

**KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPILARI
ALTTEMEL TABAKASININ
STABILİZASYONUNDA
HAFİF AGREGALARIN KULLANILABİLİRLİĞİ**

Fadime Selcan FINDIK

**Yüksek Lisans Tezi
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2005**

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

**KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPILARI ALTTEMEL
TABAKASININ STABİLİZASYONUNDA
HAFİF AGREGALARIN
KULLANILABİLİRLİĞİ**

FADİME SELCAN FINDIK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA, 2005**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

Üye : Doç. Dr. Mehmet SALTAN

Üye : Doç Dr. Halim CEYLAN

ONAY

Bu tez 17/08/2005 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../200

Prof. Dr.Çiğdem SAVAŞKAN
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLGİSİ	3
2.1. Üstyapılar	3
2.2. Esnek Üstyapılar	4
2.3. Esnek Üstyapılarda Alttemel Tabakası	7
2.3.1. Alttemel Tabakasında Kullanılan Malzeme Özellikleri	8
2.4. Stabilizasyon	10
2.5. Konu Hakkında Yapılmış Olan Önceki Çalışmalar	12
2.6. Hafif Agregalar	15
2.6.1. Doğal Hafif Agregalar	15
2.6.1.1. Pomza	16
2.6.1.2. Volkanik Cüruf	20
3. KULLANILAN MATERYALLER	22
3.1. Yöntemler	22
3.1.1. Elek Analizi Deneyi	22
3.1.2. Likit Limit ve Plastik Limit Tayini	23
3.1.3. Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (Sodyum Sülfat Dona Karşı Mukavemet Deneyi)	24
3.1.4. Los Angeles Aşınma Deneyi (Darbeli Aşınma Deneyi)	26
3.1.5. Proktor Deneyi	28
3.1.6. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi	28
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	31
4.1. Yapılan Deneyler ve Sonuçları	33

4.1.1.	Isparta-Karakaya Pomzası.....	33
4.1.2.	Volkanik Cüruf	35
4.1.3.	Kayseri-Talas Pomzası, Nevşehir-Göre Pomzası ve Karaman Pomzası	38
4.2.	Stabilize Edilecek Malzeme ve Özellikleri.....	41
4.2.1.	Çapalı Evlenkaya Ariyet Ocağı Malzemesi	41
4.3.	Stabilizasyon İşlemi	43
4.3.1.	Çapalı Evlenkaya Ariyet Malzemesinin Isparta-Karakaya Pomzası ile Stabilizasyon İşlemi	43
4.3.2.	Volkanik Cüruf ile Stabilizasyon İşlemi.....	46
5.	DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE EKONOMİK ANALİZ	49
5.1.	Karakuyu Taşocağı Malzemesinin Ekonomik Analizi	50
5.2.	Çapalı Evlenkaya Ariyet Malzemesinin, Isparta-Karakaya Pomzası ile Stabilizasyonunun Ekonomik Analizi.....	52
6.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	55
	KAYNAKLAR	57
	EKLER.....	59
	ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPILARI ALTTEMEL TABAKASININ STABİLİZASYONUNDA HAFİF AGREGALARIN KULLANILABİLİRLİĞİ

Bu çalışmada, birim hacim ağırlığı değerlerine bağlı olarak pomzaların ve volkanik cürufun alttemel tabakasında stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle, her bir hafif agrega malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Numuneler üzerinde dona karşı dayanıklılık, sağlamlık, limit deneyleri ve CBR deneyleri uygulanmıştır. Malzemelerin alttemel tabakasında mekanik stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Alttemel stabilizasyonunda kullanılabilirliği belirlenen malzemelerden yerel malzeme olması nedeniyle Isparta-Karakaya pomzası ve farklı özellik göstermesiyle volkanik cüruf hafif agregaları, plastiklik değeri yüksek olan Keçiborlu-Çapalı ariyet malzemesiyle plastikliğini azaltmak için farklı oranlarda karıştırılmıştır. Bu karışımlar üzerinde limit deneyleri yapılarak bulunan kullanılabilir malzeme üzerinde taşıma oranının nasıl değiştiğini görmek için CBR deneyleri uygulanmıştır.

Sonuç olarak, hafif agregaların karayolu esnek üstyapıları alttemel tabakasında, mekanik stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilmesi, karışım yapılan malzemenin taşıma oranını arttırdığı bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Pomza, Volkanik cüruf, Stabilizasyon, Alttemel.

ABSTRACT

USE OF LIGHT-WEIGHT AGGREGATES IN STABILIZATION OF SUBBASE LAYER OF FLEXIBLE PAVEMENTS

In this study, when the value of the volumetric unit weight is considered, the usability of the pumices of the Isparta-Karakaya, Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre, Karaman and the volcanic slag those categorized in the light aggregate class, have been examined out as a stabilization material in the subbase.

Initially, in the study, the physical properties of every single light weight aggregate material have been analyzed. Then, they have also been re-analyzed whether they can be used in a subbase layer or not. In order to understand that, a few experiments have been carried out by using experiment sample such as stability to the freeze, solidity, strength, Atterberg limits and CBR. And the usability of the mechanic stabilization material has been determined in the subbase layer.

Pumice of Isparta-Karakaya which is a local material and the volcanic slag that is different from the other light weight aggregates, Keçiborlu-Çapalı material have all been mixed in different amount so as to lessen the amount of plastic limit. And then, the limit experiment has been done. The CBR experiment has been done so as to see the change of strength by the use of obtained the reascent usable material.

As a result, it has been observed and determined that the light weight aggregates can be used as subbase material of highway and the mechanic stabilization material when building highway and every kind of road and it has also been observed and determined that the increased strength of the mixed material.

Key words: Pumice, Volcanic slag, Stabilization, Subbase.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde doğal kaynakların değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Doğada bulunduğu haliyle karayolu üstyapısında kullanılmaya elverişli malzemeler sınırlıdır. Bu sebeple granülometrik olarak ocakta ayarlanabilen, fakat maliyeti yüksek olan kırmataş kullanımına gidilmektedir. Bu durumda tüvenan malzemelerin stabilize edilerek kullanımı daha ekonomik olmaktadır. Pomza kullanım alanı çok geniş olan hafif bir agregadır. Plastik olmayan malzeme özelliği gösteren pomzanın 0-3 mm boyutunun kullanım alanı iri boyutlara nazaran çok azdır. Bu malzeme plastikliği yüksek tüvenan malzeme ile karıştırıldığında hem karayolu için standartlara uygun bir alttemel malzemesi elde edilir, hem de malzemenin taşıma oranı artırılmış olmaktadır. Bu çalışmanın sonucundan, pomza malzemesinin bol miktarda bulunabileceği bir yöredeki yol inşaatında değerlendirildiği takdirde önemli bir oranda ekonomi sağlanacaktır.

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın her aşamasında bilgi, görüş ve desteğini, aynı zamanda karşılaştığım her sorunla başa çıkabilme yeteneği kazandıran danışman Hocam, Doç. Dr. Mehmet SALTAN' a (S.D.Ü. Müh-Mim Fak. İnşaat Müh. Böl.), mühendislik ve hayat hakkında görüşlerini her ihtiyacım olduğunda benimle paylaşan ve her konuda kendime örnek edindiğim değerli Hocam, Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN' e (S.D.Ü. Müh-Mim Fak. İnşaat Müh. Böl.), çalışmada kullandığım hafif agregaların temini, laboratuvar olanakları, doküman temini ve değerli bilgilerini kullanmamı sağlayan Sayın Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ' e (S.D.Ü. Müh-Mim Fak. Maden Müh. Böl.), gerek malzeme temini ve laboratuvar olanakları, gerekse bilgi yönünden bana yardımcı olan Sayın Serdar ŞİMŞEK, Sayın Baki AKAR' a (T.C.K. 13.Bölge Müd.), İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine ve çalışma arkadaşlarıma ve her zaman her konuda yanımda olan ve üzerimde büyük emeği geçen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Tipik esnek üstyapı enkesiti (Ağar vd., 1998).....	5
Şekil 2.2. Alttemel tabakası yapım aşaması.....	8
Şekil 2.3. Pomzanın genel görünümü	16
Şekil 2.4. Pomza rezervi.....	17
Şekil 2.5. Granüler olarak ayrılmış pomza agregası	17
Şekil 2.6. Stoklama	18
Şekil 2.7. Türkiye Pomza rezerv dağılımı (Şapıcı ve Gündüz, 2004).....	19
Şekil 2.8. Volkanik cüruf genel görünümü	21
Şekil 3.1. Elek analizi deney aletleri.....	23
Şekil 3.2. Casagrande cihazı	23
Şekil 3.3. Los Angeles deney aleti	26
Şekil 3.4. CBR deney aleti ve parçaları	29
Şekil 4.1. Isparta-Karakaya pomzasının elek analizi grafiği.....	34
Şekil 4.2. Volkanik cüruf elek analizi grafiği	37
Şekil 4.3. Çapalı Evlenkaya Tepesi ariyet malzemesi ocağı.....	41
Şekil 4.4. Çapalı Evlenkaya ariyet malzemesinin elek analizi grafiği.....	42
Şekil 4.5. Stabilizasyon malzemesi olarak seçilen %30' luk karışımın elek analizi grafiği.....	45
Şekil 4.6. Pomza ile yapılan iyileştirme deney sonuçlarının değerlendirilmesi	45
Şekil 4.7. Stabilizasyon malzemesi olarak seçilen karışımın elek analizi grafiği.....	47
Şekil 4.8. Volkanik cüruf ile yapılan iyileştirme deney sonuçlarının değerlendirilmesi	48
Şekil 5.1. Yaklaşık yol planı	49
Şekil 5.2. Karakuyu Taşocağı	50
Şekil 5.3. Isparta Keçiborlu-Sandıklı Yolu Çapalı Evlenkaya Ariyet Malzemesi.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Kullanılan malzeme cinsine göre alttemel tabakasının minimum kalınlıkları	9
Çizelge 2.2. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri	9
Çizelge 2.3. Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri (TS 9581)	10
Çizelge 3.1. Deneye alınacak malzeme miktarı	24
Çizelge 3.2. Granülometri sınıfları ve gerekli numune miktarları	27
Çizelge 3.3. Aşınma sınıfına göre kullanılan küre sayıları	27
Çizelge 4.1. TS 3529' a göre gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık limitleri	31
Çizelge 4.2. Isparta-Karakaya pomzasının kimyasal bileşimi	33
Çizelge 4.3. Isparta-Karakaya pomzasının fiziksel özellikleri.....	33
Çizelge 4.4. Isparta-Karakaya pomzasının elek analizi sonuçları.....	34
Çizelge 4.5. Isparta-Karakaya pomzası ile yapılan analiz bulguları.....	35
Çizelge 4.6. Volkanik cürufun kimyasal bileşimi	36
Çizelge 4.7. Volkanik cürufun gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlığı, su emme, komposite, porozite ve doyma derecesi değerleri	36
Çizelge 4.8. Volkanik cüruf elek analizi sonuçları	37
Çizelge 4.9. Volkanik cüruf ile yapılan analiz bulguları	38
Çizelge 4.10. Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzalarının kimyasal bileşimi.....	38
Çizelge 4.11. Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzalarının fiziksel özellikleri.....	39
Çizelge 4.12. Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzaları ile yapılan analiz bulguları	40
Çizelge 4.13. Ariyet ocağı klas tablosu.....	41
Çizelge 4.14. Çapalı Evlenkaya Ariyet Malzemesinin elek analizi sonuçları	42
Çizelge 4.15. Çapalı Evlenkaya ariyet malzemesi ile yapılan analiz bulguları	43
Çizelge 4.16. Isparta-Karakaya pomzası ile Keçiborlu-Çapalı malzemesinin karışım oranları.....	44
Çizelge 4.17 Stabilizasyon malzemesi olarak seçilen %30' luk karışımın elek analizi	44

Çizelge 4.18. Volkanik cüruf ile Keçiborlu-Çapalı malzemesinin karışım oranları	46
Çizelge 4.19. Stabilizasyon malzemesi olarak seçilen %20' lik karışımın elek analizi	47
Çizelge 5.1. Kırmataş alttemel maliyet analizi	51
Çizelge 5.2. Pomza-Çapalı alttemel maliyet analizi	53

GİRİŞ

Günümüzde ulaşımın yeri azımsanmayacak kadar çok geniştir. Özellikle karayolu ile ulaştırma en eski zamanlardan günümüze kadar hep güncelliğini korumuş ulaştırma türlerinden birisidir. Karayolu yapıları rijit ve esnek üstyapı olarak iki farklı şekilde, taban zemini üzerine inşa edilmektedirler. Üstyapı tiplerinin yapım maliyeti oldukça yüksektir.

Esnek üstyapılar, taban zemini üzerine tabakalı olarak inşa edilmektedirler. Bu tabakalı sistemin tabaka kalınlıkları, maliyeti önemli derecede etkilemektedir. Temel tabakasının kalınlığını azaltarak maliyeti önemli derecede düşürmesi, dona hassas taban zeminlerini don etkisinden koruması ve taşıma gücünü artırmasından dolayı alttemel tabakası inşa edilir. Alttemel tabakasında, genellikle maliyeti yüksek olmayan yöresel malzemeler ve atık olarak tanımlanabilecek malzemeler kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ülkemizde yaygın yatakları bulunan volkanik kökenli bir kayaç türü olan, hafif agregası sınıfına giren farklı yöre pomzalarının ve volkanik cürufun yol alttemelinde kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmıştır. Pomza inşaat sektörü başta olmak üzere, tarım, tekstil, kimya sektörleri ve çeşitli sanayi sektörlerinde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.

Fiziksel ve kimyasal özellikleri bilinen hafif agregaların üzerinde, alttemel tabakasında kullanılabilir agregası olup olmadığını görmek için, karayolu esnek üstyapıları alttemel tabakası malzeme standart deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarından bu malzemelerin direk olarak alttemel tabakasında kullanılamasa da, mekanik stabilizasyonda kullanılabilecekleri görülmüştür.

Mekanik stabilizasyon için, yol alttemeli için plastikliği yüksek olan malzeme ile pomza ve volkanik cürufu belirli oranlarda karıştırılarak, plastiklik olarak alttemelde kullanılabilecek hale getiren oranlarda karışım malzemesinin mukavemetinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. Bu çalışmalarda doğal hafif agregaların en az kullanılan atıl boyutu (3 mm ve altı) alttemel tabakasında farklı oranlarda kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmalar sonunda, yol inşaatında en önemli unsur olan maliyet incelenmiştir. Alttemel tabakasında kullanılan kırmataş maliyeti ile ariyet-pomza karışım maliyeti karşılaştırılmıştır. Ekonomik olarak mekanik stabilizasyon yapılarak elde edilen karışımın ciddi oranda ekonomi sağladığı görülmüştür.

KAYNAK BİLGİSİ

1.1. Üstyapılar

Önceden belirlenen geometrik standartlara göre saptanmış güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü karayolu yapısını oluşturur.

Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Taban zeminine, trafiğe, çevre koşullarına ve ekonomik hususlara bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilir.

Çimento betonuyla yapılan kaplamalarla oluşturulan üstyapıya “Rijit Üstyapı” ya da “Beton Yollar” denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafik yüklerini tabana iletme ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakalarının özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen temel ve alttemel tabakalarıyla var olan taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle projelendirme sırasında, taban zemini, temel ve alttemel malzemeleri, betonu oluşturan kum, çakıl, kırmataş, çimento ve betonarme demiri gibi malzemelerin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Beton yollar, enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmış 20-25 m² alana sahip plaklar halindedir. Beton plağın rijitliğinin yüksek olması nedeniyle taban zemininde oluşan gerilmeler geniş alana yayılır.

Bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılara “Esnek Üstyapı” denir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup; stabilitesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır. Trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, esnek üstyapıların amacıdır. Kaplama, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin

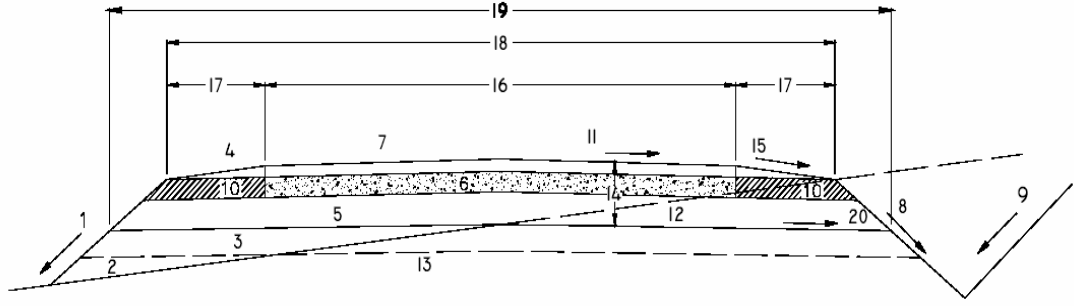
aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı maddeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemeden oluşur. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılımını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnimsizlik sağlamak, tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır (Ilıcalı, 2001).

Çalışma esnek üstyapılarla ilgili olduğu için, esnek üstyapıların özellikleri detaylı olarak verilmiştir.

1.2. Esnek Üstyapılar

Esnek üstyapılar; üzerine gelen yükleri bünyesindeki çeşitli tabakalardan geçirerek, çok iyi yüzeysel temas halinde olduğu taban zeminine ileten, en alttan en üste doğru nitelik ve taşıyıcılık bakımından daha iyi malzemelerden inşa edilen; stabilitesi için esas olarak agrega kilitlemesi, partikül sürtünmesi ve kohezyona dayanan bir üstyapı tipidir. Aynı zamanda, trafiği güvenli olarak ve ekonomik bir şekilde taşımak zorundadır.

Bir esnek üstyapı, proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemini dayanımı gibi kriterler göz önünde bulundurularak tabakalı olarak projelendirilir. Bu tabakalar; üstyapının üst kısmından taban zeminine inildikçe, tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri düşecek şekilde kaplama tabakası, temel tabakası, alttemel tabakası ve taban zemini olarak adlandırılır (Türel, 2002). Esnek üstyapıların dizaynında platform genişliği, banket genişlikleri, hendek ve şevler oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir (Şekil 0.1).



- | | |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1—Dolgu Şevi | 11—Yolun Enine Eğimi |
| 2—Doğal Zemin | 12—Taban Yüzeyi (Tesviye Yüzeyi) |
| 3—Seçme Malzeme Tabakası (Gerekli Olduğu Durumda) | 13—Yol Gövdesi (Taban Zemini) |
| 4—Banket Kaplama | 14—Üst Yapı Proje Kalınlığı |
| 5—Alt Temel | 15—Banket Eğimi |
| 6—Temel Tabakası | 16—Trafik Şeritleri Genişliği |
| 7—Kaplama Tabakası | 17—Banket Genişliği |
| 8—Hendek Şevi | 18—Yol Genişliği (Platform Genişliği) |
| 9—Yarma Şevi | 19—Üst Yapı Taban Genişliği |
| 10—Banket Temeli | 20—Taban Yüzeyinin Enine Eğimi |

Şekil 0.1. Tipik esnek üstyapı enkesiti (Ağar vd., 1998)

Bütün yapılarda olduğu gibi karayolu üstyapıları da taban zeminine üzerine oturur. Taban zeminine, sıkıştırılmış doğal zeminden oluşur. Bir esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan doğruya ilişkili olduğundan, yapısal olarak en önemli tabakadır. Üstyapı yükü son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın esas görevini iyi yapabilmesi için iyi bir drenaja ihtiyacı vardır (Karaşahin, 1993).

Taban zeminine ile temel tabakası arasında yerleştirilerek sıkıştırılmış daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı malzeme ile stabilize edilmiş malzeme tabakası alttemel tabakasıdır (Umar ve Ağar, 1991). Alttemel tabakasının esas görevi, bitümlü tabakaların inşası için çalışma platformu oluşturmaktır. Bu tabakada kullanılan malzemeler genel olarak temel tabakasına göre daha düşük kalitededir ve granüler malzemedir. Mümkün mertebe yerel malzemeler ve yol inşaatında kullanılmaya elverişli malzemeler (molozlar, cürufklar, inşaat atıkları gibi) kullanılmaya çalışılır (Saltan, 1999).

Temel tabakası; üstyapının oturduğu doğal zemin olan taban zeminini koruyan, bir veya birden fazla tabakadan oluşabilen, kaplama tabakasından gelen trafik yüklerini

alt tabakalara ileten tabakadır. Temel tabakasının asıl görevi kaplama tabakasına dayanak sağlayarak, taşıtların geçişlerinden dolayı oluşan gerilmeleri taban zemininin taşıma gücü sınırları içinde yaymaktır. Temel tabakası duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcılı karışım, stabilize edilmiş veya dikkatle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakası kaplama tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek bir elastisite modülüne sahip olmalıdır. Bu tabaka, gerekirse aşınma ve binder olarak iki kısımdan oluşur. Aşınma tabakası çok kaliteli inşa edilmesi gereken, trafiğe dayanım yanında su geçirimsizliğini sağlamak ve sürtünme oluşturmakla görevlidir. Binder tabakası ise kaplama tabakasının kalın olması durumunda sıkıştırımda kolaylık ve ekonomi sağlamak için, aşınma tabakasına göre daha iri agregalardan inşa edilen tabakadır. Kaplama tabakasının trafiği emniyetli ve konforlu bir şekilde geçirebilmesi için yeterli pürüzlülükte üniform bir yuvarlanma yüzeyine sahip olması gerekir. Ayrıca, taşıtlardan su sıçramasını ve yol yüzeyindeki küçük havuzcukların oluşmasını önlemek için drenaj tesislerine de sahip olması gereklidir (Umar ve Açar, 1991).

Trafik yüklerinin bu tabakalardan geçerek taban zeminine iletilmesi, zemin içindeki klasik yük dağılışı gibidir. Yani tekerlek yükleri altında esnek üstyapı deforme olur ve her tabaka, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletir. Böylece, taban zeminine ulaşan yük kısmen büyük bir alana yayılmış olur. Esnek üstyapıda oluşan gerilmelerin değeri yolun en üst tabakasından alta inildikçe düştüğü için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri de bu gerilme dağılışına uygun olarak seçilir. Asfalt betonundan yapılan kaplama tabakası, trafiğin ve iklimin bozucu etkilerine doğrudan doğruya maruz kaldığı için, yüksek elastisite modülü, kaymaya direnç yanında geçirimsizlik özelliğine de sahip bulunmalıdır. Esnek üstyapılar iyi projelendirilmezse, aşağıdaki iki nedenden biri yolun tahrip olmasına yol açar (Sezgin, 2003):

1. Taban zemininde veya yol üstyapısını oluşturan tabakaların birinde meydana gelen gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerini aşması ve iç dengenin bozulması.
2. Taban zemininde veya yol üstyapısı tabakalarının birindeki yüksek basınç gerilmeleri ve rutubet oranındaki önemli değişimler altında oldukça büyük oturmaların ortaya çıkması.

1.3. Esnek Üstyapılarda Alttemel Tabakası

Trafik yüklerinin taban zemini üzerine yayılmasını sağlamak, taban zemininin bünyesinde bulunan ince danelerin temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek ve ayrıca su ve don tesirlerine karşı tampon görevi yapmak üzere; belirli bir granülometride hazırlanan agreganın optimum su yüzdesinde karıştırılarak, ince tesviyesi tamamlanmış dolgu veya yarmadan oluşan taban üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde, projesinde belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak serilip sıkıştırılması ile oluşturulan tabaka alttemel tabakasıdır (İlçalı, 1988).

İyi bir şekilde yapılmış olan bir alttemel tabakası, üstyapının yük taşıma kapasitesinin esasını teşkil etmesi sebebiyle üstyapıdaki oturmaları ve defleksiyonları önleyecektir. Alttemel tabakası, taban zemininin taşıma gücünü aşabilecek yüksek gerilmeleri yayarak taban zeminine zarar gelmesini önler (Şekil 0.2).

Alttemel malzemesi inşaat ve tesviyesi tamamlanarak hazırlanmış taban zemini üzerine, sıkışmış kalınlığı 20 cm' yi geçmeyecek şekilde tabakalar halinde serilir. Ancak sıkıştırma makinelerinin kapasitelerinin büyük olması durumunda tabaka kalınlığı, 30 cm' ye kadar artırılabilir.

Alttemel tabakası genellikle dona hassas olan taban zeminlerinde, taban zemininde oluşan buz merceklelerinin yukarıdaki tabakalara doğru yükselmesi sonucu oluşacak don kabarmasını önlemek için yapılır. Eğer yol kaplamasında don kabarması meydana gelirse yol kaplaması tamamen ayrışabilir.



Şekil 0.2. Alttemel tabakası yapım aşaması

1.3.1. Alttemel Tabakasında Kullanılan Malzeme Özellikleri

Alttemel, taban yüzeyi ile temel tabakası arasına yerleştirilen, sıkıştırılmış daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı malzeme ile stabilize edilmiş malzeme tabakasıdır. Alttemel tabakası, taban zeminin taşıma gücünü aşabilecek yüksek gerilmeleri ve tabanda oluşacak don etkisinin üstyapıya yansımalarını önleyecek özelliklere sahip bulunmalıdır. Alttemel tabakası, ekonomik etkenler göz önünde tutularak, yörede bulunan iyi kaliteli seçme malzemeden oluşturulmalıdır (Umar ve Ağar, 1991).

Alttemel tabakasında kullanılan malzeme özellikleri yol mühendisliği için, özellikle taban zemini taşıma gücü düşük zeminlerde ve don tehlikesi olan zeminlerde önem arz etmekte ve uygulamalarda kullanılmaktadır. Alttemel tabakasında özellikle granüler malzemeler kullanıldığından dolayı agregaların önemi oldukça fazladır. Üstyapının ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Çakıl ve kırmataş alttemellerde, dona hassas olmayan malzeme kullanılır. Kullanılan malzemelerde 0.02 mm den küçük dane miktarı %3 ten fazla olmamalıdır. Özellikle don bölgelerinde ve taşıma gücü zayıf olan taban zeminlerinde tercih edilen alttemel tabakası malzemesinin don etkisine ve basınca dayanıklı olması gerekmektedir. En

büyük dane boyutu çakıl için 63.5 mm kırmataş için 76 mm yi aşmamalıdır. Kullanılan malzeme cinsine göre alttemel kalınlıkları Çizelge 2.1' de verilmektedir (Umar ve Ağar, 1991).

Çizelge 0.1 Kullanılan malzeme cinsine göre alttemel tabakasının minimum kalınlıkları

Malzeme cinsi	Alttemel minimum kalınlığı
Çakıl ve kırma taş	20 cm
Mekanik stabilizasyon	20 cm
Çimento ile stabilizasyon (I. ve II. Sınıf yollarda)	15-18 cm
Bitümlü stabilizasyon (I. ve II. Sınıf yollarda)	15-18 cm
Kireç ile stabilizasyon (I. ve II. Sınıf yollarda)	15-18 cm

Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberinde alttemel tabakasında kullanılan malzeme, Çizelge 0.2' de verilen gradasyon limitleri dahilinde ve iyi derecelenmiş olmalıdır.

Çizelge 0.2. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri

Elek (mm)	ASTM (inc)	Ağırlıkça geçen (%)
75.0	3''	100
37.5	1.5''	85-100
9.5	3/8''	45-100
4.75	No.4	25-85
0.425	No.40	7-40
0.075	No.400	0-12

Alttemel yapımında kullanılacak malzemenin diğer fiziksel özellikleri Çizelge 0.3' te verilen limitlere uygun olmalıdır.

Çizelge 0.3. Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri (TS 9581)

$D_{200} / D_{40} = 2/3$	
D_{200} : No.200 elekten geçen alttemel malzemesinin yüzdesi	
D_{40} : No.40 elekten geçen alttemel malzemesinin yüzdesi	
Sağlamlık (Na_2SO_4)	Kayıp \leq %25
Aşınma (Los Angeles)	Aşınma \leq %50
Likit limit	LL \leq 25
Plastisite indisi	PI \leq 6
Kaliforniya taşıma oranı	CBR \geq 30

Granülometrisi standarda uymayan malzemeler elenip uygun oranlarda karıştırılmak suretiyle uygun granülometri sağlandıktan sonra kullanılmalıdır.

Serme işlemi homojen ve üniform miktar ve kalınlıklarda sermeyi sağlayıcı ekipmanlarla gerçekleşir. Serme işlemi malzemenin alındığı en uzak noktadan başlayarak malzemenin alındığı yere doğru ilerler. Proje belirtilen kalınlığın fazlalığı nedeni ile birden fazla tabakalar halinde serilmesi gerektiğinde, tabaka kalınlıkları birbirine eşit alınarak sıkıştırılır ve bir üst tabaka serilir. Alttemel malzemesinin serilmesi tesviyesi sırasında optimum su içeriği belirli tolerans limitleri dahilinde ayarlanır.

Kullanılacak malzeme ve serilen tabaka kalınlığına uygun olarak sıkıştırma tekniği belirlenir. Sıkıştırma yolun enkesitine paralel olarak yapılır ve kenarlardan başlayarak merkeze doğru ilerler. Sıkıştırma esnasında segregasyona uğramış kesimler kaldırılarak yerine uygun malzeme serilir ve sıkıştırma işlemine devam edilir. Sıkıştırılmış alttemel kalınlığı projede gösterilen kalınlığın %10' dan farklı olması durumunda gerekli ilave veya azaltmalar yapılarak tekrar sıkıştırma işlemi yapılır. Yapılan kontroller tabakanın belirtilen oranlarda sıkışmadığını gösterdiği takdirde, ilave ıslatma ve sıkıştırma ile istenen yoğunluk elde edilir.

1.4. Stabilizasyon

Sağlam bir taban zemini veya sağlam bir üstyapı malzemesinden üzerine gelen yükler altında aşırı deformasyon yapmaması, dayanıklı olması, ayrışmaması ve hava

koşulları doğrultusunda bu özelliklerinin değişmemesi beklenir. Stabilizasyon ise bu beklentileri karşılayamayan taban zemini ya da üstyapı malzemeleri üzerinde, elverişsiz olan malzeme özelliklerini istenilen seviyeye getirmek için yapılan iyileştirme işlemleridir. Bu amaçla zemine ya da malzemelere değişik katkı malzemeleri katılarak sıkıştırılması sonucu zemin kararlı bir hale getirilir.

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

Yol inşaatında genellikle, mekanik stabilizasyon, zemin-kireç, zemin-çimento, zemin-bitüm, zemin-reçine stabilizasyonları yapılmaktadır (Cilason, 1964). Mekanik stabilizasyon, uygun granülometriye sahip olmayan zemine belirli oranda, uygun granülometrilik zemin ilave edilerek ve zemine su katılarak mekanik araçlarla sıkıştırılması sonucu zemin taşıma gücünün artırılması şeklinde yapılır (Kizirgil, 2001).

İyi derecelenmiş granüler yapıya sahip malzemeler, yeteri oranda sıkıştırılmadığında stabil bir yapı oluşturup, yük altında kalıcı deformasyonlar vermezler. Bu tür malzemeler mekanik olarak stabildir. Mekanik stabiliteye sahip malzemeler, uygun oranlarda karıştırılmış iri ve ince agregadan meydana gelir.

Mekanik stabilizasyon işlemi genellikle, temel ve alttemel tabakalarında malzeme gradasyonunun düzeltilmesi ve kontrol altına alınması amacıyla uygulanır. Yol inşaatında kullanılan malzemelerin doğal yapısı yeterli stabilite temini için uygun değilse, bu durumda uygun iki veya daha fazla malzeme karıştırılarak yapıma elverişli stabil bir malzeme elde edilebilir. Ayrıca malzemenin gradasyonunu ayarlamak amacıyla orijinal malzeme farklı gruplara ayrılarak uygun oranlarda karıştırılabilir. Karışım oranlarının tespitinden önce malzemelerin fiziksel özelliklerinin saptanması gerekir. Bu özellikler; dane boyutu dağılımı, likit limit ve

plastisite indeksi, hava tesirlerine karşı dayanım, donma kaybı, Los Angeles aşınma kaybı' dır. Yukarıdaki şartlardan biri veya birkaçı standarda uygun değilse uygun malzeme ilavesi ile standartlara uyan malzeme elde edilir.

Plastisite indeksi yüksek olan malzemelerin plastisite indeksini düşürmek amacıyla plastik olmayan bir malzeme ilave edilmesi gerekebilir. Ancak karışımın plastik olması büyük bir önem taşır. Fazla plastik toprakların ufalanma işleminin zor olması, karışımın homejen olmamasına neden olmaktadır.

Laboratuarda standart gradasyonuna uygun olarak karışım oranları saptanan malzemeler verilen oranlarda karıştırılarak, karışımın likit limit ve plastisite indeksi tayini yapılır. Sonuç istenilen limitler içinde değilse, standarda uygun karışım elde edilinceye kadar farklı oranlarda malzemeler denenir.

Malzemelerin dane boyutu dağılımının standarda uymaması veya farklı dane boyutu gruplarında üretilen malzemelerden standart sınırları içinde iyi derecelenmiş yeni malzemeler oluşturabilmek için yapılan işlem de bir mekanik stabilizasyon işlemidir. Bu durumda karışıma girecek her malzemenin ayrı ayrı dane boyutu dağılımı, likit limit ve plastisite indeksi saptanır. Yapım ve malzeme şartlarına bağlı olarak üçlü, dörtlü karışım ve hatta daha fazla malzemenin bir arada karıştırılması gerekli olabilir (Demirel vd., 1999).

1.5. Konu Hakkında Yapılmış Olan Önceki Çalışmalar

Ilıcalı (1988), karayolu üstyapısında Erdemir cürufunun kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada ilk olarak Erdemir cürufunun sahip olduğu kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre bu malzemenin agrega olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Kırılıp elenen cürufa granüler cüruf, bağlayıcı (çimento, kireç), filler olarak portland çimentosu ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu gibi ek malzemeler kullanılarak alttemel ve temel tabakalarındaki performansları incelenmiştir. Cürufu oluşturulan bitümlü karışımlardaki performanslar ve suyun etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak Erdemir cürufunun sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikleri

bakımından üstyapı tabakalarında kullanılacak agregalarda aranan şartlara uyduğu görülmüştür. Kırılmış ve elenmiş hava soğutmalı cürufa belirli oranda granüler cüruf katılarak elde edilen bağlayıcısız karışımın mekanik direnci karayolu alttemel ve temel tabakalarında aranan değerlerin üstünde bulunmuştur. Belirlenen granülometriyi bozmayacak optimum oranda granüler cüruf ve çok az miktarda bağlayıcı (çimento, kireç) katılarak elde edilen karışımın mekanik direnci, yüksek trafikli yolların temel tabakasında aranan mekanik şartları sağladığı görülmüştür. Filler olarak portland çimentosu bağlayıcı olarak da asfalt çimentosu katılmasıyla oluşturulan bitümlü karışımın çok yüksek trafikli yolların aşınma tabakasında dahi kullanılabilmesi anlaşılmıştır. Cürufu oluşturulan bitümlü karışımların su etkisini azaltması, dona karşı dayanımının yüksek olması sayesinde yollarda bakım onarım masraflarının azalabileceği vurgulanmıştır. Aynı zamanda ekonomik olarak incelendiğinde fabrikalara belirli mesafedeki şantiyelerde, karayolu üstyapısında Erdemir cürufunun kullanılabilirliğinin ekonomik olarak ta elverişli olduğu gösterilmiştir.

Alataş ve Yıldırım (1997), Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külünün yol stabilizasyonunda kireç ile birlikte kullanımını araştırmışlardır. Değişik oranlardaki taban zemini-kireç ve taban zemini-kireç-uçucu kül karışımları üzerinde 7 ve 28 gün kür süreli olarak diziler halinde deneyler yapmışlardır. Bu deneylerin sonuçlarına göre, 7 ve 28 günlük zemin-kireç-uçucu kül numunelerinde aynı kireç oranı için, uçucu kül oranı arttıkça basınç mukavemetleri de artmakta %10 uçucu kül oranından sonra ise azalmakta olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külünün mineral katkı maddesi olarak kullanılabilmekte olduğunu ve bağlayıcı gibi davranarak zemin-kireç karışımlarının özelliklerini iyileştirip kireçten de tasarruf sağlanabileceği görülmüştür.

Şenol ve Bin-Shafique (2003), C sınıfı uçucu kül ile bir koşu yolunda zemin stabilizasyonunu araştırmışlardır. Bu malzeme üzerinde laboratuarda sınırlandırılmamış basınç deneyi, CBR deneyi, esneklik modülü deneylerini ve arazide kullanıldıktan sonra elde edilen numuneler üzerinde sınırlandırılmamış basınç deneyi, CBR deneyi ve rijitlik deneylerini uygulamışlardır. Sonuçta yeterli

mekanik özellikleri olmayan taban zeminin stabilizasyonunda yalnızca C sınıfı uçucu külün yapılan deneylerde daha iyi sonuçlar verdiğini ve bu malzemenin kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Toprakçı (2002), yaptığı çalışmada tuğla-kiremit atıklarının puzolonik katkılarla yol stabilizasyon materyali olarak değerlendirilmesini incelemiştir. Farklı killi zemin numunelerine belli oranlarda öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kireç, çimento ve tras gibi bağlayıcı maddeler karıştırılarak serbest basınç deney çalışmalarını yapmıştır. Çalışmanın sonucunda, numunelerin zemin koşullarının değiştiği ve yapılan katkıların zeminin mühendislik davranışını istenilen seviyeye getirme konusunda olumlu etkiler yaptığı gözlenmiştir.

Kizirgil (2001), Sivas Demir-Çelik Fabrikası cürufunun yol stabilizasyonunda kullanılmasını araştırmıştır. Çimentonun bir kısmı yerine bu malzeme ile hazırlanan numuneler üzerinde yapılan stabilizasyon çalışmasında elek analizi, likit limit ve plastik limit, standart proktor deneyi, serbest basınç mukavemeti tayini, ıslatma kurutma deneyi ve donma-çözülme deneylerini uygulamıştır. Bu deneyler sonucunda normalde kullanılan çimentonun bir kısmı azaltılarak yerine cüruf ilave edilmesi durumunda da, zemine çimento katılarak elde edilen numunelerin serbest basınç dayanımları değerinde bir dayanım verdiği görülmüştür. Çalışmada yapılan ekonomik analiz sonucunda %20-%40 arasında ekonomi sağlanabileceği ortaya çıkmıştır.

Özbayoğlu ve Gürel (1997), Nevşehir pomzalarının puzolonik maddeler katkısı ile yol stabilizasyonunda kullanılmasını araştırmışlardır. Bu çalışmada pomzanın, belirli oranlarda kireç tras çimento katkısı ile killi kumlu zeminler üzerindeki stabilize edici etkilerini araştırmak için kırılmış pomza örnekleri üzerinde elek analizi ve kimyasal bileşimine bakıldıktan sonra, hazırlanan karışımlar üzerinde kompaksiyon deneyi uygulanmıştır. Deneylerin sonucunda, killi kumlu zeminlerle puzolonik reaksiyonlara girebilecek oranlarda kırılan tras, kireç ve çimento gibi bağlayıcıların, söz konusu karışımların dayanım değerinde önemli artış oluşturduğu görülmüştür. Laboratuvarlarda yapılan deney sonuçlarına göre pomza taşlarının öğütülerek, tras ve

bağlayıcı maddeler katkısı ile, nakliye mesafeleri göz önüne alınarak köy yollarının stabilizasyonunda kullanılabileceği önerilmektedir.

1.6. Hafif Agregalar

Hafif agregalar, içinde fazla boşluk bulunması sebebiyle birim hacim ağırlığı düşük olan agregalardır. Hafif agregalar suni ve tabii olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Suni hafif agregalar, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, kuvarzit, perlit, obsidiyen, vormikülit, şist, arduvaz vb. inorganik elemanlardan, genellikle ısıtma, bazı hallerde sinterleştirme, gaz veya köpük oluşturma yolu ile gözenekleştirilerek elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır. Tabii hafif agregaya ise meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan, tuf, bims (pomza), lav cürufu, diatomit vb. gibi kırılmış veya kırılmamış agregalardır (TS 1114 EN 13055-1).

1.6.1. Doğal Hafif Agregalar

Doğal hafif agregalar, temel olarak tabiattan çıktığı gibi sadece ufalamak suretiyle elde edilerek (pomza) kullanılabilmektedirler.

Hafif agregalar günümüzde çok çeşitli alanlarda kullanılmakta ve bu alanlarda bir çok yarar sağlamaktadır. Özellikle inşaat sektöründe hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregaların yararları, istenilen ağırlığın azaltılması, ısı direnci, ses absorpsiyonu ve yangına karşı direnci yanında, hafif olması nedeniyle betonarme eleman kesitlerinin küçülmesi, dolayısıyla donatı ve malzeme ekonomisi sağlaması, azalan duvar kalınlıkları nedeniyle kullanılabilir mekanın artması, ısı ve ses yalıtımını tek başına sağlayabilmesi, donma-çözölmeye karşı olan direnci, yangına karşı dayanımının yüksek olması ve yine yapı ölü yüklerinin azalması nedeniyle depreme olan direncinin normal betondan fazla olması olarak sayılabilir. Bunun yanında tekstil, tarım, kimya gibi bir çok sektörde de kullanılmaktadır. Hafif agregalar üzerinde farklı dallarda bir çok araştırma yapılmış ve halen hafif agregalar üzerinde çeşitli araştırmalar devam etmektedir.

1.6.1.1. Pomza

Türkçe`de süngertaşı, köpüktaşı, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek, kisir gibi adlarla anılmakta olan pomza, diğer dillerin ve teknoloji ithalinin etkisiyle Türkçe`ye Pomza, Ponza, Bims, Pümis ve Pümisit terimleri olarak yerleşmiştir. Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle, pomza gözenekli olan volkanik taş camıdır da denilebilir (Şekil 0.3).



Şekil 0.3. Pomzanın genel görünümü

Oluşumu sırasında, bünyedeki gazların, ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeye kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza, rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak benzer yapı arz eden diğer tür kayalardan ayrılmaktadır. En çok renk benzerliği/yakınlığı ve kimyasal bileşimi bakımından perlit ile karıştırılmakta olup, bazı durumlarda perlitten ayırt edilmesi zorlaşabilmektedir. Pomzalı perlit/pomzatic perlit veya perlitik pomza olarak adlandırılabilen geçişli kayalarla petrografik analizle ve gözenek yapısı itibariyle ayrılabilir. Pomzada gözenekler, çoğunlukla birbiriyle bağlantılı değildir. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, her biri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen, izolasyonu yüksek bir kayadır (Şekil 2.4) (Gündüz, 1998).



Şekil 0.4. Pomza rezervi

TS standartlarına göre pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm^3 'ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır (TS 3234). Ayrıca, pomzanın kırma ve eleme suretiyle kullanıma elverişli hale getirilmiş şekline de pomza agregası adı verilmektedir (Şekil 0.5).



Şekil 0.5. Granüler olarak ayrılmış pomza agregası

Saf özgül ağırlık kuru kütle için, hacmine oranı (gözenek hacmi hariç) 2.2 gr/cm^3 civarındadır. Tane özgül ağırlığı kuru kütle için, tüm hacme oranı ise tane büyüklüğüne ve yatağa göre değişir. Pomza tanesi büyüdükçe tane özgül ağırlığı azalır. Örneğin, aynı yatakta 0-2 mm'lik tane büyüklüğünde özgül ağırlık 0.75

kg/dm³ , 4-8 mm`lik grupta 0.65 kg/dm³ ve 8-16 mm`lik grupta 0.45 kg/dm³’ tür. Tane ebatları arttıkça gözenek yüzdesi de artmaktadır. Pomzanın gözenek yüzdesi volkan bacasından uzaklaştıkça artar. Pomzanın gözenek yüzdesinin yükseldiği ve buna bağlı olarak düşük özgül ağırlığı, izolasyon amaçları için dökme malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca aynı özellikleri nedeniyle su hazırlama tesislerinde filtre malzemesi ve hafif duvar harcı için katkı maddesi olarak ta kullanılmaktadır. Bu amaçlar için pomza yıkanır, yabancı taşlardan temizlenir, kurutulur ve tane büyüklüklerine göre sınıflandırılır, böylece yığın halindeki yoğunluğun 0.30 kg/dm³’ ten aşağı olması sağlanır (Şekil 2.6) (Gündüz vd., 1998a).

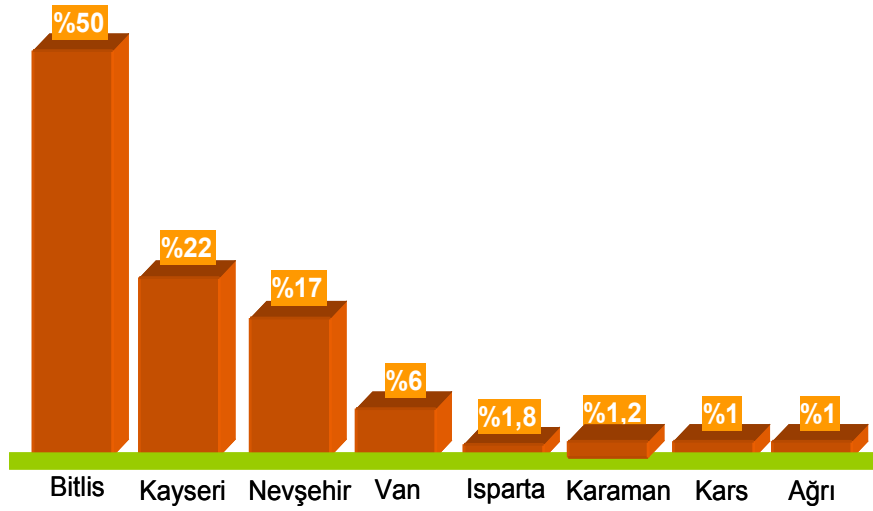


Şekil 0.6. Stoklama

Yüksek gözeneklilik derecesi nedeniyle, pomza tanelerinin büyük dayanıklılıkları yoktur. Ancak, bu dayanıklılık, taşıyıcı duvar yapımında kullanılan taş dayanıklılıklarına uygundur (6 kat inşaata kadar). Pomza çok iyi bir ısı izolatörüdür. Bu özelliği, pomzadan mamul blok imalinde "yığın gözenekliliği" denilen ve özellikle ulaşılmaya çalışılan olayla daha da arttırılır. Yığın gözenekliliği için betonun oldukça az ince harçla yapılarak sadece pomza tanelerinin etrafını ince kaplaması sağlanır. Pomza taneleri arasındaki boşluklar sadece izolasyon için faydalı olmayıp, aynı zamanda kapiler özelliği kaldırıcı olduğu için pomza yapı elemanları çok daha emici olabilmektedir.

Pomza, bir çeşit volkanik tuf olduğu için kolay öğütülme özelliğine sahiptir. Öğütülmüş pomza, taşlama ve parlatma amaçları için kullanıldığı gibi; kibrit fabrikalarında ateşleme malzemesi ve dolgu maddesi, sabun ve kozmetik sanayiinde de aynı amaçlarla kullanılabilir.

Ülkemiz pomza rezervi bakımından oldukça zengindir. Şekil 0.7’de ülkemizdeki pomza rezervlerinin bulunduğu iller ve rezerv dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 0.7. Türkiye Pomza rezerv dağılımı (Şapcı ve Gündüz, 2004)

İnşaat sektöründe son yıllarda hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artmasına paralel olarak, hammadde tüketiminde pomzanın yapı malzemesi olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca, inşaat sektöründe, tarihsel gelişim süreci içerisinde, yapılarda hafif beton karışımlarının kullanım gerekliliği çok eskilere kadar dayandığı da bilinen bir gerçektir. Isı-ses izolasyonu ve özgül ağırlığı bakımından yüksek izolatif özelliklere sahip olması sebebiyle, hafif beton eldesinde kullanımı üzerine birçok örnekler görmek mümkündür. Isı-ses yalıtımının sağlanmasının yanı sıra birim ağırlıklarının normal betona nazaran çok daha az olması nedeni ile, hafif yapı malzemeleri ile yapılarda hafif beton kullanımı bir çok avantajlar sağlamaktadır (Gündüz vd., 1998b).

İnşaat mühendisliğinde pomza, yapı sektörünün yanı sıra killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi (Keskin ve Çimen, 1997), asfalt betonu

karışımında pomzanın filler malzemesi olarak kullanılması gibi farklı dallarda araştırmalar yapılmıştır.

İnşaat mühendisliğinin dışında, ÷lkemiz endüstrisinde önemli paya sahip olan tekstil sektöründe özellikle kot taşlama olarak bilinen kot kumaşlarının eskitme ve ağartma işlemlerinde, kuraklığa çare olarak başvurulan seçeneklerden biri olan pomza tarım sektöründe bünyesine aldığı suyu uzun müddet muhafaza ederek sürekli olarak nemli bir ortamın oluşmasını temin etmesiyle kurak bölgelerde, Tarım ilaçları ve kibrit sanayinde taşıyıcı olarak, gübre sanayinde gübrenin topraklaşmasının önlenmesinde antikek maddesi olarak, diş macunlarında ve dişçilikte parlatma keki ve tozu olarak, bir çok sektörde absorban malzeme olarak, temizlik ve deterjan sanayinde katkı malzemesi olarak ve özel tip boyalarda katkı malzemesi olarak kimya sektöründe de kullanılmaktadır.

Bu sektörlerin yanında kuyumculuk, metal, cam ve plastik sanayinde aşındırıcı, TV tüpleri ve elektronik devre ve çiplerin üretiminde hassas temizleme maddesi, yol tutucu-kaymaz tip oto lastikleri üretiminde katkı, asfalt kaplamalarda (özellikle sıcak iklimli bölgelerde) yüzeye bitüm kusmayı engelleyici katkı maddesi olarak, karayollarında buzlanmayı kontrol altına almada ve daha bir çok alanda da kullanılmaktadır.

1.6.1.2. Volkanik Cüruf

Volkanik cüruf agrega, çeşitli volkanik aktivitelere bağlı olarak, bazaltik karaktere sahip lavların, patlamanın oluşturduğu basıncın etkisiyle, çatlaklar boyunca sızması sonucu oluşan bazaltik-andezitik kompozisyona sahip, gözenekli, camsı volkanik bir kayaç türüdür (şekil 0.8). Bu agregalar, demir ve magnezyum bakımından zengin, silis içeriği bakımından fakir mafik lavların boşalımı esnasında, magmanın zamanla yüzeye doğru yaklaşması ve basınçta meydana gelen azalma nedeniyle, lavın bünyesinde bulunan uçucu gazların ve çeşitli volkanik bileşenlerin bünyeyi terk ederek ortamdaki uzaklaşması ve ani soğumaya bağlı olarak meydana gelmiştir. Düzensiz şekilli ve farklı tane boyut dağılımlarına sahip kırıntılardan oluşmuş ve yüksek demir içeriğinden dolayı, koyu griden siyaha kadar değişen bir renk aralığına

sahiptir. Özellikle oksidasyonun etkisiyle daha ziyade kırmızı, kahverengi ve siyah tonlarda görülebilmektedir.



Şekil 0.8. Volkanik cürufların genel görünümü

Son yıllarda teknik birçok üstünlükleri ve avantajları sebebiyle geniş bir kullanım alanı bulmaya başlayan volkanik cüruftan hafif yapı elemanlarının farklı formlardaki ürünleri, inşaatlarda blok dolgu elemanı olarak değerlendirilmektedir. Volkanik cüruflar, aynı zamanda fiziksel, kimyasal ve yapısal özelliği itibariyle, inşaat sektöründe kullanılan doğal hafif agrega sınıfına girmektedir.

KULLANILAN MATERYALLER

1.7. Yöntemler

Üstyapının ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bakımdan agregaların özellikleri, yol mühendisliği için çok önemli olup, değişik agrega tiplerinin karakteristiklerinin bilinmesi, yolların projelendirilmesi için gereklidir.

Esnek üstyapıları oluşturan tabakalardan granüler malzeme ile inşa edilen alttemel tabakasında standarttaki deneyler aşağıda verilmiştir.

- * Elek Analizi Deneyi
- * Likit Limit ve Plastik Limit Tayini
- * Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (Sodyum Sülfat Dona Karşı Mukavemet Deneyi)
- * Los Angeles Aşınma Deneyi (Darbeli Aşınma Deneyi)
- * Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi

1.7.1. Elek Analizi Deneyi

Hafif agrega stabilizasyon malzemelerinin ve kullanılan zeminin, dane büyüklüğü dağılımlarının standartta belirtilen sınırlar dahilinde olup olmadığının araştırılması amacıyla elek analizi yapılmıştır.

Elek analizi deneyinde, numune etüvde 110 ± 5 °C' de 24 saat kurutulduktan sonra elek serisinde elenmiştir. Elek serisi olarak; $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , No.4, No.8, No.40 ve No.200 elekleri kullanılmıştır. Eleme sırasında elek üzerindeki malzeme sürekli olarak hareketli tutulacak şekilde yatay ve düşey hareketler yaptırılmıştır. Her elek üzerinde kalan zemin tartılarak, elekten geçen ve kalan miktarlar yüzde olarak tespit edilerek kaydedilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 0.1. Elek analizi deney aletleri

1.7.2. Likit Limit ve Plastik Limit Tayini

Likit limit, zeminin plastik durumdan akıcı duruma geçtiği andaki su içeriğinin sayısal değeridir. Başka bir ifade ile likit limit aletinin (Casagrande cihazı) küre kapağına sıvayan zeminde, standart boyutta açılan bir olukta 25 düşüş sonucunda 1 cm kapanmanın olduğu andaki su içeriğinin sayısal değeridir (Şekil 3.2).



Şekil 0.2. Casagrande cihazı

400 mikronluk elekten elenen zemin numunesi üzerinde TS 1900' e göre likit limit deneyi yapılarak likit limit değeri tespit edilmiştir. Deney sonunda tespit edilen düşüş sayıları logaritmik olarak yatay ekseninde, su içerikleri de düşey ekseninde işaretlenerek elde edilen noktalara en iyi uyan doğru çizilmiştir. Çizilen bu akış doğrusu üzerinde 25 düşüşe karşılık gelen su içeriği değeri likit limit değeri olarak not edilmiştir.

Plastik limit, zeminin henüz plastik kıvamda bulunduğu en düşük su içeriğidir. Başka bir ifade ile zeminin 3 mm çapında silindirik çubuklar biçiminde yuvarlandığında, çubukların yüzeyinde çatlamlar ve kopmalar olduğu andaki su içeriğinin sayısal değeridir. Plastik limit deneyi, açık havada kurutulmuş, 400 mikronluk elekten elenen zemin numunesi üzerinde TS 1900' e göre yapılarak plastik limit değeri tespit edilmiştir.

1.7.3. Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (Sodyum Sülfat Dona Karşı Mukavemet Deneyi)

Dış ortam şartlarına maruz kalacak agrega kullanımlarında, örneğin beton uygulamalarında, agreganın boşlukları kısmen suya doymun durumda iken sık sık donma-çözülme olayı etkisine maruz kalmaktadır. Bu nedenle de, agreganın bünyesinde kırılmalar ve kılcal çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu deney, agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında, laboratuarda kısa süre içerisinde karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir. Bu deneyde doymun sodyum sülfat ya da magnezyum sülfat çözeltisi kullanılır (TS 699).

Çizelge 0.1. Deneye alınacak malzeme miktarı

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

Elimizde bulunan agregalar standartta belirtildiği gibi 19.00 mm, 12.50 mm, 4.75 mm ve 2.00 mm lik eleklerden elenip her elek üzerinde kalan numuneler yıkanarak 110±5 °C' de fırında sabit ağırlığa kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler hassas

olarak tekrar elenmiştir. Her elek üzerinde kalan numunelerden, Çizelge 0.1' de verilen miktarlarda tartılarak boyutları bilinen numuneler ayrı kaplara konulmuştur. Üç seri olarak hazırlanan, belirtilen miktarlarda tartılan numuneler özel kap içine konarak üstünü en az 5 cm kaplayacak şekilde hazırlanmış doygun sodyum sülfat çözeltisi içine daldırılmıştır. Elimizdeki numunelerden hafif agrega daneleri çözelti üzerine çıkmamaları için üzerlerine tel kafes sistemi geçirilmiştir. Daldırma süresi sonunda numune çözeltiden çıkarılarak, 15 dakika süzölmeye bırakılmış, daha sonra 110 ± 5 °C' lik fırında sabit ağırlığa kadar kurutulan numune fırından çıkarılarak, soğuması beklenmiştir. Bu işlem beş kere tekrarlanıp her kurutma işleminden sonra danelerde ufalanma, ayrılma, çatlama, parçalanma, dağılma olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Son daldırma işleminin sonunda soğutulmuş numune, üzerindeki sodyum sülfatı uzaklaştırabilmek için ılık suyla yıkanmıştır. Yıkama suyuna bir miktar baryum klorür ($BaCl_2$) katılarak numunenin tamamen sodyum sülfattan temizlenip temizlenmediği kontrol edilmiştir. Na_2SO_4 çözeltisinden tamamen arındırılan numuneler 110 ± 5 °C' lik fırında sabit ağırlığa kadar kurutulup, soğutulduktan sonra, dane iriliklerine göre gerekli eleklerden elenip, eleme sonunda her elek üzerinde kalan miktar tartılarak eleklerden geçen kısımlar don kaybı olarak kabul edilmiştir.

A : Deneyden önceki ağırlık(gr)

B: Deneyden sonraki ağırlık (gr)

$$\text{Donma kaybı yüzdesi} = k_d = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (1)$$

(1) eşitliği kullanılarak, her fraksiyon için donma kaybı yüzdesi hesaplanıp esas granülometri ile çarpılarak, düzeltilmiş kayıp yüzdeleri bulunmuştur. Bu değerlerin toplamı ise, tüm malzemenin Na_2SO_4 dan dolayı olan donma kaybı yüzdesini vermektedir.

1.7.4. Los Angeles Aşınma Deneyi (Darbeli Aşınma Deneyi)

Bu deney, agregaların aşınmaya karşı dayanıklılıklarının belirlenmesi için yapılan bir deneydir (Şekil 3.3).



Şekil 0.3. Los Angeles deney aleti

Deney numuneleri, üç seri halinde, aşınma sınıfına göre gerekli eleklerden elenerek, her elek üzerinde kalan agrega, kil ve tozdan iyice temizleninceye kadar kaldığı elek üzerinde yıkanmıştır. Agregaların suyu sızdıktan sonra, 110 ± 5 °C' de sabit ağırlığa kadar kurutulup kaldıkları elekten tekrar dikkatle elenerek numune hazırlanmıştır (TS 699).

Numune, Çizelge 0.2' de verilen granülometri sınıflarından birine göre tartılarak Çizelge 0.3' ten kullanılacak aşınma sınıfı için gerekli küre sayısı bulunmuştur.

Çizelge 0.2. Granülometri sınıfları ve gerekli numune miktarları

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

Çizelge 0.3. Aşınma sınıfına göre kullanılan küre sayıları

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

Anlatıldığı şekilde hazırlanarak toplam kütlesi kaydedilen deney numunesi ve aşındırma yükleri (küreler) Los Angeles aşınma makinesine konulmuş ve ağız sıkıca kapatılmıştır. Makineye dakikada 30-33 devir yaptıracak şekilde, aşınma sınıfı F olan hafif agregalarda 500 devir yaptırılmıştır. Gereken sayıdaki devir tamamlandıktan sonra numune alınıp 1.70 mm' lik elekten elenerek, dane kaybına izin verilmeden elek üzerinde kalan numune tartılmıştır.

A : Numunenin ilk ağırlığı (gr)

B : Numunenin son ağırlığı (gr)

$$\text{Aşınma yüzdesi} = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (2)$$

1.7.5. Proktor Deneyi

Bu deney, belirli bir metotla sıkıştırılmış zeminde maksimum kuru birim hacim ağırlığı veren su içeriğine yakın su içeriklerinde birim hacme sığacak en çok zemin ağırlığının bulunmasını kapsar.

Standart Proktor deneyi için değişik oranlarda karışımlar için numuneler hazırlanmıştır. Deney, açık havada kurutulup 20 mm' lik elekten geçirilen zemin üzerinde TS 1900' e göre yapılmıştır. Zemin numunesi, 943 cm³' lük Proktor kalıbına üç eşit tabaka halinde konularak, her tabakaya, 2.5 kg ağırlığındaki standart tokmağın 30.5 cm yükseklikten 25 defa düşürülmesiyle sıkıştırılmıştır (TS 1900, 1987). Sıkıştırılan zemin numunelerinin ağırlıkları tespit edilip, kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmış ve kalıptan çıkarılan zeminden alınan küçük bir numune ile su içerikleri tespit edilmiştir. Bu işlemler farklı su içeriklerinde hazırlanan numuneler üzerinde tekrarlanarak Proktor eğrisi çizilmiş ve optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir (Umar ve Yayla, 1986; TS 1900, 1987).

1.7.6. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi

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

CBR numunesi optimum su muhtevasında hazırlanarak aynı sıkıştırma yöntemiyle sıkıştırılmak suretiyle hazırlanmıştır. Boşlukların tamamen su ile dolduğu en düşük taşıma gücünü yani arazideki doğa koşullarını birebir numunede saptayabilmek için yaş CBR metodu kullanılmıştır. Bu metotla hazırlanan numune 4 gün suda bekletilmiştir. Bu bekletme süresince numune üzerine arazide üstüne gelecek tahmini

yükü temsil eden ağırlıklar konulmuştur. Bu malzemelerin su içerisinde kabarma olup olmadığı kontrol edilmiştir. Hafif agregalarda su altında şişme görülmemiştir. Dört günün sonunda numune su içerisinde çıkarılmıştır. Bünyesindeki serbest sular drene olana kadar bekletildikten sonra numune CBR aletine yerleştirilmiştir. Daha sonra standarda uygun olarak verilen standart basınçlarda (kg/cm^2) olması gereken batma değerlerine (mm) karşılık gelen yük değerleri (kg) okunarak not edilmiştir. Bu değerler basınç-penetrasyon eğrisi üzerine, yatay eksene penetrasyon, dikey eksene basınç değerleri yazılarak basınç-penetrasyon eğrisi çizilmiştir.



Şekil 0.4. CBR deney aleti ve parçaları

Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra, 2.54 mm (0.1 in.) ve 5.08 mm (0.2 in.)'lik penetrasyonlara karşı gelen düzeltilmiş basınç değeri yardımıyla, Kaliforniya Taşıma Oranları bulunmuştur. 2.54 mm (0.1 in.)'lik penetrasyondaki düzeltilmiş basınç değeri, $70.31 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 'ye, 5.08 mm (0.2 in.)'lik penetrasyondaki düzeltilmiş basınç değeri ise $105.46 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 'lik standart basınç değerine oranlanıp 100 ile çarpılarak CBR değerleri bulunmuştur.

$$CBR = \frac{\text{Düzeltilmiş Basınç}}{\text{Standart Basınç}} * 100 \quad (3)$$

Genel olarak 2.54 mm (0.1 in.) batmaya karşı gelen CBR değeri, taşıma oranı olarak alınmaktadır. Eğer 5.08 mm (0.2 in.) batmadaki oran daha büyük ise deney tekrarlanmalıdır. Yine aynı sonuç elde ediliyorsa, 5.08 mm'lik batmaya karşı gelen oran CBR değeri olarak alınır. Deney sonuçları ortalama değerinin %10'undan az sapma gösteriyorsa, sonuçların ortalaması verilir. Değilse, deney tekrarlanır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Alttemel malzemelerinin hafif agregalar ile stabilizasyonu için Isparta-Karakaya pomzası, Kayseri-Talas pomzası, Nevşehir-Göre pomzası, Karaman pomzası ve Volkanik Cüruf malzemeleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Hafif agregaların kimyasal ve fiziksel özellikleri ile alttemel standart koşullarında yapılan deneylerin sonuçları aşağıda verilerek değerlendirilmiştir.

Hafif agregalar üzerinde, ilk olarak malzemeleri tanımak amacıyla kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları verilerek irdelenmiştir. Bu sonuçlar dahilinde, malzemelerin yapıları ve tanımı, birim ağırlık dağılımları, su emme ve komposite (doluluk oranı) değerleri, porozite ve doyma derecesi değerleri hakkında bilgi verilmektedir.

İnşaat sektörü açısından bakıldığında, pomza taşının asidik özellikte olması istenir. Bu özelliği kayaca kazandıran %60-%75 oranındaki SiO_2 bileşiğidir. Aynı zamanda bu bileşik kayaca aşındırma özelliği kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir. %13-%17 oranları arasındaki Al_2O_3 bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırmaktadır. Fe_2O_3 oranının %1-%3 gibi düşük bir değerde olması istenir. Na_2O ve K_2O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir.

Hafif agrega türlerinin, sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık (BHA) değerleri TS 3529 standartında belirtilen prensipler dahilinde deneysel olarak analiz edilmiştir. Çizelge 0.1' de olması istenen gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 0.1. TS 3529' a göre gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık limitleri

Agrega Türü	Maksimum Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Maksimum Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)
İnce agrega	700	900
İri agrega	500	700
Karışık agrega	600	800

Hafif agregalardaki nem, tanelerin birbirleri arasında oluşan sürtünmeyi etkilediğinden, birim ağırlık değerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan, hafif agregaların su emme kapasiteleri, su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi granüler olarak kullanılacak agregalar için önem arz etmektedir. Ayrıca, hafif agrega tanelerinin kompositesi, tanelerin iç yapıdaki doluluk oranı, agreganın su emme kapasitesine etki eden diğer bir faktördür. Bu faktör, hafif agreganın birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağımlı olarak tanımlanabilmektedir. Hafif agregalarda genelde arzu edilen 24 saatlik su emme yüzdeleri, ince agregada %20, iri agregada ise %30 civarında bir değerdir. Ancak bu değerler, agreganın sağlandığı yere, granülometrisine, tane şekline ve yüzey yapısına göre değişmektedir.

Diğer bir önemli fiziksel özellik ise, doyma derecesi parametresidir. Bu değer, hafif agrega tanelerinin toplam boşluklarının ne oranda su ile dolduğunu göstermektedir. Bu da, malzemenin donmaya karşı dayanıklılığının incelenmesi açısından önem taşımaktadır. Hafif agrega tanelerinin doyma derecesi %80' in üzerinde bulunan malzemelerde, gözeneklerdeki suyun donması durumunda, suyun hacmini %10 oranında genişlettiği düşünüldüğünde, malzemeyi parçalama etkisi yapabilmektedir. Bu nedenle, malzemelerde doyma derecesinin %80' in altında olması arzu edilen bir değerdir.

1.8. Yapılan Deneyler ve Sonuçları

1.8.1. Isparta-Karakaya Pomzası

Isparta-Karakaya pomzası, Isparta Karakaya ve Gölcük mevkiinde görünür rezerv 0.8 milyar m³ ve muhtemel rezerv 1.2 milyar m³ olmak üzere toplam rezerv yaklaşık 2 milyar m³ civarındadır.

Isparta-Karakaya pomzası SiO₂ oranı bakımından %60-%75 sınırları dahilinde olan, aşındırma özelliği yüksek asidik bir pomzadır. Al₂O₃ oranının %13-%17 değerleri arasında olması sebebiyle ateşe ve ısıya karşı dayanımı yüksektir (Çizelge 0.2).

Çizelge 0.2. Isparta-Karakaya pomzasının kimyasal bileşimi

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Kızdırma k.
Isparta	65,5	17,5	4,5	1,75	4,5	4,25	2,25	2,9

Isparta-Karakaya pomzası gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıkları bakımından hafif agrega olarak değerlendirilir. 24 saatlik su emme yüzdeleri boşluklu bir yapıya sahip olması nedeniyle yüksektir. Doyma derecesi değerleri istenilen sınırlar dahilindedir (Çizelge 0.3).

Çizelge 0.3. Isparta-Karakaya pomzasının fizksel özellikleri

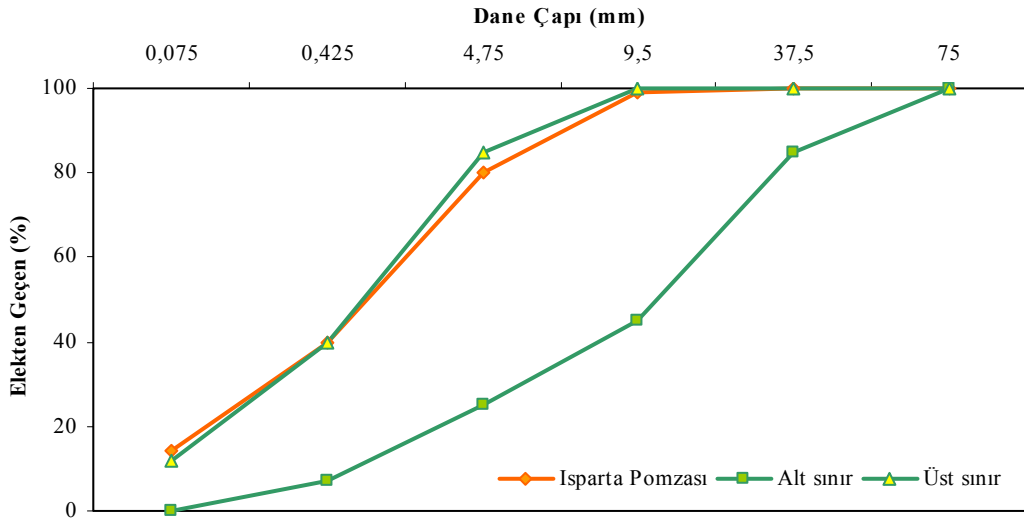
Boyut Aralığı (mm)	8-16	4-8	2-4	1-2	0,5-1	0,25-0,5
Gevşek B.H.A.	650	738	893	998	1001	1130
Sıkışık B.H.A.	683	742	912	1020	1110	1170
Su Emme	11,72	19,33	42,4	-	-	-
Komposite	28,47	29,92	32,34	-	-	-
Porozite	28,47	70,08	67,66	-	-	-
Doyma Derecesi	15,22	22,42	28,67	-	-	-

Hafif agregaların büyük boyutları azdır (Çizelge 0.4). Bu sebepten dolayı iri boyutlar göz önüne alınmazlar. Isparta-Karakaya pomzası granülometrik olarak incelendiğinde alttemel standardında verilen sınır değerlerini tam sağlamadığı

Çizelge 0.4 ve Şekil 0.1' den de görülmektedir.

Çizelge 0.4. Isparta-Karakaya pomzasının elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı		Ağırlıkça Geçen (%)	Standart Değerleri (%)	
İnç	mm			
3	75	100	100	100
1,5	37,5	100	85	100
3/8	9,5	99	45	100
No.4	4,75	80	25	85
No.40	0,425	40	7	40
No.200	0,075	14	0	12



Şekil 0.1. Isparta-Karakaya pomzasının elek analizi grafiği

Isparta-Karakaya pomzasına, alttemel standartlarında verilen deneyler uygulandığında, sağlamlık değerinin sınır değer olan %25' ten biraz büyük çıktığı görülmektedir. Fakat bu %26' lık değer tolerans limitleri dahilinde kabul edilebilir. Aşınma değerine bakıldığında agregalardan istenilen %50 değerinden düşük çıkmıştır (%37.33). Isparta-Karakaya pomzası ve diğer yerlerden alınan pomza örnekleri plastik olmayan malzeme özelliği göstermektedirler. Alttemel tabakasında her ne kadar plastiklik değerinin düşük olması istense de plastik olmayan bir malzemenin bu tabakada kullanımı bu tabakanın esnekliğini olumsuz etkiler. Bu sebeple bu tabakada kullanılacak olan malzemenin 0-6 aralığında plastik olması istenmektedir. Malzeme Kaliforniya taşıma oranı (CBR) değeri bakımından

incelendiğinde Isparta-Karakaya pomzasının standartta verilen sınır değerinden düşük çıkmıştır. Ancak bu durum göz ardı edilebilecek derecededir (Çizelge 0.5).

Çizelge 0.5. Isparta-Karakaya pomzası ile yapılan analiz bulguları

	Isparta-Karakaya Pomzası Deneş Sonuçları	Standart Sınır Değerleri
Sağlamlık Deneş	26	Kayıp \leq %25
Aşınma (Los Angeles)	37,33	Aşınma \leq %50
Likit limit	Plastik Olmayan	LL \leq 25
Plastisite indisi	Plastik Olmayan	PI \leq 6
Kaliforniya Taşınma Oranı	29,36	CBR \geq 30

Alttemel standartlarında verilen deneyler sonucunda Isparta-Karakaya pomzasının, plastikliği iyileştirilmek ve granülometrisi düzeltilmek yani mekanik stabilizasyon işlemine tabi tutmak suretiyle alttemel tabakasında kullanılabilir bir malzeme haline gelebileceği görülmektedir.

1.8.2. Volkanik Cüruf

Volkanik cüruf Manisa bölgesindeki en genç volkanizma olup, sarımsı-kızıl-siyah ve mor renkli bazaltik lav akıntıları ve tüflerden oluşmaktadır. Özellikle Kula ile merkezinden batıya doğru Demirköprü baraj gölüne kadar olan 30-35 km uzunlukta ve 10-15 km, genişlikteki bir alanda volkan konileri, kraterler, lav akıntıları ve tefra örtüsü şeklinde ve aktüel volkan görünümünde etkin olmaktadır. Son derece ilginç olan bu volkanizma Türkiye'nin Kuvaterner yaşlı genç volkanizmasının ender olarak görüldüğü alanlardan biridir. Konileri lav, lapilli, cüruf ve çeşitli irilikteki volkan bombaları gibi piroklastikler oluşturmaktadır. Sayıları 70' i bulan bu konilerin çevrelerinde, çıkardıkları siyah bazaltik lav akıntılar görülmektedir. Özellikle en genç koniler aktüel koni görünümünde olup, yörede bu oluşumlara "Divlit" adı verilmektedir (Demirdağ ve Gündüz, 2003).

Volkanik cürufun SiO₂ oranı pomzalarla karşılaştırıldığında çok düşüktür. Sonuç olarak malzeme asidik değil bazik bir özellik göstermektedir. Diğer incelenen hafif

agregalardan renk ve bazik olması itibariyle farklılık göstermektedir. 17,2' lik Al_2O_3 oranı hafif agregalarda olması beklenen %13-%17 aralığındadır. Bunun sonucu olarak ısıya ve ateşe dayanımı yüksektir. Normalde Al_2O_3 oranı yüksek tersine Fe_2O_3 oranının düşük olması istenmektedir. Volkanik cüruf bu durumu sağlamamaktadır (Çizelge 0.6).

Çizelge 0.6. Volkanik cürufun kimyasal bileşimi

Bileşen	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Kızdırma k.
Cüruf	48,43	17,2	8,9	9,18	4,96	2,43

Gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerlerine bakıldığında ince boyutlardaki gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerlerinin yüksek değerler verdiği görülmektedir. Yapısal olarak ta farklılık gösteren volkanik cürufun su emme ve doyma derecesi değerleri de diğer hafif agregalara göre nispeten daha düşüktür (Çizelge 0.7).

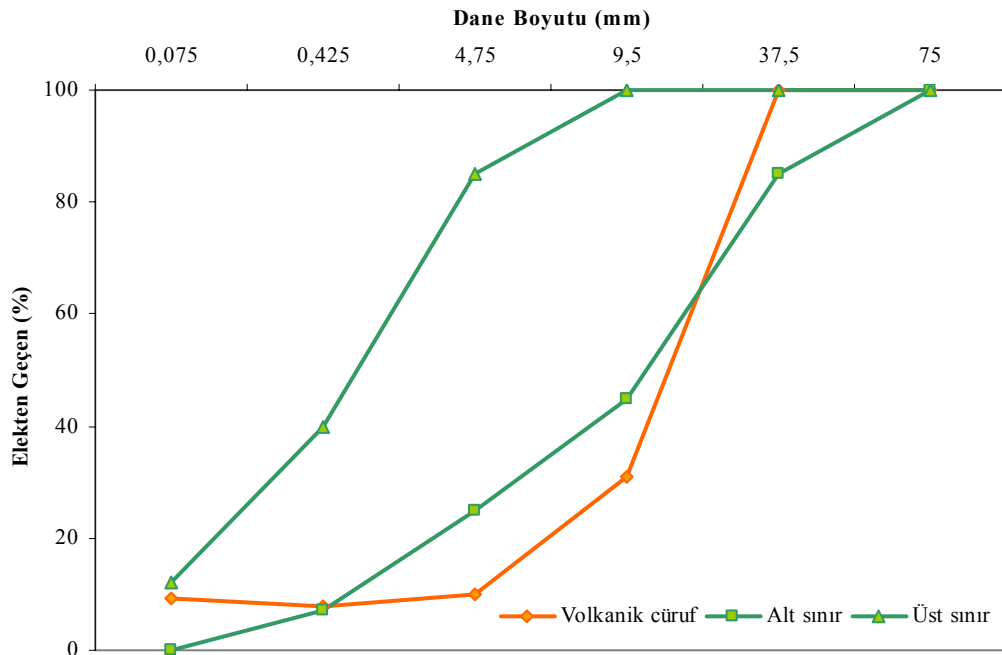
Çizelge 0.7. Volkanik cürufun gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlığı, su emme, komposite, porozite ve doyma derecesi değerleri

Boyut Aralığı (mm)	>32	16-32	8-16	4-8	2-4	1-2	0,5-1	0,25-0,5
Gevşek B.H.A.	210	344	493	642	790	938	1086	1235
Sıkışık B.H.A.	221	402	603	805	1003	1210	1461	1608
Su Emme	34,54	27,18	23,11	19,22	15,2	12,39	11,23	9,12
Komposite	8,2	13,44	19,26	25,08	30,09	36,64	42,42	48,24
Porozite	91,8	86,56	80,74	74,92	69,91	63,36	57,58	51,76
Doyma Derecesi	37,62	31,4	28,62	25,65	21,74	19,55	-	-

Volkanik cüruf, alttemel standardında belirtilen sınırlar dahilinde değildir. (Çizelge 0.8) (Şekil 0.2).

Çizelge 0.8. Volkanik cüruf elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı		Ağırlıkça Geçen (%)	Standart Değerleri (%)	
İnç	mm			
3	75	100	100	100
1,5	37,5	100	85	100
3/8	9,5	31	45	100
No.4	4,75	10	25	85
No.40	0,425	7,7	7	40
No.200	0,075	9,3	0	12



Şekil 0.2. Volkanik cüruf elek analizi grafiği

Volkanik cüruf, alttemelde kullanılacak agrega, agregaların donma-çözülme olgusu sonucu herhangi bir değişime uğramadığını gösteren ve atmosfer ortamlarına yüksek dayanım özelliği sağlayan sağlamlık değeri bakımından incelendiğinde diğer hafif agregalara göre 12.9 gibi daha iyi bir sonuç vermektedir. %50' den az olması beklenen aşınma değeri bakımından sınır değerini geçmektedir. Plastik olmayan bir özellik gösteren volkanik cüruf, 30' dan fazla olması gereken Kaliforniya taşıma oranı bakımından ise 19,25' lik bir değer vermiştir. Bu değer istenilen CBR değerinden çok düşük bir sonuçtur (Çizelge 0.9).

Çizelge 0.9. Volkanik cüruf ile yapılan analiz bulguları

	Volkanik Cüruf Deney Sonuçları	Standart Sınır Değerleri
Sağlamlık Deneyi	12,9	Kayıp \leq %25
Aşınma (Los Angeles)	53,93	Aşınma \leq %50
Likit limit	Plastik Olmayan	LL \leq 25
Plastisite indisi	Plastik Olmayan	PI \leq 6
Kaliforniya taşıma oranı	19,25	CBR \geq 30

Volkanik cüruf tek başına alttemel malzemesi olarak incelendiğinde plastik olmaması ve CBR değerinin düşük olması sebebiyle alttemelde tek başına kullanılmayacağı görülmektedir. Çeşitli iyileştirme işlemlerinden sonra alttemel malzemesi olarak kullanılabilir hale getirilebilir.

1.8.3. Kayseri-Talas Pomzası, Nevşehir-Göre Pomzası ve Karaman Pomzası

Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzalarının kimyasal analizleri sonucunda Isparta-Karaman pomzasında olduğu gibi asidik karakterli hafif agrega oldukları görülmektedir. Asidik özelliğini kayalara sağlayan SiO₂ değerlerinin %60' ın üstünde olması aynı zamanda bu malzemelere aşındırıcılık özelliği vermektedir. Al₂O₃ oranlarının ısıya ve ateşe karşı dayanım sağlayacak sınırlar içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 0.10).

Çizelge 0.10. Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzalarının kimyasal bileşimi

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Kızdırma k.
Kayseri	68,5	14,9	3,1	2,9	4,1	2,75	0,95	2,62
Nevşehir	74,1	13,45	1,4	1,17	3,7	4,1	0,35	0,72
Konya	64,3	15,2	3,7	4	3,3	2,8	0,8	3,3

Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzalarının gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri göz önüne alındığında hafif agregalar sınıfına girdikleri görülmektedir. Su emme değerleri bakımından incelendiklerinde, boşluklu bir yapıya sahip oldukları için malzemelerin su emme değerlerinin istenilen sınır değerlerinden

fazla çıktığı görülmektedir. İnce boyutlara inildikçe su emme değerleri azalmaktadır. Doyma derecesi incelendiğinde bu hafif agregaların iri boyutlarında sınır değerine yaklaşılsa da ince boyutlarda doyma dereceleri ile ilgili herhangi bir sorunla karşılaşmamaktadır (Çizelge 0.11).

Çizelge 0.11. Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzalarının fiziksel özellikleri

Boyut Aralığı (mm)	>32	16-32	8-16	4-8	2-4	1-2	0,5-1	0,25-0,5	
Kayseri-Talas	Gevşek B.H.A.	248	286	331	382	442	510	589	680
	Sıkışık B.H.A.	271	317	371	434	508	595	697	815
	Su Emme	59,1	53,93	48,77	43,61	36,57	33,28	28,11	22,95
	Komposite	45,1	48,28	51,49	54,66	57,88	61,11	64,32	67,54
	Porozite	72,12	68,73	65,28	61,88	58,44	54,99	51,59	48,14
	Doyma Derecesi	81,95	78,47	74,71	70,48	62,58	60,52	54,49	47,68
Nevşehir-Göre	Gevşek B.H.A.	319	408	502	594	688	780	873	966
	Sıkışık B.H.A.	328	441	555	669	783	895	1010	1124
	Su Emme	54	46,1	39,34	33,58	28,67	24,48	20,89	17,83
	Komposite	13,19	24,92	34,29	40,18	43,49	45,25	46,15	46,63
	Porozite	89,17	80,41	73,62	69,36	67	65,75	65,11	64,76
	Doyma Derecesi	60,55	57,33	53,44	48,41	42,79	37,23	32,08	27,53
Karaman	Gevşek B.H.A.			804	690	580			
	Sıkışık B.H.A.			826	722	610			
	Su Emme			9,91	14,93	19,81			
	Komposite			32,46	27,86	23,42			
	Porozite			32,46	72,14	76,58			
	Doyma Derecesi			14,67	20,69	25,87			

Alttemel tabakası olarak incelendiklerinde bu üç hafif agreganın yaklaşık benzer özellikler gösterdikleri görülmektedir. Sağlık değeri bakımından kayıp değerleri yüzde olarak standartta istenilen %25 değerinden az da olsa düşük değerleri vererek bu kriteri sağlamaktadırlar. Aşınma deneyi sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde, Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzalarının alttemel standardında verilen sınır değer dahilinde oldukları görülmektedir. Ancak Isparta-Karakaya ve volkanik cürufta da olduğu gibi bu üç hafif agrega da plastik olmayan özellik göstermektedirler. Alttemelin projelendirilmesinde önemli bir kriter olan CBR değeri ise standart koşullarının altında bir sonuç vermiştir.

Çizelge 0.12. Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzaları ile yapılan analiz bulguları

	Kayseri-Talas	Nevşehir-Göre	Karaman	Standart Sınır Değerleri
Sağlamlık Deneyi	23,4	18,23	16,5	Kayıp \leq %25
Aşınma (Los Angeles)	37,53	31	31,73	Aşınma \leq %50
Likit limit	Plastik Olmayan	Plastik Olmayan	Plastik Olmayan	LL \leq 25
Plastisite indisi	Plastik Olmayan	Plastik Olmayan	Plastik Olmayan	PI \leq 6
Kaliforniya taşıma oranı	18,33	19,05	27,98	CBR \geq 30

Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzaları direk olarak alttemel malzemesi olarak kullanılamamaktadırlar. Bu üç hafif agreganın da alttemel malzemesi olarak kullanılmaları için çeşitli iyileştirme metotlarına tabi tutulmaları gerekmektedir. İçlerinden alttemel standartlarına en yakın olanı Karaman pomzasıdır.

Genel itibariyle Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre ve Karaman pomzaları incelendiğinde malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından benzerlik göstermektedirler. Alttemel standardında istenilen deneylerin verileri karşılaştırıldığında da malzemelerin çok yakın olmamakla birlikte benzerlik gösterdikleri görülmektedir. Bu sebeple incelenen hafif agregaların tümü stabilizasyon işlemine tabi tutulmamıştır. Yöresel malzeme olması itibariyle Isparta-Karakaya pomzası ile bazik karakterli gözenekli yapıya sahip olan volkanik cüruf malzemeleri stabilizasyon işleminde kullanılmışlardır.

1.9. Stabilize Edilecek Malzeme ve Özellikleri

1.9.1. Çapalı Evlenkaya Ariyet Ocağı Malzemesi

Burdur-Afyon yolu üzerinde 52+300 km' de olup, Çapalı Köyü içerisinde, yola 3400 m mesafedeki Evlenkaya Tepesinin yamaç döküntüleridir (Şekil 0.3). Görünür ve muhtemel rezerv toplamı ikiyüzellibin metreküptür. Çapalı ariyet ocağının klas tablosu Çizelge 0.13' te verilmektedir.

Çizelge 0.13. Ariyet ocağı klas tablosu

Ocak Adı	Klas Durumu %		Sıkışma Kabarma %
	Küskü	Toprak	
Çapalı Evlenkaya Ariyet Ocağı	20	80	10

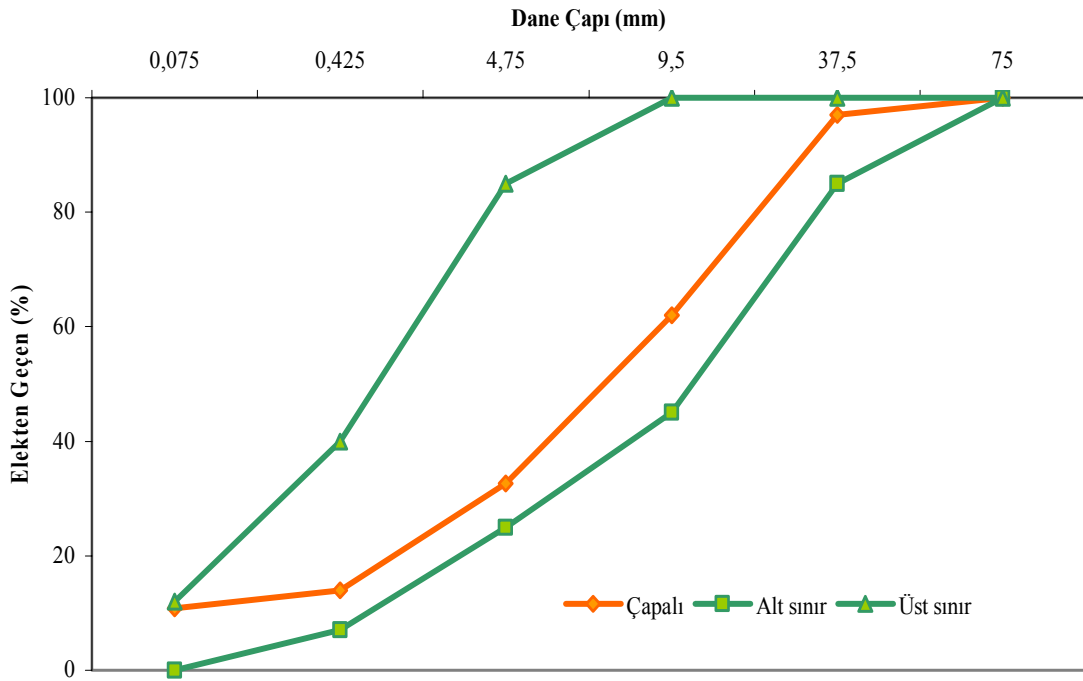


Şekil 0.3. Çapalı Evlenkaya Tepesi ariyet malzemesi ocağı

Isparta Keçiborlu-Sandıklı yolu Çapalı ariyet malzemesi üzerinde standartta verilen deneyler yapılarak malzemenin alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk olarak malzeme üzerinde elek analizi deneyi yapılmıştır (Çizelge 0.14). Agrega granülometrisinin alttemel standartlarında istenilen sınırlar dahilinde olduğu Şekil 0.4' te gösterilmektedir.

Çizelge 0.14. Çapalı Evlenkaya Ariyet Malzemesinin elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı		Ağırlıkça Geçen (%)	Standart Değerleri (%)	
İnç	mm			
3	75	100	100	100
1,5	37,5	97	85	100
3/8	9,5	62	45	100
No.4	4,75	32,7	25	85
No.40	0,425	14	7	40
No.200	0,075	10,9	0	12



Şekil 0.4. Çapalı Evlenkaya ariyet malzemesinin elek analizi grafiği

Çapalı Evlenkaya ariyet malzemesi üzerinde, alttemel standardında verilen deneyler uygulanarak sonuçlar incelenmiştir. Çapalı malzemesinin sağlamlık, aşınma ve CBR deney sonuçları standartta istenilen sınırlar dahilindedir. Ancak Çapalı malzemesinin likit limit ve plastisite indeksi değerleri yüksektir. Bu haliyle, iyileştirme işlemi yapılmadan alttemel malzemesi olarak kullanılamamaktadır.

Çizelge 0.15. Çapalı Evlenkaya ariyet malzemesi ile yapılan analiz bulguları

Çapalı Numunesi Deney Sonuçları		
Sağlamlık Deneyi	1,4	Kayıp \leq %25
Aşınma (Los Angeles)	25,3	Aşınma \leq %50
Likit limit	39	LL \leq 25
Plastisite indisi	17	PI \leq 6
Kaliforniya taşıma oranı	79	CBR \geq 30

Çapalı ariyet malzemesi üzerinde yapılan deneyler neticesinde yüksek plastikliğinden dolayı alttemelde kullanılmaya uygun bir malzeme olmadığı görülmüştür. Ancak bu malzeme üzerinde yapılacak olan mekanik stabilizasyon ile bu malzeme alttemel tabakasında kullanılabilir. İncelenen plastik olmayan hafif agregalar göz önünde tutulduğunda, bu türlü bir ariyet malzemesi ile stabilizasyon sonucunda Çapalı ariyet malzemesini kullanılabilir hale getirilebilir.

1.10. Stabilizasyon İşlemi

1.10.1. Çapalı Evlenkaya Ariyet Malzemesinin Isparta-Karakaya Pomzası ile Stabilizasyon İşlemi

Plastikliği yüksek olan Çapalı ariyet malzemesinin plastikliğini düşürmek amacıyla, plastik olmayan özellik gösteren hafif agregalardan yöresel malzeme olması sebebiyle Isparta-Karakaya pomzası, ilk olarak çeşitli oranlarda karıştırılmak suretiyle plastisite indeks ve likit limit değerleri incelendi. Karışıma %10 oranında pomza ilavesi ile başlandı. Karışım oranı %5 arttırılarak malzemenin likit limit ve plastik limit değerlerinin standart değerlerine ulaştığı noktaya kadar bu işleme devam edildi (Çizelge 0.16).

Isparta-Karakaya pomzasında likit limit ve plastisite indeksi değerlerine en uygun %30 pomza-ariyet malzemesi karışımında elde edilmiştir. Bu karışımın taşıma oranını nasıl etkilediğini görmek için %20, %25 ve %30 karışım oranlarında CBR deneyleri uygulandı. Deney sonuçlarından da görüldüğü gibi, %79' luk değeriyle standart değerinden zaten fazla olan CBR değerinde ciddi bir artış olduğu

görülmektedir.

Çizelge 0.16. Isparta-Karakaya pomzası ile Keçiborlu-Çapalı malzemesinin karışım oranları

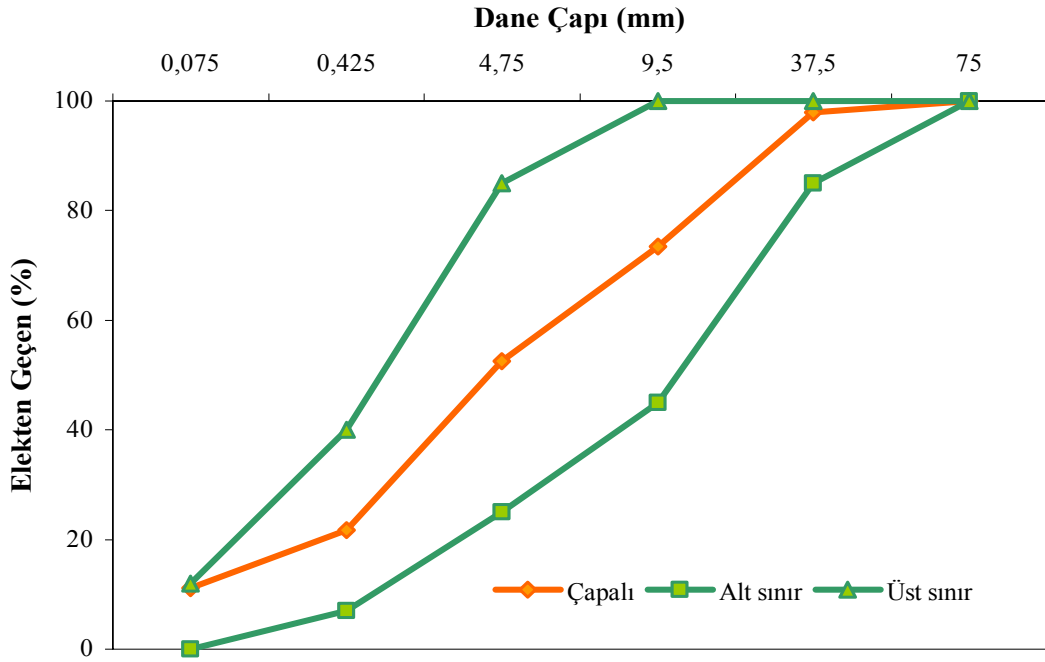
	% Karışım	Likit Limit	Plastisite İndeksi	CBR
Standart	-	≤25	≤6	30
Orijinal Numune	-	39	17	79
10%	90+10	37	17	-
15%	85+15	33	13	-
20%	80+20	31	7	91,295
25%	75+25	27	4	109,6
30%	70+30	25	2	125,595
35%	65+35	22	2	-

Optimum sonucu veren %30' luk pomza-ariyet malzemesinin elek analizi sonuçları Çizelge 0.17' de ve elek analizi grafiği Şekil 0.5' te gösterilmiştir.

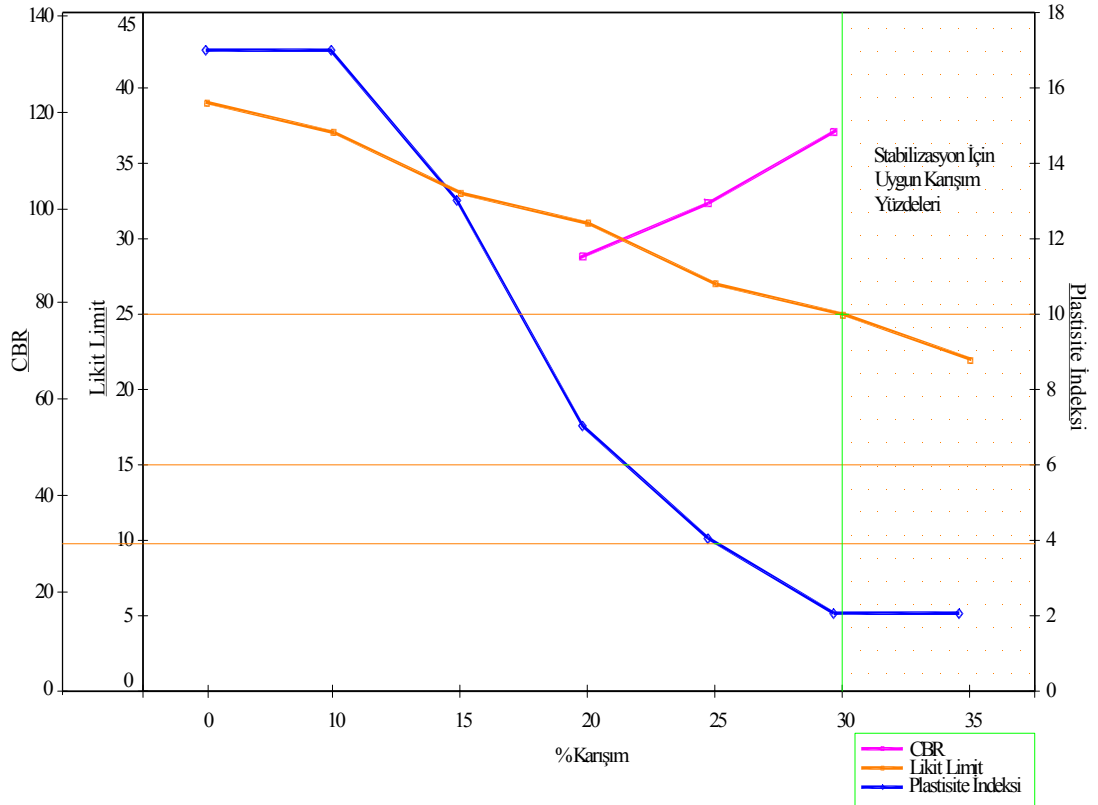
Çizelge 0.17 Stabilizasyon malzemesi olarak seçilen %30' luk karışımın elek analizi

Elek Açıklığı		Ağırlıkça Geçen (%)	Standart Değerleri (%)	
İnç	mm			
3	75	100	100	100
1,5	37,5	97,9	85	100
3/8	9,5	73,4	45	100
No.4	4,75	52,5	25	85
No.40	0,425	21,8	7	40
No.200	0,075	11,2	0	12

Pomza ile ariyet malzemesini %30 oranında karışımı sonucunda elde edilen granülometrik değerlerde Çapalı ariyet malzemesinin granülometrik dağılımına göre ağırlıkça geçen artmış durumdadır.



Şekil 0.5. Stabilizasyon malzemesi olarak seçilen %30' luk karışımın elek analizi grafiği



Şekil 0.6. Pomza ile yapılan iyileştirme deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Isparta-Karakaya pomzası ile yapılan karışımlar, likit limit, plastisite indeksi ve CBR deney sonuçları Şekil 0.6' da toplu olarak verilmektedir. Bu grafik incelendiğinde %30-%40 oranları arasında, pomza-ariyet malzemesi karışımı uygulandığında likit limit değerinin 25 ve plastisite indeksi değerinin 6 sınır değerlerinin altına indiği görülmektedir. %40 pomza karışımından sonra malzeme plastik olmayan özellik göstermektedir. Taşıma oranı olarak bakıldığında malzeme, sınır değerinin bir hayli üzerindedir.

1.10.2. Volkanik Cüruf ile Stabilizasyon İşlemi

Pomza türlerinden bazik karakterli olmasıyla farklı özellik gösteren volkanik cüruf malzemesi, Çapalı ariyet malzemesinin stabilizasyonunda kullanılmıştır. Volkanik cüruf-ariyet malzemesi %10 oranında karışımdan başlayarak, plastisitesi yüksek olan ariyet malzemesinin plastisite değeri istenilen sınır dahiline gelinceye kadar %5 oranında arttırılmak suretiyle karıştırılmıştır (Çizelge 0.18).

Çizelge 0.18. Volkanik cüruf ile Keçiborlu-Çapalı malzemesinin karışım oranları

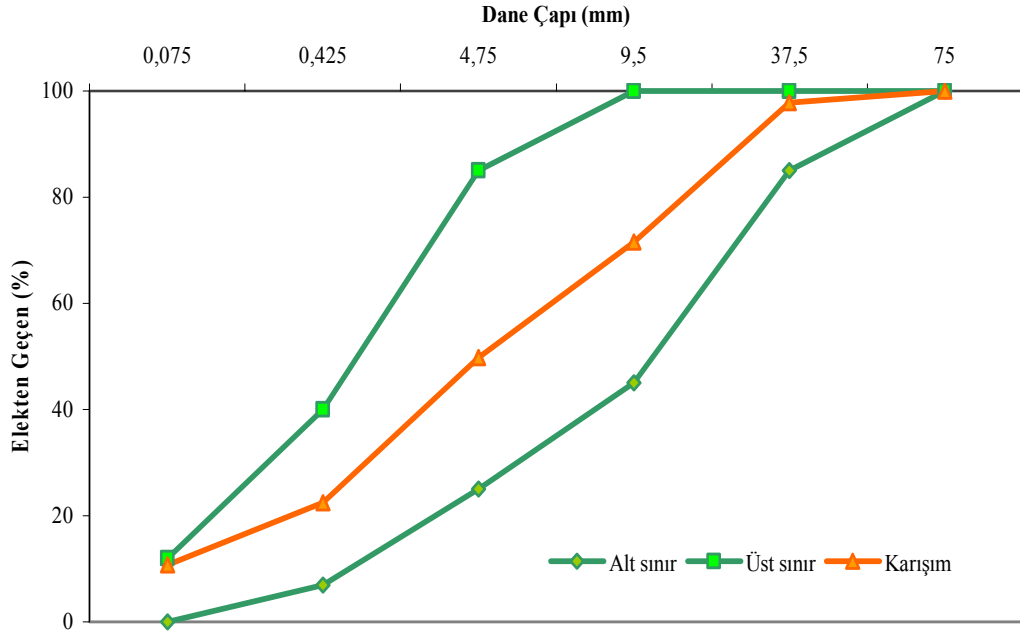
	% Karışım	Likit Limit	Plastisite İndeksi	CBR
Standart	-	≤ 25	≤ 6	30
Orijinal Numune	-	39	17	79
10%	90+10	33	13	-
15%	85+15	29	8	89,6
20%	80+20	26	4	110
25%	75+25	24	2	149,6

%20 volkanik cüruf-ariyet malzemesi karışımının optimum olduğu durumu göstermektedir. %20 malzeme karışımı ve %15-%25 karışım oranlarındaki taşıma oranlarını belirlemek için CBR deneyleri uygulanmıştır. CBR değerlerinin de artan karışım yüzdesiyle arttığı gözlenmiştir.

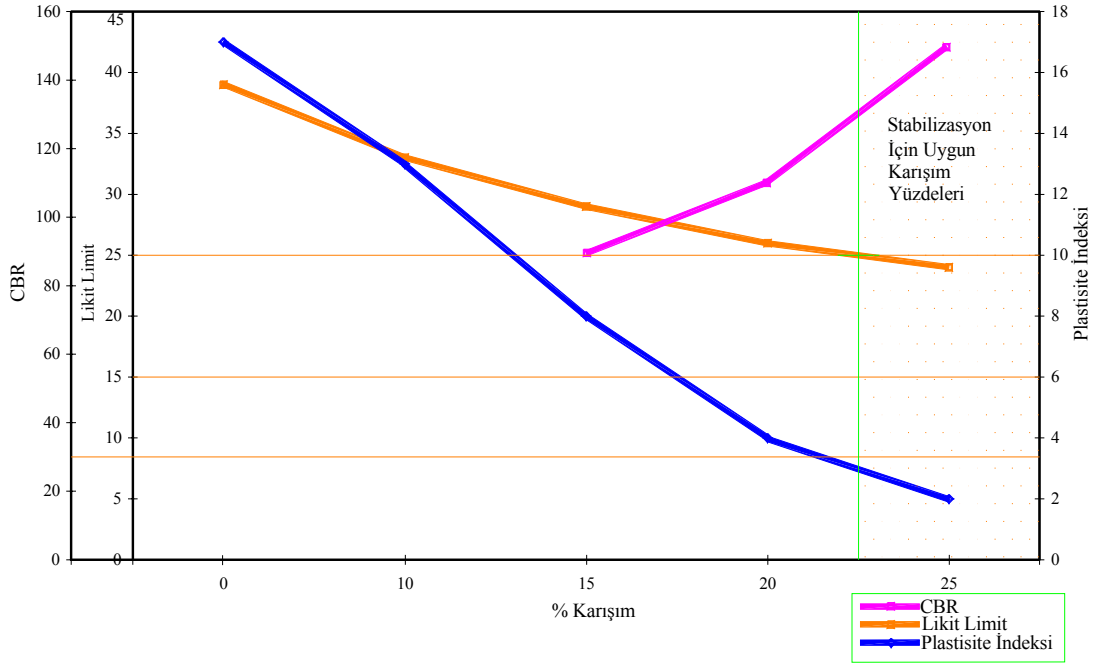
Çizelge 0.19. Stabilizasyon malzemesi olarak seçilen %20' lik karışımın elek analizi

Elek Açıklığı		Ağırlıkça Geçen (%)	Standart Değerleri (%)	
İnç	mm			
3	75	100	100	100
1,5	37,5	97,8	85	100
3/8	9,5	71,5	45	100
No.4	4,75	49,8	25	85
No.40	0,425	22,5	7	40
No.200	0,075	10,8	0	12

Çizelge 0.19' da %20 oranındaki volkanik cüruf-ariyet malzemesin karışımının elek analizi değerleri görülmektedir. Ağırlıkça geçen yüzde olarak değerlendirildiğinde karışımda iri boyutlarda ariyet malzemesine göre arttığı görülmektedir.



Şekil 0.7. Stabilizasyon malzemesi olarak seçilen karışımın elek analizi grafiği

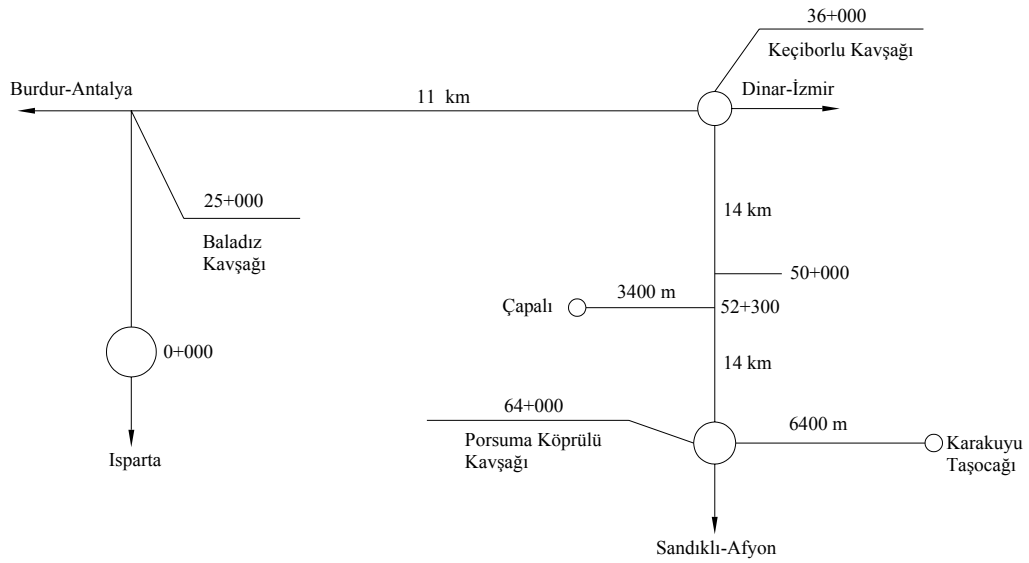


Şekil 0.8. Volkanik cüruf ile yapılan iyileştirme deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 0.8’ de yapılan karışım oranlarındaki genel grafik verilmiştir. Bu grafikte, optimum uygun oranın %22 civarında olduğu görülmektedir. Fakat %20 karışım oranında likit limit değeri önemsenmeyecek kadar sınırı geçtiği için optimum olarak %20 oranı seçilmiştir. CBR değerinde ise Isparta-Karakaya pomzasında olduğu gibi karışım oranı arttıkça taşıma oranı değeri de artmaktadır.

DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE EKONOMİK ANALİZ

Deney sonuçları, Karakuyu taşocağı alttemel malzemesi ve yerel malzeme olan Isparta Karakuyu pomzası ile Çapalı ariyet malzemesinin belirli oranda karışımı ile elde edilen alttemel malzemesi, Baladız-Sandıklı yolu Keçiborlu kavşağı ile Porsuma köprülü kavşağı arasında ekonomik analiz yapılarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 0.1. Yaklaşık yol planı

Bu yol çalışmasında yol genişliği projede 12 m olarak verilmiştir. Bu işlem alttemel tabakasında yapılacağı için yol genişliği ortalama olarak 14 m alınmıştır. Alttemel tabakasının kalınlığı 30 cm' dir. Alttemelin uygulanacağı yol uzunluğu yaklaşık olarak 28 km olarak alınmıştır. Kullanılan malzemelerdeki sıkışma miktarı 1.25 olarak verilmiştir. Verilen değerlere göre bu alttemel tabakasında kullanılacak olan malzeme miktarı aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Malzeme miktarı} = \text{Yol Genişliği} * \text{Yol Kalınlığı} * \text{Sıkışma} * \text{Yol Uzunluğu} \quad (4)$$

$$\text{Malzeme miktarı} = 14 * 0.30 * 1.25 * 28.000 = 147.000 \text{ m}^3$$

1.11. Karakuyu Taşocağı Malzemesinin Ekonomik Analizi

Karakuyu taşocağı Burdur-Keçiborlu-Afyon Yolu üzerinde (Km: 60+750)' e göre 3000 m solda bulunan Karakuyu mevkiinin Alacaatlı sırtlarının kalkerleridir. Görünür ve muhtemel rezerv olarak toplam rezerv bir milyon metreküptür. Kırmataş malzemesi açık gri-beyaz renkli, çatlaklı kırıklı ve masif görünümlüdür (Şekil 0.2).



Şekil 0.2. Karakuyu Taşocağı

Ekonomik analiz için Keçiborlu kavşağı ile Porsuma köprülü kavşağı arası alttemel inşaatındaki ortalama taşıma mesafesi hesaplanmıştır. Yaklaşık yol planı kullanılarak Karakuyu taşocağının ortalama taşıma mesafesi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Karakuyu } L_{\text{ort}} = 6,4 + 28/2 = 20,4 \text{ km}$$

Ortalama taşıma mesafesi kullanılarak nakliye bedeli elde edilir.

$$F = K * (0,0007 * M + 0,01) * \delta \text{ YTL/m}^3 \quad (5)$$

K : 92 YTL (Motorlu taşıt taşıma katsayısı-2005)

M : Mesafe (km)

δ : Malzeme yoğunluğu (Ton/m³)

$$F = 92 * (0,0007 * 20,4 + 0,01) * 1.6$$

$$F = 3,57 \text{ YTL/m}^3$$

%25 Mütahhit karı ve genel giderler: $3,57 * 0,25 = 0,89 \text{ YTL/m}^3$

1 m³ malzeme nakliye bedeli: 4,46 YTL/m³

Çizelge 0.1. Kırmataş alttemel maliyet analizi

Sıra No	Poz No	Birimi	Miktarı	Fiyatı (YTL/m ³)	Tutarı (YTL)
1	6000	m ³	147.000	18,07	2.656.290
2	07.0006/K	m ³	147.000	4,46	655.620
				Toplam	3.311.910

12 m genişliğindeki Baladız-Sandıklı yolu Keçiborlu kavşağı ile Porsuma köprülü kavşağı arasındaki yol için, 1 km' lik birim uzunlukta alttemel maliyeti 118.282,5 YTL/km olarak bulunur.

1.12. Çapalı Evlenkaya Ariyet Malzemesinin, Isparta-Karakaya Pomzası ile Stabilizasyonunun Ekonomik Analizi



Şekil 0.3. Isparta Keçiborlu-Sandıklı Yolu Çapalı Evlenkaya Ariyet Malzemesi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, plastik olmayan bir malzeme olan Isparta-Karakaya Pomzası ile likit limit ve plastisite indeks değeri fazla olan Çapalı ariyet malzemesinin stabilizasyonunun ekonomik olup olmadığının araştırılması için maliyet hesabı yapılmıştır.

Ekonomik analiz için hem pomza malzemesinin hem de Çapalı ariyet malzemesinin ortalama taşıma mesafeleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Isparta-Karakaya pomzası } L_{\text{ort}} = 25 + 11 + 28/2 = 50 \text{ km}$$

$$\text{Çapalı ariyet malzemesi } L_{\text{ort}} = \frac{(3,4 + (14 + 2,3)/2) + (3,4 + (14 - 2,3)/2)}{2} = 10,4 \text{ km}$$

Ortalama taşıma mesafesi kullanılarak pomza ve ariyet malzemelerinin nakliye bedelleri elde edilir.

$$F = K * (0,0007 * M + 0,01) * \delta \text{ TL/m}^3$$

K : 92 YTL (Motorlu taşıt taşıma katsayısı-2005)

M : Mesafe (km)

δ : Malzeme yoğunluğu (Ton/m³)

Isparta-Karakaya pomzası için;

$$F = 92 * (0,0007 * 50 + 0,01) * 0,95$$

$$F = 3,93 \text{ YTL/m}^3$$

%25 Mütahhit karı ve genel giderler: $3,93 * 0,25 = 0,98 \text{ YTL/m}^3$

Toplam nakliye bedeli: $4,91 \text{ YTL/m}^3$

Çapalı ariyet malzemesi için;

$$F = 92 * (0,0007 * 10,4 + 0,01) * 1,6$$

$$F = 2,54 \text{ YTL/m}^3$$

%25 Mütahhit karı ve genel giderler: $2,54 * 0,25 = 0,64 \text{ YTL/m}^3$

Toplam nakliye bedeli: $3,18 \text{ YTL/m}^3$

147.000 m³ malzemenin %30' u 0-3 mm boyutunda pomzanın

Çizelge 0.2. Pomza-Çapalı alttemel maliyet analizi

Sıra No	Poz No	Birimi	Miktarı	Fiyatı (YTL/m ³)	Tutarı (YTL)
1	6020	m ³	102.900	3,22	331.338
2	07.0006/K	m ³	102.900	3,18	327.222
3	602	m ³	44.100	5,7	251.370
4	07.0006/K	m ³	44.100	4,91	216.531
5	4465/3	m ³	147.000	4,29	630.630
Toplam					1.757.091

12 m genişliğindeki Baladız-Sandıklı yolu Keçiborlu kavşağı ile Porsuma köprülü

kavşacı arasındaki yol için, 1 km' lik birim uzunlukta alttemel maliyeti 62.753,25 YTL/km olarak hesaplanmıştır.

Kilometre maliyeti 118.282,5 YTL/km olan Kırmataş alttemel malzemesi ve kilometre maliyeti 62.753,25 YTL/km Çapalı ariyet malzemesinin pomza ile mekanik stabilizasyonu ile elde edilen alttemel malzemesini ekonomik olarak kıyaslandığında, hesaplanan maliyet değerlerinden de anlaşılacağı gibi, aynı yol inşaatı üzerinde yapılan ekonomik analiz sonucunda pomza ile stabil hale getirilmiş olan Çapalı malzemesinin bu çalışma için %53 oranında daha ekonomik olduğu gözlenmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Karayolu üstyapıları esnek üstyapılar ve rijit üstyapılar olmak üzere iki şekilde inşa edilirler. Esnek üstyapılar taban zemini, alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşur. Temel maliyetini azaltmak ve aynı zamanda don bölgelerinde yol taban zeminini dondan korumak için alttemel tabakası inşa edilmektedir. Alttemel tabakası yerel malzemeler ve atık malzemeler kullanılarak yapılır. Isparta’ da alttemel tabakasında kullanmak için çeşitli malzeme ocakları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra yerel malzeme olarak pomza malzemesi de bol miktarda bulunmaktadır.

Volkanik faaliyetler sonucu yüzeye çıktıktan sonra ani soğuma ile boşluklu bir yapıya sahip olan, birim hacim ağırlığı değerlerine göre hafif agregalar sınıfına giren Isparta-Karakaya, Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre, Karaman pomzaları ve volkanik cüruf malzemelerinin ilk olarak fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Bu hafif agregalar boşluklu yapıya sahip olmaları nedeniyle su emme değerleri yüksek olup doyma dereceleri incelendiğinde ise %80 sınır değerinden düşük oldukları görülmektedir.

Pomza malzemesinin inşaat, tekstil, kimya, tarım vb. gibi birçok kullanım alanı vardır. Hafif agregaların bir çok kullanım alanlarının yanı sıra, karayolu esnek üstyapılarında granüler tabaka olan alttemel tabakasında mekanik stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülmüştür. Yapılan çalışmada alttemel tabakasında, pomzanın 0-3 mm arası boyutları kullanılmıştır. Çünkü bu boyut aralığı pomzanın en az kullanılan ve atıl denilebilecek boyutudur.

Malzemeler üzerinde dona karşı dayanıklılık, sağlamlık, likit limit ve plastisite indeksi ve CBR deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda hafif agregaların numunelerinin plastik olmayan malzemeler oldukları, dona karşı dayanımlarının %25 olan sınır değerine yakın ya da bu değeri geçtikleri, aşınma değeri bakımından alttemel standart değerleri içinde oldukları ve taşıma oranları bakımından nispeten düşük değerler verdikleri gözlenmiştir.

Bu hafif agregaların deney sonuçlarına bakılarak plastikliği fazla olan alttemel

malzemelerinde mekanik stabilizasyon yapılarak plastiklik oranını sınırlar dahiline getireceği düşünülerek, plastiklik oranı bakımından alttemelde kullanılmayan Çapalı ariyet malzemesi üzerinde mekanik stabilizasyon işlemi uygulanmıştır. Mekanik stabilizasyon işlemi için yöresel malzeme olan Isparta-Karakaya pomzası ile özellikleri bakımından diğer incelenen hafif agregalardan farklı olan volkanik cüruf malzemeleri kullanılmıştır. İlk olarak granülometrilerine bakılarak malzemeler alttemel standart boyutlarında karıştırılmıştır. Daha sonra pomza ve ariyet malzemesi belirli oranlarda karıştırılarak, likit limit ve plastik limit deneylerine tabi tutulmuşlardır. Karışımlardan %30 Karakaya-ariyet malzemesi ve %20 volkanik cüruf-ariyet malzemesi en uygun değerleri vermişlerdir. Bu karışım oranlarının taşıma oranını nasıl etkilediğini görmek için CBR deneyi uygulanmıştır. CBR deneyleri sonucunda CBR değeri 79 olan ariyet malzemesinin, %30 pomza ile karışımı sonucundaki CBR değerinin 125.595' e çıktığı ve %20 volkanik cüruf ile karışımı sonucundaki CBR değerinin ise 110 değerine çıktığı görülmektedir.

Malzemelerin alttemelde stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği ve karışım oranları belirlendikten sonra yöresel malzeme olması dolayısıyla Isparta-Karakaya malzemesi ile yapılan karışımın ekonomik analizi yapılmıştır. Bu ekonomik analiz sonucunda 1 km' lik birim yol uzunluğu için 118.282,5 YTL olan kırmataş alttemel maliyetinin, Çapalı ariyet malzemesi ile pomza karışımı sonucunda 62.753,25 YTL değerine düştüğü görülmektedir. Yaklaşık olarak %53 oranındaki bu maliyet azalışı malzemenin kullanılabilirliğini de arttırmaktadır.

Sonuç olarak, alttemel malzemesine belirli oranlarda hafif agrega malzemesi karıştırıldığında karışımın CBR değerinin önemli ölçüde artış gösterirken, bu karışımın kullanılması halinde alttemel tabaka malzeme maliyetinin de nerdeyse yarı yarıya düştüğü görülmüştür. Buradan atık haldeki yerel pomza malzemesinin karayolu esnek üstyapılarında alttemel malzemesine karıştırılarak değerlendirilebileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ağar, E., Süttaş, İ., Öztaş, G., 1998. Beton Yollar. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Alataş, T., Yıldırım, B., 1997. Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Kireç ile Birlikte Kullanımı. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3,21-35, Eskişehir.
- Cilason, N., 1964. Toprak Stabilizasyonu. K.G.M., Yayın No:122, Ankara.
- Demirdağ, S., Gündüz, L., 2003; “Volkanik Cürüflerin İnşaat Endüstrisinde Hafif Beton Agregası Olarak Değerlendirilme Kriterleri” III.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Demirel, Z., Kadioğlu, M., Aray, S., Orhan, F., Alp, A., 1999. Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı. K.G.M., 180 s. Ankara.
- Gündüz, L., 1998. Pomza Teknolojisi. Cilt 1, 285s, Isparta.
- Ilıcalı, M., 1988. Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152s, İstanbul.
- Ilıcalı, M., 2001. Asfalt ve Uygulamaları. 280s. İstanbul
- Karavaşin, M., 1993. Resilient Behaviour of Granular Materials for Analysis of Highway Pavements, PhD thesis, Department of Civil Engineering, University of Nottingham, 312 p. England.
- Keskin, S. N., Çimen, Ö., 1997. Killi Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesinde Pomza Kullanımının Araştırılması. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 97-101, Isparta.
- Kizirgil, M. E., 2001. Sivas Demir-Çelik Fabrikası Cürufunun Yol Stabilizasyonunda Kullanılmasının Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 46s, Elazığ.
- Özbayoğlu, F., Gürel, A., 1997. Nevşehir Pomzalarının Puzolonik Maddeler Katkısı İle Yol Stabilizasyonunda Kullanılması. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 113-118, Isparta.
- Saltan, M., 1999. Esnek üstyapıların analitik değerlendirilmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 202s, Isparta
- Sezgin, H., 2003. Karayolları Esnek Üstyapılarında Alttemel Tabakasının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 105s, Isparta.

- Şapıcı, N., Gündüz, L., Karaman ve civarı pomza oluşumlarının hafif beton sektöründe agrega olarak yeri ve önemi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir.
- Şenol, A., Bin-Shafique, M.S., Edil, T.B., Benson, C.H., 2003. Use of Class C Fly Ash for Stabilization of Soft Subgrade. The Bulletin of the Istanbul Technical University Communicated, 98-104.
- TS Türk Standartları 1114 EN 13055-1, 2004, Hafif agregalar - Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin
- TS Türk Standartları 3529, 1980, Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini
- TS Türk Standartları 699, 1987, Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları
- TS Türk Standartları 9581, 1991, Şehiriçi Yollar - Esnek Üstyapılı Alttemel ve Temel Tabakaları Yapım Kuralları
- TS Türk Standartları 3234, 1978, Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları
- Türel, Ö., 2002. Antalya ve Çevre İllerdeki Bölgesel Devlet Yollarının Mevcut Üstyapı Uygulamalarının İncelenmesi, "Rijit Üstyapı" Formunda Yeniden Çözülmesi, Maliyet Karşılaştırmalarının Yapılabilirliğinin Araştırılması. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 236s, Antalya.
- Umar, F., Açar, E., 1991. Yol Üstyapısı. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

EKLER

EK 1. Isparta-Karakaya Pomzası üzerinde alttemel standardına göre yapılan deneyler

Çizelge EK 1-1. Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları ve Hesabı

Isparta Karakaya 1			
Elek Aralığı (mm)	Numunenin ilk ağırlığı (g)	Numunenin son ağırlığı (g)	Aşınma yüzdesi (%)
12.50-19.00	2500	3000	40
9.50-12.50	2500		
5000			
Isparta Karakaya 2			
Elek Aralığı (mm)	Numunenin ilk ağırlığı (g)	Numunenin son ağırlığı (g)	Aşınma yüzdesi (%)
12.50-19.00	2500	3210	35,8
9.50-12.50	2500		
5000			
Isparta Karakaya 3			
Elek Aralığı (mm)	Numunenin ilk ağırlığı (g)	Numunenin son ağırlığı (g)	Aşınma yüzdesi (%)
12.50-19.00	2500	3190	36,2
9.50-12.50	2500		
5000			

Ortalama=37,3

Çizelge EK 1-2. Dona Karşı Dayanıklılık (Sodyum Sülfat) Deneş Sonuçları ve Hesabı

Isparta Karakaya 1

Elek Aralığı (mm)	Orijinal numunenin gradasyonu (%)	Deneyden önceki ağırlık (g)	Deneyden sonraki ağırlık (g)	Donma kaybı (%)	Orijinal gradasyona göre düzenlenmiş donma kaybı (%)
4.75-2.36	40,5	100	94,7	5,3	1,4
9.50-4.75	30,2	300	284,4	15,6	3,1
12.50-9.50	22,9	330	263,7	66,3	10,1
19.00-12.50	6,5	670	470,6	199,4	8,6
	100,1				23,3

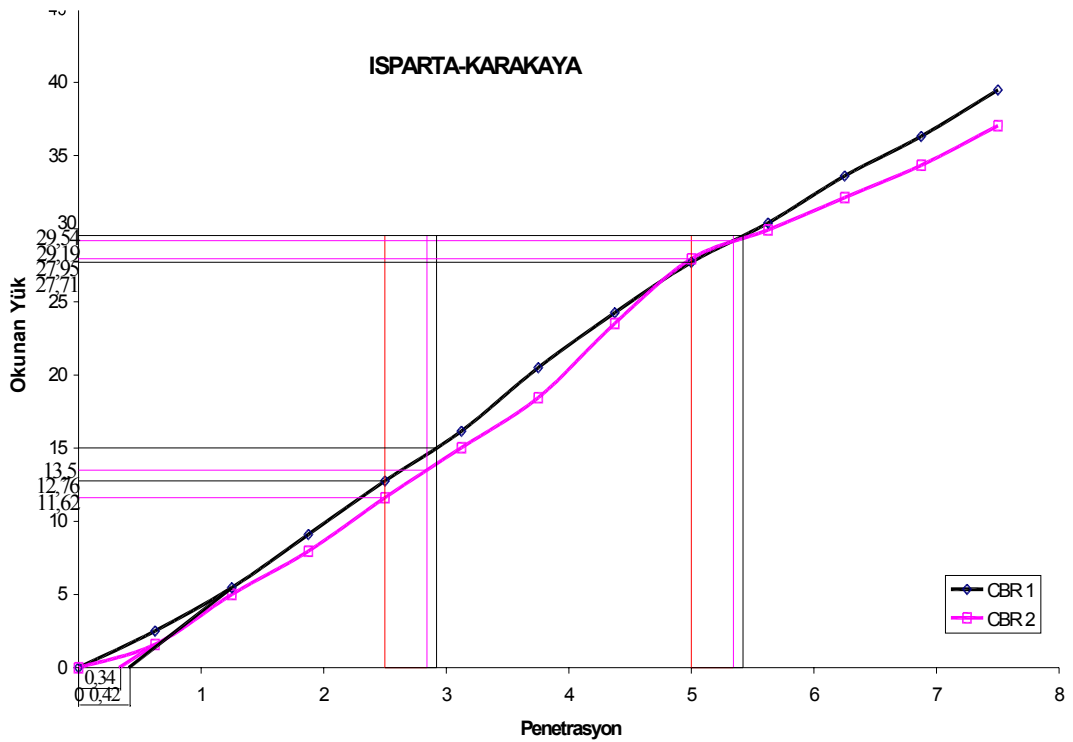
Isparta Karakaya 2

Elek Aralığı (mm)	Orijinal numunenin gradasyonu (%)	Deneyden önceki ağırlık (g)	Deneyden sonraki ağırlık (g)	Donma kaybı (%)	Orijinal gradasyona göre düzenlenmiş donma kaybı (%)
4.75-2.36	40,5	100,0	92,3	7,7	2,1
9.50-4.75	30,2	300,1	277,6	22,5	4,5
12.50-9.50	22,9	329,7	237,1	92,6	14,1
19.00-12.50	6,5	669,9	479,5	190,4	8,3
	100,1				29,0

Ortalama=26,15

Çizelge EK 1-3. Isparta-Karakaya pomzası CBR Deneyi Sonuçları ve Hesabı

TAŞIMA ORANI (CBR)										
Penetrasyon		Standart basınç kg/cm ²	Okunan yük			Düzeltilmiş	Okunan yük			Düzeltilmiş
inç	mm		lb	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	lb	kg	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0		0	0			0	0		
0,025	0,625		11	2,51			7	1,59		
0,05	1,25		24	5,47			22	5,01		
0,075	1,875		40	9,11			35	7,97		
0,1	2,5	70	56	12,76	12,76	15,00	51	11,62	11,62	13,50
0,125	3,125		71	16,17			66	15,04		
0,15	3,75		90	20,5			81	18,45		
0,175	4,375		106	24,26			103	23,52		
0,2	5	105	120	27,7	27,71	29,54	121	27,94	27,95	29,19
0,225	5,625		131	30,4			129	29,91		
0,25	6,25		144	33,6			138	32,12		
0,275	6,875		155	36,3			147	34,33		
0,3	7,5		168	39,49			158	37,04		
Ortalama CBR Değeri: 29,36										



Şekil EK 1-1. Isparta-Karakaya pomzası CBR deneyi grafiği

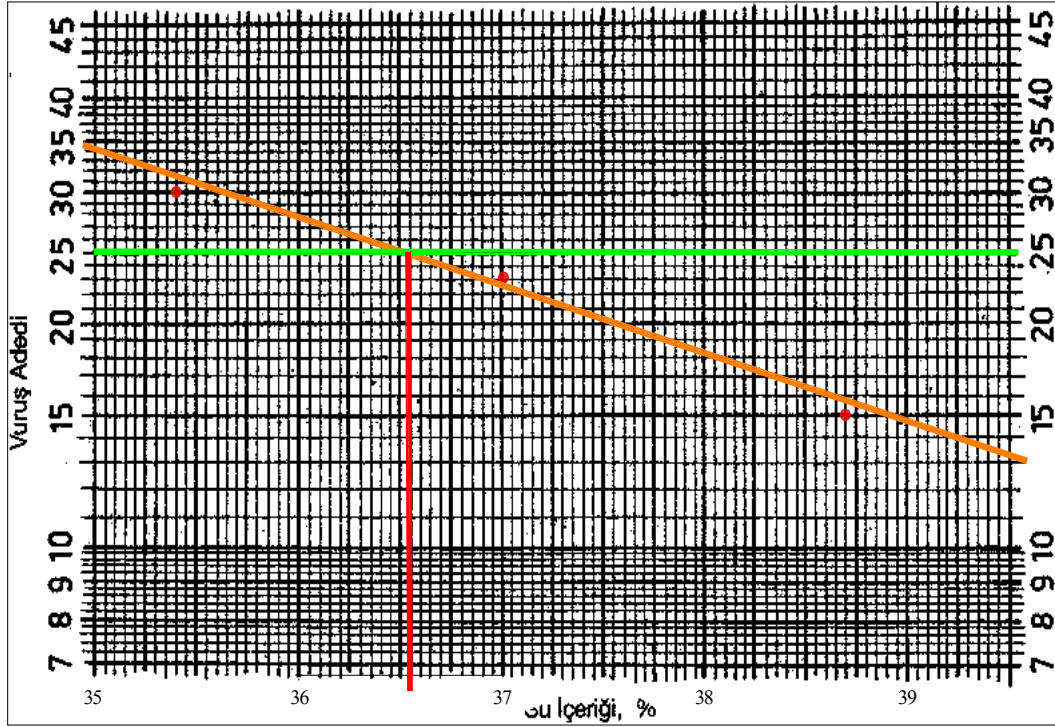
EK 2. Çapalı-pomza karışımı üzerinde alttemel standartlarına göre yapılan deneyler

Çizelge EK 2-1. Çapalı-pomza karışım oranları

Elek No	Çapalı	Isparta-Karakaya	Çapalı %90	Pomza %10	Karışım	Çapalı %85	Pomza %15	Karışım	Çapalı %80	Pomza %20	Karışım
3"	100	100	90	10	100	85	15	100	80	20	100
2"	98	100	88,2	10	98,2	83,3	15	98,3	78,4	20	98,4
1 1/2"	97	100	87,3	10	97,3	82,45	15	97,45	77,6	20	97,6
1"	94	100	84,6	10	94,6	79,9	15	94,9	75,2	20	95,2
3/4"	88	100	79,2	10	89,2	74,8	15	89,8	70,4	20	90,4
1/2"	79	100	71,1	10	81,1	67,15	15	82,15	63,2	20	83,2
3/8"	62	100	55,8	10	65,8	52,7	15	67,7	49,6	20	69,6
No.4	33	99	29,7	9,9	39,6	28,05	14,85	42,9	26,4	19,8	46,2
No:10	22	76	19,8	7,6	27,4	18,7	11,4	30,1	17,6	15,2	32,8
No.40	14	40	12,6	4	16,6	11,9	6	17,9	11,2	8	19,2
No.200	10	14	9	1,4	10,4	8,5	2,1	10,6	8	2,8	10,8
Elek No	Çapalı	Isparta-Karakaya	Çapalı %75	Pomza %25	Karışım	Çapalı %70	Pomza %30	Karışım	Çapalı %65	Pomza %35	Karışım
3"	100	100	75	25	100	70	30	100	65	35	100
2"	98	100	73,5	25	98,5	68,6	30	98,6	63,7	35	98,7
1 1/2"	97	100	72,75	25	97,75	67,9	30	97,9	63,05	35	98,05
1"	94	100	70,5	25	95,5	65,8	30	95,8	61,1	35	96,1
3/4"	88	100	66	25	91	61,6	30	91,6	57,2	35	92,2
1/2"	79	100	59,25	25	84,25	55,3	30	85,3	51,35	35	86,35
3/8"	62	100	46,5	25	71,5	43,4	30	73,4	40,3	35	75,3
No.4	33	99	24,75	24,75	49,5	23,1	29,7	52,8	21,45	34,65	56,1
No:10	22	76	16,5	19	35,5	15,4	22,8	38,2	14,3	26,6	40,9
No.40	14	40	10,5	10	20,5	9,8	12	21,8	9,1	14	23,1
No.200	10	14	7,5	3,5	11	7	4,2	11,2	6,5	4,9	11,4

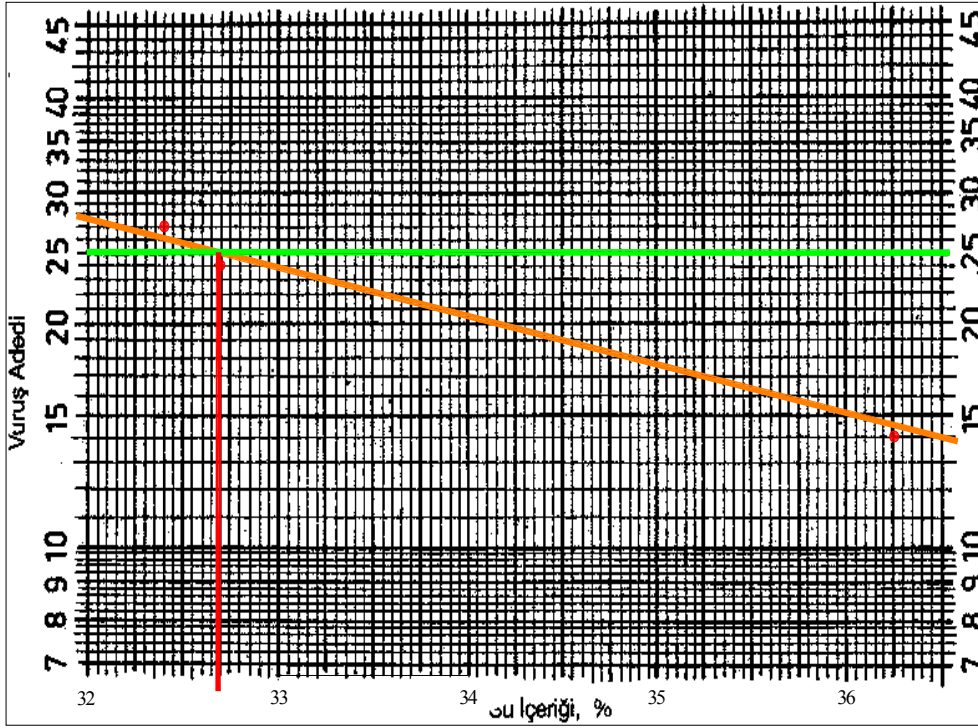
Çizelge EK 2-2. %10 Karışım için likit limit sonuçları

%10 Karışım					
	L.L.	L.L.	L.L.	P.L:	P.L.
Vuruş Adedi	32	23	15	-	-
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	55,39	62,52	57,51	37,71	38,02
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	48,50	54,23	49,58	35,88	35,57
Su Ağırlığı	6,89	8,29	7,93	1,83	2,45
Kap Ağırlığı	29,07	31,80	29,09	28,26	25,44
Kuru Numune	19,43	22,43	20,49	7,62	10,13
% Su İçeriği	35,46	36,96	38,70	24,02	24,19
Likit Limit: 37					
Plastik Limit: 20					
Plastisite İndeksi: 17					



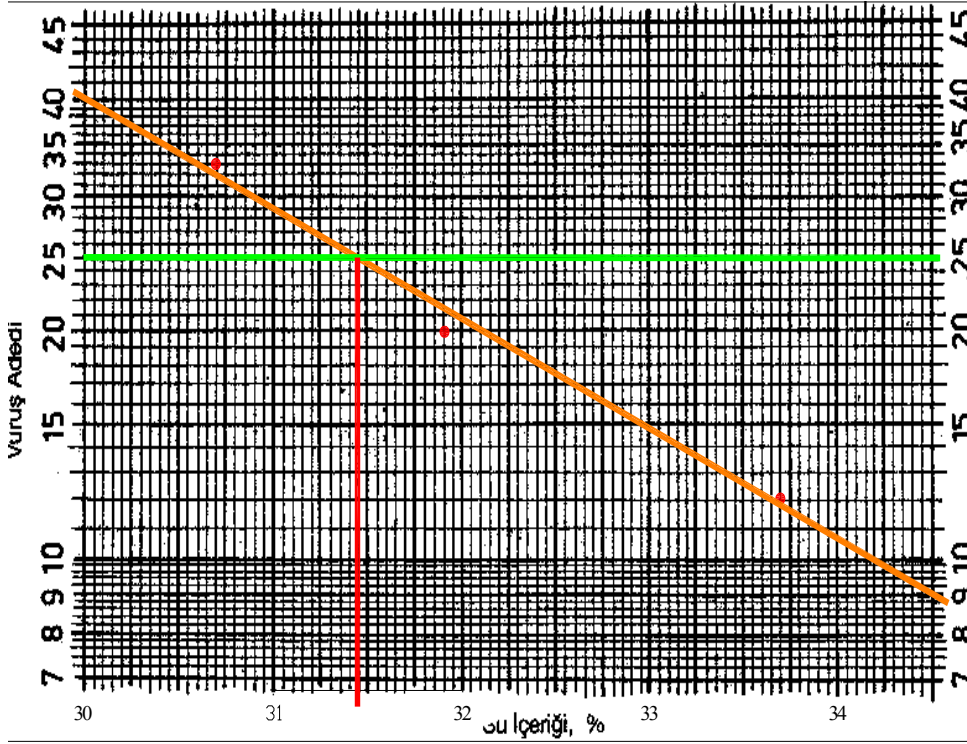
Çizelge EK 2-3. %15 Karışım için likit limit sonuçları

%15 Karışım					
	L.L.	L.L.	L.L.	P.L:	P.L.
Vuruş Adedi	27	24	14	-	-
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	53,16	54,48	55,89	37,26	38,49
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	47,37	48,25	48,05	35,83	37,00
Su Ağırlığı	5,79	6,23	7,84	1,43	1,49
Kap Ağırlığı	29,49	29,22	26,58	28,79	29,59
Kuru Numune	17,88	19,03	21,47	7,04	7,41
% Su İçeriği	32,38	32,74	36,52	20,31	20,11
Likit Limit: 33					
Plastik Limit: 20					
Plastisite İndeksi: 13					



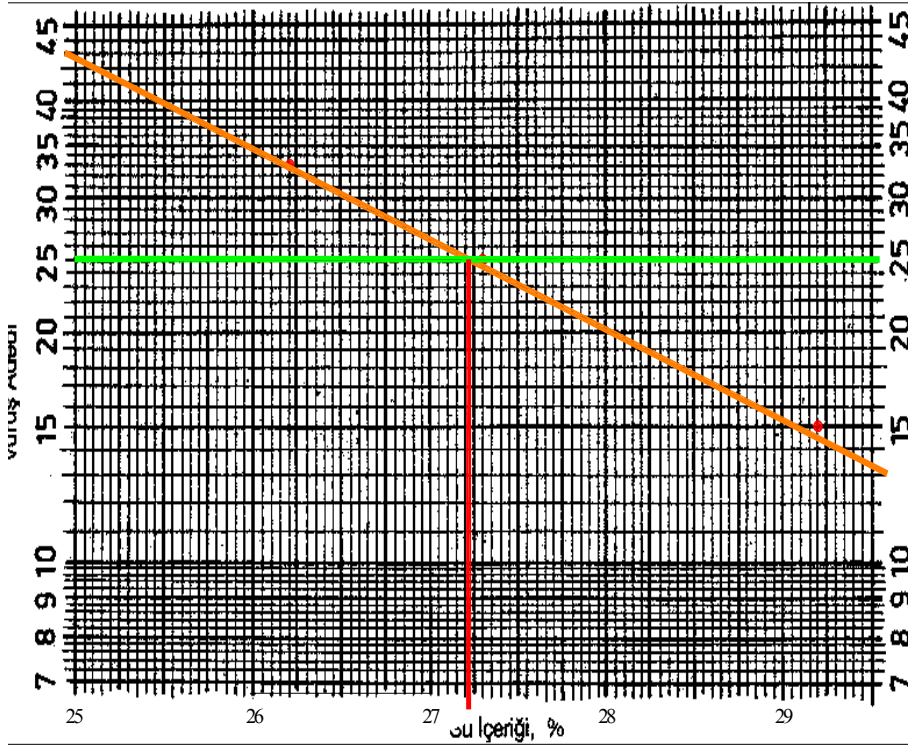
Çizelge EK 2-4. %20 Karışım için likit limit sonuçları

%20 Karışım					
	L.L.	L.L.	L.L.	P.L:	P.L.
Vuruş Adedi	33	20	12	-	-
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	56,89	63,11	61,31	37,71	38,02
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	50,02	55,46	52,98	35,88	35,57
Su Ağırlığı	6,87	7,65	8,33	1,83	2,45
Kap Ağırlığı	27,64	31,49	28,24	28,26	25,44
Kuru Numune	22,38	23,97	24,74	7,62	10,13
% Su İçeriği	30,70	31,91	33,67	24,02	24,19
Likit Limit: 31					
Plastik Limit: 24					
Plastisite İndeksi: 7					



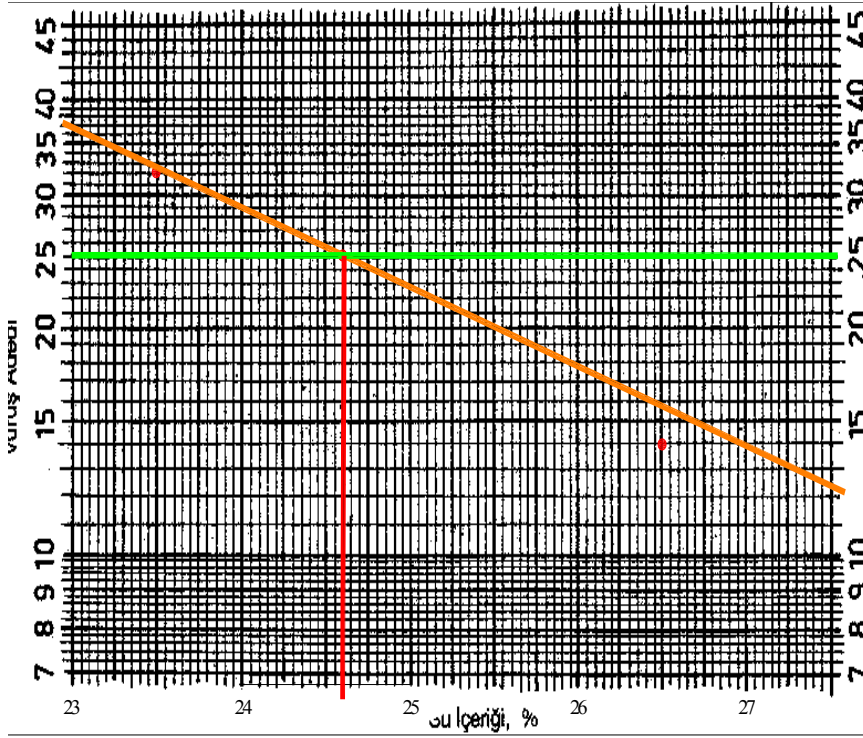
Çizelge EK 2-5. %25 Karışım için likit limit sonuçları

%25 Karışım					
	L.L.	L.L.	L.L.	P.L:	P.L.
Vuruş Adedi	33	25	15	-	-
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	59,50	62,50	57,29	38,80	39,42
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	53,12	55,35	50,92	37,10	37,64
Su Ağırlığı	6,38	7,15	6,37	1,70	1,78
Kap Ağırlığı	28,80	29,17	29,10	29,95	29,97
Kuru Numune	24,32	26,18	21,82	7,15	7,67
% Su İçeriği	26,23	27,31	29,20	23,78	23,21
Likit Limit: 27					
Plastik Limit: 23					
Plastisite İndeksi: 4					



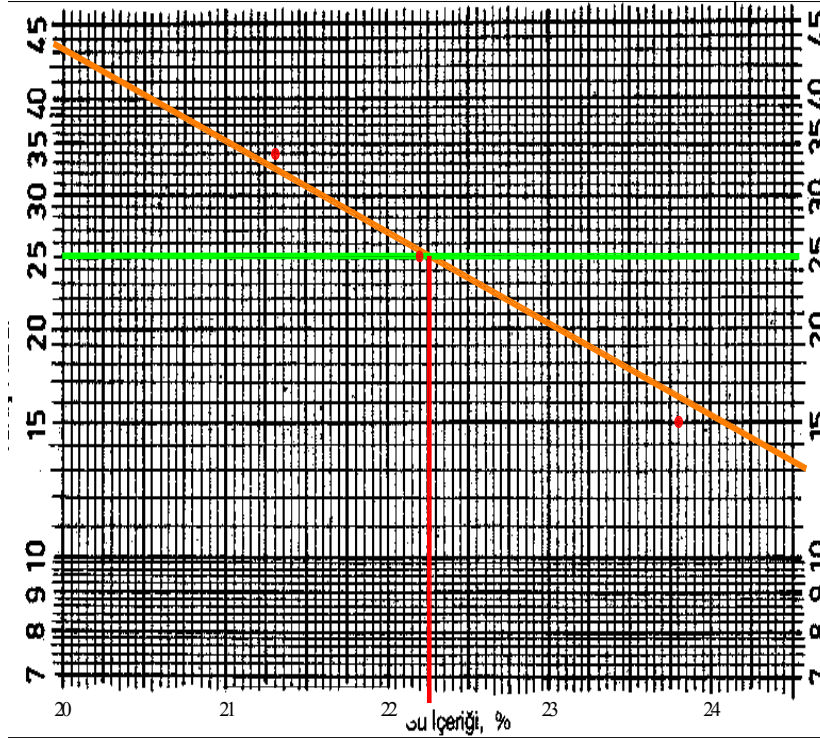
Çizelge EK 2-6. %30 Karışım için likit limit sonuçları

%30 Karışım					
	L.L.	L.L.	L.L.	P.L:	P.L.
Vuruş Adedi	32	25	15	-	-
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	53,80	63,94	59,91	39,04	36,99
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	49,08	57,25	53,43	37,17	35,57
Su Ağırlığı	4,72	6,69	6,48	1,87	1,42
Kap Ağırlığı	29,00	30,08	28,98	29,19	29,43
Kuru Numune	20,08	27,17	24,45	7,98	6,14
% Su İçeriği	23,51	24,62	26,50	23,43	23,13
Likit Limit: 25					
Plastik Limit: 23					
Plastisite İndeksi: 2					



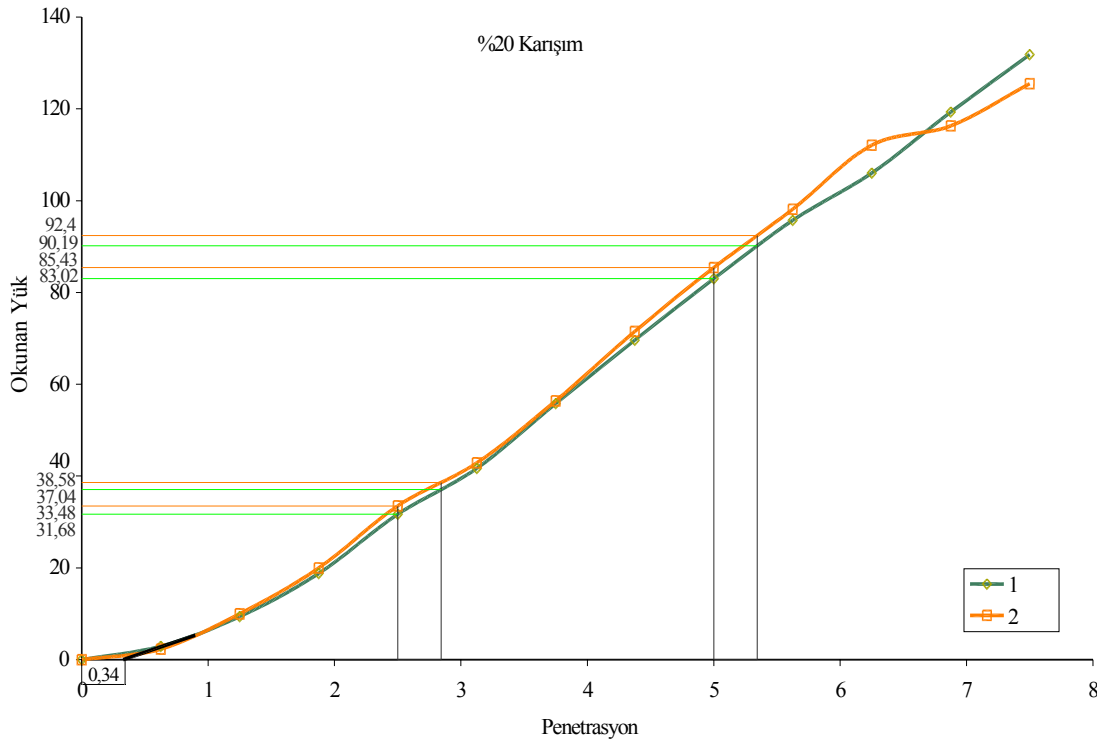
Çizelge EK 2-7. %35 Karışım için likit limit sonuçları

%35 Karışım					
	L.L.	L.L.	L.L.	P.L:	P.L.
Vuruş Adedi	34	25	15	-	-
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	64,87	64,66	60,52	35,96	32,93
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	58,60	58,35	54,05	34,66	31,71
Su Ağırlığı	6,27	6,31	6,47	1,30	1,22
Kap Ağırlığı	29,20	29,98	26,81	28,20	25,82
Kuru Numune	29,40	28,37	27,24	6,46	5,89
% Su İçeriği	21,33	22,24	23,75	20,12	20,71
Likit Limit: 22					
Plastik Limit: 20					
Plastisite İndeksi: 2					



Çizelge EK 2-8. %20 Karışım için CBR deneyi

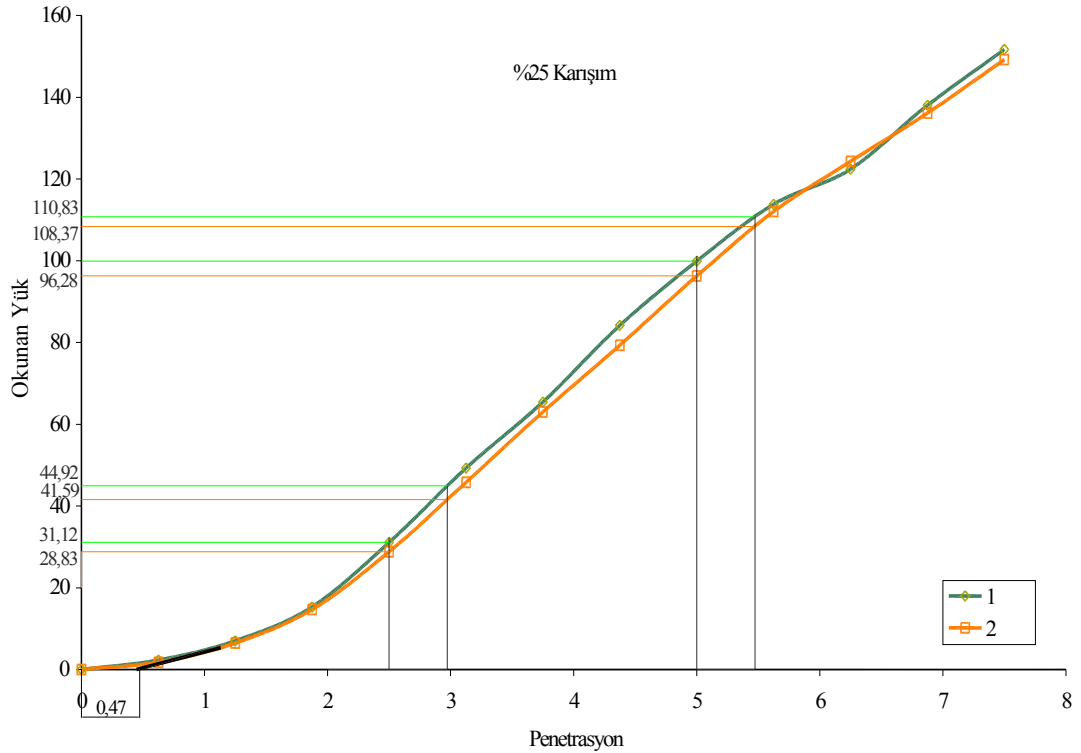
TAŞIMA ORANI (CBR)										
Penetrasyon		Standart basınç kg/cm ²	Okunan yük			Düzeltilmiş	Okunan yük			Düzeltilmiş
inç	Mm		lb	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	lb	kg	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0		0	0			0	0		
0,025	0,625		5	2,9			4	2,3		
0,05	1,25		16	9,4			17	10		
0,075	1,875		32	18,8			34	20		
0,1	2,5	70	54	31,7	31,68	37,04	57	33,5	33,48	38,58
0,125	3,125		71	41,7			73	42,9		
0,15	3,75		95	55,8			96	56,4		
0,175	4,375		118	69,6			121	71,5		
0,2	5	105	140	83	83,02	90,19	144	85,4	85,43	92,4
0,225	5,625		161	95,7			165	98,1		
0,25	6,25		178	106			180	112,1		
0,275	6,875		200	119,3			195	116,3		
0,3	7,5		220	131,8			210	125,5		
Ortalama CBR Değeri: 91,295										



Şekil EK 2-1. %20 Karışım için CBR deneyi grafiği

Çizelge EK 2-9. %25 Karışım için CBR deneyi

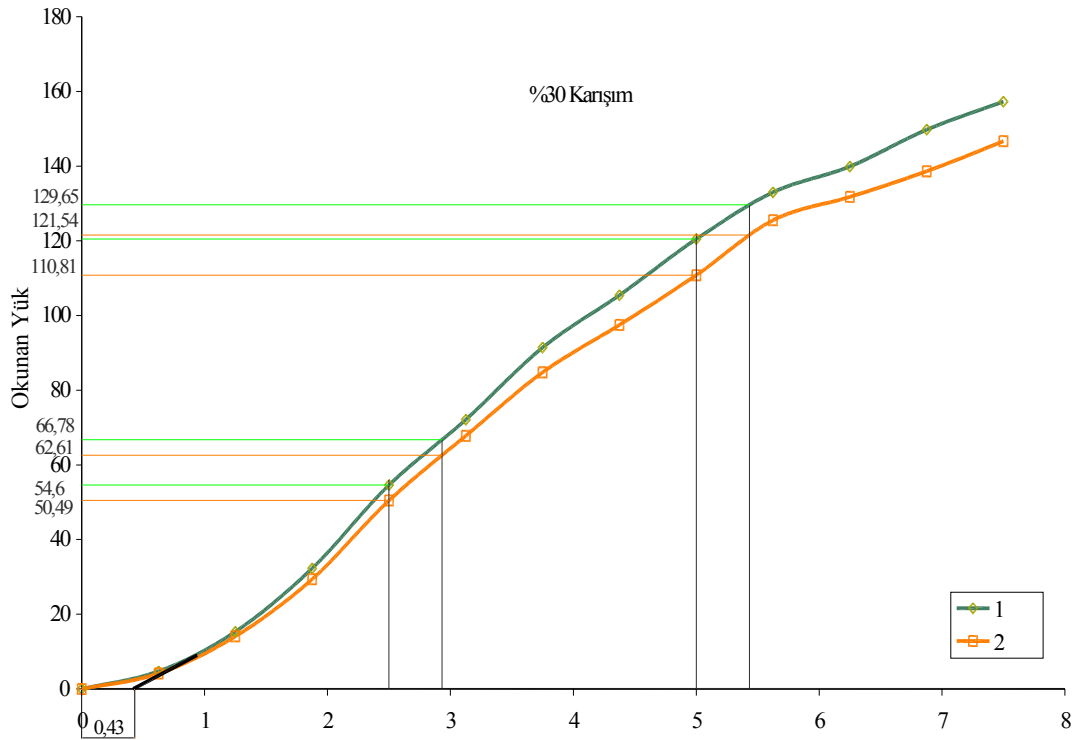
TAŞIMA ORANI (CBR)										
Penetrasyon		Standart basınç kg/cm ²	Okunan yük			Düzeltilmiş	Okunan yük			Düzeltilmiş
inç	Mm		lb	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	lb	kg	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0		0			0	0		
0,025	4	2,3		2,9			4	2,3		
0,05	12	7		9,4			17	10		
0,075	26	15,3		18,8			34	20		
0,1	53	31,1	31,12	31,7	31,68	37,04	57	33,5	33,48	38,58
0,125	84	49,3		41,7			73	42,9		
0,15	111	65,4		55,8			96	56,4		
0,175	142	84,2		69,6			121	71,5		
0,2	168	99,9	100	83	83,02	90,19	144	85,4	85,43	92,4
0,225	191	113,8		95,7			165	98,1		
0,25	205	122,4		106			180	112,1		
0,275	230	138		119,3			195	116,3		
0,3	252	151,7		131,8			210	125,5		
Ortalama CBR Değeri: 109,6										



Şekil EK 2-2. %25 Karışım için CBR deneyi grafiği

Çizelge EK 2-10. %30 Karışım için CBR deneyi

TAŞIMA ORANI (CBR)										
Penetrasyon		Standart basınç kg/cm ²	Okunan yük			Düzeltilmiş kg/cm ²	Okunan yük			Düzeltilmiş kg/cm ²
inç	mm		lb	kg	kg/cm ²		lb	kg	kg/cm ²	
0	0	0	0	0			0	0		
0,025	4	2,3	8	4,7			7	4,1		
0,05	12	7	26	15,3			24	14,1		
0,075	26	15,3	55	32,3			50	29,4		
0,1	53	31,1	93	54,6	54,6	66,78	86	50,5	50,49	62,61
0,125	84	49,3	122	72,1			115	67,8		
0,15	111	65,4	154	91,4			143	84,8		
0,175	142	84,2	177	105,4			164	97,5		
0,2	168	99,9	202	120,5	120	129,65	186	110,8	110,81	121,54
0,225	191	113,8	222	133			210	125,5		
0,25	205	122,4	233	139,9			220	131,8		
0,275	230	138	249	149,8			231	138,6		
0,3	252	151,7	261	157,3			244	146,7		
Ortalama CBR Değeri: 125,595										



Şekil EK 2-3 %30 Karışım için CBR deneyi grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fadime Selcan FINDIK

Doğum Yeri : Isparta

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1994-1997 Isparta Gürkan Süper Lisesi

1997-1998 Isparta Şehit Ali İhsan Kalmaz Lisesi

Lisans :1998-2002 SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi :

2004 (Arş.Gör) SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi (Devam Ediyor)