

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERMER TOZ ATIKLARININ YOL
İNŞAATINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmet Husrev YILDIZ

Danışman: Prof.Dr. Mustafa KARAŞAHİN

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
ISPARTA - 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	İ
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVIII
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Mermer Atıkları	3
2.1.1. Atık Mermer Oluşumu	3
2.1.1.1. Mermer Toz Atıkları	4
2.1.1.2. Mermer Parça Atıkları	7
2.1.2. Atık Mermer Miktarı	10
2.1.3. Mermer Atıkların Oluşturduğu Çevresel Sorunlar ve Yükümlülükler	10
2.1.3.1. Atıkların Çevreye Etkileri	10
2.1.3.2. Mermer İşletmecilerinin Çevre Kanunu'na Göre Yükümlülükleri	12
2.1.4. Mermer Fabrikalarında Atıksuyun Arıtımı	13
2.1.4.1. Ardışık Havuz Yöntemi	14
2.1.4.2. Sedimentasyon (Flokülasyon) Yöntemi	15
2.1.4.3. Hidrosiklonlarla Ayırma - Sınıflandırma Yöntemi	17
2.1.5. Mermer Toz Atıklarının Temizlenmesi	18
2.1.6. Toz Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi	19
2.1.6.1. Yol ve Zemin Stabilizasyonunda Değerlendirme	20
2.1.7. Mermer Atık Miktarının Azaltılması	21
2.2. Liç ve Önemi	21
2.2.1. Liç Ekstraksiyonu	23
2.2.1.1. Yapay Yağmurlamalı Liç Ekstraksiyon Prosesi	25
2.2.2. Liç Deneylerine Etki Eden Faktörler	26
2.2.2.1. Fiziksel Özellikler	26
2.2.2.2. pH	27

2.2.2.3. Kinetikler	27
2.2.2.4. Sıvı-Katı (L/S) Oranı.....	28
2.3. Maliyet Analizi	29
2.3.1. Mermer Toz Atıkları ile Toprak Stabilizasyonunun Maliyet Analizi.....	29
2.3.2. Mermer Parça Atıkları ile Yol Temel Tabakası İnşasının Maliyet Analizi	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM	32
3.1. Mermer Toz Atıkları ile Toprak Numunelerinin Temini ve Zemin Deneyleri..	32
3.1.1. Mermer Çamur Atıkları ile Toprak Numunelerinin Temini ve Deney için Hazırlanması.....	32
3.1.1.1. Mermer Çamur Atıklarının Temini.....	32
3.1.1.2. Toprak Numunelerinin Temini	33
3.1.1.3. Zeminlerin Deney Amaçları İçin Gruplandırılması	35
3.1.2. Toprak Numuneleri ve Mermer Çamur Atıklarının Analizi	35
3.1.2.1. Tane Çapı Dağılımı Deneyi	35
3.1.2.2. Hidrometre Deneyi.....	35
3.1.2.3. İnce Taneli Zeminler için Özgül Ağırlık Deneyi.....	35
3.1.2.4. Zemin Sınıflaması	36
3.1.3. Mermer Çamur Atıkları ile Toprak Numuneleri Karışımı için Uygulanan Deneyler	36
3.1.3.1. Atterberg Limit Deneyleri.....	36
3.1.3.2. Standart Sıkıştırma (Proctor) Deneyi	37
3.1.3.3. Permeabilite Deneyi.....	38
3.1.3.4. Kesme Kutusu Deneyi	38
3.1.3.5. Kaliforniya Taşıma Oranı Deneyi.....	38
3.2. Liç Ekstraksiyonu	38
3.2.1. Liç Deney Aletinin Yapımı.....	38
3.2.2. SPLP Deney Metodunun Tanımı ve Numunelerin Hazırlanması	39
3.2.3. Liç Ekstraksiyonunda Belirlenmesi Gereken Metal ve Bileşikler	40
3.2.4. Liç Ekstrakt'larının Analizi.....	41
3.2.4.1. Ca^{2+} ve Mg^{2+} Tayinleri.....	42
3.2.4.2. Co^{2+} Analizi	42
3.2.4.3. Cr^{6+} Analizi	43
3.2.4.4. KOİ.....	43
3.3. Mermer Parça Atıkları İçin Uygulanan Deneyler	44

3.3.1. Elek Analizi.....	45
3.3.2. İri Taneli Zeminler için Özgül Ağırlık Deneyi	45
3.3.3. Los Angeles Aşınma Deneyi.....	45
3.3.4. Donma Çözülme Deneyi.....	46
3.3.5. Standart Sıkıştırma (Proctor) Deneyi.....	46
3.3.6. Kaliforniya Taşıma Oranı Deneyi.....	46
3.3.7. Dinamik Üç Eksenli Deneyi.....	46
3.4. Maliyet Analizinin Uygulanması	48
3.4.1. Mermer Toz Atıklarının Maliyet Analizi.....	48
3.4.2. Mermer Parça Atıklarının Maliyet Analizi	49
3.4.2.1. Birim Maliyetler.....	49
3.4.2.2. Nakliye Hesabı	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1. Mermer Toz Atıkları ve Toprak Numunelerinin Analizleri.....	51
4.1.1. Özgül Ağırlık Değerleri	51
4.1.2. Elek ve Hidrometri Özellikleri.....	52
4.2. Mermer Çamur Atıkları ve Zemin Toprak Numuneleri Karışımı için Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	53
4.2.1. Mermer Toz Atıklarının % 0;2;4;6;8;10 ve 12 Oranlarında Kullanılması Sonucu Elde Edilen Değerler	54
4.2.2. Mermer Toz atıklarının %0;10;20;30 ve 40 Oranlarında Kullanılması Sonucu Elde Edilen Değerler	54
4.2.2.1. Atterberg Limit Değerleri	54
4.2.2.2. Proctor Değerleri.....	61
4.2.2.3. Permeabilite Değerleri	65
4.2.2.4. Kesme Kutusu Değerleri.....	67
4.2.2.5. CBR Değerleri.....	72
4.3. Liç Ekstraksiyonları	76
4.3.1. Liç Ekstraksiyonundan önce Saf Mermer Toz Atıkları ile Toprak Numuneleri içindeki Kirletici Miktarlarının Karşılaştırılması.....	76
4.3.2. Liç Ekstraksiyonlarının Maksimum Değerleri için Risk Analizi.....	78
4.3.2.1. Ca^{2+} Analizleri	79
4.3.2.2. Mg^{2+} Analizleri	84
4.3.2.3. Co^{2+} Analizleri.....	89
4.3.2.4. pH_{son} Analizleri	93

4.4. Mermer Parça Atıkları için Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	99
4.4.1. Elek Analizi.....	99
4.4.2. Özgöl Ağırlık ve Su Emme Yüzdesi Değerleri.....	100
4.4.3. Proctor Değerleri.....	101
4.4.4. Los Angeles Aşınma Yüzdesi Değerleri.....	102
4.4.5. Donma-Çözülme Değerleri.....	103
4.4.6. CBR.....	103
4.4.7. Dinamik Üç Eksenli Deney Bulguları.....	104
4.5. Maliyet Analizlerinden Elde edilen Bulgular	108
4.5.1. Mermer Toz Atıkları Maliyet Bulguları.....	108
4.5.2. Mermer Parça Atıkları Maliyet Bulguları	109
4.5.2.1. Birim Maliyet Değerleri.....	109
4.5.2.2. Nakliye Maliyetleri ve Ekonomik Taşıma Uzaklığı	112
5. SONUÇ	115
6. KAYNAKLAR	117
EKLER.....	124

ÖZET

Doktora Tezi

MERMER ATIKLARININ YOL İNŞAATINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmet Husrev YILDIZ

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri: Prof. Dr. Mustafa Karaşahin (Danışman)
Prof. Dr. İlhan Süttaş
Doç. Dr. Osman Nuri Çelik
Doç. Dr. Mehmet Saltan
Doç. Dr. Serdal Terzi

Bu çalışmada mermer toz ve parça atıklarının yol inşaatında değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Parça atıkların yol temel tabakasında, toz atıkların ise zemin toprağı içerisinde karıştırılarak stabilizasyonda kullanılabilirliği test edilmiştir.

Testlerde tane boyutu, özgül ağırlık, Atterberg limit, Proctor, permeabilite, Kaliforniya taşıma oranı, kohezyon, içsel sürtünme ve dinamik üç eksenli basınç değerleri belirlenmiştir. Bunların yanında mermer üretimi esnasında kirleticilerin içerisinde karıştığı toz atıklar için çevre ve ekolojik açıdan liç deneyleri ile risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Analiz sonuçlarından toz atıkların zemin stabilizasyonunu artırdığı ve ince taneli atıkların iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Genellikle homojen tane dağılımına sahip atıklar mukavemeti artırmıştır. Çevresel risk açısından genel olarak toz atık-zemin karışımlarının sınırları aşmadığı, hatta bazı kirleticileri bünyesinde tutarak bırakmadığı ve yer altı suları için kirletici etki göstermediği gözlemlenmiştir.

Parça atıklar için elde edilen analiz sonuçlarında, temel tabakası için yollar fenni şartnamesinde belirtilen şartların sağlandığı, ancak traverten gibi yumuşak yapıya sahip parça atıkların don etkisi göstermeyen sıcak bölgelerde kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mermer atıkları, Liç, Stabilizasyon, Yol üstyapısı, Granüler malzemeler, Kesme kutusu.

2008, 172 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EVALUATING OF MARBLE WASTES IN ROAD CONSTRUCTION

Ahmet Husrev YILDIZ

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

Thesis Committee: Prof. Dr. Mustafa Karaşahin (Supervisor)
Prof. Dr. İlhan Sütüş
Assoc. Prof. Dr. Osman Nuri Çelik
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Saltan
Assoc. Prof. Dr. Serdal Terzi

Marble dust and marble waste pieces were investigated for being of use for the road constructions in this study. The use of waste pieces on the road base of roads and the use of marble dust mixed with the soil for its stabilization have been tested.

In these tests, the values of grain size, specific gravity, Atterberg Limit, Proctor, permeability, California Bearing ratio, cohesion, friction angle and dynamic triaxial test were determined. Besides, during the procession of marble, leach tests and risk evaluation from the point of environmental and ecological views have been made for the dust wastes into which some polluters are mixed

From the test results, it was determined that dust wastes increase the stabilization of the soils and fine grain wastes show good performance. Generally, the wastes with homogeneous grain distribution increase the strength of soils. In terms of environmental risk, soils with dust admixtures generally do not go beyond the limit values and even it was observed that they hold some pollutants so that they can not become free to pollute the ground water

At the end of analysis results from the particular wastes, the properties of the road technical standards are provided for the road sub bases, but it was observed that soft particular wastes like travertine will be better to use in hot regions not showing frozen effect.

Key Words: Marble wastes, Leaching, Stabilisation, Flexible pavements, Granular materials, Direct shear.

2008, 172 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, her türlü zorluk ve sıkıntıda destek olan ve yapmış olduğum araştırmalarda ufkumu açan değerli Hocam, Danışmanım Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e en içten temennilerimle teşekkürlerimi sunarım.

Çevre ile ilgili araştırma ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mehmet KILIÇ'a ve deneysel çalışmalarda yardımcı olan Çevre Yüksek Mühendisi Murat SOLAK ve Çevre Yüksek Mühendisi Hüseyin YAZICI'ya teşekkür ederim.

Karayolları ile ilgili araştırma ve deneysel çalışmalarda yardımlarını gördüğüm Proje arkadaşlarım Dr. Altan YILMAZ ve İnşaat Yüksek Mühendisi Murat TACİROĞLU'na teşekkür ederim.

Zemin çalışmalarında destekleyen Genel Müdür Yardımcısı (Devlet Su İşleri 18. Bölge) Dr. Uğur Şafak ÇAVUŞ'a ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

105M-019 No'lu proje ile tezime maddi olarak katkıda bulunan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında maddi ve manevi olarak benimle beraber olan aileme, Avukat Yasin ÖZBAKIR'a ve Makine Mühendisi Şükrü SÜMER'e nihayetsiz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ahmet Husrev YILDIZ
ISPARTA, 2008

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Arazilere dökülen atık mermer çamurları	6
Şekil 2.2. Vadilere dökülen atık mermer çamurları	7
Şekil 2.3. Büyük boyutlu mermer atık parçaları	8
Şekil 2.4. Küçük boyutlu mermer atık parçaları	8
Şekil 2.5. Kırıcıdan geçmiş atık mermer malzemeleri	9
Şekil 2.6. Küçük boyutlu parça atıklar için kırıcı ve kırma işlemi	9
Şekil 2.7. Çökeltme havuzlarında yapılan arıtım	14
Şekil 2.8. Çökeltme tanklarında yapılan arıtım.....	15
Şekil 2.9. Filtrepres ve oluşan çamur kekleri.....	16
Şekil 2.10. Flokülant karıştırma makinesi.....	16
Şekil 2.12. TCLP ve SPLP proseslerinde numune ekstraksiyonunda kullanılan döner çalkalama aygıtı (Pendowski vd.'nden, 2003).	24
Şekil 2.13. SPLP liç reaktörünün basitleştirilmiş şekli (Townsend vd.'nden, 2003).	26
Şekil 2.14. Eşdeğer şantiye-taşocağı ile şantiye-fabrika mesafeleri (Ilıcalı'dan, 1988)	31
Şekil 3.1. Mermer fabrikalarından alınan mermer çamur atık numuneleri.....	33
Şekil 3.2. Atık ve toprak numunelerini toplama sahası	33
Şekil 3.3. Araziden alınan toprak numuneleri (soldan sağa; 2;1;3 no'lu toprak numuneleri)	34
Şekil 3.4. Laboratuvar ortamında toprak numunelerin homojen karışımı ve deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere içerisinden numune alma.....	34
Şekil 3.5. Likit limit için mermer çamuru ilavesi ve Casagrande düzeneği	37
Şekil 3.6. Plastik limit örneklerinin su muhtevalarının saptanması	37
Şekil 3.7. Liç deney aletinin farklı görünüşleri	39
Şekil 3.8. HACH DR-2000 spektrofotometre	41
Şekil 3.9. pH metre ve liç ekstraksiyon numuneleri son pH ölçümü.....	42
Şekil 3.10. Numune hazırlama, sıkıştırma ve kaptan çıkarma.....	47
Şekil 3.11. Vakum ve drenajın sağlanması ve numunenin yerleştirilmesi	47
Şekil 3.12. Basınç uygulaması sırasında sistemin genel görünümü.....	48
Şekil 4.1. Mermer toz atıkları ve toprak numuneleri tane boyut oranları	53
Şekil 4.2. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-1 karışımının likit limiti	55
Şekil 4.3. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının likit-limiti	56

Şekil 4.4. Mermer toz atıkları (% 0–40) ile toprak numunesi-1 karışımının plastik limiti	57
Şekil 4.5. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının plastik limiti	57
Şekil 4.6. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının plastisite indisi	58
Şekil 4.7. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının plastisite indisi	59
Şekil 4.8. Mermer toz atıkları (% 0–40) ile toprak numunesi-1 karışımının maksimum kuru yoğunluğu.....	61
Şekil 4.9. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-1 karışımının optimum su muhtevası.....	61
Şekil 4.10. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının maksimum kuru yoğunluğu.....	62
Şekil 4.11. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının optimum su muhtevası.....	63
Şekil 4.12. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-3 karışımının maksimum kuru yoğunluğu.....	64
Şekil 4.13. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-3 karışımının optimum su muhtevası.....	64
Şekil 4.14. Mermer toz atıkları (% 0-12) ile toprak numunesi-1 karışımının permeabilitesi	65
Şekil 4.15. Mermer toz atıkları (% 0-12) ile toprak numunesi-2 karışımının permeabilitesi	66
Şekil 4.16. Mermer toz atıkları (% 0-12) ile toprak numunesi-3 karışımının permeabilitesi	66
Şekil 4.17. 1 no’lu toprak numunesi kohezyon değerleri.....	68
Şekil 4.18. 1 no’lu toprak numunesi içsel sürtünme değerleri.....	68
Şekil 4.19. 2 no’lu toprak numunesi kohezyon değerleri.....	69
Şekil 4.20. 2 no’lu toprak numunesi içsel sürtünme değerleri.....	70
Şekil 4.21. 3 no’lu toprak numunesi kohezyon değerleri.....	71
Şekil 4.22. 3 no’lu toprak numunesi içsel sürtünme değerleri.....	72
Şekil 4.23. 1 no’lu toprak numunesi tüm toz mermer atıkları için CBR grafiği.....	73
Şekil 4.24. 2 no’lu toprak numunesi tüm toz mermer atıkları için CBR grafiği.....	73
Şekil 4.25. 3 no’lu toprak numunesi tüm toz mermer atıkları için CBR grafiği.....	74
Şekil 4.26. 1 no’lu toprak numunesi Traverten toz atıkları için CBR ve Yaş CBR grafiği	76
Şekil 4.27. Traverten içeren 1 no’lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği.....	79

Şekil 4.28. Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği.....	80
Şekil 4.29. Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği.....	80
Şekil 4.30. Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği	81
Şekil 4.31. Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği	81
Şekil 4.32. Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği	82
Şekil 4.33. Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği.....	82
Şekil 4.34. Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği.....	83
Şekil 4.35. Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği.....	83
Şekil 4.36. Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği.....	84
Şekil 4.37. Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği.....	85
Şekil 4.38. Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği.....	85
Şekil 4.39. Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği	86
Şekil 4.40. Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği	86
Şekil 4.41. Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği	87
Şekil 4.42. Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği ...	87
Şekil 4.43. Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği ...	88
Şekil 4.44. Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği ...	88
Şekil 4.45. Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği	89
Şekil 4.46. Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği	89
Şekil 4.47. Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği	90
Şekil 4.48. Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği.....	90
Şekil 4.49. Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği.....	91
Şekil 4.50. Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği.....	91
Şekil 4.51. Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği.....	92
Şekil 4.52. Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği.....	92
Şekil 4.53. Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği.....	93
Şekil 4.54. Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi pH _{son} liç grafiği.....	94
Şekil 4.55. Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi pH _{son} liç grafiği.....	94
Şekil 4.56. Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi pH _{son} liç grafiği.....	95
Şekil 4.57. Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi pH _{son} liç grafiği	95
Şekil 4.58. Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi pH _{son} liç grafiği	96
Şekil 4.59. Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi pH _{son} liç grafiği	96
Şekil 4.60. Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi pH _{son} liç grafiği.....	97
Şekil 4.61. Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi pH _{son} liç grafiği.....	97

Şekil 4.62. Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği.....	98
Şekil 4.63. Afyon Beyazı parça atıkları toplam gerilme-esneklik modülü değerleri.....	104
Şekil 4.64. Afyon Beyazı parça atıkları esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği	105
Şekil 4.65. Burdur Beji parça atıkları toplam gerilme-esneklik modülü değerleri ..	106
Şekil 4.66. Burdur Beji parça atıkları esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği.....	106
Şekil 4.67. Traverten parça atıkları toplam gerilme-esneklik modülü değerleri.....	107
Şekil 4.68. Traverten parça atıkları esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği	107
Şekil E.1. Toprak numunesi-1 granülometri eğrisi	125
Şekil E.2. Toprak numunesi-2 granülometri eğrisi	125
Şekil E.3. Toprak numunesi-3 granülometri eğrisi	126
Şekil E.4. Burdur Beji toz atık granülometri eğrisi.....	126
Şekil E.5. Traverten toz atık granülometri eğrisi	127
Şekil E.6. Afyon Beyazı toz atık granülometri eğrisi	127
Şekil E.7. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının likit-limiti.....	128
Şekil E.8. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının plastisite indisi	128
Şekil E.9. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının likit-limit.....	128
Şekil E.10. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının plastisite indisi	129
Şekil E.11. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının optimum su muhtevası	130
Şekil E.12. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının maksimum kuru yoğunluğu.....	130
Şekil E.13. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının optimum su muhtevası	130
Şekil E.14. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının maksimum kuru yoğunluğu.....	131
Şekil E.15. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-3 karışımının optimum su muhtevası	131
Şekil E.16. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-3 karışımının maksimum kuru yoğunluğu.....	131
Şekil E.17. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının permeabilitesi.....	132
Şekil E.18. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının permeabilitesi.....	132
Şekil E.19. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-3 karışımının permeabilitesi.....	132
Şekil E.20. 1 no'lu toprak numunesi gerilme grafiği ($C=1,00 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=32,21^\circ$)...	133
Şekil E.21. 1 no'lu toprak numunesi %10 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=1,16 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=30,20^\circ$)	133

Şekil E.22. 1 no'lu toprak numunesi %20 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=1,35$ kg/cm^2 $\phi=19,09^\circ$)	133
Şekil E.23. 1 no'lu toprak numunesi %30 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=1,62$ kg/cm^2 $\phi=19,80^\circ$)	134
Şekil E.24. 1 no'lu toprak numunesi %40 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,95$ kg/cm^2 $\phi=20,30^\circ$)	134
Şekil E.25. 1 no'lu toprak numunesi %10 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=1,17$ kg/cm^2 $\phi=28,01^\circ$)	134
Şekil E.26. 1 no'lu toprak numunesi %20 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=1,23$ kg/cm^2 $\phi=20,71^\circ$)	135
Şekil E.27. 1 no'lu toprak numunesi %30 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=1,36$ kg/cm^2 $\phi=22,69^\circ$)	135
Şekil E.28. 1 no'lu toprak numunesi %40 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,84$ kg/cm^2 $\phi=19,80^\circ$)	135
Şekil E.29. 1 no'lu toprak numunesi %10 Traverten gerilme grafiği ($C=1,03$ kg/cm^2 $\phi=31,59^\circ$)	136
Şekil E.30. 1 no'lu toprak numunesi %20 Traverten gerilme grafiği ($C=1,38$ kg/cm^2 $\phi=19,95^\circ$)	136
Şekil E.31. 1 no'lu toprak numunesi %30 Traverten gerilme grafiği ($C=1,65$ kg/cm^2 $\phi=19,03^\circ$)	136
Şekil E.32. 1 no'lu toprak numunesi %40 Traverten gerilme grafiği ($C=0,97$ kg/cm^2 $\phi=20,30^\circ$)	137
Şekil E.33. 2 no'lu toprak numunesi %0 gerilme grafiği ($C=0,77$ kg/cm^2 $\phi=40,63^\circ$)	137
Şekil E.34. 2 no'lu toprak numunesi %10 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,68$ kg/cm^2 $\phi=47,80^\circ$)	137
Şekil E.35. 2 no'lu toprak numunesi %20 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,54$ kg/cm^2 $\phi=48,32^\circ$)	138
Şekil E.36. 2 no'lu toprak numunesi %30 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,47$ kg/cm^2 $\phi=47,15^\circ$)	138
Şekil E.37. 2 no'lu toprak numunesi %40 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,48$ kg/cm^2 $\phi=45,46^\circ$)	138
Şekil E.38. 2 no'lu toprak numunesi %10 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,67$ kg/cm^2 $\phi=47,23^\circ$)	139
Şekil E.39. 2 no'lu toprak numunesi %20 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,63$ kg/cm^2 $\phi=46,15^\circ$)	139
Şekil E.40. 2 no'lu toprak numunesi %30 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,49$ kg/cm^2 $\phi=47,10^\circ$)	139
Şekil E.41. 2 no'lu toprak numunesi %40 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,70$ kg/cm^3 $\phi=40,93^\circ$)	140

Şekil E.42. 2 no'lu toprak numunesi %10 Traverten gerilme grafiği ($C=1,15 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=26,01^\circ$)	140
Şekil E.43. 2 no'lu toprak numunesi %20 Traverten gerilme grafiği ($C=1,39 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=20,56^\circ$)	140
Şekil E.44. 2 no'lu toprak numunesi %30 Traverten gerilme grafiği ($C=1,54 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=21,41^\circ$)	141
Şekil E.45. 2 no'lu toprak numunesi %40 Traverten gerilme grafiği ($C=1,05 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=18,00^\circ$)	141
Şekil E.46. 3 no'lu toprak numunesi gerilme grafiği ($C=-0,41 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=34,18^\circ$)..	141
Şekil E.47. 3 no'lu toprak numunesi %10 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=-0,39$ kg/cm^2 $\phi=34,18^\circ$)	142
Şekil E.48. 3 no'lu toprak numunesi %20 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=-0,43$ kg/cm^2 $\phi=34,18^\circ$)	142
Şekil E.49. 3 no'lu toprak numunesi %30 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=-0,31$ kg/cm^2 $\phi=28,77^\circ$)	142
Şekil E.50. 3 no'lu toprak numunesi %40 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=-0,06$ kg/cm^2 $\phi=24,18^\circ$)	143
Şekil E.51. 3 no'lu toprak numunesi %10 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=-0,37$ kg/cm^2 $\phi=34,18^\circ$)	143
Şekil E.52. 3 no'lu toprak numunesi %20 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=-0,39$ kg/cm^2 $\phi=32,25^\circ$)	143
Şekil E.53. 3 no'lu toprak numunesi %30 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=-0,20$ kg/cm^2 $\phi=25,92^\circ$)	144
Şekil E.54. 3 no'lu toprak numunesi %40 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=-0,07$ kg/cm^2 $\phi=25,03^\circ$)	144
Şekil E.55. 3 no'lu toprak numunesi %10 Traverten gerilme grafiği ($C=-0,40 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=33,98^\circ$)	144
Şekil E.56. 3 no'lu toprak numunesi %20 Traverten gerilme grafiği ($C=-0,40 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=33,35^\circ$)	145
Şekil E.57. 3 no'lu toprak numunesi %30 Traverten gerilme grafiği ($C=-0,18 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=26,61^\circ$)	145
Şekil E.58. 3 no'lu toprak numunesi %40 Traverten gerilme grafiği ($C=-0,09 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=22,78^\circ$)	145
Şekil E.59. 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği	146
Şekil E.60. %10'luk Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	146
Şekil E.61. %20'luk Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	147
Şekil E.62. %30'luk Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	147
Şekil E.63. %40'luk Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	148
Şekil E.64. %10'luk Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	148

Şekil E.65. %20'lık Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	149
Şekil E.66. %30'lık Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	149
Şekil E.67. %40'lık Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	150
Şekil E.68. %10 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	150
Şekil E.69. %20 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	151
Şekil E.70. %30 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	151
Şekil E.71. %40 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	152
Şekil E.72. 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği	152
Şekil E.73. %10'lık Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	153
Şekil E.74. %20'lık Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	153
Şekil E.75. %30'lık Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	154
Şekil E.76. %40'lık Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	154
Şekil E.77. %10'lık Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	155
Şekil E.78. %20'lık Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	155
Şekil E.79. %30'lık Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	156
Şekil E.80. %40'lık Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	156
Şekil E.81. %10 Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	157
Şekil E.82. %20 Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	157
Şekil E.83. %30 Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	158
Şekil E.84. %40 Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	158
Şekil E.85. 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği	159
Şekil E.86. %10'lık Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	159
Şekil E.87. %20'lık Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	160
Şekil E.88. %30'lık Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	160
Şekil E.89. %40'lık Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği ...	161
Şekil E.90. %10'lık Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	161
Şekil E.91. %20'lık Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	162
Şekil E.92. %30'lık Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	162
Şekil E.93. %40'lık Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	163
Şekil E.94. %10 Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	163
Şekil E.95. %20 Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	164
Şekil E.96. %30 Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	164
Şekil E.97. %40 Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği.....	165
Şekil E.98. 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği.....	165

Şekil E.99. %10 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği	166
Şekil E.100. %20 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği	166
Şekil E.101. %30 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği	167
Şekil E.102. %40 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği	167

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Mermer çamurunun kimyasal özellikleri (Vijayalakshmi vd.'nden, 2001)	5
Çizelge 2.2. Mermer çamurunun kimyasal özellikleri (Almeida vd.'nden, 2007)	5
Çizelge 2.3. Mermer çamurunun fiziksel özellikleri (Vijayalakshmi vd.'nden, 2001)	6
Çizelge 2.4. Mermer toz atıklarının elek üstü değer aralıkları (Ceylan'dan, 2000)	6
Çizelge 2.5. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre mermer fabrikalarının atıksularında bakılan parametreler ve maksimum değerler (Ceylan'dan, 2000)	13
Çizelge 3.1. Mermer toz atıkları için liç ekstraksiyonlarından elde edilen materyallerin analiz yöntemleri ve kullanılan kimyasallar (Hach'den, 1989)	41
Çizelge 4.1. Mermer toz atıkları ve toprak numunelerinin özgül ağırlık değerleri	51
Çizelge 4.2. Mermer toz atıkları ve toprak numunelerinin tane boyutları	52
Çizelge 4.3. 1 no'lu toprak numunesi ve atık toz mermer karışımı zemin sınıflandırması	59
Çizelge 4.4. 2 no'lu toprak numunesi ve atık toz mermer karışımı zemin sınıflandırması	60
Çizelge 4.5. 3 no'lu toprak numunesi ve atık toz mermer karışımı zemin sınıflandırması	60
Çizelge 4.6. Saf mermer çamuru atıkları ve saf toprak numuneleri içerisindeki Ca^{2+} , Mg^{2+} , Co^{2+} , Cr^{2+} ve organik madde değerleri	77
Çizelge 4.7. Liç ekstraksiyonlarının risk analizi	78
Çizelge 4.8. Mermer parça atıkları elek analizi sonuçları	100
Çizelge 4.9. Mermer parça atıkları iri agrega özgül ağırlık değerleri	100
Çizelge 4.10. Mermer parça atıkları ince agrega özgül ağırlık değerleri	101
Çizelge 4.11. Mermer parça atıkları Proctor değerleri	102
Çizelge 4.12. Mermer parça atıkları Los Angeles aşınma değerleri	102
Çizelge 4.13. Mermer parça atıkları magnezyum sülfat donma-çözülme kayıpları	103
Çizelge 4.14. Mermer parça atıkları CBR değerleri	104
Çizelge 4.15. Toz atıkların birim maliyet karşılaştırması	109
Çizelge 4.16. Doğal agreganın birim maliyet analizi	110
Çizelge 4.17. Mermer parça atıklarının birim maliyet analizi	111
Çizelge E.1. Mermer toz atıkları için birim fiyat analizi	168
Çizelge E.2. Stabilizasyon birim fiyatları	168
Çizelge E.3. Ocak taşı maliyeti (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri'nden, 2007)	169

Çizelge E.4. El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri’nden, 2007)	169
Çizelge E.5. Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti, (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri’nden, 2007)	170
Çizelge E.6. Konkasörün 1 saatlik ücreti, (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri’nden, 2007).....	170
Çizelge E.7. Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm’lik temel malzemesi temini, (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri’nden, 2007).....	171

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μm	Mikrometre
ST	Mermer blokları yanal ve dikey testere ile kesen kaba kesim makinesi
mm	Milimetre
Ca	Kalsiyum
Si	Silisyum
O	Oksijen
pH	Alkalinite-asidite
pH_{ilk}	İlk pH (liç ekstraksiyonundan önce)
pH_{son}	Son pH (liç ekstraksiyonundan önce)
Cr	Krom iyonu
S	Kükürt
kg	Kilogram
mg	Miligram
l	Litre
R	Reel sayılar
MPa	Megapaskal
EP-TOX	Zararlı maddelerin ekstraksiyon prosesi
TCLP	Zararlı maddelerin liç prosesi
SPLP	Yapay yağmurlamalı ile liç prosesi
WET	Kaliforniya atık ekstraksiyon deneyi
ASTM-D	Amerikan deney ve malzemeler kurumu ekstraksiyon deneyi (liç testleri için)
MEP	Çoklu ekstraksiyon prosesi

L/S	Sıvı/Katı oranı
sa	Saat
\$	Dolar
cm	Santimetre
m	Metre
t	Ton
DSİ	Devlet Su İşleri
°C	Celcius
K	Kelvin
g	Gram
km	Kilometre
ml	Mililitre
W_L	Likit limit
W_p	Plastik limit
I_p	Plastisite indisi
CBR	Kaliforniya taşıma oranı
σ_n	Nor mal gerilme
$\tau_{\text{mukavemet}}$	Kesme mukavemeti
ϕ	İçsel sürtünme açısı
C	Kohezyon
tan	Tanjant
Mg	Magnezyum
Co	Kobalt
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı

k	Permeabilite katsayısı
M	Molar
K	Potasyum
N	Azot
H	Hidrojen
Fe	Demir
Ag	Gümüş
PAN	1-(2- pyridylazol)-2 naphthol
EDTA	Etilen-di-amin asetik asit
EGTA	Etilen glikol tetra asetik asit
dk	dakika
Hg	Civa
N	Normalite
DAS	Demir amonyum sülfat
Mr	Esneklik modülü
K	Motorlu araç taşıma katsayısı
M	Mesafe
CL	Kil ağırlıklı zemin
CH	Yüksek plastisiteli kil
M	Kum ağırlıklı zemin
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
Inc	Amerikan uzunluk birimi (2,54 cm)
θ	Toplam gerilme
Sc	Çevre basıncı

KPa	Kilopaskal
YTL	Yeni Türk lirası
F	Nakliye maliyeti

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve yurt dışında mermere olan talep hızla artmakta ve bunun sonucu olarak mermer sektörü ile uğraşan işletmelerin de sayısının artmasına neden olmaktadır. Bu işletmelerin büyüklüğü ve yoğunluğuna bağlı olarak çamur ve parça mermer atıklar açığa çıkmaktadır. Mermer atıklarının kullanılabilir tarım arazilerine boşaltılması çevre, sağlık ve doğal görünüme bozucu etki yapmakta ve çevrecilik açısından olumsuz bir tepki oluşturmaktadır. Bununla birlikte, ocak ve işletmelerde yapılan üretime göre, oluşan atıkların miktarları %75'lere ulaşmaktadır. Bu nedenle mermer atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek seçenekler; mermer fabrika işletmecilerine, ülke ekonomisine, çevre ve ekolojiye önemli katkıda bulunacağı düşünülmüştür.

Mermer işletmeciliğinde yüksek hacimde ortaya çıkan çamur atıkların depolanması için arazilere olan gereksinim, işletme sahipleri için büyük maliyet oluşturmakta ve tarım arazilerini kullanılamaz hale getirmektedir. Mermer çamurları içerisindeki mikron boyutunda bulunan partiküller toprağın havalanmasını ve su geçişini sağlayan küçük delikleri kapatmakta ve böylelikle arazileri verimsiz kılmaktadır.

İşletmelerden açığa çıkan parça atıklar, paletyen (işlenmiş kırık mermer parçası) olarak kısmen döşeme ve dolgu malzemesi olarak kullanılsa da, genellikle fabrika çevresinde görünümü bozuk büyük yığınlar oluşturmaktadır. Bazı büyük ölçekli fabrikalarda bu atıklar kırıcılardan geçirilerek dolgu malzemesi şeklinde maliyetine ancak verilebilmektedir.

Mermer çamur ve parça atıkları, değerlendirmeyi bekleyen ve büyük hacim kaplayan endüstriyel malzemelerdir. Bunların kazanılması, ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacaktır. Ancak şimdiye kadar küçük çaplı kullanım ve denemeler yapılsa da yüksek miktarda tüketim sağlayan herhangi bir sektör olmamıştır. Özellikle mermer çamur atıkları içerisindeki testere artıkları, kimyasal çöktürücü madde artıkları gibi safsızlıklar nedeniyle çok fazla kullanılamamıştır.

Bu çalışmada çamur ve parça atıklarının daha fazla tüketimini sağlamak için yol inşaatında değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Çamur atıklarının zemin iyileştirmesinde, parça atıklarının temel tabakasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Her iki malzeme türünün de kullanılabilir olduğu saptanmıştır. Bu analizlere ek olarak, atık malzemelerin yol inşaatında kullanımı sonucu yer altı sularına kirletici etkisi incelenmiştir. Analiz sonuçlarının evre Bakanlığı ve TSE standartlarına uygun olduğu görülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Mermer Atıkları

2.1.1. Atık Mermer Oluşumu

Blok olarak mermerin ocaktan çıkartılması ve mermer fabrikalarında işlenmesi esnasında farklı boyutlarda parça ve toz atıklar oluşur.

Ocakta Oluşan Atıklar: Patlayıcı maddelerle delme, kamalama gibi ilkel üretim yöntemlerinin uygulandığı mermer ocaklarında parça atıklar oluşmaktadır. Ayrıca ocaklarda yapıdaki süreksizlikler nedeniyle blok vermeyen iri boyutlu mermer kütlelerinin piyasa değeri olmadığı için genellikle değerlendirilmeden bırakıldığı bilinmektedir (Ceylan, 2000).

Mermer Fabrikalarında Oluşan Atıklar: Mermer atıkları parça boyutlu olarak işleme tesislerinden iki farklı ürün olarak çıkabilmektedir:

1. İri boyutlu parça mermer atıkları,
2. Kolloidal yapıda, büyük miktarı 150 µm'nin altında olan ve maksimum parça boyutu 2 mm'ye ulaşabilen kesim toz atığı (Şentürk vd., 1996).

Bu sınıflandırmanın dışında atığın oluştuğu birimler olarak da katrak (plaka kesim), ST (kaba kesim) ve silme-cilalama ünitelerinde oluşan atıklar şeklinde benzer bir sınıflandırma yapılabilir:

Katraklarda blok mermer kesimi, elmas soketlerin mermer yüzeyine sürtünmesi ve aşındırması esasına dayanmaktadır. Kesilen mermerin mineralojik yapısına bağlı olarak toz atık şeklinde nitelendirilebilecek boyutta, genellikle 1 mm'nin altında tanecikler oluşmaktadır.

ST'lerde ise kesme işlemi elmas soketlerin mermer yüzeyine çarparak tanecikleri yüzeyden koparması esasına dayandığından, tane boyutu katrak atıklarına göre daha büyük olmaktadır. Toz atık olarak nitelendirilebilecek bu atıkların boyutu, mermerin mineralojik yapısına ve kesme şekline bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 2 mm'nin altındadır.

Silme-Cilalama işlemi mermer yüzeyini aşındırarak parlatma esasına dayandığından oluşan tanecik boyutu katrak ve ST'lere göre daha küçük olmaktadır. Mermer fabrikalarında en küçük boyutlu atıkların olduğu üniteler silme cilalama üniteleridir. Mermerin mineralojik yapısına bağlı olarak değişmekle birlikte, genellikle 500 µm'nin altındaki toz atıklar oluşmaktadır (Büyüksağış, 1995).

İri boyutlu mermer parça atıkları ve kolloidal haldeki mermer toz atıkları aşağıda daha detaylı olarak incelenecektir.

2.1.1.1. Mermer Toz Atıkları

Aslında mermer toz atıkları, çamur kıvamında su ile karışık halde bulunan malzemelerdir. Ancak literatürde genel olarak “toz atık” tabiri kullanıldığı için bu çalışmada da toz atıklar olarak isimlendirilecektir.

Mermer toz atıkları, özellikle fabrikalarda, işleme sırasında ortaya çıkan ve hacimsel olarak oldukça fazla miktarda bulunan bir malzemedir. Hemen hemen her kesim makinesinden çıkmakla birlikte ağırlıklı olarak katrak, ST, yarma, silme-cilalama ünitelerinden oluşur.

Mermer bloklar testere takımıyla kesilirken, su bir soğutucu olarak kullanılır. Testerelerin bıçak kalınlığı yaklaşık 5mm olup bloklar normal olarak 20 mm kalınlıklı levhalar halinde kesilir. Böylece mermer bloğun kesim yapılan yüzey alanına göre her 25 mm kalınlıkta 5mm'si toz haline dönüşür. Bu toz mermer, çamur olarak su ile birlikte akar. Böylece toplam işlenmiş mermer ağırlığının %20'ye

yakını mermer çamuru olarak ortaya çıkar. Açığa çıkan mermer çamuru yaklaşık olarak %35–45 arasında su muhtevasına sahiptir.

Mermer çamurunun fiziksel özellikleri Çizelge 2.3’de, kimyasal yapısı da Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’de detaylı olarak verilmiştir. Çamurun kimyasal analizleri 200 µm'nin altındaki partiküllerin %90'ının kalsiyum ve magnezyum karışımı olduğunu göstermektedir (Vijayalakshmi vd., 2001).

Çizelge 2.1. Mermer çamurunun kimyasal özellikleri (Vijayalakshmi vd.’nden, 2001)

YAPILAN TEST	TEST DEĞERİ %
Kızdırma Kaybı	40,6
MgO	20,6
CaO	29,8
SiO ₂	8,5
Fe ₂ O ₃	1,3
Al ₂ O ₃	1,3

Ancak kimyasal özellikler mermerlerin ve kesimde kullanılan aletlerin kimyasal yapısına göre farklılık gösterebilmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Mermer çamurunun kimyasal özellikleri (Almeida vd.’nden, 2007)

YAPILAN TEST	TEST DEĞERİ %
Kızdırma Kaybı	43,4
MgO	0,30
CaO	54,59
SiO ₂	8,5
Fe ₂ O ₃	0,40
Al ₂ O ₃	3,72
SO ₃	0,09
Cl ⁻	0,03

Göller Bölgesi civarındaki farklı mermer işletme fabrikalarından alınan numunelerin kimyasal analizi ise şöyledir:

Tek tip mermer işleyen fabrikaların toz atıklarının CaCO₃ değeri %95'in üzerinde hesaplanmıştır. Karışık mermer işleyen fabrikalardan ise bu değerin %92,7–94,5

arasında değiştiği gözlenmiştir. Genellikle atık tozların kullanımı için bu değerin yüksek olması istenmektedir (Ceylan, 2000).

Çizelge 2.3. Mermer çamurunun fiziksel özellikleri (Vijayalakshmi vd.'nden, 2001)

ÖZELLİK	SONUÇ
Hacim Yoğunluğu (g/cm ³)	1,3
Gerçek yoğunluk (g/cm ³)	3,6
Partikül Boyut Dağılımı (µm)	300–45
Yüzey Alanı (m ² /g)	6,37
Nemlilik (%)	8

Afyon, Aydın, Isparta (Göller Bölgesi) civarındaki farklı mermer işletme fabrikalarından alınan numunelerin boyut analizi de Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Mermer toz atıklarının elek üstü değer aralıkları (Ceylan'dan, 2000)

TANE BOYUTU (µm)	TOZ ATIK DEğer ARALIğI (%)
250 Üstü	25-43
250-180	15-43
180-125	15-26
125-90	5-22
90-63	0,5-6
63 Altı	0,2-2,4



Şekil 2.1. Arazilere dökülen atık mermer çamurları

Fabrikalardan çıkan mermer toz atıkları sulu çamur halinde ya da filtre preslerden geçirilerek kısmen suyu alınmış olarak boş arazilere (Şekil 2.1) veya vadilere (Şekil 2.2) dökülür. Bu malzemeler bölgede (göller yöresinde) kısmen bina inşaat temellerinde geçirimsizliği sağlamak amacıyla kullanılmakta ve bazen de uygulanabilirliği zor da olsa sıva malzemesi içerisine karıştırılmaktadır. Dökülen tonlarca malzemeye göre bu kullanım miktarı çok düşük kalmakta ve değerlendirilememektedir. Yapılan bu çalışmada da atık malzemelerin yüksek miktarda yol inşaatında ve zayıf zemin katmanlarının iyileştirilmesinde kullanılabilirliği test edilmiştir.



Şekil 2.2. Vadilere dökülen atık mermer çamurları

2.1.1.2. Mermer Parça Atıkları

Mermer ocakları ile işletmelerinde köprü kesme, monolam, ST kesimi, ebatlama gibi süreçlerden sonra alt ve yan birimlerden yaklaşık olarak bir blok kütlesinin %30 civarında (toz atıklar kadar), pasa olarak nitelendirilen parça atıklar oluşmaktadır. Oluşan atıklar; ST kesiminden çıkan çok büyük malzemeler olabildiği gibi (Şekil 2.3), ebatlama türü makinelerinden çıkan, değişken fakat daha küçük boyutlu malzemeler de olabilir (Şekil 2.4). Ocakta açığa çıkan ve bölgeye yakın boş arazilere veya vadilere dökülen atık malzemeler çıkartılan kayaç kütlelerinin %40'ını oluşturmaktadır (Akbulut ve Gürer, 2007).



Şekil 2.3. Büyük boyutlu mermer atık parçaları

Bu parça atıklar toz haline getirilerek istenilen boyuttaki malzemeler elde edilebilir. Parça atıkların kimyasal analizinde ise kırma ve eleme işlemi sonucu CaCO_3 miktarının %95'in üzerinde olduğu hesaplanmıştır (Ceylan, 2000). Toz atıklardaki CaCO_3 miktarı ile kırma-eleme sonucu oluşan ürünün CaCO_3 miktarı arasındaki oranın değişmediği görülmüştür.

Büyük boyutlu malzemeler kırılarak daha küçük boyutlu malzeme haline getirilir veya büyük parçalar halinde inşaat dolgusu, yol dolgu malzemesi v.s. için kullanılmak üzere düşük fiyattan ya da ücretsiz olarak kullanıcılara verilir.



Şekil 2.4. Küçük boyutlu mermer atık parçaları

Küçük boyutlu parça atıklar, kırıcılarda kırılarak (Şekil 2.5) yol inşaatında alt temel ve temel tabakası olarak kullanılmak üzere, istenilen boyutlarda malzemeler elde edilebilir. Kimyasal yapılarının genel olarak yol inşaatında kullanılan malzemelerin özelliklerine (kalkerli yapıya) sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 2.5. Kırıcıdan geçmiş atık mermer malzemeleri

Günümüzde Şekil 2.6'daki gibi kırıcılara sahip bazı büyük işletmeler bulunsa da, mermer işletmelerinin çoğunluğunun çevresinde görünümü hoş olmayan manzaralar oluşturmaktadır.



Şekil 2.6. Küçük boyutlu parça atıklar için kırıcı ve kırma işlemi

Parça atıklar; inşaat temellerinde dolgu malzemesi, mozaik, yem sanayi ham maddesi (toz haline getirilerek), inşaatlarda zemin üzerine paletyen gibi farklı alanlarda kısmen kullanılmaktadır. Ancak bu malzemelerin yol üst yapı tabakalarında büyük miktarlarda kullanımı,

- Geri kazanımını artıracak
- Manzara kirliliğini önleyecek

- Arazinin olumsuz yönde kullanımını azaltacaktır.

2.1.2. Atık Mermer Miktarı

Atık mermer miktarı;

- a. Mermerin mineralojisine,
- b. Mermerin yapısına (Çatlak, süreksizlik vs.),
- c. Ocaktan mermer çıkartma işlemine,
- d. Fabrikadaki işleme bağlı olarak farklılık gösterir.

Kaynak taramalarında da bu farklılık açık şekilde göze çarpmaktadır:

- Mermer fabrikalarında işlenen mermerlerin ortalama %30'unun toz olarak atıldığı hesaplanmıştır (Yıldız ve Eskikaya, 1995).
- Mermer çamuru atığı toplam mermerin yaklaşık olarak %20'si oranındadır (Vijayalakshmi vd., 2001).
- 1991 yılı verilerine göre dünyada tüketilen mermerlerin üretimi aşamasında oluşan atık oranı (parça ve toz atık) %41 'dir (DPT, 1996a).
- Mermer sanayinde işlenen doğal taşların %30 oranında katı atık olarak ortaya çıkması çevreye zararı yanında ekonomik kayıp olarak da karşımıza çıkmaktadır (Onargan ve Köse, 1997).
- Blok mermerlerin kesilmesinde zayıfın az olması için su ile kesim yapılmasına rağmen yine de oldukça fazla atık çıkışı olmaktadır. Üretim esnasında, ortalama olarak hammaddenin %25'i atık olarak çıkmaktadır (Akdağ ve Kırımhan, 1999).

2.1.3. Mermer Atıkların Oluşturduğu Çevresel Sorunlar ve Yükümlülükler

2.1.3.1. Atıkların Çevreye Etkileri

Atık mermer oluşumunda da ifade edildiği gibi; mermer fabrikalarında üretim atığı olarak çevreye etki eden iki farklı atık oluşmaktadır:

1. Atık Mermer amurunun evreye Etkileri:

Mermer fabrikaları, boşaltım için kendilerine gösterilen alanlara rağmen fabrikalarına yakın herhangi bir vadi veya boş araziye mermer çamurlarını boşaltmaktadır (Bkz. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Bu da özellikle çamurun kurumasından sonra geniş arazilerin işgali ve toz kirliliği gibi ciddi evre problemlerine yol açmakta ve aynı zamanda yer altı su rezervlerini kirlletmektedir.

Mermer amuru çevrenin ekosistemine, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerine ciddi tehlikeler getirmektedir. Karşılaşılabilecek problemler aşağıda belirtilen maddeler altında toplanabilir:

- Araziye boşaltıldığında porozite (gözeneklilik), su absorpsiyonu, permeabilite (su geçirgenliği) v.s.'yi azaltması nedeniyle arazi verimliliğini olumsuz şekilde etkiler.
- Çamur boşaltılan alanlar herhangi bir vejetasyonu ve kalıntıların daha alt bileşenlere parçalanmasını destekleyemez duruma gelir.
- Kuruduğu zaman ince partiküller hava ile taşınarak ciddi hava kirliliğine neden olur. Mesleki sağlık problemlerinden başka endüstriyel alanlarda kurulu aletleri ve makineleri de etkiler.
- Yağmurlu mevsimlerde atık çamur; nehir, kanalizasyon, yol ve su kitlelerine taşınarak su kalitesini etkiler. Depolama kapasitesini azaltarak su yaşamına zarar verir.
- Arazi üzerinde uzun vadeli birikimden dolayı ince partiküller, akiferlerin düşük rejimini engeller. Böylece yer altı su akımları ciddi şekilde etkilenmiş olur.
- Fabrikanın her tarafına dağıtılan çamur atık yığınları, bir görüntü kirliliği oluşturarak tüm bölgenin estetiğini bozar. Sonuçta ülkenin turizm ve endüstriyel potansiyeli olumsuz olarak etkilenir (Vijayalakshmi vd., 2001).

2. Atık Mermer Parçalarının Çevreye Etkileri

Parça atıklar genelde fabrika sahasında belirlenen yerlerde depolanmakta ve talep olduğunda satılmaktadır (Bkz. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4). Parça atıkların sürekli ve düzenli değerlendirme imkanlarının mevcut olmayıp çoğunlukla fabrika stok sahalarında biriktirildiği gözlenmektedir (Ceylan, 2000). Parça atıklar toz haline getirilerek mermer toz atıklarının kullanıldığı yerlerde işletilebilir.

Mermer parça atıklarının çevreye getirdiği sorunlar ise şu şekilde sıralanabilir:

- Görüntü kirliliği oluşturarak tüm bölgenin estetiğini bozar.
- Devletin turizm ve endüstriyel potansiyelini olumsuz etkiler.
- Arazi işgali ile bitey ve direy dokusu bozulmuş, yer altı suyu rejimi engellenmiş olur.

2.1.3.2. Mermer İşletmecilerinin Çevre Kanunu'na Göre Yükümlülükleri

Ülkemizde 09.08.1983 tarihinde yürürlüğe giren çevre kanununun 8. maddesinde, "Her türlü atık ve artığı çevreye zarar verecek şekilde, ilgili yönetmeliklerden belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak, taşımak, uzaklaştırmak ve benzeri faaliyetlerde bulunmak yasaktır. Kirlenme ihtimalinin bulunduğu durumlarda ilgililer kirlenmeyi önlemekle kirlenmenin meydana geldiği hallerde kirlenmeyi durdurmak, kirlenmenin etkilerini gidermek veya azaltmak için gerekli tedbirleri almakla yükümlüdürler." şeklinde bir hüküm mevcuttur. Bu maddeye göre, mermer toz ve parça atıkların belirlenen standart ve yöntemler dışında alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır. Çevre Kanunu'nun bu maddesi, mermer fabrika atıksularının su kirliliği kontrol yönetmeliğinin standartlarına göre arıtıldıktan sonra, parça atıkların da katı atıkların kontrolü yönetmeliğine göre bertarafını zorunlu kılmaktadır.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre mermer fabrikalarının atıksularında bırakılması zorunlu parametreler ve sağlanması gereken değerler Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre mermer fabrikalarının atıksularında bakılan parametreler ve maksimum değerler (Ceylan'dan, 2000)

Askıda Katı Madde	100 mg/l
Krom (Cr^{+6})	0,3 mg/l
Yağ gres	10 mg/l
pH	6-9

Mermer atıksularının çizelgedeki değerleri sağlaması durumunda işletmelere deşarj izni verilir. Deşarj izin belgesi alan işletme çevre açısından yasal yükümlölüklerim yerine getirmiş sayılmaktadır.

Bazı illerdeki mermer fabrikalarının yasal yükümlölüklerini yerine getirmemesi nedeniyle, Çevre Kanunu'na göre idari para cezaları ve kapatmaya varan yaptırımlar uygulandığı gözlenmiştir (Ceylan, 2000).

2.1.4. Mermer Fabrikalarında Atıksuyun Arıtımı

Mermer fabrikalarının kesim ve parlatma ünitelerinde oluşan mermer tanecikleri, bu işlemler esnasında kullanılan su ile birlikte kanallardan geçerek çökertme havuzlarında ya da tanklarda birikmektedir. Atık suyun kanallardan geçişi esnasında iri boyutlu tanecikler kanallarda çökerken, askıda kalabilen küçük boyutlu tanecikler ise çökertme havuzuna ya da tanklara gelmektedir.

Fabrikalarda tekrar kullanılan su, arıtılmadan kullanıldığında özellikle parlatma işleminde problem oluşturmaktadır. Atıksu içerisinde bulunan 10 μm 'den büyük silikathlı taneler parlatılan mermer yüzeyini çizerek mermer yüzeylerinde olumsuz etki yapmaktadırlar. Bu nedenle arıtma işleminde maksimum 10 μm boyutlu, içinde silikathlı tanecik bulunmayan temiz su eldesi amaçlanır (Büyüksağış, 1995).

Mermer atıksularının arıtımı aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir:

2.1.4.1. Ardışık Havuz Yöntemi

Bu yöntemde fabrika sahası içerisinde, ardışık ve birbirine bağlantılı olarak yapılan havuzlardan yararlanılmaktadır. Havuzların derinlik ve boyutları fabrikada kullanılan suyun miktarına göre belirlenir. Havuz sayısı ise genellikle 4–6 ve üstüdür (Şekil 2.7). İlk iki havuz diğerlerine göre daha küçük olmalıdır. İlk havuza verilen fabrika atık suyunun iri taneleri, özgül ağırlığa bağlı olarak havuz dibine çökmekte, havuz yüzeyindeki su, taşma yoluyla ikinci havuza geçmektedir. Bu işlem bütün havuzlarda aynı şekilde gerçekleşerek son havuzda ince taneli, nispeten arıtılmış su elde edilmektedir. Bu su, tekrar kullanılmak üzere son havuzdan pompa aracılığıyla fabrikaya verilmektedir. Bu yöntemde elde edilen suyun içerisindeki mermer tozu tane boyutu 20 μm civarındadır ve teorik ayırma verimliliği, %30 olarak hesaplanmıştır (Büyüksağış, 1995).



Şekil 2.7. Çökeltme havuzlarında yapılan arıtım

Bu yöntem tam bir arıtma sağlamadığı için özellikle cila ünitelerinde problem oluşturmaktadır. Fabrika atıksularında mermer taneciklerinin yanı sıra, kesme ve parlatma ünitelerinde oluşan aşındırıcı taneler de bulunmaktadır. Bu aşındırıcı tanecikler, ardışık havuz sistemiyle tam olarak ayrılamamaktadır. Fabrikaya tekrar verilen bu nitelikteki su, cilalama esnasında mermer yüzeyini çizmekte ve parlatma verimini olumsuz etkilemektedir. Bu durum ürün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Ardışık havuz yöntemi, mermer toz atıklarının endüstriyel olarak değerlendirilebilmesi açısından da olumsuz bir yöntemdir. Bu yöntemde, havuz dibinde biriken toz atıklar, sulu olarak “şlam” niteliğinde elde edilmektedir. Bu atıklar tesis içindeki atık sahalarına atılmakta ve tekrar kirlilik oluşturmaktadır. Bu tip toz atıkları endüstriyel olarak değerlendirme imkanı çok zordur.

Küçük ve orta ölçekli fabrikalar maliyeti düşük ve işletme giderlerinin az olması nedeniyle bu yöntemi yaygın olarak kullanmaktadır (Ceylan, 2000).

2.1.4.2. Sedimentasyon (Flokülasyon) Yöntemi

Fabrikadan çıkan atıksu, pompa vasıtasıyla bir tanka verilmekte ve çöktürme işlemine tabi tutulmaktadır (Şekil 2.8). Bu yöntemde atıksuyun içerisindeki katı tanecikler yerçekimi etkisiyle tankın dibine çökerek birikmektedir.



Şekil 2.8. Çökeltme tanklarında yapılan arıtım

Ayrıca çökmeyi artırmak ve hızlandırmak amacıyla flokleşmeyi (yumaklaşmayı) sağlayan kimyasal maddelerde kullanılır. Çöken kısım çamur filtrepresine verilmek üzere pnömatik bir vana vasıtasıyla ayrı bir havuza alınır. Buradan pompa vasıtasıyla çamur filtrepresine (su muhtevasını % 80'den % 20'ye indiren sistem) verilerek susuzlaştırılmış kek elde edilir. Böylelikle fabrikadan gelen atıksu

arıtılarak içindeki taneciklerden arındırılmış olur. Elde edilen temiz su tekrar üretimde kullanılmak üzere fabrikaya verilir. Bu işlemler dizisi sürekli olarak devam eder.



Şekil 2.9. Filtrepres ve oluşan çamur kekleri

Bu yöntemde, çöktürücü olarak daha çok sentetik, makromoleküler özelliğe sahip polimerler (poliakrilamidler) kullanılmakta ve su ile belirli oranlarda karıştırılarak çözelti halinde, belirli dozajlarda, otomatik olarak devamlı, atıksu tankına verilmektedir (Şekil 2.10) (Büyüksağış, 1995). Bu işlemlerde çöktürücü seçimi, miktarı ve katı oranı önem arz etmektedir. Bazı durumlarda işlenen mermer türü ve çöktürücü etkileşimi nedeniyle ortamın pH'sı (asidik ya da bazik olma durumu) değişmektedir. Bu nedenle çöktürücü seçiminde mermer türü de göz önünde bulundurulmalıdır (Ceylan, 2000).



Şekil 2.10. Flokülant karıştırma makinesi

Sedimentasyon yönteminde elde edilen arıtılmış su içerisindeki mermer tozu boyutu ortalama 7,5 µm olup teorik ayırma verimliliği, %64 olarak hesaplanmıştır (Büyüksağış, 1995).

Bu yöntemin ilk yatırım maliyeti, işletme ve enerji giderleri diğer yöntemlere göre daha fazladır. Ancak cilalama üniteleri ve fayans hatları bulunan tesislerin kaliteli ürün elde edebilmesi açısından tercih etmesi gereken yöntemlerden biridir (Ceylan, 2000).

2.1.4.3. Hidrosiklonlarla Ayırma - Sınıflandırma Yöntemi

Hidrosiklonlar özellikle ince tane boyutlarındaki ayırma işlemlerinde çok verimli çalışan ve genel olarak sınıflandırma, kıvamlaştırma ve zenginleştirme işlemlerinde kullanılan sistemlerdir. Mermer fabrikalarının atıksularında bulunan ince taneciklerin ayrılmasında da verimli bir şekilde kullanılırlar. Bu yöntemde atıksu, basınç altında hidrosiklonla beslenerek bir dönme hareketi kazanır. Bu dönme hareketi, bir santrifüj kuvvet oluşturarak suyun içindeki taneciklerin çökerek ebat ve özgül ağırlıklarına göre ayrılmasına neden olur (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1997).

Bu yöntemde, teknolojik gelişmeler sonucu alt ayırma sınırı, 2 µm'ye kadar inmiştir. Teorik ayırma verimliliği ise %88'dir (Büyüksağış, 1995).

Hidrosiklon yönteminin sedimentasyon yöntemine göre hem ilk yatırım maliyeti düşük hem de işletme ve enerji giderleri daha azdır. Bu nedenle en ekonomik ve en verimli yöntemdir (Ceylan, 2000).

Ancak bu tarz arıtma yöntemi ülke genelinde işletmeler tarafından çok fazla kullanılmamaktadır. Bunun nedeni bakım maliyetlerinden kaynaklanabilir. Genelde nispeten büyük fabrikalar flokulantlarla sedimentasyon yöntemini kullanırken, daha düşük üretim yapan firmalar ardışık havuz yöntemini seçmektedir. Bununla birlikte

ardışık havuzların daha çok alan kaplaması nedeniyle tüm firmalar silolarla kurulan ve daha az alan kaplayan sedimentasyon yöntemine yönelmektedir

2.1.5. Mermer Toz Atıklarının Temizlenmesi

Mermer fabrika atıksularından arıtım yoluyla elde edilen toz atıkların içerisinde değişik oranlarda istenmeyen parçacıklar (kesici parçaları, kimyasal ürünler, vb.) bulunmaktadır. Bu parçacıklar mermerin kesimi ve parlatılması aşamasında kesme ve parlatma ekipmanlarındaki aşınmadan meydana gelmekte ve mermer tozuna karışmaktadır. Mermer tozlarının içerisinde bulunan bu parçacıklar endüstriyel kullanım alanını sınırlamaktadır. Bu parçacıklar dışında mermerin kimyasal bileşiminden gelen safsızlıklar da endüstriyel kullanım alanını sınırlayarak istenmeyen bir durum oluşturmaktadır. Bu nedenle tüm bu istenmeyen parçacıkların mermer tozundan ayrılması gerekmektedir (Ceylan, 2000).

Mermer toz atıklarının temizlenmesinde fabrikadan çıkan atıksuyun, çöktürme işlemine tabi tutulmadan doğrudan temizleme işlemine tabi tutulması uygundur. Böylelikle atıksu arıtımı ve toz atıkların temizlenmesi işlemi bir arada yapılmış olur. Tane boyutu 5–100 µm arasında olan toz atıkların temizlenebilmesi için pratik olarak eleme-sınıflandırma, flotasyon ve manyetik zenginleştirme yöntemleri uygundur. Bu yöntemlerden en ekonomik olanı flotasyondur. Mermer tozları kalsit flotasyonuna tabi tutularak bünyesindeki demiroksitlerden ve silislerden temizlenebilmektedir. Tane boyutu 100 µm'nin üzerindeki toz atıklarda aşındırıcı parçacık miktarı oldukça fazladır. Bu boyuttaki atıklar, yoğunluğa göre doğrudan ayırım işlemine tabi tutulurlar. Bu işlemde aşındırıcı taneciklerin elde edilmesi mümkün olmaktadır (Tosun, 1996).

Mermer toz atıkları yol inşaatı ve zemin iyileştirmesinde kullanılabildiği takdirde ve yapılan kimyasal risk analiz sonuçları Çevre Bakanlığı'nın verdiği standart değerler altında bulunduğu sürece, içerisindeki mevcut kirletici partikülleri temizlemeye ihtiyaç kalmayacak ve endüstriyel bir yükten yani temizleme maliyetinden tasarruf sağlanmış olacaktır.

2.1.6. Toz Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi

Toz atıkların değerlendirme alanları farklılık göstermektedir. Bu atıkların doğrudan farklı endüstri dallarında kullanabilme imkanı bulunmaktadır. Atığın değerlendirilebildiği alanlar aşağıda belirtilmiştir (Şentürk vd., 1996; Segadães vd., 2005; Sarkar, 2006; Acchar, 2006; Agarwal, 2006; Saboya vd., 2007):

- Zirai kireçtaşı - zirai toprak ve zemin ayarlayıcı,
- Yem ve mineralli besinler,
- Sıva katkı malzemesi,
- Katılaştırma,
- Çimento üretimi,
- Kireç üretimi,
- Kalsine dolomit üretimi,
- Cüruf yapıcı malzeme,
- Refrakter malzeme,
- Asit nötrleştirme,
- Cam üretimi,
- Kağıt üretimi,
- Şeker rafinasyonu,
- Baca gazından kükürt giderimi,
- Yol inşaatı ve zemin iyileştirmesinde,

Mermer toz atıkları, asitli atıksu arıtmında, mantar bitkisi üretiminde kompostun pH ayarlamasında ve demiryolu traverslerinin yapımında da kullanılabilir.

Mermer atıkları fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişik alanlarda kullanılmaktadır. İnşaat malzemesi olarak kullanılacak mermer atıklarının fiziksel ve mekanik özellikleri önemli olmaktadır. Çimento veya kireç üretimi sürecinde katkı malzemesi olarak kullanılacak atıklarda ise kimyasal özellikler daha önemli olmaktadır (Şentürk vd., 1996).

Mermer toz atıklarının değişik alanlarda kullanabilme imkanını belirleyen en önemli özellikler; kimyasal bileşim, tane boyutu ve renktir. Mermer tozlarının kimyasal bileşimindeki CaCO_3 oranının büyüklüğü kullanım alanını genişletmekte ve endüstride oldukça fazla ihtiyaç duyulan kalsitin yerine kullanabilme imkanı oluşturmaktadır. Zira özellikle İtalya'da Carrara mermerlerinin atıkları ve blok alınamayan ocaklardaki mermer oluşumları kalsit olarak üretilip endüstrinin kullanıma sunulmaktadır (DPT, 1996b). Ancak burada kalsitin yerine kullanılabilme kriteri; yüksek CaCO_3 yüzdesi ve beyazlıktır. Tane boyutu ise kullanılan sektöre göre 1-2 μm 'ye kadar küçük boyutlarda istenmektedir (Ceylan, 2000).

2.1.6.1. Yol ve Zemin Stabilizasyonunda Değerlendirme

Yol inşaatı ve zemin iyileştirmesinde mermer toz atıklarının çamur halinde büyük hacimde kullanılabileceği bir alandır. Bu alandaki kullanım, diğer alanlardakine oranla çok daha fazla olacaktır. Bu durum yol ve zemin inşaatındaki uygulanabilirliği üzerine araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Yol inşaatında değerlendirilebilirliği ile ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri; kırmızı çöl kumlarının stabilizasyonunda kullanılmış ve verimi artırdığı gözlemlenmiştir. Genellikle kullanılabilirliğini test etmek için Atterberg limit, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), basınç, Proctor gibi testler uygulanmıştır (Okagbue ve Onyeaobi, 1999).

Bir diğer uygulamada ise; kaplama tabakası için asfalt içerisine mermer toz atıklarının filler malzemesi olarak karıştırılmış ve şehir içi yollarda kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir (Terzi ve Karaşahin, 2003; Karaşahin ve Terzi, 2007).

Gürer ve Bulut (2007), Afyonkarahisar bölgesindeki mermer işletmelerinden açığa çıkan parça atıkların agrega olarak yol kaplama tabakasında uygulanabilirliğini araştırmışlar. Orta dereceli taşıt trafiği olan yollarda bu malzemelerin uygulanabilir olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

2.1.7. Mermer Atık Miktarının Azaltılması

Mermer atıklarının miktarını ve kirletici etkilerini azaltabilmek ve faydalı kullanımını sağlamak için aşağıdaki faaliyet planının uygulanması yararlı olacaktır.

Her şeyden önce atık üretimini azaltmanın tedbirleri alınmalıdır. Bunun için de;

- Ocak mekanizasyonu artırılmalı,
- Madenin yüzeyini kazmadan önce ultrasonik tarama ve merkezi delme ile ocak kiralamanın sistematik ve bilimsel araştırması yapılmalı,
- Atık azaltma tedbirleri ilgili personel eğitilmeli,
- Kazı alanında, takım bıçağı aletine uygun şekilde blok üretilmeli,
- Bu problemin tamamen büyümesinden dolayı tuğla, yol ve diğer inşaat aktiviteleri gibi büyük ölçekli uygulamayı hedef alarak geliştirilecek teknolojiler için önemli bir hamle yapılmalıdır.

Bunların yanında;

Teknolojiler, laboratuvar seviyesinde uygulanmaktadır. Ancak, laboratuvar seviyesinde teknoloji geliştirmek tek başına yeterli değildir. İhtiyaç olan; onların ticari olarak uygulanabilirliğini sağlamak, bu ürünleri halka açmak ve teknolojiyi üst seviyelere taşımaktır. Lokal endüstri ile birleşik olarak büyük bir ölçekte, fiyat-fayda oranı yüksek, pilot ölçek türünü yapmakla teknolojileri göstermek gerekir (Vijayalakshmi vd., 2001).

2.2. Liç ve Önemi

Çevre mühendisliği ve çevre kuruluşlarının gelişmiş ülkelerde ilgilendiği önemli alanlarından biri de risk değerlendirme yöntemlerinin katı atık sahalarında kullanılmasıdır. Atık sahalarında kirliliğin oluşturduğu tehlikenin en büyük boyutunun saptanması, yani risk değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir. Böylece sahalar iyileştirilmeli ve atıklar yeniden değerlendirilebilmelidir. Risk

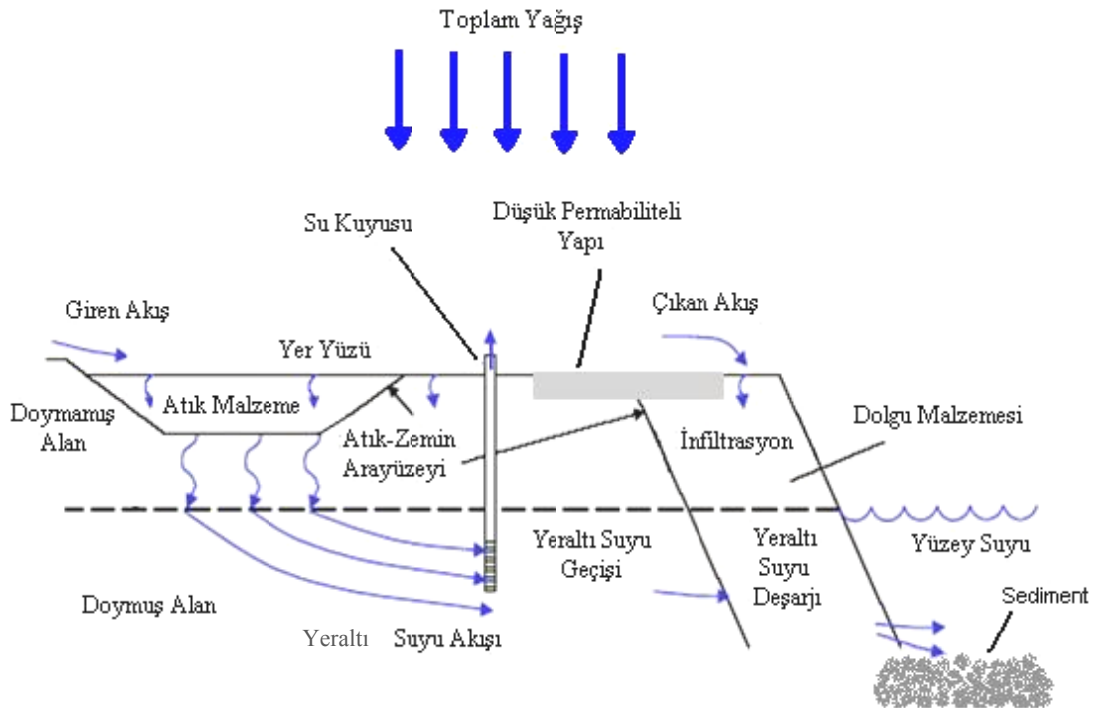
değerlendirme kavramı, risk altında bulunanlar (insanlar, yabani hayat gibi), riske maruz kalma yolları (su, hava gibi), maruz kalma süresi ve tehlikenin içeriği (oldukça toksik) gibi birçok faktörü kapsar.

Risk değerlendirmesi, kentsel katı atıkların dışında kömür külü, dökümhane kumu, su ve atık su çamuru, caddelerden toplanan atıklar, hava kirliliği kontrol sistemlerinden gelen atıklar, organik katı atıkların aerobik işlenmesinden oluşan kompost gibi atıksu proseslerinden açığa çıkan maddeler ve inşaat atıklarının geri dönüşüm faaliyetlerinde oluşan ince toprak gibi malzemeler üzerinde yapılmaktadır. Bu malzemeler nadiren tehlikeli olarak nitelendirilebilir fakat içerisinde tehlikeli kimyasalları bulundurabilirler. Bu malzemeler için en çok arzu edilen kullanım şekli çevreye geri dönüşümünü (arazi dolgusu dışında) sağlamaktır. Yol inşaatında kömür külü (Birgisdóttir vd., 2007) ve zirai alanda kompost kullanımı buna iki örnektir.

Atıklar çevresel uygulamalarda kullanılmadan önce kalitesi kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğer tehlikeli bir atık değilse arazi dolgusu olarak depolanabilmektedir. Fakat bu işlem oldukça pahalı olması nedeniyle atıkları araziye depolamak yerine çevreye tekrar kazanımını sağlamak için yeniden kullanım alanları araştırılmaya başlanmıştır. Geri kazanımda insan sağlığı ve çevre düşünülmesi gerekli iki temel faktördür. Geri kazanımda daha çok atığın kullanılacağı alan dikkate alınmaktadır. Örneğin atık kompost malzemesi genellikle toprakların verimliliğinin artırılması için kullanılmakta olup bu malzeme toprağın kirlilik oranını etkilemeyecek şekilde uygulanması gerekmektedir. Atıkların kirlilik konsantrasyonları, belirlenen standart seviyelerin daima altında olacak şekilde oranlanarak toprak stabilizasyonunda kullanılmalıdır. Böylelikle atıkların kullanım için uygun olup olmadığına karar verilmektedir. Genel olarak *risk değerlendirme* işlemleri bu amaçları kapsamaktadır.

Atıklardan insana hastalıkların geçişi iki yolla meydana gelmektedir: (1) solunum, deri teması ve (2) içme suyu yolu ile. Çoğu zaman ekolojik risk düşünülmemektedir. Eğer atık araziye uygulandığı zaman doğrudan insanlar ile temas içerisinde ise Çevre Bakanlığının verdiği sınır (mg/kg cinsinden) değerler ile karşılaştırılma yapılacaktır.

Çıkan değerler yüksek ise direk insanlarla temasın bulunduğu arazi bölümlerinde uygulama yapılmayacaktır. Atıkların yer altı suyunu dolayısı ile içme sularını kirlletmesi ise daha kompleks bir yapıyı oluşturmaktadır (Şekil 2.11). Atık malzemeler doğrudan tüketilmediğinden malzeme üzerinden yıkanarak yer altı suyuna geçen yani *liç* olan kirlilik miktarı belirlenmelidir. Liç risk değerlendirmesi ya toplam konsantrasyona göre teorik hesaplamalarla ya da liç deneyleri ile yapılmaktadır. Son olarak su içerisindeki seyrelmeler göz önünde bulundurularak liç konsantrasyonu (mg/l) risk oluşturan standart su kalite değerleri ile karşılaştırılır (Townsend vd., 2003).



Şekil 2.11. Atık malzemelerden faydalanan ortam içinde su dengesi

2.2.1. Liç Ekstraksiyonu

Liç ekstraksiyonu, atıkların risk analizini yapmak amacıyla uygulanan liç deneyleri sonucu açığa çıkan sıvının elde edilmesine denir. Türkçede kısmen “çıkarım” olarak nitelendirilebilir.

Genellikle uygulanan ekstraksiyon tipleri üç ana bölümde incelenmektedir: Kesikli (batch) laboratuvar ekstraksiyon deneyi, kolon (lysimeter) deneyi ve saha ölçekli liç deneyi.

Atık maddelerin sahada içerisinde liç oluşumuna uygun bir sistemi elde etmek amacıyla laboratuvarda bir çok *kesikli (batch) liç deneyi* kullanılmıştır. Kesikli liç deneylerinin genel yapısı; deneylerde ilgilenilen maddelerin atık içerisinde serbest kalmasını sağlayan bir sıvı çözelti ile az miktardaki atığın karışımı ve daha sonra bunların çalkalanması işlemlerinden oluşmaktadır (Şekil 2.12). Bu deneyler genellikle kısa periyotlu olup “kısa süreli liç testleri” olarak da adlandırılırlar (Al-Abed vd., 2006). EP-TOX (Extraction Procedure Toxicity; zararlı maddelerin ekstraksiyon prosesi), TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure; zararlı maddelerin liç prosesi), SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure; yapay yağmurlamalı ile liç prosesi), WET (California-Waste Extraction Test; kaliforniya atık ekstraksiyon deneyi), ASTM-D (American Society For Testing And Materials Extraction Test; Amerikan deney ve malzemeler kurumu ekstraksiyon deneyi) ve MEP (Multiple Extraction Procedure; çoklu ekstraksiyon prosesi) en yaygın olarak kullanılan kesikli liç deney prosesleridir.



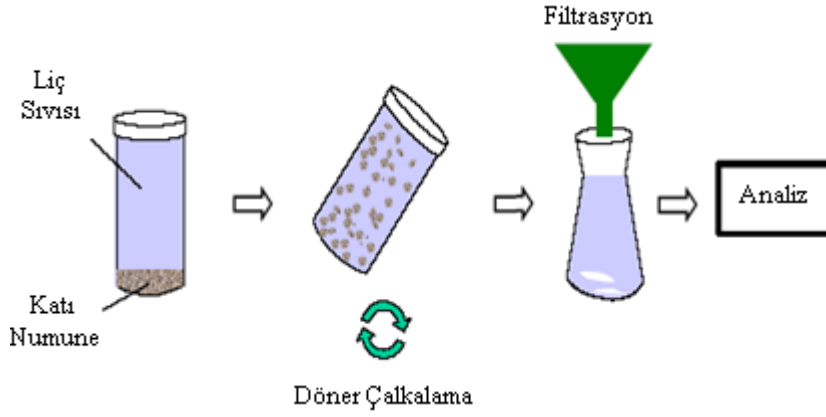
Şekil 2.12. TCLP ve SPLP proseslerinde numune ekstraksiyonunda kullanılan döner çalkalama aygıtı (Pendowski vd.’nden, 2003).

Kolon (lysimeter) liç deneyi de atıkların sahadaki liç davranışına uygun bir sistem elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu deney liç prosesini gerçekleştirmek için atık malzemesini bir kolon içine yerleştirmek ve daha sonra liç sıvı çözeltisini üzerine ilave etmek sureti ile yapılmaktadır. Kesikli liç deneylerinden farklı olarak, liç çözeltisi bu deneyde sürekli akış durumundadır. Bu nedenle çoğu zaman “dinamik” deney olarak adlandırılmaktadır. Deney saha koşullarını daha fazla temsil etmektedir. Laboratuvar prosesi oldukça pahalı ve deney süresi uzun olduğu için kesikli liç prosesleri daha çok tercih edilmektedir.

Saha-ölçekli liç deneyi, her ne kadar sahadaki atıklardan açığa çıkan ekstraksiyonu daha doğru olarak gösterse de en pahalı ve en fazla zaman harcanan ve iş yoğunluğu yüksek bir deneydir. Genellikle bu deney tipi kesikli ve kolon liç deneylerinden elde edilen sonuçların sahadaki sonuçlar ile karşılaştırılması yapılır. Risk değerlendirmede laboratuvar çalışmalarının sahada elde edilen ölçümler ile bir çesit sağlaması yapılmış olur. Saha ölçekli deney düzeneğinde beton kuleler kullanılır. Her kulenin tabanına delikli, drenajı sağlayacak şekilde polietilen astar yerleştirilir. Deney aşamasında astar üzerine kum tabaka ve onun üzerine de atıklar konulur. Atık sahasının bulunduğu yere düzeneğe yerleştirilir. Drenaj suları belli zaman periyotlarında toplanarak analiz edilir (Townsend vd., 2003).

2.2.1.1. Yapay Yağmurlamalı Liç Ekstraksiyon Prosesi

SPLP, yağmura maruz kalan tek dolgu deponi sahasına bırakılan kirli toprağın ve atıkların liç potansiyelini değerlendirmek amacıyla dizayn edilmiştir (Şekil 2.13). SPLP deneyleri TCLP’ye benzerdir. Ancak sistemde asetik asit yerine nitrik/sülfirik asit kullanılmıştır. Bu nitrik/sülfirik asit çözeltisi yağmurun asidikliğini temsil etmek amacıyla uygulanmaktadır.



Şekil 2.13. SPLP liç reaktörünün basitleştirilmiş şekli (Townsend vd.'nden, 2003)

Pahalı olması nedeni ile düzenli deponilerin yapılamadığı tek tip dolgulu bir alan içinde depolanan kirli toprak veya atıklardan liç ekstraksiyonu için nitrik/sülfirik asit çözeltisi TCLP ekstraksiyon sıvısından daha uygun olduğu düşünülmektedir. Örneğin kurşun gerçek saha koşullarında çözülmemektedir. Ancak asetik asitte çözülmekte ve böylece laboratuvar şartlarında atık maddeyi TCLP deneylerinde tehlikeli göstermektedir. Bu nedenle SPLP'nin kurşun için daha uygun olduğu kabul edilmektedir (USEPA, 1989b).

2.2.2. Liç Deneylerine Etki Eden Faktörler

Çok riskli atıklarla ilgili liç gözlemleri için atıklardan çıkan kimyasallara etki eden faktörlerin oldukça kompleks olması nedeniyle SPLP kullanılmıştır (USEPA, 1999). Bu faktörler fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki ana bölüme ayrılmaktadır (Yong vd., 1992). *Fiziksel faktörler* partikül boyutu, homojenlik, debi, temas süresi, porozite ve geometrik şekilden oluşmaktadır. *Bazı kimyasal faktörler* ise kinetikler, pH, redoks koşulları, organik ve inorganik kimyasalların karışımı ve ilgili kirleticilerin kimyasal özellikleri şeklinde sıralanabilmektedir (Townsend, vd., 2003).

2.2.2.1. Fiziksel Özellikler

Bir katı ortamın fiziksel özellikleri, liç'i kontrol eden özelliklerdir. Çözünme katı-sıvı ara yüzeyinde oluşmaktadır. Ara yüzey işlemi katıların yüzey alanında

yürütölmekte olup yüzey alanı da partiköl boyutu ve iç gözenek çapı ile kontrol edilmektedir (Environmental Canada, 1990; Peters, 1999). En yüksek kirlilik konsantrasyonunun en ince boyutlu topraklarda oluştuğı bulunmuştur. Metal liç'ine etki eden diğör bir parametre de katı fazın permeabilitesidir. Eğer bir atığın permeabilitesi düşük ise liç sıvısı hızlı olarak iletilemeyecek ve kirlilik muhtemelen daha yüksek oranda çıkacaktır (Van der Sloot vd., 1997).

2.2.2.2. pH

pH azalırken metal liçi artmaktadır. Bunun sebebi metallerin asidik ortamda çözünürlüğünün daha fazla olmasıdır (Herbert et al., 1995; Chuan et al., 1996; Van der Sloot, 2002). Bunun yanı sıra metal hidroksit bileşikleri nedeniyle çinko ve kurşun gibi bazı metallerin çözünabilirliği aşırı bazik koşullar altında artış gösterebilmektedir.

Metaller, farklı pH'larda farklı çözünürlükler sergilemeleri nedeniyle liç'den söz edildiğı zaman pH değerlerine bakılmaktadır. pH hem TCLP hem de SPLP ekstraksiyonunda kontrol edilemez. Bu nedenle pH, deneye konu olan metale bağılı olarak belirlenmektedir (Van der Sloot vd., 1997; Yong vd., 1992). TCLP ve SPLP deneylerinin karşılaştırılması bu durumu göstermiştir. SPLP 4,2'den TCLP 4,9'dan daha düşük iken iyi bir tampon atık ile onun asitliği hızla nötralize edilir. Tampon atık liç çözeltisinin bütününde daha yüksek bir pH'da olması gerekmektedir. Metallerin liç'i için pH genelde tek ve en önemli faktör olarak tanımlanmaktadır (Townsend vd., 2003).

2.2.2.3. Kinetikler

Reaksiyon kinetikleri yavaş çözünen bir katı boyunca geçen çözelti içerisinde çözünenin açığa çıktığı miktar olarak bilinmektedir. Katı içerisindeki yavaş çözünme pH, sıcaklık, ve katının oksidasyon miktarını azaltma potansiyeli gibi parametrelerden kaynaklanmaktadır. Katı fazda kalan kirliliğın oranına göre çözeltideki kirliliğın oranı yalnız eşitlikle bulunabilmektedir. Reaksiyona bağılı

olarak denge konsantrasyonuna günlerce veya yıllarca bile ulaşamamaktadır (Van der Sloot vd., 1997). Hem TCLP hem de SPLP için ekstraksiyon süresi 18 ± 2 saat rastgele seçilmesi nedeniyle şimdiye kadar reaksiyon dengesini sağlayacak zamana ulaşamamıştır. Uzun periyotlarda bazı koşullarda bu deney doğru olmayan sonuçlar verebilmektedir (Townsend vd., 2003).

Genellikle ekstraksiyon sıvısı ile daha uzun süreli temas olursa daha fazla metal liç edilecektir. Asidik koşullar ($pH < 4$) altında temas süresindeki artış, nötral veya bazik koşullar ($pH > 4$) altındaki çözünmüş metal konsantrasyonundaki artışa göre daha büyük olduğu gözlenmiştir (Fytianos vd. 1998).

2.2.2.4. Sıvı-Katı (L/S) Oranı

pH'daki değişim metal liç edilebilirliğini kontrol eden *adsorpsiyon* ve *çökeltim* proseslerine etki etmektedir (Herbert et al. 1995). pH ile birlikte L/S oranı bu iki prosesin kontrolünde önemli rol oynamaktadır. L/S oranı atık ile temas halindeki liç çözeltisi olarak tanımlanmaktadır. Böylece çözelti içindeki sabit metal konsantrasyonu için adsorpsiyon, L/S oranı düştükçe ters orantılı olarak artış göstermektedir. Katı faz konsantrasyonu artarken adsorpsiyon konsantrasyonu da artmaktadır. Böylece metaller tekrar katı faz içine geri emilmektedir. Kömür uçucu külü için L/S oranının artması ile birlikte liç edilen metalin toplam yüzdesi de yavaş yavaş artmaktadır.

Yeniden değerlendirilen atıkların kullanım alanları değişken olduğu için kullanılan atığın miktarı ile birlikte L/S oranı da değişmektedir. Örneğin yol temeli için kullanılan atık, 1,5 metrelik malzemeye yerleştirilirken; iyileştirme amacıyla toprak içine doldurulan atık, yalnızca birkaç santimetrelilik bir kalınlıkta yerleştirilebilmektedir. Kesikli prosesler içindeki L/S oranı gerçek çevre şartlarında oluşarlardan oldukça farklı olmaktadır. Örneğin bir kesikli deney, deneyin agresif tabiatından, partikül boyutundaki azalmadan ve L/S oranındaki seyreltmeden dolayı liç tahminlerin çok üstünde olmaktadır. Daha gerçekçi bir L/S oranı kolon ve saha testlerinden elde edilebilmektedir (Townsend vd., 2003).

2.3. Maliyet Analizi

Mermer gibi işlenmiş doğal taş ürünlerine gittikçe artan ilgi, mermer fabrikalarından artan atıkları da gündeme getirmiştir. Mermer parça atıkları paletyen, yol dolgu malzemesi gibi alanlarda kısmen değerlendirilse de genellikle fabrika çevresindeki alanlara bırakılmakta ve fabrika kullanım sınırını daraltmaktadır. Ocaklarda oluşan parça atıklar ise atık dağ kütlelerini oluşturmaktadır. Diğer taraftan mermer toz atıkları hemen hemen hiç değerlendirilememektedir. Bu ürünler araziye ya da vadilere depolanmaktadır (Şentürk vd., 1996).

Fabrika sahipleri mermer toz ve parça atıklarının değerlendirilemediği durumlarda arazi dolgu ücretleri ödemek zorunda kalmaktadır.

Mermer atıklarının değerlendirilebilmesi, fabrikaları arazi dolgu masrafından kurtardığı gibi milli bir kazanç da olacaktır.

2.3.1. Mermer Toz Atıkları ile Toprak Stabilizasyonunun Maliyet Analizi

Zayıf zeminlerin bulunduğu ortamı stabilize etmek, yol inşaatında tasarruf sağlayan yöntemlerden bir tanesidir. Stabilizasyonun bu tip zeminler için yapılmaması inşaat projesini ya yavaşlatacak veya tamamen durduracaktır. Stabilizatör olarak uçucu kül, kireç, portland çimentosu ve mermer toz atıkları gibi malzemeler kullanılmaktadır. Aşağıda mermer toz atıklarına benzer malzemeler için maliyet analizi verilmiştir:

Genel olarak bağlayıcılar için verilen fiyat;

30,5 cm'lik derinlikli bir karışım için 4,19 \$ ile 7,18 \$ arasında değişir (Beeghly, 2003):

Portland çimentosu : %6 karışım için 85 \$/t, %20 için 283,3 \$/t
30,5 cm'lik derinlikli bir karışım için 3,23 \$/m²
Özgül ağırlığı: 3,21 t/m³ (Nuh Çimento)

Kireç tozu (ince)	: %6 karışım için 70 \$/t, %20 için 233,3 \$/t 30,5 cm'lik derinlikli bir karışım için 2,63 \$/m ² Özgül Ağırlık 2,3 t/m ³
Uçucu Kül	: %6 karışım için 8 \$/t, %20 için 26,7 \$/t 30,5 cm'lik derinlikli bir karışım için 1,61 \$/m ² Özgül ağırlık: 2,45 t/m ³

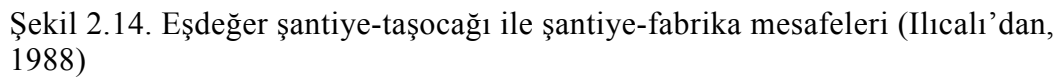
Yol zemin tabakasındaki iyileştirmeler, temel tabakasının kalınlığını da dolaylı olarak azaltacaktır. Zayıf zeminler için temel tabakası kalınlığı yaklaşık olarak 38 cm'den 18 cm'ye kadar düşebilmektedir. Kırmataş için 20 cm'lik bir azalma büyük tasarruf sağlayacaktır. Kırmataşın yerinde maliyeti 18 \$/t ve 20 cm kalınlık için serme maliyeti 8,97 \$/m²'dir (Mathis, 1997).

2.3.2. Mermer Parça Atıkları ile Yol Temel Tabakası İnşasının Maliyet Analizi

Mermer parça atıklarının maliyetinin belirlenmesinde karşılaştırma için doğal taşların maliyeti belirlenmelidir.

Mermer parça atıkları ocak parça atıklarına nazaran ekonomikliği patlatma maliyetinin sıfır olmasıdır. Dezavantajı ise mermer fabrikalarının doğal taş üretim ocaklarına olan mesafesidir.

Ilıcalı (1988), mesafeye göre avantajlı olma durumunu cürufu malzemeler için belirlemiştir. Buna göre; problemin çözümünden, şantiye agrega ihtiyaçlarının şantiyelere hangi uzaklıklardaki fabrikadan (x) veya ocaktan (y) temininin ekonomik olduğu bölgeler tespit edilmiştir (Şekil 2.14).



31

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Mermer toz ve parça atıklarının yol inşaatında değerlendirilebilmesi için yapılan çalışmalar dört farklı başlık altında sürdürülmüştür; mermer toz atıkları ile zemin stabilizasyon deneyleri, mermer toz atıklarının çevresel risk değerlendirmesi için liç deneyleri, mermer parça atıkları yol temel malzemesi deneyleri ve mermer toz ve parça atıklarının maliyet analizleri.

Deneyler için Isparta Devlet Su İşleri Laboratuvarı, Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı, Çevre Mühendisliği Laboratuvarı ve İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Laboratuvarı kullanılmıştır.

3.1. Mermer Toz Atıkları ile Toprak Numunelerinin Temini ve Zemin Deneyleri

3.1.1. Mermer Çamur Atıkları ile Toprak Numunelerinin Temini ve Deney için Hazırlanması

Mermer çamur atıklarının yol ve zemin inşaatında değerlendirilebilirliğinin analizi için 3 farklı toprak numunesi ile 3 farklı atık mermer çamuru Göller Bölgesi'nden toplanmıştır.

3.1.1.1. Mermer Çamur Atıklarının Temini

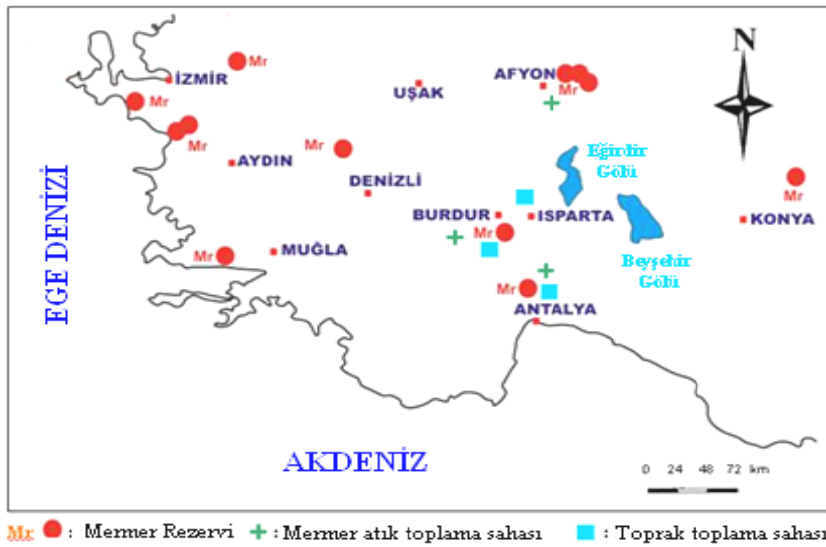
Çalışmada kullanılan mermer çamurları, Burdur/Bucak ilçesi Portsan Mermer Fabrikası'ndan Bucak Traverteni atık çamuru, AS Güreller Mermer Fabrikası'ndan Burdur Beji atık çamuru ve Afyon/İscehisar ilçesinden Kooperatif Mermer Fabrikası'ndan Afyon Beyazı atık çamuru 20 litrelik bidonlar halinde ikişer adet temin edilmiştir. Bu malzemeler Isparta DSİ Bölge Müdürlüğü Laboratuvarı ile Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Laboratuvarı'nda kullanılmak üzere depolanmıştır (Şekil 3.1). Çalışmada yapılan tüm deneyler bu malzemeler ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Mermer fabrikalarından alınan mermer çamur atık numuneleri

3.1.1.2. Toprak Numunelerinin Temini

Deneylerde kullanılmak üzere üç farklı özellikte toprak numunesi seçilmiştir. Bölgeyi de göreceli olarak temsil etmesi amacıyla; bu numunelerin ilki Burdur/Bucak ilçesi Karapınar mevkiinden kil oranı yüksek bir malzeme (1 no'lu numune), diğeri aynı ilçenin Antalya-Burdur yol üzeri kahveler mevki 5. kilometresi civarından çakıllı ve orta derecede killi bir malzeme (2 no'lu numune), üçüncüsü de Isparta-Antalya yol üzeri Darı Deresi mevkiinden alınmış tuf asıllı kil oranı düşük kumlu bir malzeme (3 no'lu numune)'dir (Şekil 3.2). Üç farklı toprak numunesi Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Atık ve toprak numunelerini toplama sahası



Şekil 3.3. Araziden alınan toprak numuneleri (soldan sağa; 2;1;3 no'lu toprak numuneleri)

Numuneler Isparta Devlet Su İşleri Bölge laboratuvarına taşınarak homojenliği sağlamak amacıyla karıştırılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Laboratuvar ortamında toprak numunelerin homojen karışımı ve deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere içerisinden numune alma

Araziden örselenmiş numune alınması TS1901 (1975), "İnşaat Mühendisliğinde sondaj yolları ile örselenmiş numune alma yöntemleri" standardına göre yapılmıştır. Zeminlerin gruplandırılması ve deneylere hazırlanması, aşağıda belirtilen şekilde uygulanmıştır.

3.1.1.3. Zeminlerin Deney Amaçları İçin Gruplandırılması

Zeminlerin deney amaçları için gruplaması TS1900 (1987)'e göre yapılmıştır. Genel olarak ince, orta ve iri taneli olarak sınıflandırma yapılmaktadır.

3.1.2. Toprak Numuneleri ve Mermer Çamur Atıklarının Analizi

Analizler Isparta Devlet Su İşleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Her bir toprak ve mermer çamuru atığı için elek analizi, hidrometre deneyi, ince taneli zeminler için özgül ağırlık deneyi ve bu deneylerden elde edilen sonuçlara göre de zemin sınıflandırması yapılmıştır.

3.1.2.1. Tane Çapı Dağılımı Deneyi

Bu deney TS1900 (1987) inşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri standart metoduna göre yapılmış ve laboratuvarında ASTM elekleri kullanılmıştır (ASTM D422, 2000).

Bu deney ile bir zeminde, ince kum boyutunda ve daha iri tanelerin tane çapı dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca, kil ve siltin toplam miktarı da hesaplanmış ve hesaplamalar tamamlandıktan sonra tane çapı dağılımı eğrisi çizilmiştir (Bkz. EK-1).

3.1.2.2. Hidrometre Deneyi

Bu deney ile iri kum boyutundaki ve daha ince tanelerin tane çapı dağılımı belirlenmiştir. Deney sırasında elde edilen değerler kayıt edilmiş ve tane çapı dağılımı eğrisine çizilmiştir (ASTM D422, 2000) (Bkz. EK-1).

3.1.2.3. İnce Taneli Zeminler için Özgül Ağırlık Deneyi

Bu deney TS1900 (1987), inşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneylerine göre yapılmıştır.

3.1.2.4. Zemin Sınıflaması

Zemin Sınıflaması TS1500 (2000)'e göre yapılmıştır. İnce taneli zeminlerin sınıflandırılması için plastisite kartı kullanılmıştır (Özaydın, 2002; ASTM D2487, 2000).

3.1.3. Mermer Çamur Atıkları ile Toprak Numuneleri Karışımı için Uygulanan Deneyler

Saf toprak numuneleri ve bu numunelerin mermer çamur atıkları ile karışımı için Isparta DSİ Bölge Müdürlüğü Laboratuvarı'nda yürütülen çalışmalarda Atterberg limit, Proctor (standart sıkıştırma), permeabilite deneyleri, Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Laboratuvarı'nda Kaliforniya taşıma oranı (CBR) ve Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı'nda kesme kutusu deneyleri aşağıdaki gibi yapılmıştır. Yapılan deneylerde atık çamur % 0, 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 oranlarında toprak numuneleri içerisine ilave edilmiştir. Bu oran aralığında stabil grafikler elde edilememiştir. Bu nedenle daha sonra bu oran yükseltilerek % 0, 10, 20, 30 ve 40'luk karışımlar için deneyler uygulanmış ve daha stabil değerler elde edilmiştir. Bu durum bulgular ve tartışma bölümünde daha detaylı olarak tartışılmıştır. 3 no'lu toprak numunesi kum ağırlıklı bir malzeme olması nedeni ile Atterberg limit deneyleri yapılamamıştır.

3.1.3.1. Atterberg Limit Deneyleri

1- Likit Limit Deneyi:

Bu deney TS1900 (1987), İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri, Yedek metot (Casagrande cihazında ölçüm)'a göre *beşnokta yöntemi* ile yapılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Likit limit için mermer çamuru ilavesi ve Casagrande düzeneği

2-Plastik Limit Deneyi:

Bu deney TS1900 (1987), İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneylerine göre yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Plastik limit örneklerinin su muhtevalarının saptanması

Plastisite İndisinin Bulunması:

Plastisite indisi, likit limit değerinden plastik limit değerinin çıkarılması ile bulunmuş ve sonuçlar kayıt edilmiştir (Özaydın, 2002; ASTM D4318, 2000).

3.1.3.2. Standart Sıkıştırma (Proctor) Deneyi

TS1900 (1987), inşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneylerine göre, zeminde kuru birim hacim ağırlık-su içeriği bağıntısının 2,5 kilogramlık tokmakla elde edilmesine göre yapılmıştır. Sıkıştırma işlemi üç tabakada ve her tabakaya 25 darbe vurularak uygulanmıştır (Özaydın, 2002; ASTM D698, 2000; ASTM4718, 2000).

3.1.3.3. Permeabilite Deneyi

Bu deney ile örselenmiş veya örselenmemiş ince ve orta taneli zeminlerin geçirgenlik katsayısı bulunmuştur (ASTM D4491, 2004;  zaydın, 2002; DIN18120-1, 1998).

3.1.3.4. Kesme Kutusu Deneyi

Bu deney ASTM D3080 (2000)'e göre yapılmıştır. Bu deney ile genellikle kumlu zeminlerin kayma direnci bulunmaktadır. Yapılan tez çalışmasında kumlu ve killi ve kısmen çakıllı malzeme bulunduğu için bu deney türü seçilmiştir.

3.1.3.5. Kaliforniya Taşıma Oranı Deneyi

CBR deneyi, ASTM D1883 (2005)'e göre yapılmıştır. Toprak malzemelerin maksimum kuru yoğunluk optimum su muhtevasında, penetrasyonla taneler arası kayma direnci ölçülmüştür.

3.2. Liç Ekstraksiyonu

3.2.1. Liç Deney Aletinin Yapımı

Liç ekstraksiyonu, atıkların yağışlarla yer altı suyuna sızması sonucu oluşabilecek kirliliğin laboratuvar ölçeğinde belirlenmesini sağlayan bir yöntemdir.

Yol inşaatında değerlendirilecek olan atıkların liç ekstraksiyon davranışının belirlenmesinde doğal ortamlardaki yağmurun asidikliğini de temsil etmek amacıyla SPLP liç ekstraksiyon prosesi kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen standartlara uygun liç reaktörü tasarlanarak 2006 yılında Kahramanlar LTD¹'de sistemin üretimi yapılmış ve test edilmiştir. Sistemin görünümü aşağıdaki gibidir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Liç deney aletinin farklı görünüşleri

3.2.2. SPLP Deney Metodunun Tanımı ve Numunelerin Hazırlanması

SPLP, sıvı, toprak ve atıklardan organik ve inorganik maddelerin liç edilebilirliği hakkında bilgi sağlamak amacıyla kullanılan ve çalkalama yoluyla gerçekleştirilen bir ekstraksiyon metodudur. Bu metot TCLP prosesine benzemektedir. Fakat TCLP ile birlikte kullanılan asetik asit yerine havadan gelen nitrik ve sülfürik oksitlerden oluşan asit yağmuruna benzer bir ortamı oluşturmak için nitrik ve sülfürik asit kullanılmaktadır. SPLP için deneylerde sahanın yağmur asitliğine uygun pH (4,2–5 gibi) seçilmektedir (USEPA, 1996a). Göller Bölgesi için yapmış olduğumuz ölçümlerde pH'nın 5–6 arasında değiştiği gözlemlenmiş ve bu nedenle pH değerleri hem kaynak bilgilerine hem de bölgeye uygun olması için 4,2-5 ve 6 olarak seçilmiştir.

TCLP'deki gibi katı miktarının yüzdesinin belirlenmesi numunenin ekstraksiyon işleminden önce yapılmaktadır. Numune ekstraksiyonu için 20:1'lik L/S (katı/sıvı) oranı kullanılmıştır. Numune-1, numune-2 ve numune-3 toprak malzemeleri ile bunların içerisine katı sıvı oranı bozulmayacak şekilde, üç farklı mermer atık çamuru belirli oranlarda karıştırılarak L/S oranı ayarlanmıştır. Daha sonra bu karışımlar 29

¹ Kahramanlar Makine Üretim Limited Şirketi. Sanayi Sitesi, Bucak-Burdur.

devir/dk çalkalama hızı ile 18 saat çalkalanmıştır. Çalkalama işleminden sonra numuneler 1 µm'lik filtre kağıdı ile filtre edilmiştir. Filtreden geçen sıvı toplanarak analiz edilmiştir.

3.2.3. Liç Ekstraksiyonunda Belirlenmesi Gereken Metal ve Bileşikler

Liç ekstraksiyon deneylerinde yukarıda belirtilen Göller Bölgesi civarında işletilen mermer tiplerinin atığı incelenmiştir.

Mermer atıklarının yol inşaatında değerlendirilmesi sonucu ağırlıklı olarak atıkların kimyasal özelliklerini oluşturan Ca^{2+} , Mg^{2+} metal iyonları (Ceylan, 2000) yer altı suyuna liç etmekte yani sızıntı oluşturduğundan ve bunun yanında testerelerin soketlerinde elmasların kaynaması için kullanılan Co^{2+} metal iyonu mermer atıklarına karıştığından bu iyonlar analiz edilmiştir. Çökeltim esnasında kullanılan organik temelli uçucu olmayan flokülantlar (yumaklaşmayı sağlayarak çökeltimi artıran maddeler) ve makine gres yağlarından gelen organik maddeler de mermer çamurunda bulunacağı düşünülerek KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) analizleri yapılmıştır. Bunların haricinde Çelik makine teçhizatının mermer atık suyu ile aşınması sonucu Cr^{6+} atıklarının oluşabileceği düşünülmüş ve analiz edilmiştir.

Atığın yol inşaatında kullanılacak olan yüzdesine göre uygun iklim koşullarını sağlamak amacıyla SPLP liç deneyi ekstraksiyonu yapılarak ekstraksiyon çözeltisi içerisindeki Ca^{2+} , Mg^{2+} , Co^{2+} , Cr^{6+} ve KOİ'nin miktarı Çizelge 3.1'deki gibi literatüre uygun olarak gerekli yöntem ve kimyasallar ile laboratuvar şartlarında analiz edilmiştir. Analizler HACH DR-2000 spektrofotometre ile yapılmıştır. Katalog numaraları Water Analysis Handbook kitabından alınmıştır (Şekil 3.8) (Hach, 1989). Liç ekstraksiyon çözeltisi içinde bulunan organik bileşiklerin oluşturduğu kirlilik miktarı da KOİ deneyleri ile belirlenmiştir. Güvenilir veriler elde etmek amacıyla yol inşaatında kullanılacak olan her bir yüzde oranı için hatalı deneyler tekrarlanmıştır.

Çizelge 3.1. Mermer toz atıkları için liç ekstraksiyonlarından elde edilen materyallerin analiz yöntemleri ve kullanılan kimyasallar (Hach'den, 1989)

Cr⁶⁺ (1,5-difenilkarbazit metodu)	
Kullanılan Kimyasallar	Katalog No
ChromoVer3 Chromium reagent powder pillows	12066-66
Co²⁺ [1-(2- pyridylazol)-2 naphthol (PAN) method]	
Kullanılan Kimyasallar	Katalog No
EDTA reagent powder pillows	7005-66
Phthalate-phosphate reagent powder pillows	21501-66
PAN indicator solutions, % 0,3	21502-37
Mg²⁺ (Calmagite Colorometric Method)	
Kimyasallar	Katalog no
Alkali Solution For Calcium and Magnesium Test	22417-37
Calcium and Magnesium Indicator Solution	22418-37
EDTA Solution, 1 M	22419-26
EGTA Solution	22297-26
KOİ Deneyleri (Standart Metodla yapılmıştır. Spektrofotometre kullanılmamıştır)	
Kimyasallar	
Potasyum kromat (K ₂ Cr ₂ O ₇)	
Sülfürik asit (derişik)	
Demir amonyum sülfat (Fe(NH ₄)(SO ₄). 6H ₂ O	
Fenantroline	
Demir sülfat [FeSO ₄ . 7H ₂ O]	
Gümüş sülfat (AgSO ₄) toz halinde	
Sülfamik asit	



Şekil 3.8. HACH DR–2000 spektrofotometre

3.2.4. Liç Ekstrakt'larının Analizi

18 saatlik liç ekstraksiyon aletinden çıkarılan numunelerin ilk olarak son pH'ları ölçülmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. pH metre ve liç ekstraksiyon numuneleri son pH ölçümü

Son pH ölçümü yapılan numuneler için spektrofotometre ile aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.1. Ca^{2+} ve Mg^{2+} Tayinleri

Metod: Calmagite Colorimetric Metodu (0–4,00 mg/l CaCO_3 cinsinden Ca^{2+} ve Mg^{2+})

Mg^{2+} için spektrofotometre metod numarası 225, dalga boyu 522 nm, Ca^{2+} için spektrofotometre metod numarası 220, dalga boyu 522 nm olarak ayarlanır. 100 ml numune bir mezüre doldurulur. Üzerine 1 ml Calcium and Magnesium Indicator Solution damlatılır ve karışım çalkalanır. Ardından 1ml Alkali Solution for Calcium and Magnesium Test damlatılır ve karışım çalkalanır. Bu karışımdan 25'er ml alınıp üç adet hazneye koyulur. Kör numune için haznelerden birine bir damla 1M EDTA Solution damlatılır. Diğer numuneler için (Mg^{2+} ve Ca^{2+} tayini yapılacak numuneler) diğer haznelere birer damla EGTA Solution damlatılır. Kör numune spektrofotometreye yerleştirilir ve cihaz sıfırlanır. Daha sonra Ca^{2+} ve Mg^{2+} konsantrasyonları okunur.

3.2.4.2. Co^{2+} Analizi

Metod: 1-(2-Pyridylazo)-2-Naphthol (PAN) Metodu (0-2,00 mg/l)

Spektrofotometre metod numarası 110, dalga boyu 620 nm olarak ayarlanır. Numune ve saf sudan 25'er ml alınarak spektrofotometre haznelerine doldurulur. Her iki hazneye de birer tane phthalate-phosphate reagent powder pillow eklenir ve çözünene kadar hazneler çalkalanır. Her iki hazneye de birer ml PAN Indicator Solution eklenir ve hazneler birkaç kez ters-düz edilir. 3 dk'lık reaksiyon süresinin tamamlanması beklenir. Süre bitiminde her iki hazneye de birer tane EDTA reagent powder pillow eklenir ve çözünene kadar hazneler çalkalanır. Kör numune (saf su numunesi) içerikli hazne spektrofotometreye yerleştirilerek sıfırlama yapılır. Ardından diğer numuneyi içeren hazne spektrofotometreye yerleştirilir ve Co^{2+} miktarı okunur.

3.2.4.3. Cr^{6+} Analizi

Metod: 1,5-Diphenylcarbohydrazide Metodu (0-0,60 mg/l)

Spektrofotometre metod numarası 90, dalga boyu 540 nm olarak ayarlanır. 25 ml numune ölçülüp spektrofotometre haznesine doldurulur. Hazneye bir adet ChromaVer 3 Reagent Powder Pillow eklenir ve hafifçe çalkalanır. 5 dk'lık reaksiyon süresinin tamamlanması beklenir. Bu esnada diğer hazneye 25 ml saf su (kör numune) eklenir ve ardından spektrofotometreye yerleştirilerek sıfırlanır. Daha sonra numune spektrofotometreye yerleştirilir ve okuma yapılır.

3.2.4.4. KOİ

Metod: Kapalı geri soğutuculu titrimetrik yöntem

1-50 mg/l veya daha büyük KOİ içeren numunelere uygulanan işlem;

50 ml veya saf su ile 50 ml'e seyreltilmiş numune 500 ml'lik KOİ balonuna koyulur. 1 g civa sülfat (HgSO_4) eklenir ve karıştırılır. 5 ml gümüşlü sülfirik asit eklenir. Civa sülfat çözününceye kadar karıştırılır. 25 ml 0,25 N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ çözeltisi ilave edilir ve karıştırılır. KOİ balonu geri soğutucuya bağlanır ve soğutma suyu devresi açılır.

Kalan 70 ml gümüşlü sülfirik asit KOİ balonunun ağzından ilave edilir. KOİ balonu geri soğutucuya bağlanır. Kaynatmaya başlanır (2 saat). Kaynatma tamamlandığında KOİ balonları geri soğutucudan ayrılır. KOİ balonu içindeki çözelti saf su ile yaklaşık 2 katına seyreltilir. Balonlar oda sıcaklığına kadar soğutulur. 2-3 damla ferroin indikatörü damlatılır. Daha sonra Demir Amonyum Sülfat (DAS) çözeltisi ile titre edilir. Dönüm noktası mavi-yeşilden kırmızı-kahverengiye doğru ilk renk değişiminde titrasyon kesilir. Aynı şekilde saf su ile şahit numune hazırlanır. Aynı reaktifler katılır ve geri soğutucu altında kaynatılır. Saf su ile aynı miktarda seyreltilir. DAS ile titre edilir.

2-50 mg/l'den az KOİ içeren numunelere uygulanan işlem;

Yukarıda anlatılan işlemler aynen uygulanır. Ancak deney sırasında 0,025 N $K_2Cr_2O_7$ ve titrasyonda 0,025 N DAS kullanılır.

Hesaplamalar:

$$\text{mg KOİ/l} = (A-B) \cdot N \cdot 8000 / V \quad (3.1)$$

burada, A: Şahit numune için kullanılan DAS çözeltisinin hacmi (ml), B: Numune için kullanılan DAS çözeltisinin hacmi (ml), N: DAS'ın normalitesi ve V: Numune hacmi (ml).

3.3. Mermer Parça Atıkları İçin Uygulanan Deneyler

Mermer parça atıklar için elek analizi, özgül ağırlık, Proctor, CBR ve Los Angeles aşınma direnci deneyleri yapılmıştır.

Yol inşaatında kullanılacak parça atıkların kırma işleminden geçirilerek elde edilen agregalarının özelliklerinin belirlenmesi için hazırlanacak ince kaya kesitlerinin mikroskopik incelenmesi sonucunda, ana minerallerin tanınması, dokusunun ve minerallerinin ne dereceye kadar ayrışmaya uğramış olduğunun bilinmesi gibi

petrografik özelliklerin saptanmasına gerek yoktur. Agregada özelliklerinin elde edildikleri kaya kitlesinin özelliklerinden farklı olduğunu görülmüştür. Bu nedenle deneyler doğrudan doğruya yol üst yapısında (kaplama tabakası hariç) kullanılan halleriyle agregalara uygulanacak şekilde sokulmuştur. Agregaların yol üst yapısında kullanılabilmesi için, genel olarak bunların aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, özgül ağırlık ve elek analizlerinin, bilinmesi yeterlidir. Agregaların tüm özelliklerin üstyapı tabakalarının tümünde bilinmesine de gerek yoktur. Örneğin; temel tabakasında kullanılacak bir agregaya cilalanma deneyi uygulanmaz. Birçok ülkede kullanılan fiziksel deneyler, yol agregalarının özellikleri hakkında sayısal bilgiler vermektedir. Yukarıda adı geçen bütün deneylerin, agregaların değerlendirilmesinde güvenilir olabilmesi için, denenecek numunelerin çok özenli alınmış temsili numuneler olması gerekir. Aksi durumda o numune için yanlış değerler bulunacaktır (Ilıcalı vd., 2001).

Parça atık agregalarına uygulanan deneyler, ilgili şartname numaralarıyla birlikte aşağıda özetlenmiştir.

3.3.1. Elek Analizi

Bu deney ile bir zemindeki, ince kum boyutunda ve daha iri tanelerin tane çapı dağılımı belirlenir ve ASTM C136 (2001)'ya göre yapılmıştır.

3.3.2. İri Taneli Zeminler için Özgül Ağırlık Deneyi

ASTM C127 (2000)'ye göre yapılmıştır. Boşluk yüzdesini hesaplamak ve agreganın hacim-ağırlık ilişkilerini saptamak amacıyla uygulanmıştır.

3.3.3. Los Angeles Aşınma Deneyi

ASTM C131 (1996)'e göre yapılmıştır. Bu deneyle, tane boyutu 75 mm'den küçük olan kaba agregaların, Los Angeles aşınma makinesi yardımıyla aşınmaya karşı mukavemeti bulunmuştur.

3.3.4. Donma Çözölme Deneyi

Agregaların magnezyum sülfata daldırılması ve takiben etüvde kurutulması yolu ile periyodik işleme maruz bırakılan agregaların davranışlarını değerlendirmek için TSE EN1367-2 (1999)'ye göre yapılmıştır.

3.3.5. Standart Sıkıştırma (Proctor) Deneyi

ASTM D4254 (2006)'e göre yapılmıştır. Mermer parça atıklarına uygulanan bu deney, toz atıklara benzer şekilde uygulanmış, ancak 56 darbe vurulmuş ve ikame yapılmıştır. 19mm elek üzerinde kalan malzeme % 10'dan fazla % 30'dan az ise bu ikame metodu uygulanır. Bu işlem, 19 mm elek üzerinde kalan malzeme kadar 19-4,75 mm elek arasına aynı boyutta malzeme ilave edilerek yapılır. 19mm elekte kalan malzeme miktarı %30'dan fazla ise, deney 19mm elek altına uygulanarak, bulunan maksimum kuru birim ağırlık değeri düzeltilir.

3.3.6. Kaliforniya Taşıma Oranı Deneyi

ASTM D1883 (2005)'e göre yapılmıştır. Toz atıklara uygulanan metot agregalar için de uygulanmıştır.

3.3.7. Dinamik Üç Eksenli Deneyi

Üç farklı mermer parça atıkları için temel malzemesi olarak kullanılabilirliğini test etmek amacıyla, dinamik üç eksenli deneyler yapılmıştır. Bu deney ile hareket eden araçların tekerleklerinin esnek ve rijit yollar üzerinde oluşturduğu basınç koşulları belirlenir. Bu koşulların tespiti için esneklik modülü (M_r) ölçülür (LTPP, 1996).

Deneyin yapılışı:

Traverten, Burdur Beji ve Afyon Beyazı parça atıkları Tip C temel tabakasına uygun şekilde kırıcıda kırılır. Maksimum Kuru yoğunluk ve optimum nem muhtevasında yaklaşık 11 kg'lık numuneler hazırlanır. İyi bir sıkışmanın sağlanması için membran ile vakumlu numune kabı hazırlanır. Malzeme kalıp içerisine konularak 5+1 tabaka halinde sıkıştırılır. Her sıkışma için 2 dk'lık bir süre için titreşim uygulanır. Titreşimden sonra $176,7 \text{ cm}^2$ alanlı ve 30 cm yüksekliğe sahip numune, kap içinden vakum lastiği ile birlikte deformasyona uğratmadan çıkartılır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Numune hazırlama, sıkıştırma ve kaptan çıkarma

Çıkartılan numuneler, yanal basıncı sağlamak amacıyla bir cam çerçeve içine yerleştirilir. Daha sonra drenaj sağlanarak üç eksenli deney aleti üzerine konulur ve tekrar membran ile vakum sağlanır. Numune yerleştirme işlemleri tamamlandıktan sonra ölçüm yapmak amacıyla sistem devreye alınır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Vakum ve drenajın sağlanması ve numunenin yerleştirilmesi

Sisteme bilgisayar ile ilk öncü deformasyonu sağlamak amacıyla 500'lük tekrarlı basınç uygulanır. Daha sonra normal basınç uygulanarak ölçümler yapılır (Şekil 3.12). Her bir mermer atığı için belirli çevre basıncı ve deviator gerilme altında esneklik modülü belirlenir.



Şekil 3.12. Basınç uygulaması sırasında sistemin genel görünümü

3.4. Maliyet Analizinin Uygulanması

3.4.1. Mermer Toz Atıklarının Maliyet Analizi

Mermer toz atıklarının kireç tozları ve uçucu kül gibi malzemelerle birim fiyatlarının karşılaştırılmasında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün birim fiyatı olmadığı için Bölüm 2.5.1'de belirtilen yurt dışı maliyetleri kullanılmış ve genel stabilizasyon maliyetleri EK-7'de verilmiştir (Bkz. Çizelge 7.2).

Mermer tozu ve toprak karışımı (kireç veya uçucu kül ile stabilizasyon) için de herhangi bir birim maliyet değeri olmadığından PozNo:4465/3 plent-Miks A.Temel

ve Temel Karışım.Elekt.Duyar.Finişer Serme-Sıkış. birim fiyatı kullanılmıştır. 2007 birim fiyatı, EK-7’de sunulmuştur (Bkz. Çizelge 7.1).

3.4.2. Mermer Parça Atıklarının Maliyet Analizi

Mermer parça atıkları doğal taşlarla karşılaştırılmıştır. Doğal taşlar için malzeme ve sökme maliyeti mevcut iken mermer parça atıkları için malzeme ve sökme maliyeti olmayacaktır. Ancak kırma, eleme-sınıflama, yükleme, nakliye ve zaman maliyetleri olacaktır.

Kırma işlemi hem doğal malzeme için hem de parça atıkları için yapılması gerekmektedir. Çünkü temel tabakasında kullanılacak olan malzemenin Yollar Fenni Şartnamesi (2002) gereği en az %50’sinin kırılmış malzeme olması gerekmektedir. Bu açıdan iki malzeme türü arasında kırma maliyeti farklı olmayacaktır. Şantiye sahası içindeki bir kırıcı tesisi bu işlemi rahatlıkla yapabilecektir.

Eleme-sınıflama, yükleme, nakliye ve zaman maliyeti her iki malzeme için de değişmeyecek, aynı olacaktır.

3.4.2.1. Birim Maliyetler

Ekonomik analizde kullanılan birim maliyetler hesaplanırken, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü 2007 yılı Birim Fiyat Analizlerinden yararlanılmıştır. Bu birim fiyat analizleri EK-7’de verilmiştir (Bkz. Çizelge 7.3, Çizelge 7.4, Çizelge 7.5, Çizelge 7.6, Çizelge 7.7).

3.4.2.2. Nakliye Hesabı

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Taşıma Genel Şartnamesi (1985)’ne göre; yol taşımalarında, taşıma hangi araç ile yapılırsa yapılsın (özel şartnamede aksine bir kayıt bulunmadıkça) taşıma bedeli motorlu taşıt formüllerine göre ödenir.

Taşıma uzaklığı, taşıma yolu üzerinden (ortalama olarak) ölçülen, eğimi en çok %10 olan her cins kaplamalı yolda, yol taşıma formüllerine göre aşağıdaki şekilde hesap edilir:

1) $M \leq 10$ km'ye kadar olan taşımalar Poz No. 07.005'den

$$F = A.K.0,00017 \cdot \sqrt{M} \quad (\text{YTL/t}) \quad M = \text{metre olarak} \quad (3.2)$$

2) $M > 10$ km olan taşımalar Poz No. 07.006'den

$$F = A.K.(0,0007.M + 0,01) \quad (\text{YTL/t}) \quad M = \text{km cinsinden} \quad (3.3)$$

Motorlu taşıt formüllerindeki “K” değeri, rayiç listesindeki Poz 02.017'den her cins ve tonajda motorlu araç için taşıma katsayısıdır. 2007 yılı için “K” değeri 120 dir.

“A” katsayısı yolun fiziki durumu ve kaplaması ile ilgili katsayıdır. Genellikle “1” alınır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Mermer Toz Atıkları ve Toprak Numunelerinin Analizleri

Mermer toz atıkları için özgül ağırlık, elek analizi ve hidrometri deneylerinden elde edilen bulgular, aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Özgül Ağırlık Değerleri

Elde edilen deney sonuçlarında, Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi özgül ağırlıklar nispeten birbirine yakındır.

Çizelge 4.1. Mermer toz atıkları ve toprak numunelerinin özgül ağırlık değerleri

MALZEME	TOPRAK NUMUNESİ-1	TOPRAK NUMUNESİ-2	TOPRAK NUMUNESİ-3	TRAVERTEN	AFYON BEYAZI	BURDUR BEJİ
ÖZGÜL AĞIRLIK (g/cm ³)	2,67	2,63	2,30	2,30	2,33	2,35

1 ve 2 no’lu toprak numunesi: Kısmen diğerlerine göre daha fazla özgül ağırlığa sahiptir. 3 no’lu toprak numunesi: Kumlu bir malzeme olmasına rağmen tuf içerikli olması nedeni ile 1 ve 2 no’lu malzemeye göre daha düşük özgül ağırlığa sahiptir. Yılmaz ve Erzin (2004a) inşaat alanlarında kullanılan toprak malzemelerin özgül ağırlıklarının 2,6 g/cm³’den büyük olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu durumda 1 ve 2 no’lu toprak numunelerinin özgül ağırlığının daha uygun 3 no’lu numunenin ise düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Mermer tozları: Silt içerikli olup birbirine çok benzer özgül ağırlıklar göstermişlerdir. Küçük tane boyutlarından dolayı parça atıklara göre daha düşük değerler vermiştir (Bkz. Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10)

4.1.2. Elek ve Hidrometri Özellikleri

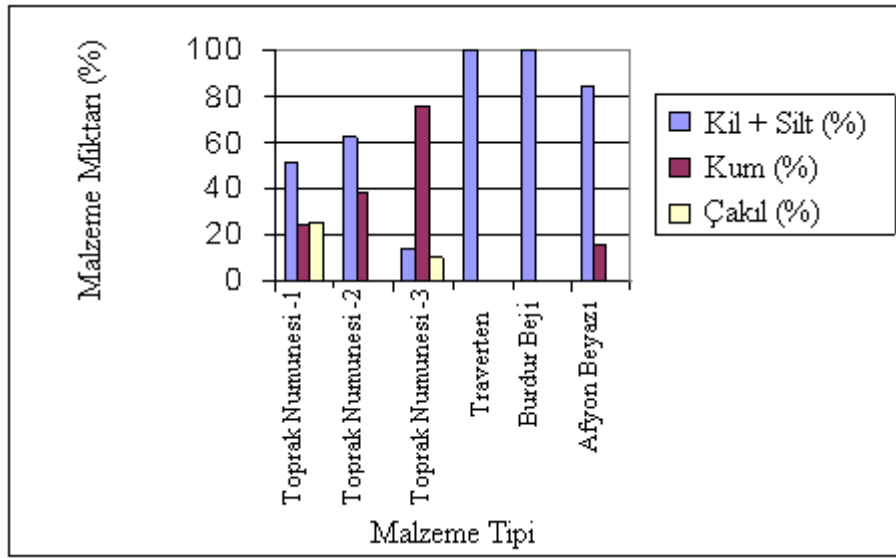
Mermer toz atıkları taşların kesim sonucu ezilerek ortaya çıkan atıkları olduğu için kil-silt oranı yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte Afyon Beyazı blok taşları kristal yapısından dolayı kesim esnasında diğer toz atıklara göre nispeten daha büyük parçacıklar oluşturmaktadır. Bu nedenle de Traverten ve Burdur Beji atıklarından farklı olarak %15 kum taneleri içermektedir. Aynı zamanda kil-silt oranı, diğer toz atıklara göre daha homojen bir dağılım göstermektedir. Traverten yumuşak yapısından dolayı en ince kil-silt tane boyutuna sahiptir. Burdur Beji biraz daha büyük taneli olmakla birlikte Traverten'i takip etmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Mermer toz atıkları ve toprak numunelerinin tane boyutları

	Toprak Tipi	Kil ve Silt (%)			Kum (%)	Çakıl (%)
	Tane Boyutu (mm)	0.09	0.37	0.74	4.75	
Mermer Çamur Atığı	Burdur Beji	70	27	3	0	0
	Afyon Beyazı	35	36	14	15	0
	Traverten	94	6	0	0	0
Zemin Numuneleri	1 No'lu Toprak Numunesi	38	9	4	21	28
	2 No'lu Toprak Numunesi	65	13	4	18	0
	3 No'lu Toprak Numunesi	3	4	7	76	10

Toprak numunelerinde ise 2 no'lu toprak numunesi en yüksek kil-silt oranını verirken, en az oranı ise ağırlıklı kum özelliğine sahip 3 no'lu toprak numunesi oluşturmaktadır. 1 no'lu toprak numunesi ise çakıl, kum ve kil-silt özelliklerinin hemen hemen tamamını göstermekle birlikte biraz daha homojen bir yapı oluşturmaktadır (Çizelge 4.2).

Toprak numunelerinin ve mermer toz atıklarının analizleri detaylı olarak EK-1'de sunulmuş olup, kil-silt, kum ve çakıl özellikleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Mermer toz atıkları ve toprak numuneleri tane boyut oranları

Toprak numunelerinin ve mermer toz atıklarının elek ve hidrometre analizleri kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1 no'lu toprak numunesi: Çakıllı, kumlu ve siltli bir malzemedir.

2 no'lu toprak malzemesi: 1 no'luya göre daha fazla kumlu ve siltli bir malzemedir.

3 no'lu toprak malzeme: Kum ağırlıklı bir malzemedir.

Traverten: Kil-silt içerikli ince taneli malzemedir.

Burdur Beji: Kil-silt içerikli Travertene göre biraz daha büyük taneli bir malzemedir.

Afyon Beyazı: Kil-silt ağırlıklı ve kum içeren bir malzemedir.

4.2. Mermer Çamur Atıkları ve Zemin Toprak Numuneleri Karışımı için Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Bulgular

Atterberg limit, Proctor, permeabilite ve kesme kutusu deneylerinden elde edilen bulgular, aşağıdaki gibi grafik üzerine geçirilmiştir. 3 no'lu toprak numunesi kum ağırlıklı bir malzeme olması nedeni ile Atterberg limit deneyleri yapılamamıştır.

4.2.1. Mermer Toz Atıklarının % 0;2;4;6;8;10 ve 12 Oranlarında Kullanılması Sonucu Elde Edilen Değerler

Mermer toz atıkları üç toprak numunesi içerisine %0;2;4;6;8;10 ve 12 arasında karıştırılmıştır. Atterberg limit, Proctor ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Grafikselsel olarak nispi eğilimler görölse de belirgin sonuçlar elde edilememiştir. Bu durum literatür çalışmalarında da göze çarpmaktadır (Muntohar ve Hantoro, 2000). %0;10;20;30 ve 40 olarak oranların artırımı ile yukarıda ifade edilen belirsizliğin nedeni anlaşılmış; kullanılan bu oranlarda dahi toprak numunelerindeki değişimin küçük miktarlarda olduğu, çok yüksek oranlarda olmadığı, daha stabil grafikselsel değerler verdiği gözlemlenmiştir (Huat, vd., 2005). Küçük oranlarda deneysel analizler net sonuçlar vermezken %0;10;20;30 ve 40 oranlarında kullanılan mermer toz atıklarının ise daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Mermer toz atıklarının %0–12 arasında uygulanması ile ilgili elde edilen bulgular ekler bölümünde verilmiş olup net sonuçlar elde edilemediği için üzerinde ayrıntılı yorum yapılmamıştır; EK-3’de Atterberg limit değerleri, EK-4’de Proctor değerleri, EK-5’de permeabilite değerleri gösterilmiştir.

4.2.2. Mermer Toz atıklarının %0;10;20;30 ve 40 Oranlarında Kullanılması Sonucu Elde Edilen Değerler

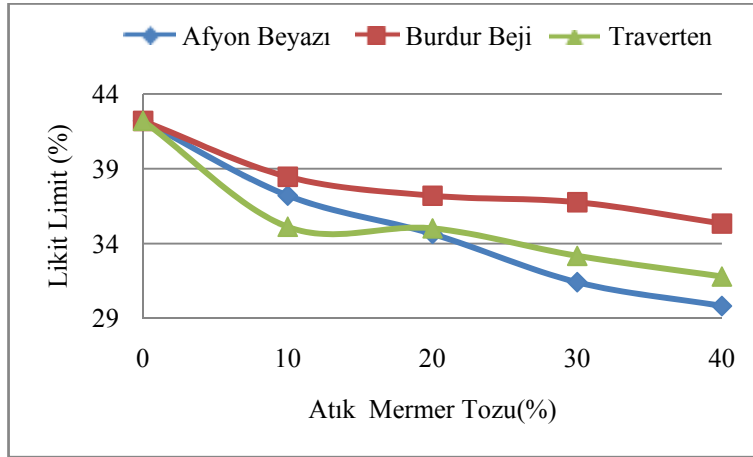
Mermer toz atıkları toprak numuneleri içinde %40’a kadar kullanılabilmiştir. Toprağı kararlı hale getirmek için stabilizasyonda kullanılan atıkların içerisindeki su miktarı karışımın nem muhtevasını artırdığı için bu oran aşılmamıştır. Bu oranlarla birlikte elde edilen Atterberg-limit, Proctor, permeabilite, kesme-kutusu, ve CBR değerleri aşağıda verilmiştir.

4.2.2.1. Atterberg Limit Değerleri

Likit Limit değerleri, mermer tozu ve kireç ile yapılan kaynak çalışmalarda 0-12 aralığında, hassas derecelenmiş (elek boyutlarına göre ayrı ayrı tartılarak her deney

için aynı özellikte hazırlanmış) toprak ile yapılan karışımlarda %8 civarına kadar yükselme olmuş, daha sonra düşüş başlamıştır (Okagbue ve Onyeobi, 1999). Hassas derecelenmemiş (standart numune alma yöntemlerine uygun olarak hazırlanmış) toprak numuneleri ile yapılan karışımlarda ise tam dengeli olmasa da bir düşüş meydana geldiği gözlemlenmektedir (Muntohar ve Hantoro, 2000).

Bu çalışma kapsamında da elde edilen bulgulara göre mermer toz atıklarını ilave ettikçe hemen hemen her yüzde artışında %40'lara varan kireç karışımlarında düşüş rahatlıkla görülebilmektedir. Hassas derecelenmemiş toprak numuneleri üzerinde elde edilen deney grafiklerinin Huat vd., (2005)'nin yaptığı çalışmaya benzer düşüşler gösterdiği gözlemlenmektedir

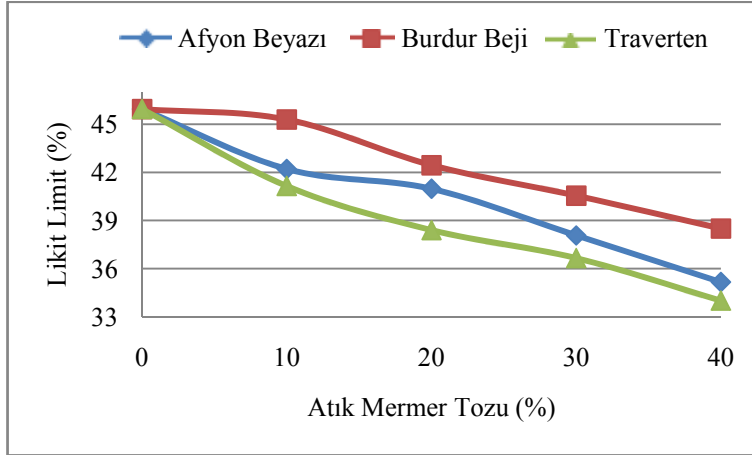


Şekil 4.2. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-1 karışımının likit limiti

1 no'lu toprak numunesine eklenen her üç mermer toz atığının ilavesi, likit limit değerini düşürmüştür. Genel olarak Afyon Beyazı ve Traverten toz atıkları birbirine yakın değerler verirken Burdur Beji diğer ikisine göre daha yüksek değer göstermiştir (Şekil 4.2). Bununla birlikte mermer toz atıklarının ilavesi, toprak numunelerinin likit-limit değerini, önerilen ideal değer aralığı olan 40–50'den (Yılmaz ve Erzin, 2004a) daha aşağı düşürmüştür.

2 no'lu toprak numunesinin likit limit değerleri 1 no'lu numuneye benzemekle birlikte kil ağırlıklı olması nedeni ile daha yüksek olmuştur (Şekil 4.3). %30-40

arasında mermer toz atıklarının ilavesi, toprak numunelerinin likit-limit değerini önerilen ideal aralık olan 40–50’den (Yılmaz ve Erzin, 2004a) daha aşağı düşürürken yaklaşık %10-20’de bu değerin altına inmemiştir.



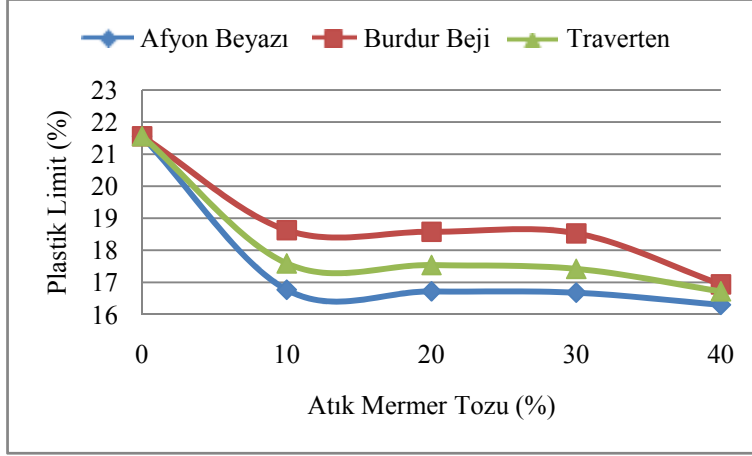
Şekil 4.3. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının likit-limiti

3 no’lu numune, kumlu bir malzeme olması nedeni ile likit-limit değeri ölçülememiştir.

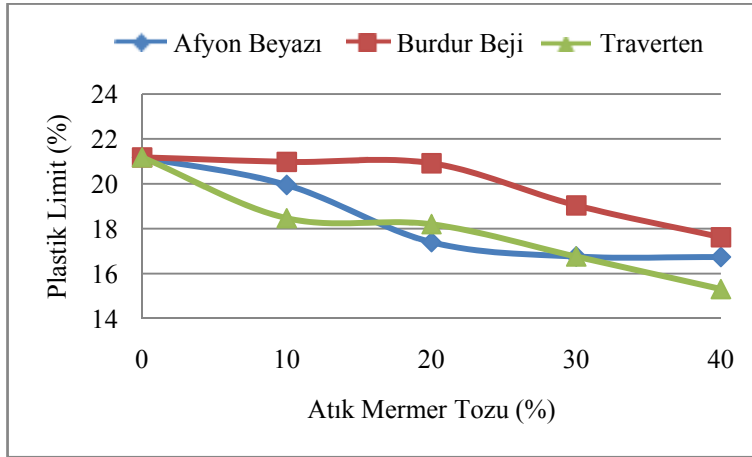
Plastik Limit değerleri, literatürde mermer toz atıkları için %8 civarına kadar yükselme göstermiş olup daha sonra düşüşe geçmiştir (Okagbue ve Onyeobi, 1999). Ancak mermer tozuna benzer özellik gösteren kirecin plastik limiti için genellikle beklenen gözlem; artış yapması olmuştur (Huat vd., 2005; Mallela vd., 2004). Bu çalışmamızda plastik limit değerlerinin de likit limit gibi literatürden farklı olarak düştüğü görülmektedir. Bu da tanecikler arasındaki uzaklıklar yalnız kireç özelliği ile artarken (Okagbue, ve Onyeobi, 1999) flokülant olan yani bağlayıcı özelliği bulunan organik kimyasalların atık çamur içinde bulunması ve malzemenin yaş olarak doğal hali ile uygulanması sonucu, tanecikler arası uzaklığı azalttığı sonucuna varılabilir. Böylelikle malzemenin su muhtevasını da azaltmış olacaktır.

1 no’lu toprak numunesi için plastik-limit değeri %10’luk mermer tozu ilavesinde hızlı düşüş göstermiş, %20-30’luk ilavelerde bu düşme çok az olmuştur. %40’da ise

plastik-limitteki düşme tekrar artmıştır. En yüksek plastik limit değerini Burdur Beji gösterirken en düşük değere Afyon Beyazı'nda rastlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Mermer toz atıkları (% 0–40) ile toprak numunesi-1 karışımının plastik limiti



Şekil 4.5. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının plastik limiti

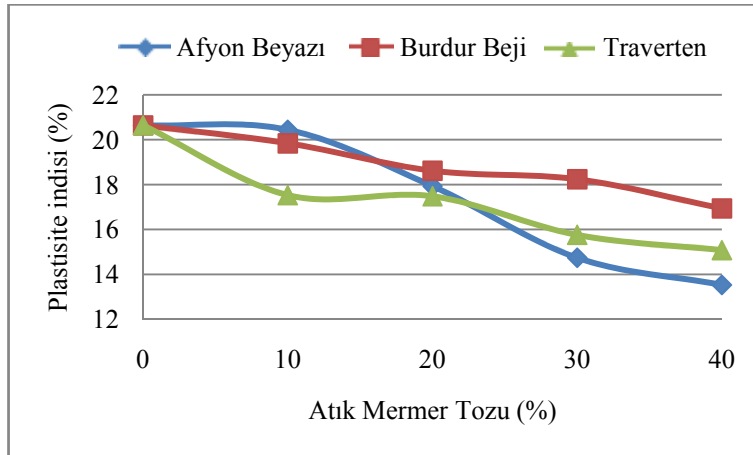
2 no'lu numune için plastik limit değerleri 1'nolu numuneden farklı olup, toz atıkların ilavesi ile hızlı bir düşme meydana gelmemiş, tedrici azalma gerçekleşmiştir (Şekil 4.5).

3 no'lu numunenin likit-limitde olduğu gibi kumlu malzeme olması nedeniyle plastik-limit deneyi yapılamamıştır.

Büyük miktarlardaki malzeme karışımlarının işçilik açısından hassas derecelendirilemeyeceği düşünülürse toz atıkların yüksek oranlarda kullanımı daha uygun olacaktır.

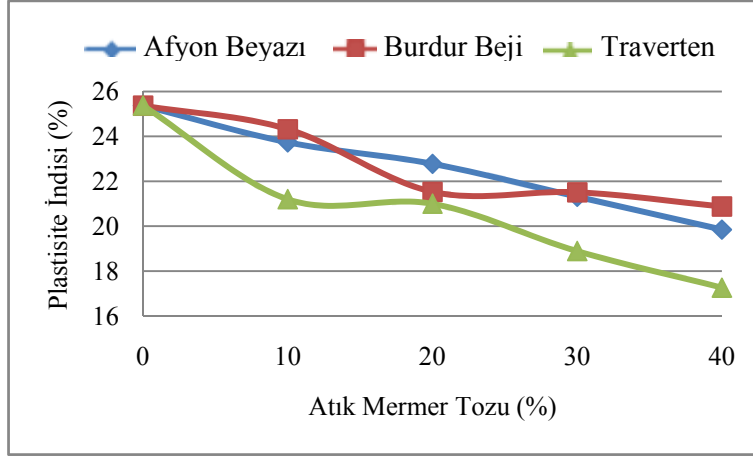
Plastisite İndisi, literatür çalışmalarına benzer şekilde düşüş göstermektedir. Ancak bu çalışmada farklı olarak; hem likit limit hem plastik limit hem de plastisite indisi düşüş göstermiştir. Mallela, J., vd., (2004)'e göre plastisite indisinin düşmesi, malzemenin daha stabil hale geldiğini gösteren arzu edilir bir sonuçtur.

1 no'lu toprak numunesinde plastisite indisi mermer toz atık oranı %21'den %13'lere kadar düşmüştür. Plastisite indisi için önerilen ideal aralık olan %14-20 arası (Yılmaz ve Erzin, 2004a) hemen hemen korunmuştur; Burdur Beji ve Traverten toz atıkları sınır değerler arasında kalırken Afyon Beyazı'nda alt ve üst limitlerde hafif aşma meydana gelmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının plastisite indisi

2 no'lu saf toprak numunesinde plastisite değerleri sınır değerlerin üzerinde çıkmış, ancak bu değer, %30-40 toz atık ilavesi ile kısmen ideal değer aralığına indirgenmiştir; Burdur Beji sınır aralığına inmezken, Afyon Beyazı %40'da, Traverten ise %30-40 arasında sınır değerler içinde kalmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının plastisite indisi

Elek analizi ve Atterberg sonuçlarına göre mermer atıklarının *zemin sınıflandırması* yapılmış ve aşağıdaki değerler elde edilmiştir:

Zemin sınıflaması CL olan 1 no'lu toprak numunesine mermer toz atıklarının ilavesi sonucu zemin sınıfı değişmemiş, tüm mermer toz atık yüzdelerinde CL olarak kalmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. 1 no'lu toprak numunesi ve atık toz mermer karışımı zemin sınıflandırması

TOPRAK NUMUNESİ-1			
ATIK TOZ MERMER (%)	TRAVERTEN	BURDUR BEJİ	AFYON BEYAZI
0	CL	CL	CL
10	CL	CL	CL
20	CL	CL	CL
30	CL	CL	CL
40	CL	CL	CL

2 no'lu toprak numunesi de 1no'lu toprak numunesine benzer şekilde ilave edilen tüm toz atık yüzdelerinde CL sınıfı içerisinde kalmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. 2 no'lu toprak numunesi ve atık toz mermer karışımı zemin sınıflandırması

TOPRAK NUMUNESİ-2			
ATIK TOZ MERMER (%)	TRAVERTEN	BURDUR BEJİ	AFYON BEYAZI
0	CL	CL	CL
10	CL	CL	CL
20	CL	CL	CL
30	CL	CL	CL
40	CL	CL	CL

3 no'lu toprak numunesi ise toz atık yüzdelerinin ilavesi ile bir değişim göstermemiş. Kum özelliği gösteren M sınıfı bir malzeme olarak kalmıştır (Çizelge 4.5).

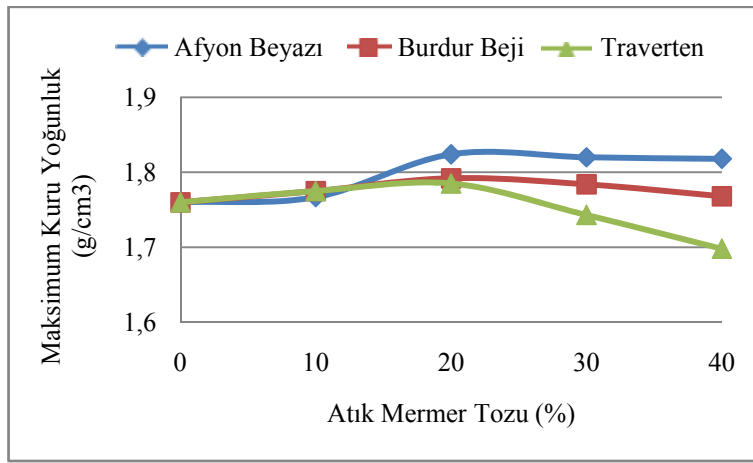
Çizelge 4.5. 3 no'lu toprak numunesi ve atık toz mermer karışımı zemin sınıflandırması

TOPRAK NUMUNESİ-3			
ATIK TOZ MERMER (%)	TRAVERTEN	BURDUR BEJİ	AFYON BEYAZI
0	M	M	M
10	M	M	M
20	M	M	M
30	M	M	M
40	M	M	M

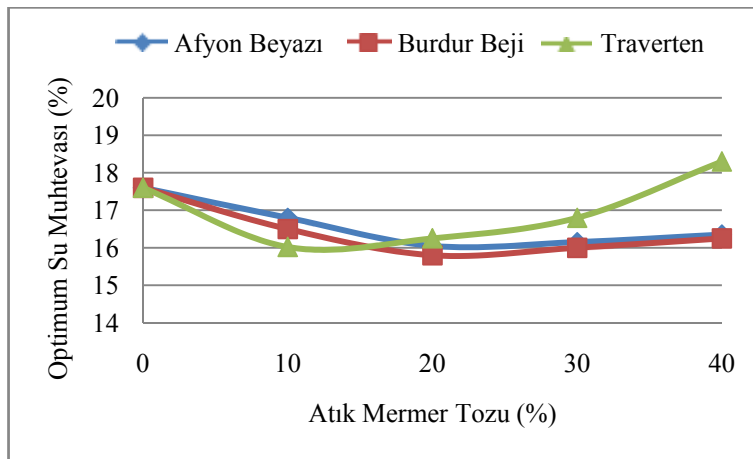
Genel olarak orta ve yüksek derece kil içeren her iki toprak numunesinde %40'lara varan atık kullanılmasına rağmen Atterberg limit değerlerinin, karışımın plastisite cetvellerine göre CL sınır değerleri içerisinde kaldığı, ancak doğal olarak mermer toz atıklarının silt özelliği göstermesi nedeni ile, siltli numune özelliği göstermeye doğru meyl ettiği gözlemlenmiştir. Kum özelliği gösteren 3 no'lu toprak numunesi üzerinde Atterberg limit deneyleri yapılamadığı için plastisite cetvellerine göre M özellikli kum malzemeler olarak nitelendirilebilir.

4.2.2.2. Proctor Değerleri

Proctor deneylerinde 1 no'lu toprak numuneler üzerinde yapılan deneyler, ağırlıklı olarak %20'lik toz atık karışımında maksimum kuru yoğunluk elde edilmiştir (Şekil 4.8). Maksimum kuru yoğunluk için önerilen sınır aralık olan $>1,6$ (Yılmaz ve Erzin, 2004a) tüm toz atıklar tarafından sağlanmıştır. Traverten toz atıklarında kısmen düşme görüne de sınır değerin altına inmemiştir. En yüksek değeri ise Afyon Beyazı göstermiştir.



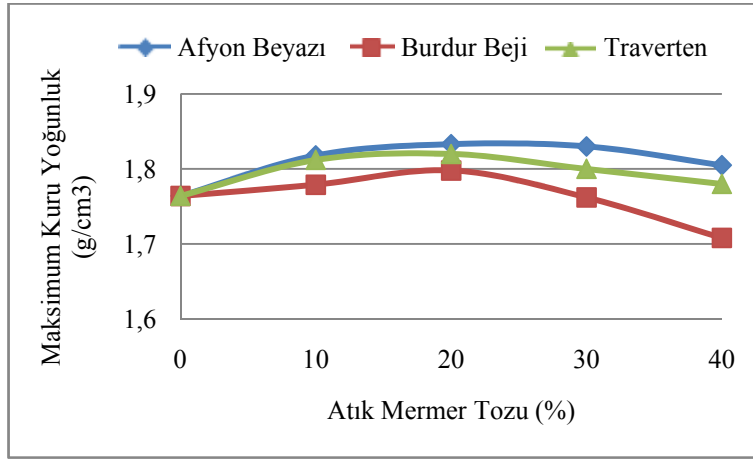
Şekil 4.8. Mermer toz atıkları (% 0–40) ile toprak numunesi-1 karışımının maksimum kuru yoğunluğu



Şekil 4.9. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-1 karışımının optimum su muhtevası

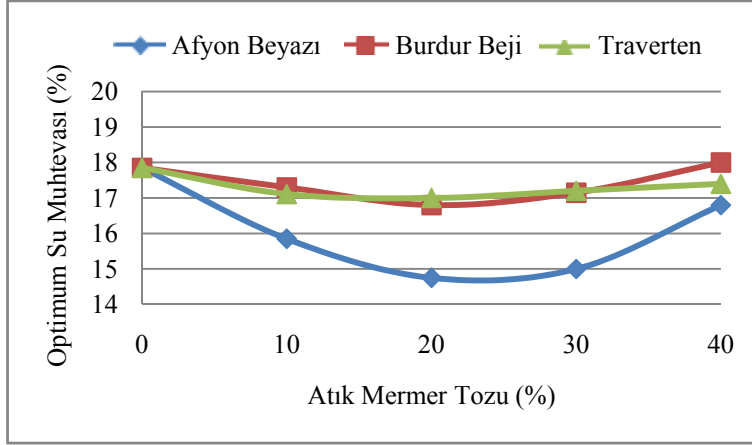
1 no'lu numunenin optimum su muhtevası genel olarak %20'lik karışımda minimum değer göstermiştir (Şekil 4.9). Her üç toz atığın ilavesi ile elde edilen karışımlar optimum su muhtevası için önerilen sınır değer olan %15-20 aralığını (Yılmaz ve Erzin, 2004a) aşmamıştır.

2 no'lu toprak numunesinin mermer toz atıklarına göre maksimum kuru yoğunluk değerleri kil içerikli olması nedeni ile 1 no'lu numuneye benzer şekilde çıkmıştır (Şekil 4.10). %20'de maksimum kuru yoğunluk değerini vermiştir. En yüksek değeri Afyon Beyazı verirken en düşük değeri Burdur Beji göstermiştir. Bununla birlikte değerler birbirine çok yakındır. Burdur Beji %40 oranlarında, maksimum kuru yoğunluk değeri fazla düşse de sınır değerin ($>1,6$) altına inmemiştir.



Şekil 4.10. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının maksimum kuru yoğunluğu

2 no'lu toprak numunesinin optimum su muhtevası maksimum kuru yoğunluk gibi 1 no'lu numuneye benzer şekilde %20'de minimum değerler göstermiştir (Şekil 4.11). Traverten ve Burdur Beji toz atıkları sınır değerler (%15-20) içerisinde kalmış, Afyon Beyazı %20 ve 30'luk karışımlarda sınır değerin altına inmiştir. Bu durumun, Afyon Beyazı'nın kristal yapısı nedeniyle su boşluklarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

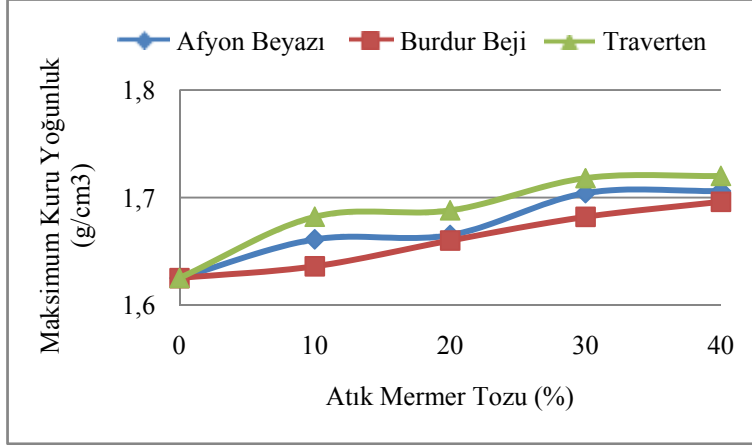


Şekil 4.11. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-2 karışımının optimum su muhtevası

1 ve 2 no'lu toprak numunelerinin her ikisi içinde maksimum kuru yoğunluk için Afyon Beyazı toz atıkları diğer ikisine (Traverten ve Burdur Beji toz atıklarına) göre çok fazla olmasa da daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni kristalize yapılı olması veya malzemenin diğer ikisine göre boyut olarak daha homojen dağılım göstermesi ve içerisinde biraz da kum tanecikleri içermesinden kaynaklanabilir. Bunun dışında çamurların havuzda tutulma süreleri de etkili olabilmekte; uzun süreli havuzlarda bekleyen malzemeler daha sert yapılar oluşturabilmektedir. Mermer atık numunelerinin toplanması esnasında, mermerlerin fabrika satış miktarına göre Burdur Beji çamuru günlük, Traverten sürekli, Afyon Beyazı ise yaklaşık 15 gün içerisinde havuzlardan boşaltıldığı görülmüştür. Havuzlar içerisinde bu uzun süreli bekleme nedeniyle; flokulant kimyasal maddelerin de çamurlu su içerisindeki oranı Afyon Beyazı'nda daha fazla olacağı düşünülmektedir. Kimyasalların devamlı ilave edilmesi ile su, mermer fabrikası içerisinde daha fazla döngüye girmekte, böylelikle çöken çamur içerisindeki kimyasal konsantrasyonu her döngüde artmaktadır. Bu durum taneler arasındaki bağlanmayı da artıracaktır.

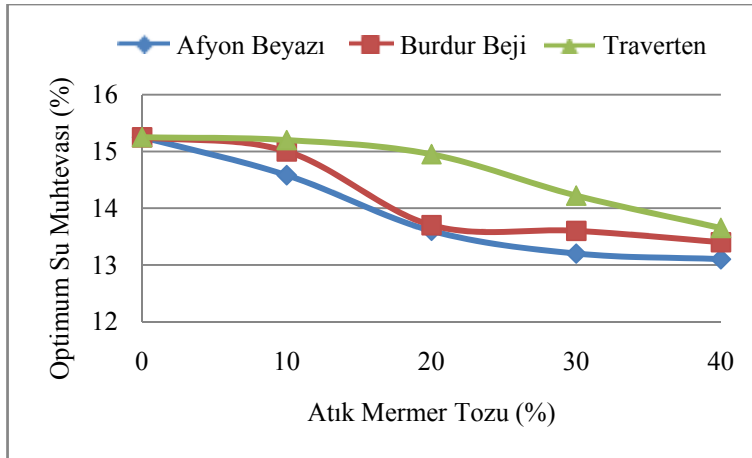
3 no'lu Proctor deney sonuçlarına göre, mermer toz atıklarının kumlu toprak zeminlerde her oranda maksimum kuru yoğunluğu artırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında toz atıklar birbirine yakın değerler verirken daha ince taneli toz atıkların (Traverten) 3 no'lu numunenin (kumlu malzeme) maksimum kuru yoğunluğunu daha

fazla artırdığı görülmektedir (Şekil 4.12). Her üç toz atığın ilavesi ile karışım, maksimum kuru yoğunluk sınır değeri aralığında ($>1,6$) kalmıştır.



Şekil 4.12. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-3 karışımının maksimum kuru yoğunluğu

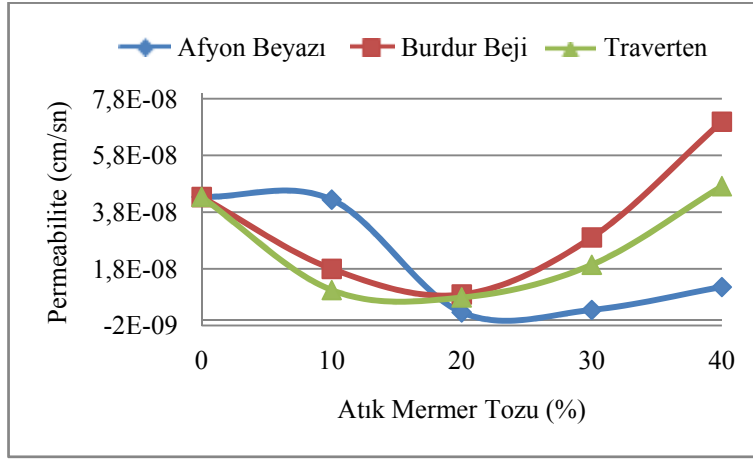
3 no'lu toprak numunesi ile yapılan Proctor deneylerinde, toz atıkların ilavesi ile su muhtevasında sürekli azalma meydana gelmiştir. (Şekil 4.13). Optimum su muhtevası sınır aralığını (%15-20) yalnız Traverten ve Burdur Beji toz atıklarının %10'luk karışımı sağlamıştır.



Şekil 4.13. Mermer toz atıkları (% 0-40) ile toprak numunesi-3 karışımının optimum su muhtevası

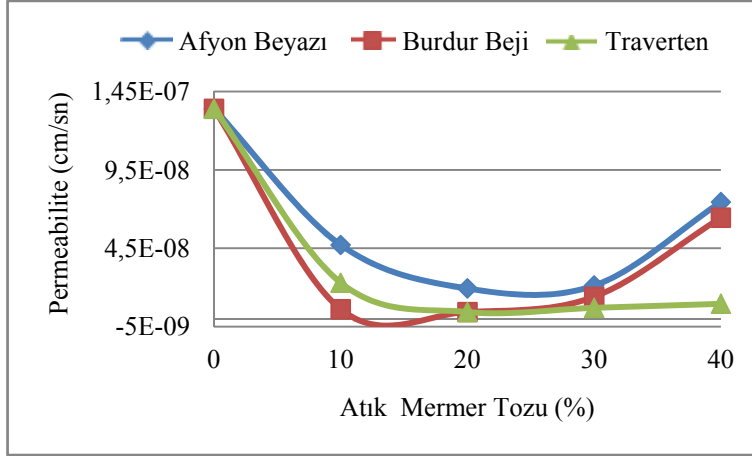
4.2.2.3. Permeabilite Değerleri

Permeabilite, 1 no'lu toprak numunesinde Proctor değerlerine uygun sonuçlar vermiştir. %20'lik toz atık karışımında permeabilitenin optimum düşüşü gözlenmiştir. % 30 ve 40'larda ise bu oranın tekrar yükseldiği görülmektedir (Şekil 4.14). En düşük permeabiliteyi Proctor deney sonuçlarına uygun olarak Afyon Beyazı verirken, en yüksek değeri Burdur Beji vermiştir.



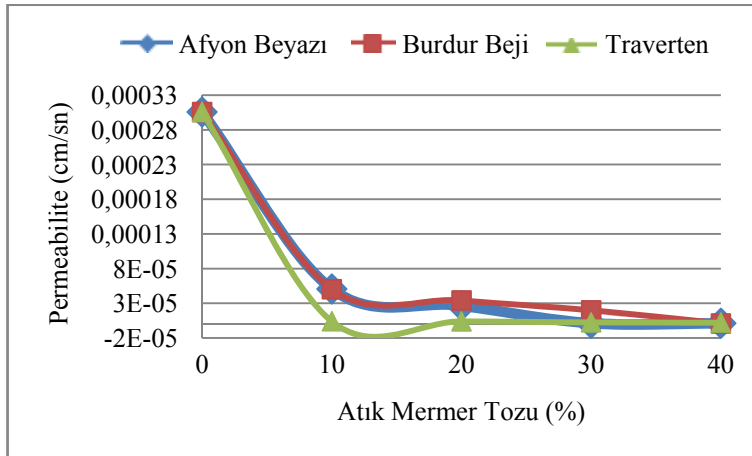
Şekil 4.14. Mermer toz atıkları (% 0-12) ile toprak numunesi-1 karışımının permeabilitesi

2 no'lu toprak numunesi 1 no'lu numuneye benzemekle birlikte en düşük permeabilite değerini Traverten vermiş olup en yüksek değere Afyon Beyazın'da rastlanmıştır. 1 no'lu numuneye göre farklı olmasının nedeni; Afyon Beyazı kısmen büyük taneli olması ve birazda kum içermesi nedeni ile 1 no'lu numunede permeabiliteyi azaltırken 2 no'lu malzemede permeabiliteyi diğer atıklara nazaran daha az düşürmüştür. Travertenin ise çok ince taneli olması, permeabiliteyi daha fazla düşürmesini sağlamıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Mermer toz atıkları (% 0-12) ile toprak numunesi-2 karışımının permeabilitesi

3 no'lu (kum oranı yüksek) malzeme için permeabilitenin yine 3 no'lu Proctor deneylerine paralel olarak azaldığı görülmektedir (Şekil 4.16). Kum oranı yüksek ve ince tanesi düşük olduğu için, ince tanesi yüksek olan Traverten permeabiliteyi en fazla düşüren toz atık olmuştur. Burdur Beji ve Afyon Beyazı ise birbirine yakın değerler vermiştir.



Şekil 4.16. Mermer toz atıkları (% 0-12) ile toprak numunesi-3 karışımının permeabilitesi

Permeabilite sonuçlarına göre; mermer toz atıklarının kumlu zeminlerde (3 no'lu numune için) %40'a kadar kullanılabilir olduğu, kil ağırlıklı (2 no'lu numune) ya da

kil-silt-çakıl içeren zeminlerde (1 no'lu numune için) ise optimum verim vermesi nedeniyle %20 toz atık ilave edilerek kullanılmasının uygun olduğunu görülmektedir.

Önerilen sınır değeri olan 1.10^{-7} permeabilite katsayısını (Kabir ve Taha, 2004) 2 no'lu saf toprak numunesi aşarken toz atıklar bu değeri daha aşağı indirmektedir. Bununla birlikte 3 no'lu numune ise permeabilitesi çok yüksek olması nedeni ancak toz atıkların ilavesi ile sınır değerlere yaklaşabilmektedir. 1 no'lu numune ve bu numuneye ilave edilen atık karışımları ile elde edilen malzemenin tamamının permeabilite katsayısı sınır değerler içerisinde kalmıştır.

4.2.2.4. Kesme Kutusu Değerleri

Kesme kutusu deneylerinden elde edilen kohezyon ve içsel sürtünme grafiksel sonuçları detaylı olarak EK-5'de verilmiştir.

Toprak numuneleri ve mermer çamur atıkları ile yapılan karışımların kesme kutusu deney sonuçlarında 1 ve 2 no'lu CL tipi malzemelerin kohezyonu yaklaşık 0,4-1,8 kg/cm² arasında değerler göstermiştir. İçsel sürtünme açısı değerleri ise 17-50° arasında değerler vermiştir. Prabakar vd. (2004) üç farklı tipik toprak numunesi ve uçucu küller ile yaptığı deney sonuçlarında bu çalışmadaki değerlere yakın değer aralıkları elde etmiştir.

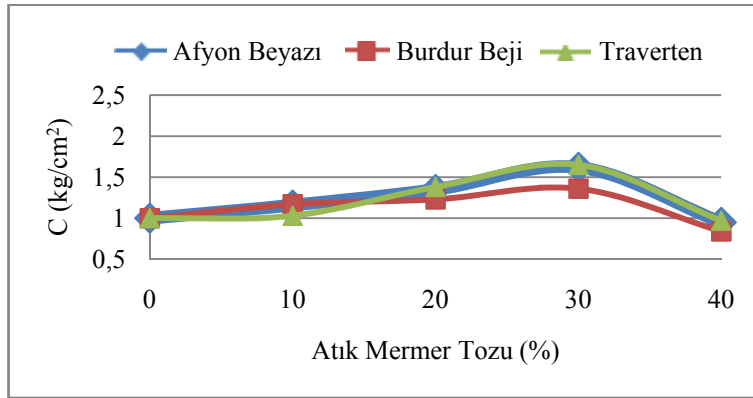
Kohezyon ve içsel sürtünmenin birlikte dikkate alındığı mukavemet hesaplamaları aşağıdaki formüle göre yapılmıştır (Das, 1990):

$$\tau_{\text{mukavemet}} = C + \sigma \cdot \tan \phi \quad (4.1)$$

Burada, τ kesme mukavemetini, C kohezyonu, σ normal gerilme ve ϕ içsel sürtünme açısını göstermektedir.

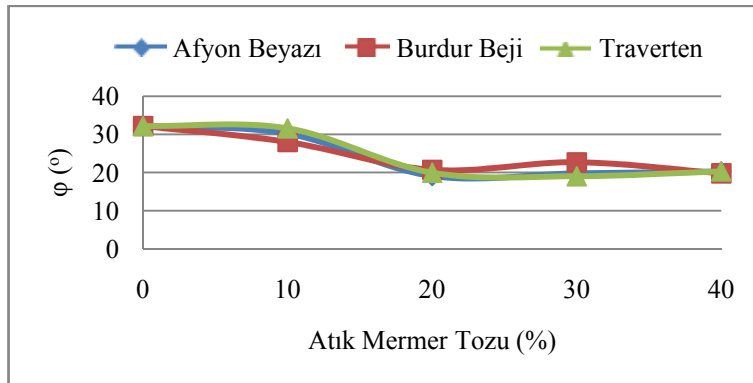
1 No'lu toprak numunesi kohezyon ve içsel sürtünme değerleri:

1 no'lu numune kısmen çakıllı ve kil ağırlığı fazla olan bir malzemedir. Numune üzerinde her üç mermer toz atığı da kohezyon için hemen hemen aynı özellik göstermektedir. %10 ve %20 oranlarında hafif bir artış olmakla birlikte %30'daki yükselme çok daha fazla olmuş ve doruk değerini göstermiştir. %40 civarında oluşan düşme, bu toprak numunesinin ilk %0'lık saf değerinden aşağı olmuştur (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. 1 no'lu toprak numunesi kohezyon değerleri

İçsel sürtünme değerleri de kohezyon değerleri gibi her üç mermer toz atığı için benzer özellik göstermektedir; %10'daki değerleri saf toprak numunesine yani %0'lık numuneye yakın değerler vermiş, çok fazla bir değişim olmamıştır. %20-30 ve 40 değerlerinde yaklaşık benzer değerler verirken her üç oranda da azalma fazla olmuştur (Şekil 4.18).



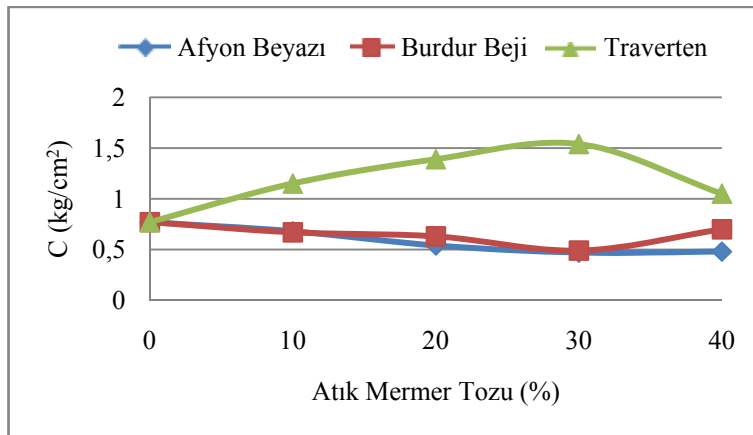
Şekil 4.18. 1 no'lu toprak numunesi içsel sürtünme değerleri

Mermer toz atıkları açısından %30'da en yüksek kohezyon değerlerini Traverten vermiş, Burdur Beji travertene yakın değer verirken kısmen ondan daha düşüktür. Afyon Beyazı ise diğer ikisine göre daha düşük değer göstermiştir. İçsel sürtünmede %30 oranında Burdur Beji diğerlerine oranla daha yüksek çıkmıştır.

1 no'lu toprak numunesinde atık çamurların karışımı ile mukavemet, %30 oranında kısmen artış gösterse de %0'lık saf toprak numunesine göre, genel olarak düşmüştür. Mukavemetteki azalma en az %10'luk atık oranında meydana gelmiştir. Bu nedenle bu tip toprak numunelerinde %10'dan fazla mermer toz atığı kullanılmamalıdır.

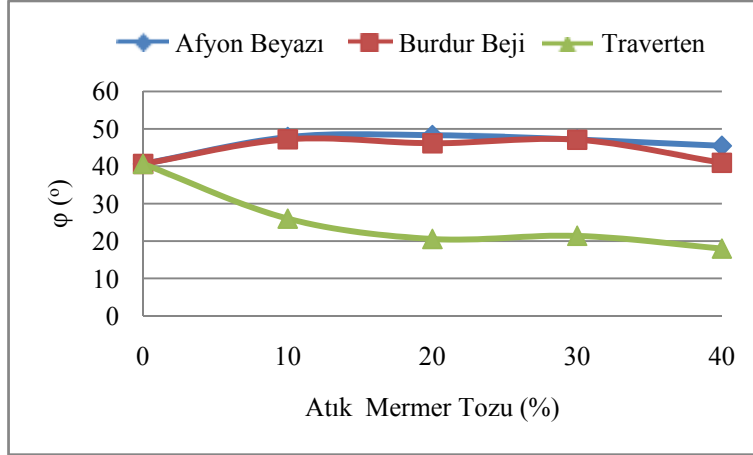
2 No'lu toprak numunesi kohezyon ve içsel sürtünme değerleri:

2 no'lu numune kil ağırlıklı bir malzemedir. Mermer toz atıklarının %10 ilavesinde kohezyon değeri hafif artış gösterirken, Afyon Beyazı ve Burdur Beji %20–30–40 değerlerinde kısmen düşmüştür. Traverten ise %10–20–30'da artış göstermiş, %30'da maksimum değerine ulaşmış ve %40'da düşüş göstermiştir. Bu durumun Traverten'in diğer malzemelere göre daha yumuşak olması ve çok ince tanelerden oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Afyon Beyazı ve Burdur Beji ise sert ve daha çok kum içeriği kısmen fazla olan malzemelerdir. 2 no'lu numune killi olduğu için ve bu toprak numunesine göre Afyon Beyazı ve Burdur Beji toz atıkları daha fazla kum içerdikleri için %10'dan sonraki değerlerde düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. 2 no'lu toprak numunesi kohezyon değerleri

İçsel sürtünme değerleri 2 no'lu numunede %10–30 arasında Afyon Beyazı ve Burdur Beji'nde artış gösterirken Travertende düşme eğilimindedir. Bu da bir önceki paragrafta kohezyonda belirtilen durumu desteklemektedir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. 2 no'lu toprak numunesi içsel sürtünme değerleri

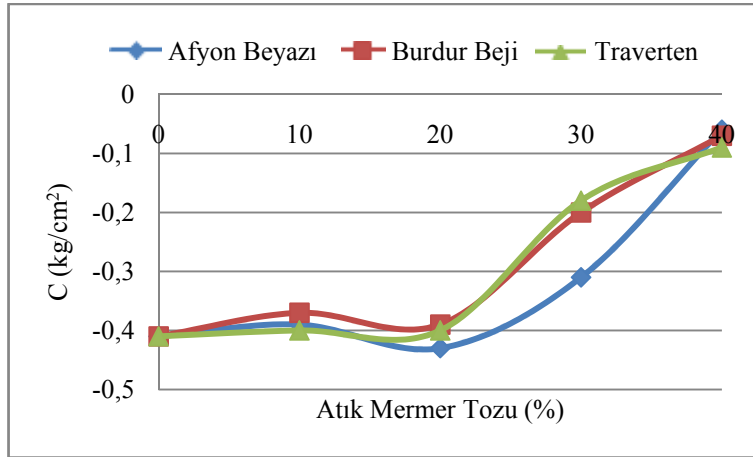
2 no'lu toprak numunesi tipindeki malzemeler için içsel sürtünme ve kohezyon değerleri birlikte dikkate alındığında mukavemet açısından; Afyon Beyazı ve Burdur Beji atıkları ile yapılan karışımların mukavemetindeki artış tüm oranlarda olmakla birlikte en yüksek pik değeri %20 civarında göstermiştir. Bununla birlikte Travertenin %30'luk oranında kohezyondaki artışın mukavemet değerini kısmen artırsa da tüm atık oranlarında %0'lık saf toprak numunesine göre düşmüştür.

3 No'lu toprak numunesi kohezyon ve içsel sürtünme değerleri:

Kumlu malzemelerde kohezyon değerlerinin düşük, içsel sürtünme değerlerinin yüksek olması beklenir (Das, 1990). 3 no'lu malzemenin kohezyon değerleri bu bilginin aksine negatif değerler vermiş, içsel sürtünme değerleri ise düşük çıkmıştır (Şekil 16 ve Şekil 17). Bu durumun volkanik bölge olan Isparta ili çevresinden alınan bir malzeme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Cengiz vd., 2006). Volkanik malzemelerin içsel sürtünme ve kohezyon değerleri çok farklılık gösterebilmektedir. Crosta vd. (2005) makalesinde aynı volkanik malzemelerin

kohezyonun $0-30 \text{ kN/m}^3$ ve içsel sürtünmenin $3,2-46,7^\circ$ aralığında değişen yüksek veya düşük değerler verebileceğini belirtmiştir. Moon vd. ise volkanik malzemelerin negatif kohezyon değerleri verebildiğini göstermiştir. 3 no'lu malzemenin içsel sürtünmenin yanında özgül ağırlığının da düşük olması, mukavemeti düşük bir malzeme olduğunu göstermektedir.

Her üç mermer toz atığı da bu numunede kohezyon için benzer özellikler göstermiştir. %10'da hafif bir artış, %20'de ise düşme meydana gelmiştir. Diğer toprak numunelerinden farklı olarak %30-40'da çok fazla artış oluşmuştur. %10'da kumlu malzemenin boşluk oranlarının dolması ile birlikte kohezyonda hafif bir artış olurken, %20 oranında dengenin bozulduğu görülmektedir. %30-40 oranında ise mermer toz atıklarının 3 no'lu kum numunesine göre daha iyi kohezyon gösteren malzemeler olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.21).

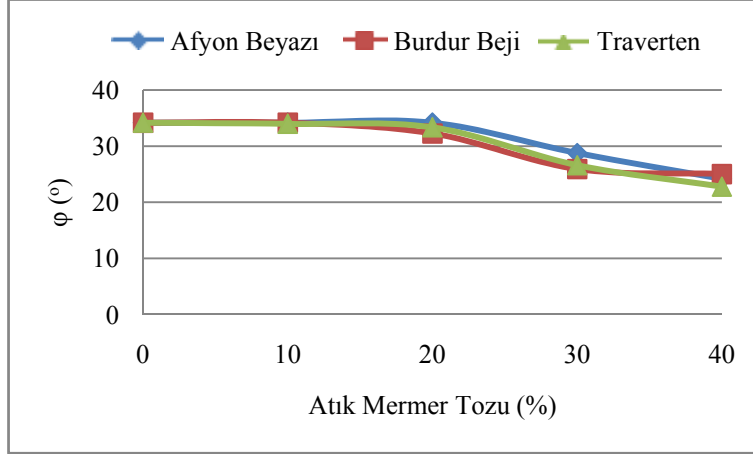


Şekil 4.21. 3 no'lu toprak numunesi kohezyon değerleri

İçsel sürtünme değerleri kohezyona paralel olarak %20'de hafif düşüşle birlikte %30-40'da düşme eğilimi çok fazla olmuştur (Şekil 4.22).

3 no'lu toprak numunesi ile yapılan karışımlarda, mermer çamur atıkları birbirine yakın mukavemet değerleri vermiştir. Mukavemet %10'da çok az miktarda artmış, diğer oranlarda azalmıştır. Bu oranda malzemenin ince tane boyutunda, mukavemet

açısından doygun hale geldiđi dűűűnűlmektedir. Bu tip toprak malzemelerde mukavemet deđerini dűűűrmemek %10'dan fazla atık kullanılmamalıdır.



űekil 4.22. 3 no'lu toprak numunesi içsel sűrtűnme deđerleri

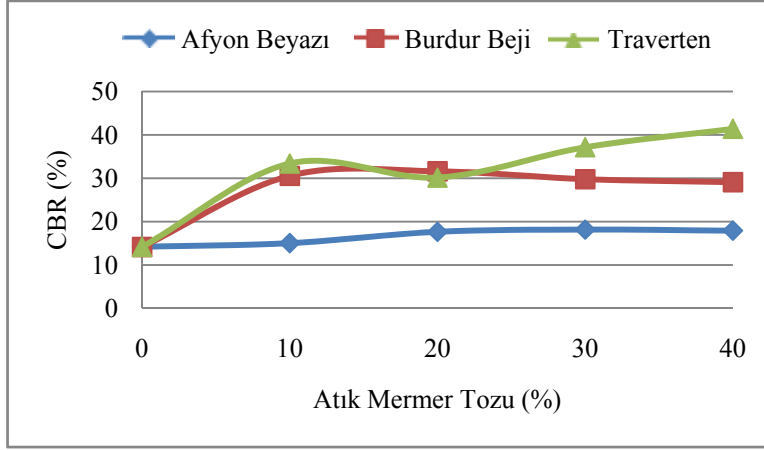
Toprak numunelerin mukavemet değerı, genel olarak %10 civarında mermer atıkları ile yapılan karışımarda artmaktadır. Proctor deney sonuçlarına benzer şekilde tane boyutu mukavemet űzerinde de etkilidir. Çok fazla ince tane boyutuna sahip atık çamurlar, ince tane boyutu yűksek olan toprak malzemelerde kullanılmamalıdır.

4.2.2.5. CBR Değerleri

Kaliforniya taşıma oranı ile ilgili elde edilen grafiksel sonuçlar detaylı olarak EK-6'da verilmiűtir.

1 No'lu toprak numunesi için CBR değerleri:

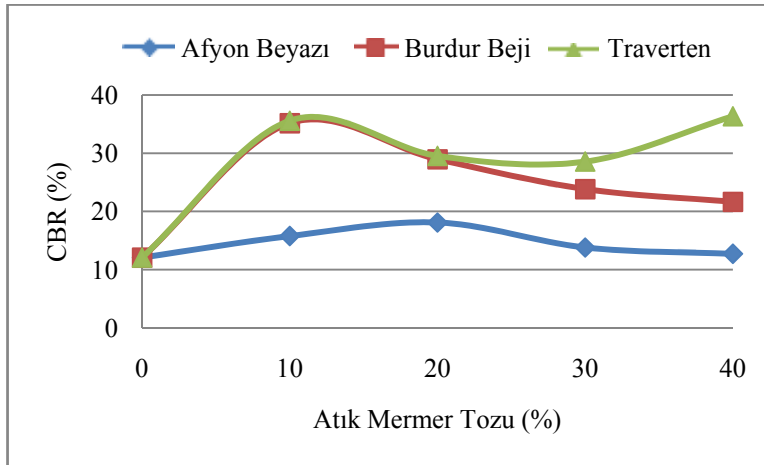
1 no'lu toprak numunesi için Traverten toz atıđı en yűksek CBR deđerini verirken %20'de hafif bir dűűűű göstermiűtir. Bununla birlikte atık toz miktarı arttıkça CBR'de devamlı bir artış gűzlemlenmiűtir. Burdur Beji %20'ye kadar artış gűstermiű sonra dűűműűtűr. Afyon Beyazı ise en az artış gűsteren malzeme olup diđer iki toz atıđın artış oranına gűre, hemen hemen yarısıdır (űekil 4.23).



Şekil 4.23. 1 no'lu toprak numunesi tüm toz mermer atıkları için CBR grafiği

2 No'lu toprak numunesi için CBR değerleri:

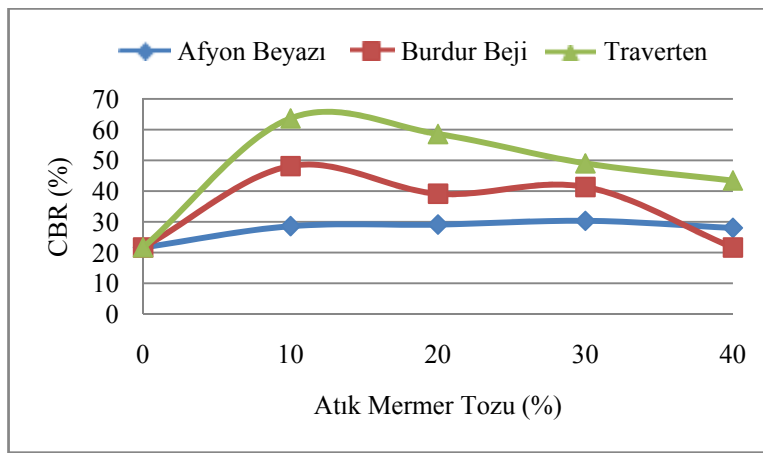
Traverten 1 no'lu numuneye benzer şekilde bu numunede de en yüksek CBR değerini vermiştir. Burdur Beji, Traverten'i takip etmiştir. Her iki atık da %10'da en yüksek değerde olup, diğer oranlarda düşme eğilimi göstermiştir. Afyon Beyazı ise 1 no'lu toprak numunesinde olduğu gibi diğer iki atığın yaklaşık yarısı kadar bir CBR değeri vermiştir. %20'de az bir artış ile maksimum değer almış sonra düşmüştür (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. 2 no'lu toprak numunesi tüm toz mermer atıkları için CBR grafiği

3 No'lu toprak numunesi için CBR değerleri:

Traverten toz atığı bu toprak numunesinde de en yüksek CBR değerlerini göstermiştir. Burdur Beji de 2 no'lu toprak numunesinde olduğu gibi Traverten'i takip etmiştir. Her iki numune %10'da maksimum pik değerlerine ulaşmış, atık oranı arttıkça CBR değerleri düşmüştür. Afyon Beyazı bu numunede de diğer iki numuneye göre CBR'de az bir artış olmuş, %30'da maksimum değeri göstermiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. 3 no'lu toprak numunesi tüm toz mermer atıkları için CBR grafiği

CBR değerleri mermer toz atıkları açısından incelendiği zaman aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Traverten toz atıkları için CBR değerleri:

Traverten tüm toprak numunelerinde en iyi artış gösteren atık malzemedir. Kil-silt tane çapı oranı en düşük malzeme olduğu için bu oranı en düşük olan 3 no'lu toprak numunesinde en yüksek CBR değerini verdiği gözlemlenmiştir. Kil ve silt oranına bağlı olarak 2 no'lu numune ikinci en yüksek değeri verirken bu oranın en düşük olduğu 1 no'lu numune ise 2 ve 3 no'lu numuneye göre en düşük değerleri vermiştir. Sonuç olarak; Traverten toz atıkları diğer toz atıklara göre en düşük kil-silt tane çapı oranına sahip olduğu için en yüksek CBR değerlerini vermiştir. Kil-silt oranındaki düşüşe göre toprak numunelerinin CBR değerini artırmıştır. Doruk değerleri,

Numune 2 ve 3 için %10 iken Numune 1 için bu değer %40 olmuştur. 1 no'lu numune için bu oranın yükselmesi içerisinde ihtiva ettiği çakıl ve kum tanelerinden kaynaklandığı; toz tanelerinin çakıl ve kum taneleri arasındaki boşluğu azalttığı düşünülmektedir.

Burdur Beji toz atıkları için CBR değerleri:

Travertene göre kil-silt tane çapı boyutu oranı kısmen daha büyük olduğu için CBR değerleri Traverten'i izlemiş ancak daha düşük olmuştur. Numune 2 ve 3'de %10 atık oranında maksimum değeri vermiş, Numune 1'de ise bu oran %20'ye çıkmıştır. 1 no'lu numunenin Traverten için açıklandığı gibi; numunenin kum ve çakıl içermesi (boşluk oranı yüksek olması) nedeniyle %20 toz atık miktarına kadar CBR değeri artmıştır.

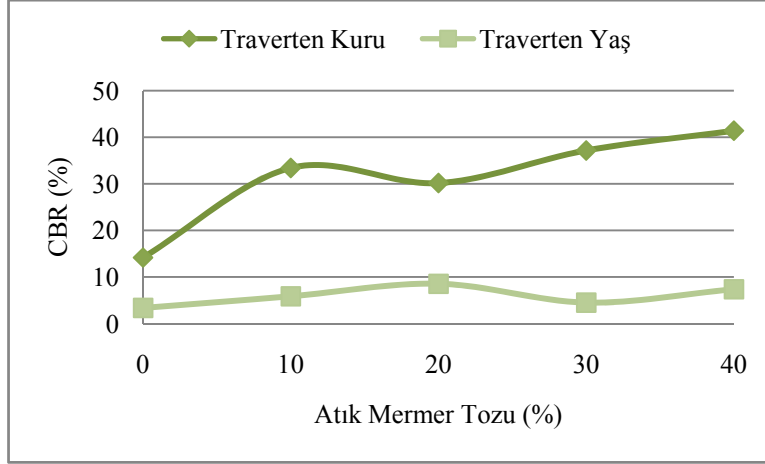
Afyon Beyazı toz atıkları için CBR değerleri:

Kil-silt tane boyutu oranı kısmen homojen olması ve %15'e kadar da kum içermesi diğer iki toz atığa göre daha az CBR değerleri göstermiştir. Diğer değerleri numune 2 ve 3'de %20 iken numune-1'de %30'a çıkmıştır. Diğer toz atıklarda olduğu gibi numune-1'deki bu artışın sebebi kum ve çakıl oranının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak Traverten ve Burdur Beji toz atıklarının toprak numunelerinin CBR değerlerini genellikle %10 civarında 2-3 kat artırdığı Afyon Beyazı'nın ise yaklaşık 0,5 kat artırabildiği gözlemlenmiştir. Bu durum toprak numunelerin CBR değerlerinin artışında kil-silt tane boyutu oranının büyük bir etken olduğunu göstermektedir. Okagbue ve Onyeaobi (1999) da yaptıkları çalışmada, mermer toz atıkları silt içerikli bir malzeme olduğu için silt içeriği daha düşük olan malzemenin toz atık karışımları ile CBR değerinin daha yüksek çıktığını ve silt oranına göre değişim gösterdiğini deneylerinde belirtmişlerdir.

Kuru-Yaş CBR karşılaştırması:

Yaş CBR değerlerini test etmek ve Kuru CBR'ye uygunluğunu gözlemlemek amacıyla %0–40 arasında Traverten toz atığı ile 1 no'lu toprak numunesinin analizi yapılmış ve Şekil 4.26'deki değerler elde edilmiştir.



Şekil 4.26. 1 no'lu toprak numunesi Traverten toz atıkları için CBR ve Yaş CBR grafiği

Yaş CBR değerlerinin Kuru CBR'ye benzer şekilde Traverten toz atıklarının ilavesi ile 1 no'lu toprak numunesinin değerlerini 2–3 kat artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak Kuru CBR'de %20 toz atık ilavesinde hafif düşme görülürken Yaş CBR'de %30 oranında düşme meydana gelmiş, %40'da Kuru CBR gibi tekrar artış göstermiştir.

4.3. Liç Ekstraksiyonları

4.3.1. Liç Ekstraksiyonundan önce Saf Mermer Toz Atıkları ile Toprak Numuneleri içindeki Kirletici Miktarlarının Karşılaştırılması

Saf mermer çamurları ile toprak numuneleri içerisindeki organik maddelerin konsantrasyonları yakılarak belirlenmiş olup Çizelge 4.3'de belirtilmiştir.

Ca^{2+} ve Mg^{2+} : toprak numunelerinde çok düşük iken doğal taşlarda kireçtaşı kaynaklı yapısı nedeniyle oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Organik madde; toprak numunelerinde bitki köklerinin kalıntılarında kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek organik madde 3 no'lu numunede çıkarken en düşük miktar ise 1 no'lu numune de çıkmıştır. İçerisinde bulunan bitki örtüsü atıklarının miktarına göre çıkan organik maddenin değiştiği gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.6. Saf mermer çamuru atıkları ve saf toprak numuneleri içerisindeki Ca^{2+} , Mg^{2+} , Co^{2+} , Cr^{2+} ve organik madde değerleri

Atık Mermer Çamuru içerisindeki kirlenmeler g/kg	Toprak Numuneleri			Atık Mermer Çamuru		
	1 no'lu numune	2 no'lu numune	3 no'lu numune	Burdur Beji	Afyon Beyazı	Travertine
Ca^{2+}	0,016	0,029	0,028	88	109,6	118,4
Mg^{2+}	0,006	0,016	0,009	26,8	29,6	32,8
Organik	6,0	55,9	144,1	3,8	3,7	6,3
Co^{2+}	0,037	0	0	0,008	0,068	0,012
Cr^{6+}	0,006	0,007	0	0	0	0

Mermer toz atıkları içerisinde çıkan organik madde, toprak numunelerine göre kısmen düşük olmakla birlikte çöktürme esnasında kullanılan poliakrilamid asıllı organik çöktürücülerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Traverten toz atıklarının organik madde miktarının yüksek olması gözenek oranının fazlalığından ve bazen fosil ve/veya bitki örtüsünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Co^{2+} ; 1 no'lu toprak numunesinde çıkmakla birlikte diğer iki toprak numunesinde hiç rastlanmamıştır. Doğal taşlarda ise kobalt, taşları kesmek için kullanılan testerelerin elmas bıçaklarından kaynaklanmaktadır. Mermer toz atıkları arasında değer farklarının atık havuzlarında atık çamurun bekleme oranı ile atık suyun geri devir oranına bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir.

Cr^{6+} ; 1 ve 2 no'lu toprak numunelerinde çok az bulunmakla birlikte doğal taşlarda hiç çıkmamıştır. Aslında doğal taşların su ile kesimi esnasında çelik ve dökümden yapılan makinelerin aşınması ile krom iyonlarının atık malzemeler içerisine karışması gerekmektedir. Krom iyonlarının çıkan mermer tozlarına oranla eser miktarda yani ölçülemeyecek kadar az atıklar içerisine karıştığı düşünülmektedir.

4.3.2. Liç Ekstraksiyonlarının Maksimum Değerleri için Risk Analizi

Kaynak özetlerinde belirtildiği gibi SPLP Liç ekstraksiyon deneyleri ile yer altı su rezervlerine yağmur etkisi ile sızan kirletici miktarlar belirlenmektedir. Bu çalışmada da mermer toz atıklarının yol zemin inşaatında kullanımı sonucu, elde edilen maksimum kirletici değerlerin Çevre Bakanlığı ve TSE standartlarına uygunluğu analiz edilmiştir. Çizelge 4.4’de Çevre Bakanlığı “Su Kirliliği Yönetmeliği, (2004)” ve TSE 266 (1980) “İçilebilir Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri” standardına göre liç ekstraksiyonlarının risk analizi görülmektedir.

Çizelge 4.7. Liç ekstraksiyonlarının risk analizi

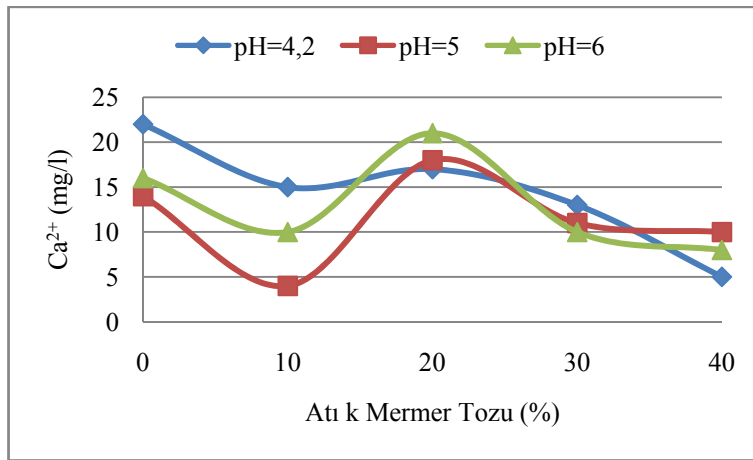
Madde	Saf Mermer Çamuru içerisindeki Maksimum Değerler	Toprak ve Mermer Çamuru Karışımı Maksimum Liç Ekstraksiyon Değerleri	Çevre Bakanlığı ve TSE Maksimum Sınır Değerler
KOI	6,3 mg/l	0 mg/l	70 mg/l
Cr ⁶⁺	0 mg/l	0 mg/l	0,05 mg/l
Ca ²⁺	118,4 mg/l	29 mg/l	200 mg/l
Mg ²⁺	32,8 mg/l	8 mg/l	150 mg/l
Co ²⁺	12 mg/l	0,18 mg/l	0,2 mg/l
pH _{son}	-	7,6 - 9,74	6,5-9,2

Liç ekstraksiyonlarında yol inşaatında kullanılabilecek tüm atık malzeme için organik madde ve Cr⁶⁺ iyonlarına hiç rastlanmamıştır. Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyonlarının değeri ise belirtilen standartların altında kalmaktadır. Co²⁺ ise sınır değerlere yaklaşmakla birlikte sınır değeri aşmamaktadır. pH_{son} taşlardaki Ca(OH)₂’den kaynaklanan baziklik nedeniyle sınır değerleri çok az geçtiği gözlemlenmiştir. Genel olarak mermer çamur atıklarının çok fazla kirlilik oluşturmadığı görülmüştür (Delgado vd., 2006)

Organik madde ve Cr⁶⁺ iyonları haricindeki diğer tüm maddelerin analizi detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

4.3.2.1. Ca^{2+} Analizleri

Traverten Atık Toz Mermeri için: Ca^{2+} miktarı 1 ve 2 no'lu CL sınıfı numunelerde fazla, kumlu malzemeye doğru gittikçe azalan miktarlarda liç ekstraksiyonu vermekte ve her üç toprak numunesi için %10'larda Ca^{2+} miktarı saf toprak numunesine göre azalırken %20'ler'de maksimum ekstraksiyon oluşmaktadır. %30 ve 40'larda ise tekrar Ca^{2+} miktarı azalmaktadır (Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29).

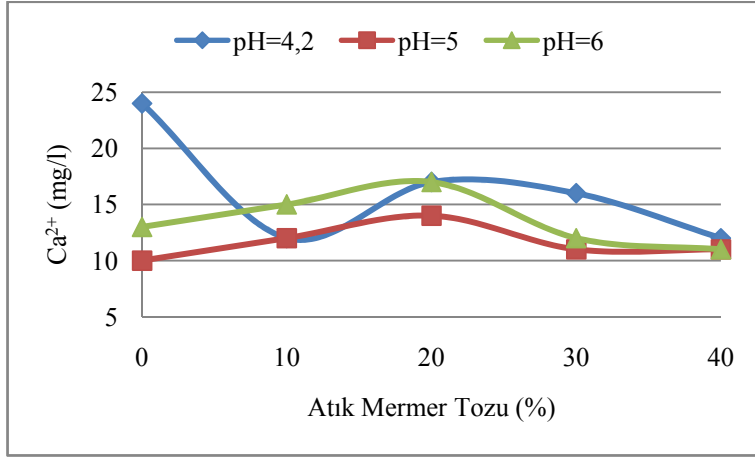


Şekil 4.27. Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği

Traverten için, pH ile ekstrakte edilen Ca^{2+} miktarı üç toprak numunesinde de benzer özellikler göstermiştir. Sistem asidik ve bazik oldukça Ca^{2+} ekstraksiyonu genel olarak artmıştır. pH=5 civarında ekstrakte edilen Ca^{2+} miktarı kısmen daha düşük olmuştur. Bu durumda Traverten toz atıkları kullanıldığı zaman Ca^{2+} miktarının azaltılması gereken ortamlarda pH'nın 5 civarında tutulması daha uygun olacaktır.

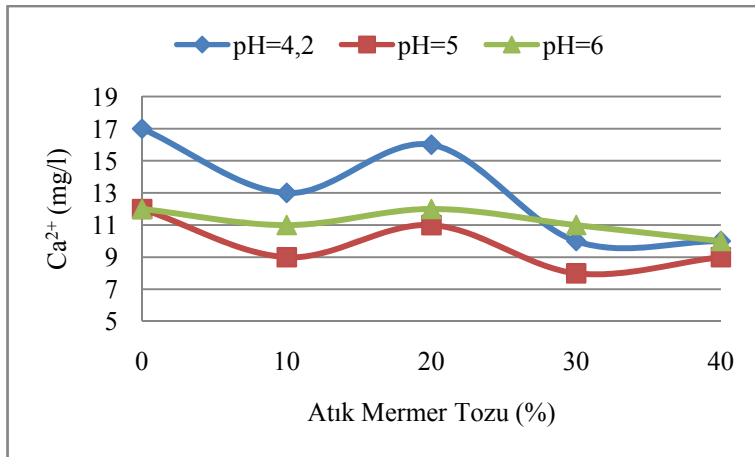
Kalsiyumun normal şartlarda CaCO_3 tabanlı mermer tozlarından dolayı Traverten için toprak numuneleri ile karışımında %40'larda maksimum değer vermesi gerekirken %20'lerde vermesi, bu oranda toprak numunesi ile yapılan karışımındaki kimyasal tepkimelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Okagbue ve Onyeaobi (1999) Ca^{2+} iyonlarının toprak içerisinde su ile birlikte diğer katyonlarla yer değiştirdiğini ya da bu iyonların toprak tarafından absorbe edildiğini ve böylelikle

toprak ile Ca^{2+} arasında iyon deęiřimi olduęunu belirtmiřtir. Bu deęerlerde Proctor sonuçlarının da maksimum kuru yoęunluęu vermesi bu dūřūnceyi biraz daha kuvvetlendirmektedir.



şekil 4.28. Traverten içeren 2 no’lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği

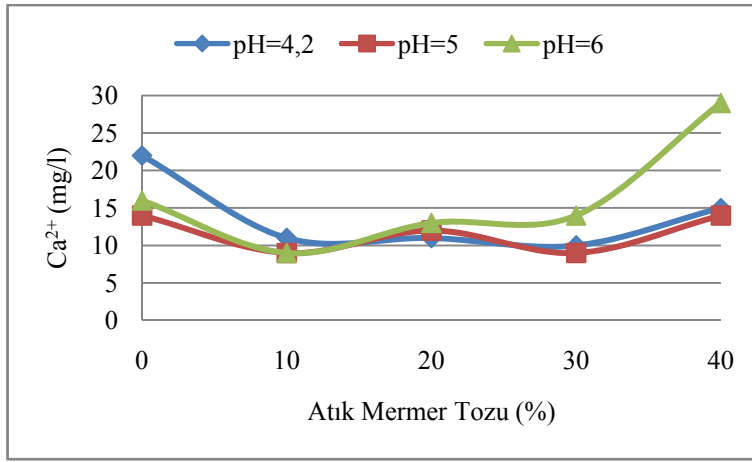
Traverten toz atıklarının ve toprak numunesi karışımlarının kullanıldığı ortamlarda Ca^{2+} miktarının dūřūk olması istenirse; %10, %30 ve %40 oranlarında karışım yapmak ve pH’nın 5 civarında olduğu alanları seçmek ekstraksiyon açısından daha uygun olacaktır.



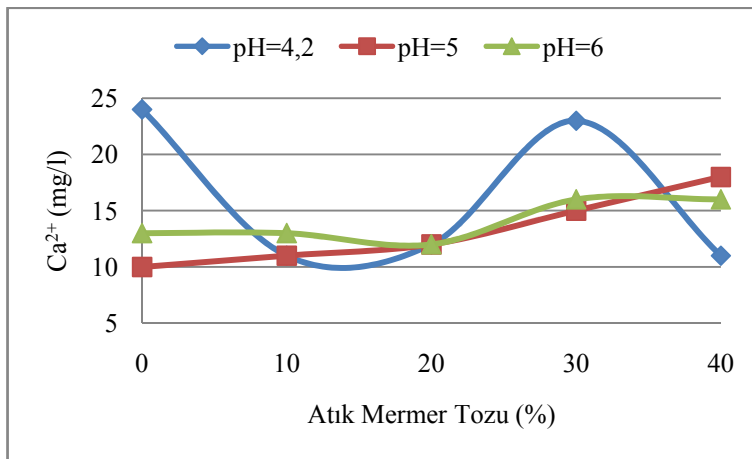
şekil 4.29. Traverten içeren 3 no’lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği

Burdur Beji Atık Toz Mermeri için: Genel olarak tūm numunelerde %10’larda azalma meydana gelirken bu orandan sonra 1no’lu killi malzemede %40’larda

maksimum liç ekstraksiyonu elde edilmiş, diğer iki toprak numunesinde ise maksimum değer %30'larda oluşmuştur. 1 no'lu numunede Ca^{2+} ekstraksiyonundaki artış devam ederken diğer toprak numunelerinde %30'dan sonra düşme meydana gelmiştir. Burdur Beji, Travertene göre tane boyutu kısmen daha büyük olduğu için ve içerisinde biraz da kum içerdiği için killi malzemedeki (1 no'lu numune) oranı arttıkça Ca^{2+} ekstraksiyonu artmış, diğer iki toprak numunesi kum içeriğine sahip olması nedeniyle %30'larda karışım içerisindeki tepkimesini tamamladığı düşünülmektedir. Bu orandan sonra iki numunenin Ca^{2+} ekstraksiyon miktarında düşme meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32).



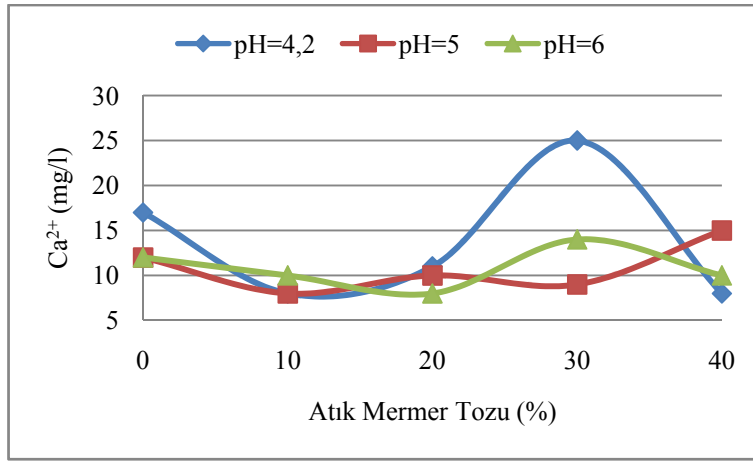
Şekil 4.30. Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği



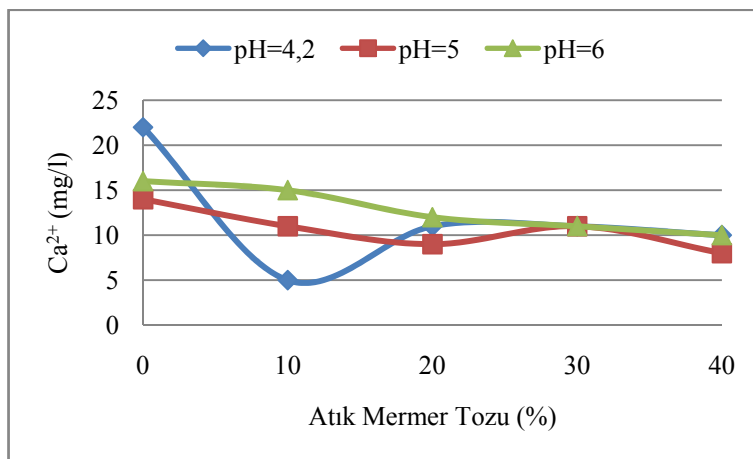
Şekil 4.31. Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği

Burdur Beji için tüm toprak numunelerinde Traverten toz atıklarına benzer şekilde genel olarak asidik ve bazikliğe gidildikçe Ca^{2+} miktarı artmış, pH=5 civarı yine ortalama en düşük değer veren pH aralığı olmuştur. Burdur Beji atıkları için de Ca^{2+} ekstraksiyonunun fazla istenmediği ortamlarda pH=5 aralığı seçilmesi daha uygun gözükmektedir.

Burdur Beji toz atıkları ile toprak numunelerinin karışımından Ca^{2+} ekstraksiyonunun fazla olmaması istenirse bu durumda %10–20 arasında kullanımı ve pH için de 5 olabileceği alanları seçmek daha ideal olacaktır.



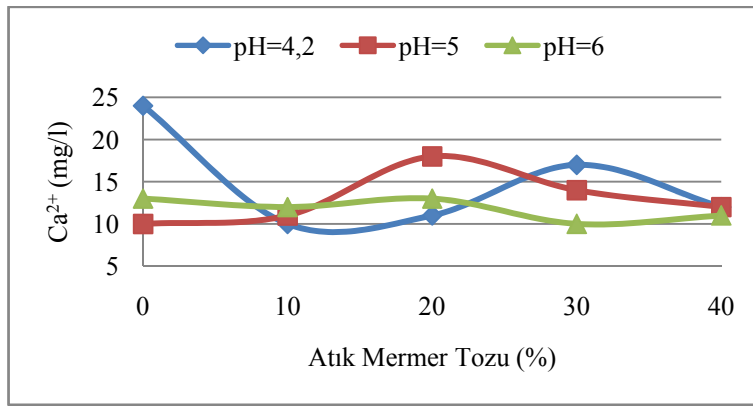
Şekil 4.32. Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği



Şekil 4.33. Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği

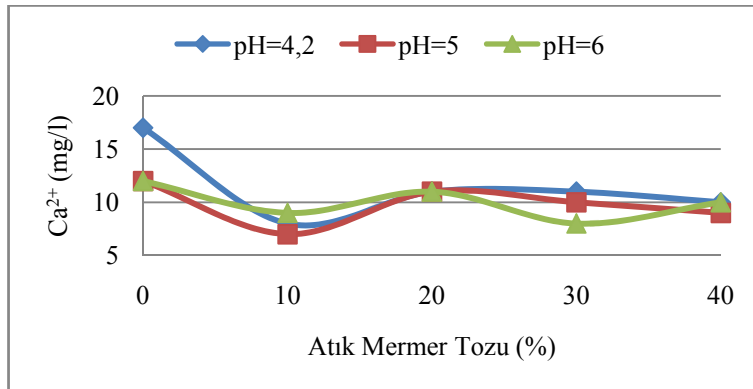
Afyon Beyazı Atık Toz Mermeri için: %10 atık toz ilavesinde tüm numunelerde düşme gösterirken çok fazla artmamakla birlikte %20–30 arasında yüksek değer vermiş ve %40 civarında tekrar azalma olmuştur (Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35).

Afyon Beyazı toz atıklarının pH'ya göre değişimlerine bakıldığında 1 no'lu toprak numunesinde diğer iki toz atığa benzerken 2 ve 3 no'lu toprak numunesinde pH=4.2 ve 5'de yüksek değerler göstermiştir.



Şekil 4.34. Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği

Afyon Beyazı toz atıklarının kullanıldığı karışımlarda, ekstraksiyon açısından %10 civarında toz atık kullanılması 1 no'lu tipteki malzemelerin kullanıldığı yerlerde pH'nın 5 civarında, 2 ve 3 no'lu numunenin kullanıldığı alanlarda ise 6 civarında seçilmesi daha uygun olacaktır.

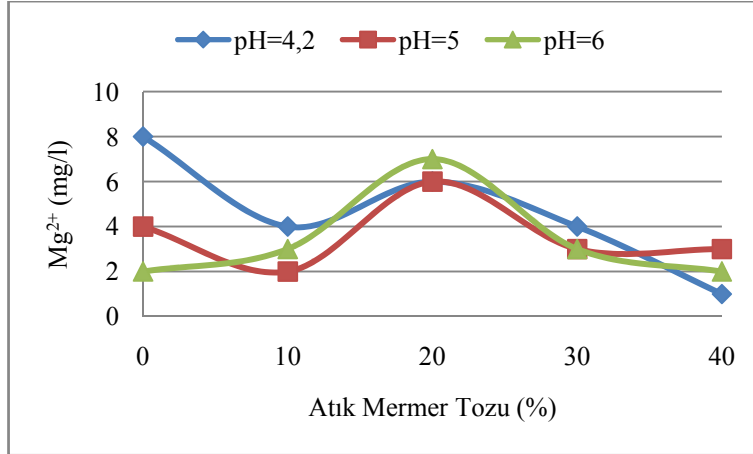


Şekil 4.35. Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi kalsiyum liç grafiği

Sonuç olarak: Ca^{2+} liç ekstraksiyonunun genel değerleri 5 ile 25 mg/l arasında değişim göstermekle birlikte bu miktar sınır değerleri aşmamıştır. Sistemin genel ortalaması 10-16 mg/l arasında ve maksimum ekstraksiyon %20-30 olarak kabul edilebilir. Genel olarak toz atık miktarının toprak numunelerine %10 ilavesi ve pH değerleri için de yaklaşık 5 civarında olan alanların seçimi liç ekstraksiyonunda Ca^{2+} miktarının azalmasını sağlayacaktır.

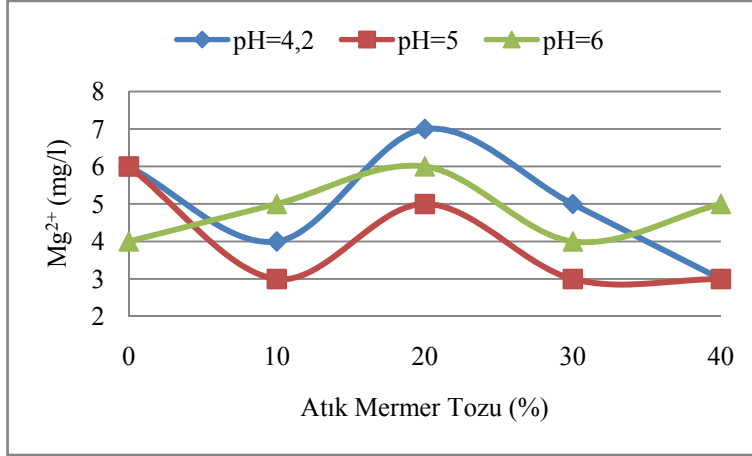
4.3.2.2. Mg^{2+} Analizleri

Traverten Atık Toz Mermeri için: Tüm toprak numunelerinde kısmi azalma ile birlikte %20 atık toz mermer için maksimum liç ekstraksiyonları elde edilmiştir. %10, %30 ve %40 oranlarında Mg^{2+} değerleri düşük çıkmıştır. 1 ve 2 no'lu numunede %40 oranında azalma yüksek iken 3 no'lu kum içerikli malzemede azalma pek fazla olmamış, hatta biraz artmıştır (Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38).



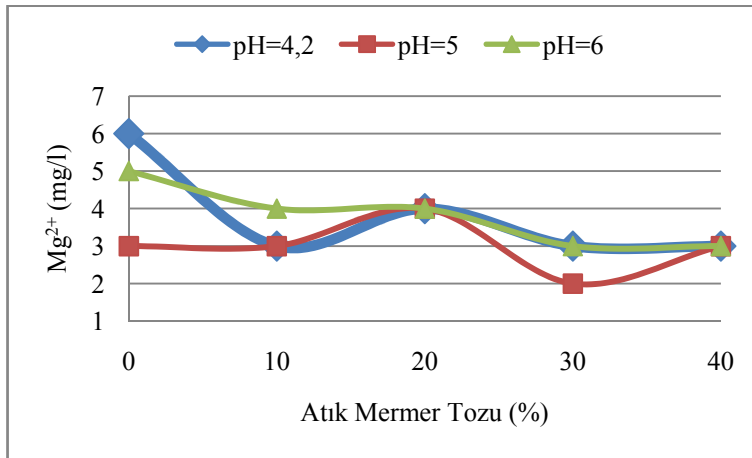
Şekil 4.36. Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

pH değerlerinin Traverten için her üç numunede Mg^{2+} ekstraksiyonuna etkisi birbirine yakın olmuştur. pH=4,2 ve 6'da bazen yüksek olsa da çoğunlukla pH=5'deki değerler onları takip etmiştir.



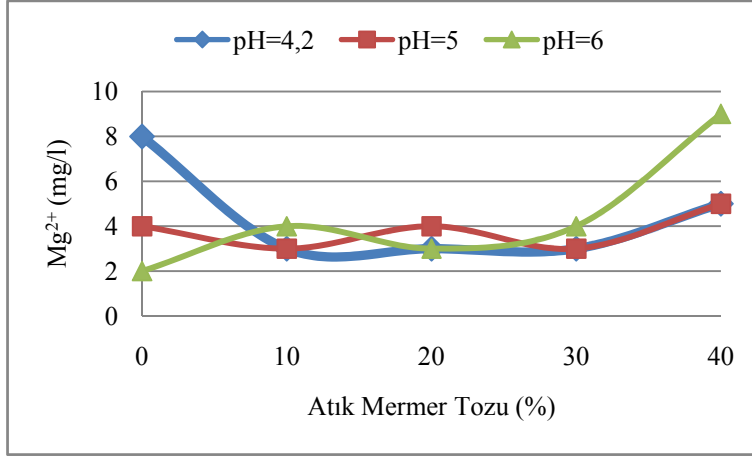
Şekil 4.37. Traverten içeren 2 no’lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

Magnezyum değerleri kalsiyumdaki Travertenin ekstraksiyonlarına benzemektedir. %10, %30 ve %40’lık oranlarda kullanmak çevre açısından daha az risk oluşturacaktır. pH açısından çok fazla değişim olmadığı için 4,2–6 arasında değişen herhangi bir pH’da kullanılabilir.



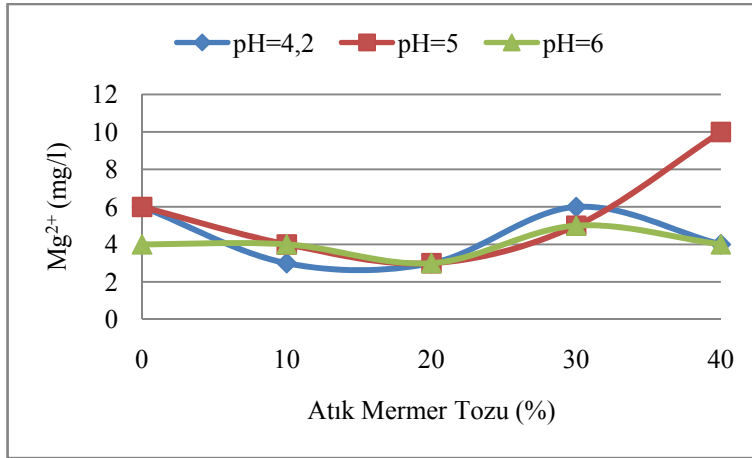
Şekil 4.38. Traverten içeren 3 no’lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

Burdur Beji Atık Toz Mermeri için: Genel olarak tüm numunelerde artış gözlemlenmiştir. 1 ve 2 no’lu toprak numunelerinde %40’larda maksimum değerine ulaşırken 3 no’lu numunede %30’da ulaşmıştır. %10–20 arasında ise düşük değerler göstermiştir. Kalsiyum değerlerine benzer özellikler göstermiştir (Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41).



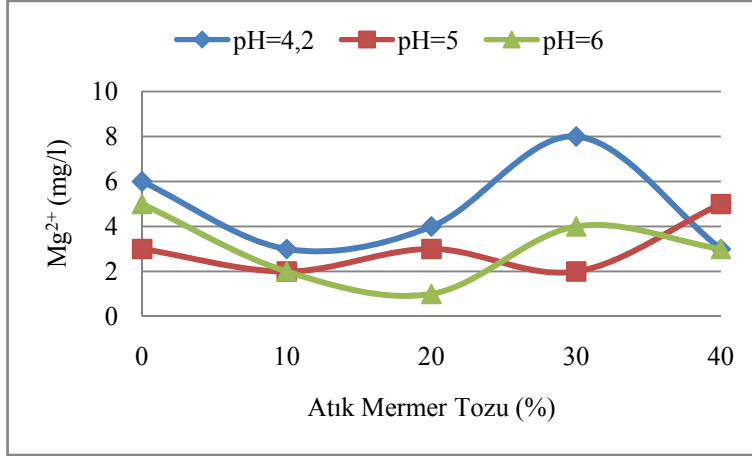
Şekil 4.39. Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

pH'daki değişim Burdur Beji için kısmen heterojen sonuçlar çıkarmıştır. 1 no'lu numunede pH=6'da 2 no'lu numunede pH=5'de ve 3 no'lu numunede pH=4,2'de diğerlerine göre biraz daha yüksek değerlere ulaşmıştır.



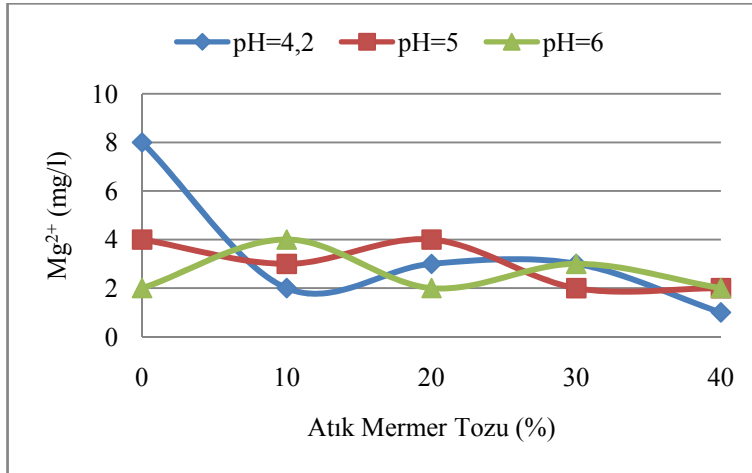
Şekil 4.40. Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

Zemin iyileştirme uygulamalarında Burdur Beji tipi malzeme kullanımında çevresel açıdan Mg^{2+} ekstraksiyonunun az olması istendiğinde toprak içerisine %10–20 arasında toz atık kullanımı uygun olacaktır. pH için ise ölçüme göre hareket etmeli, uygun alan seçilmelidir.



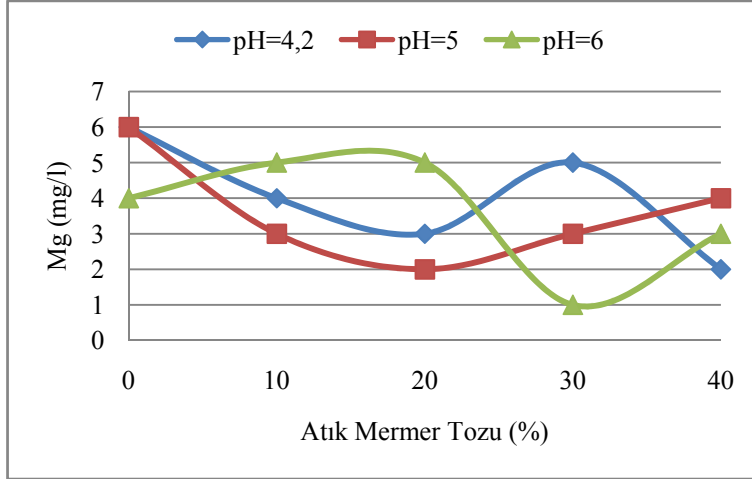
Şekil 4.41. Burdur Beji içeren 3 no’lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

Afyon Beyazı Atık Toz Mermeri için: Düzensiz bir dağılım göstermekle birlikte genel olarak 1 ve 2 no’lu toprak numunelerinde sürekli azalma görülmektedir. 3 no’lu numunede ise %20–30 arasında yükselmiş, %40’da tekrar düşmüştür (Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44).



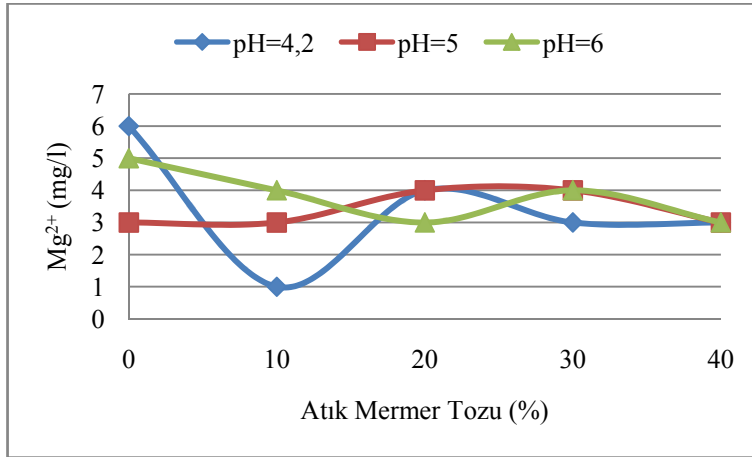
Şekil 4.42. Afyon Beyazı içeren 1 no’lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

Her üç toprak numunesinde de pH’ya bağlı Afyon Beyazı Mg^{2+} ekstraksiyonları, birbirine yakın değerler verirken her üç pH için de değerler genellikle heterojendir.



Şekil 4.43. Afyon Beyazı içeren 2 no’lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

Afyon Beyazı için toprak numunelerine ilave edilen yüzde oranlarına ve pH’daki değişimlere göre Mg^{2+} değerleri heterojen bir yapı göstermesi neden ile Mg^{2+} ’nin çevresel açıdan düşük olması istenen yerlerde test edilmesi uygun olacaktır.

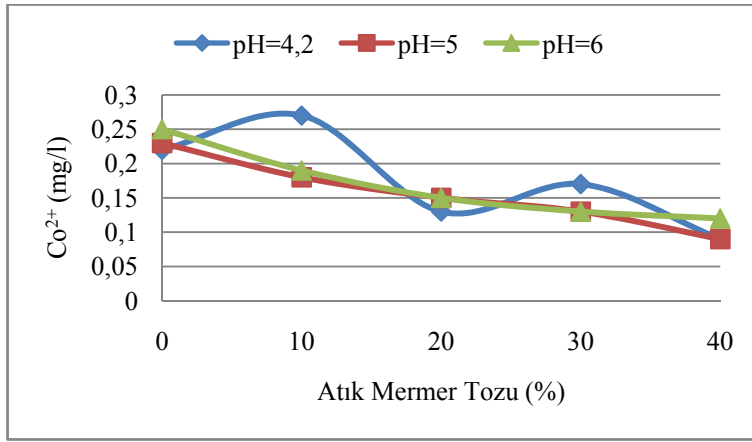


Şekil 4.44. Afyon Beyazı içeren 3 no’lu toprak numunesi magnezyum liç grafiği

Sonuç olarak: Mg^{2+} liç ekstraksiyonunun genel değerleri atık toz mermerlerin türlerine göre farklılık göstermekle birlikte genel eğilim 2 ile 7 mg/l arasında değişmektedir. Ancak Traverten atık tozlarının diğerlerine göre daha fazla ekstraksiyon oluşturduğu görülmüştür.

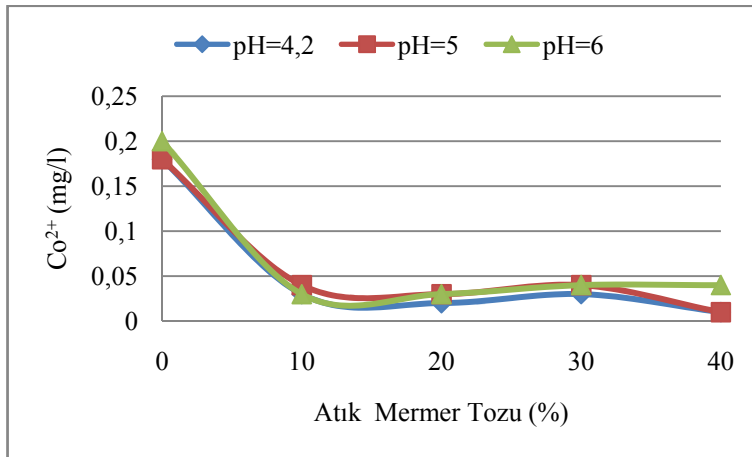
4.3.2.3. Co²⁺ Analizleri

Traverten Atık Toz Mermeri için: Tüm toprak numunelerinde azalma göstermekle birlikte 1 no'lu numuneden kumlu numuneye doğru liç ekstraksiyonunda da azalma göstermiştir. 2 no'lu numunede %30'da ve 3 no'lu numunede %40'da küçük artma olsa da genel olarak azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.45, Şekil 4.46 ve Şekil 4.47). Buradan Traverten toz atıklarının Co²⁺ iyonlarını tuttuğu ve salmadığı anlaşılmaktadır.



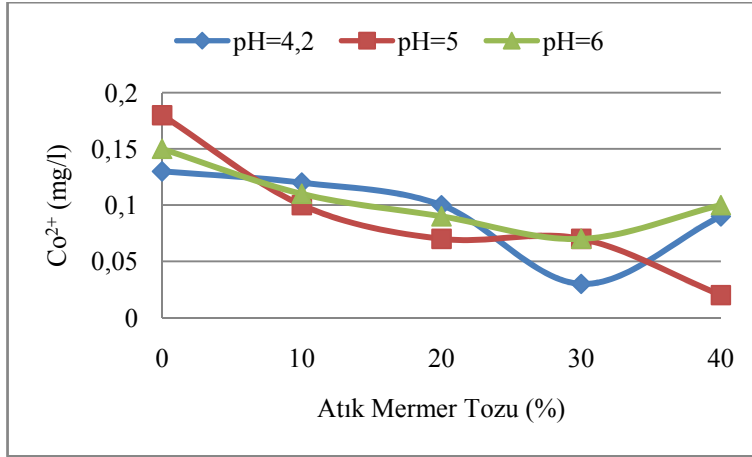
Şekil 4.45. Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

Traverten toz atıklarında pH açısından bakıldığında Co²⁺ ekstraksiyonu tüm numunelerde pH=5 ve 6'da benzer değerler verirken pH=4,2'de kısmen düşmüştür.

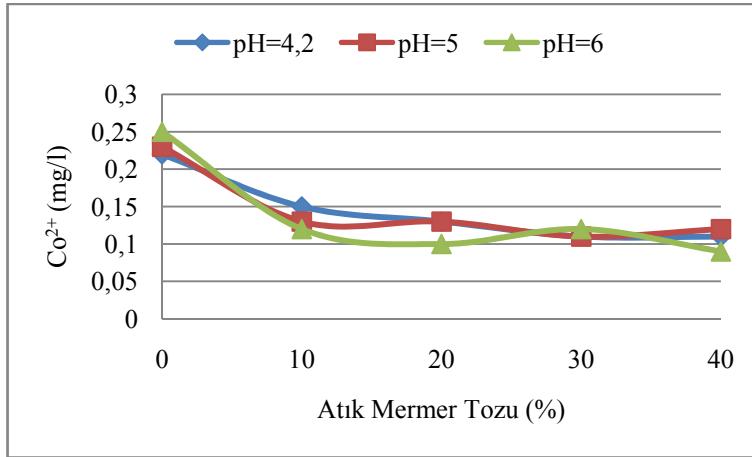


Şekil 4.46. Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

Traverten toz atıklarının kullanıldığı ortamlarda Co^{2+} miktarı azaltılmak istenirse %10-20-30 ve 40 oranlarının tümü kullanılabilir. Bununla birlikte %30'luk oran her numune için daha uygundur. PH'nın da 4,2 civarında olması ekstraksiyon miktarını azaltacaktır.



Şekil 4.47. Traverten içeren 3no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

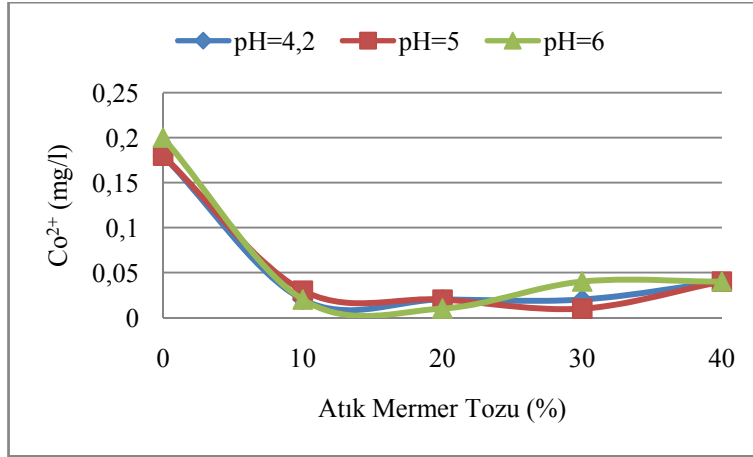


Şekil 4.48. Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

Burdur Beji Atık Toz Mermeri için: Genel olarak Traverten gibi %10'da hızlı düşüş ile tüm numunelerde liç ekstraksiyonunda azalma görülmüştür. 1 no'lu numunede azalma %40'lara kadar devam etmekte iken, 2 ve 3 no'lu numunede Co^{2+} ekstraksiyonu artma eğilimi göstermiştir. Bu artış toprak numunelerinin kısmen Co^{2+}

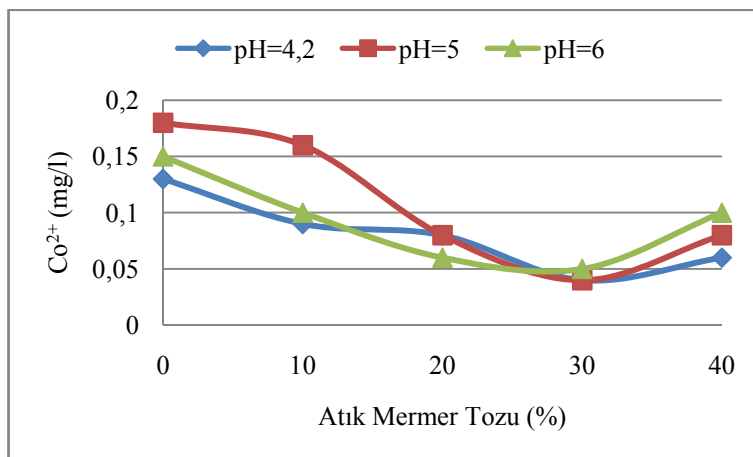
doğunluğuna eriştiğini göstermektedir. En fazla azalmanın 2 ve 3 no'lu numunede olması bu fikri desteklemektedir (Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50).

Burdur Beji için pH'nın Co^{2+} ekstraksiyonuna etkisi; farklı pH değerlerinde genel olarak birbirine yakın ve heterojen olmuştur.



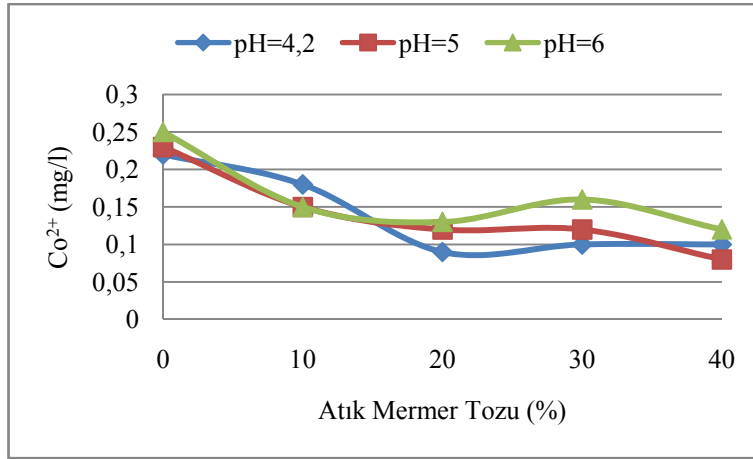
Şekil 4.49. Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

Burdur Beji toz atıkların kullanıldığı ve Co^{2+} ekstraksiyonunun düşük olması istendiği durumlarda %10–20 arasında kullanılması uygun olacaktır. pH değişimi çok fazla etkili olmadığı için çevresel ortamın pH'sı uygulanabilir.



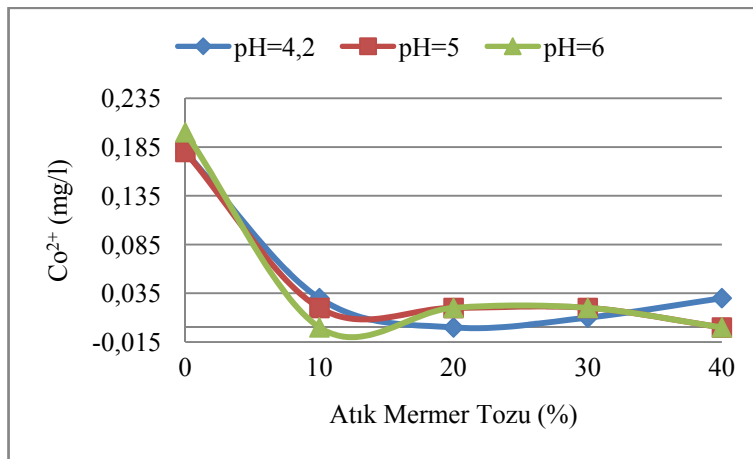
Şekil 4.50. Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

Afyon Beyazı Atık Toz Mermeri için: Tüm numunelerde azalma görülmektedir. %30 civarında liç ekstraksiyonu 1 no'lu numunede biraz artmakla birlikte tüm numunelerde %40'da en düşük değerini göstermiştir. Diğer toz atıklardan farklı olarak ilk defa 2 ve 3 no'lu numunede Co^{2+} değeri 0 mg/l'ye yaklaşmıştır. 1 no'lu numunenin ekstraksiyonu diğerlerine oranla daha yüksek olmuştur (Şekil 4.51, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53).



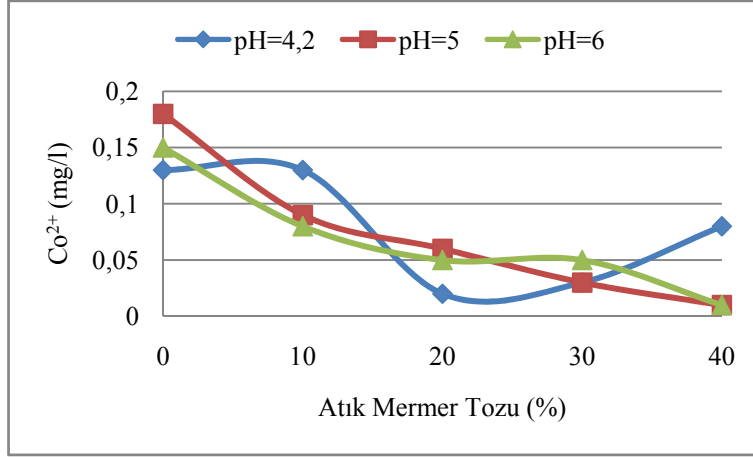
Şekil 4.51. Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

pH değişimleri Co^{2+} ekstraksiyonunu pH=5 ve 6'da yükseltirken pH=4,2 de kısmen düşürmüştür.



Şekil 4.52. Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

Afyon Beyazı toz atıklarının toprak numunelerine karıştırılması ile Co^{2+} iyonlarını diğer iki toz atık gibi tuttuğu ve liç sıvısı içerisine salmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte Co^{2+} miktarını en fazla düşüren toz atıktır. Bu malzemenin kullanılacağı ortamlarda çevresel açıdan pH'nın değeri 4,2'de olması daha uygun olacaktır.

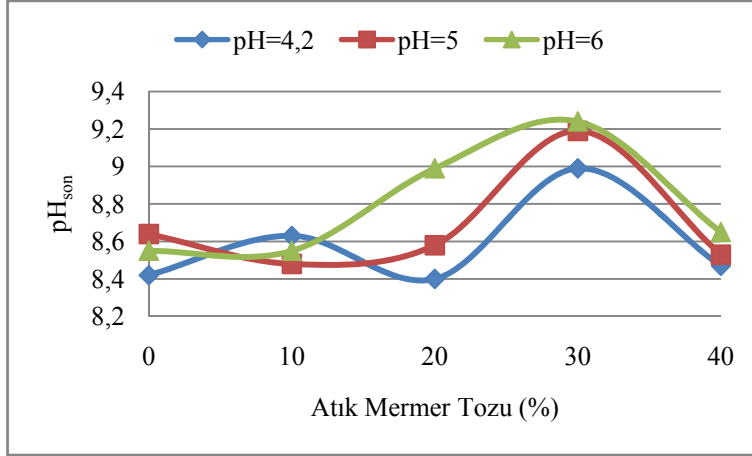


Şekil 4.53. Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi kobalt liç grafiği

Sonuç olarak: Co^{2+} liç ekstraksiyonunun genel değerlerinde azalma ve %30–40 arasında hafif artış görülmektedir. Değer aralığı 0 ile 0,25 mg/l arasında değişmekle birlikte 1 no'lu numunede liç ekstraksiyonu daha yüksek olmakta 2 ve 3 no'lu ise daha düşük değerler elde edilmektedir.

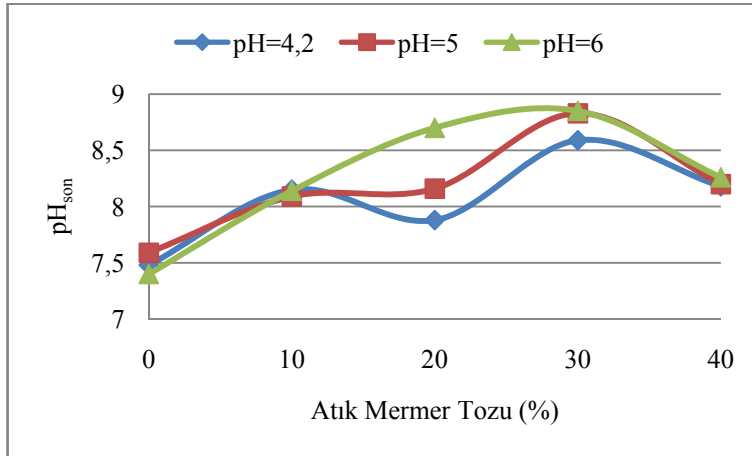
4.3.2.4. pH_{son} Analizleri

Traverten Atık Toz Mermeri için: Tüm toprak numunelerinde liç işlemi sonunda pH değerinde bir artış gözlenmiştir. 3 no'lu numunedeki pH_{son} değerindeki artış, diğer toprak numunelerine göre daha yüksek olmuştur (Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56).



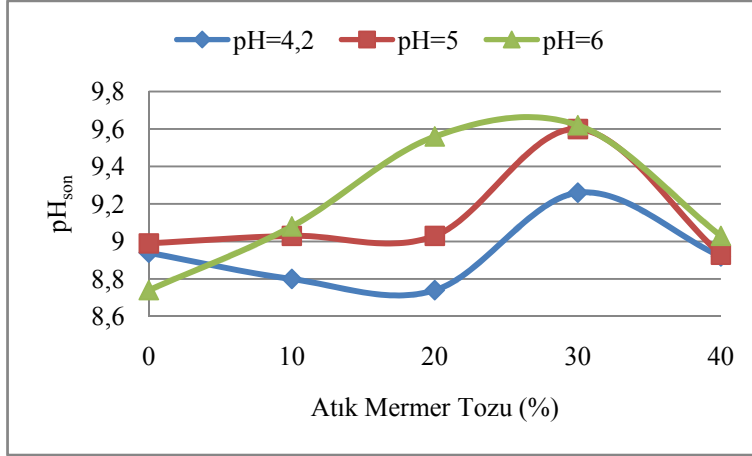
Şekil 4.54. Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

Başlangıç pH değeri 6 olan ekstraksiyon işlemleri sonunda pH_{son} değeri diğerlerine nazaran daha yüksek olarak gözlenmiştir. pH=5 ve 6'daki çözeltilerin ekstraksiyon sonrası pH_{son} değerlerinde sürekli artış gözlenirken pH=4,2'nin %20'lik Traverten toz atık oranında, tüm toprak numunelerinde kısmi düşme gözlemlenmiştir.



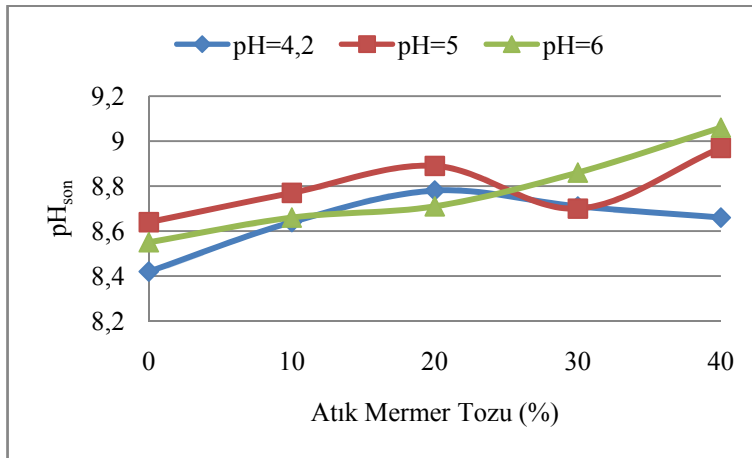
Şekil 4.55. Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

Traverten toz atıkları kullanıldığı ortamlarda Çevre Bakanlığının verdiği sınır değerlerin (Bkz. Çizelge 4.7) aşılmaması için ekstraksiyon sonrası pH_{son} değerinin 9,2'yi geçmeyeceği değerler baz alınmalıdır.



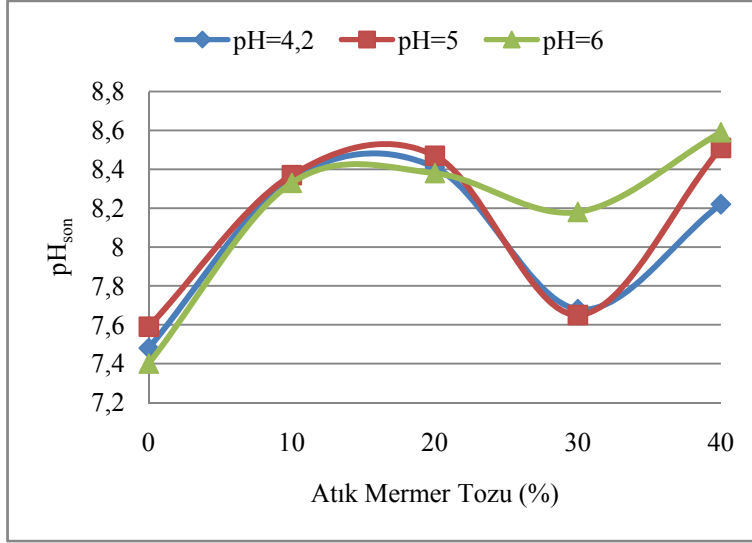
Şekil 4.56. Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

Burdur Beji Atık Toz Mermeri için: : Genel olarak ekstrakte edilen çözeltilerde pH_{son} değerinde artış görülmekle birlikte %30'da hafif düşme meydana gelmiştir. Travertene benzer şekilde 3 no'lu numunenin ekstraksiyon çözeltilisinde pH_{son} değeri daha yüksek olmuştur (Şekil 4.57, Şekil 4.58 ve Şekil 4.59).



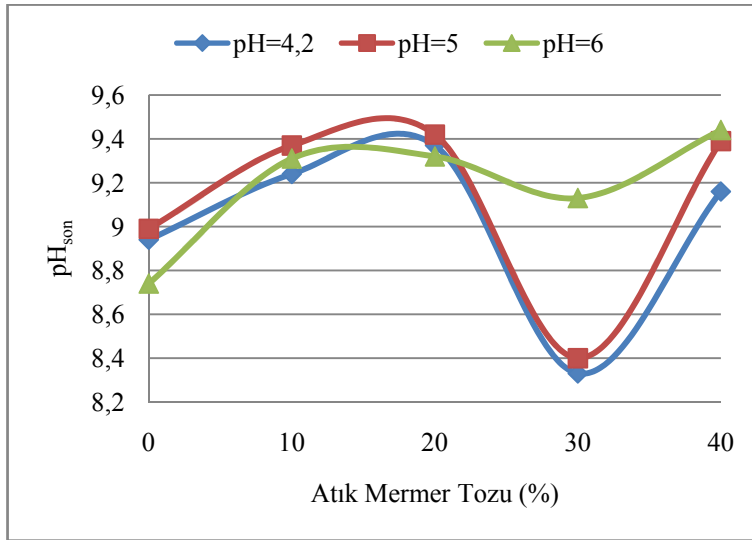
Şekil 4.57. Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

İlk pH'sı 6 olan çözeltilerin ekstraksiyon sonrası diğerlerine oranla daha yüksek pH_{son} değerleri verdiği, pH=4,2'lik çözeltinin ise daha düşük olduğu görülmektedir.



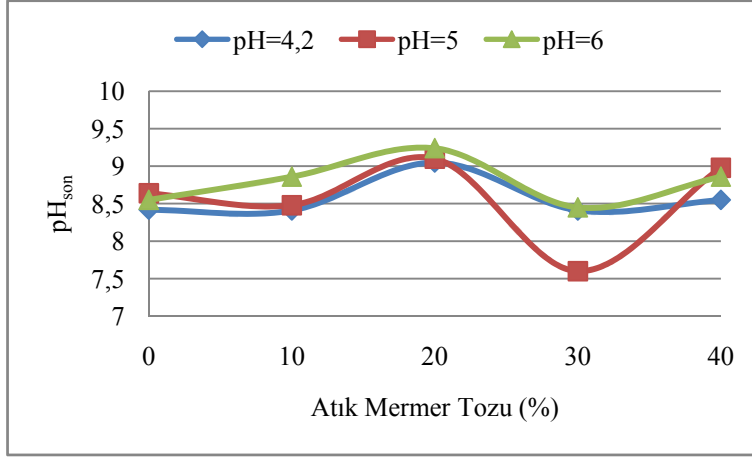
Şekil 4.58. Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

Travertene benzer şekilde Burdur Beji toz atıklarının kullanımında ekstrakte olan çözeltinin pH_{son} için sınır değer (9,2)'ini (Bkz. Çizelge 4.7) aşmamasına dikkat edilmelidir.



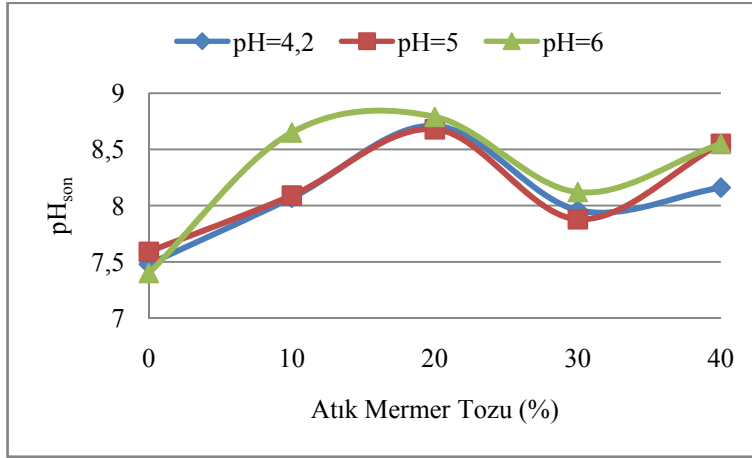
Şekil 4.59. Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

Afyon Beyazı Atık Toz Mermeri için: Tüm numunelerde ekstrakte edilen çözeltide pH_{son} değerlerinde artış görülmekle birlikte %20 ve %40'larda maksimum pik değerler gözlemlenmiştir. Diğer iki toz atık gibi 3 no'lu numunede ekstraksiyon sonunda pH_{son} değeri daha yüksek olmuştur (Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62).



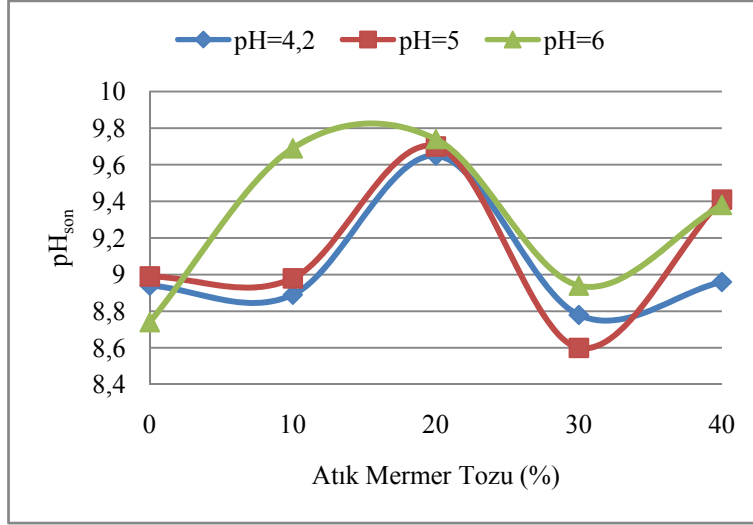
Şekil 4.60. Afyon Beyazı içeren 1 no’lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

İlk pH’sı 6 olan ekstraksiyonların diğerlerine oranla daha fazla pH_{son} değeri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.61. Afyon Beyazı içeren 2 no’lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

pH_{son} ’nun sınır değer olan 9,2’yi geçmemesi için %30 oranında Afyon Beyazı toz atıklarının kullanılması daha uygun olacaktır.



Şekil 4.62. Afyon Beyazı içeren 3 no’lu toprak numunesi pH_{son} liç grafiği

Sonuç olarak: liç ekstraksiyonları sonunda pH_{son} değerlerinde Okagbue ve Onyeaobi, (1999)’nin belirttiği gibi kimyasal tepkimeler nedeniyle genel bir artış olmuştur. Traverten için %10 civarında toz atık kullanılması, Afyon Beyazı ve Burdur Beji için %30 civarında kullanılması çevresel açıdan ekstrakte olan çözeltinin pH_{son} değerini daha fazla düşürecektir. İlk pH’sı 6 olan ekstraksiyonların diğerlerine oranla daha fazla pH_{son} değeri verdiği görülmektedir. 3 no’lu kum ağırlıklı toprak numunesinin pH_{son} değeri daha yüksek olmuştur.

Genel olarak:

Mermer toz atıkları yol inşaatında değerlendirildiği zaman, pH_{son} değerlerinin risk sınırını (Bkz. Çizelge 4.7) aşabileceği ve sistemin bazik hale gelebileceği gözlemlenmiştir (Delgado vd. 2006). Bu durum mermer tozlarının kireçtaşı tabanlı olmasından kaynaklanmaktadır. Yani CaOH ve MgOH içerisindeki OH⁻ iyonları sistemin bazikleşmesine neden olmaktadır (Okagbue ve Onyeaobi, 1999). Genel liç ekstraksiyon sonuçlarına bakıldığında sınır değerlerin çok fazla aşılmadığı gözlemlenmektedir.

Ca²⁺ ve Mg²⁺ değerleri hem saf mermer çamurunda hem de liç ekstraksiyonlarında risk sınırlarını aşmamıştır (Bkz. Çizelge 4.7). Bu mermer tozlarının temel yapısını

(CaCO₃) oluşturan Ca²⁺'nın mükemmel bileşikler oluşturduğu ve su içerisinde iyonlaşma meydana getirmedigini göstermektedir (Okagbue ve Onyeaobi, 1999).

Co²⁺ değerlerinin saf mermer çamurunda risk oluştururken liç ekstraksiyonlarında risk oluşturmadığı (Bkz. Çizelge 4.7) görülmüştür. Toprak numuneleri ve kireçtaşları (mermer tozları) ile kimyasal tepkimeleri sonucu miktarının daha da düştüğü görülmektedir. Bu durum toz atıklarının Co²⁺ iyonlarını tuttuğunu göstermektedir.

KOI ve Cr⁶⁺ için toprak numuneleri ile yapılan analizlerde mermer atık amurlarının tümünden %0 oranında liç ekstraksiyonu elde edilmiştir. Bu analizlerden aşağıdaki yorumlar çıkartılabilir:

Yapılan analizlerde KOI, mermer çamurlarında çok az bulunmakla birlikte mermer amurlarının kireç özelliği göstermesi nedeni ile organik maddeler stabil halde çamurun bünyesinde kalmakta ve liç edilememektedir. Bu kullanım zararlı organik maddeleri tutması nedeni ile büyük avantajdır.

Cr⁶⁺, mermer atık sularının aşındırması ile makinelerin elik aksamından gelebilecek bir maddedir. Ancak mermer fabrikalarında oluşan miktarın yapılan analizlere göre, ölçüme girmeyecek kadar düşük olduğu tahmin edilmektedir.

4.4. Mermer Parça Atıkları için Uygulanan Deneylerden Elde Edilen Bulgular

4.4.1. Elek Analizi

Elek analizinden elde edilen sonuçlarda (izelge 4.8), Afyon Beyazı'nın Tip C kategorisindeki şartnameye çok daha uygun özelik gösterdiği görülmektedir (Yollar Fenni şartnamesi, 2002). Traverten ve Burdur Beji ise Tip C'ye yakın özellik göstermekle birlikte boyut yapıları, birbirine benzemektedir.

Çizelge 4.8. Mermer parça atıkları elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı		Toplam Elekten Geçen %			
inc	mm	Traverten	Burdur Beji	Afyon Beyazı	Tip C
1	25	100	100	100	100
$\frac{3}{4}$	19	84	84,4	85,7	50-85
$\frac{3}{8}$	9,5	51,8	51,2	55,6	35-65
No. 4	4,75	28,5	24,5	36,7	25-60
No. 10	2,00	14,7	9,2	23,5	15-30
No. 40	0,425	11,2	7,0	15,6	0-12
No. 200	0,075	3,5	2,2	7,9	0-3

4.4.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdesi Değerleri

İri agregaların özgül ağırlık değerlerinin tespiti için yapılan deney sonuçlarında (Çizelge 4.9), Afyon Beyazı mermer parça atıkları en yüksek özgül ağırlığa sahip iken Burdur Beji özgül ağırlığı da Afyon Beyazı'na yakın olarak bulunmuştur. Traverten ise gözenekli yapısı nedeni ile en düşük değeri vermiştir.

Su emme yüzdelерinde özgül ağırlık deney sonuçları aksi değerler vermiş; en yüksek su emme değeri yine gözenekli yapısından dolayı Travertende görülmüştür.

Çizelge 4.9. Mermer parça atıkları iri agreganın özgül ağırlık değerleri

	İRİ MALZEME			
		Afyon Beyazı	Burdur Beji	Traverten
Kuru ağırlık (g)	A	2493,7	2486,5	2475,7
Kuru ağırlık doymuş yüzey (g)	B	2524,5	2524,8	2527,1
Sudaki ağırlık (g)	C	1574,5	1568,4	1530,0
Hacim özgül ağırlığı (Kuru) (g/cm ³)	A/(B-C)	2,6	2,6	2,5
Hacim özgül ağırlığı (Doymuş yüzey) (g/cm ³)	B/(B-C)	2,65	2,64	2,53
Zahiri (Görünür) özgül ağırlık (g/cm ³)	A/(A-C)	2,7129	2,7083	2,6178
Su emme yüzdesi (%)	(B-A)/A	0,0124	0,0154	0,0208

İnce agrega özgül ağırlık deney sonuçlarında (Çizelge 4.10), Afyon Beyazı ve Burdur Beji birbirine çok yakın değerler gösterirken Traverten iri agregalara benzer şekilde nispeten düşük sonuç vermiştir. Bunun yanında iri agregalara göre Afyon Beyazı, Burdur Beji'ne göre kristalize tanelerin yapısından dolayı daha düşük değerdedir. Traverten ise iri agregalara göre gözenek yapısı, malzeme tane boyutu küçüldükçe küçüleceğinden özgül ağırlık değeri yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.10. Mermer parça atıkları ince agrega özgül ağırlık değerleri

	İNCE MALZEME			
		Afyon Beyazı	Burdur Beji	Traverten
Piknometre boş ağırlığı (g)	a	134,8	123,4	141,3
Piknometre suyla dolu ağırlığı (g)	b	632,3	620,9	638,6
Piknometrenin içinde kuru numuneyle birlikte ağırlığı (g)	c	650,8	624,9	630,4
İçinde numune olan piknometrenini, numune üzerinde kalan kısmı suyla doldurulduktan sonraki ağırlığı (g)	d	957,2	936,7	944,5
Görünür (zahiri) özgül ağırlık (g/cm ³)	(c-a)/((b-a)-(d-c))	2,7002	2,7006	2,6698

Özgül ağırlık değerlerine göre bakıldığında her üç atık malzeme de 2,66-2,72 g/cm³ arasında değişen iyi değerler vermiştir.

4.4.3. Proctor Değerleri

Proctor deney sonuçlarında; Afyon Beyazı su muhtevası yüksek olsa da Burdur Beji ile yaklaşık aynı değerde maksimum kuru yoğunluk vermiştir. Afyon Beyazı ile Burdur Beji arasındaki bu küçük farkın Afyon Beyazı parça atıklarının kristalize yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Traverten ise gözenekli yapısından dolayı daha çok su muhtevası ve düşük maksimum kuru yoğunluk göstermiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Mermer parça atıkları Proctor değerleri

Malzeme	Maksimum Kuru Yoğunluk g/cm ³	Optimum Su Muhtevası %
Traverten	0,880	7,25
Burdur Beji	0,910	6,60
Afyon Beyazı	0,909	6,92

Proctor sonuçlarına göre her üç malzeme de yüksek değerler verirken Traverten diğer iki parça atığa oranla hafif düşük değer göstermiştir.

4.4.4. Los Angeles Aşınma Yüzdesi Değerleri

Los Angeles aşınma deneyinde elde edilen sonuçlara göre; tüm numuneler Yollar Fenni Şartnamesi (2002) şartlarını ($\leq\%40$) sağlamakta olup Burdur Beji parça atıklarının en yüksek aşınma direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Traverten Burdur Beji'ne göre nispeten düşük özgül ağırlığa sahip olması ve daha yumuşak bir yapı göstermesi nedeni ile aşınma direnci de düşük olmuştur. Afyon Beyazı ise en yüksek özgül ağırlığa sahip olmasına rağmen kristalize yapısından dolayı en düşük aşınma direnci gösteren malzeme olmuştur (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Mermer parça atıkları Los Angeles aşınma değerleri

Malzeme	Aşınma Miktarı / 100 Devir %	Aşınma Miktarı / 500 Devir %
Traverten	8,6	30
Burdur Beji	5,4	22
Afyon Beyazı	12,5	35

TSE 706 (1980)'da bu 500 dönüş için % 50 den daha az olması istenmektedir. Los Angeles deney sonuçlarına göre; her üç mermer parça atığı da temel malzemesi standartlarının altında değer gösterdiği için kullanılabilir. Bununla birlikte

malzemeden malzemeye aşınma değerleri değişkenlik gösterdiği için (Akbulut ve Gürer, 2007), uygulama aşamasında test edilmesi uygun olacaktır.

4.4.5. Donma-Çözülme Değerleri

Magnezyum sülfat ($MgSO_4$) donma-çözülme deneyi sonuçları özgül ağırlık deneyi sonuçlarına uyumlu olarak en az kaybı Afyon Beyazı vermiştir. Akbulut ve Gürer (2007)'in Afyon Beyazı için verdiği sonuca yakın donma çözülme değerleri elde edilmiştir. Burdur Beji'nin donma kaybı değeri Yollar Fenni Şartnamesi (2002) şartlarını (≤ 15 'lik) zorlarken Traverten şartname sınırlarını aşmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Mermer parça atıkları magnezyum sülfat donma-çözülme kayıpları

Malzeme	$MgSO_4$ Donma Kaybı %
Traverten	16,0
Burdur Beji	14,1
Afyon Beyazı	12,2

Donma-çözülme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre; Traverten parça atıkları kısmen çok az da olsa sınırı aştığı için don alan bölgelerde kullanılmaması daha uygundur. Diğer iki tür malzeme ise her ortamda kullanılabilir.

4.4.6. CBR

Kaliforniya taşıma oranı değerleri her üç numune içinde Yollar Fenni Şartnamesi (2002) değerinin (≥ 100) üzerinde iyi sonuç vermiştir. En yüksek CBR değerini Afyon Beyazı verirken en düşük değeri Traverten göstermiştir. Ancak değerler arasında çok da fazla bir değişim yoktur (Çizelge 4.14).

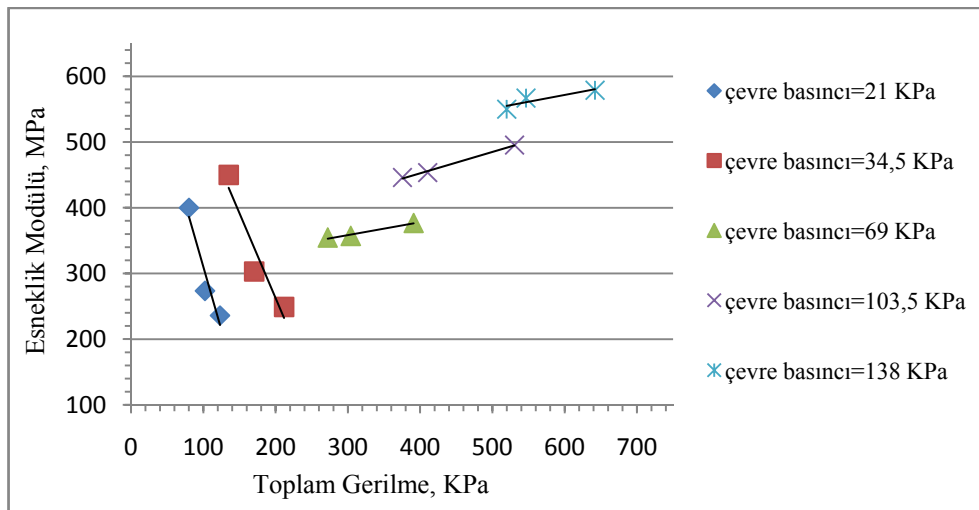
Çizelge 4.14. Mermer parça atıkları CBR değerleri

Malzeme	CBR Değeri %
Traverten	119,87
Burdur Beji	121,09
Afyon Beyazı	122,3

4.4.7. Dinamik Üç Eksenli Deney Bulguları

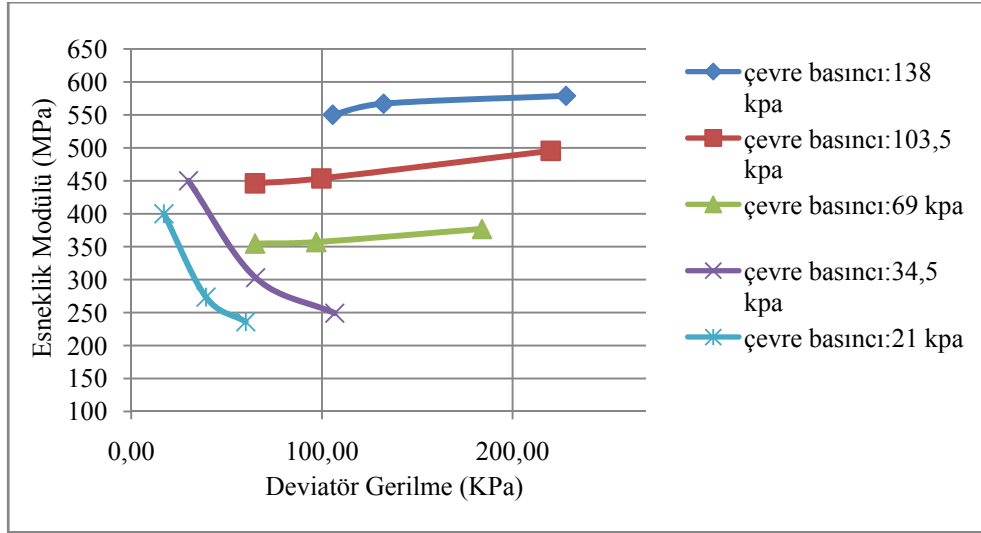
Üç eksenli tekrarlı basınç deneyi sonuçlarında, Mermer parça atıkları için yapılan deneylerde elde edilen esneklik modülü (M_r), toplam gerilme (θ), ve çevre basıncı (σ_c) değerleri aşağıda verilmiştir:

Afyon Beyazı parça atıkları üzerinde 21 ve 34,5 KPa’lık çevre basınçlarında, toplam gerilme numune üzerinde artırılmasına rağmen çevre basıncı kısmen düşük olması nedeniyle esneklik modülünde yaklaşık 200 MPa bir düşüş meydana gelmiş ve numunenin gerilmesi de 200 MPa civarına düşmüştür. 69-103,5 ve 138 KPa’lık çevre basınçlarında ise yaklaşık 20-60 MPa arasında artışlar göstermiş ve son esneklik modül değeri 600 MPa’ya yaklaşmıştır (Şekil 4.63).



Şekil 4.63. Afyon Beyazı parça atıkları toplam gerilme-esneklik modülü değerleri

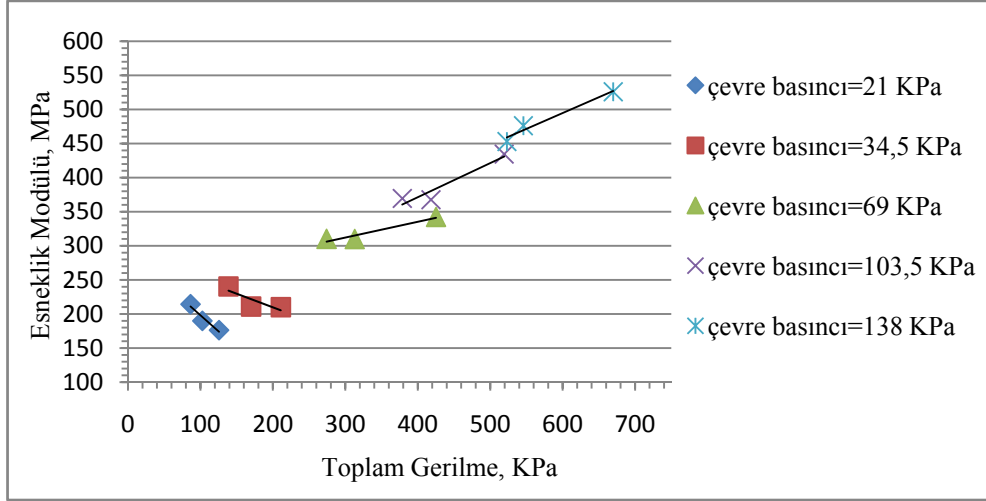
Deviatör gerilmenin artması Afyon Beyazı parça atıklarının esneklik modülünü toplam gerilmeye benzer şekilde artırmıştır. Deviatör gerilmenin çevre basıncı ile de doğru orantılı olduğu görülmektedir. 21 ve 34,5 KPa’lık düşük çevre basınçlarında, toplam gerilme de olduğu gibi deviatör gerilme azalmakta; çevre basıncı arttıkça (69-138 Kpa) deviatör gerilme artmaktadır (Şekil 4.64).



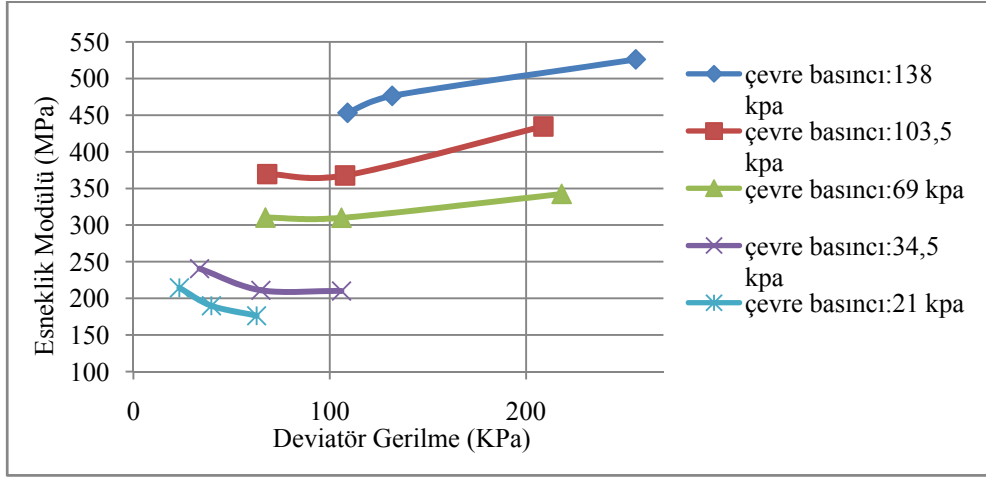
Şekil 4.64. Afyon Beyazı parça atıkları esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği

Burdur Beji parça atıklarının deney sonucunda 21 ve 34,5 KPa’lık çevre basınçlarında yaklaşık 50 MPa’lık bir düşüş meydana gelmiştir ve esneklik modülü 170–200 MPa arasına inmiştir. 69-103,5 ve 138 KPa’lık çevre basınçlarında ise 50-80 MPa arasındaki artışlar ile esneklik modülü yaklaşık 540 MPa’a yükselmiştir. Afyon Beyazı parça atıklarına göre toplam gerilme artışları daha dikey iken düşük çevre basınçlarındaki azalma da küçük olmuştur. Ancak Afyon Beyazı’na göre esneklik modülü değerleri kısmen daha düşüktür (Şekil 4.65).

Burdur Beji parça atıklarının deviatör gerilmesi de Afyon Beyazı’na benzemekle birlikte toplam gerilme gibi deviatör gerilme arttıkça, düşük çevre basınçlarındaki azalma daha küçük, yüksek çevre basınçlarında ise daha büyük olmuştur. Bununla birlikte M_r değeri Afyon Beyazı’ndan nispeten düşük kalmıştır (Şekil 4.66).

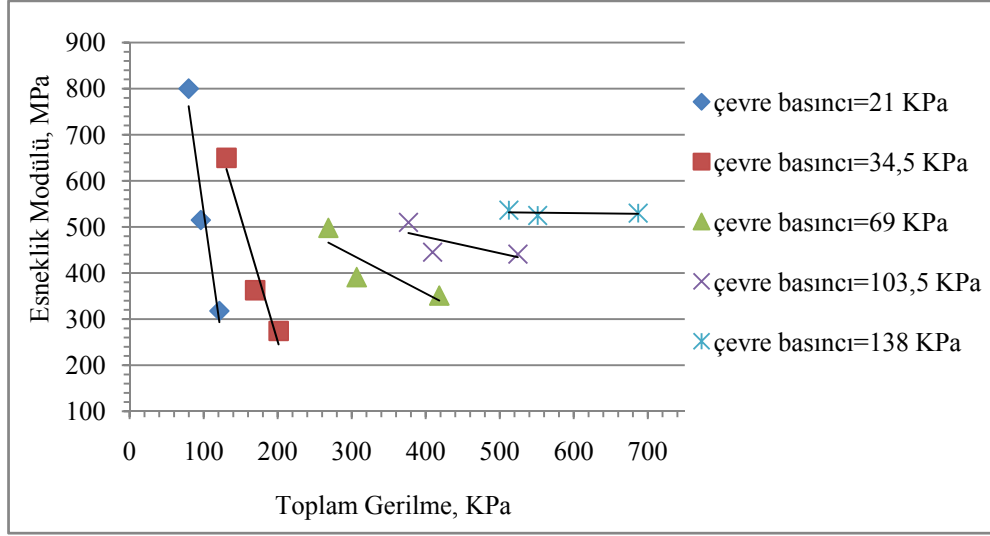


Şekil 4.65. Burdur Beji parça atıkları toplam gerilme-esneklik modülü değerleri



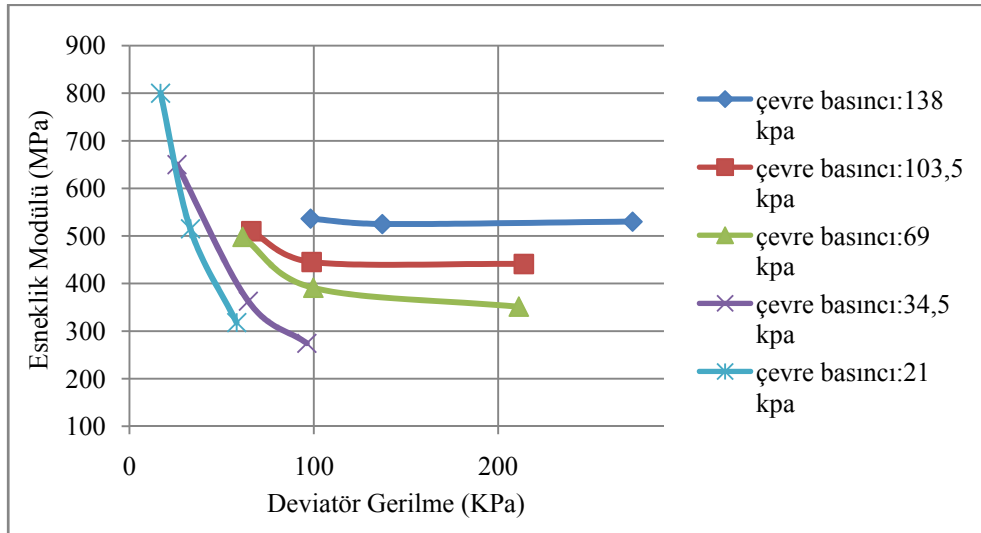
Şekil 4.66. Burdur Beji parça atıkları esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği

Traverten parça atıkları 21-34,5 KPa'lık çevre basınçlarında toplam gerilme artmasına rağmen esneklik modülü yaklaşık 400-450 MPa'lık hızlı bir düşüş sergilemiştir. 69-103,5 KPa'lık çevre basınçlarında ise esneklik modülünde düşme devam etmekle birlikte daha az (yaklaşık 70-120 MPa) olmuştur. 138 KPa'lık çevre basıncında ise artış sabit olmuş ve 540 MPa'larda kalmıştır (Şekil 4.67).



Şekil 4.67. Traverten parça atıkları toplam gerilme-esneklik modülü değerleri

Traverten parça atıkları deviatör gerilme artmasına rağmen düşük çevre basınçlarında Mr değerinde çok hızlı bir azalma meydana gelmiş. Çevre basıncı arttıkça diğer iki mermer parça atıklarından farklı olarak Mr değerinde çok az da olsa düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.68).



Şekil 4.68. Traverten parça atıkları esneklik modülü-deviatör gerilme grafiği

Genel olarak:

Çevre basıncı ve Esneklik modülü düşük olması beklenen yollarda; Toplam gerilme artmasına rağmen esneklik modülünde çok fazla bir değişim göstermediği için Burdur Beji parça atıkları tercih edilebilir.

Çevre basıncı düşük esneklik modülü orta derece de olması beklenen yollarda; esneklik modülündeki değişimi kısmen fazla da olsa Afyon Beyazı tercih edilebilir.

Çevre basıncı ve esneklik modülü yüksek olması beklenen yollarda; her ne kadar Traverten kullanılabilir görünse de esneklik modülündeki değişim (azalma-artma) yüksek olması nedeniyle kullanılmaması daha uygundur.

Çevre basıncı yüksek (69-103,5-138 KPa) olan yollarda Afyon Beyazı ve Burdur Beji parça atıkları kullanılabilir. Her ikisinde de toplam gerilme artırımı ile esneklik modülü de artmaktadır. Traverten ise negatif durumdadır; çevre basıncının artması esneklik modülünde azalmaya neden olmuştur. Ancak 138 KPa'da denge oluşmuş, toplam gerilme artmasına rağmen esneklik modülü sabit kalmıştır. Bu çevre basıncında traverten diğer iki tür parça atıkların değerinde esneklik modülüne sahip olsa da temel malzemesi olarak kullanılmaması emniyet açısından daha uygundur.

Elde edilen analiz sonuçlarında toplam gerilme ile deviatör gerilmenin birbirine benzer grafiksel görünümler verdiği ve deviatör gerilme ile çevre basıncının birbiri ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.

4.5. Maliyet Analizlerinden Elde edilen Bulgular

4.5.1. Mermer Toz Atıkları Maliyet Bulguları

Toprakların stabilizasyonu uygulamasının farklı madde ve atıklar ile yurt dışı birim fiyatları EK-7'de gösterilmiştir (Bkz. Çizelge 7.2). Sayısal veriler Bölüm 2.5.1'den alınmıştır. Kur 1\$=1,32 YTL olarak hesaplanmış ve hesaplarda kullanılan özgül

ağırlık değerleri, toprak numuneleri için deneyde kullanılan numunelerin ortalaması olan 2,53 t/m³ alınmıştır (Bölüm 4.1.1). Özgül ağırlık, mermer toz atıkları ve toprak numuneleri karışım oranına göre uyarlanmıştır. Karışım miktarı 4. Bölüm'deki elde edilen optimum bulgulara göre ortalama %20 olarak alınmıştır.

EK-7'deki maliyet tablolarına ve Karayolları'nın değerlerine göre karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Toz atıkların birim maliyet karşılaştırması

Malzeme	Malzeme birim ve malzeme maliyeti (YTL/t)
Portland Çimento	379,3
Kireç Tozu	312,6
Uçucu Kül	37
Mermer Toz Atıkları	3,51

Elde edilen sonuçlara göre mermer toz atıklarının yol zeminine uygulama maliyetinin çok daha uygun olduğu gözükmemektedir.

4.5.2. Mermer Parça Atıkları Maliyet Bulguları

4.5.2.1. Birim Maliyet Değerleri

Doğal Agrega Birim Maliyeti:

Doğal agrega maliyetinde; taş ocağından patlayıcı madde kullanılarak çıkartılan moloz taşın maliyeti, ocaktan çıkan taşın kompresörle veya elle hazırlanması, lastik tekerlekli yükleyici ile yüklenmesi, konkasörde kırılması-elenecek sınıflandırılması, taşıma aracına yüklenmesi ve inşaat sahasına nakliyesi dikkate alınmıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Doğal agreganın birim maliyet analizi

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : Doğal Agregalı Analizi					
Açıklama : Taş ocağından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 inç) lik temel malzemesi maliyeti					
Birim : m³					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	Fiyatı	Toplam (YTL)
	36,4294% MALZEME				12,08
04.001/A	Ocak taşı	m ³	1	12,08	12,08
	6.9662% İŞÇİLİK				2,31
01.409	Formen	sa	0,25	5,9	1,48
01.501	Düz işçi	sa	0,3	2,75	0,83
	15.1689% MAKİNA				5,03
03.521	Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti	sa	0,03	37,73	1,13
03.530	Konkasörün 1 saatlik ücreti (Primer 15x24 inç+sekonder 24x16 inç eleme ve yükleme tertibatı)	sa	0,045	86,59	3,9
	41.4355% DİĞER				13,74
08.021/K	El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması (Balast, blokaj yol ve beton için kırma taş, mıcır)	m ³	1	13,29	13,29
02.017	"k" katsayısı (taşıt)	K	0,00375	120	0,45
				Toplam	33,16
				Yüklenici Karı %25	8,29
				Genel Toplam	41,45

Doğal agregadan imal edilen 1m³ temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti 41,45 YTL olarak hesap edilmiştir. Doğal agreganın yığın birim ağırlığı ortalama 1,6 t/m³ olarak alınırsa, 1 ton temel malzemesinin birim maliyeti 25,91 YTL'dir.

Mermer Parça Atıkları Birim Maliyeti:

Mermer Parça Atıkları maliyeti olarak; lastik tekerlekli yükleyici ile yüklenmesi, konkasörde kırılması, elenerek sınıflandırılması, taşıma aracına yüklenmesi ve inşaat sahasına nakliyesi dikkate alınmıştır (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Mermer parça atıklarının birim maliyet analizi

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : Cüruf Analizi					
Açıklama : Cürufuktan konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 inç) lik temel malzemesi maliyeti					
Birim : m³					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	Fiyatı	Toplam (YTL)
	0,0% MALZEME				-
	-				-
	10.9582% İŞÇİLİK				-
	23.8615% MAKİNA				5,03
03.521	Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti	sa	0,03	37,73	1,13
03.530	Konkasörün 1 saatlik ücreti (Primer 15x24 inç+sekonder 24x16 inç eleme ve yükleme tertibatı)	sa	0,045	86,59	3,9
	65.1802% DİĞER				13,74
08.021/K	El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması (Balast, blokaj yol ve beton için kırma taş, mıcır)	m ³	1	13,29	13,29
02.017	"k" katsayısı (taşıt)	K	0,00375	120	0,45
				Toplam	18,77
				Yüklenici Karı %25	4,69
				Genel Toplam	23,46

Mermer parça atıkları imal edilen 1 m³ temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti 23,46 YTL olarak hesap edilmiştir. Mermer parça atıklarının yığın birim ağırlığı ortalama 1,56 t/m³ (Bkz. Bölüm 4.4.2) olarak alınırsa, 1 ton temel malzemesinin birim maliyeti 15,04 YTL'dir.

Yapılan birim maliyet hesabı neticesinde görülmüştür ki, Mermer parça atıklarının birim maliyeti doğal malzemeye göre daha düşük çıkmaktadır.

4.5.2.2. Nakliye Maliyetleri ve Ekonomik Taşıma Uzaklığı

Nakliye maliyetleri, doğal ve atık malzemelerde aynı eşitlik kullanılacağı için en önemli etken taşıma uzaklığıdır. Taşıma maliyeti 10 km'ye kadar mesafelerde kullanılan aşağıdaki eşitlikteki köklü ifade nedeniyle, uzaklığın üslü formu ile tanımlanmaktadır. 10km'den daha uzak taşımalar için maliyet, uzaklık ile doğrusal ilişki içindedir (Bkz. Şekil 2.27).

M km'lik taşıma uzaklığı için nakliye maliyeti:

- 1) $M < 10$ km. olan taşımalar için eşitlik 3.3'den $A=1$ ve $K=120$ için;

$$F = 1.120 \cdot (0,00017 \cdot \sqrt{M}) = 0,0204 \cdot \sqrt{M} \text{ (YTL/t)} \quad (4.2)$$

- 2) $M > 10$ km olan taşımalar için eşitlik 3.4'den $A=1$ ve $K=120$ için;

$$F = 1.120 \cdot (0,0007M + 0,01) = (0,084M + 1,2) \text{ (YTL/t) Olur.} \quad (4.3)$$

Taşıma maliyetlerine %25 yüklenici karı ve yükleme-boşaltma bedeli ayrıca ödenir.

Doğal agregadan imal edilen 1 ton temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti 25,91 YTL olarak bulunmuştur. Mermer atıklarının imal edilen 1 ton temel malzemesinin nakliye hariç birim maliyeti de 15,04 YTL olarak bulunmuştur (Bkz. Bölüm 4.6.2.1).

1 ton temel malzemesi için fiyat farkı: $25,91 - 15,04 = 10,87$ YTL olur.

İki malzeme arasındaki bu birim fiyat farkının taşıma uzaklığı olarak kaç kilometreye karşılık geldiğini hesap edilirse:

Öncelikle yukarıda bulunan nakliye maliyetine %25 yüklenici karını ve yükleme-boşaltma bedeli eklemek gerekir. Yükleme-boşaltma bedeli olarak, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2007 yılı Birim Fiyat Analizlerinden 09.005/1 No’lu poz “Moloz, blokaj, kırma taş, balast, kaldırım taşının taşıtlara yükleme ve boşaltılması” kullanılmaktadır.

09.005/1 Yükleme-boşaltma maliyeti (2007 Yılı) : 3,44 YTL/m³ dür.

Bu değer “ton” cinsinden ifade edilirse $3,44/1,56 = 2,20$ YTL/t olur.

(Mermer atıklarının birim ağırlığı 1.56 t/m³)

Bu durumda yeni taşıma formülü;

$$F = (0,084.M + 1,2).1,25 + 2,20 \text{ şeklini alır.} \quad (4.4)$$

Buradaki F taşıma maliyetini, 1 ton temel malzemesi için bulunan fiyat farkına eşitlenerek, M taşıma uzaklığı hesaplanabilir.

$$F = (0,084.M + 1,2).1,25 + 2,20 = 10,87 \text{ YTL/t} \quad (4.5)$$

$$M = 68,21 \text{ km olarak bulunur.}$$

Bu taşıma uzaklığına mermer parça atıkları ve doğal agrega için başa-baş mesafesi diyebiliriz. Diğer bir anlatımla, mermer parça atıkları sahasına 68,21 km uzaklıktaki bir yol şantiyesi için, hemen şantiye yanında bir taş ocağı olsa dahi, 68,21 km uzaklıktan mermer parça atıkları getirerek kullanmak, doğal malzeme kullanımı ile aynı maliyeti vermektedir. Her yol şantiyesinin yanı başında bir taş ocağı olamayacağına göre mermer parça atıkları için ekonomik taşıma uzaklığı ($M_e > 68,21 \text{ km}$) bu değer in daha da üzerinde olacaktır.

68,21km’lik taşıma uzaklığı için mermer parça atıklarının toplam birim maliyet ise (nakliye dahil) $15,04+10,87 = 25,91$ YTL/t olur.

Bu atık malzemeler değerlendirilmeye başlandıktan sonra fabrika sahipleri ücretlendirme getirirse maliyet yükselecektir. Bunun yanında saha dolgu maliyetleri ise malzeme kullanıldığı takdirde sıfıra inecektir.

5. SONUÇ

Mermer toz ve parça atıklarının yol inşaatında değerlendirilebilirliği ile ilgili yapılan bu çalışmada üç temel konu incelenmiştir; yol ve zemin deneyleri ile yol inşaatına uygunluk, liç deneyleri ile toz atıkların çevreye etkisi ve maliyet analizleri ile de ekonomiklik.

Mermer Toz Atıkları; kil ve kil-çakıl içerikli zemin toprakları ile karışım yapıldığı zaman *plastisite* ve *permeabiliteyi* düşürdüğü ve *maksimum kuru yoğunluğu* artırdığı için %20 oranında stabilizasyonda kullanılabilir. Kumlu zeminler için toz atık miktarı %30-40'a kadar yükseltilebilir. Oran arttıkça, kumlu zeminler daha stabil hale gelmektedir. İlave edilen toz atıklar homojene yakın olursa daha iyi sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte toz atık tipi, zemin toprak malzemesi için gerekli ince tane boyut ölçüsüne ve miktarına göre değişiklik göstermesi nedeniyle, mermer toz atıklarının karışım yapılacağı zemin toprakları ile toz atık tipinin analiz edilmesi her zaman için çok daha uygun olacaktır.

Yol zemininde uygulandığı durumlarda *CBR* değerleri açısından toz atıklar, kil ve kil-çakıl ağırlıklı zemin topraklarında %10 civarında kullanılmalıdır. İnce taneli atıklar *CBR* değerlerini artırdığı için daha fazla tercih edilmelidir.

Toprak numuneleri ile yapılan mermer toz atıklarının karışımları *mukavemet* değerini genel olarak %10 civarında artırmaktadır. Proctor deney sonuçlarına benzer şekilde tane boyutu mukavemet üzerinde de etkilidir. İnce tane boyutu çok fazla olan atık çamurlar, ince tane boyutu yüksek olan toprak malzemelerde kullanılmamalıdır.

Liç Ekstraksiyonlarında; mermer toz atıklarının çevreye etkisinde, yalnızca pH 9,2'lik sınır değeri az bir miktar aşmaktadır. Mermer işletmelerinde kesim için kullanılan testerelerin toz atıkları yakması sonucu, yarım yanmış kireç özelliği göstermesi nedeniyle *krom* ve *organik madde* gibi kirleticileri bünyesinde tutup yer altı sularına bırakmadığı gözlemlenmiştir. *Kalsiyum* ise, toz atıkların özgül ağırlığı ve yüzde oranı arttıkça miktarı artmış, ancak sınır değeri geçmemiştir. *Magnezyum*,

kalsiyuma yakın özellikler göstermiş, toz atık ilavesine göre hemen hemen her oranda artmıştır. *Kobalt* da krom ve organik maddeye benzer şekilde toz atık-toprak numunesi karışımları içerisinde tutulmaktadır.

Yukarıda elde edilen tüm veriler dikkate alındığında; mermer toz atıklarının kullanım alanına göre %10–20 arasında zemin stabilizasyonunda kullanılması uygun olacaktır.

Mermer Parça Atıkları; genellikle kireçtaşı tabanlı olduğu için yol temel inşaatında kullanılabilir. Ancak Traverten gibi gözenekli, donma-çözülme değeri yüksek ve esneklik modülü değişimi fazla olan malzemeler, ikinci sınıf ve dona maruz kalmayan yollarda kullanılmalıdır.

Mermer Toz ve Parça Atıklarının Maliyet Analizinde; toz atıkların Portland çimento, kireç tozu veya uçucu kül gibi zemin stabilizasyonunda kullanılan malzemelerin yerine kullanıldığında en az 10 kat daha fazla tasarruf sağlayacağı yapılan hesaplamalar sonucu ortaya konmuştur. Mermer parça atıkları ise birim maliyette ton başına 10,87 YTL tasarruflu olduğu görünmektedir. Bu da 68.21 km uzaklıkta bir fabrikadan atıkları almak yakın bir ocak şantiyesinden malzeme almaktan daha uygun olduğunu göstermektedir. Atıkların değerlendirilmesi göz önünde bulundurulduğunda bu mesafe daha da artabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Acchar, W., Vieira, F.A., Hotza, D., 2006. Effect of Marble and Granite Sludge in Clay Materials. *Materials Science and Engineering, A* 419, 306–309.
- Agarwal, S.K., Gulati, D., 2006. Utilization of Industrial Wastes and Unprocessed Micro-fillers for Making Cost Effective Mortars. *Construction and Building Materials*, 20, 999–1004.
- Al-Abed, S.R., Hageman, P.L., Jegadeesan, G., Madhavan, N., Allen, D., 2006. Comparative evaluation of short-term leach tests for heavy metal release from mineral processing waste. *Science of the Total Environment*, 364, 14–23.
- Akbulut, H., Gürer, C., 2007. Use of Aggregates Produced from Marble Quarry Waste in Asphalt Pavements. *Building and Environment*, 42, 1921-1930.
- Almeida N., Branco, F., Santos, J.R., 2007. Recycling of Stone Slurry in Industrial Activities: Application to Concrete Mixtures. *Building and Environment*, 42, 810–819.
- Akdağ, O., N., Kırımhan, S., 1999. Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde Endüstriyel Katı Atık Durumu ve Geri Kazanımı. *D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1, 47-58.
- Anon, 1979. Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping, Part.I: Rock and Soil Materials. Report of the Commission of Engineering Geological Mapping of the IAEG, Bulletin of IAEG, 19, 364-371.
- ASTM C127, 2000. Standard Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate. ASTM International, 5p. USA.
- ASTM C131, 1996. Standard test method for resistance to abrasion of small size coarse aggregate by use of the Los Angeles machine, ASTM International, 4p. USA.
- ASTM C136, 2001. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, 5p. USA.
- ASTM D422, 2000. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM International, 8p. USA..
- ASTM D698, 2000. Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM International, 11p. USA.

- ASTM D1883, 2005 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils. ASTM International, 8p. USA.
- ASTM D2487, 2000. Standard Test Method for Engineering Purposes (unified classification system). ASTM International, 12p. USA.
- ASTM D3080, 2000. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. ASTM International, 7p. USA.
- ASTM D4254, 2006. Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density. ASTM International, 9p. USA.
- ASTM D4318, 2000. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. ASTM International, 14p. USA.
- ASTM D4491, 2000. Standard Test Method for Water Permeability of Geotextiles By Permittivity. ASTM International, 6p. USA.
- ASTM D4718, 2000. Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles. ASTM International, 3p. USA.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Analizleri, 2007. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Maliyet Tebliği.
<http://www.bayindirlik.gov.tr/turkce/birimbaslik.php?Birim=4&ID=73>.
Erişim Tarihi: 12.07.2007.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Taşıma Genel Şartnamesi, 1985. Başbakanlık Basımevi, 27s. Ankara.
- Beeghly, J.H., 2003. Recent Experience with Lime-Fly Ash Stabilization of Pavement Subgrade Soils. Base, and Recycled Asphalt, International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, 46p. Pittsburgh.
- Birgisdóttir, H., Bhander, G., Hauschild, M.Z., Christensen, T.H., 2007. Life cycle assessment of disposal of residues from municipal solid waste incineration: Recycling of bottom ash in road construction or landfilling in Denmark evaluated in the ROAD-RES model. Waste Management, 27, S75–S84.
- Büyüksağış, İ.S., 1995. Mermer İşleme Tesisleri Atıksularının Arıtım Yöntemleri ve Ekonomikliklerinin İncelenmesi. Türkiye I. Mermer Sempozyumu, Ankara, 69-76.

- Ceylan, H., 2000. Mermer Fabrikalarındaki Toz Mermer Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 43s. Isparta.
- Cengiz, O., Sener, E., Yagmurlu, F., 2006. A Satellite Image Approach to The Study of Lineaments, Circular Structures and Regional Geology in The Golcuk Crater District and Its Environs (Isparta, SW Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 155–163.
- Chuan, M., Shu, G., 1996. Solubility of Heavy Metals in a Contaminated Soil: Effects of Redox Potential and pH, Water, Air, and Soil Pollution. 90, 543-556.
- Crosta, G.B., Imposimato, S., Roddeman, D., Chiesa, S., Moia, F., 2005. Small Fast-Moving Flow-Like Landslides in Volcanic Deposits: The 2001 Las Colinas Landslide (El Salvador). *Engineering Geology*, 79, 185–214.
- Das, B.M., 1990. *Principles of Geotechnical Engineering*. PWS-Publishing Company, 665p. Boston.
- Delgado, J., Va'zquez, A., Juncosa, R., Barrientos, V., 2006. Geochemical Assessment of the Contaminant Potential of Granite Fines Produced During Sawing and Related Processes Associated to the Dimension Stone Industry. *Journal of Geochemical Exploration* 88, 24– 27.
- DIN18120-1, 1998. Laboratory Test for Determining the Coefficeent of Permeability of Soil. Vol 8.2. Variable-head permeameter tests, 18p. Berlin.
- DPT, 1996a. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu. Cilt 2, Yayın No: DPT: 2421-Ö.İ.K.: 480, 130s. Ankara.
- DPT, 1996b. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu. Cilt 3, Yayın No: DPT: 2434-Ö.İ.K.: 491, 90s. Ankara.
- Environmental Canada, 1990. Compendium of Waste Leaching Tests. Environmental Series, Report #EPS 3/HA/7. Canada.
- Fytianos, K., Tsaniklidi, B., ve Voudria, E., 1998. Leachability of Heavy Metals in Greek Fly Ash from Coal Combustion. *Environent International*, 24(4), 477-486.
- Hach, 1989. *Water Analysis Handbook*. Hach Company, 691s. Colorado, USA.
- Herbert, A., Chen, Y., Li, Y., ve Huang, P., 1995. Soil Partition Coefficients for Cd by Column Desorption and Comparison to Batch Adsorption Measurements. *Environmental Science and Technology*, 29, 1887-1891.

- Huat, B.B.K., Mail, S., ve Mohamed, T.A., 2005. Effect of Chemical Admixtures on the Engineering Properties of Tropical Peat Soils. Department of Civil Engineering, University Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia, American Journal of Applied Sciences 2 (7), 1113-1120.
- Ilıcalı, M., 1988. Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İ.T.U., 212s. İstanbul.
- Ilıcalı, M., Özen H., 2001. Asfalt ve Uygulamaları. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Bilimsel Yayın No:1, 280s, İstanbul.
- İpekoğlu, Ü., Tanrıverdi, M., 1997. Cevher Hazırlama. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 238, 215s. İzmir.
- Kabir, M.H., Taha, M.R., 2004. Assessment of Physical Properties of a Granite Residual Soil as an Isolation Barrier. EJGE, Vol 9, pp.0408.
- Karaşahin, M., Terzi, S., 2007. Evaluation of Marble Waste Dust in the Mixture of Asphaltic Concrete. Construction and Building Materials, 21, 616-620.
- LTPP Protocol P46, 1996. Resilient Modulus of Unbound Granular Base/Subbase Materials and Subgrade Soils, Long-Term Pavement Performance. Federal Highway Administration, 77p. Virginia.
- Mallela, J., Von Quintus, H., Kelly, P.E.ve Smith, L., 2004. Consideration of Lime-Stabilized Layers. In Mechanistic-Empirical Pavement Design, the National Lime Association, Arlington, 38p. Virginia.
- Mathis, H., 1997. Soil Modification and Soil Stabilization Utilizing Lime. Presented for Dravo Lime Company, 18p. Pittsburgh.
- Muntohar, A.S. ve Hantoro, G., 2000. Influence of Rice Husk Ash and Lime on Engineering Properties of a Clayey Subgrade. EJGE, Vol 5, pp. 19.
- Moon, V., Bradshaw, J., Smith, R., Lange W., 2005. Geotechnical Characterisation of Stratocone Crater Wall Sequences, White Island Volcano, New Zealand. Engineering Geology, 81, 146– 178.
- Okagbue, C.O., ve Onyeaobi, T.U.S., 1999. Potential of Marble Dust to Stabilite Red Tropical Soils for Road Construction. Engineering Geology, 53, 371-380.
- Onargan, T., Köse, H., 1997. Mermer. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 220, 209s. İzmir

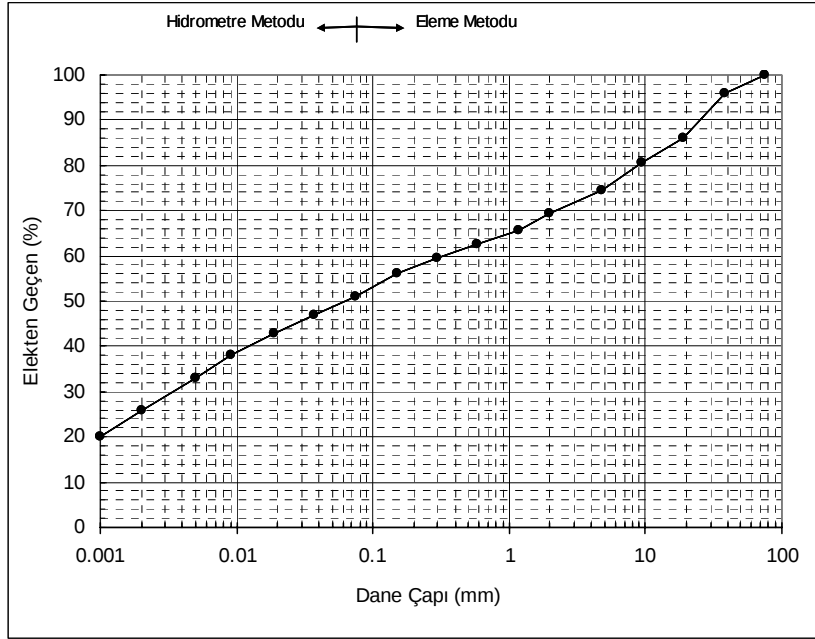
- Özaydın, V., 2002. Zemin Mekaniği Deney Talimatları ve Formları. DSİ Takk Dairesi Başkanlığı Zemin Mekaniği Laboratuvarı Şube Müdürlüğü, Yayın No: Z-955, 120s. Ankara.
- Pendowski, J.J., vd., 2003. An Assessment of Laboratory Leaching Tests for Predicting the Impacts of Fill Material on Ground Water and Surface Water Quality, Washington State Department of Ecology, Washington, Publication No. 107, 173. Washington, USA.
- Peters, R.W., 1999. Chelant Extraction of Heavy Metals from Contaminated Soils. Journal of Hazardous Materials, 66, 151-210.
- Prabakar,, J., Dendorkar, N., Morchhale, R.K., 2004. Influence of Fly Ash on Strength Behavior of Typical Soils. Construction and Building Materials, 18, 263-267.
- Saboya Jr., F., Xavier, G.C., Alexandre J., 2007. The Use of the Powder Marble by-product to Enhance the Properties of Brick Ceramic. Construction and Building Materials, 21, 1950-1960.
- Sarkar, R., Das, S.K., Mandal, P.K., Maiti, H.S., 2006. Phase and Microstructure Evolution During Hydrothermal Solidification of Clay-quartz Mixture with Marble Dust Source of Reactive Lime Journal of the European Ceramic Society, 26, 297-304.
- Segadães, A.M., Carvalho, T.M.A., Acchar, W, 2005. Using Marble and Granite Rejects to Enhance the Processing of Clay Products. Applied Clay Science, 30, 42-52.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Tarih: 31 Aralık Cuma 2004, Sayı: 25687.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ., Sarıışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi. S.D.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 242s. Isparta.
- Terzi, S., Karaşahin, M., 2003. Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı. Teknik Dergi, Cilt:14, sayı:2, sayfa: 2903-2922.
- Tosun, İ.Y., 1996. Mermer Toz Atıklarının Temizlenmesi. Doğal ve Kaplama Taşı Mermer Teknolojisi Dergisi, Sayı 1, 15-18.
- Townsend, T., Jang, Y., Tolaymat, T., 2003. Leaching Tests for Evaluating Risk in Solid Waste Management Decision Making. Final Report, Department of Environmental Engineering Sciences University of Florida, 149s. Gainesville, Florida.

- TS1500, 2000. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması. Türk Standartları Enstitüsü, 16s. Ankara.
- TS1900, 1987. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri. Türk Standartları Enstitüsü, 158s. Ankara.
- TS1901, 1975. İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, 88s. Ankara.
- TSE 266, 1980. İçilebilir Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü, 20s. Ankara.
- TSE 706, 1980. Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, 14s. Ankara.
- TSE EN1367-2, 1999. Agregaların Termal Bozunma Özellikleri İçin Deneyler. Bölüm 2; Magnezyum Sülfat Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, 11s. Ankara.
- USEPA, 1989b. Performance Testing of Method 1312 QA Support for RCRA Testing. Project Report, EPA/600/4-89/022. Prepared by Lockheed Engineering and Sciences Company, 30s. Las Vegas, NV.
- USEPA, 1996a. Test Methods for Evaluating Solid Wastes. SW-846, 3rd Ed., U.S. EPA Office of Solid Waste and Emergency Response, 291s. Washington, D.C.
- USEPA, 1999. Waste Leachability: The Need for Review of Current Agency Procedures. Science Advisory Board Environmental Engineering Committee, EPA-SAB-EEC-COM-99-002, Office of Solid Waste and Emergency Response, 37s. Washington D.C.
- Van der Sloot, H.A., 2002. Characterization of the Leaching Behaviour of Concrete Mortars and of Cement-Stabilized Wastes with Different Waste Loading for Long Term Environmental Assessment. Waste Management, 22, 181-186.
- Van der Sloot, H.A., Heasman, L., 1997. Harmonization of Leaching Extraction Tests. Elsevier, 281p. Vegas, NV.
- Vijayalakshmi, V., Singh, S., Bhatnagar, D., 2001. Marble Slurry: A New Resource Material For Entrepreneurs, Science Tech Entrepreneur Project, 9, India.
- Yıldız, Ö., Eşikaya, Ş., 1995. Afyon Mermeri Toz Atıklarının Değerlendirilmesi. Türkiye I. Mermer Sempozyumu, 1, 45-52.

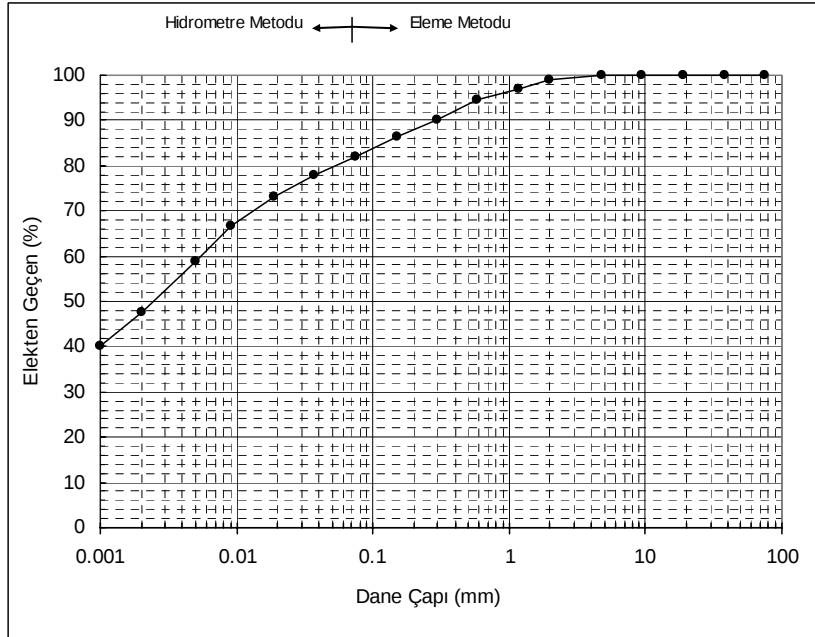
- Yılmaz, I., Erzin, Y., 2004a. Selection of Core Material for an Earth Dam in the Lower Çekerek Basin, Tokat, Turkey. EJGE, Bundle: F, pp. 0472.
- Yollar Fenni Şartnamesi, 2002. TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Yayın No.170/2, 435s. Ankara.
- Yong, R.N., Mohamed M.O., Warkentin, B.P., 1992. Principles of Contaminant Transport in Soils, Elsevier, 328p, Amsterdam.

EKLER

EK-1

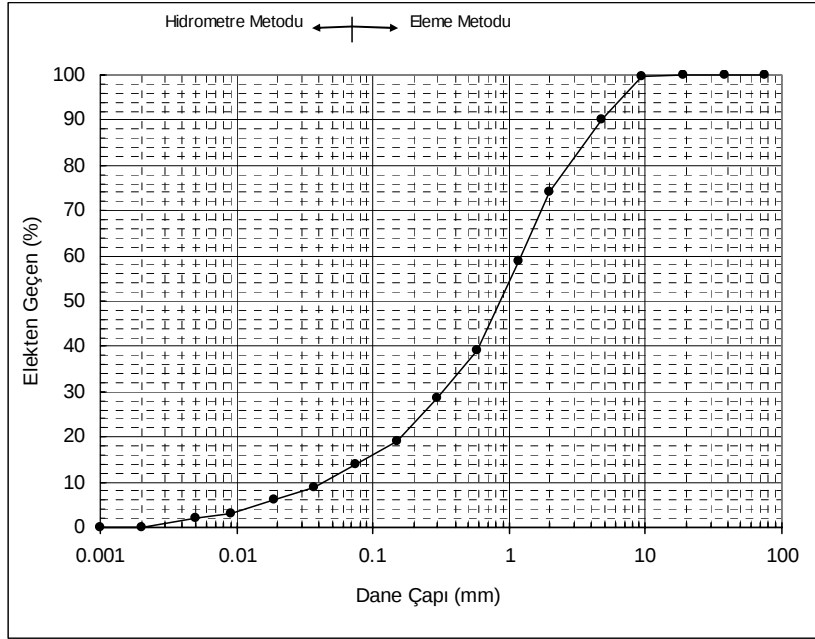


Şekil E.1. Toprak numunesi-1 granülometri eğrisi

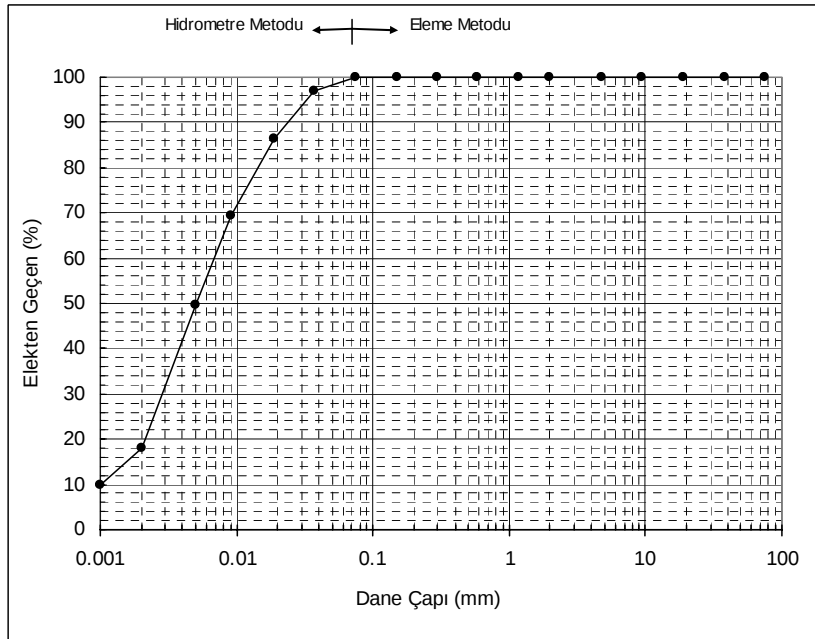


Şekil E.2. Toprak numunesi-2 granülometri eğrisi

(EK-1 Devamı)

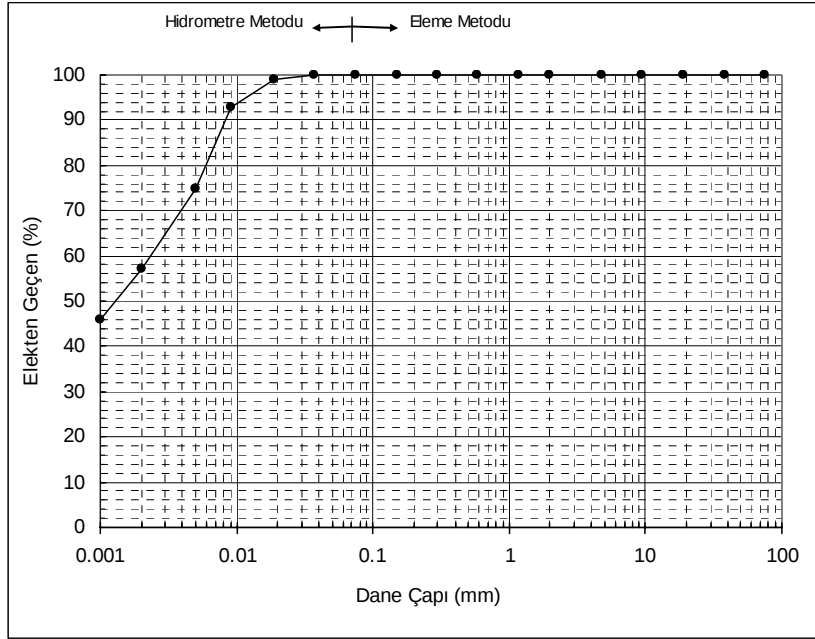


Şekil E.3. Toprak numunesi-3 granülometri eğrisi

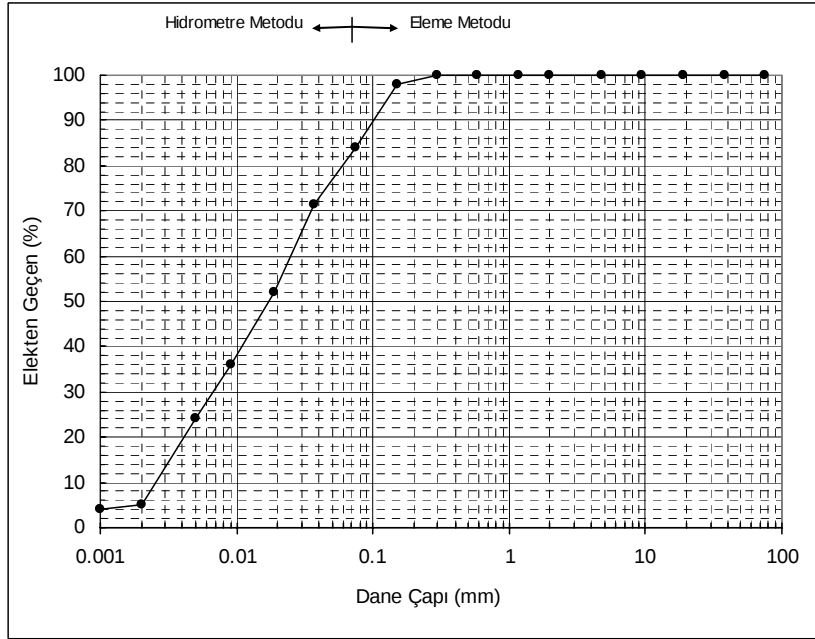


Şekil E.4. Burdur Beji toz atık granülometri eğrisi

(EK-1 Devamı)

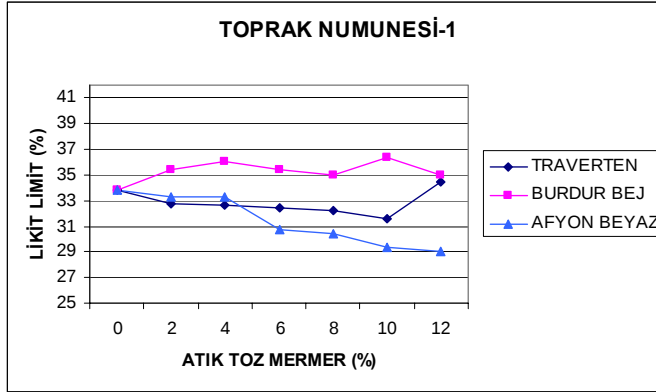


Şekil E.5. Traverten toz atık granülometri eğrisi

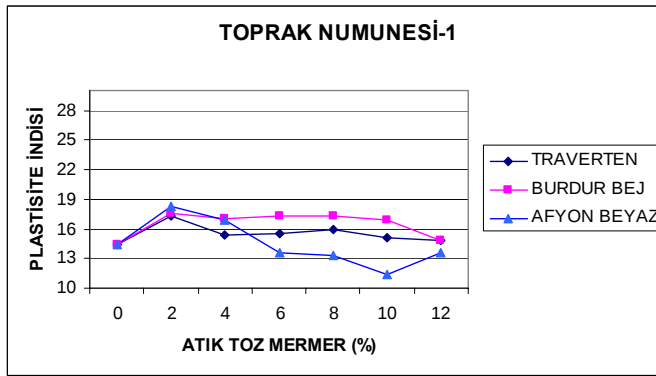


Şekil E.6. Afyon Beyazı toz atık granülometri eğrisi

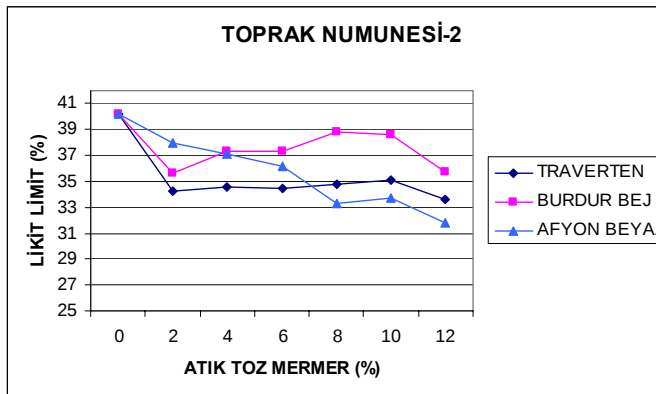
EK-2



Şekil E.7. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının likit-limiti

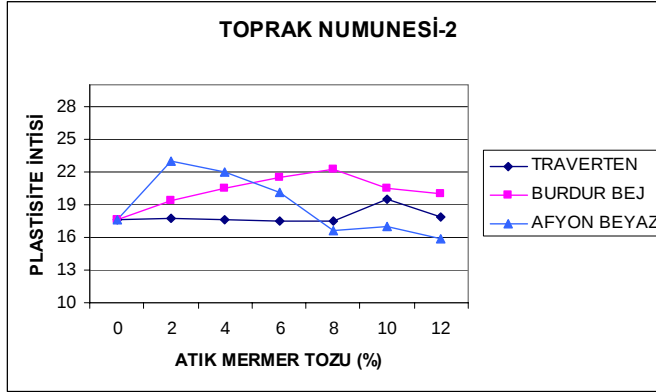


Şekil E.8. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının plastisite indisi



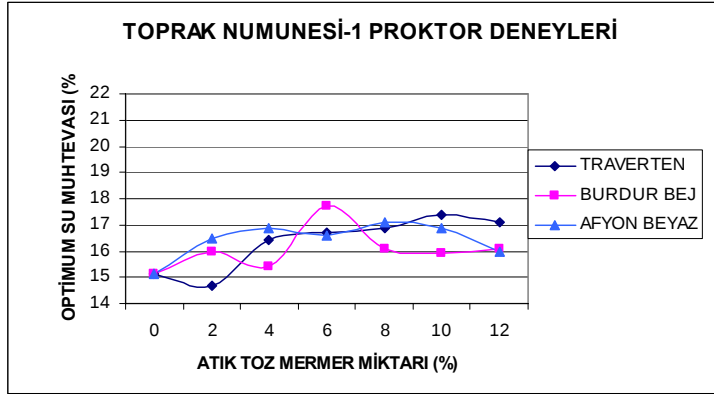
Şekil E.9. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının likit-limit

(EK-2 Devamı)

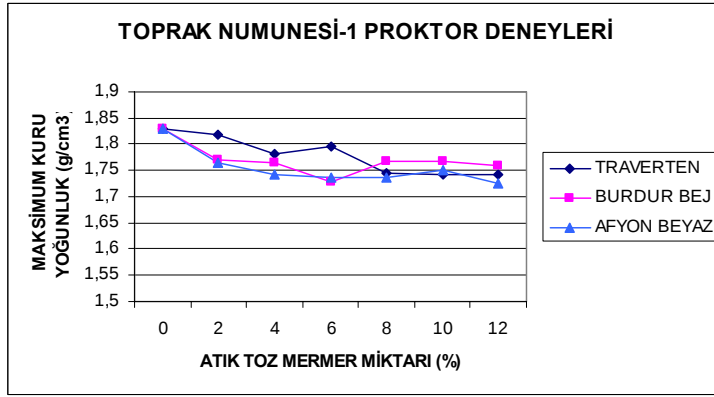


Şekil E.10. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının plastisite indisi

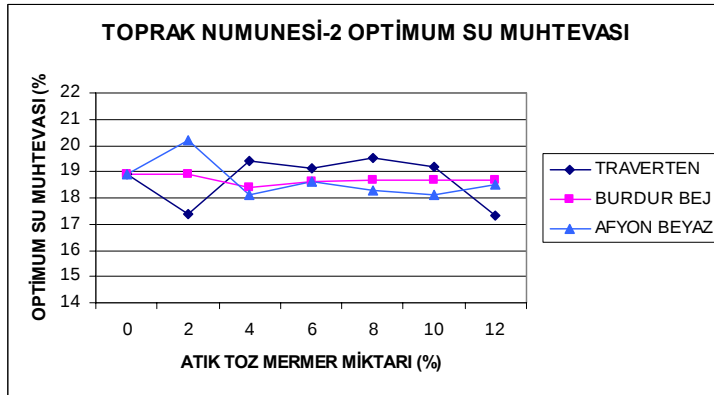
EK-3



Şekil E.11. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının optimum su muhtevası

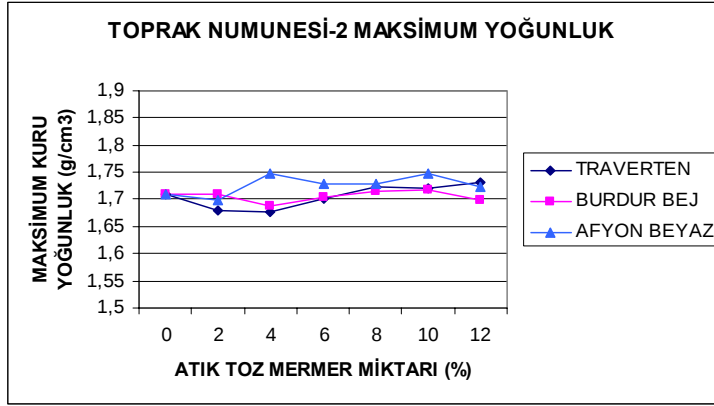


Şekil E.12. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının maksimum kuru yoğunluğu

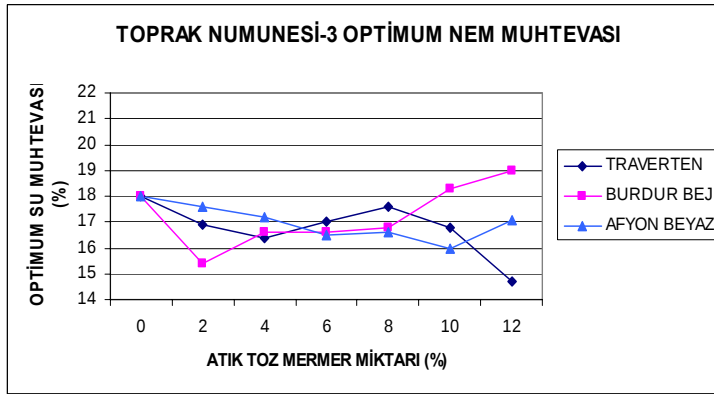


Şekil E.13. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının optimum su muhtevası

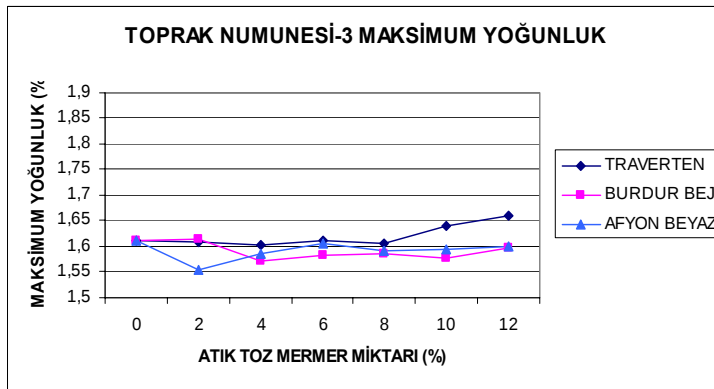
(EK-3 Devamı)



Şekil E.14. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının maksimum kuru yoğunluğu

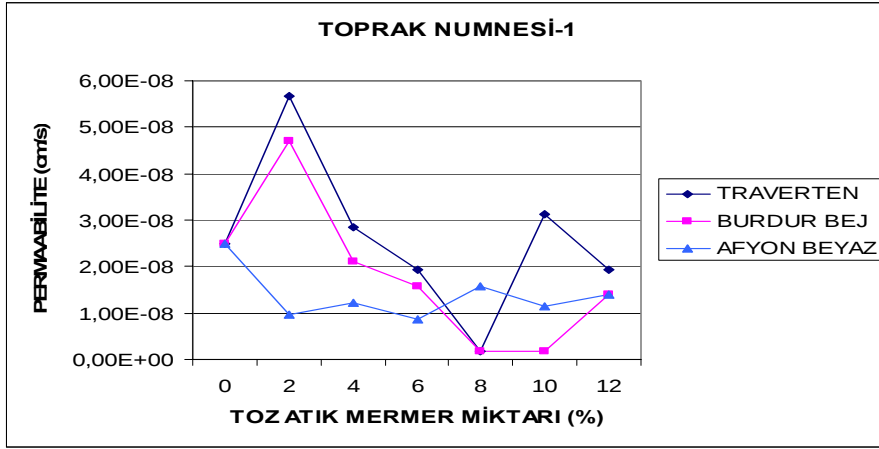


Şekil E.15. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-3 karışımının optimum su muhtevası

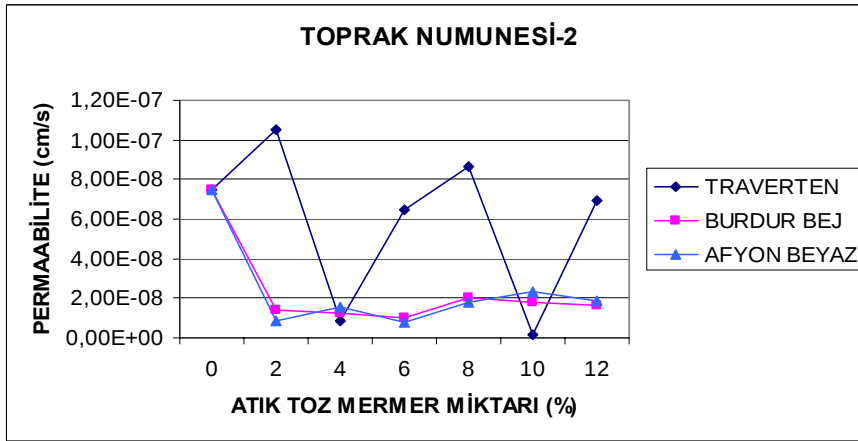


Şekil E.16. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-3 karışımının maksimum kuru yoğunluğu

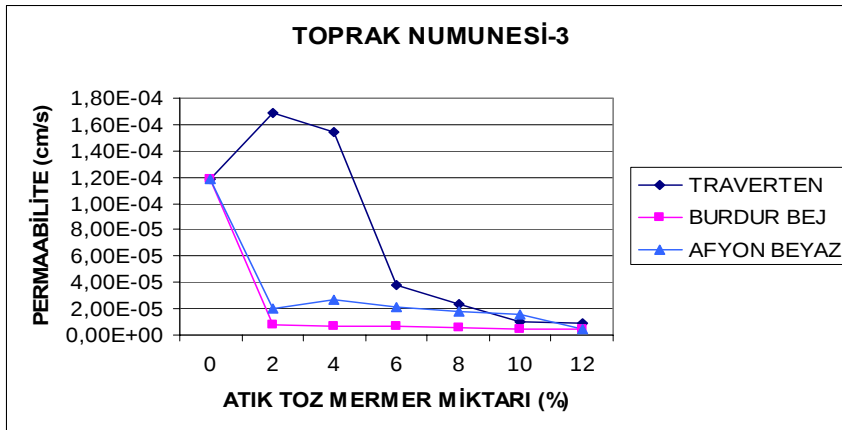
EK-4



Şekil E.17. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-1 karışımının permeabilitesi

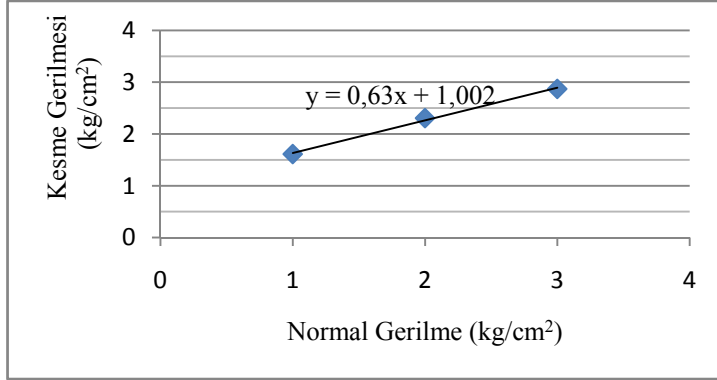


Şekil E.18. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-2 karışımının permeabilitesi

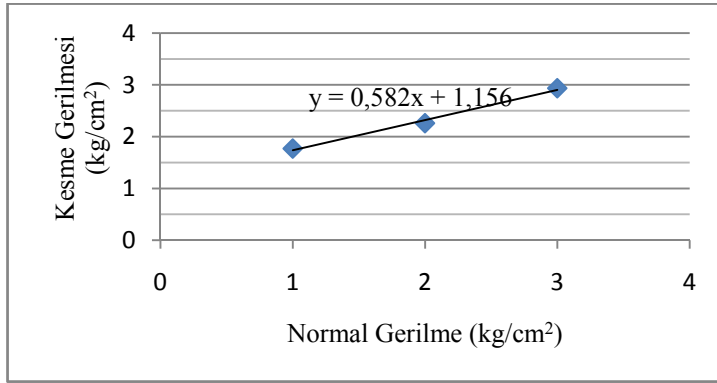


Şekil E.19. % 0-12 toz atık ile toprak numunesi-3 karışımının permeabilitesi

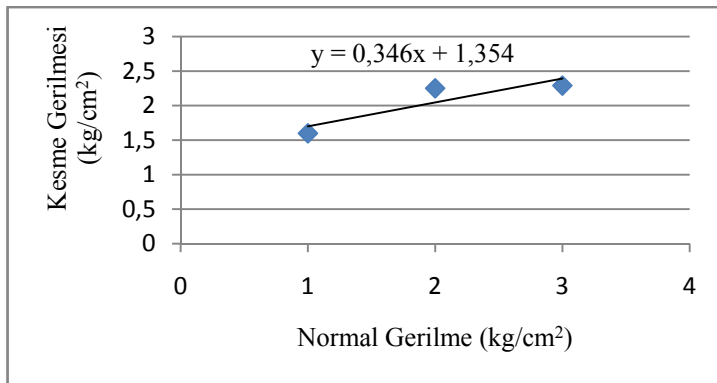
EK-5



Şekil E.20. 1 no'lu toprak numunesi gerilme grafiği ($C=1,00 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=32,21^\circ$)

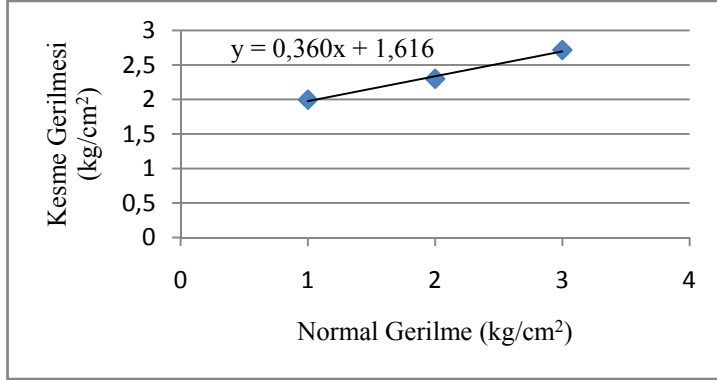


Şekil E.21. 1 no'lu toprak numunesi %10 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=1,16 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=30,20^\circ$)

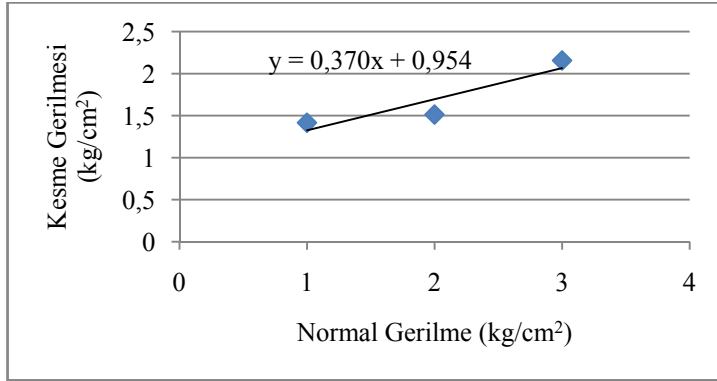


Şekil E.22. 1 no'lu toprak numunesi %20 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=1,35 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=19,09^\circ$)

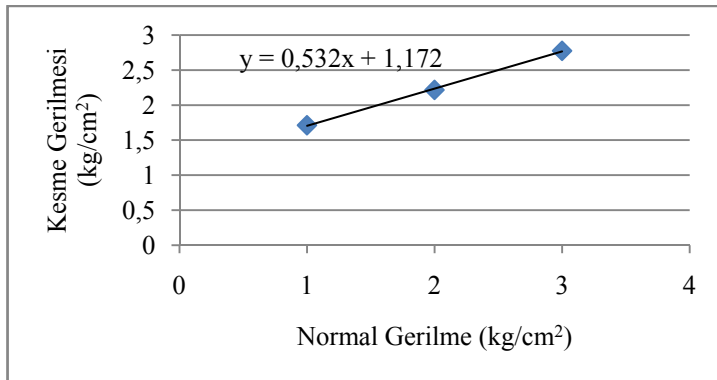
(EK-5 Devamı)



Şekil E.23. 1 no'lu toprak numunesi %30 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=1,62$ kg/cm² $\phi=19,80^\circ$)

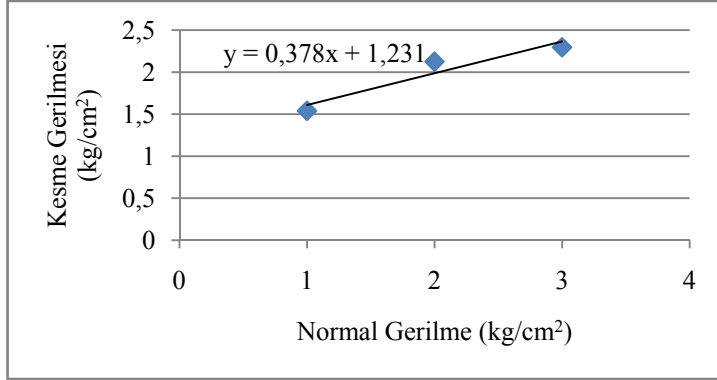


Şekil E.24. 1 no'lu toprak numunesi %40 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,95$ kg/cm² $\phi=20,30^\circ$)

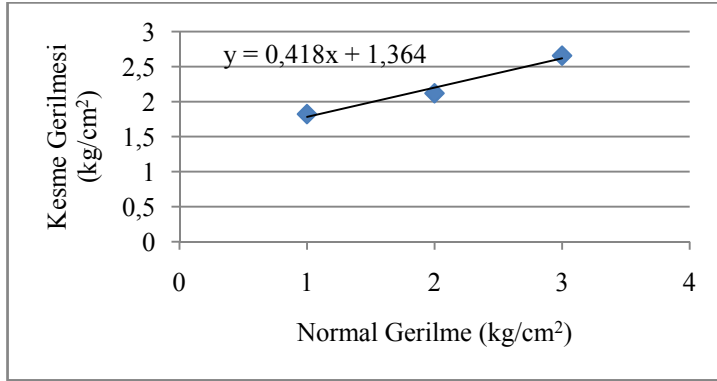


Şekil E.25. 1 no'lu toprak numunesi %10 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=1,17$ kg/cm² $\phi=28,01^\circ$)

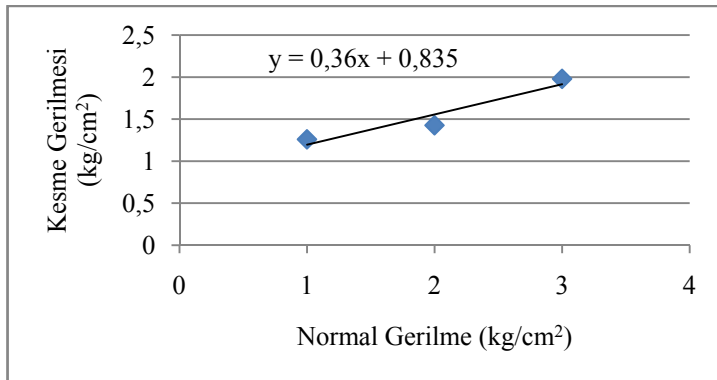
(EK-5 Devamı)



Şekil E.26. 1 no'lu toprak numunesi %20 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=1,23$ kg/cm² $\phi=20,71^\circ$)

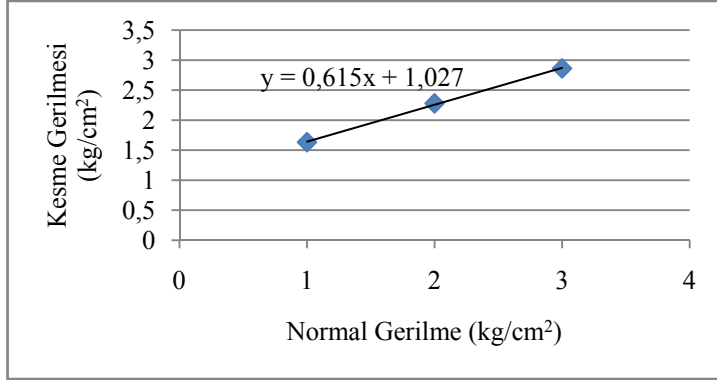


Şekil E.27. 1 no'lu toprak numunesi %30 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=1,36$ kg/cm² $\phi=22,69^\circ$)

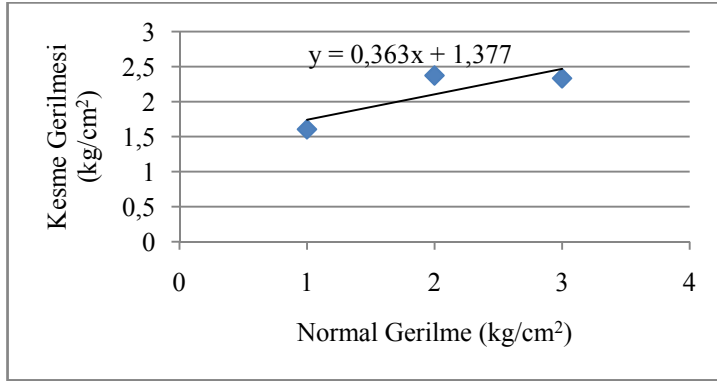


Şekil E.28. 1 no'lu toprak numunesi %40 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,84$ kg/cm² $\phi=19,80^\circ$)

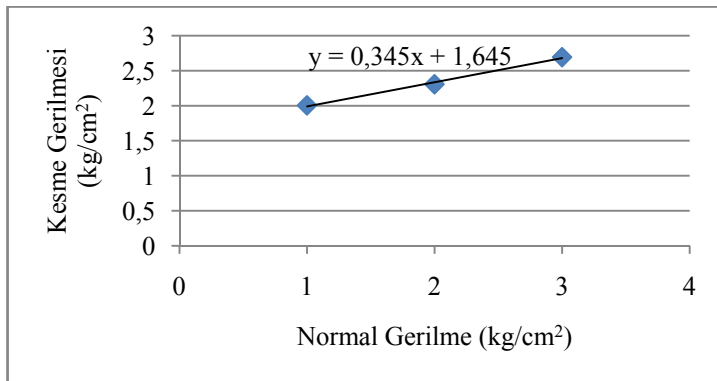
(EK-5 Devamı)



Şekil E.29. 1 no'lu toprak numunesi %10 Traverten gerilme grafiği (C=1,03 kg/cm² $\phi=31,59^\circ$)

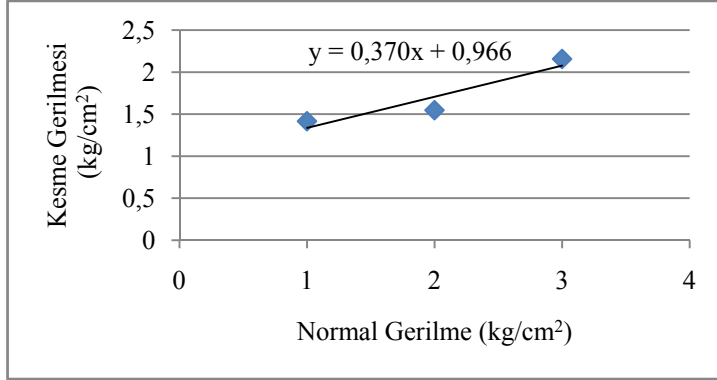


Şekil E.30. 1 no'lu toprak numunesi %20 Traverten gerilme grafiği (C=1,38 kg/cm² $\phi=19,95^\circ$)

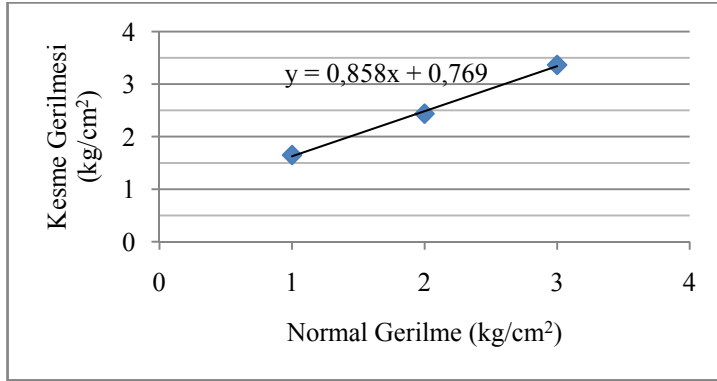


Şekil E.31. 1 no'lu toprak numunesi %30 Traverten gerilme grafiği (C=1,65 kg/cm² $\phi=19,03^\circ$)

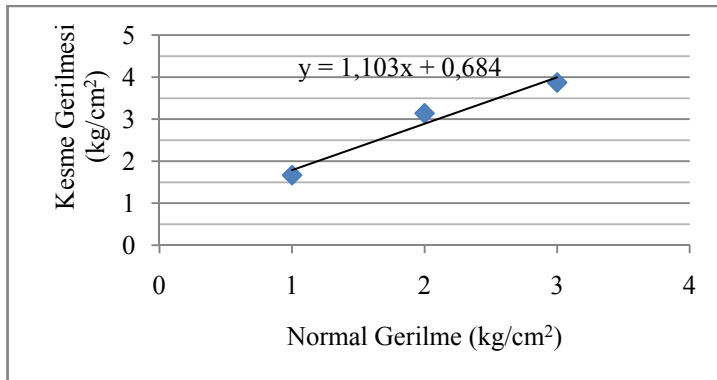
(EK-5 Devamı)



Şekil E.32. 1 no'lu toprak numunesi %40 Traverten gerilme grafiği ($C=0,97$ kg/cm² $\phi=20,30^\circ$)

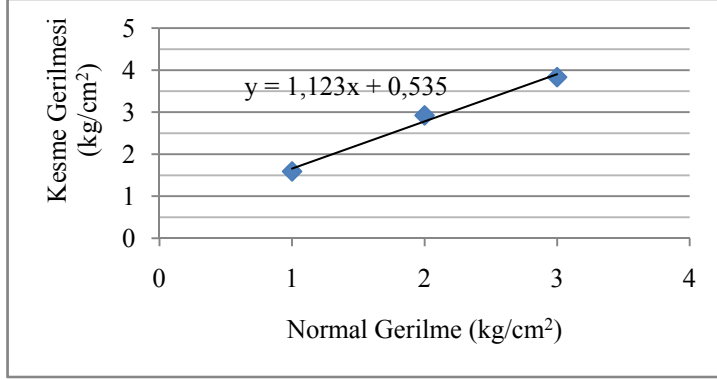


Şekil E.33. 2 no'lu toprak numunesi %0 gerilme grafiği ($C=0,77$ kg/cm² $\phi=40,63^\circ$)

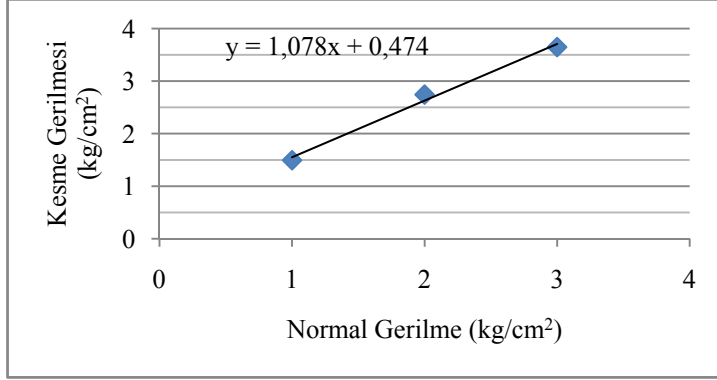


Şekil E.34. 2 no'lu toprak numunesi %10 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,68$ kg/cm² $\phi=47,80^\circ$)

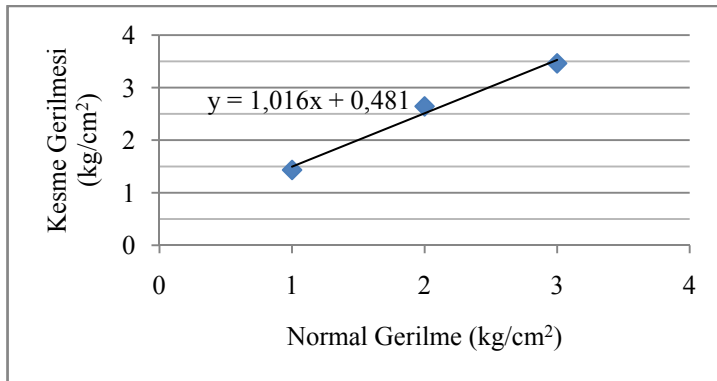
(EK-5 Devamı)



Şekil E.35. 2 no'lu toprak numunesi %20 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,54$ kg/cm² $\phi=48,32^\circ$)

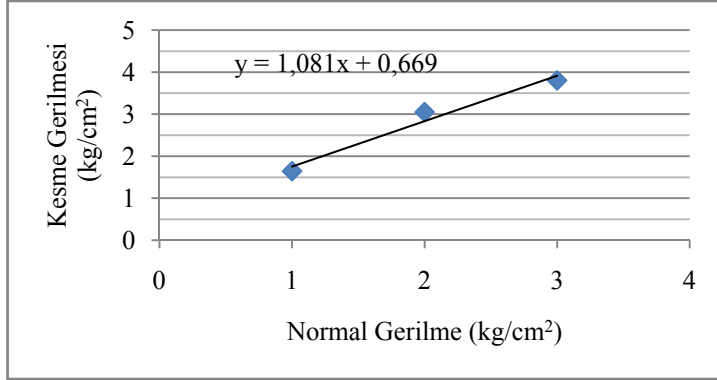


Şekil E.36. 2 no'lu toprak numunesi %30 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,47$ kg/cm² $\phi=47,15^\circ$)

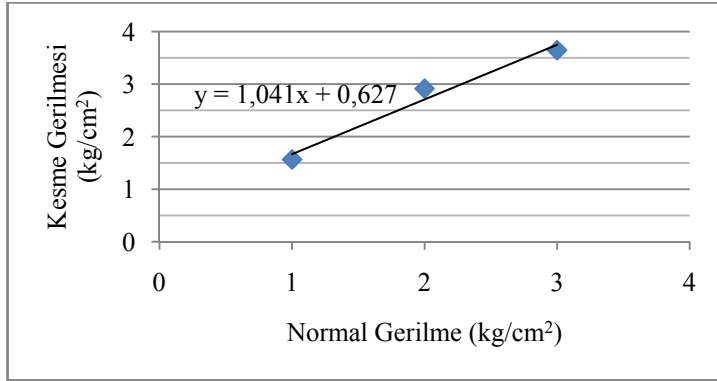


Şekil E.37. 2 no'lu toprak numunesi %40 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=0,48$ kg/cm² $\phi=45,46^\circ$)

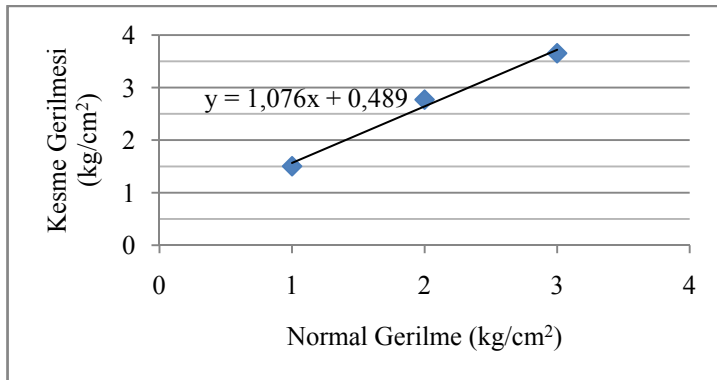
(EK-5 Devamı)



Şekil E.38. 2 no'lu toprak numunesi %10 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,67$ kg/cm² $\phi=47,23^\circ$)

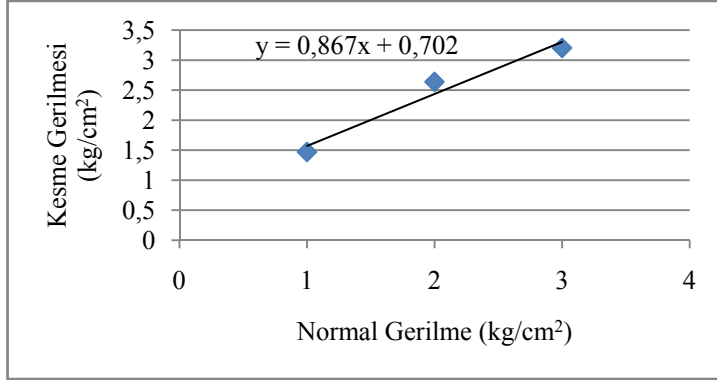


Şekil E.39. 2 no'lu toprak numunesi %20 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,63$ kg/cm² $\phi=46,15^\circ$)

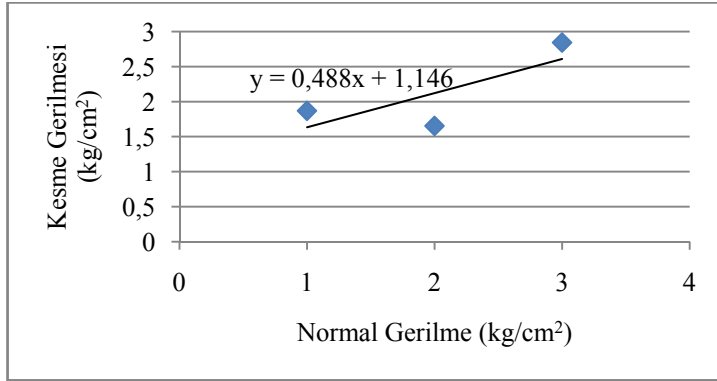


Şekil E.40. 2 no'lu toprak numunesi %30 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,49$ kg/cm² $\phi=47,10^\circ$)

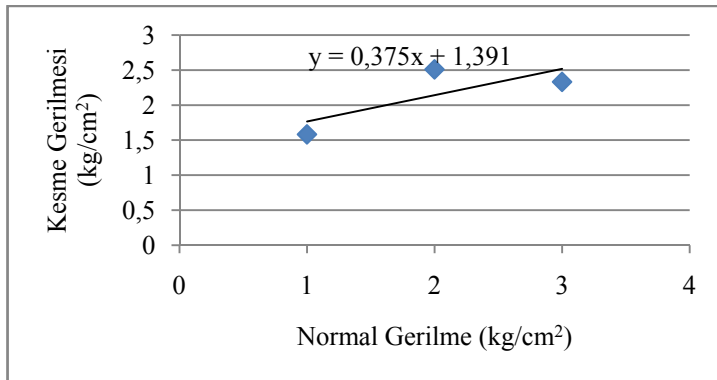
(EK-5 Devamı)



Şekil E.41. 2 no'lu toprak numunesi %40 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=0,70$ kg/cm³ $\phi=40,93^\circ$)

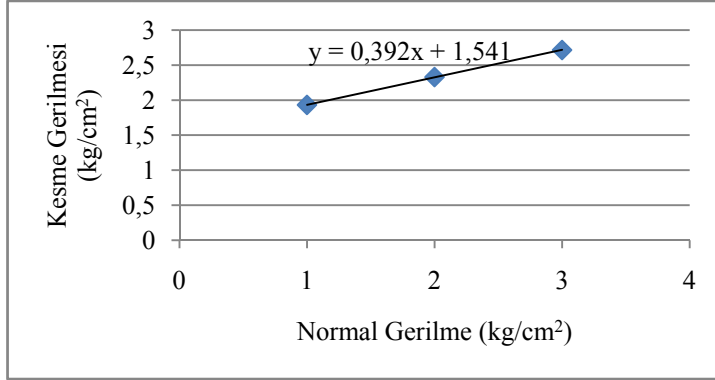


Şekil E.42. 2 no'lu toprak numunesi %10 Traverten gerilme grafiği ($C=1,15$ kg/cm² $\phi=26,01^\circ$)

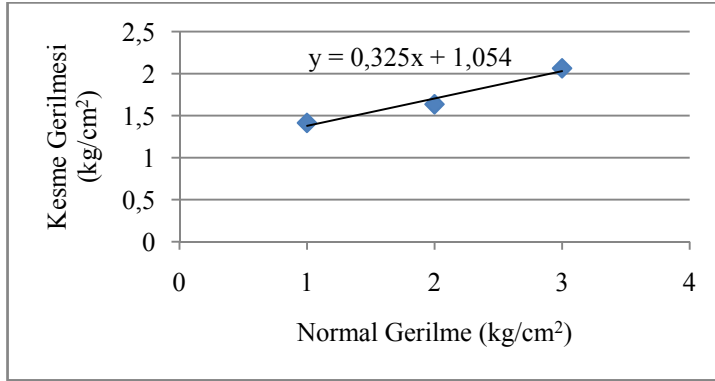


Şekil E.43. 2 no'lu toprak numunesi %20 Traverten gerilme grafiği ($C=1,39$ kg/cm² $\phi=20,56^\circ$)

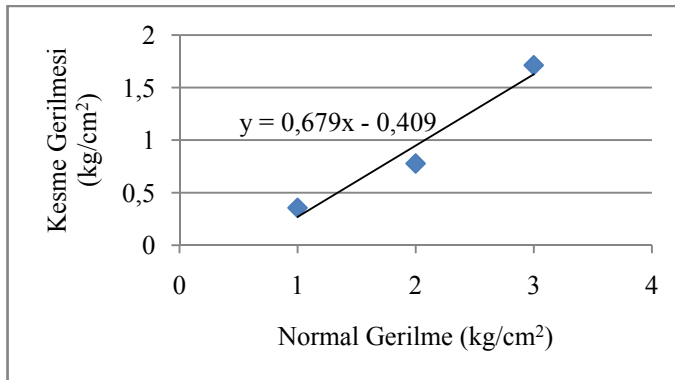
(EK-5 Devamı)



Şekil E.44. 2 no'lu toprak numunesi %30 Traverten gerilme grafiği ($C=1,54$ kg/cm² $\phi=21,41^\circ$)

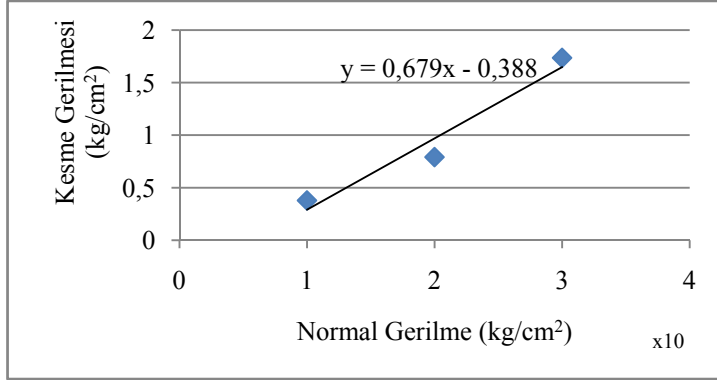


Şekil E.45. 2 no'lu toprak numunesi %40 Traverten gerilme grafiği ($C=1,05$ kg/cm² $\phi=18,00^\circ$)

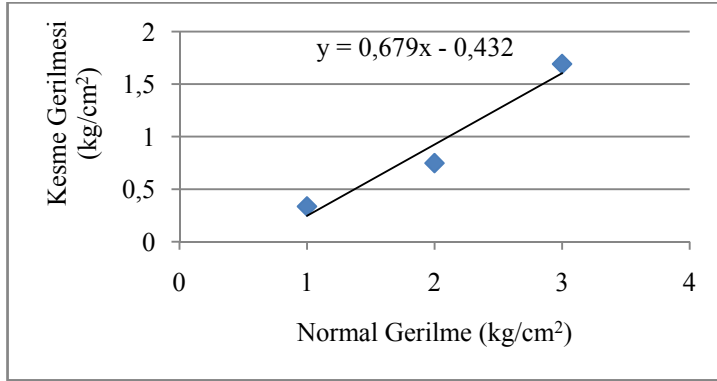


Şekil E.46. 3 no'lu toprak numunesi gerilme grafiği ($C=-0,41$ kg/cm² $\phi=34,18^\circ$)

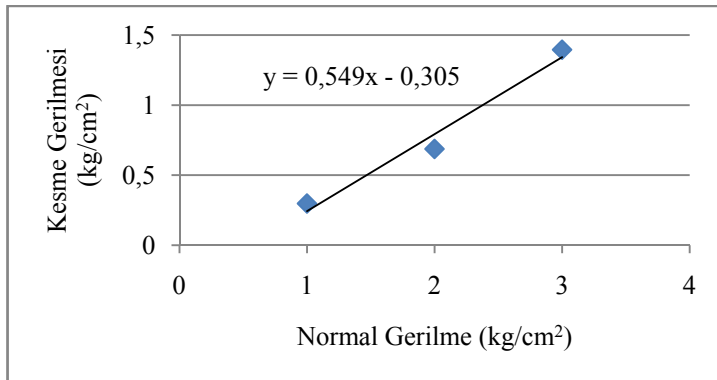
(EK-5 Devamı)



Şekil E.47. 3 no'lu toprak numunesi %10 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=-0,39$ kg/cm² $\phi=34,18^\circ$)

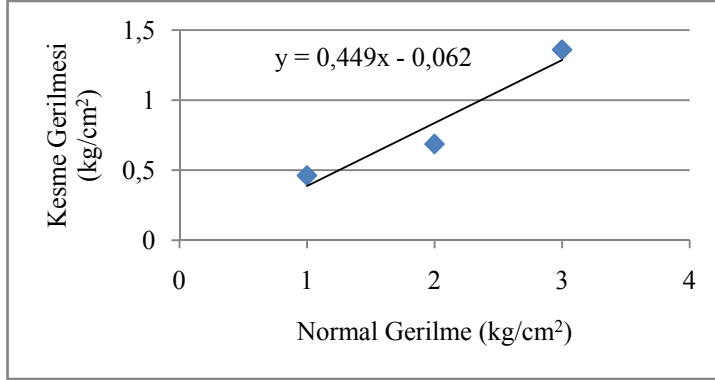


Şekil E.48. 3 no'lu toprak numunesi %20 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=-0,43$ kg/cm² $\phi=34,18^\circ$)

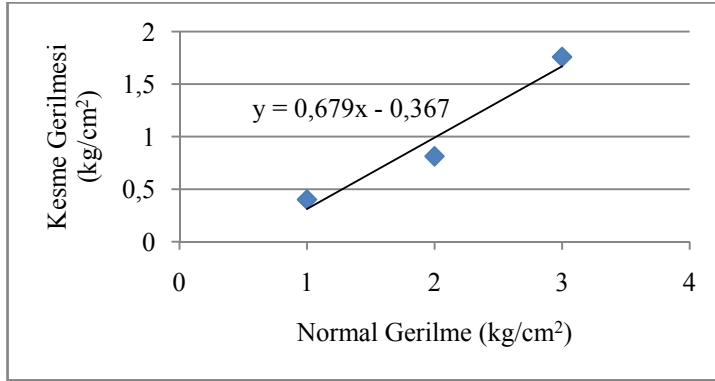


Şekil E.49. 3 no'lu toprak numunesi %30 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=-0,31$ kg/cm² $\phi=28,77^\circ$)

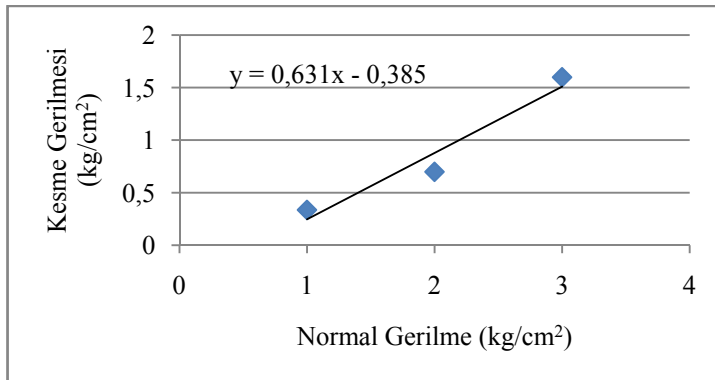
(EK-5 Devamı)



Şekil E.50. 3 no'lu toprak numunesi %40 Afyon Beyazı gerilme grafiği ($C=-0,06$ kg/cm² $\phi=24,18^\circ$)

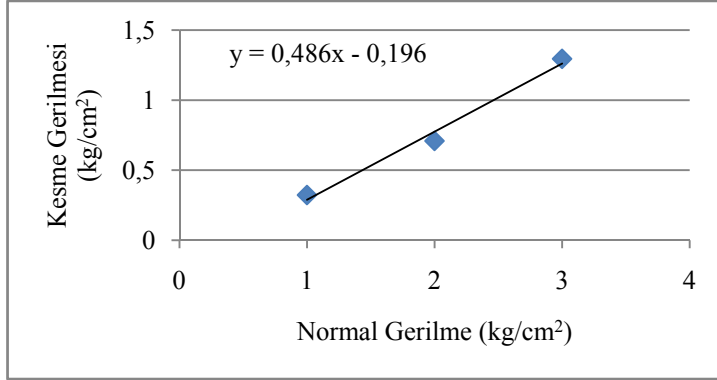


Şekil E.51. 3 no'lu toprak numunesi %10 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=-0,37$ kg/cm² $\phi=34,18^\circ$)

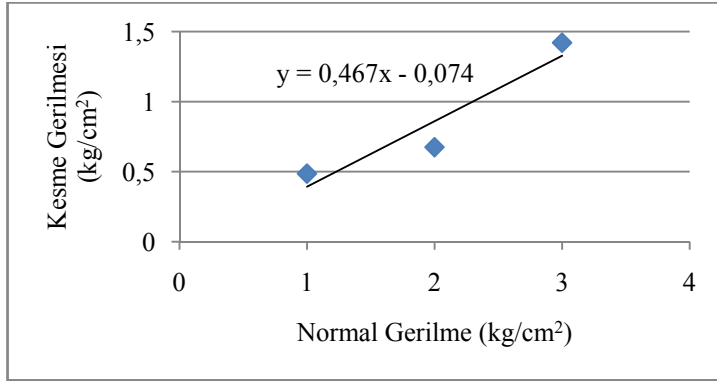


Şekil E.52. 3 no'lu toprak numunesi %20 Burdur Beji gerilme grafiği ($C=-0,39$ kg/cm² $\phi=32,25^\circ$)

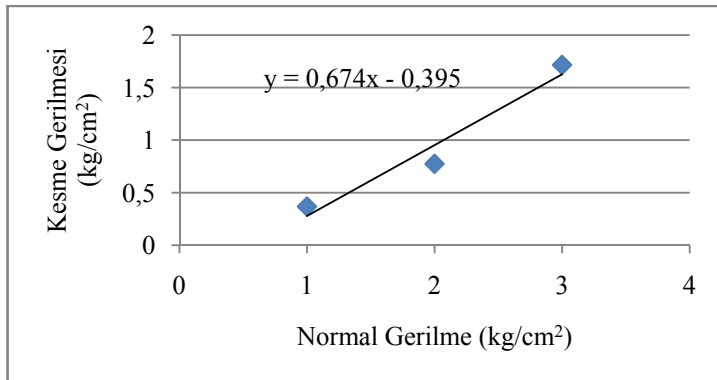
(EK-5 Devamı)



Şekil E.53. 3 no'lu toprak numunesi %30 Burdur Beji gerilme grafiği (C=-0,20 kg/cm² $\phi=25,92^\circ$)

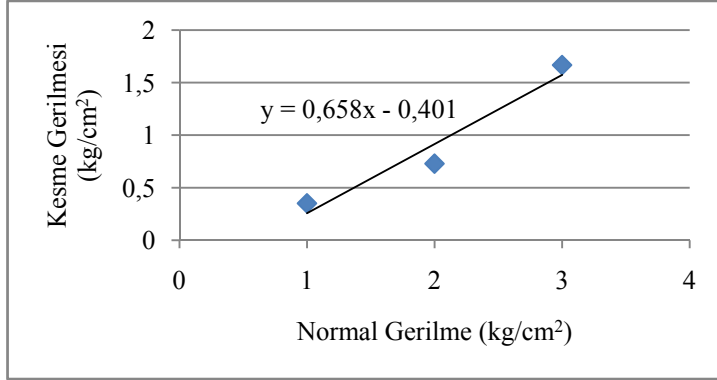


Şekil E.54. 3 no'lu toprak numunesi %40 Burdur Beji gerilme grafiği (C=-0,07 kg/cm² $\phi=25,03^\circ$)

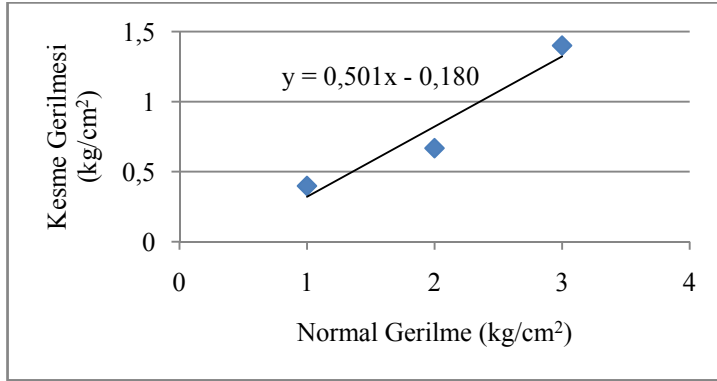


Şekil E.55. 3 no'lu toprak numunesi %10 Traverten gerilme grafiği (C=-0,40 kg/cm² $\phi=33,98^\circ$)

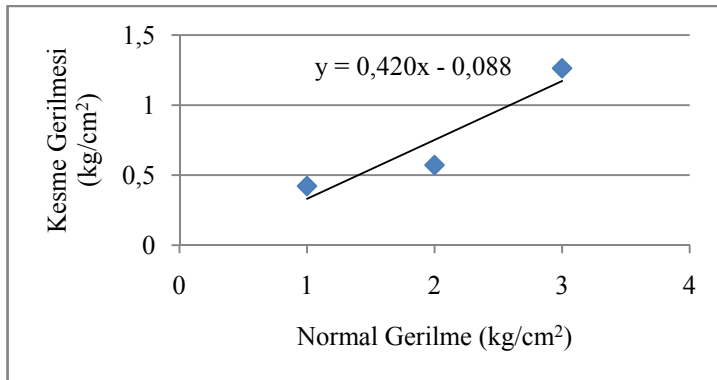
(EK-5 Devamı)



Şekil E.56. 3 no'lu toprak numunesi %20 Traverten gerilme grafiği ($C=-0,40$ kg/cm² $\phi=33,35^\circ$)

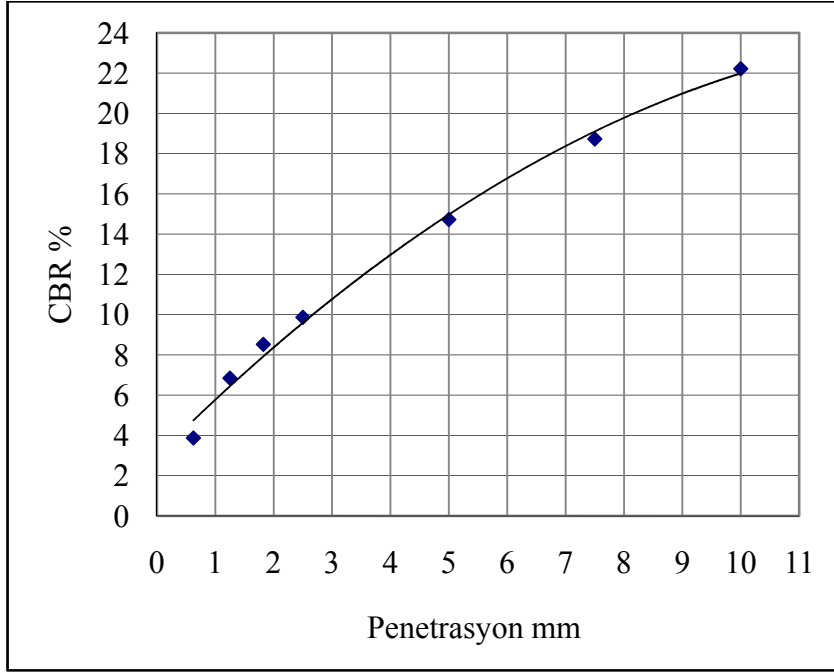


Şekil E.57. 3 no'lu toprak numunesi %30 Traverten gerilme grafiği ($C=-0,18$ kg/cm² $\phi=26,61^\circ$)

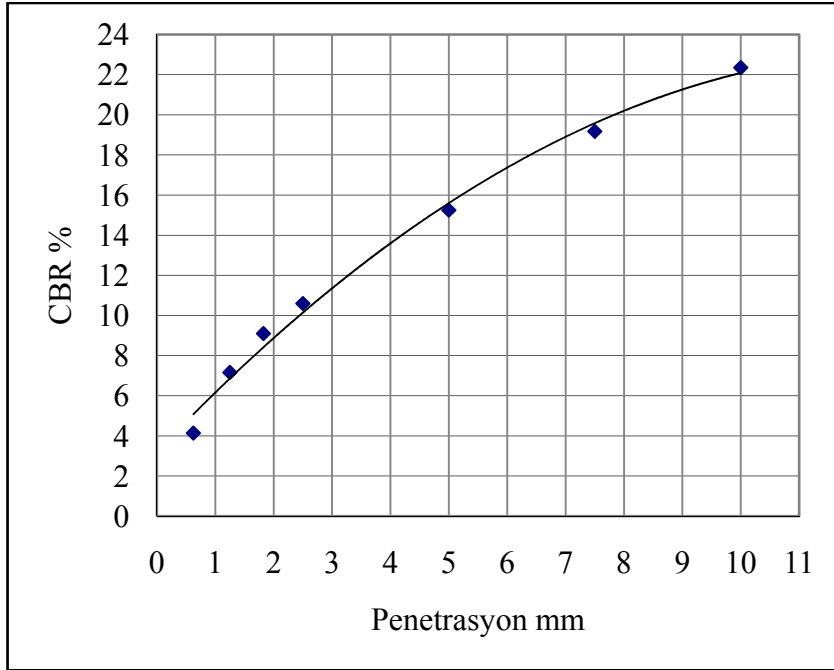


Şekil E.58. 3 no'lu toprak numunesi %40 Traverten gerilme grafiği ($C=-0,09$ kg/cm² $\phi=22,78^\circ$)

EK-6

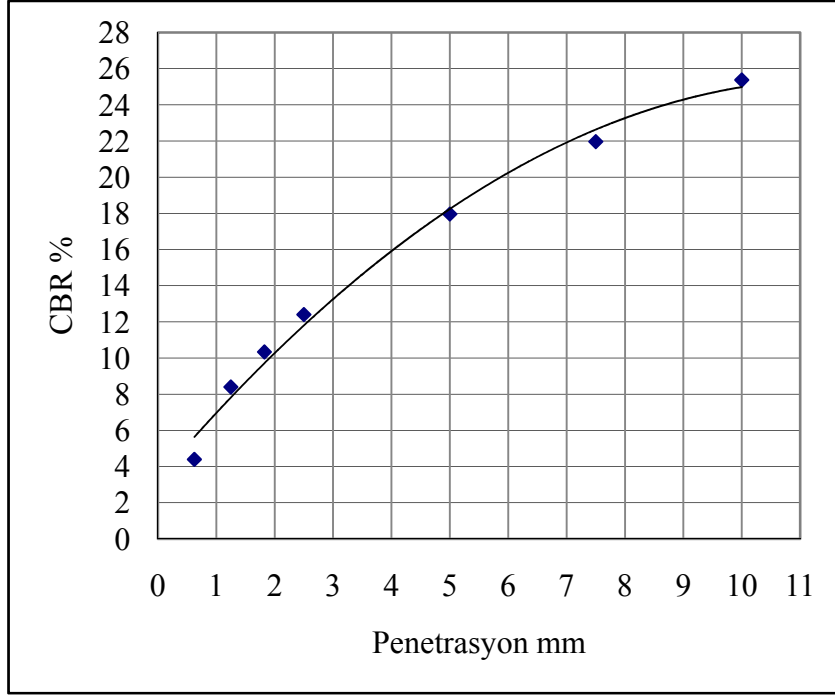


Şekil E.59. 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

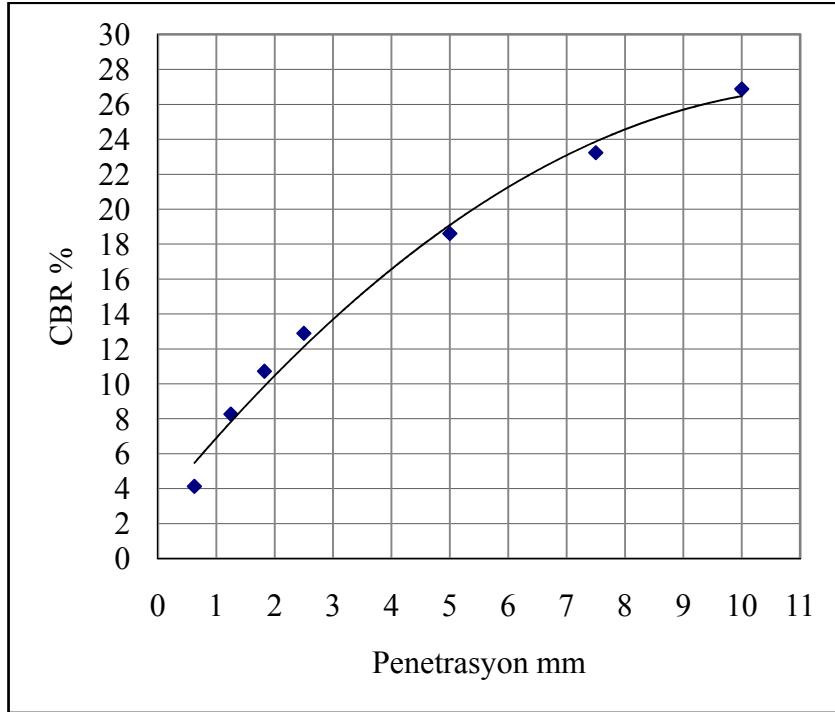


Şekil E.60. %10'luk Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

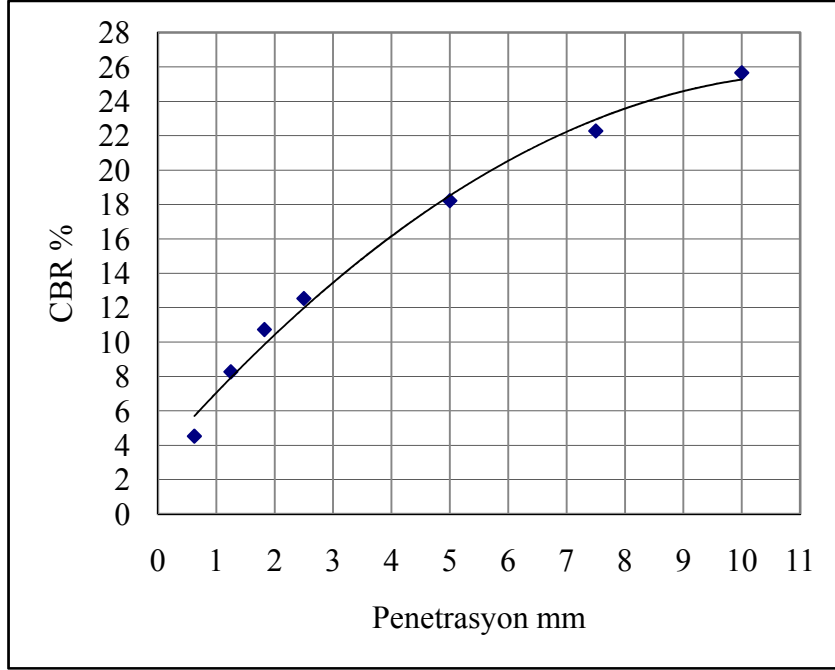


Şekil E.61. %20'lık Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

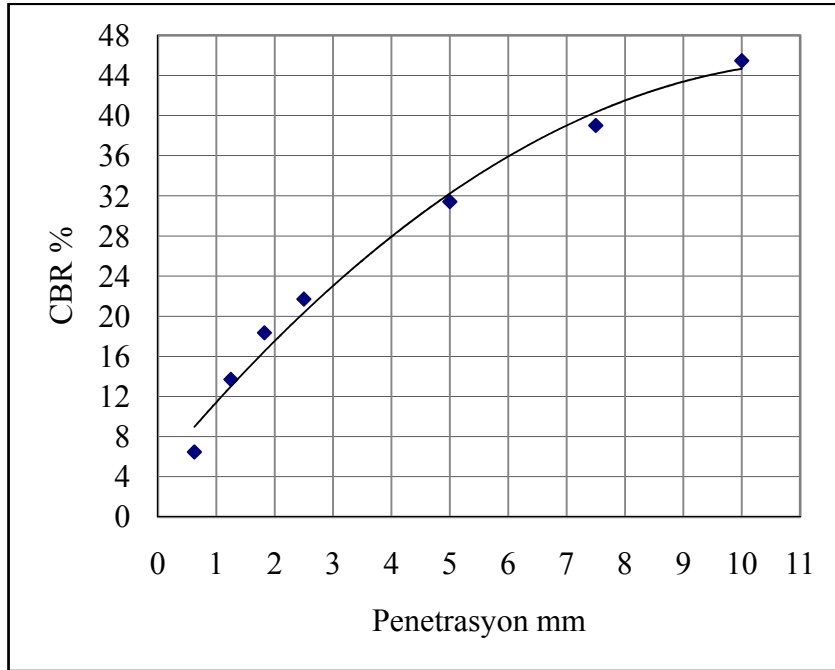


Şekil E.62. %30'lık Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

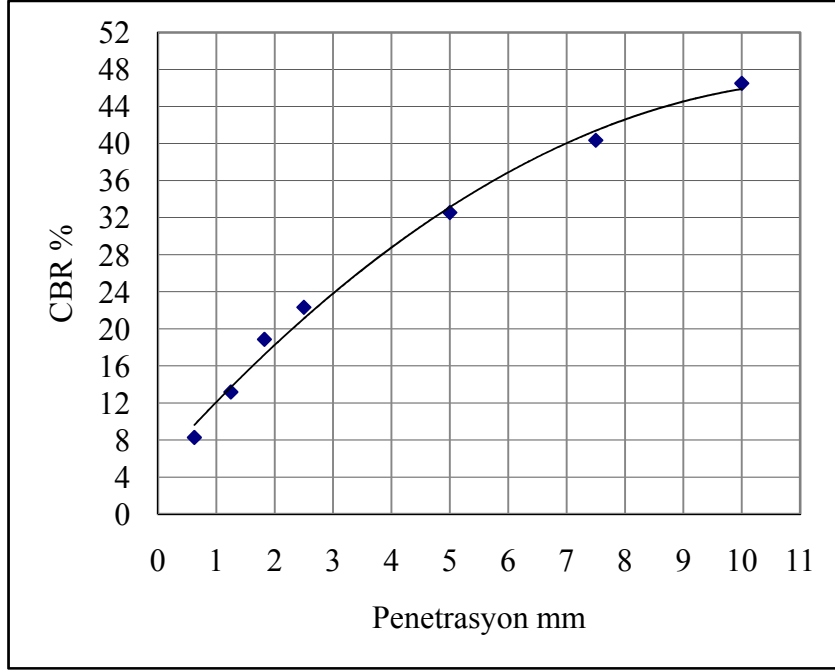


Şekil E.63. %40'lık Afyon Beyazı içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

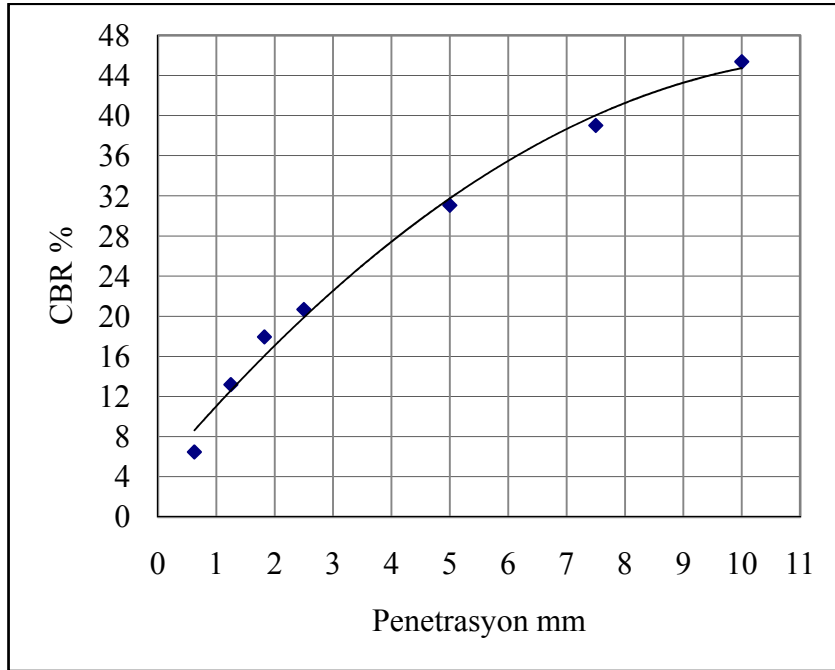


Şekil E.64. %10'lık Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

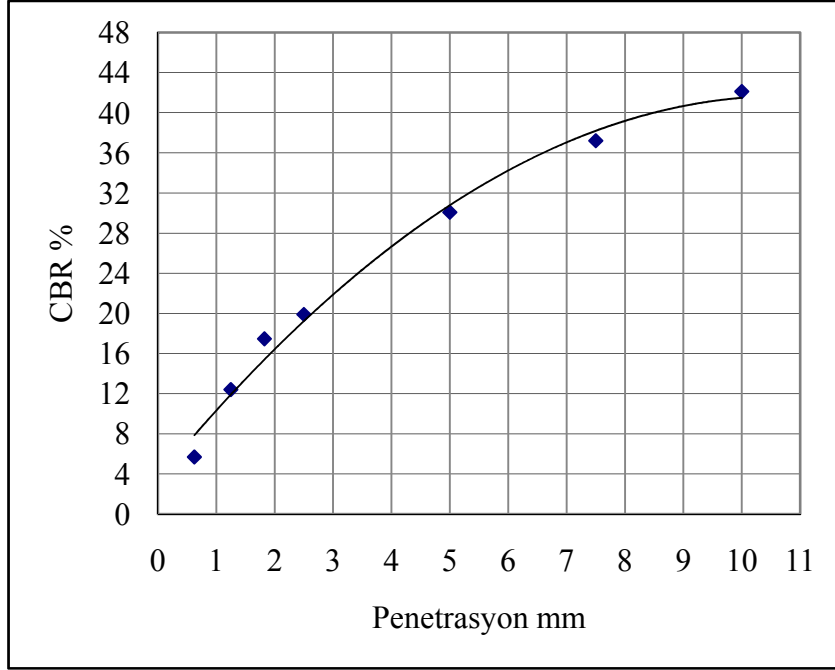


Şekil E.65. %20'lık Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

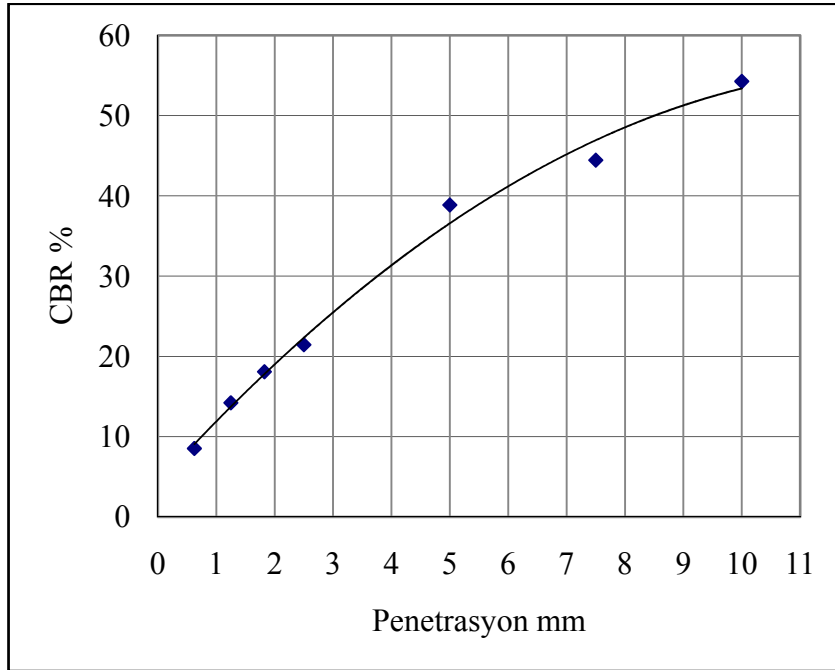


Şekil E.66. %30'lık Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

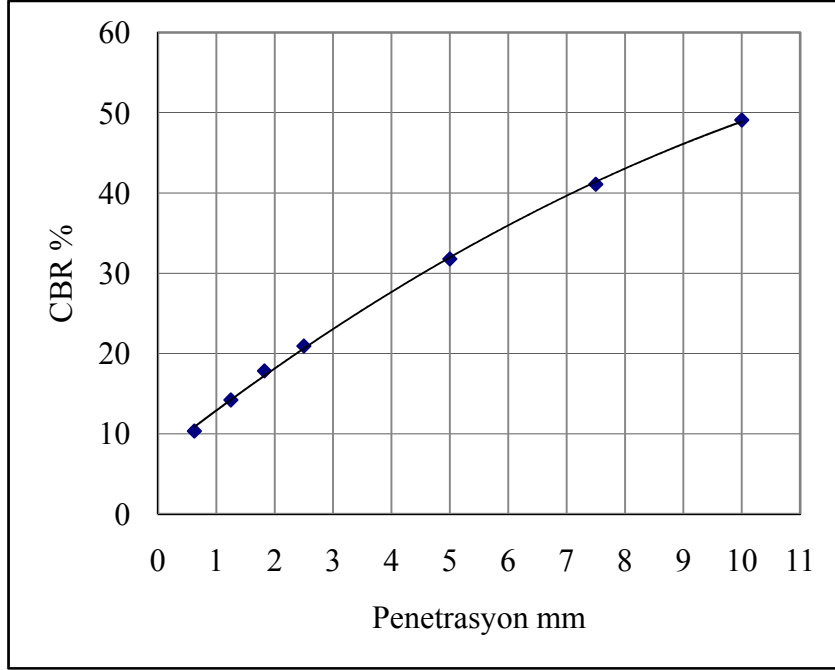


Şekil E.67. %40'lık Burdur Beji içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

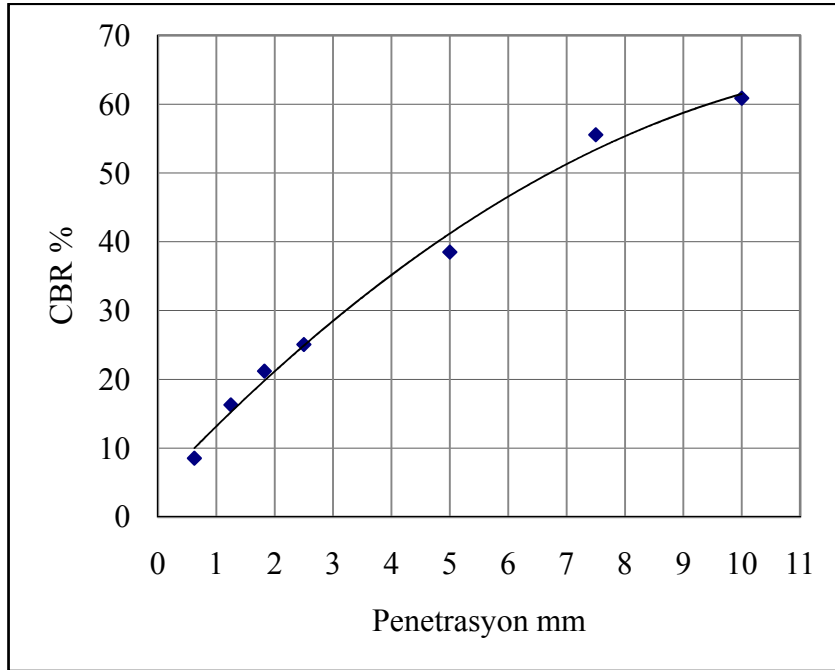


Şekil E.68. %10 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

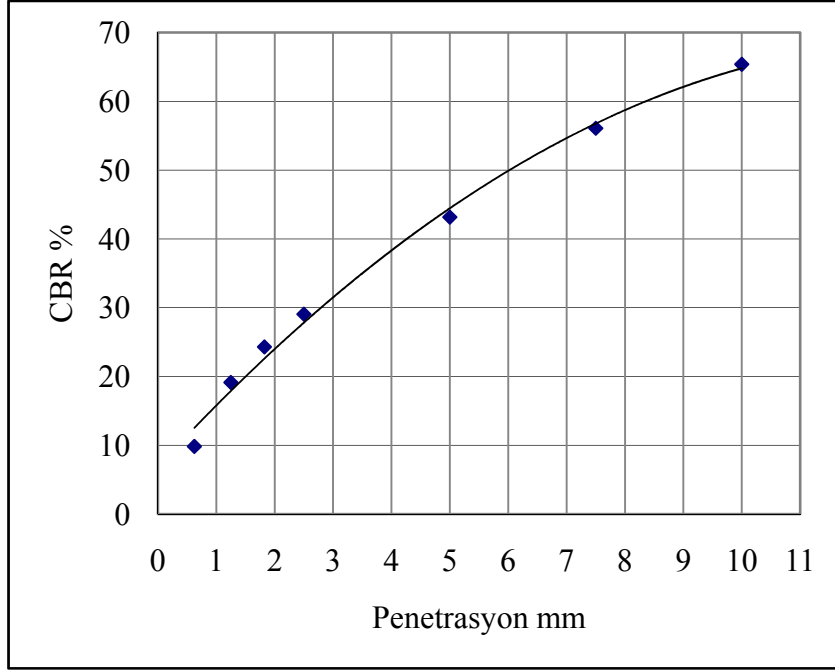


Şekil E.69. %20 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

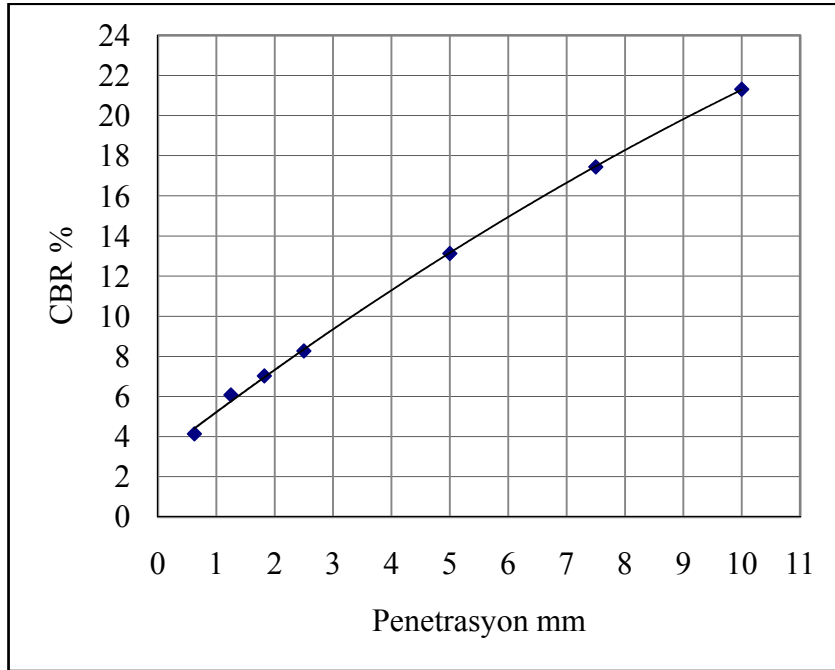


Şekil E.70. %30 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

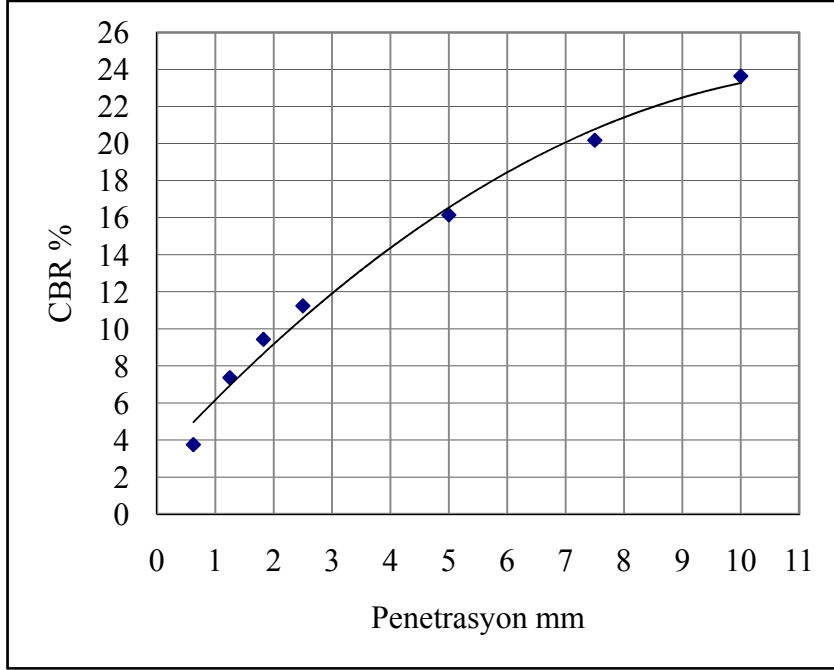


Şekil E.71. %40 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

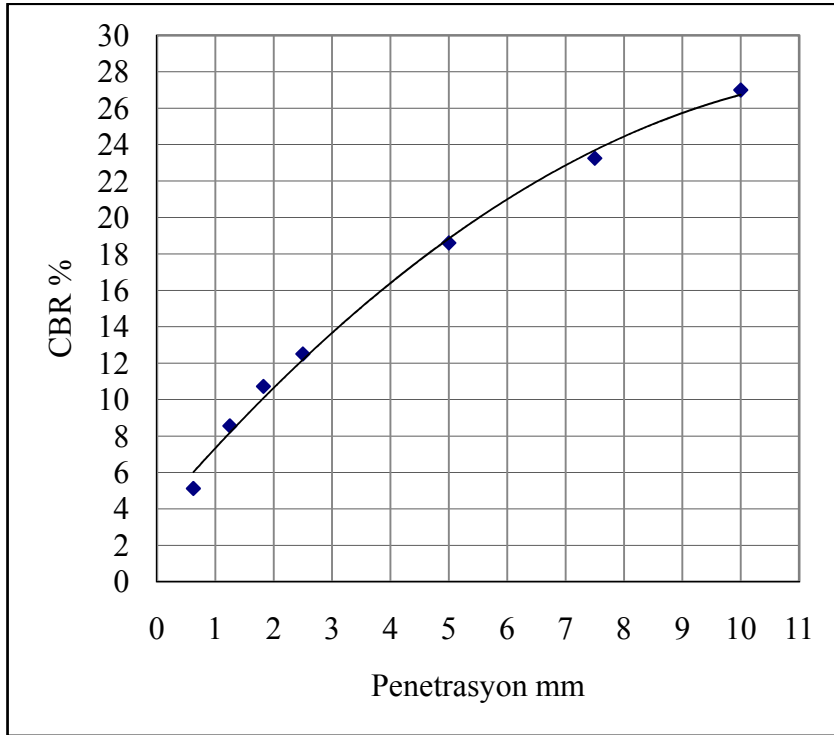


Şekil E.72. 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

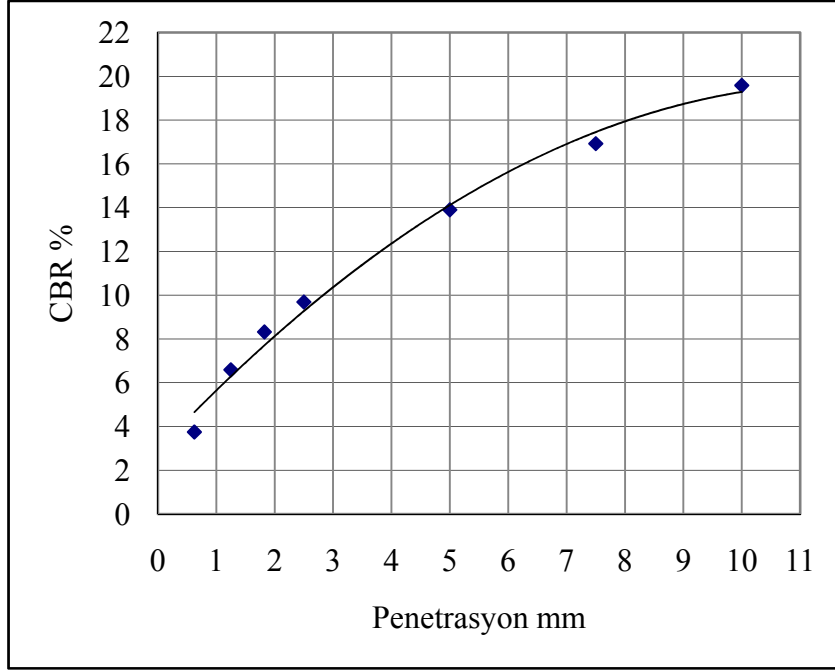


Şekil E.73. %10'lık Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

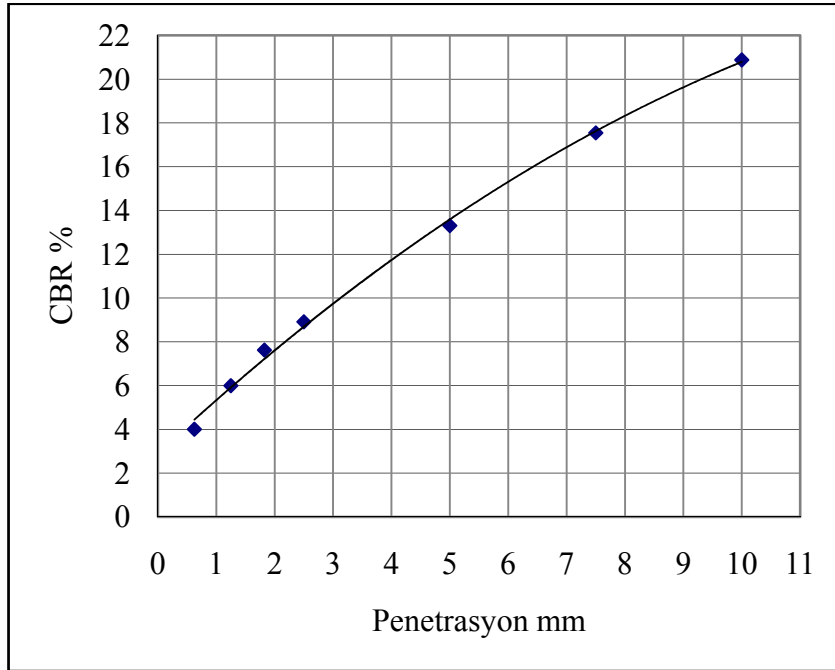


Şekil E.74. %20'lık Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

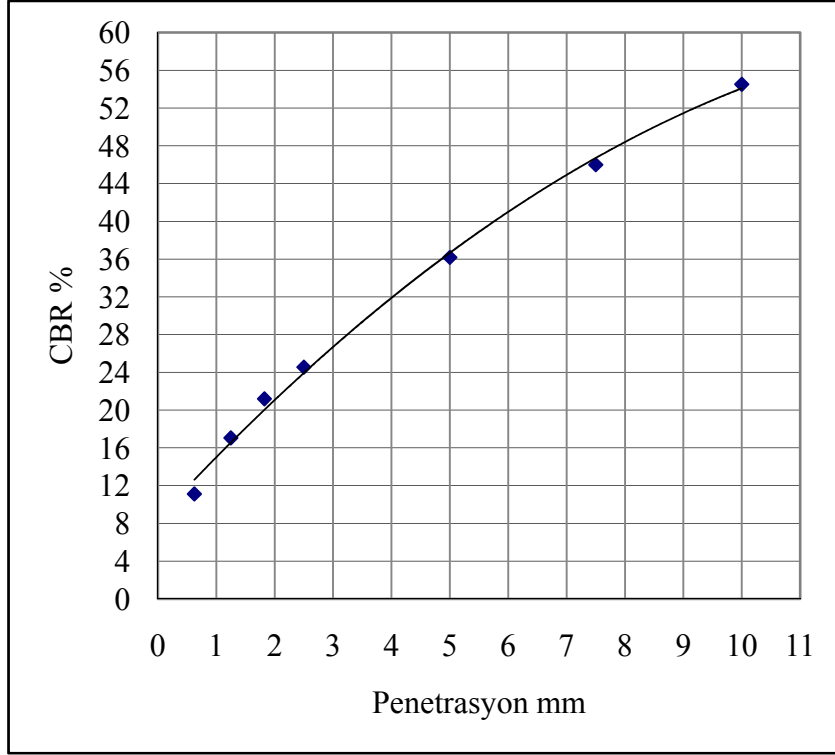


Şekil E.75. %30'lık Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

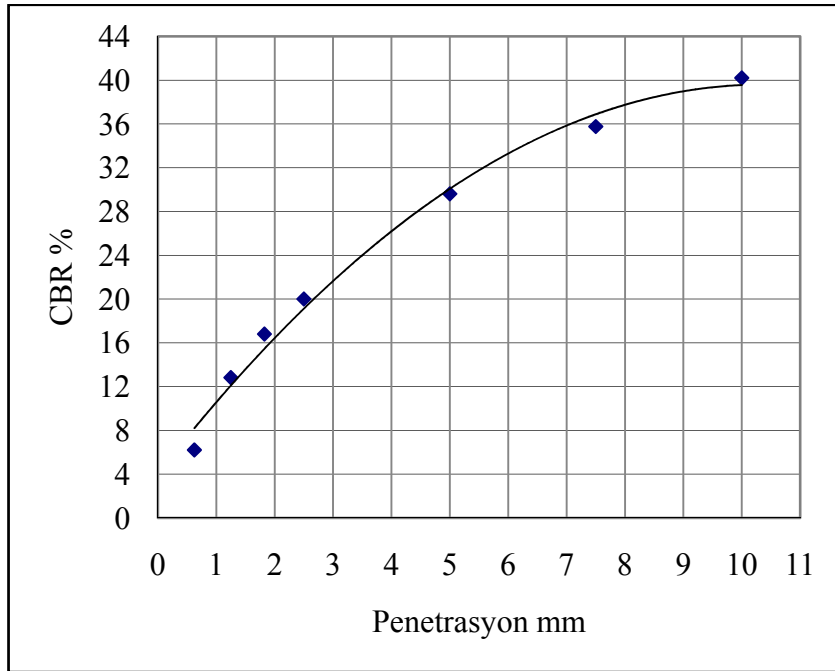


Şekil E.76. %40'lık Afyon Beyazı içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

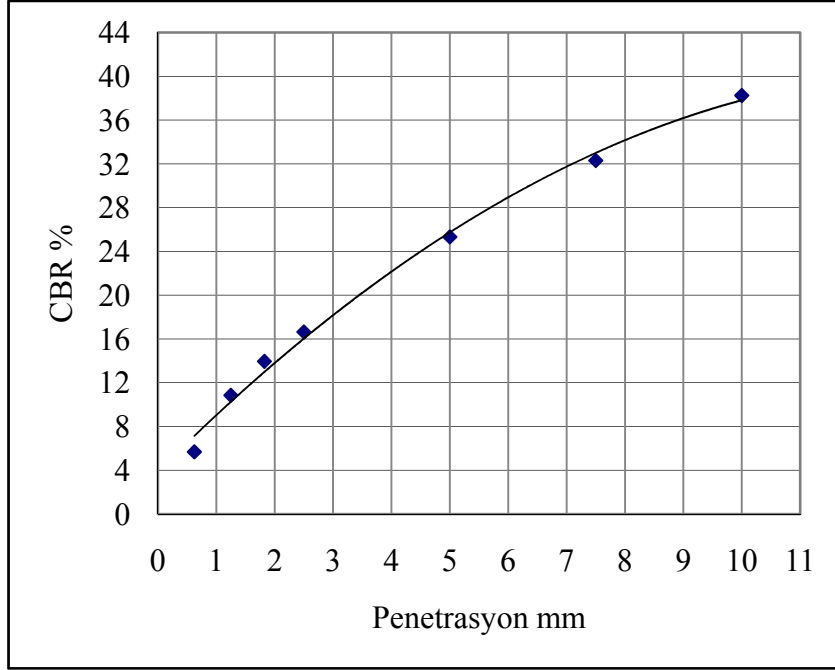


Şekil E.77. %10'lık Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

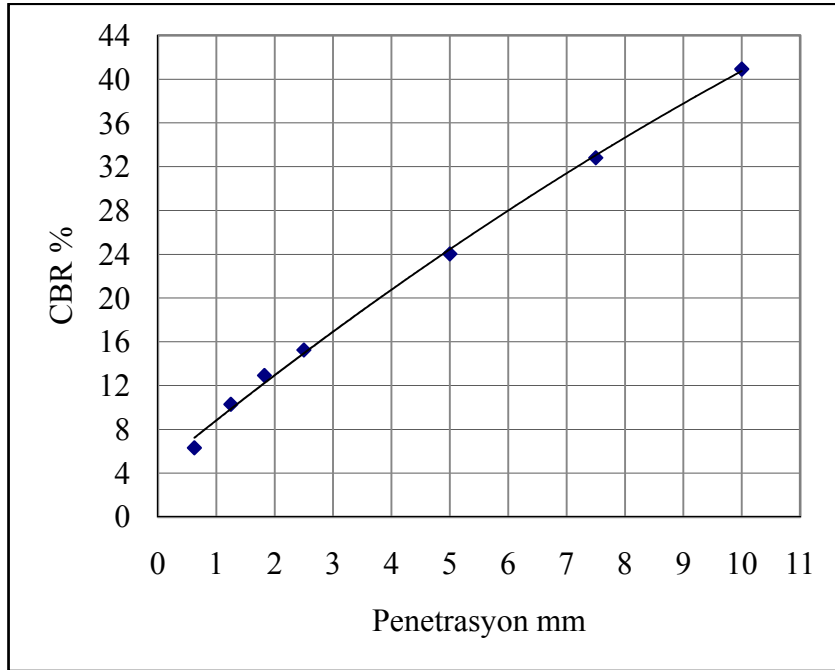


Şekil E.78. %20'lık Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

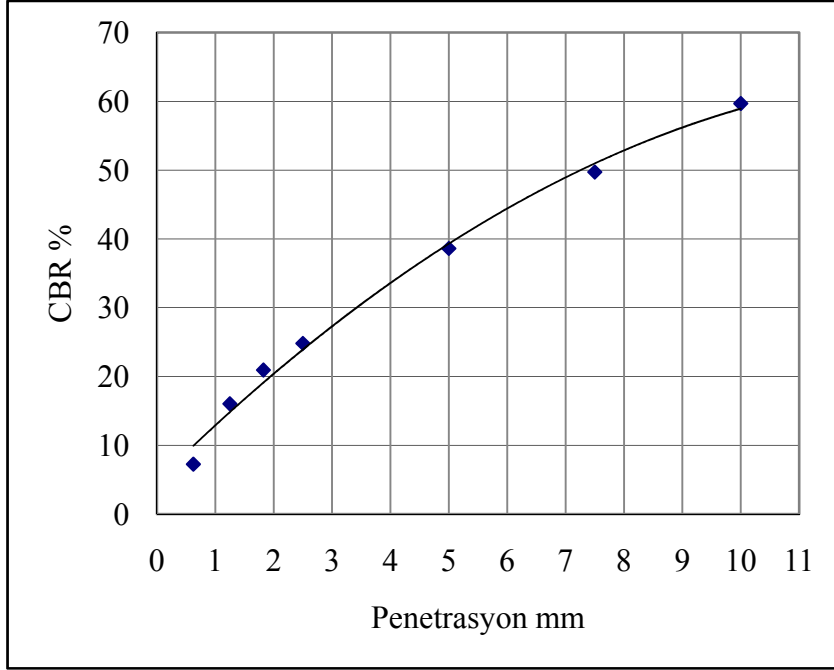


Şekil E.79. %30'lık Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

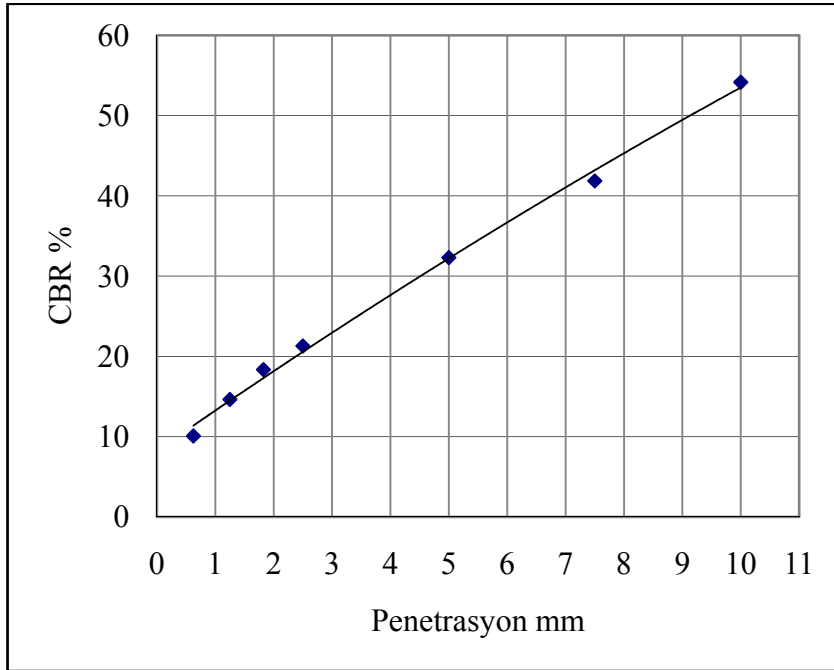


Şekil E.80. %40'lık Burdur Beji içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

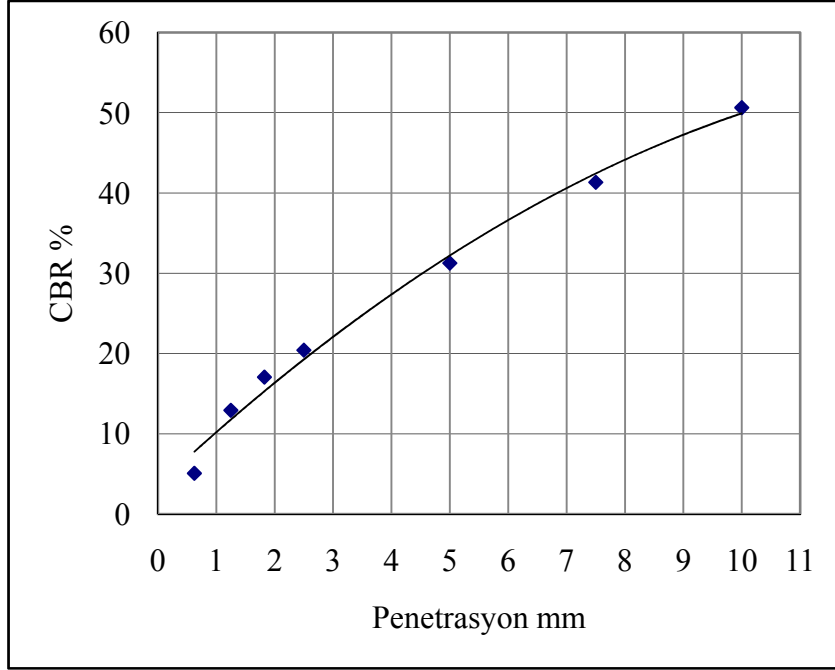


Şekil E.81. %10 Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

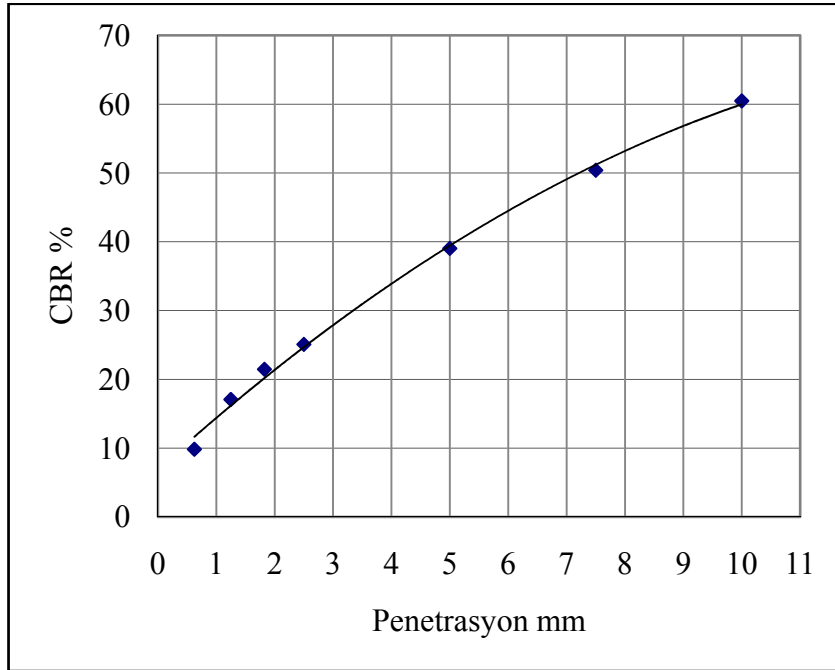


Şekil E.82. %20 Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

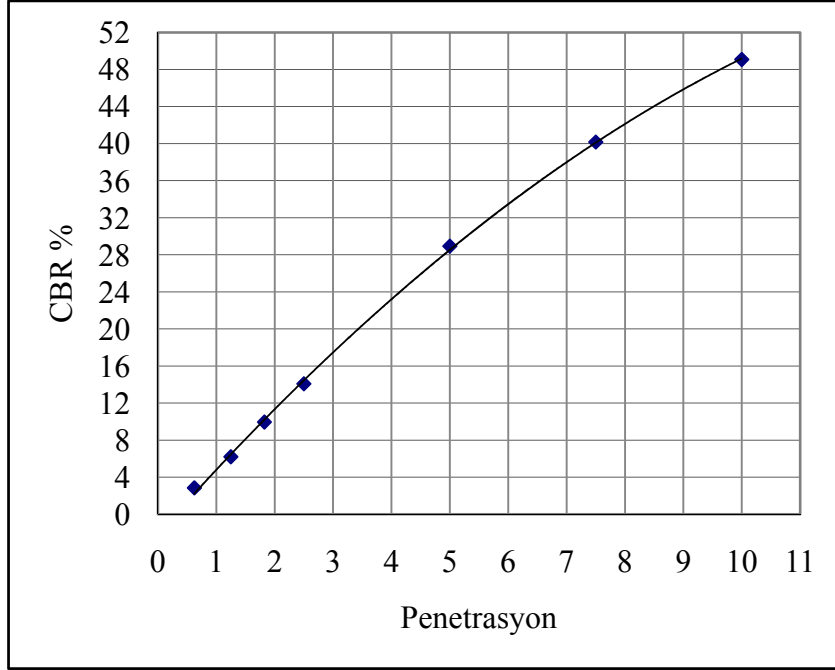


Şekil E.83. %30 Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

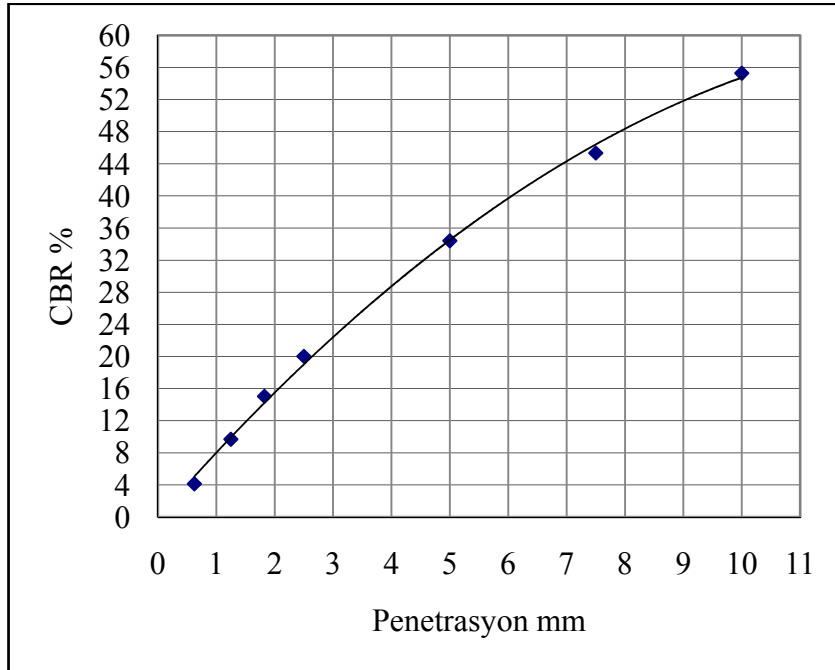


Şekil E.84. %40 Traverten içeren 2 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

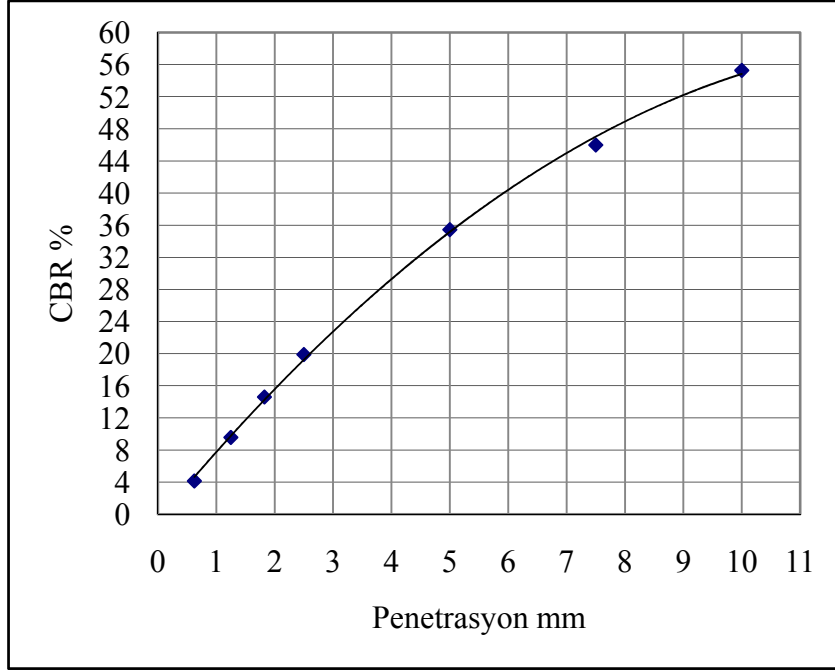


Şekil E.85. 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

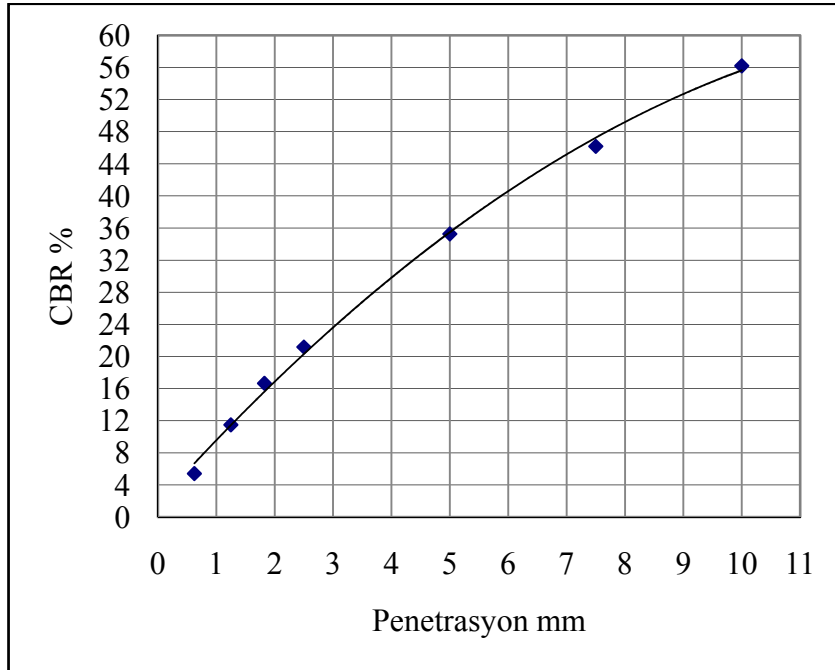


Şekil E.86. %10'luk Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

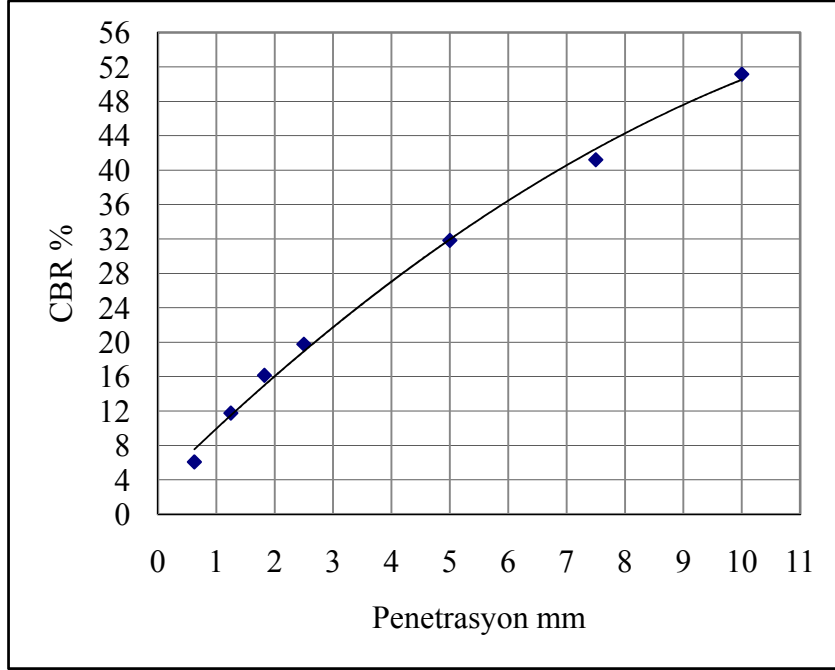


Şekil E.87. %20'lık Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

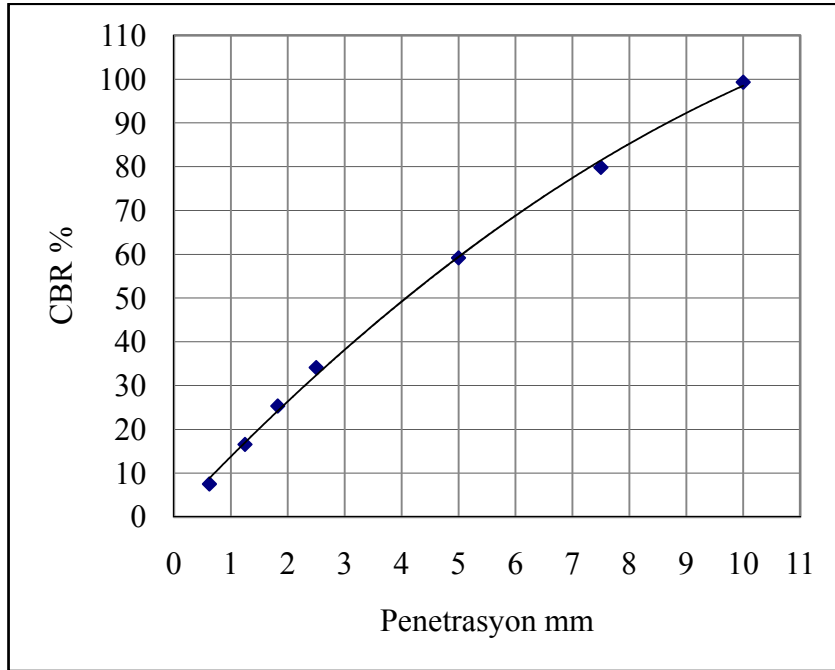


Şekil E.88. %30'lık Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

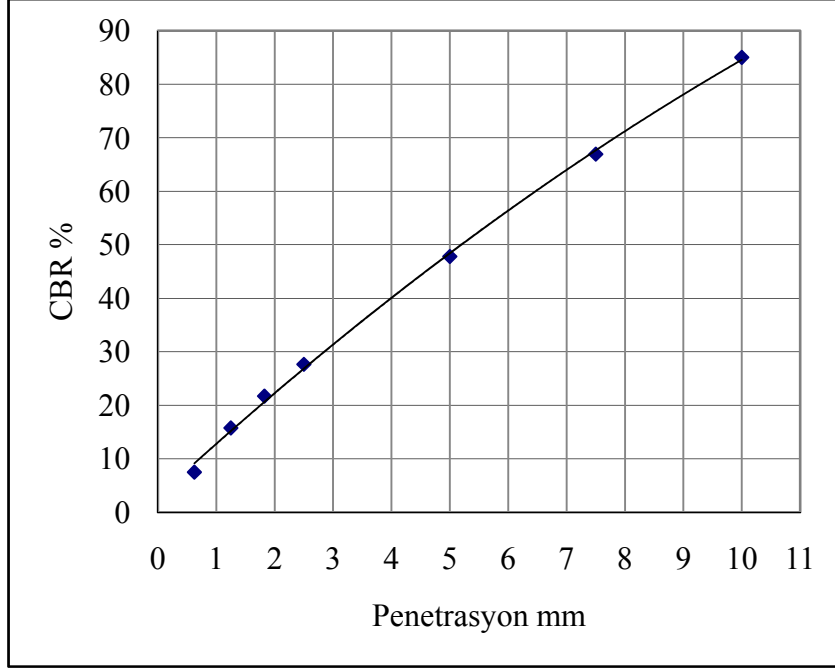


Şekil E.89. %40'lık Afyon Beyazı içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

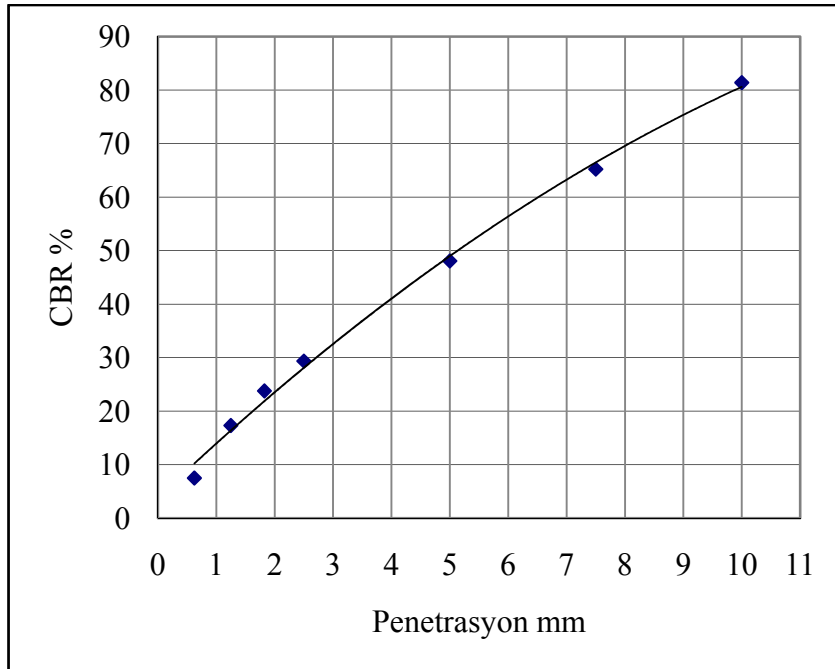


Şekil E.90. %10'lık Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

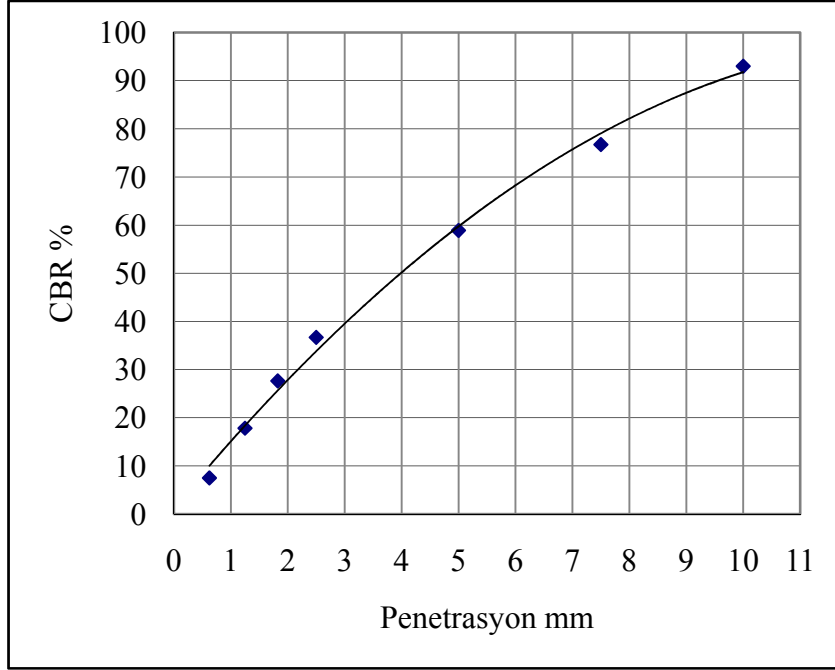


Şekil E.91. %20'lık Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

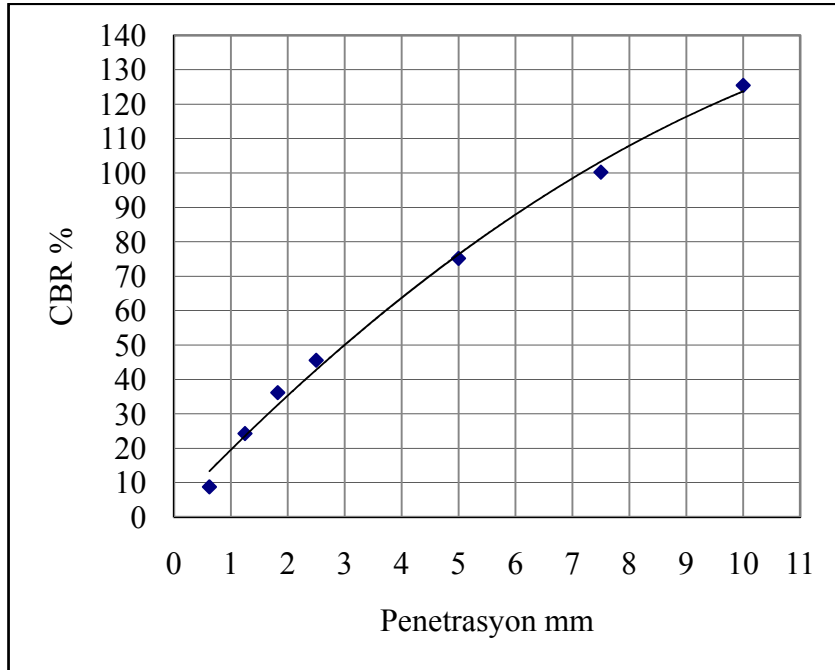


Şekil E.92. %30'lık Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

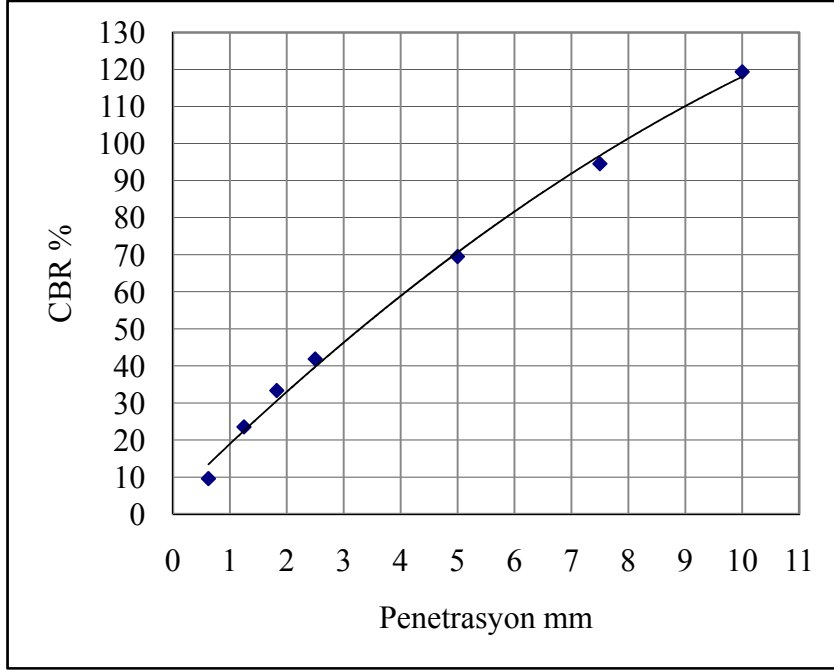


Şekil E.93. %40'lık Burdur Beji içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

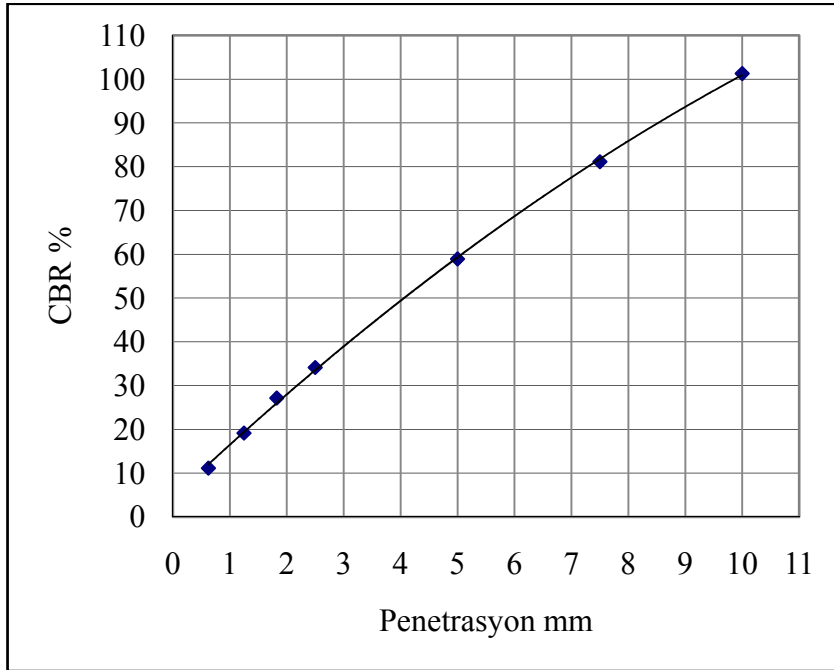


Şekil E.94. %10 Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

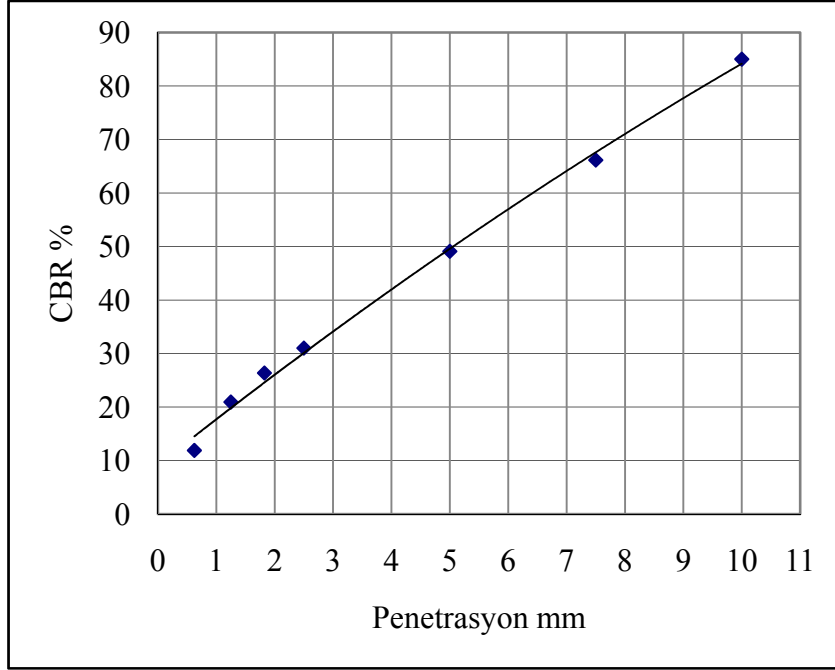


Şekil E.95. %20 Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

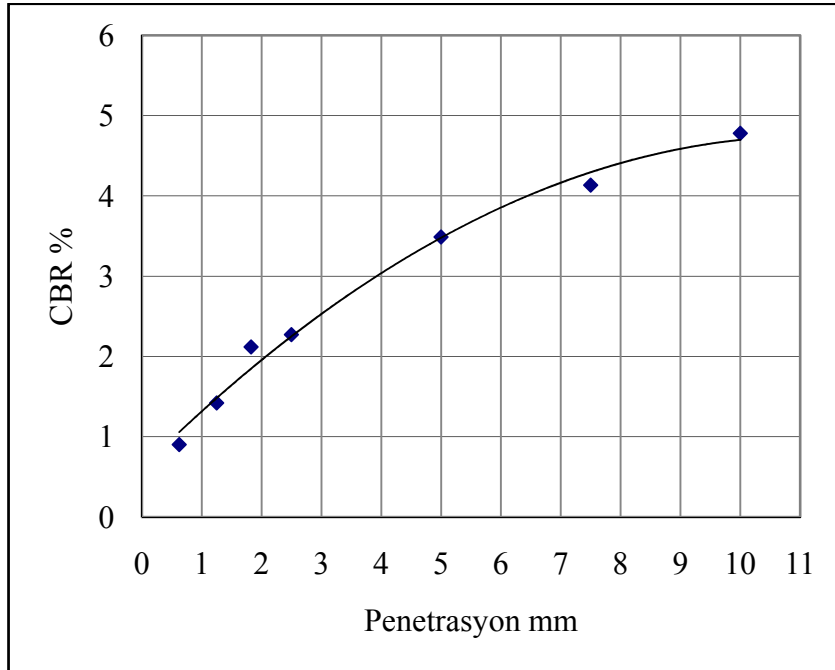


Şekil E.96. %30 Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

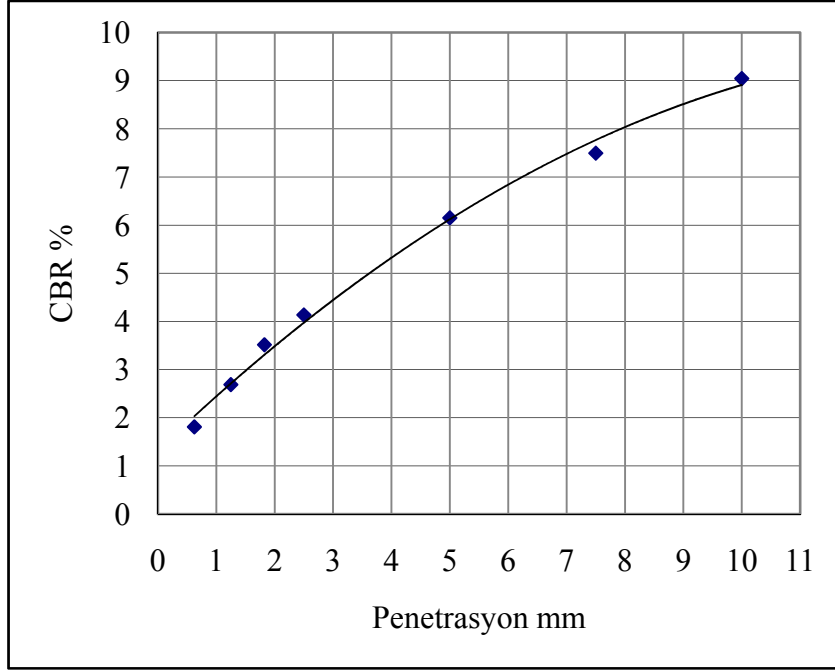


Şekil E.97. %40 Traverten içeren 3 no'lu toprak numunesi CBR grafiği

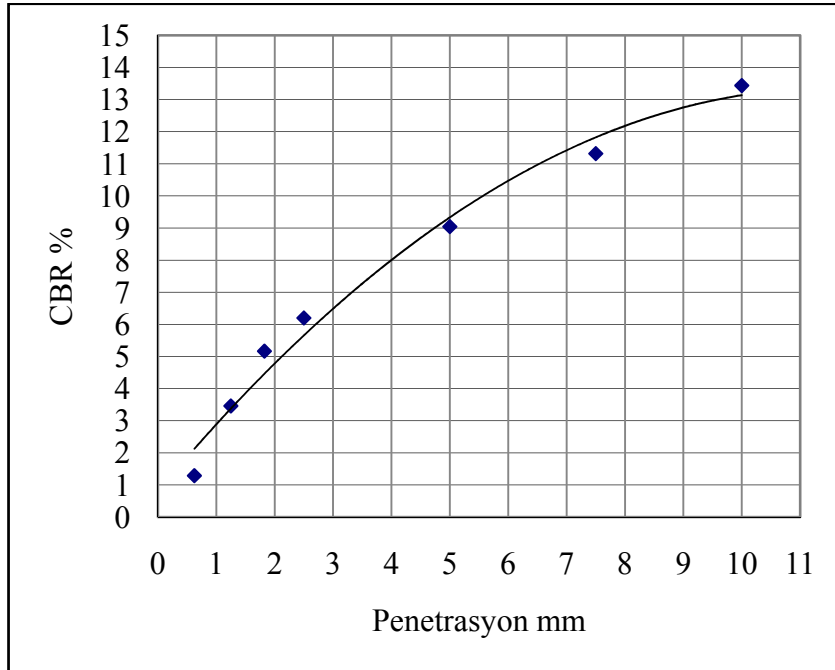


Şekil E.98. 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği

(EK-6 Devamı)

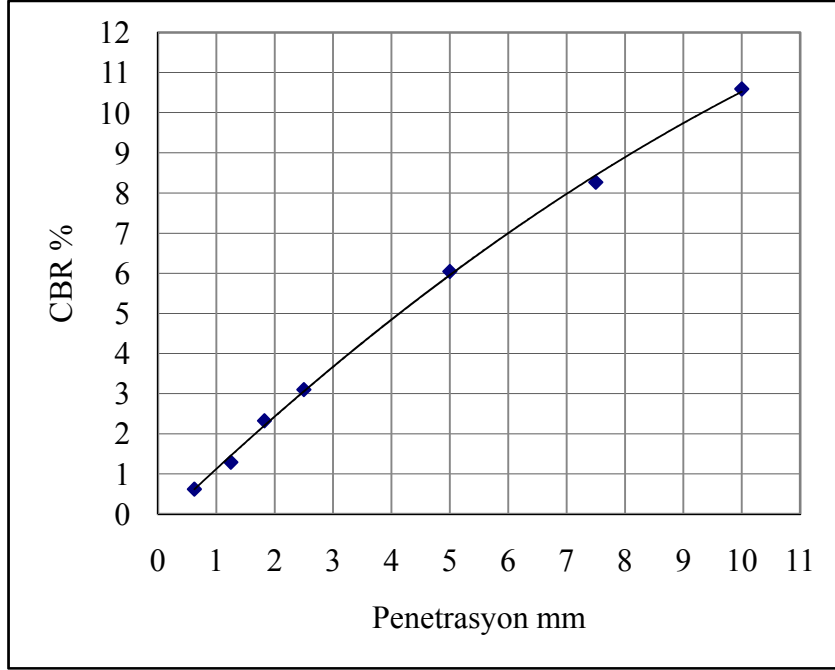


Şekil E.99. %10 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği

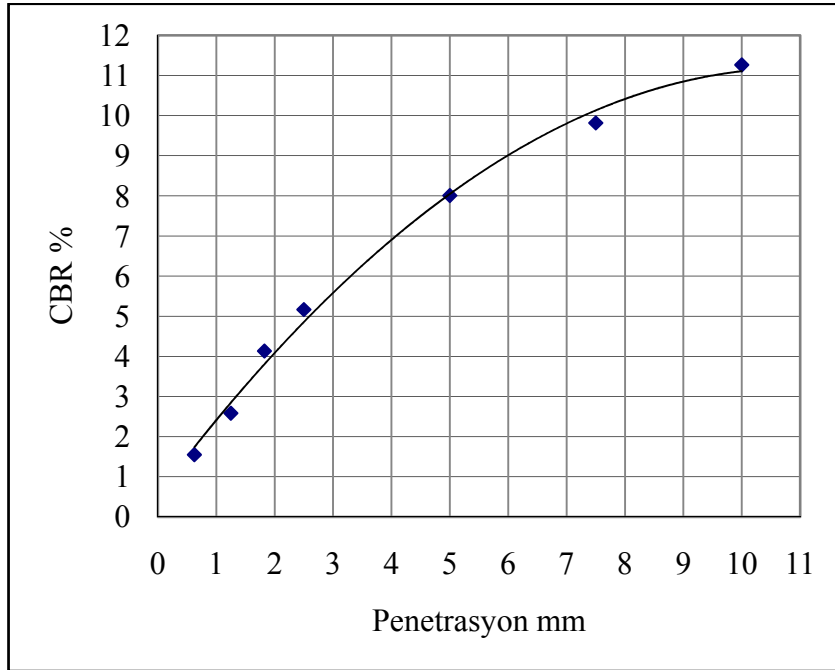


Şekil E.100. %20 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği

(EK-6 Devamı)



Şekil E.101. %30 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği



Şekil E.102. %40 Traverten içeren 1 no'lu toprak numunesi Yaş CBR grafiği

EK-7

Çizelge E.1. Mermer toz atıkları için birim fiyat analizi

Poz No : 4465/3				
Açıklama : Plent-miks alttemel ve temel karışımı hazırlanması				
Birim : t				
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	Fiyatı (YTL)
01.409	FORMEN	sa	0.05	2,81
01.502	ERBAB İŞÇİ	sa	0.1	
02.017	HER ÇİNS VE TONAJDA MOTORLU ARAÇ TAŞIMA KATSAYISI K	K	0.0034	
08.533	MOTORLU TULUMBA İLE SU HAZIRLANMASI	m ³	0.05	
1911/1	1 GÜNLÜK SU TANKININ ÜCRETİ (40 m ³ HACMİNDE)	GÜN	0.006	
1936	1 SA STABİLİZASYON KARIŞTIRICISININ ÜCRETİ	sa	0.01	
03.510/3	1 SA TRAKTÖR-BULDOZER ÜCRETİ	sa	0.0057	
03.521	1 SAATLİK LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ ÜCRETİ	sa	0.0051	
03.534	1 SAATLİK MOTORLU TULUMBA ÜCRETİ	sa	0.01	
			Toplam	2,81
			Yüklenici Karı %25	0,70
			Genel Toplam	3,51

Çizelge E.2. Stabilizasyon birim fiyatları

Malzeme	%20'lik karışım için birim maliyeti (YTL/t)	1 ton malzemenin serme maliyeti (YTL/t)	Toplam maliyet (YTL/t)
Portland Çimento	374	5,26	379,3
Kireç Tozu	308	4,60	312,6
Uçucu Kül	35,2	2,79	37

(EK-7 Devamı)

Çizelge E.3. Ocak taşı maliyeti (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri'nden, 2007)

RAYİÇ FİYAT
Poz No : 04.001/A
Açıklama :Ocak Taşı
Birim : m ³
Fiyatı : 12,08 YTL

Çizelge E.4. El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri'nden, 2007)

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : 08.021/K					
Açıklama : El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması (Balast, blokaj yol ve beton için kırma taş, mıcır)					
Birim : M ³					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	Fiyatı	Toplam (YTL)
	15.4251% MALZEME				2,05
04.101	Dinamit (gom 11)	kg	0,1	5,7	0,57
04.105	Kapsül (adi)	Ad	1	0,52	0,52
04.104	Katranlı fitil	m	1	0,96	0,96
	62.8292% İŞÇİLİK				8,35
01.501	Düz işçi	sa	0,1	2,75	0,28
01.011	Lağımçı (Ateşleme ustası)	sa	0,15	4	0,6
01.502	Erbab işçi	sa	1,4	2,95	4,13
01.502	Erbab işçi	sa	0,2	2,95	0,59
01.501	Düz işçi	sa	1	2,75	2,75
	21.7457% MAKİNA				2,89
03.517	Kompresörün 1 saatlik ücreti (210 CFM komp.+hortum ve tabancalar)	sa	0,075	38,58	2,89
				Toplam	13,29
				Yüklenici Karı %25	3,32
				Genel Toplam	16,61

(EK-7 Devamı)

Çizelge E.5. Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti, (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri'nden, 2007)

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : 03.521					
Açıklama : Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti (1 1/2 YD3 lük ve 5500 taşıma güçlü takriben 80 DHP)					
Birim : Saat					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	Fiyatı	Toplam (YTL)
	49.0054% MALZEME				18,23
04.109	Mazot (0.0853x80 HP)	kg	6,84	2,21	15,12
04.109.	M.yağı, benzin üstübü karşılığı (0.030x80 HPx0.57)	kg	1,368	2,27	3,11
	26.2634% İŞÇİLİK				9,77
01.404	Operatör makinist	sa	1,44	4,7	6,77
01.408	Yağcı	sa	1	3	3
	24.7312% MAKİNA				9,2
03.021	Yükleyici 80 dhp	Ad	0,0002	46000	9,2
				Toplam	37,2
				Yüklenici Karı %25	9,3
				Genel Toplam	46,5

Çizelge E.6. Konkasörün 1 saatlik ücreti, (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri'nden, 2007)

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : 03.530					
Açıklama : Konkasörün 1 saatlik ücreti (Primer 15x24 inç+sekonder 24x16 inç eleme ve yükleme tertibatı 25 m ³ /sa bir inç ve 40 m ³ /sa 2 inç randımanlı)					
Birim : Saat					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	Fiyatı	Toplam (YTL)
	39.8089% MALZEME				34,16
04.109	Mazot	kg	12,825	2,21	28,34
04.109.	M.yağı, benzin üstübü karşılığı	kg	2,565	2,27	5,82
	40.6596% İŞÇİLİK				34,89
01.403	Makinist	sa	2,88	4,1	11,81
01.408	Yağcı	sa	4	3	12
01.409	Formen	sa	0,48	5,9	2,83
01.501	Düz işçi	sa	3	2,75	8,25
	19.5315% MAKİNA				16,76
03.030	Konkasör	Ad	0,000171	98000	16,76
				Toplam	85,81
				Yüklenici Karı %25	21,45
				Genel Toplam	107,26

(EK-7 Devamı)

Çizelge E.7. Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm'lik temel malzemesi temini, (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı birim fiyat analizleri'nden, 2007)

FİYAT ANALİZİ					
Poz No : 15.113/K (TCK)					
Açıklama : Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş 25 mm (1 inç) lik temel malzemesi temini					
Birim : m³					
Kod No	Açıklama	Birim	Birim Miktar	Fiyatı	Toplam (YTL)
	12.5339% İŞÇİLİK				2,31
01.409	Formen	sa	0,25	5,9	1,48
01.501	Düz işçi	sa	0,3	2,75	0,83
	27.2925% MAKİNA				5,03
03.521	Lastik tekerlekli yükleyicinin 1 saatlik ücreti	sa	0,03	37,73	1,13
03.530	Konkasörün 1 saatlik ücreti (Primer 15x24 inç+sekonder 24x16 inç eleme ve yükleme tertibatı)	sa	0,045	86,59	3,9
	60.1736% DİĞER				11,09
08.021/K	El ile veya kompresörle ocaktan taş hazırlanması (Balast, blokaj yol ve beton için kırma taş, mıcır)	m ³	1	10,64	10,64
02.017	"k" katsayısı (taşıt)	K	0,00375	120	0,45
				Toplam	18,43
				Yüklenici Karı %25	4,61
				Genel Toplam	23,04

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Ahmet Husrev YILDIZ

Doğum Yeri ve Yılı: Bucak / 17.10.1975

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bucak Lisesi / 1989-1992

Lisans : S.D.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi Çevre Mühendisliği / 1993-1997

Yüksek Lisans: S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği / 1998-2000

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

AS Güreller Mermer / 2004-2005

AS Çimento / 2005

Portsan Mermer / 2006-....

Yayınları (SCI ve Diğer Makaleler)

1- Ersoy, B., Alptekin, A.M., Sarıışık, A., Erkan, Z.E. and Yıldız, A. “Flocculation of Travertine Suspension by HMW anionic Polymers” 1th International Symposium on Travertine, 263-276., Denizli-Turkey, 2005.

2- Ersoy, B., Alptekin, A.M., Sarıışık, A., Gürcan, S., Erkan, Z.E. and Yıldız, A. “Doğal Taş İşleme Tesisi Atık Sularından Bulanıklığın Giderilmesine Farklı Yöntemlerin ve Farklı Koagülanların Etkisi” Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 117-125, Ankara, 2005.