır. Hazırlanan yaş karışım, her tabakaya eşit oranda malzeme gelecek şekilde 5 bölüme ayrılır ve sırasıyla her tabaka titreşimli kompaksiyon ile sıkıştırılır. Numune sıkıştırma yöntemi olarak titreşimli kompaksiyon (Kango çekici) kullanılmıştır. Şekil 3.27'de titreşimli kompaksiyon ile numune sıkıştırılması görülmektedir. Numune hazırlanırken dikkat edilmesi gereken diğer bir husus, gerçek arazideki malzemenin sıkışma durumunu temsil edebilmek için optimum su muhtevasında, maksimum kuru birim ağırlığın en az %95'inin sağlanması gerektiğidir. Bu amaçla 5 tabaka olarak yapılan sıkıştırma işlemi sırasında her tabakanın sıkışmış kalınlığı ölçülerek olması gereken kalınlık ile karşılaştırılmakta ve vibrasyon işlemi ona göre kesilmektedir.



Şekil 3.23. Latex membran içinde hazırlanmış silindir numune



Şekil 3.24. Latex membran içinde hazırlanmış numune ve üst başlığı

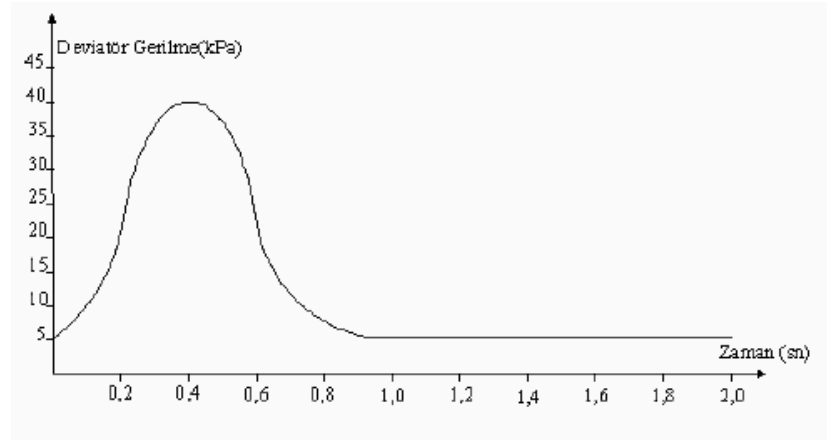
Numune, metal silindir bir kalıpta sıkıştırıldıktan sonra, dağılmaması için vakum uygulanarak, üç eksenli hücresi içerisine yerleştirilir. Vakum kesildikten sonra hücre içerisine basınç verilerek numunenin şeklini koruması sağlanır. Şekil 3.26’de latex membran içinde hazırlanmış silindir numune ve üst başlığındaki vana aracılığı ile vakum uygulanması görülmektedir. Üç eksenli hücresine yerleştirilen numune üzerinde esneklik modülü deneyi gerçekleştirilmiştir.

3.12.12. Deneylerde uygulanan gerilme değerleri

Üç eksenli deneylerinde, eksenel yönde yarım sinüs (*haversine*) dalgası şeklindeki tekrarlı yük dalgası uygulanmaktadır. Maksimum eksenel yük (σ_1), tekrarlı yük (σ_d) ile hücre basıncının (σ_3) toplamından oluşmaktadır. Deneylerde hücre basıncı sabit tutulmuştur. Deneyde yükleme-boşaltma süresi (tekrarlı yükün uygulanma süresi)

sabit tutulmuştur. Bekleme süresinde 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 (Maher, vd, 2000). Dinamik üç eksenli deneyinde, çevre basıncı ile aksenal gerilmenin numuneye uygulanma durumu Şekil 3.28'de görülmektedir.



Şekil 3.25. Uygulanan yarım sinüs dalgası şeklindeki yüklemenin zamanla değişimi AASHTO TP46-94 deney standardının granüler malzemeler için (temel/alt temel malzemeleri) önerdiği yükleme büyüklükleri Çizelge.3.4'de görülmektedir. Çalışmada uygulanan yükleme büyüklükleri Çizelge 3.5'de görülmektedir.

Çizelge 3-4. AASHTO TP46-94 Temel/Alt temel malzemeleri için Mr deney şeması

Sıra no	Çevre Basıncı		Maksimum eksenel gerilme		Tekrarlı gerilme		Temas gerilmesi		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

Çizelge 3.5. Numunelerde uygulanan yükleme ve Mr (Esneklik Modülü) değerleri

UYGULANAN MR DENEY BASAMAKLARI TABAN ZEMİNİ		
Kademe	Hücre	Düşey Yükleme
		Kpa
1	34	67
2		101,3
3		140,4
4		215,8
5	69	65,4
6		103,7
7		140,8
8		224,6
9	103	100,4
10		144,7
11		215,8
12		284,6
13	138	148,1
14		227,7
15		279
16		320,4

Çizelge 3.4'den 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. Tablodaki yük dağılımları temel ve alt temel malzemelerinin hizmet verdiği yol şartları ve maruz kaldığı farklı gerilme durumları dikkate alınarak AASHTO tarafından hazırlanmıştır.

Çizelge 3.5'deki 16 kademeli yükleme şeması bilgisayar programı aracılığıyla numuneye uygulanmaktadır. Deney başlatıldıktan sonra kullanıcı müdahalesine gerek yoktur. Bilgisayar programı yükleme aşamalarını otomatik olarak uyguladıktan sonra basınçları sıfırlayarak deneyi sonlandırmaktadır. Her kademedeki uygulanan 100 tekrarlı yüklemenin son 5 tekrarındaki esneklik şekil değiştirme ve deviatör gerilme değerleri deney füyüne kaydedilerek numunenin esneklik modülü (M_r) hesaplanmaktadır. Esneklik modülü deneyinin ardından hücre içerisinden çıkartılan numuneden su muhtevası için örnek alınır. Üç eksenli ve tekrarlı yük şartları altında test edilen malzemenin esneklik modülü aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (3.27)$$

Burada:

M_r : Esneklik Modülü

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

ϵ_r : Esnek birim şekil değiştirme (Eksenel yönde)

Yollar Fenni Şartnamesinin granüler temel tabakası gradasyonuna uygun olarak hazırlanan agrega karışımları optimum su muhtevası ile sıkıştırıldıktan sonra deneye tabi tutulmaktadır.

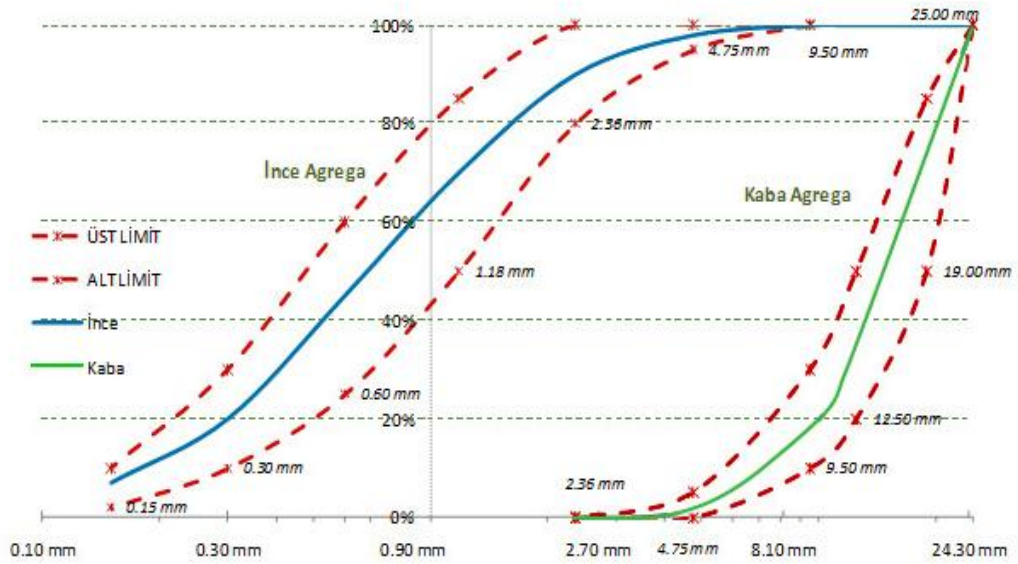
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Araştırmadan elde edilen sonuçlar ve değerlendirilmesi aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

4.1. Yapılan Deneyler ve Sonuçları

4.1.1. Elek analizi (TSE 3530 EN 933-1)

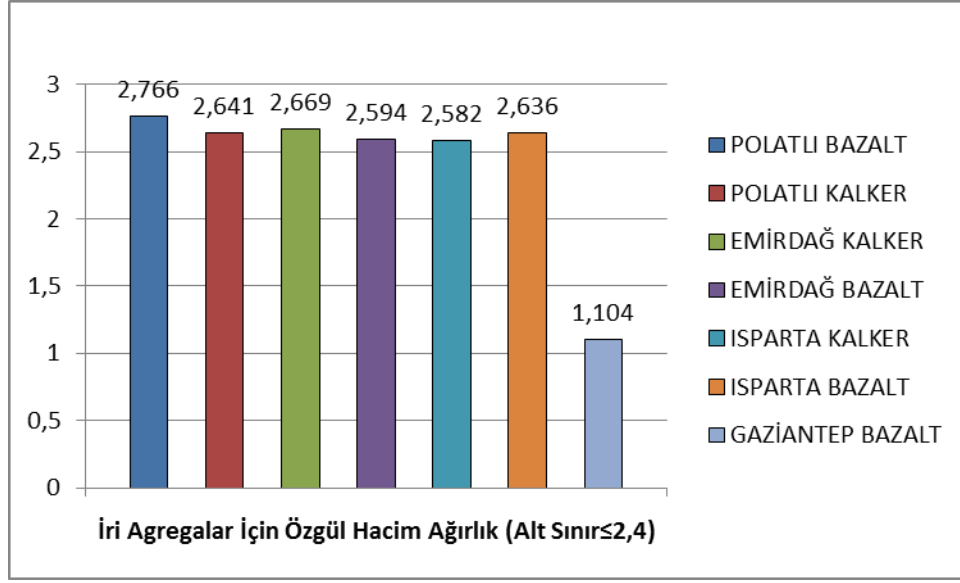
Bu çalışmada kullanılan agrega gradasyonu Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) granüler temel tabakaları için önerdiği "Tip-C" gradasyonudur. Burada maksimum tane büyüklüğü 25 mm ve No.4 elekten geçen malzeme miktarı %50'dir. Şekil 4.1'de elde edilen gradasyon eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan agregaların tane büyüklüğü dağılımı

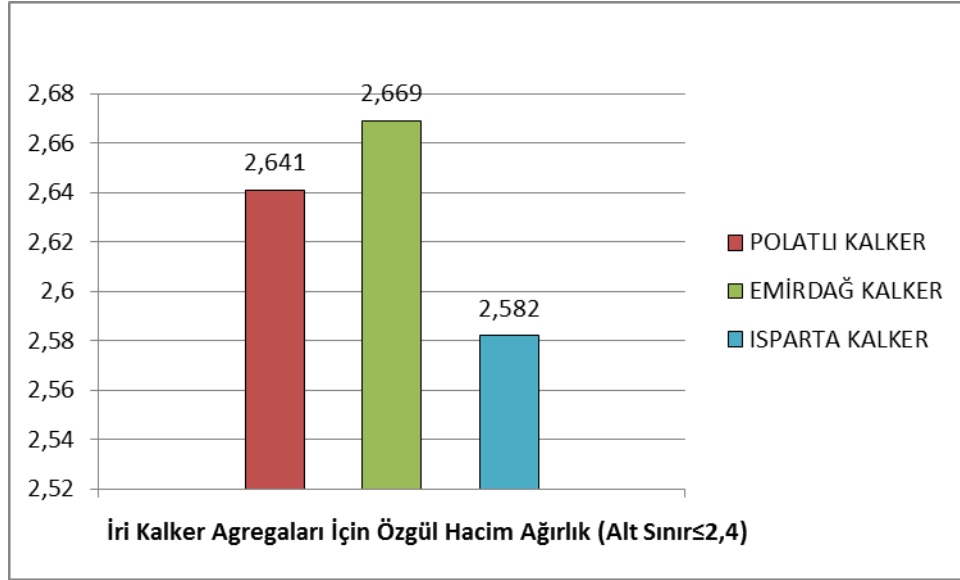
4.1.2. İri agregaların zahiri ve hacim özgül ağırlıkları

Agreganın kökeni hakkında bilgi veren bu özellik genellikle 2.4 - 2.8 gr/cm³ arasında değerler almaktadır. Özgül ağırlığı 2.4 'den düşük agregalar hafif agregalar olarak adlandırılır (Baradan, 1996). Özgül ağırlık ve su emmeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.2-Şekil 4.5'de verilmiştir.



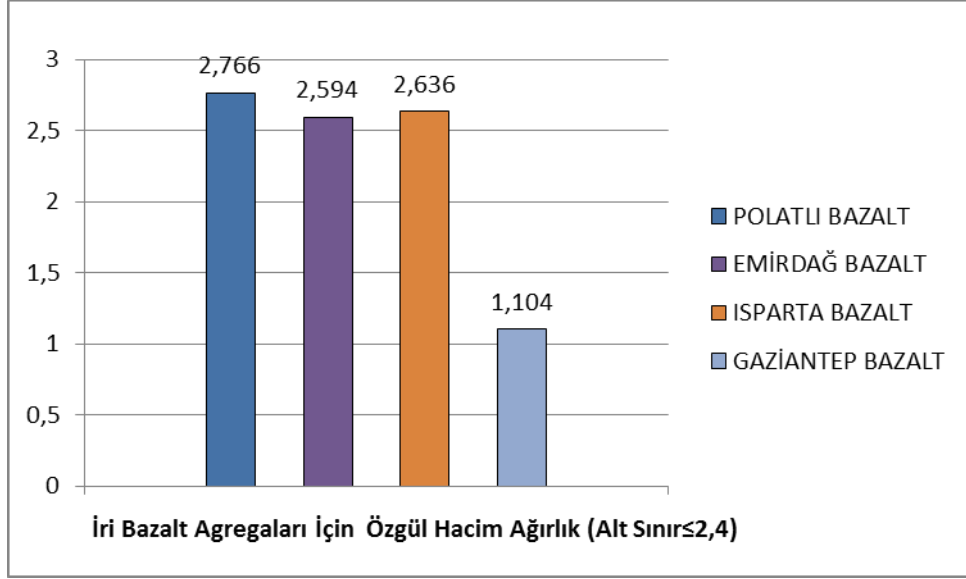
Şekil 4.2. İri agrega için özgül hacim ağırlık deney sonuçları

En yüksek birim ağırlık değerleri sırasıyla Polatlı-Bazalt, Emirdağ-Kalker, Polatlı-Kalker en düşük birim ağırlık ise Gaziantep- Bazalt malzemesinde elde edilmiştir.



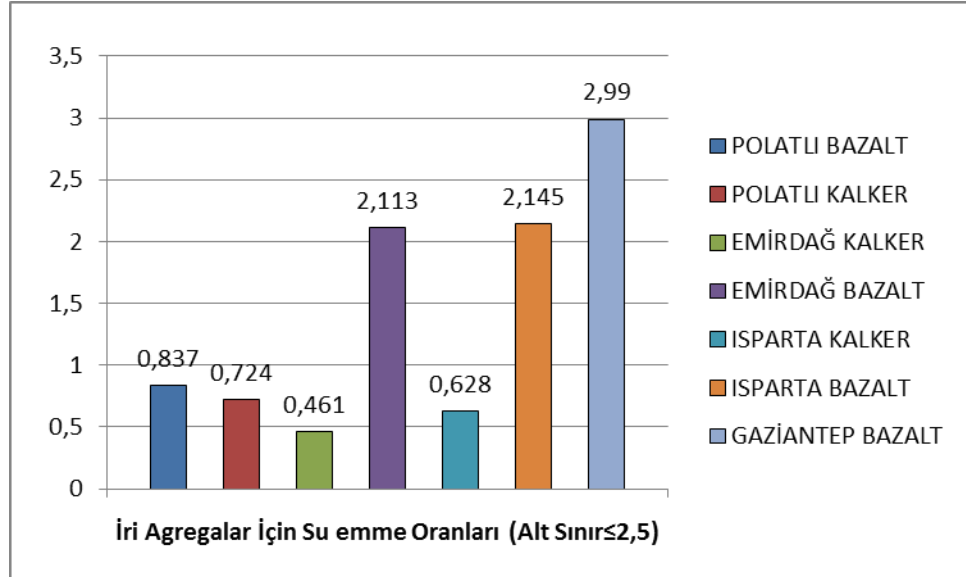
Şekil 4.3. İri kalker agregaları için özgül hacim ağırlık deney sonuçları

Kalker agregaları sonuçları incelendiğinde ise Isparta-Kalker agregasının özgül ağırlığı diğer agregalara göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4.4. İri bazalt agregaları için özgül hacim ağırlık

Kullanılan bazalt agregaları içerisinde Gaziantep bazaltı en düşük özgül ağırlığa sahip olarak hafif agrega kategorisinde yer almaktadır. Buna sebep olarak Gaziantep Bazaltı temin edilme sırasında bir seri kırma işlemine tabi tutulmuştur. Kırım işlemleri sonucunda yassılığın oldukça yüksek çıktığından dolayı agrega gerçek özgül ağırlık değerini netleştirememiştir.



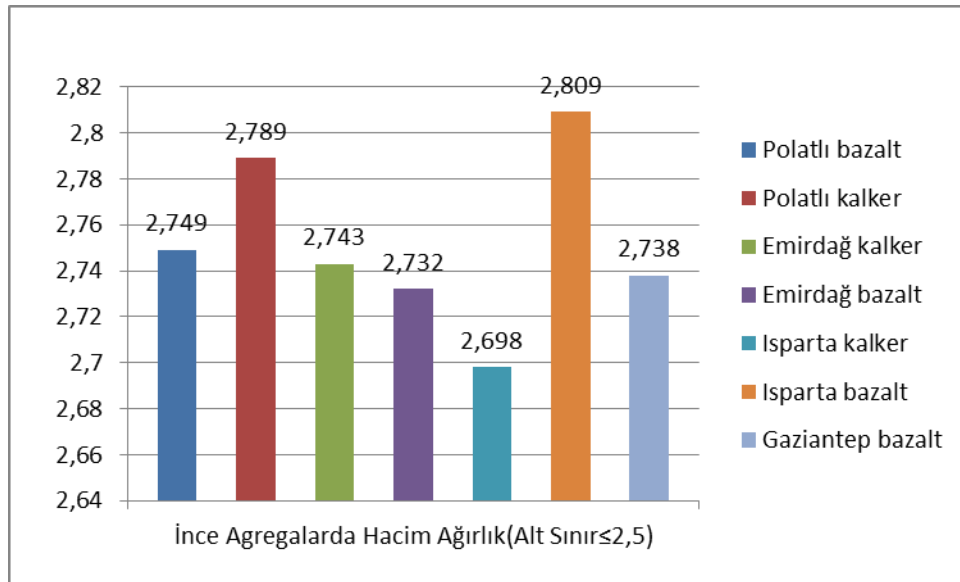
Şekil 4.5. İri agregalar için su emme oranları

Donma bölgesindeki malzemeler için su absorpsiyonu kritik bir parametredir. Bu değer şartnamelerin öngördüğü limitin altında kalmalıdır ($P < 2,5$). Bu çalışmada

Gaziantep bazaltı dışındaki tüm agregalar şartname sınırları içerisinde yer almaktadır. Gaziantep-Bazaltının su emme oranının yüksek çıkması önceden de belirtildiği gibi agrega bir seri kırma işleminden geçtikten sonra kullanıldığından dolayı gerekli değerlere sahip olmamaktadır. En düşük su emme oranı Emirdağ-Kalker malzemesine aittir (Şekil 4.5).

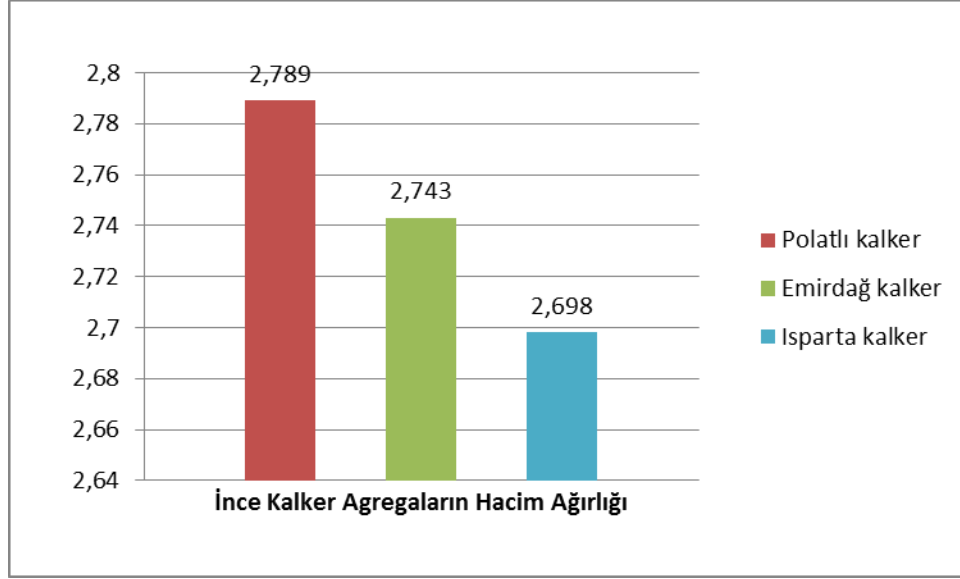
4.1.3. İnce agregaların zahiri ve hacim özgül ağırlıkları

Agregaların 4 mm elek altında kalan ince kısmına piknometre yöntemiyle özgül ağırlık değerleri belirlenmiştir. İri agregalar için belirtilmiş olan $2.4 - 2.8 \text{ gr/cm}^3$ limit değerler ince malzemeler içinde geçerlidir.



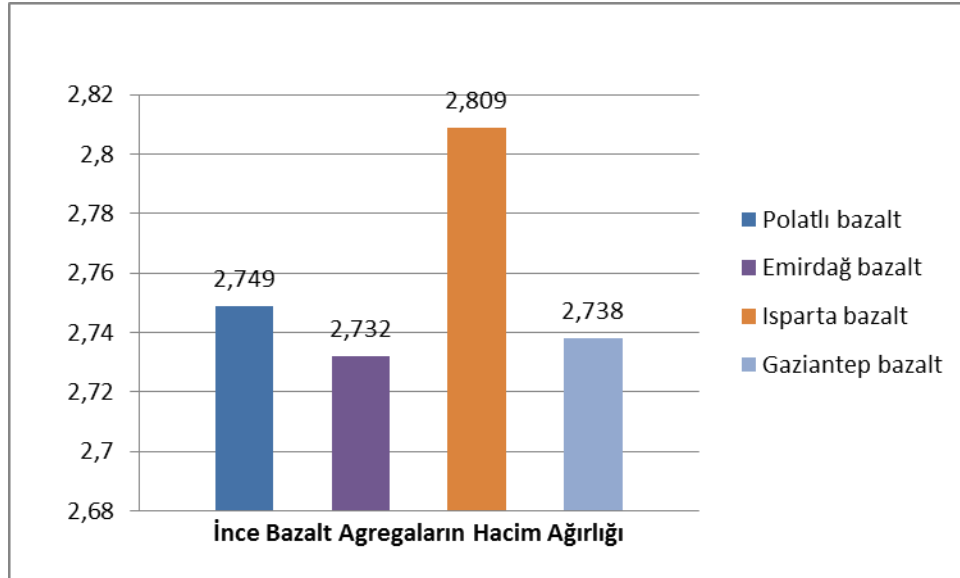
Şekil 4.6. Piknometre metodu ile bulunan ince agrega hacim özgül ağırlık değerleri

İnce agregalarda en yüksek birim ağırlık değerleri sırasıyla Isparta - Bazalt, Polatlı - Kalker, Polatlı - Bazalt, Emirdağ - Kalker, Gaziantep - Bazalt, Emirdağ - Bazalt numunelerinde en düşük birim ağırlık ise Isparta-Kalker numunesinde elde edilmiştir (Şekil4.6).



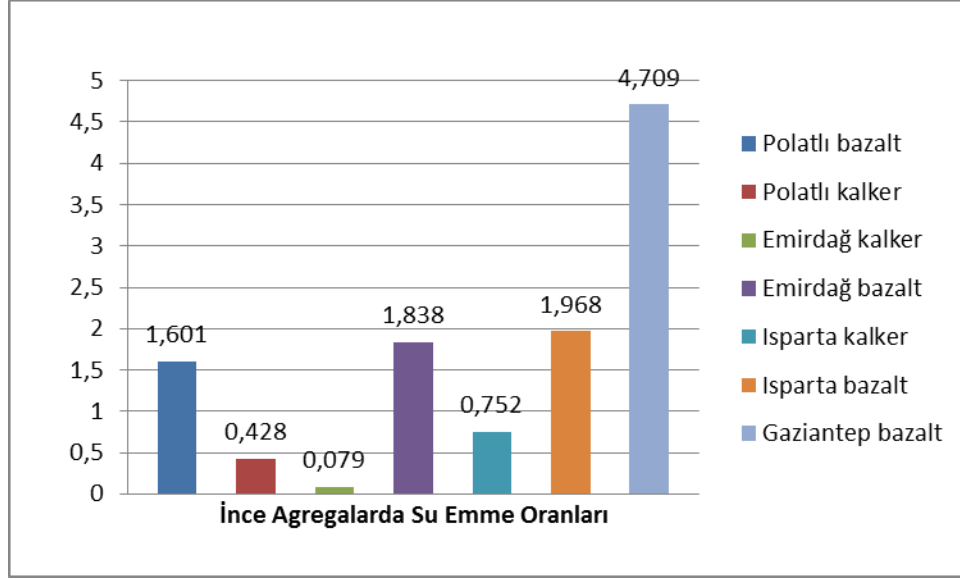
Şekil 4.7. İnce kalker agregaları için hacim özgül ağırlık değerleri (Alt sınır $\leq 2,4$)

Kalker agregaları arasında en yüksek özgül ağırlığa Polatlı-Kalker malzemesi sahip olmuştur (Şekil 4.7).



Şekil 4.8. İnce bazalt agregaları için hacim özgül ağırlık değerleri (Alt sınır $\leq 2,4$)

Şekil 4.9'de görüldüğü gibi ince agregaların su emme oranları iri agregalara kıyasla bir miktar daha yüksek görülmektedir. İnce agregaların özgül yüzey alanının fazla olması absorbe ettiği su miktarını dolayısıyla su emme oranını da attırmaktadır.



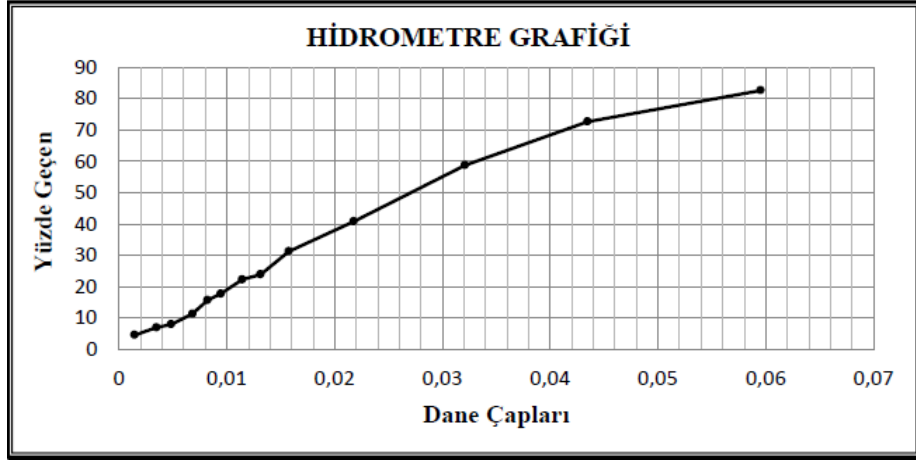
Şekil 4.9. Numunelerin ince agrega su emme oranları

Özgül ağılık deneyleri esas olarak agregaların yol malzemesi olarak kullanımında önemli rol oynamaktadır. Yüksek özgül ağırlığa sahip agregalar genellikle don mukavemeti ve dayanıklılık bakımından etkilidir.

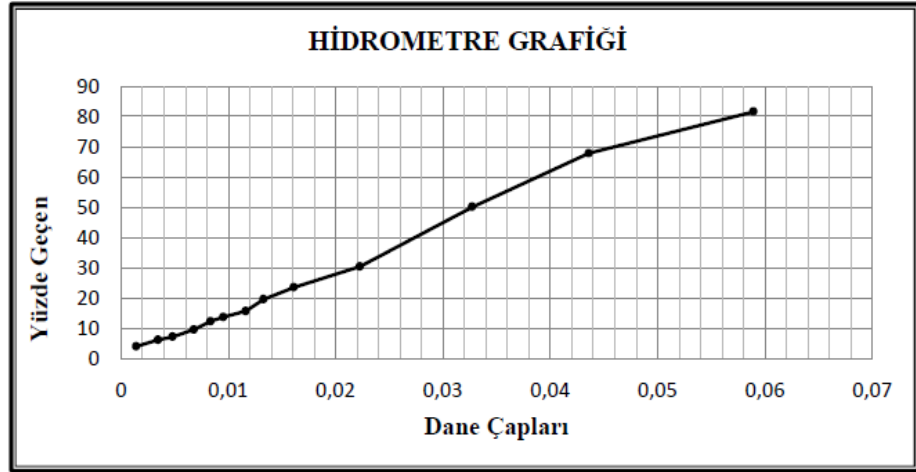
Çalışmada kullanılan agregaların özgül ağırlıkları $2.4-2.8 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiş limit değerler içerisinde kalmıştır.

4.1.4. Agregalarda hidrometre deney sonuçları

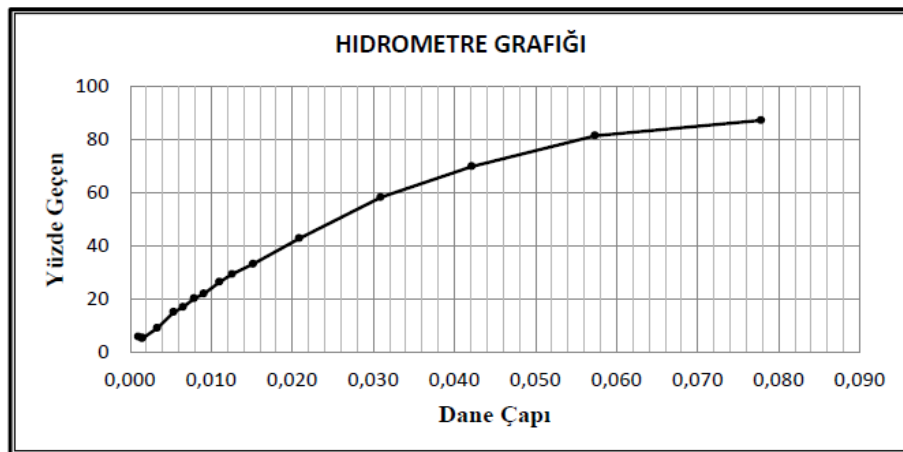
Agregaların filler malzemesi olarak adlandırılan 0.075 mm'lik elek altında kalan kısmına uygulanan hidrometre deney sonuçları Şekil 4.10- Şekil 4.16'da verilmiştir.



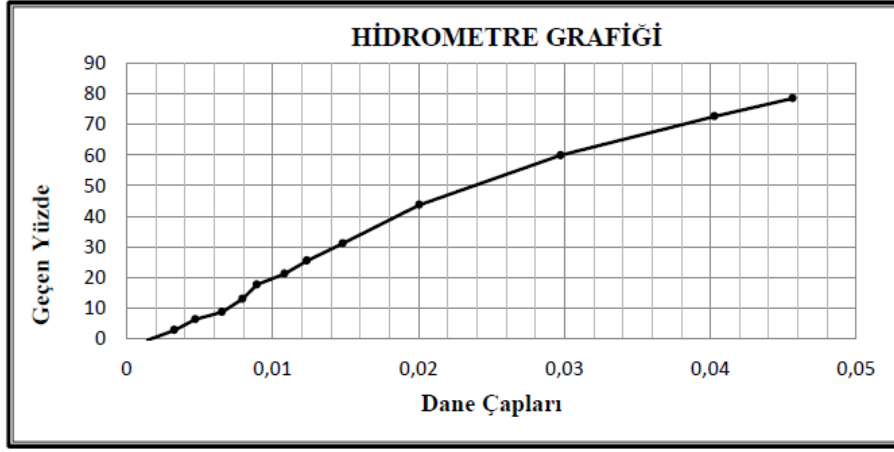
Şekil 4.10. Polatlı kalker agregası hidrometre deney grafiği



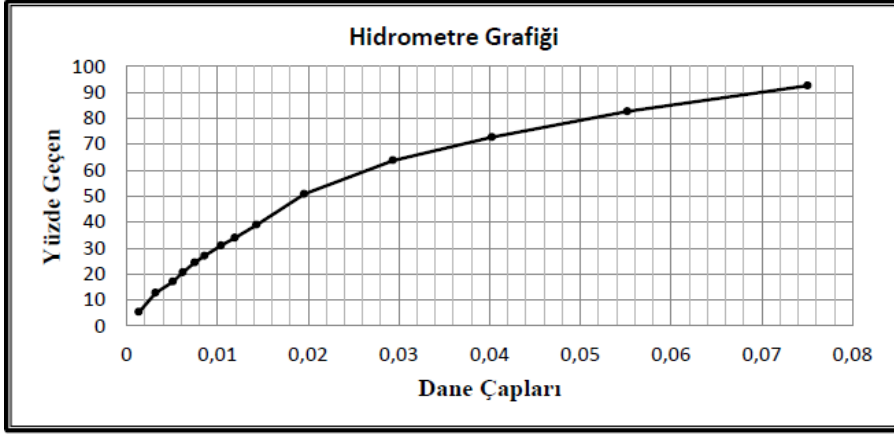
Şekil 4.11. Emirdağ bazalt agregası hidrometre deney grafiği



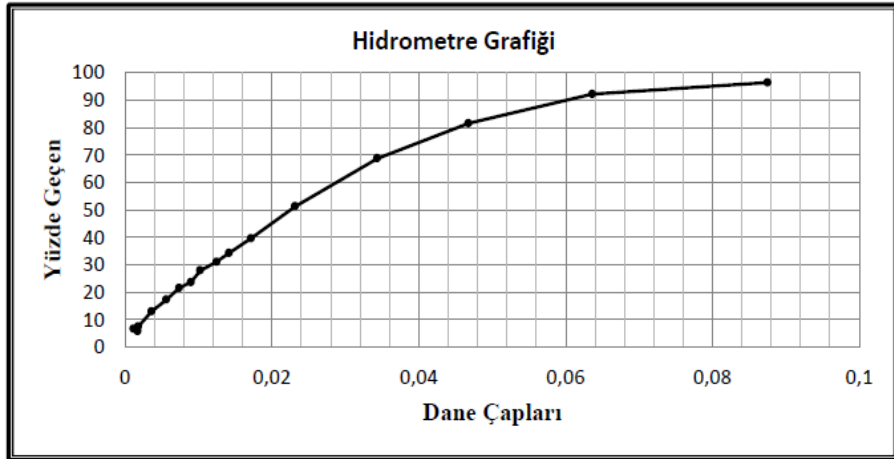
Şekil 4.12. Isparta kalker agregası hidrometre deney grafiği



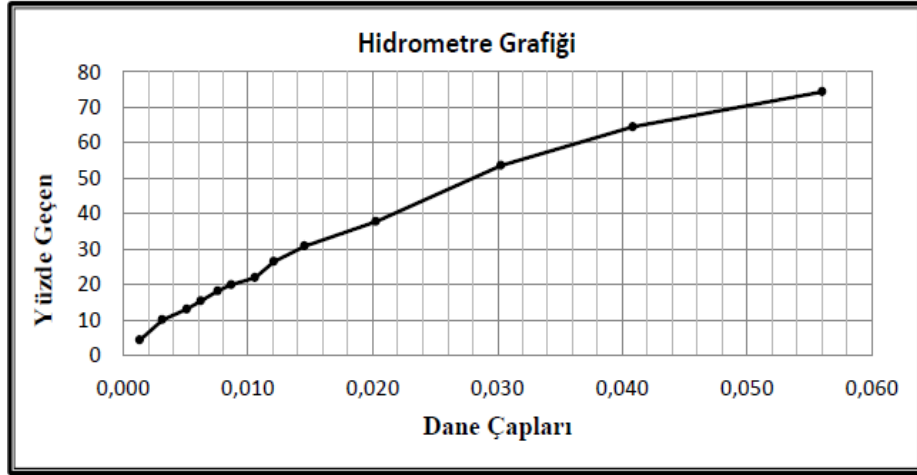
Şekil 4.13. Polatlı bazalt agregası hidrometre deney grafiği



Şekil 4.14. Emirdağ kalker agregası hidrometre deney grafiği



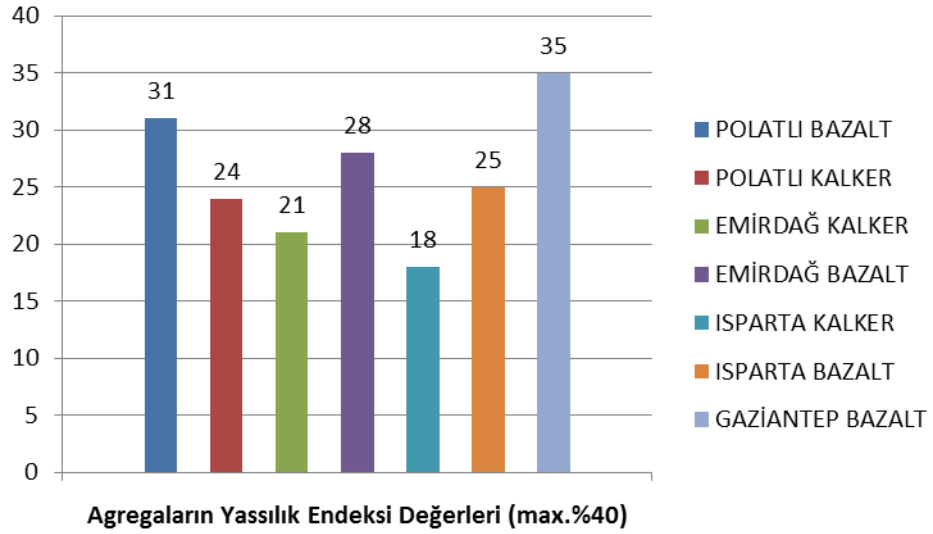
Şekil 4.15. Isparta bazalt agregası hidrometre deney grafiği



Şekil 4.16. Gaziantep bazalt agregası hidrometre deney grafiği

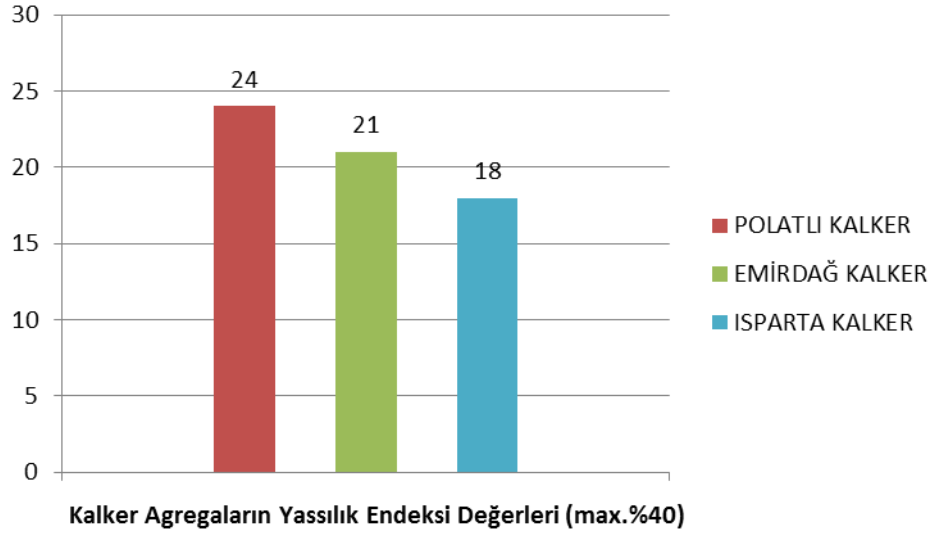
4.1.5. Agregalarda yassılık indeksi değeri

Agregalar Üzerinde uygulanan yassılık indeksi değerleri Şekil 4.17’de verilmiştir.

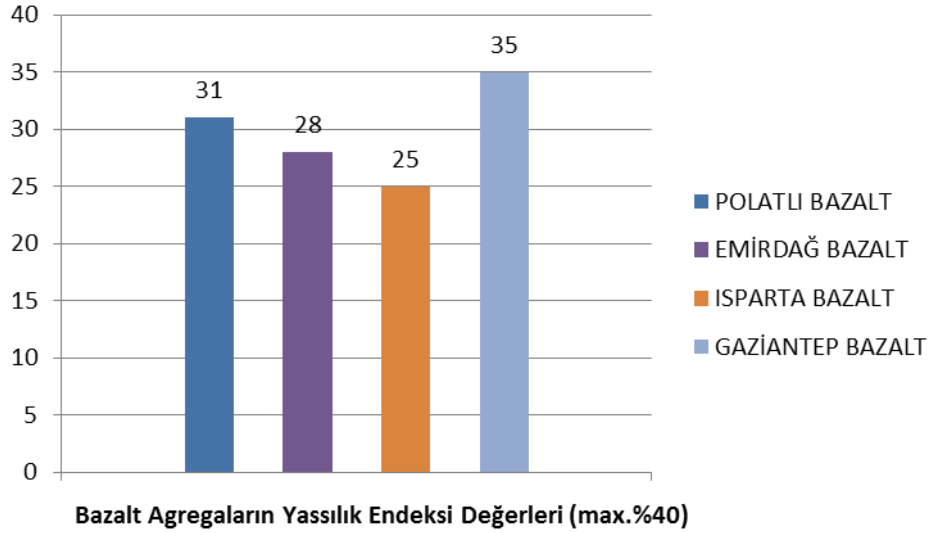


Şekil 4.17. Agregaların yassılık indeksi deney bulguları

Şekil 4.17’deki grafikten görüleceği üzere tüm malzemeler şartname sınırının altında kalmaktadır. Genel olarak bazalt agregaların yassılık indeksi 25-35 değerleri arasında yoğunlaşmaktadır.



Şekil 4.18. Kalker agregalarının yassılık endeksi değerleri

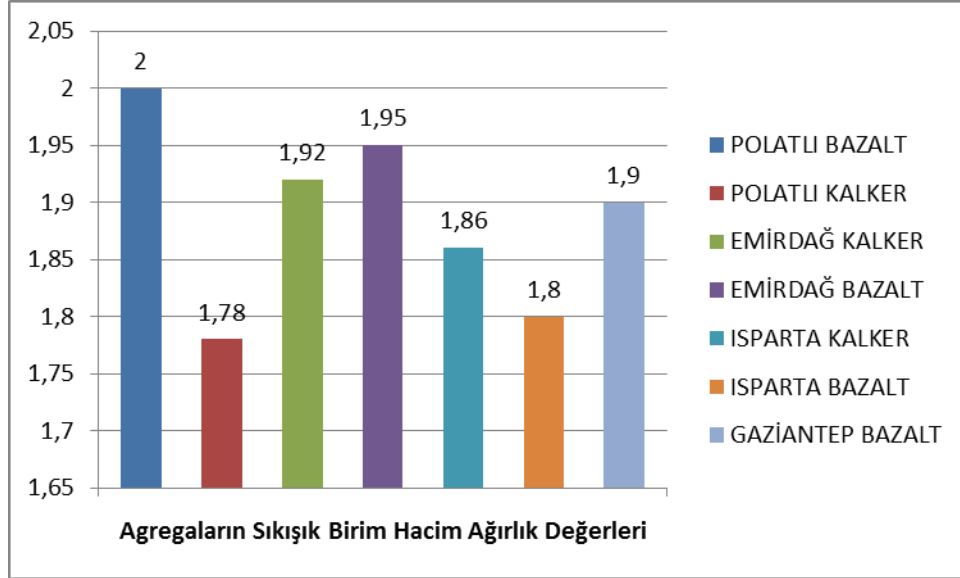


Şekil 4.19. Bazalt agregalarının yassılık endeksi değerleri

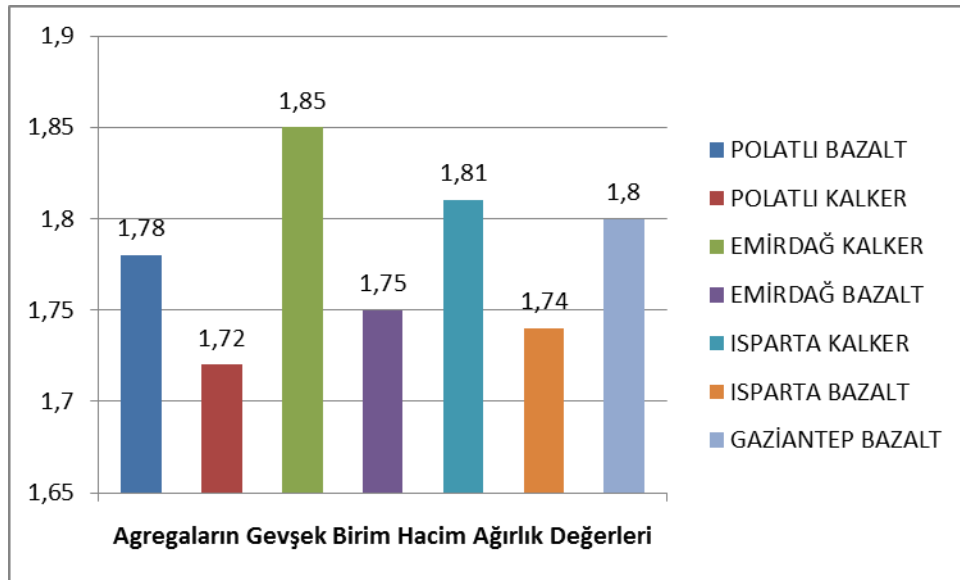
Bazalt malzemesinde elde edilen değerler kalker agregalarına kıyasla nispeten yüksek kalmaktadır (Şekil 4.19). Bu duruma sebep olarak volkanik kökenli agregaların doğal ortamlarında büyük masif kayaçlar şeklinde bulunması nedeniyle bunların bir seri kırma eleme işleminden geçirdikten sonra kullanılması gösterilebilir. Diğer bir deyişle bu malzemeler %100 kırma-taş olarak elde edilmektedir. Magmatik kayaçların kristal içyapısının malzemelerinin kırılırken köşeli ve sivri olmasına sebebiyet verildiği düşünülmektedir.

4.1.6. Sıkışık gevşek birim ağırlık sonuçları

Birim ağırlık deneyinde sıkışık ve gevşek olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Birim ağırlık deneyinde her bir agrega örneğinin birim ağırlık değerleri yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 4.20- Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Numunelerin sıkışık birim hacim ağırlık deney bulguları



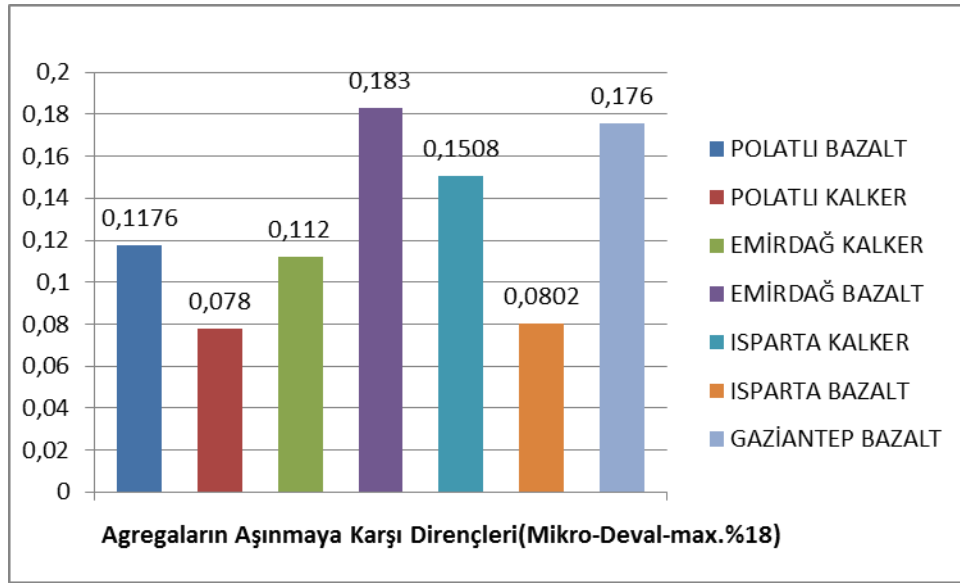
Şekil 4.21. Numunelerin gevşek birim hacim ağırlık deney bulguları

Granülometrisi düzgün (en az boşluklu), kuru, kusurlu malzemesi az, sıkıştırılmış özgül ağırlığı fazla olan agregaların birim ağırlıkları da fazla olur. Birim ağırlık değerleri standartlarca belirtilen 1.50 kg/dm^3 'den büyük değerler almalıdır.

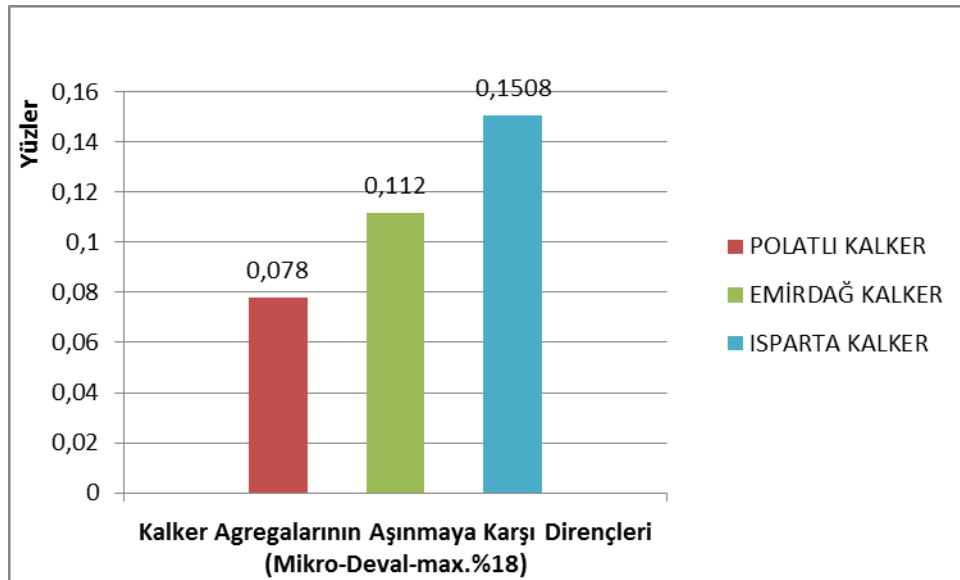
Çalışmada kullanılan agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıklarının belirlenmiş olan limit değerler içinde kaldığı gözlenmiştir.

4.1.7. Agregalarda aşınmaya karşı dayanıklılık (Mikro-Deval)

Agregalar üzerinde uygulanan aşınmaya karşı dayanıklılık deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 4.22-Şekil 4.24 arasında verilmiştir.

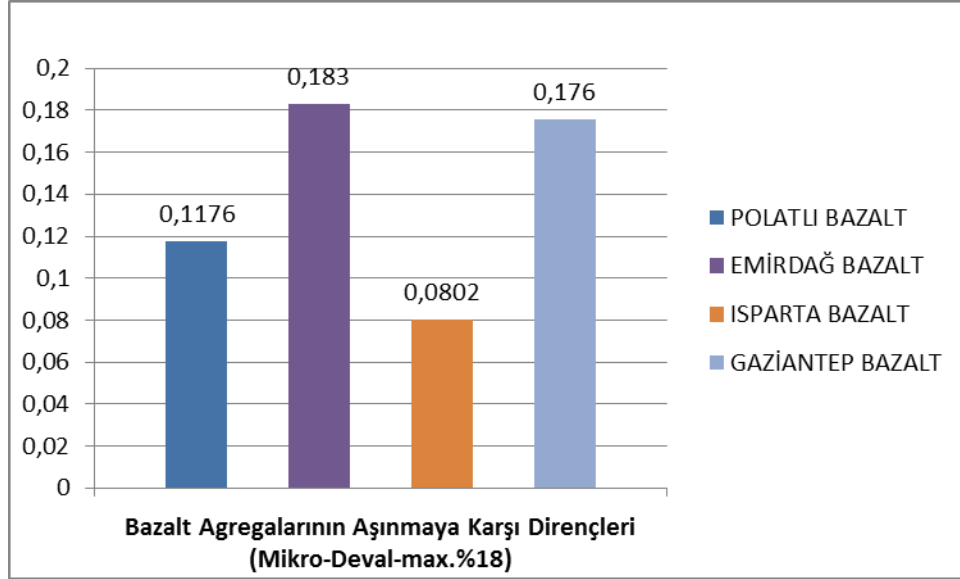


Şekil 4.22. Numunelerin aşınmaya karşı dayanım sonuçları



Şekil 4.23. Kalker agregalarının aşınmaya karşı dirençleri

Kalker agregaları arasında, Mikro-Deval deney yöntemi, ile belirlenen aşınma direnci en yüksek değeri Polatlı-Kalker agregası sahip olmuştur. Daha sonra sırasıyla Emirdağ-Kalker ve Isparta-Kalker agregası izlemiştir.



Şekil 4.24. Bazalt agregaların aşınmaya karşı dirençleri

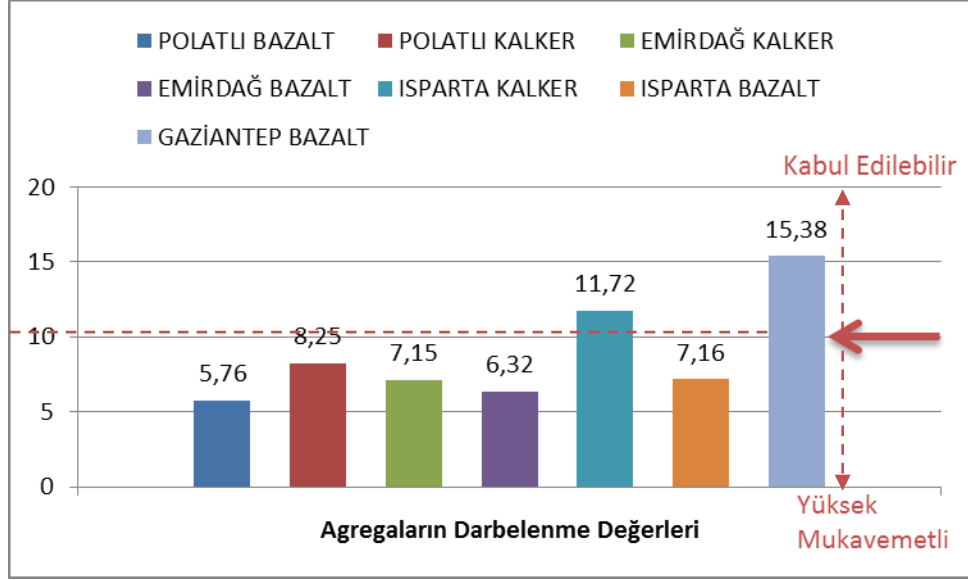
Bazalt agregaları arasında aşınma dirençleri sonuçları incelendiğinde bir seri kırım işlemine tabi tutulan Gaziantep agregası sınırda çıkmıştır. Agreganın bu şekilde kırma işlemine tabii tutulması sonucunda bu değerin çıkması netlik kazanmıştır. Bununla birlikte Emirdağ agregası herhangi bir işleme tabi tutulmamış olmasına rağmen maksimum sınır değerine ulaşmıştır.

Yol ve hava alanları, kaldırım, döşeme betonlarında vs. yerlerde kullanılan malzeme, sürekli darbe sürtünme ve aşınma etkilerinin altındadır. Malzemelerin bu etkilere karşı dayanabilmesi için yapımında kullanılan iri agregaları aşınmaya ve darbeye karşı dayanıklı olması gerekir.

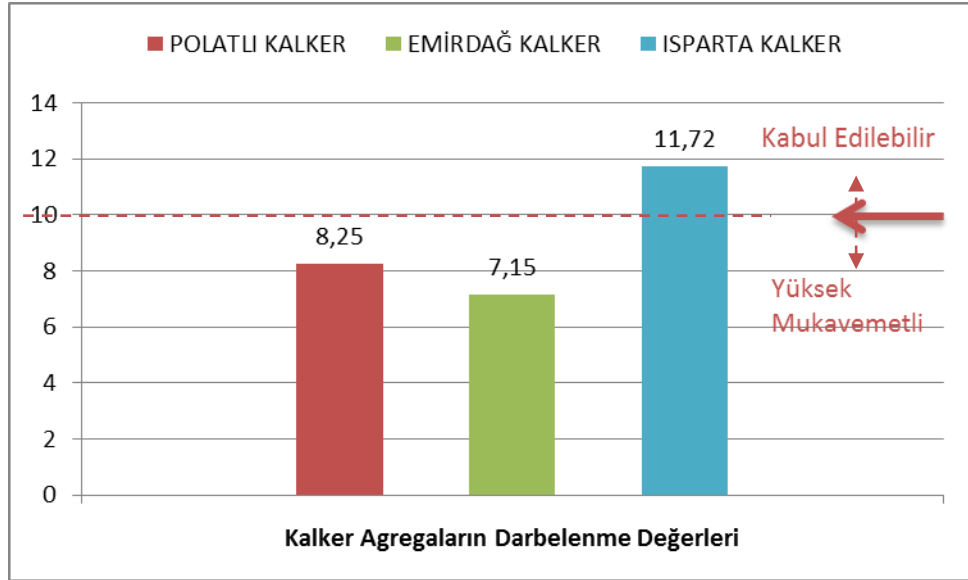
Çalışmada kullanılan agregalara ait aşınma deney sonuçları limit değerler içerisinde kalmıştır. Kullanılan agregaların yol yapımında kullanılmasına uygun olacağı görülmüştür.

4.1.8. Agregalarda darbelenme deney sonuçları

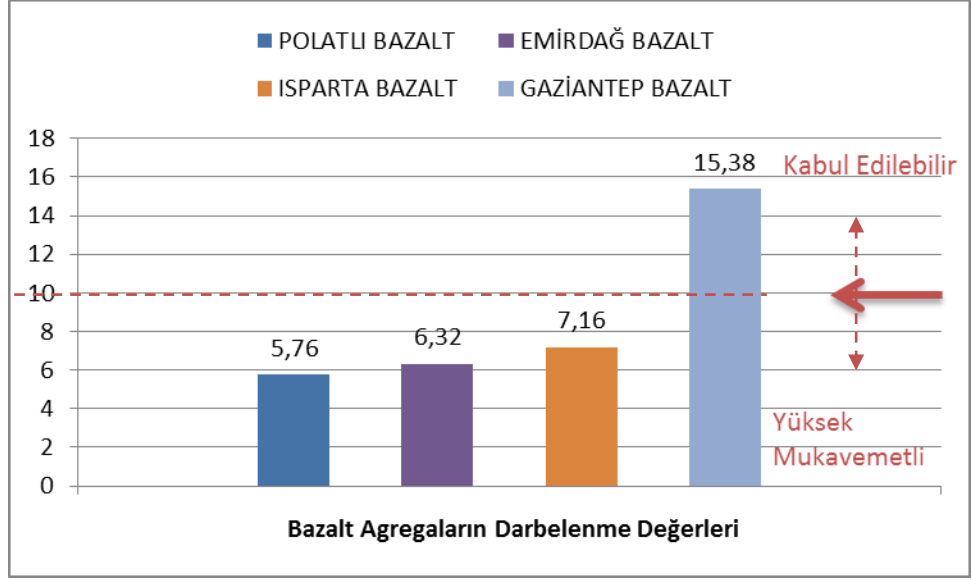
Agregalar üzerinde uygulanan darbelenme deney sonuçları Şekil 4.25-Şekil 4.27 arasında verilmiştir.



Şekil 4.25. Numunelerin darbelenme deney bulguları



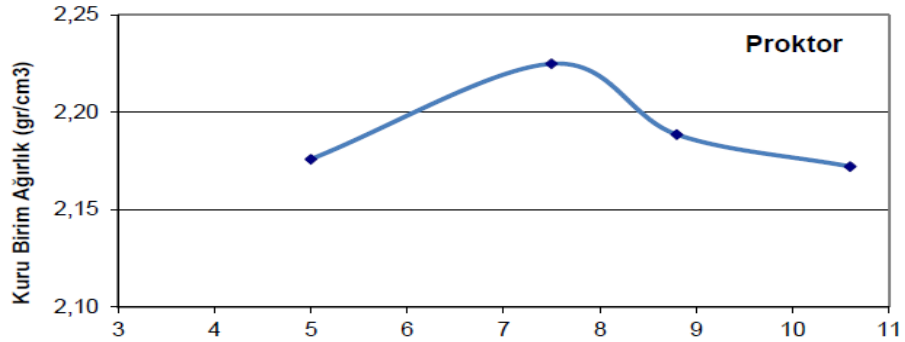
Şekil 4.26. Kalker agregasının darbelenme deney bulguları



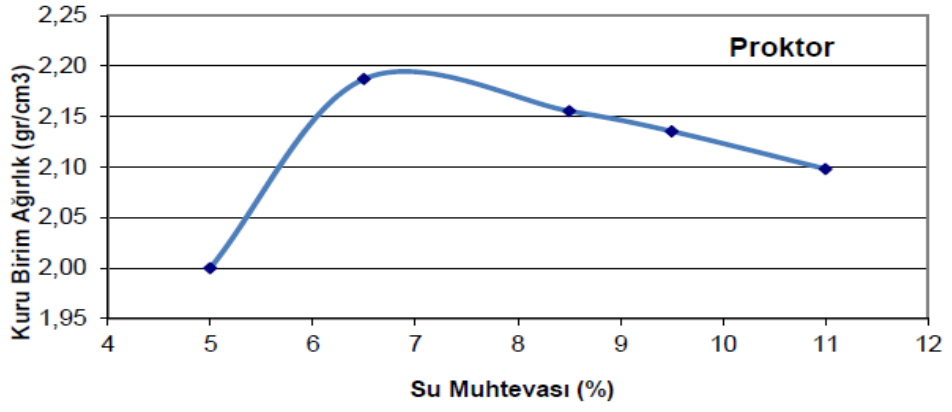
Şekil 4.27. Bazalt agrelarının darbelenme deney sonuçları

Şekil 4.25'deki grafikten görüldüğü üzere, test edilen agregaların darbelenme değerleri 6,32 ile 15,38 arasında değerler almıştır. Polatlı-Bazalt, Emirdağ-Bazalt, Emirdağ-Kalker, Isparta-Bazalt ve Polatlı-Kalker oldukça yüksek parçalanma direnci göstermişlerdir. Isparta-Kalker ve Gaziantep-Bazaltı agregaları kabul edilebilir darbe direncine sahiptir.

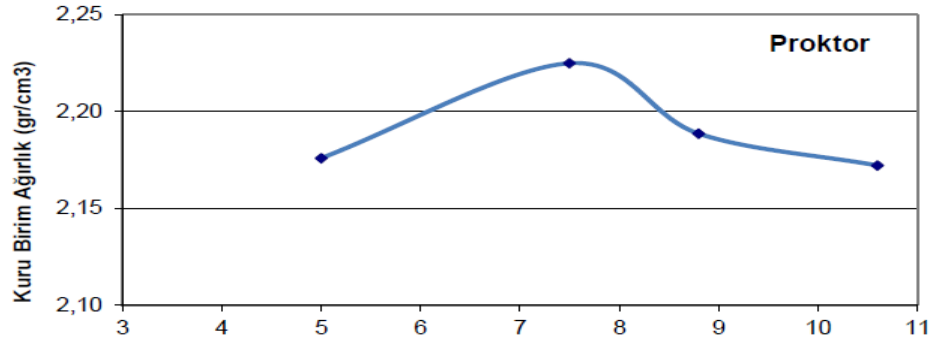
4.1.9. Agregalarda modifiye proktor deney sonuçları



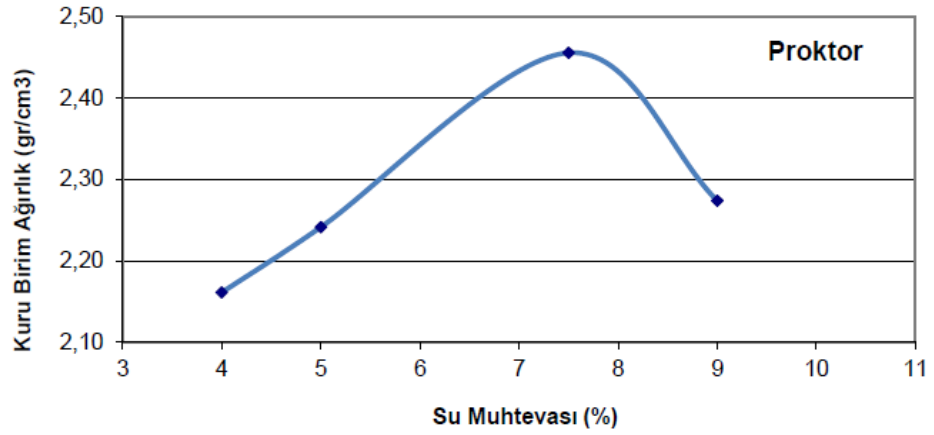
Şekil 4.28. Polatlı-bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi



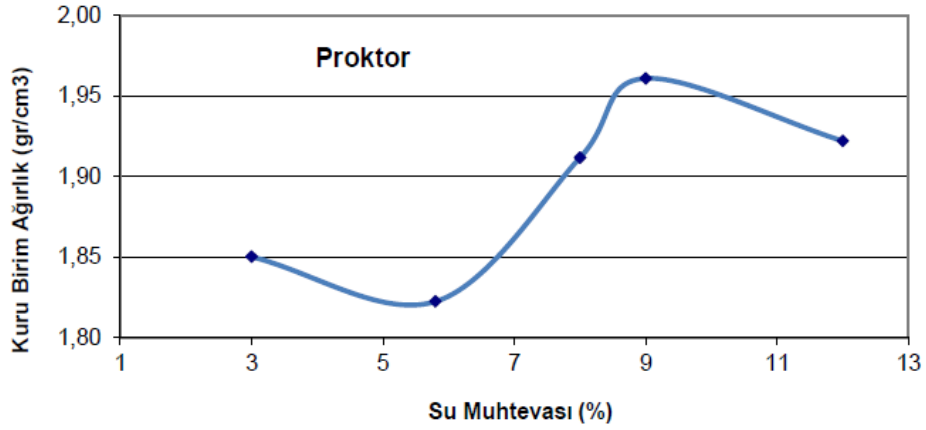
Şekil 4.29. Polatlı Kalker su muhtevası birim ağırlık ilişkisi



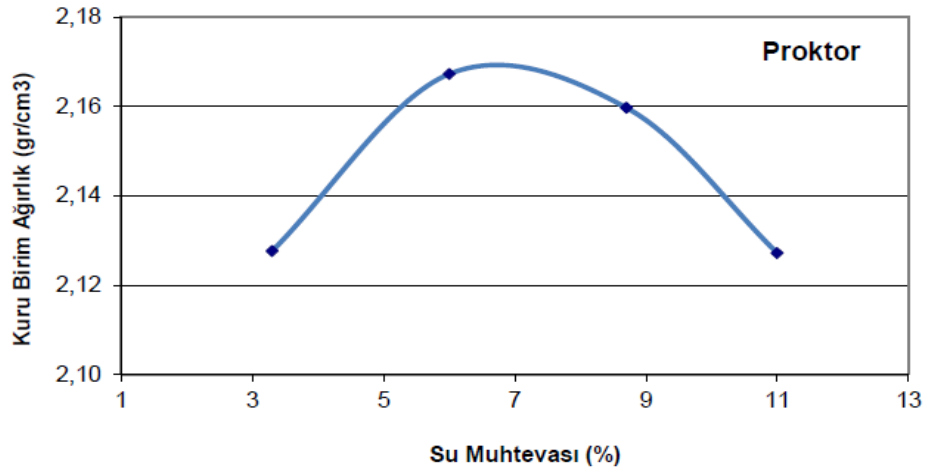
Şekil 4.30. Emirdağ Bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi



Şekil 4.31. Isparta-Kalker su muhtevası birim ağırlık ilişkisi



Şekil 4.32. Isparta Bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi

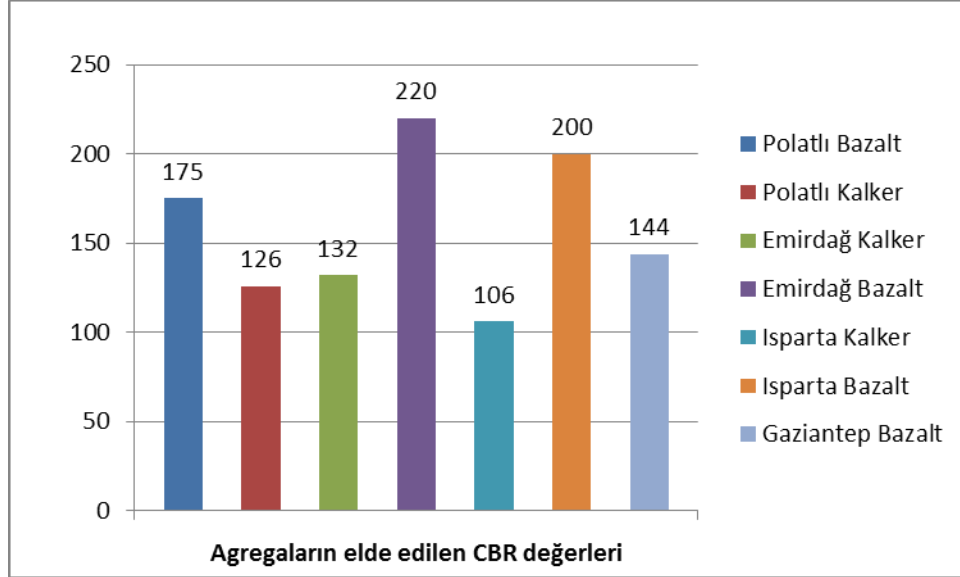


Şekil 4.33. Gaziantep-Bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi

Şekildeki grafiklerden görüldüğü üzere optimum su muhtevası civarındaki deneylerde numunelerin su muhtevalarında genel olarak artış gözlenmiştir. CBR değerinin numunedeki iç sürtünmenin bir ölçüsü olduğu düşünüldüğünde, su miktarı arttıkça suyun yağlanma etkisi ile birlikte numunelerdeki iç sürtünmenin azaldığı ve danelerin bir biri üzerinde daha rahat kayabildiği görülmektedir. Bu çalışma yöntemi sayesinde hangi su muhtevasında hangi CBR değerinin elde edilebileceği ve su muhtevasının taşıma gücü üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılmaktadır.

Malzemelerin maksimum kuru birim ağırlığa ve optimum su muhtevasına karşılık gelen optimum CBR değerleri Şekil 4.34'de toplu halde görülmektedir. Karayolları

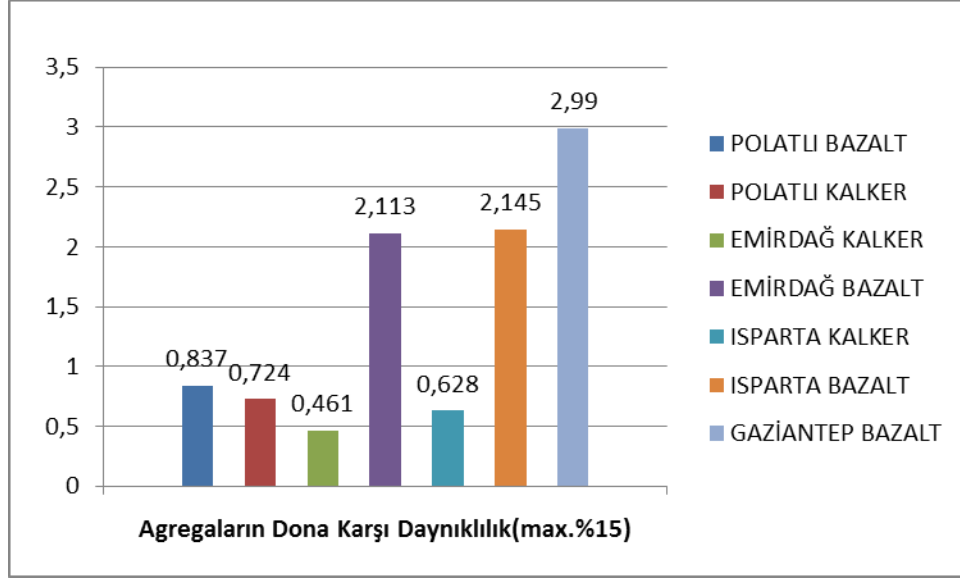
Teknik Şartnamesine göre yol üstyapısında granüler temel tabakasında kullanılacak olan agrega karışımlarının en az %100 CBR değerine sahip olması istenmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere test edilen tüm malzemelerin optimum su muhtevasına karşı gelen CBR değerleri şartname sınırlarının üzerindedir.



Şekil 4.34. Numunelerin CBR deney bulguları

4.1.10. Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini (sodyum sülfat deneyi)

Yol üst yapısında kullanılan malzemenin donma olayları karşısında parçalanmaması, birçok faktörün etkisi altında bulunmaktadır. Burada en önemli rol yol üstyapısında kullanılan agrega malzemesi tarafından oynanmaktadır. Bu nedenle yol malzemesinde kullanılan agregaların donmaya etkisine karşı dayanıklı olması gerekir. Agreganın dona dayanımını tespit etmek için kimyasal yöntem ile yapılan deney sonuçları Şekil 4.35’de verilmiştir.

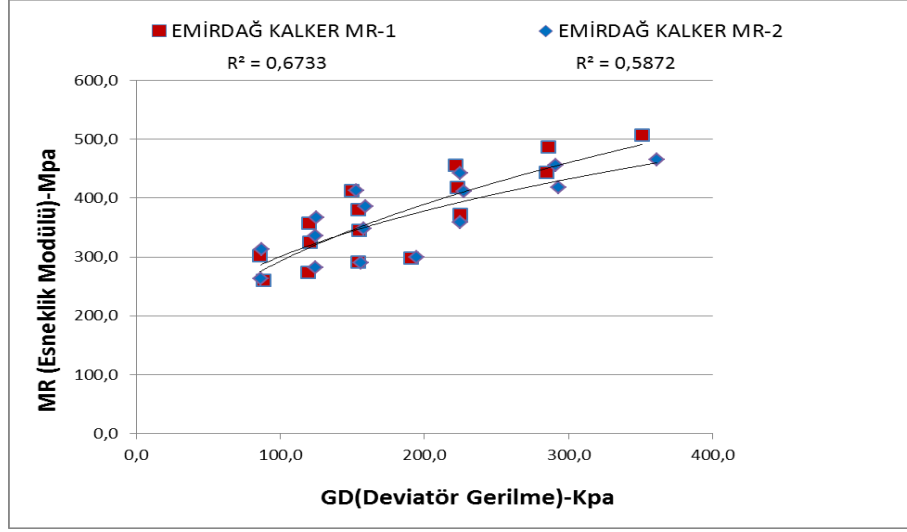


Şekil 4.35. Donma çözülme deney bulguları

İklimsel etkilere karşı dayanım özelliği gece-gündüz ısı farkının yüksek olduğu kara iklimlerinde oldukça önem arz eder. KGM şartnamelerine göre temel tabakasında kullanılacak olan malzemenin Na_2SO_4 ile donma-çözülme kaybı maksimum %15 olmalıdır. Kullanılan bütün agregalar %15 sınırın altında kalmıştır.

4.1.11. Agregalara uygulanan esneklik modülü deney sonuçları

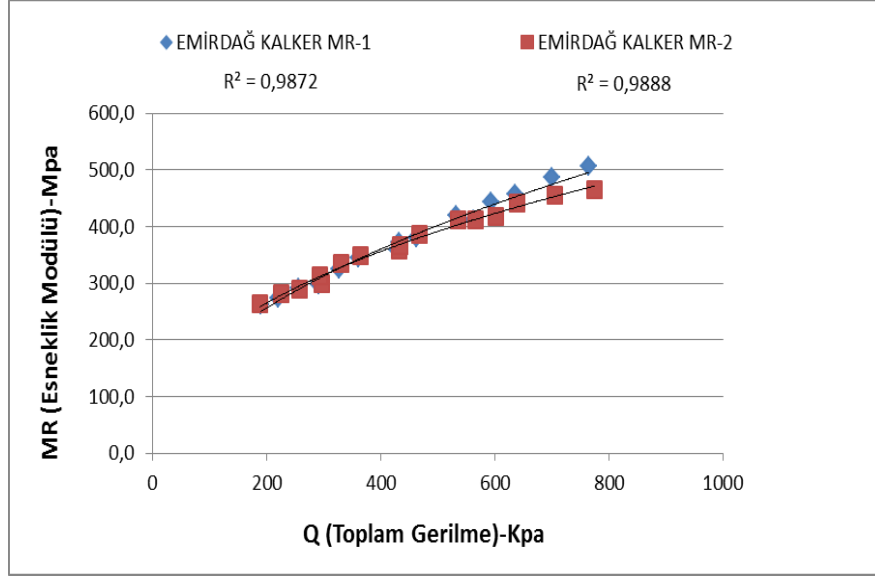
Buraya kadar yapılan ve yukarıda değerlendirilen deney sonuçları, yol taban zemininde kullanılacak bir malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneylerdir. Ancak yapılan tüm bu deneyler tek başına malzeme davranışını belirlemekte yeterli olmamaktadır. Dinamik yüklerin de temsil 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.



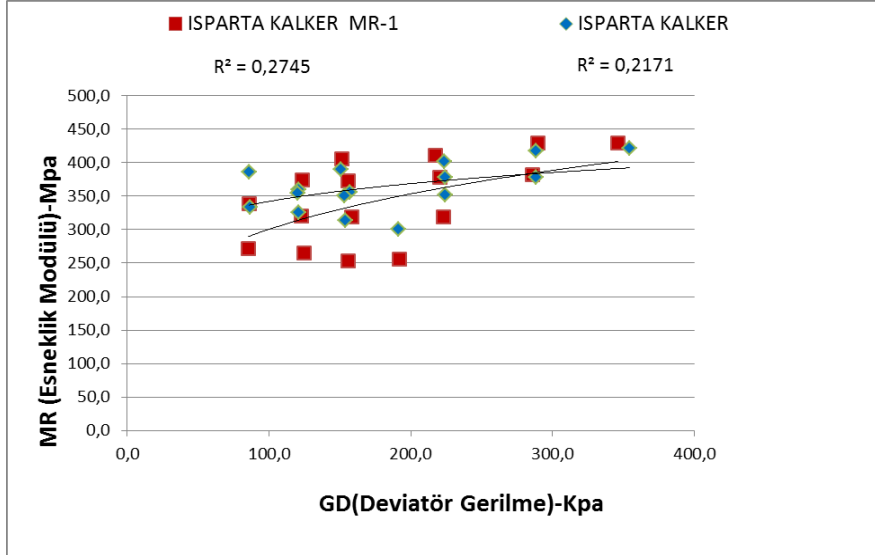
Şekil 4.36. Emirdağ kalker agregasının esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği

Emirdağ Kalker numunesine yapılan Esneklik Modülü deney bulguları Şekil 4.29'da verilmiştir. Bu deney bulgularına bağlı olarak Emirdağ Kalker Malzemesi üzerinde iki kez Esneklik Modülü deneyi uygulanmıştır. Şekil 4.29 Mr (Esneklik Modülü)-Gd (Deviatör Gerilme) sonuçlarına göre Esneklik Modülü değeri Çevre basıncı ile doğru orantılıdır Çevre basıncı azaldıkça Esneklik Modülü değeri de azalmaktadır. Yine toplam gerilmenin Esneklik Modülü değişimine aynı çevre basıncında bakıldığında Esneklik Modülü arttıkça toplam gerilme azalmaktadır.

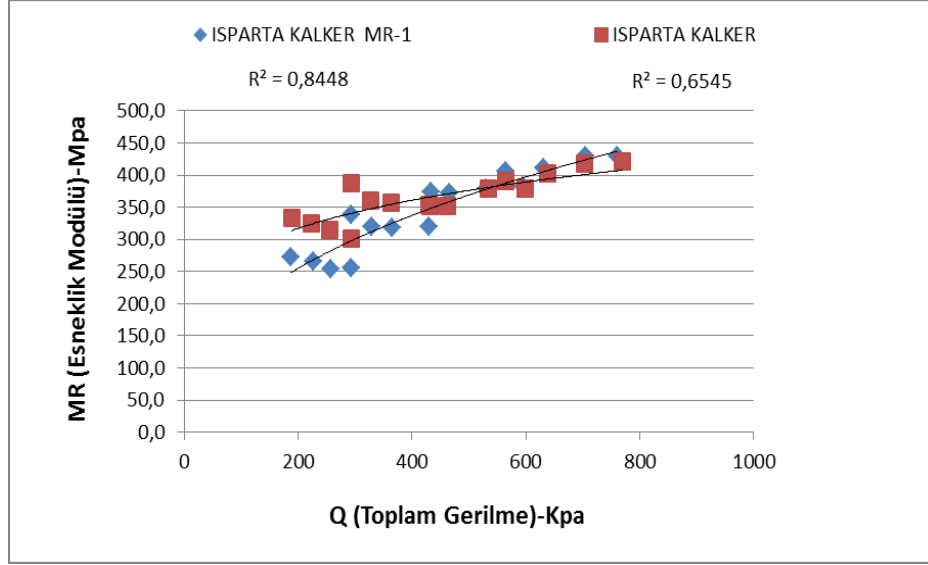
Dinamik üç eksenli deney numuneleri kalıp ile sıkıştırılarak her bir numune için dinamik üç eksenli deneyler yapılmıştır. Elde edilen verilere ait Esneklik Modülü-Toplam Gerilme ve Esneklik Modülü-Deviatör grafikleri Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de gösterilmiştir.



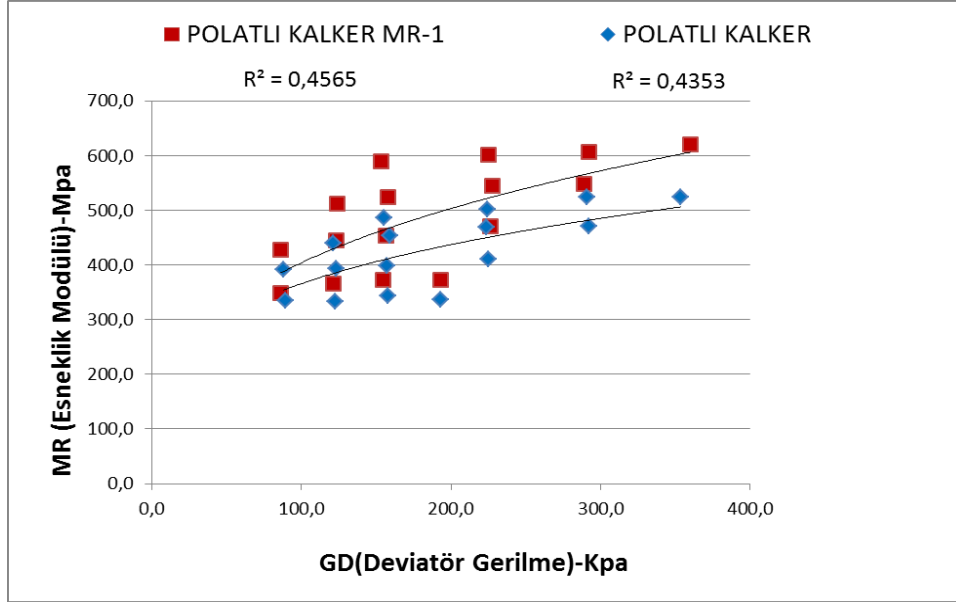
Şekil 4.37. Emirdağ kalker agregasına ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği



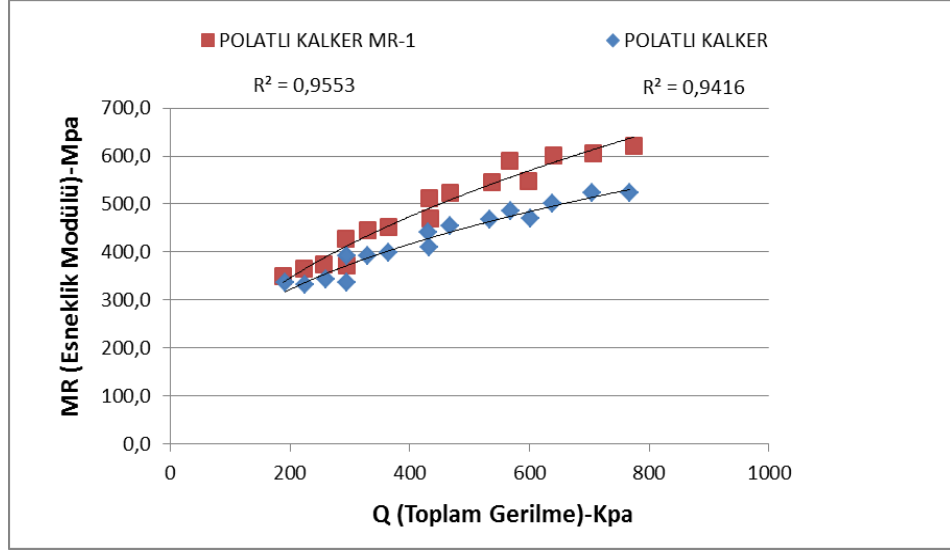
Şekil 4.38. Isparta kalker agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği



Şekil 4.39. Isparta kalker agregasına ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği

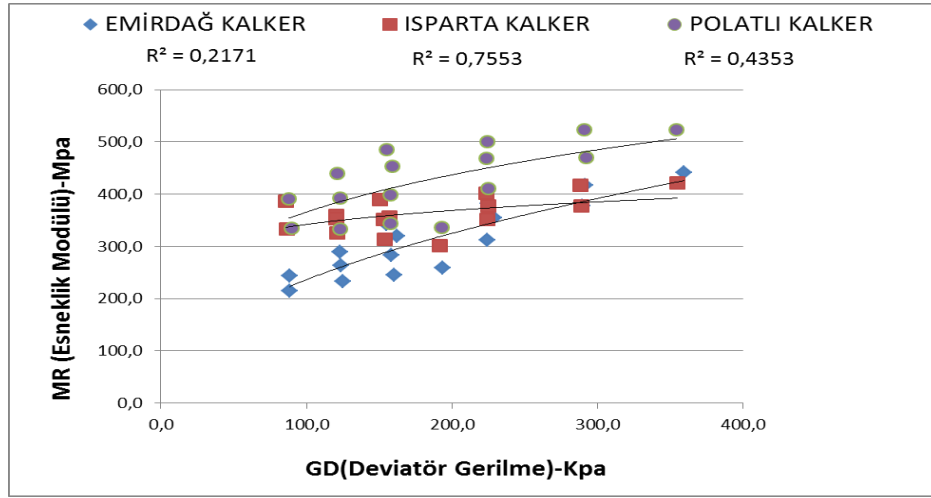


Şekil 4.40. Polatlı kalker agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği



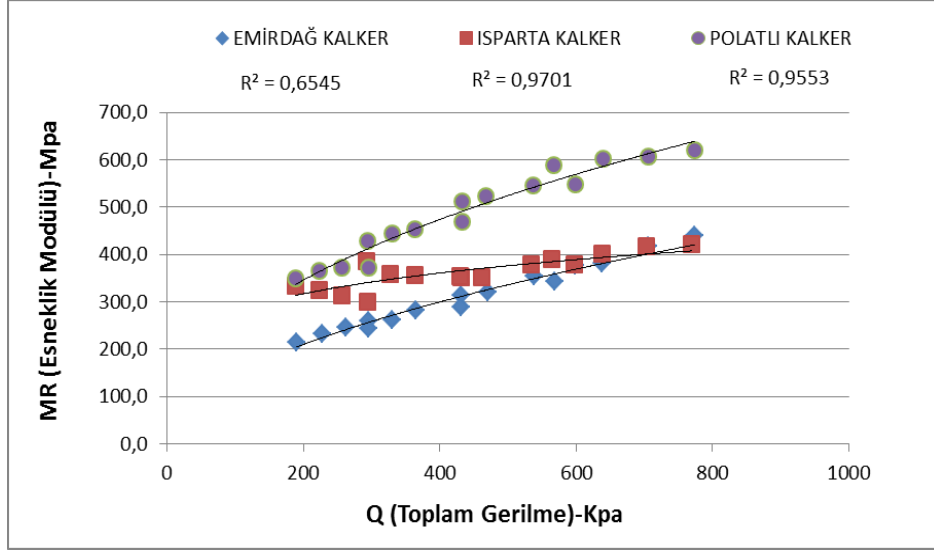
Şekil 4.41. Polatlı kalker agregasının esneklik modülü toplam gerilme grafiği

Esneklik modülü deneyi uygulanırken her malzeme için birkaç kez deney uygulanmıştır. Uygulanan deneyler sonucunda ortalama değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.42. Çalışmada kullanılan kalker agregaların esneklik modülü-deviyör gerilme arasındaki ilişki

Esneklik Modülü deney bulgularına bakıldığında, Kalker malzemelerinden en yüksek değer Emirdağ Kalker agregasından elde edilmiştir. Daha sonrasında Polatlı Kalker ve Isparta Kalker sırası izlemiştir. Esneklik Modülü değeri en yüksek malzeme eksenel şekil değişimi en fazla olan malzemedir ve yol taban zemininde kullanılması en uygun olan agregadır.

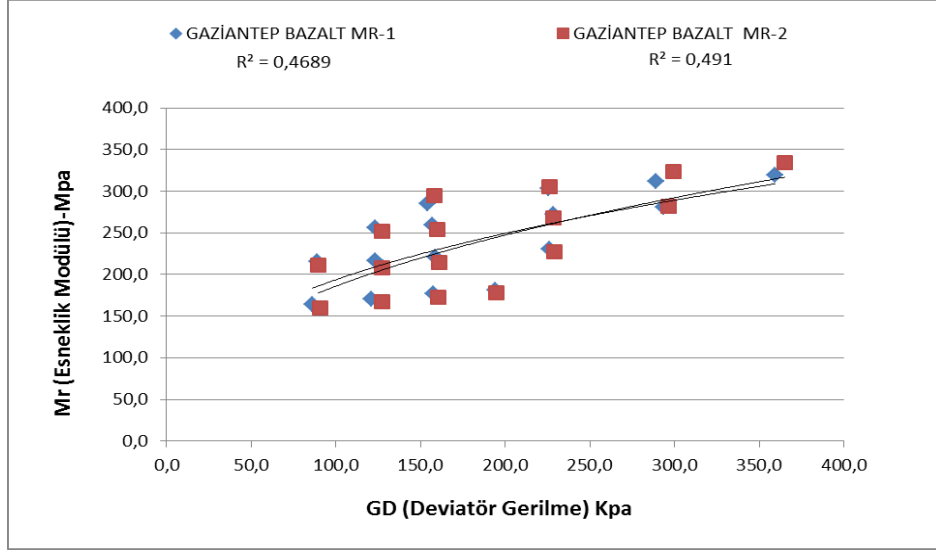


Şekil 4.43. Çalışmada kullanılan kalker agregaların esneklik modülü-toplam gerilme arasındaki ilişki

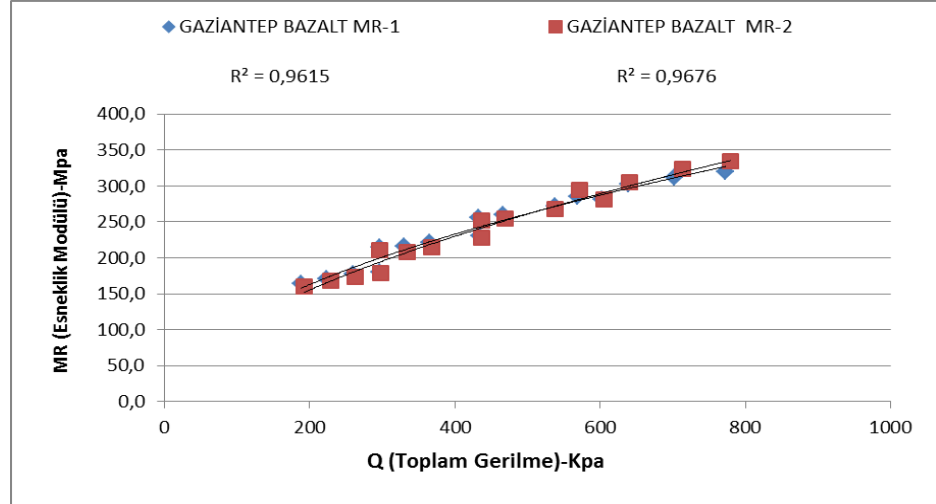
Yapılan deneylerden sonra Şekil 4.38, Şekil 4.40, Şekil 4.42’de Mr (Esneklik Modülü)-GD (Deviatör Gerilme) değerlerinden anlaşılacağı üzere çevre basıncı azaldıkça Esneklik Modülü değeri de azalmaktadır. Yine toplam gerilmenin Esneklik modülüyle değişimine aynı çevre basıncında bakıldığında Esneklik modülü arttıkça toplam gerilme de azalmaktadır.

Deney sonuçlarından da anlaşılacağı üzere, çevre basıncının Esneklik Modülü üzerindeki etkisi çok fazla belirgindir. Deviatör gerilmenin sabit tutulduğunu düşünürsek Şekil 4.43’de görüldüğü gibi çevre basıncı arttıkça, Esneklik Modülü değeri artmış ve en yüksek değerine 138 kPa çevre basıncında ulaşılmıştır. Malzeme üzerinde çevre basıncı arttıkça, uygulanan gerilme de artış göstermiştir. Çevre basıncının artması, numune üzerinde eksenel değiştirmeyi de zorlaştırmaktadır. En çok eksenel şekil değiştirme 138 kPa çevre basıncında, en az ise 34 kPa çevre basıncında görülmüştür.

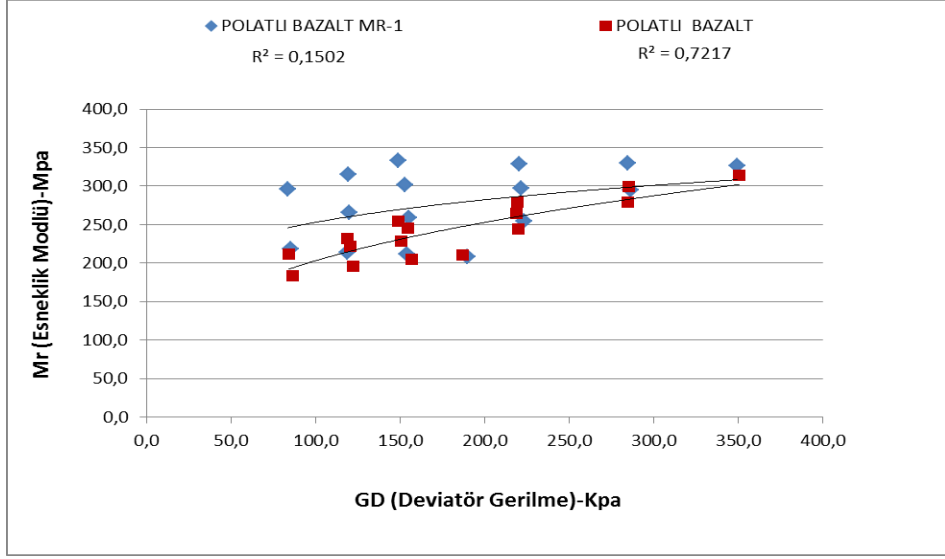
Dinamik Üç Eksenli Deneyi ilk olarak illerden temin edilen kalker malzemesi üzerinde yapılmıştır. Daha sonrasında ise aynı illere ait Bazalt malzemesine Üç Eksenli Deneyi uygulanmıştır. Bazalt malzemesine yapılan deneyler sonucunda elde edilen Mr (Esneklik Modülü)-Gd (Deviatör Gerilme) ve Mr (Esneklik Modülü)-Q (Toplam Gerilme) grafikleri Şekil 4.44 - Şekil 4.53’de görülmektedir.



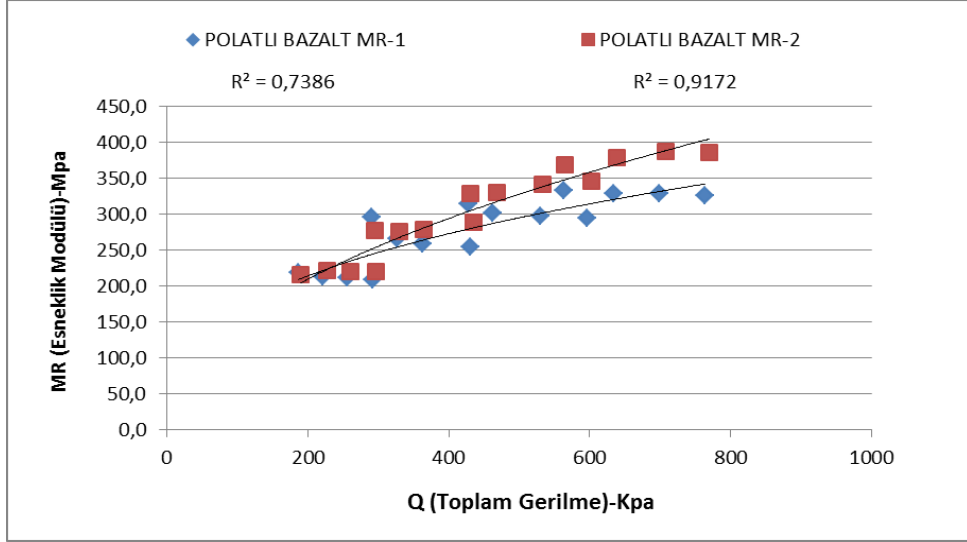
Şekil 4.44. Gaziantep bazalt agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği



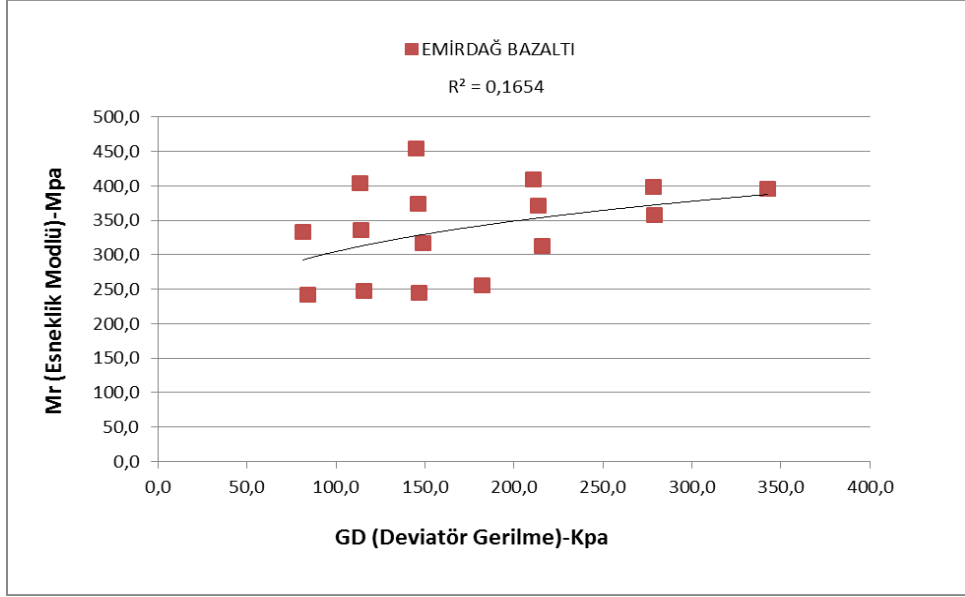
Şekil 4.45. Gaziantep bazalt agregasının esneklik modülü-toplam gerilme grafiği



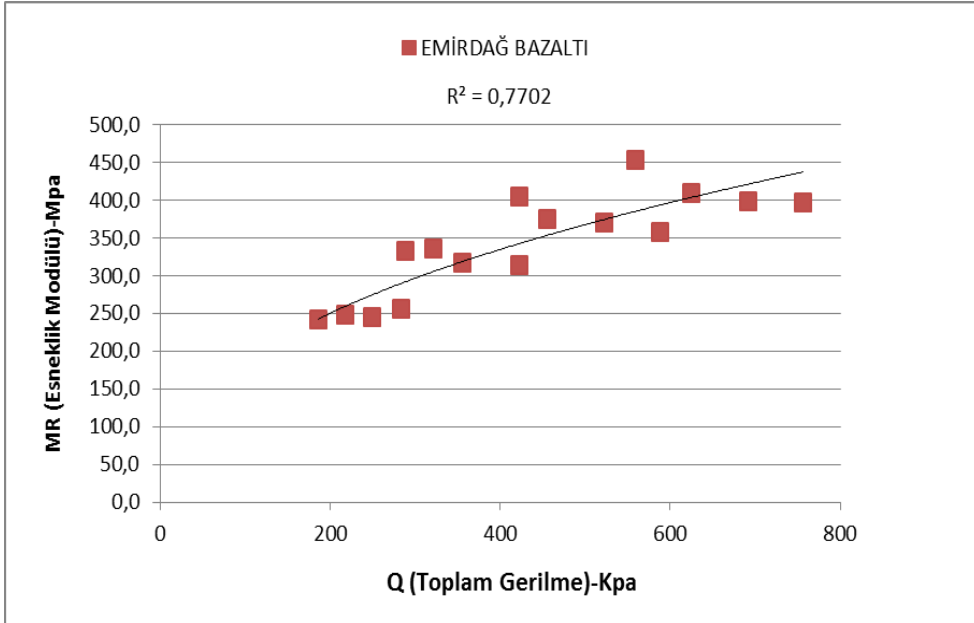
Şekil 4.46. Polatlı bazalt malzemesine ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği



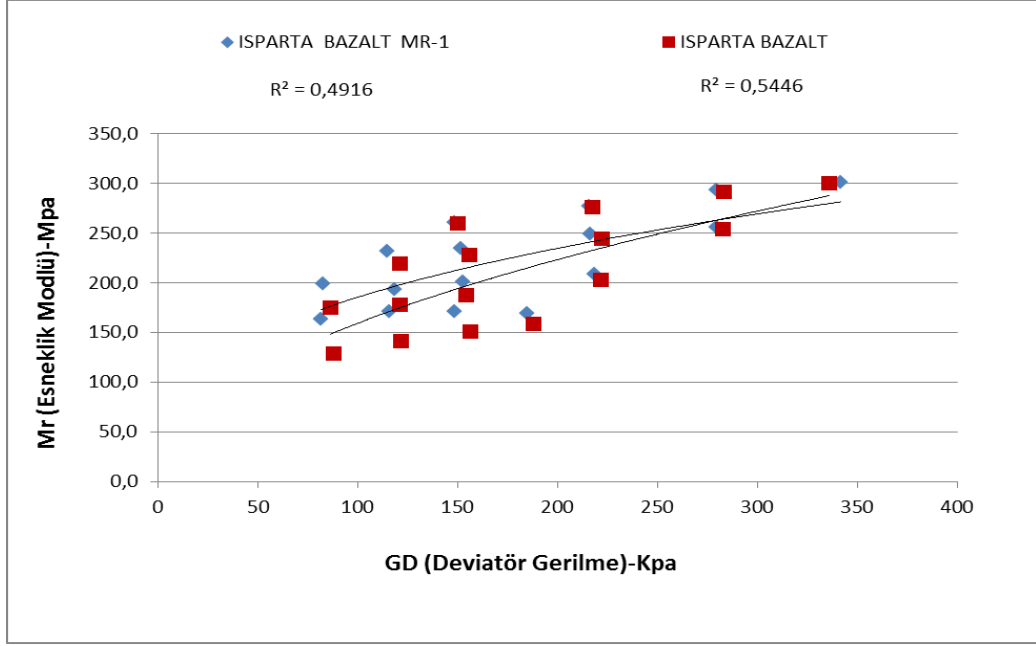
Şekil 4.47. Polatlı bazalt malzemesine ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği



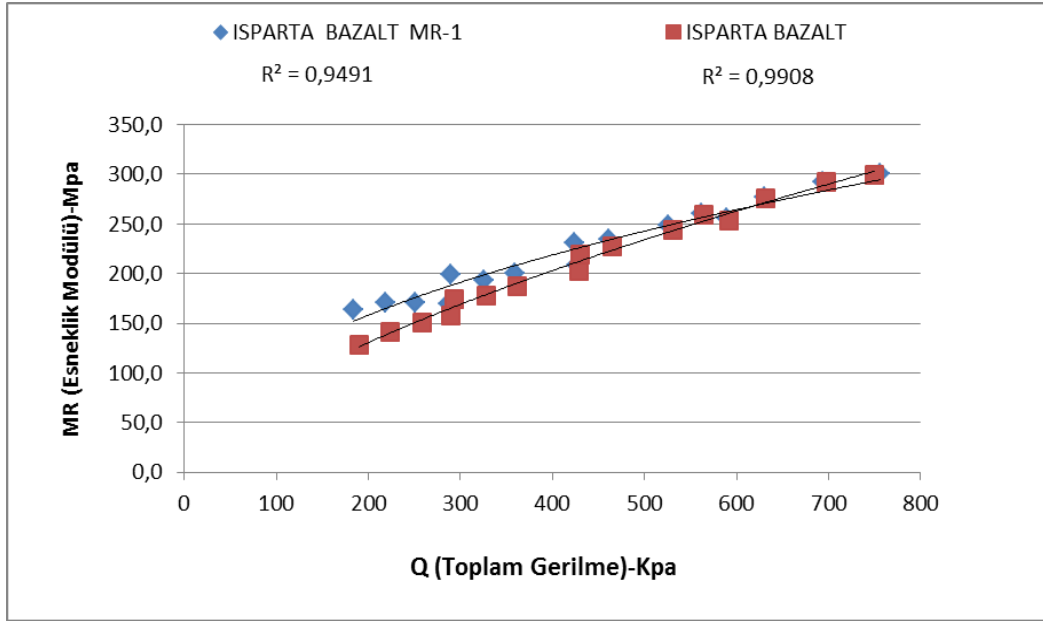
Şekil 4.48. Emirdağ bazalt agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği



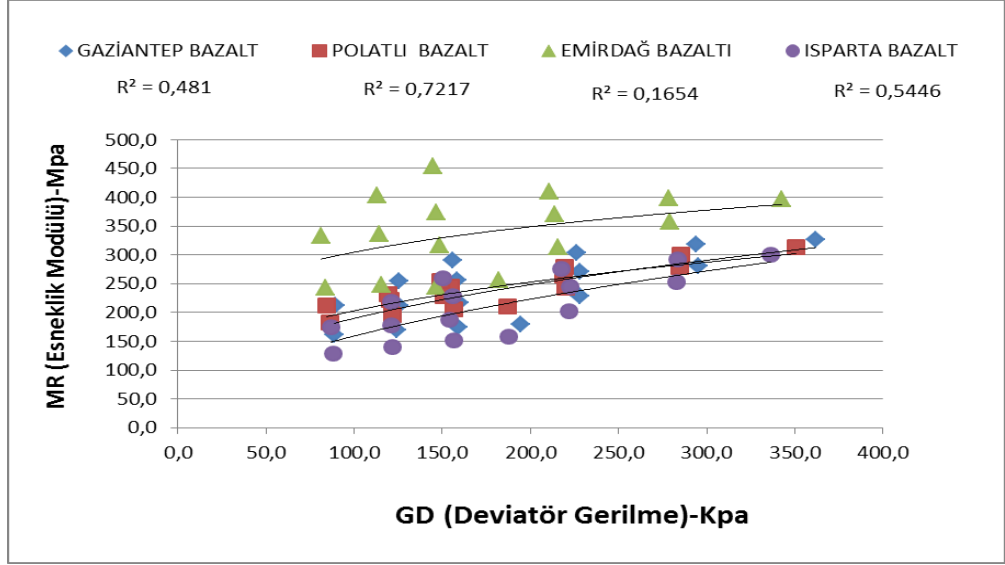
Şekil 4.49. Emirdağ bazalt agregasına ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği



Şekil 4.50. Isparta bazalt agregasına ait esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği



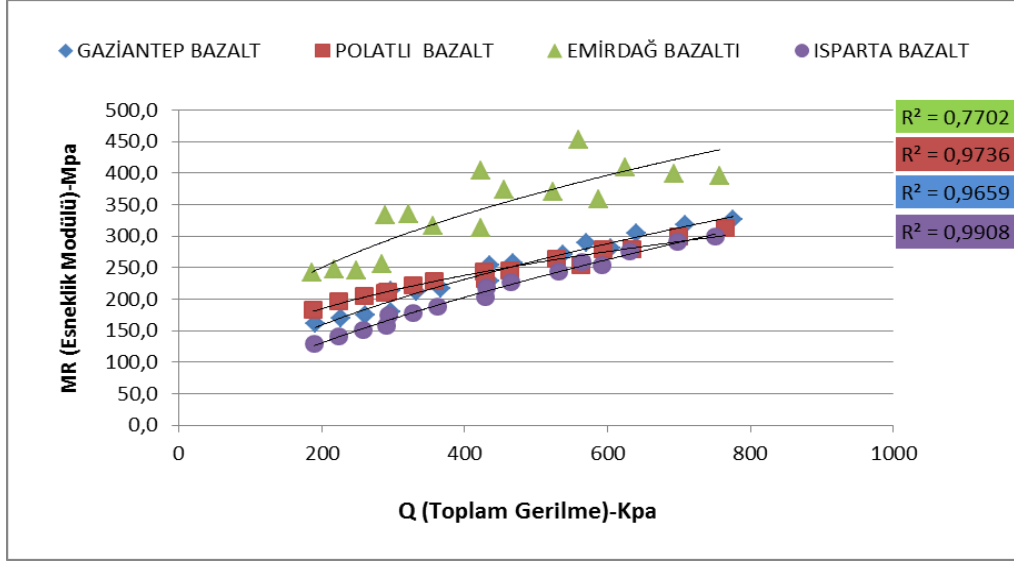
Şekil 4.51. Isparta bazalt agregasına ait esneklik modülü-toplam gerilme grafiği



Şekil 4.52. Çalışmada kullanılan bazalt agregaların esneklik modülü-deviatör gerilme arasındaki ilişki

Dinamik Üç Eksenli Deneyler sonucunda bazalt malzemelerine ait Mr (Esneklik Modülü)-Gd (Deviatör Gerilme) Şekil 4.52’de, Mr (Esneklik Modülü)-Q Toplam Gerilme) Grafiği Şekil 4.53’de görülmektedir.

Bazalt malzemesine uygulanan esneklik modülü deney bulgularına bakıldığında en yüksek Esneklik Modülü değeri Emirdağ bazalt numunesinde elde edilmiştir. Emirdağ Bazaltını sırasıyla Polatlı bazaltı, Gaziantep bazaltı ve Isparta bazaltı izlemektedir. Esneklik Modülü değerinin yüksek olması o numunenin esnek şekil değişiminin en yüksek olması anlamına gelmektedir. Esneklik şekil değişiminin yüksek olması o malzemenin yol taban zemininde kolaylıkla kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.53. Çalışmada kullanılan bazalt agregaların esneklik modülü-toplam gerilme arasındaki ilişki

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şeklidir. Esnek üstyapılarda kütleli miktarda kullanılan malzemelerin başında granüler malzemeler gelmektedir. Üstyapıdaki granüler tabakalar kaplama tabakası ile taban zemini arasında yer alırlar ve kaplamadan gelen araç yüklerini bünyesine alarak bu yükleri azaltır ve daha az dirençli olan taban zeminine iletirler. Bu şekilde araçlar tabanda aşırı deformasyonlar oluşturmada defalarca yoldan geçebilirler. Kısaca granüler tabakalar için üstyapının taşıyıcı iskeleti benzetmesi yapılabilir. Bu malzemelerin mekanik özelliklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenebilmesi için, düşey yükten dolayı oluşan gerilmelerin büyüklüğü ve frekansı, malzeme gradasyonu ve sıkıştırılma şartları gerçek ortam şartlarına en uygun şekilde dikkate alınmalıdır. Bu trafikten kaynaklanan dinamik yüklerin de temsil edildiği kompleks deney yöntemlerinin uygulanması önem kazanmaktadır.

Volkanik kökenli agregalar sınıfına giren bazalt malzemesi ve sedimanter kökenli olan kalker malzemesinin ilk olarak fiziksel özellikleri incelenmiştir. Elek analizi, Özgül ağırlık, Su emme, Mikro-Deval (aşınma), darbelenme ve donma-çözülme (sodyum-sülfat) ve yassılık indeksi deneyleri uygulanmıştır. Bu deney sonuçlarına göre bazalt malzemesinin özelliklerinin bölgesel olarak değiştiği gözlenmiştir. Dona karşı dayanımının %15 sınırında olması gerektiği ve kullanılan agregaların hepsinin %15'in altında olduğu belirlenmiştir. Polatlı-bazalt agregası %1'lik donma çözülme kaybı ile esnek üstyapılarda kullanım açısından kullanılan agregalar arasında en düşük kayıp ile ilk sırada yer almaktadır. Aşınma değeri bakımından agregaların sınır değeri aşmadığı, Gaziantep-Bazalt agregasının aşınma yönünden biraz zayıf kaldığı, Polatlı-kalker agregasının ise %7,8'lik bir değerle aşınma değerleri arasında en düşük değere sahip olarak esnek üstyapı inşaatında kullanılabilirliği diğer agregalara göre daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Agregalara uygulanan CBR deneyi sonucunda bazalt agregasının kalker agregasına oranla daha yüksek değerlere ulaştığı ve yol inşaatında kullanımı açısından bazalt malzemesinin daha uygun olacağı belirlenmiştir.

Aynı zamanda bu deneylerin yanında malzemenin esnekliğini belirlemek için dinamik üç eksenli deneyi yapılmıştır. Yapılan üç eksenli deneylerle bazalt ve kalker agregasının esneklik modülü ve eksenel şekil değiştirme değerleri belirlenmiştir. Esneklik modülü bazalt malzemelerinde uygulanan deviatör gerilmeler sonucunda Emirdağ bazalt malzemesi esneklik şekil değiştirme yönünden en yüksek değeri sağlamıştır. Esneklik şekil değişiminin yüksek olması o malzemenin esnek üstyapı inşaatında kolaylıkla kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, malzemenin esnek üstyapı inşaatında kullanılması açısından statik esaslı CBR deneyi ile dinamik esaslı dinamik üç eksenli deneyi farklı statik ve dinamik deneyler olduğundan farklı kategorilerde değerlendirilmiştir. Buna göre yapılan deneyler sonucunda esnek üstyapılarda dört farklı şehirden alınan Bazalt ve Kalker malzemesinin esnek üstyapı inşaatında kullanımı açısından bazalt agregasının daha üstün olduğu kalker malzemesinin ise yol taban zemini ya da alt temel malzemesi olarak kullanımı uygun görülmüştür. Bazalt agregasının fiziksel özellikleri bakımından incelendiğinde yolun ömrünü uzamasında oldukça büyük katkı sağlayacağı belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- AASHTO 1986. Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C.
- Akbulut H., Çetin, S., Gürer, C., 2006. Afyonkarahisar Bölgesinden Elde Edilen Bir Volkanik Agreganın Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006 (1), 37-42s. Afyonkarahisar.
- Akbulut, H., Çetin, S., Gürer, C, 2009. Andezit Agregasının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- Akpınar Ş., Gonak G., Pamukçu, Ç., 2004. Değişik Kökenli Agregaların Beton Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 374-382s., İzmir.
- Allen, J.J., Thompson, M.R., 1974. Resilient Response of Granular Materials Subjected to Time-Dependent Lateral Stresses. Transportation Research Record 510, Washington, D.C., 1-13s.
- Anonim, 2001, Devlet Planlama Teşkilatı, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri I Çalışma Grubu Raporu 120 s.
- Anonim, 2006. Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları No:267, Ankara.
- Arslan, M., Demir, I., 2005. Kırşehir Yöresi Kırmataş Agregalarının Mühendislik Özellikleri Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 20 (3), 335-346s.
- Barksdale, R.D., 1975. Comprehensive Stress Pulse Times in Flexible Pavements for Use in Dynamic Testing, Transportation Research Record 537, Washington, D.C., 32-44s.
- Barksdale, R.D., 1993. Comprehensive Stress Pulse Times in Flexible Pavements for Use in Dynamic Testing, Transportation Research Record 537, Washington, D.C., 32-44s.
- Baus, R.L., Li, T., 2006. Investigation of Graded Aggregate Base (Gab) Courses, Department of Civil and Environmental Engineering, University of South Carolina, FHWA-SC-06-03 Final Report, Columbia.
- Binici H. Çağatay İ., 2004. Osmaniye ili Agregalarının Teknik Özelliklerinin İncelenmesi Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 19 (1), 137-148s. Osmaniye/Adana.
- Boyce JR., 1976. The Behaviour of a granular material under repeated loading. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Nottingham.

- Brown SF, Pappin JW., 1985. Analysis of pavements with granular bases. *Transp Res Rec* 1022:52-59p.
- Caymaz M., 2009. Baritin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği ve Kalker ile Dere Malzemesi Agregalarıyla Karşılaştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Elliot, R. P., and Lourdesnathan, D., 1989. Improved characterization model for granular bases. *Transp. Res. Rec.* 1227, Transportation Research Board, Washington, D.C., 128–133p.
- Esenli, V., 1996. Kırmataş Hammaddeleri ve Standartları. I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul
- Heydinger, A. G., Xie, Q. L., Randolph, B. W., and Gupta, J. D., 1996. Analysis of resilient modulus of dense and open-graded aggregates. *Transp. Res. Rec.* 1547, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1–6p.
- Hicks, R.G., Monismith, C. L., 1971. Factors Influencing the Resilient Response of Granular Materials. *Highway Soils Engineering, Highway Research Record* 345, Washington D.C., 15-31p.
- Karacan Doğan S., 2006. Zonguldak-Sapça Taş Ocağı Agregalarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Karaşahin M, Dawson AR, Holden JT., 1993. Applicability of resilient constitutive models of granular material for unbound base layers. *Transp Res Rec* 1406:89-107p.
- Kılıç, A., Keskin, M., 2003. Doğu Karadeniz Yöresi Taş Ocakları Malzemelerinin Kırmataş Olarak Değerlendirme Olanakları III. Ulusal kırmataş sempozyumu 301-306s., İstanbul.
- Kirca,S., 2001. Sütçüler-Menteşe Çakıl Agregasının Beton İmalinde Kullanılmasının Araştırılması Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Konak, G., Onur, H.A., Karakuş, D. 2009. İnşaat Sektörünün İhtiyacı olan Agreganın İşletilmesi ve Kentsel Faydaları TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, 229-236s., İzmir.
- Lekarp, F., Isacsson, U. and Dawson, A., 2000. State of The Art. I: Resilient Response of Unbound Aggregates, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 126, No. 1, 66-75p.
- Maher, A., Bennert, T., Gucunski, N., and Papp, W.J., 2000. Resilient Modulus Properties of New Jersey Subgrade Soils, FHWA 2000-01 Final Report, New Jersey Department of Transportation, 136p, FHA U.S.

- Nataatmadja, A., and Parkin, A.K., 1989. Characterization of granular materials for pavements. *Can. Geotech. J.*, Ottawa, 26, 725–730p.
- Öztürk, Ö., Çelikkol, M., Erkan M., 2007. Türkiye Agregas Sektör Raporu Hazır Beton, Kasım-Aralık 2007.
- Pappin JW., 1979. Characteristics of a granular material for pavement analysis. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Nottingham.
- PING, W.V., Xiong, W., and Yang, Z., 2003. Implementing Resilient Modulus Test for Design of Pavement Structures in Florida Final Report For the Florida Department of Transportation, USA.
- Santha, B.L., 1994. A Study on Resilient Modulus of Subgrade Soil: Comparison of Two Constitutive Equations and Predictability of k Parameters using Material and Physical Properties of Soil, Paper 940270 Georgia Department of Transportation.
- Shaw, P., 1980. Stres-Strain Relationships for Granular Materials Under Repeated Loading, (PhD. Thesis), University of Nottingham.
- Sweere, G.T.H., 1990. Unbound Granular Bases for Roads Dissertation, Delft University of Technology.
- Thompson, M.R., and Smith K.L., 1990. Repeated Triaxial Characterization of Granular Bases, Transportation Research Record 1278; TBR, Washington, DC.
- Turabi, A.Okucu, A., 2007. Balıkesir İli Yol Çalışmalarında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Şartnameye Uygunluğu Balıkesir Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9 (1), 45-51s. Balıkesir.
- Tutmaz, Ş.İ., Karaman,S., 2010. Tokat İli Merkez İlçesindeki Doğal Agregas Kaynaklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi” Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi,71-81s. Tokat.
- Umar, F., Açar, E., 1985. Yol Üst Yapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Yayınları, 339 s. İstanbul.
- Uzan, J. 1985. Characterization of Granular Materials, Transportation Research Record 1022, TRB, National Research Council, Washington D.C., 52-59p.
- Yılmaz A., 2008. Ferrokrom ve silikoferrokrom cürufları ile silis dumanının yol üst yapısında kullanımının incelenmesi.Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Zaman M, Chen D, Laguros J., 1994. Resilient moduli of granular materials. *J of Transp Eng* 120 (6):967-988s.

EKLER

Deney No	EMİRDAĞ KALKER						
Sıkışma %							
Numune Etiket	MR-1						
Yük Basamakları	LVDT değerler	Esnek Şekil Değ. (mm/mm)	Deviatör Gerilme (Kpa)	Hücre Basıncı (Kpa)	Toplam Gerilme (Kpa)	Ortalama Normal Gerilme (Kpa)	Mr (Mpa)
1	0,0426375	0,0003283	79,6	34	181	60,5	543,2
2	0,05925	0,0004413	112,2	34	214	71,4	475,5
3	0,0770375	0,0005387	147,3	34	249	83,1	438,0
4	0,096725	0,0006491	183,7	34	285	95,2	419,2
5	0,0346375	0,0002783	77,3	69	284	94,8	708,9
6	0,0520375	0,0003702	113,3	69	320	106,8	520,8
7	0,066575	0,0004532	146,7	69	353	117,9	493,3
8	0,0958625	0,0006261	216,3	69	423	141,1	480,3
9	0,0471875	0,0003402	111,9	103	420	140,3	562,4
10	0,0607625	0,0004131	146,4	103	455	151,8	534,2
11	0,08575	0,0005525	215,3	103	524	174,8	530,0
12	0,1091	0,0007014	279,8	103	588	196,3	528,4
13	0,05585	0,0003708	141,8	138	555	185,3	549,8
14	0,0792625	0,0005082	213,3	138	627	209,1	562,9
15	0,1000875	0,0006376	279,7	138	693	231,2	574,8
16	0,121675	0,0007755	343,9	138	757	252,6	575,4

Ek. Çizelge.1.Emirdağ Kalker Malzemesi Esneklik Modülü Deney Bulguları

MR-1	MR=K1*Q^K2*Gd^K3		K1	K2	K3	Mr TAHMİN
Mr	Q	Gd	Y	X1	X2	
543,2	181,6	79,6	2,734999	2,259193	1,90108955	499,4
475,5	214,2	112,2	2,677177	2,330916	2,05017659	474,6
438,0	249,3	147,3	2,641444	2,396731	2,16821791	459,2
419,2	285,7	183,7	2,622417	2,455895	2,26408582	449,1
708,9	284,3	77,3	2,850609	2,453723	1,88798321	590,3
520,8	320,3	113,3	2,716671	2,505623	2,05441775	545,1
493,3	353,7	146,7	2,693098	2,548614	2,1663784	520,1
480,3	423,3	216,3	2,681521	2,626619	2,33499837	489,7
562,4	420,9	111,9	2,750074	2,624156	2,04874476	602,6
534,2	455,4	146,4	2,727736	2,658369	2,16546587	568,9
530,0	524,3	215,3	2,724279	2,719602	2,33309822	528,8
528,4	588,8	279,8	2,722954	2,769996	2,44690781	506,9
549,8	555,8	141,8	2,740197	2,744933	2,15173128	616,4
562,9	627,3	213,3	2,750467	2,797462	2,32895248	565,0
574,8	693,7	279,7	2,759483	2,841147	2,44663164	537,1
575,4	757,9	343,9	2,759937	2,879627	2,53646549	518,9

Ek. Çizelge.2.Emirdağ Kalker Malzemesine Ait Uzan Model Analizi Sonuçları

MR-1	MR= K1*Q^K2	K1	K2	Mr TAHMİN
		299,6727	0,094363	
Mr	Q	Y	X1	
543,2	181,6	2,734999	2,259193	489,6
475,5	214,2	2,677177	2,330916	497,3
438,0	249,3	2,641444	2,396731	504,4
419,2	285,7	2,622417	2,455895	511,0
708,9	284,3	2,850609	2,453723	510,7
520,8	320,3	2,716671	2,505623	516,5
493,3	353,7	2,693098	2,548614	521,4
480,3	423,3	2,681521	2,626619	530,3
562,4	420,9	2,750074	2,624156	530,0
534,2	455,4	2,727736	2,658369	533,9
530,0	524,3	2,724279	2,719602	541,1
528,4	588,8	2,722954	2,769996	547,1
549,8	555,8	2,740197	2,744933	544,1
562,9	627,3	2,750467	2,797462	550,3
574,8	693,7	2,759483	2,841147	555,6
575,4	757,9	2,759937	2,879627	560,2

Ek. Çizelge.3.Emirdağ Kalker Malzemesine ait K-Q Model Analiz Sonuçları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Gd^K2*Gc^K3		532,2856	-0,17784	0,206362	
Mr	Gd	Gc	Y	X1	X2	
543,2	79,6	34	2,734999	1,90109	1,531479	505,9
475,5	112,2	34	2,677177	2,050177	1,531479	476,0
438,0	147,3	34	2,641444	2,168218	1,531479	453,5
419,2	183,7	34	2,622417	2,264086	1,531479	436,1
708,9	77,3	69	2,850609	1,887983	1,838849	588,6
520,8	113,3	69	2,716671	2,054418	1,838849	549,9
493,3	146,7	69	2,693098	2,166378	1,838849	525,2
480,3	216,3	69	2,681521	2,334998	1,838849	490,2
562,4	111,9	103	2,750074	2,048745	2,012837	598,6
534,2	146,4	103	2,727736	2,165466	2,012837	570,7
530,0	215,3	103	2,724279	2,333098	2,012837	532,8
528,4	279,8	103	2,722954	2,446908	2,012837	508,6
549,8	141,8	138	2,740197	2,151731	2,139879	609,6
562,9	213,3	138	2,750467	2,328952	2,139879	567,0
574,8	279,7	138	2,759483	2,446632	2,139879	540,3
575,4	343,9	138	2,759937	2,536465	2,139879	520,8

Ek. Çizelge.4.Emirdağ Kalker Malzemesine ait Gd-Gc Model Analiz Sonuçları

Deney No	ISPARTA KALKER						
Sıkışma %							
Numune Etiket	MR-1						
Yük Basamakları	LVDT değerler	Esnek Şekil Değ. (mm/mm)	Deviatör Gerilme (Kpa)	Hücre Basıncı (Kpa)	Toplam Gerilme (Kpa)	Ortalama Normal Gerilme (Kpa)	Mr (Mpa)
1	0,057487	0,0002598	85,97	34	187	62,7	302,6
2	0,084425	0,0003716	123,02	34	225	75,0	310,4
3	0,110475	0,0004896	154,76	34	256	85,6	322,9
4	0,138825	0,0006366	191,68	34	293	97,9	336,2
5	0,047625	0,0002219	85,79	69	292	97,6	362,8
6	0,071913	0,0003355	121,63	69	328	109,5	340,1
7	0,093862	0,0004407	157,63	69	364	121,5	337,4
8	0,133588	0,0006373	223,51	69	430	143,5	335,6
9	0,067275	0,0003405	122,10	103	431	143,7	363,8
10	0,085512	0,0004359	154,47	103	463	154,5	362,0
11	0,117825	0,0005939	222,65	103	531	177,2	378,3
12	0,1513	0,0007635	287,31	103	596	198,8	380,0
13	0,075987	0,0003859	150,88	138	564	188,3	397,9
14	0,108638	0,0005565	220,64	138	634	211,5	406,7
15	0,136613	0,00069	288,88	138	702	234,3	423,3
16	0,164725	0,0008406	350,25	138	764	254,8	425,6

Ek. Çizelge.5.Isparta Kalker Malzemesi Esneklik Modülü Deney Bulguları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Q^K2*Gd^K3		66,28256	0,433847	-0,1830035	
Mr	Q	Gd	Y	X1	X2	
302,6	188,0	86,0	2,480925	2,27411	1,93439488	284,5
295,4	225,0	123,0	2,470417	2,352223	2,0899788	288,0
283,9	256,8	154,8	2,453111	2,409539	2,1896788	292,4
278,2	293,7	191,7	2,444365	2,467884	2,28259151	298,1
362,8	292,8	85,8	2,559628	2,466559	1,93344472	344,9
340,1	328,6	121,6	2,531627	2,51672	2,08507405	340,2
337,4	364,6	157,6	2,528159	2,561864	2,19766571	339,4
335,6	430,5	223,5	2,525885	2,634014	2,34935551	342,2
363,8	431,1	122,1	2,560806	2,634578	2,08671698	382,4
362,0	463,5	154,5	2,558702	2,66603	2,18886869	378,0
378,3	531,7	222,7	2,577796	2,725628	2,34762715	375,2
380,0	596,3	287,3	2,579832	2,775473	2,4583516	376,4
397,9	564,9	150,9	2,599735	2,751961	2,17865099	413,6
406,7	634,6	220,6	2,609285	2,802529	2,34368885	405,8
423,3	702,9	288,9	2,626638	2,846884	2,46072534	403,8
425,6	764,3	350,3	2,628971	2,883236	2,54437944	404,3

Ek. Çizelge.6.Isparta Kalker Malzemesine Ait Uzan Model Analizi Sonuçları

MR-1	MR= K1*Q^K2	K1	K2	Mr TAHMİN
		61,6136	0,289712	
Mr	Q	Y	X1	
302,6	188,0	2,480925	2,27411	280,9
295,4	225,0	2,470417	2,352223	295,9
283,9	256,8	2,453111	2,409539	307,4
278,2	293,7	2,444365	2,467884	319,6
362,8	292,8	2,559628	2,466559	319,4
340,1	328,6	2,531627	2,51672	330,2
337,4	364,6	2,528159	2,561864	340,3
335,6	430,5	2,525885	2,634014	357,1
363,8	431,1	2,560806	2,634578	357,2
362,0	463,5	2,558702	2,66603	364,8
378,3	531,7	2,577796	2,725628	379,6
380,0	596,3	2,579832	2,775473	392,4
397,9	564,9	2,599735	2,751961	386,3
406,7	634,6	2,609285	2,802529	399,6
423,3	702,9	2,626638	2,846884	411,6
425,6	764,3	2,628971	2,883236	421,7

Ek. Çizelge.7.Isparta Kalker Malzemesine ait K-Q Model Analiz Sonuçları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Gd^K2*Gc^K3		123,2406	-0,00309	0,245711	
Mr	Gd	Gc	Y	X1	X2	
302,6	86,0	34	2,480925	1,934395	1,531479	289,1
295,4	123,0	34	2,470417	2,089979	1,531479	288,8
283,9	154,8	34	2,453111	2,189679	1,531479	288,6
278,2	191,7	34	2,444365	2,282592	1,531479	288,4
362,8	85,8	69	2,559628	1,933445	1,838849	344,0
340,1	121,6	69	2,531627	2,085074	1,838849	343,7
337,4	157,6	69	2,528159	2,197666	1,838849	343,4
335,6	223,5	69	2,525885	2,349356	1,838849	343,0
363,8	122,1	103	2,560806	2,086717	2,012837	379,2
362,0	154,5	103	2,558702	2,188869	2,012837	378,9
378,3	222,7	103	2,577796	2,347627	2,012837	378,5
380,0	287,3	103	2,579832	2,458352	2,012837	378,2
397,9	150,9	138	2,599735	2,178651	2,139879	407,2
406,7	220,6	138	2,609285	2,343689	2,139879	406,7
423,3	288,9	138	2,626638	2,460725	2,139879	406,4
425,6	350,3	138	2,628971	2,544379	2,139879	406,2

Ek. Çizelge.8.Isparta Kalker Malzemesine ait Gd-Gc Model Analiz Sonuçları

Deney No	POLATLI KALKER						
Sıkışma %							
Numune Etiket	MR-1						
Yük Basamakları	LVDT değerler	Esnek Şekil Değ. (mm/mm)	Deviatör Gerilme (Kpa)	Hücre Basıncı (Kpa)	Toplam Gerilme (Kpa)	Ortalama Normal Gerilme (Kpa)	Mr (Mpa)
1	0,051575	0,000257	87,97	34	189	63,3	341,9
2	0,070275	0,000351	122,16	34	224	74,7	348,2
3	0,087375	0,000436	156,10	34	258	86,0	357,8
4	0,109125	0,000545	192,94	34	294	98,3	354,0
5	0,04275	0,000213	87,16	69	294	98,1	409,0
6	0,0591375	0,000295	123,13	69	330	110,0	417,3
7	0,07425	0,000371	157,04	69	364	121,3	423,7
8	0,1031125	0,000515	225,69	69	432	144,2	438,2
9	0,0518875	0,000259	122,59	103	431	143,9	473,6
10	0,0653125	0,000326	158,41	103	467	155,8	486,0
11	0,0896875	0,000448	225,75	103	534	178,3	504,0
12	0,1148875	0,000574	290,49	103	599	199,8	506,2
13	0,0581	0,00029	154,20	138	568	189,4	531,9
14	0,0823375	0,000411	224,80	138	638	212,9	546,8
15	0,103925	0,000519	291,53	138	705	235,2	561,6
16	0,12565	0,000628	356,90	138	770	257,0	568,5

Ek. Çizelge.9.Polatlı Kalker Malzemesinin Esneklik Modülü Deney Bulguları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Q^K2*Gd^K3		39,96378	0,519436	-0,137725	
Mr	Q	Gd	Y	X1	X2	
341,9	190,0	88,0	2,533946	2,278691	1,9443473	329,2
348,2	224,2	122,2	2,541872	2,350561	2,08693373	342,9
357,8	258,1	156,1	2,553603	2,411794	2,19341339	356,7
354,0	294,9	192,9	2,548959	2,469744	2,28543839	371,3
409,0	294,2	87,2	2,611678	2,468591	1,94034331	413,7
417,3	330,1	123,1	2,620405	2,518689	2,090374	418,9
423,7	364,0	157,0	2,62703	2,561159	2,19603226	426,2
438,2	432,7	225,7	2,641681	2,636179	2,3535167	443,5
473,6	431,6	122,6	2,675456	2,635081	2,08848765	481,7
486,0	467,4	158,4	2,686605	2,669704	2,19979991	484,7
504,0	534,8	225,8	2,702463	2,728154	2,35363517	495,0
506,2	599,5	290,5	2,704289	2,777788	2,46314364	507,4
531,9	568,2	154,2	2,725844	2,754508	2,18810852	538,4
546,8	638,8	224,8	2,737835	2,805371	2,351815	543,2
561,6	705,5	291,5	2,749437	2,848516	2,46468541	551,9
568,5	770,9	356,9	2,754766	2,887001	2,55255309	562,0

Ek. Çizelge.10.Polatlı Kalker Malzemesine Ait Uzan Model Analizi Sonuçları

MR-1	MR= K1*Q^K2	K1	K2	Mr TAHMİN
		37,92789	0,410333	
Mr	Q	Y	X1	
341,9	190,0	2,533946	2,278691	326,6
348,2	224,2	2,541872	2,350561	295,6
357,8	258,1	2,553603	2,411794	307,9
354,0	294,9	2,548959	2,469744	320,0
409,0	294,2	2,611678	2,468591	319,8
417,3	330,1	2,620405	2,518689	330,7
423,7	364,0	2,62703	2,561159	340,2
438,2	432,7	2,641681	2,636179	357,6
473,6	431,6	2,675456	2,635081	357,3
486,0	467,4	2,686605	2,669704	365,7
504,0	534,8	2,702463	2,728154	380,2
506,2	599,5	2,704289	2,777788	393,0
531,9	568,2	2,725844	2,754508	387,0
546,8	638,8	2,737835	2,805371	400,3
561,6	705,5	2,749437	2,848516	412,0
568,5	770,9	2,754766	2,887001	422,7

Ek. Çizelge.11.Polatlı Kalker Malzemesine ait K-Q Model Analiz Sonuçları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Gd^K2*Gc^K3		84,08125	0,082055	0,288679	
Mr	Gd	Gc	Y	X1	X2	
341,9	88,0	34	2,533946	1,944347	1,531479	336,0
348,2	122,2	34	2,541872	2,086934	1,531479	345,2
357,8	156,1	34	2,553603	2,193413	1,531479	352,2
354,0	192,9	34	2,548959	2,285438	1,531479	358,4
409,0	87,2	69	2,611678	1,940343	1,838849	411,9
417,3	123,1	69	2,620405	2,090374	1,838849	423,7
423,7	157,0	69	2,62703	2,196032	1,838849	432,2
438,2	225,7	69	2,641681	2,353517	1,838849	445,3
473,6	122,6	103	2,675456	2,088488	2,012837	475,5
486,0	158,4	103	2,686605	2,1998	2,012837	485,6
504,0	225,8	103	2,702463	2,353635	2,012837	499,9
506,2	290,5	103	2,704289	2,463144	2,012837	510,4
531,9	154,2	138	2,725844	2,188109	2,139879	527,2
546,8	224,8	138	2,737835	2,351815	2,139879	543,8
561,6	291,5	138	2,749437	2,464685	2,139879	555,5
568,5	356,9	138	2,754766	2,552553	2,139879	564,8

Ek. Çizelge.12.Polatlı Kalker Malzemesine ait Gd-Gc Model Analiz Sonuçları

Deney No	GAZİANTEP BAZALT MR-1						
Sıkışma %							
Numune Etiket	MR-1						
Yük Basamakları	LVDT değerler	Esnek Şekil Değ. (mm/mm)	Deviatör Gerilme (Kpa)	Hücre Basıncı (Kpa)	Toplam Gerilme (Kpa)	Ortalama Normal Gerilme (Kpa)	Mr (Mpa)
1	0,1094875	0,00054692	88,6	34	190	63,5	161,9
2	0,1469375	0,00073422	124,3	34	226	75,4	169,3
3	0,181725	0,0009082	159,0	34	260	87,0	175,0
4	0,2168625	0,00108393	194,7	34	296	98,9	179,6
5	0,0841625	0,00042026	89,4	69	2963	98,8	212,8
6	0,11865	0,00059274	125,5	69	332	110,8	211,8
7	0,1469	0,00073403	159,7	69	366	122,2	217,6
8	0,19905	0,00099485	227,8	69	434	144,9	229,0
9	0,0989875	0,0004944	125,5	103	434	144,8	253,9
10	0,1234625	0,00061681	158,5	103	467	155,8	257,0
11	0,1690875	0,000845	228,3	103	537	179,1	270,2
12	0,210125	0,00105024	295,1	103	604	201,4	280,9
13	0,1079125	0,00053904	156,2	138	570	190,1	289,8
14	0,1488125	0,00074359	226,1	138	640	213,4	304,0
15	0,18515	0,00092533	294,0	138	708	236,0	317,8
16	0,2216375	0,00110782	362,1	138	776	258,7	326,8

Ek. Çizelge.13.Gaziantep Bazalt Malzemesinin Esneklik Modülü Deney Bulguları

MR-1	MR=K1*Q^K2*Gd^K3		K1	K2	K3	Mr TAHMİN
Mr	Q	Gd	Y	X1	X2	
161,9	190,6	88,6	2,209285	2,280017	1,94720665	156,6
169,3	226,3	124,3	2,228672	2,354698	2,0944965	166,5
175,0	261,0	159,0	2,243146	2,416598	2,20132745	176,1
179,6	296,7	194,7	2,254291	2,472271	2,28929463	185,8
212,8	296,4	89,4	2,328051	2,471948	1,95156733	209,6
211,8	332,5	125,5	2,325842	2,521816	2,09870694	214,6
217,6	366,7	159,7	2,337695	2,564356	2,20340866	220,6
229,0	434,8	227,8	2,359889	2,638338	2,35764616	233,7
253,9	434,5	125,5	2,404657	2,638017	2,0987379	256,3
257,0	467,5	158,5	2,409855	2,669774	2,20000699	259,4
270,2	537,3	228,3	2,43168	2,730229	2,35853502	268,8
280,9	604,1	295,1	2,448612	2,781075	2,46990012	279,2
289,8	570,2	156,2	2,462044	2,756023	2,19366441	296,7
304,0	640,1	226,1	2,482894	2,806223	2,35422995	302,4
317,8	708,0	294,0	2,50211	2,850058	2,46840717	310,4
326,8	776,1	362,1	2,514335	2,889905	2,55880235	319,4

Ek. Çizelge.14.Gaziantep Bazalt Malzemesine Ait Uzan Model Analizi Sonuçları

MR-1	MR= K1*Q^K2	K1	K2	Mr TAHMİN
		9,072157	0,540606	
Mr	Q	Y	X1	
161,9	190,6	2,209285	2,280017	155,0
169,3	226,3	2,228672	2,354698	170,1
175,0	261,0	2,243146	2,416598	183,7
179,6	296,7	2,254291	2,472271	196,9
212,8	296,4	2,328051	2,471948	196,8
211,8	332,5	2,325842	2,521816	209,4
217,6	366,7	2,337695	2,564356	220,8
229,0	434,8	2,359889	2,638338	242,1
253,9	434,5	2,404657	2,638017	242,0
257,0	467,5	2,409855	2,669774	251,8
270,2	537,3	2,43168	2,730229	271,4
280,9	604,1	2,448612	2,781075	289,2
289,8	570,2	2,462044	2,756023	280,3
304,0	640,1	2,482894	2,806223	298,4
317,8	708,0	2,50211	2,850058	315,1
326,8	776,1	2,514335	2,889905	331,1

Ek. Çizelge.15.Gaziantep Bazalt Malzemesine ait K-Q Model Analiz Sonuçları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Gd^K2*Gc^K3		24,88845	0,129015	0,364959	
Mr	Gd	Gc	Y	X1	X2	
161,9	88,6	34	2,209285	1,947207	1,531479	160,7
169,3	124,3	34	2,228672	2,094496	1,531479	167,9
175,0	159,0	34	2,243146	2,201327	1,531479	173,4
179,6	194,7	34	2,254291	2,289295	1,531479	177,9
212,8	89,4	69	2,328051	1,951567	1,838849	208,4
211,8	125,5	69	2,325842	2,098707	1,838849	217,7
217,6	159,7	69	2,337695	2,203409	1,838849	224,6
229,0	227,8	69	2,359889	2,357646	1,838849	235,1
253,9	125,5	103	2,404657	2,098738	2,012837	252,0
257,0	158,5	103	2,409855	2,200007	2,012837	259,7
270,2	228,3	103	2,43168	2,358535	2,012837	272,2
280,9	295,1	103	2,448612	2,4699	2,012837	281,4
289,8	156,2	138	2,462044	2,193664	2,139879	288,4
304,0	226,1	138	2,482894	2,35423	2,139879	302,5
317,8	294,0	138	2,50211	2,468407	2,139879	312,9
326,8	362,1	138	2,514335	2,558802	2,139879	321,4

Ek. Çizelge.16.Gaziantep Bazalt Malzemesine ait Gd-Gc Model Analiz Sonuçları

Deney No	POLATLI BAZALT MR-1						
Sıkışma %							
Numune Etiket	MR-1						
Yük Basamakları	LVDT değerler	Esnek Şekil Değ. (mm/mm)	Deviatör Gerilme (Kpa)	Hücre Basıncı (Kpa)	Toplam Gerilme (Kpa)	Ortalama Normal Gerilme (Kpa)	Mr (Mpa)
1	0,07976	0,00039825	86,5	34	188	62,8	217,2
2	0,11206	0,0005598	121,8	34	223	74,6	217,7
3	0,14461	0,00072259	156,0	34	258	86,0	215,9
4	0,17969	0,00089801	192,2	34	294	98,1	214,0
5	0,06013	0,00030004	85,7	69	292	97,6	285,7
6	0,08950	0,00044695	121,1	69	328	109,4	270,9
7	0,11680	0,00058349	156,6	69	363	121,2	268,4
8	0,16666	0,00083287	225,3	69	432	144,1	270,5
9	0,07514	0,00037512	120,6	103	429	143,2	321,4
10	0,09889	0,0004939	155,8	103	464	154,9	315,4
11	0,14024	0,00070071	222,7	103	531	177,2	317,8
12	0,18210	0,00091008	290,1	103	599	199,7	318,7
13	0,08587	0,00042882	150,2	138	564	188,1	350,2
14	0,12634	0,00063119	222,2	138	636	212,1	352,0
15	0,16239	0,00081149	289,4	138	703	234,5	356,6
16	0,19951	0,00099716	352,8	138	766	255,6	353,8

Ek. Çizelge.17.Polatlı Bazalt Malzemesinin Esneklik Modülü Deney Bulguları

MR-1	MR=K1*Q^K2*Gd^K3		K1	K2	K3	Mr TAHMİN
Mr	Q	Gd	Y	X1	X2	
217,2	188,5	86,5	2,336866	2,275315	1,93702402	210,7
217,7	223,8	121,8	2,337784	2,349951	2,08581341	213,6
215,9	258,0	156,0	2,334332	2,411679	2,193223	218,2
214,0	294,2	192,2	2,330382	2,468584	2,28366377	223,8
285,7	292,7	85,7	2,455948	2,466465	1,93312495	279,7
270,9	328,1	121,1	2,432837	2,515989	2,08309807	273,1
268,4	363,6	156,6	2,428711	2,560603	2,19474377	271,4
270,5	432,3	225,3	2,432242	2,635815	2,35281836	273,7
321,4	429,6	120,6	2,507082	2,633038	2,08125372	324,7
315,4	464,8	155,8	2,498876	2,667249	2,19251784	317,8
317,8	531,7	222,7	2,502148	2,725652	2,34768484	313,4
318,7	599,1	290,1	2,503421	2,777476	2,46249876	314,0
350,2	564,2	150,2	2,544291	2,751406	2,17656883	363,4
352,0	636,2	222,2	2,546563	2,803586	2,34672304	351,6
356,6	703,4	289,4	2,552161	2,847179	2,46144237	348,1
353,8	766,8	352,8	2,54873	2,884667	2,54749521	348,0

Ek. Çizelge.18.Polatlı Bazalt Malzemesine Ait Uzan Model Analizi Sonuçları

MR-1	MR= K1*Q^K2	K1	K2	Mr TAHMİN
		23,37235	0,416356	
Mr	Q	Y	X1	
217,2	188,5	2,336866	2,275315	207,0
217,7	223,8	2,337784	2,349951	222,4
215,9	258,0	2,334332	2,411679	235,9
214,0	294,2	2,330382	2,468584	249,2
285,7	292,7	2,455948	2,466465	248,7
270,9	328,1	2,432837	2,515989	260,8
268,4	363,6	2,428711	2,560603	272,2
270,5	432,3	2,432242	2,635815	292,5
321,4	429,6	2,507082	2,633038	291,7
315,4	464,8	2,498876	2,667249	301,5
317,8	531,7	2,502148	2,725652	318,8
318,7	599,1	2,503421	2,777476	335,1
350,2	564,2	2,544291	2,751406	326,8
352,0	636,2	2,546563	2,803586	343,6
356,6	703,4	2,552161	2,847179	358,2
353,8	766,8	2,54873	2,884667	371,3

Ek. Çizelge.19.Gaziantep Bazalt Malzemesine ait K-Q Model Analiz Sonuçları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Gd^K2*Gc^K3		64,91413	-0,01136	0,355582	
Mr	Gd	Gc	Y	X1	X2	
217,2	86,5	34	2,336866	1,937024	1,531479	216,2
217,7	121,8	34	2,337784	2,085813	1,531479	215,4
215,9	156,0	34	2,334332	2,193223	1,531479	214,8
214,0	192,2	34	2,330382	2,283664	1,531479	214,3
285,7	85,7	69	2,455948	1,933125	1,838849	278,1
270,9	121,1	69	2,432837	2,083098	1,838849	277,0
268,4	156,6	69	2,428711	2,194744	1,838849	276,2
270,5	225,3	69	2,432242	2,352818	1,838849	275,1
321,4	120,6	103	2,507082	2,081254	2,012837	319,5
315,4	155,8	103	2,498876	2,192518	2,012837	318,5
317,8	222,7	103	2,502148	2,347685	2,012837	317,2
318,7	290,1	103	2,503421	2,462499	2,012837	316,3
350,2	150,2	138	2,544291	2,176569	2,139879	353,6
352,0	222,2	138	2,546563	2,346723	2,139879	352,0
356,6	289,4	138	2,552161	2,461442	2,139879	351,0
353,8	352,8	138	2,54873	2,547495	2,139879	350,2

Ek. Çizelge.20.Polatlı Bazalt Malzemesine ait Gd-Gc Model Analiz Sonuçları

Deney No	EMİRDAĞ BAZALT MR-1						
Sıkışma %							
Numune Etiket	MR-1						
Yük Basamakları	LVDT değerler	Esnek Şekil Değ. (mm/mm)	Deviatör Gerilme (Kpa)	Hücre Basıncı (Kpa)	Toplam Gerilme (Kpa)	Ortalama Normal Gerilme (Kpa)	Mr (Mpa)
1	0,06325	0,00031567	76,1	34	178	59,4	59,9
2	0,0964	0,00048146	115,1	34	217	72,4	98,8
3	0,1243	0,000621	149,9	34	251	84,0	133,6
4	0,15635	0,00078129	187,2	34	289	96,4	170,9
5	0,051275	0,00025578	78,2	69	285	95,1	62,0
6	0,08115	0,00040519	114,7	69	321	107,2	98,5
7	0,107625	0,0005376	150,3	69	357	119,1	134,0
8	0,15515	0,00077529	218,2	69	425	141,7	202,0
9	0,0702	0,00035043	112,5	103	421	140,5	96,3
10	0,093225	0,00046558	149,5	103	458	152,8	133,3
11	0,13535	0,00067626	218,4	103	527	175,8	202,2
12	0,173925	0,00086919	283,9	103	592	197,6	267,6
13	0,0827	0,00041294	143,5	138	557	185,8	127,3
14	0,12255	0,00061225	217,5	138	631	210,5	201,2
15	0,15585	0,00077879	281,4	138	695	231,8	265,1
16	0,19245	0,00096184	349,5	138	763	254,5	333,2

Ek. Çizelge.21.Emirdağ Bazalt Agregasının Esneklik Modülü Deney Bulguları

MR-1	MR=K1*Q^K2*Gd^K3		K1	K2	K3	Mr TAHMİN
Mr	Q	Gd	Y	X1	X2	
242,6	185,9	83,9	2,38498	2,269299	1,92380602	247,5
248,1	217,5	115,5	2,394563	2,337386	2,0624434	245,9
245,4	248,7	146,7	2,389824	2,395729	2,16652018	247,5
256,2	283,9	181,9	2,408511	2,453183	2,25985955	251,1
332,8	288,4	81,4	2,522178	2,460022	1,91072084	342,1
335,7	321,2	114,2	2,525925	2,506818	2,05778631	325,8
317,0	355,7	148,7	2,501059	2,551035	2,17219363	317,7
313,2	422,7	215,7	2,495825	2,626057	2,33389785	312,9
404,1	422,3	113,3	2,606443	2,625622	2,05423421	397,0
374,4	455,3	146,3	2,573375	2,65833	2,16534405	380,9
370,9	522,9	213,9	2,56924	2,718422	2,33021842	365,1
358,0	588,0	279,0	2,553836	2,769345	2,44553589	359,7
453,6	558,8	144,8	2,656704	2,747289	2,16089474	442,4
409,3	624,8	210,8	2,612027	2,79572	2,32380919	416,7
399,0	692,4	278,4	2,600992	2,840371	2,44470426	404,3
396,2	756,4	342,4	2,597917	2,878748	2,53452589	398,8

Ek. Çizelge.22.Emirdağ Bazalt Malzemesine Ait Uzan Model Analizi Sonuçları

MR-1	MR= K1*Q^K2	K1	K2	Mr TAHMİN
		27,11394	0,419431	
Mr	Q	Y	X1	
242,6	185,9	2,38498	2,269299	242,7
248,1	217,5	2,394563	2,337386	259,2
245,4	248,7	2,389824	2,395729	274,2
256,2	283,9	2,408511	2,453183	289,8
332,8	288,4	2,522178	2,460022	291,7
335,7	321,2	2,525925	2,506818	305,2
317,0	355,7	2,501059	2,551035	318,5
313,2	422,7	2,495825	2,626057	342,5
404,1	422,3	2,606443	2,625622	342,3
374,4	455,3	2,573375	2,65833	353,3
370,9	522,9	2,56924	2,718422	374,4
358,0	588,0	2,553836	2,769345	393,3
453,6	558,8	2,656704	2,747289	385,0
409,3	624,8	2,612027	2,79572	403,5
399,0	692,4	2,600992	2,840371	421,2
396,2	756,4	2,597917	2,878748	437,1

Ek. Çizelge.23.Emirdağ Bazalt Malzemesine ait K-Q Model Analiz Sonuçları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Gd^K2*Gc^K3		87,48626	-0,07683	0,400036	
Mr	Gd	Gc	Y	X1	X2	
242,6	83,9	34	2,38498	1,923806	1,531479	255,1
248,1	115,5	34	2,394563	2,062443	1,531479	249,0
245,4	146,7	34	2,389824	2,16652	1,531479	244,4
256,2	181,9	34	2,408511	2,25986	1,531479	240,4
332,8	81,4	69	2,522178	1,910721	1,838849	339,4
335,7	114,2	69	2,525925	2,057786	1,838849	330,7
317,0	148,7	69	2,501059	2,172194	1,838849	324,1
313,2	215,7	69	2,495825	2,333898	1,838849	314,9
404,1	113,3	103	2,606443	2,054234	2,012837	388,4
374,4	146,3	103	2,573375	2,165344	2,012837	380,9
370,9	213,9	103	2,56924	2,330218	2,012837	369,9
358,0	279,0	103	2,553836	2,445536	2,012837	362,5
453,6	144,8	138	2,656704	2,160895	2,139879	428,5
409,3	210,8	138	2,612027	2,323809	2,139879	416,3
399,0	278,4	138	2,600992	2,444704	2,139879	407,5
396,2	342,4	138	2,597917	2,534526	2,139879	401,1

Ek. Çizelge.24.Emirdağ Bazalt Malzemesine ait Gd-Gc Model Analiz Sonuçları

Deney No	ISPARTA BAZALT MR-1						
Sıkışma %							
Numune Etiket	MR-1						
Yük Basamakları	LVDT değerler	Esnek Şekil Değ. (mm/mm)	Deviatör Gerilme (Kpa)	Hücre Basıncı (Kpa)	Toplam Gerilme (Kpa)	Ortalama Normal Gerilme (Kpa)	Mr (Mpa)
1	0,1169625	0,0005843	84,8	34	186	62,3	145,1
2	0,1523125	0,0007611	118,8	34	220	73,6	156,1
3	0,18755	0,00093733	152,4	34	254	84,8	162,6
4	0,224525	0,00112226	186,4	34	288	96,1	166,1
5	0,0901875	0,00045039	84,8	69	291	97,3	188,3
6	0,1273	0,000636	119,7	69	326	108,9	188,2
7	0,1559125	0,0007791	153,5	69	360	120,2	197,1
8	0,21065	0,00105286	220,3	69	427	142,4	209,2
9	0,1035125	0,00051703	118,1	103	427	142,4	228,5
10	0,130975	0,00065438	153,8	103	462	154,3	235,0
11	0,17525	0,00087582	219,5	103	528	176,2	250,6
12	0,217475	0,001087	281,2	103	590	196,7	258,7
13	0,1131125	0,00056505	149,4	138	563	187,8	264,4
14	0,154325	0,00077116	216,8	138	630	210,3	281,2
15	0,1895875	0,00094752	281,6	138	695	231,9	297,2
16	0,2220125	0,00110969	338,9	138	752	251,0	305,4

Ek. Çizelge.25.Isparta Bazalt Agregasının Esneklik Modülü Deney Bulguları

MR-1	MR=K1*Q^K2*Gd^K3		K1	K2	K3	Mr TAHMİN
Mr	Q	Gd	Y	X1	X2	
145,1	186,8	84,8	2,161794	2,271393	1,92843074	140,6
156,1	220,8	118,8	2,193396	2,34401	2,07483718	151,3
162,6	254,4	152,4	2,211195	2,40558	2,18308929	161,6
166,1	288,4	186,4	2,220263	2,459937	2,27035574	171,6
188,3	291,8	84,8	2,274887	2,465109	1,92847669	186,6
188,2	326,7	119,7	2,274619	2,514143	2,07807849	193,9
197,1	360,5	153,5	2,294606	2,556945	2,18620165	201,5
209,2	427,3	220,3	2,320614	2,630719	2,34298679	216,8
228,5	427,1	118,1	2,358901	2,630577	2,07241977	230,2
235,0	462,8	153,8	2,370987	2,665348	2,18681898	236,1
250,6	528,5	219,5	2,398955	2,723017	2,34136817	248,2
258,7	590,2	281,2	2,412836	2,771023	2,44906505	260,0
264,4	563,4	149,4	2,422183	2,750795	2,17426763	268,3
281,2	630,8	216,8	2,448984	2,799916	2,33613038	278,1
297,2	695,6	281,6	2,473	2,842342	2,44958976	288,5
305,4	752,9	338,9	2,484869	2,876737	2,53007112	298,0

Ek. Çizelge.26.Isparta Bazalt Malzemesine Ait Uzan Model Analizi Sonuçları

MR-1	MR= K1*Q^K2	K1	K2	Mr TAHMİN
		7,479405	0,559616	
Mr	Q	Y	X1	
145,1	186,8	2,161794	2,271393	139,6
156,1	220,8	2,193396	2,34401	153,3
162,6	254,4	2,211195	2,40558	166,0
166,1	288,4	2,220263	2,459937	178,0
188,3	291,8	2,274887	2,465109	179,2
188,2	326,7	2,274619	2,514143	190,9
197,1	360,5	2,294606	2,556945	201,7
209,2	427,3	2,320614	2,630719	221,8
228,5	427,1	2,358901	2,630577	221,8
235,0	462,8	2,370987	2,665348	232,0
250,6	528,5	2,398955	2,723017	249,9
258,7	590,2	2,412836	2,771023	265,8
264,4	563,4	2,422183	2,750795	259,0
281,2	630,8	2,448984	2,799916	275,9
297,2	695,6	2,473	2,842342	291,4
305,4	752,9	2,484869	2,876737	304,6

Ek. Çizelge.27.Isparta Bazalt Malzemesine ait K-Q Model Analiz Sonuçları

MR-1			K1	K2	K3	Mr TAHMİN
	MR=K1*Gd^K2*Gc^K3		19,46918	0,168889	0,355293	
Mr	Gd	Gc	Y	X1	X2	
145,1	84,8	34	2,161794	1,928431	1,531479	144,3
156,1	118,8	34	2,193396	2,074837	1,531479	152,7
162,6	152,4	34	2,211195	2,183089	1,531479	159,3
166,1	186,4	34	2,220263	2,270356	1,531479	164,8
188,3	84,8	69	2,274887	1,928477	1,838849	185,5
188,2	119,7	69	2,274619	2,078078	1,838849	196,6
197,1	153,5	69	2,294606	2,186202	1,838849	205,1
209,2	220,3	69	2,320614	2,342987	1,838849	218,0
228,5	118,1	103	2,358901	2,07242	2,012837	226,2
235,0	153,8	103	2,370987	2,186819	2,012837	236,5
250,6	219,5	103	2,398955	2,341368	2,012837	251,1
258,7	281,2	103	2,412836	2,449065	2,012837	261,9
264,4	149,4	138	2,422183	2,174268	2,139879	261,1
281,2	216,8	138	2,448984	2,33613	2,139879	278,1
297,2	281,6	138	2,473	2,44959	2,139879	290,6
305,4	338,9	138	2,484869	2,530071	2,139879	299,9

Ek. Çizelge.28.Isparta Bazalt Malzemesine ait Gd-Gc Model Analiz Sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Alev AKILLI

Doğum Tarihi ve Yeri:09.02.1987 – Merkez/ZONGULDAK

Medeni Durum: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu

Lise: Fener Lisesi-2003

Lisans: SDÜ Yapı Öğretmenliği-2009

Yüksek Lisans: SDÜ-inşaat Mühendisliği--

