T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYSERİ TÜFLERİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE YAPAY ZEKA TEKNİĞİYLE MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

İnş.Yük.Müh. Mehmet Cemal ACAR

Enstitü Anabilim Dalı	**:**	**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı	**:**	**GEOTEKNİK**
Tez Danışmanı	**:**	**Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ**

ARALIK 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYSERİ TÜFLERİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE YAPAY ZEKA TEKNİĞİYLE MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Mehmet Cemal ACAR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez……/…../2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.	**Prof. Dr.**	**Yrd. Doç. Dr.**
Zeki GÜNDÜZ	**İsmail Hakkı CEDİMOĞLU**	**Mansur SÜMER**
Jüri Başkanı	**Üye**	**Üye**

Prof. Dr.	**Doç. Dr.**
Sami ARSOY	**Gülgün YILMAZ**
Üye	**Üye**

TEŞEKKÜR

Bu doktora çalışması sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimi ile çalışmamı yönlendiren başta danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ olmak üzere 2. Danışmanım Doç. Dr. Adem KALINLI' ya teşekkürlerimi sunarım. Doktora tez izleme komitesinde görev alarak çalışmalarıma katkı sağlayan Prof. Dr. İsmail Hakkı CEDİMOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER'e şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma süresince bana kıymetli zamanlarını harcayan Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR'a, Arş. Gör. Oğuz DÜĞENCİ'ye teşekkür ederim.

Değerli meslekdaşım Makina bölümü Öğr. Gör. İlhan BALOĞLU'na, makine atölyesinde "Brazilian Dolaylı Çekme" cihazının tasarım ve imalatını bizzat yaparak katkılarından ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması süresince aynı mekanı paylaştığımız Tekniker Yaşar TÜRKMEN'e, Tekniker İsmail DÜLKAR'a ve Kayseri Meslek Yüksekokulu proje öğrencilerime bana göstermiş oldukları yardım, hoşgörü ve sabırlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın FBD-10-3035 kod nolu proje ile desteklenmesini sağlayan Erciyes Üniversitesi Araştırma Fonuna teşekkürlerimi bildirmeyi borç bilirim.

Çalışmalarım süresince bana destek olan eşim ve kızıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR..... ii
İÇİNDEKİLER iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... vi
ŞEKİLLER LİSTESİ vii
TABLOLAR LİSTESİ..... ix
ÖZET..... x
SUMMARY..... xi

BÖLÜM 1. GİRİŞ
1.1. Tezin Amacı ve Önemi……. 2
1.2. Çalışmanın İçeriği…… 4

BÖLÜM 2. TÜFLER VE GENEL ÖZELLİKLERİ
2.1. Giriş…….. 5
2.2. Tüfler ve Proklastik Malzemelerin Tanımı…….. 6
2.3. Tüf Kayaların Oluşumu ve Özellikleri……. 8
2.4. Tüf Kayaların Statik ve Dinamik Özellikleri …….. 9
2.4.1. Statik Özellikleri…….. 10
2.4.2. Dinamik Özellikleri……. 16
2.5. Tüf Kayaları ile İlgili Yapılmış Önceki Çalışmalar……. 19
2.6. Deney Sonuçlarını Etkileyen Faktörler ile ilgili Literatür…… 22
2.6.1. En uygun numune boyutlarının seçimi…… 23
2.6.2. Suya doygunluk, boşluk oranı yükleme hızı ve çevre basıncının etkisi …….. 26
2.7. Tüflerin Agrega Olarak Dolgularda Kullanımı İle İlğili Çalışmalar 30

BÖLÜM 3. KAYSERİ TÜFLERİ

3.1. Giriş..... 32
3.2. Kayserinin Jeolojik Oluşumu……..... 32
3.3. Kayseri Tüflerinin Minerolojik ve Kimyasal Yapısı…….. 35
3.4. Kayseri Tüfleri ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar……..... 39
3.5. Kayseri Tüflerinin Arazi Ön Çalışması ve Genel Özellikleri……. 41
3.6. Kayseri Tüflerinin Çevre Geotekniği Açısından İncelenmesi…… 44
3.7. Volkanik Cüruflar ve Kayseri Yılanlı Dağı Volkanik Cürufu…… 48

BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOT

4.1. Giriş..... 50
4.2. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu…….. 50
4.3. Numunelerin Deneylere Hazırlanması..... 54
4.4. Laboratuvarda Yapılan Deneyler…… 55
4.4.1. İndeks özellikleri ……. 57
4.4.2. Elastisite modülü (young's modulus) ve poisson oranlarının bulunması deneyi……..... 58
4.4.3. Tek eksenli basınç deneyi..... 66
4.4.4. Üç eksenli basınç deneyi……. 68
4.4.5. Brazilian (dolaylı çekme) deneyi…… 71
4.4.6. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi…… 73
4.4.7. Eğilmede çekme deneyi deneyi…… 75
4.4.8. Donma-çözülme deneyleri……... 75
4.4.9. Islanma-kuruma deneyleri…… 77
4.4.10. Pundit ultrasonik ölçüm cihazı sonik hız deneyi…….. 77
4.5. Arazide Kayseri Tüflerinin Dinamik Özellikleri ……... 79
4.6. Kayseri Tüflerinin İstatistiksel Verileri ve Tahmin Modelleri……... 86
4.6.1. Parametreler arası korelasyon ve regrasyon analizleri……. 87
4.6.2. Çoklu regrasyon yöntemleri ile parametre tahmin modelleri.. 89
4.7. Kayseri Tüflerinin Yapay Zeka Tekniğine Dayalı Tahmin Modelleri 90
4.7.1. Tüflerin E tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modeli….. 95

4.7.2. Tüflerin UCS tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modeli 98
4.8. Agrega Boyutundaki Kayseri Tüflerinin Esnek Üstyapılı Yollarda Dolgu Malzemesi Olarak Kullanımı…… 100
4.8.1. Dolguda kullanılacak volkanik cüruf ile deneysel çalışmalar 102

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE GELİŞTİRİLEN MODELLER
5.1. Giriş……. 109
5.2. Laboratuvarda ve Arazide Yapılan Deneylerin Sonuçları…….. 109
5.3. Deneylerden Elde Edilen Verilerle İlgili İstatistiksel Sonuçlar…….. 127
5.4. Parametreler Arası Korelasyon ve Basit Regrasyon Modelleri…….. 132
5.4.1. E-UCS arasındaki modeller…….. 133
5.4.2. E-n arasındaki modeller……... 134
5.4.3. E-BHA arasındaki modeller……. 135
5.4.4. E-Vp arasındaki modeller…… 136
5.4.5. UCS-Vp arasındaki modeller……... 137
5.4.6. UCS-n arasındaki modeller…….. 138
5.4.7. UCS-BHA arasındaki modeller…… 139
5.5. Parametreler Arası Çoklu Regrasyon Modelleri…… 140
5.5.1. Tüflerin E değerinin tahmininde BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c kullanılarak oluşturulan doğrusal bir model…… 140
5.5.2. Tüflerin E değerinin tahmininde BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c kullanılarak oluşturulan 3.dereceden Polinom ile doğrusal olmayan bir model……. 141
5.5.3. Tüflerin UCS değerinin tahmininde BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c kullanılarak oluşturulan doğrusal bir model……. 142
5.5.4. Tüflerin UCS değerinin tahmininde BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c kullanılarak 3.dereceden Polinom ile doğrusal olmayan bir model oluşturulması……. 144
5.6. Kayseri Tüflerinin Yapay Zeka Tekniğiyle Modellenmesi…… 145
5.6.1. E'nin tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modeli…….. 145
5.6.2. UCS'nin tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modeli……. 146
5.7. Yılanlı Dağı Volkanik Cürufunun Deneysel Bulguları……... 146

BÖLÜM 6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER
6.1. Sonuçların Değerlendirilmesi…….. 147
6.2. Öneriler……... 153

KAYNAKLAR…… 154
EKLER……. 166
ÖZGEÇMİŞ……..……. 194

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

D, d	Silindir tüf numunesinin (karot) çapı
L	Karot uzunluğu
W	Karot kuru ağırlığı
t	L boyunca bir uctan diğer uca Vp dalga hızının geçme süresi
P	Karot kırılma yükü
E	Karot Elastisite Modülü
UCS	Tek eksenli basınç dayanımı
BHA	Karotun birim hacim ağırlığı
n	Karotun Porozitesi
Vp	Karotun sismik P dalga hızı
Gs	Karotun Özgül Ağırlığı
Is50e	Karotun ortalama eksenel nokta yükleme dayanımı
Is50c	Karotun ortalama çapsal nokta yükleme dayanımı
Brt	Karotun ortalama Brazillian çekme dayanımı
γ_{kuru}	Kuru Birim Hacim ağırlık
γ_{n}	Doğal Birim Hacim Ağırlık
γ_{Doygun}	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık
MSE	Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error)
TAE	Toplam Mutlak Hata (Total Absolute Error)
R^2	Korelasyon için determinasyon katsayısı
E	Boşluk oranı
Sr	Suya doygunluk derecesi
σ_c	Numunenin tek eksenli basınç dayanımı
σ_{c50}	50 mm çapındaki numunenin tek eksenli basınç dayanımı
İ	İncesu Tüfü
G	Gesi Tüfü (Gri)

GP	Gesi Tüfü (Pembe, yumuşak)
T	Talas Tüfü (Gri yumuşak)
SB	Tomarza Tüfü (Kahverengi üzerine siyah benekli)
TS	Tomarza Tüfü (Sarı)
K	Tomarza Tüfü (Kahverengi)
TK	Tomarza Tüfü (Kırmızı)
BB	Ağırnas Tüfü (Beyaz Benekli, yumuşak)
TV	Tomarza Tüfü (Vişne renkli)
TP	Tomarza Tüfü (Pembe üzeri siyah benekli)
TB	Tomarza Beyazı
ASTM	Amerikan standardı
TS	Türk Standardı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	İki boyutlu gerilme çeşitleri	10
Şekil 2.2.	Gerilme Tensörü	11
Şekil 2.3	Gerilme türleri	11
Şekil 2.4.	Dört farklı Elastisite modülü	13
Şekil 2.5	P dalgası yayılımı	16
Şekil 2.6	S dalgası yayılımı	17
Şekil 2.7	Granitin basınç ve çekme mukavemeti-Hacim ilişkisi	24
Şekil 2.8	Sağlam Kayada Numune Boyutunun Mukavemete Etkisi	25
Şekil 2.9	Kumtaşı ve kuvarsitlerde su muhtevası ile UCS arasındaki ilişki	27
Şekil 2.10	Topopah Spring Tuff'e ait E ve ν ile suya duygunluk ilişkisi	28
Şekil 2.11	Yucca dağında Calico Hills, Bullfrogand Tram, doygun tüfleri	29
Şekil 2.12	Numunelerin kırılma zamanını gösteren birim deformasyon hızı	30
Şekil 3.1	Kayser Tüflerde Gözlenen Fiemme yapısı	42
Şekil 3.2	Kayseri-Talas da tüf kayası düşmeleri	47
Şekil 4.1	Türkiye Haritasında Kayseri	52
Şekil 4.2	Kayseri tüf bölgelerini gösteren jeolojik harita	53
Şekil 4.3	Tüf Örneklerin Hazırlanması	54
Şekil 4.4.	Kayseri tüflerinden elde edilen, silindir numuneler	55
Şekil 4.5.	Kompresometre ile Elastisite modülü ve Poisson oranı deneyi	59
Şekil 4.6.	Kompressometre ile Tüfün(gerilme)–(birim kısalma) diyagramı	60
Şekil 4.7	Elestisite modülü ve poisson oranı için deney düzeneği	61
Şekil 4.8	σcc, σci, σcd ve σucs kritik gerilmeleri altında oluşan deformasyonlar	63
Şekil 4.9	Kayseri İncesu tüfünün gerilme-deformasyon grafiği-LVDT	64

Şekil 4.10	Kayseri Gesi tüfünün gerilme-deformasyon grafiği-Strain gauge	64
Şekil 4.11	Kayseri İncesu tüfü yükleme boşaltma eğrisi	65
Şekil 4.12	İncesu tüfü gerilme-yanal ve eksenel deformasyon grafiği	65
Şekil 4.13	Tek eksenli basınç deney cihazı	67
Şekil 4.14	Mohr gerilme daireleri	69
Şekil 4.15	Kayseri Tüflerinin üç eksenli basınç deneyi aşamaları	70
Şekil 4.16	Brazillian deney düzeneği ile test öncesi ve sonrası örnekler	71
Şekil 4.17	Brazillian deneyinde örneğe etkiyen kuvvetler ve örnek boyutları	72
Şekil 4.18	Nokta yükleme deney aleti ile eksenel ve çapsal tüf örnekleri	73
Şekil 4.19	Çapsal ve Eksenel nokta yükleme deneyinde örneklerin şekilleri	74
Şekil 4.20	Ultrasonik hız ölçmede kullanılan Pundit cihazı	78
Şekil 4.21	Geometrics ES-3000 marka 12 kanallı sismik kırılma cihazı	81
Şekil 4.22	Kayseri-Gesi Yeraltı Derinlik Kesiti	82
Şekil 4.23	Kayseri-Gesi P DÜZ	83
Şekil 4.24	Kayseri Gesi S DÜZ	83
Şekil 4.25	Kayseri-Gesi S TERS	84
Şekil 4.26	Kayseri Gesi P TERS	84
Şekil 4.27	S Hızlarına Ait Yol Zaman Grafiği S TERS	84
Şekil 4.28	P Hızlarına Ait Yol Zaman Grafiği	84
Şekil 4.29	Regrasyon Analizinde Farklı İlişkiler	87
Şekil 4.30	E veya UCS tahmininde kullanılan yapay sinir ağı modeli	96
Şekil 4.31	E Tahmininde ortalama karesel hata değerinin iterasyon sayısı ile değişimi	97
Şekil 4.32	UCS Tahmininde ortalama karesel hatanın iterasyon sayısı ile değişimi	98
Şekil 4.33	Yılanlı Dağı Volkanik Cüruf İçin Hazırlanmış 6 Karışım	102
Şekil 4.34	Yılanlı dağı volkanik cürufu ve TS9581'e göre Alt-Üst sınır	103
Şekil 4.35	Yılanlı Dağı volkanik Curufu (YDC)	103
Şekil 4.36	Kayseri yılanlı dağı curufunun Proctor eğrileri	104
Şekil 4.37	Kayseri yılanlı dağı curufunun içsel sürtünme açısı	105
Şekil 4.38	Kayseri yılanlı dağı curufunun direkt kesme kutusu deneyi	105
Şekil 4.39	Kayseri-Yılanlı Dağı Volkanik Cürufun CBR Grafiği	106

Şekil 4.40	Erciyes Dağı ve Yılanlı dağı	107
Şekil 4.41	Yılanlı dağı Piroklastik (volkanik curuf) tüflerden oluşmuştur	107
Şekil 5.1	Kayseri Gesi Tüfü TS699 göre Tek Eksenli Basınç Dayanımı-Suya Doygunluk İlişkisi	117
Şekil 5.2	Kayseri Gesi Tüfü TS699'a göre Vp-Sr	118
Şekil 5.3	Kayseri Gesi Tüfü TS699'a göre don-çöz periyodu-UCS ilişkisi	119
Şekil 5.4	Kayseri Gesi Tüfünde donma-çözülme periyodu ile Vp ilişkisi	120
Şekil 5.5	Gesi Tüfü ASTM5313-92'e göre UCS-Donma-Çözülme ilişkisi	121
Şekil 5.6	Gesi Tüfü ASTM5313-92e göre Vp-Donma-Çözülme İlişkisi	122
Şekil 5.7	Kayseri Gesi tüfü Islanma-Kuruma ile ağırlık kaybı ilişkisi	124
Şekil 5.8	Kayseri Gesi tüfü Islanma-Kuruma ile Tek eksenli basınç Değişimi (UCS)	124
Şekil 5.9	Tüm Kayseri Tüflerinin Elastisite modülü (E) değerleri histoğramı	129
Şekil 5.10	Kayseri Tüfü UCS histoğramı	129
Şekil 5.11	Vp, Prosite, Birim hacim ağırlık değerleri Histoğramı	130
Şekil 5.12	E-UCS arasındaki modeller	132
Şekil 5.13	E-n arasındaki modeller	133
Şekil 5.14	E-BHA arasındaki modeller	134
Şekil 5.15	E-Vp arasındaki modeller	135
Şekil 5.16	UCS-Vp arasındaki modeller	136
Şekil 5.17	UCS-n arasındaki modeller	137
Şekil 5.18	UCS-BHA arasındaki modeller	138
Ek Şekil 1	İncesu Tüfleri'nin ASTM5313-92'e göre UCS-Donma Çözülme Periyodu İlişkisi	169
Ek Şekil 2	İncesu Tüfleri'nin ASTM5313-92'e gore Vp-Donma Çözülme Periyodu İlişkisi	170
Ek Şekil 3	Kayseri İncesu tüfü Islanma-Kuruma-ağırlık kaybı çevrim sayısı ilişkis	172
Ek Şekil 4	Kayseri İncesu tüfü Islanma-Kuruma'da UCS-Çevrim sayısı ilişkisi	172
Ek Şekil 5	Çeşitli Kayseri tüfleri (Siyah benekli, Sarı ve Siyah)	174

Ek Şekil 6	Çeşitli Kayseri tüfleri (Pembe, Kırmızı, Kahverengi ve Gri)	175
Ek Şekil 7	Yılanlı dağının uzaktan görünümü	176
Ek Şekil 8	Yılanlı dağı	176
Ek Şekil 9	Yılanlı Dağından Bir Görüntü	177
Ek Şekil 10	Yılanlı Dağı Volkanik Cürufun Yakından Görünümü	177
Ek Şekil 11	İncesu tüfü	178
Ek Şekil 12	Gesi Tüfü	178
Ek Şekil 13	İncesu tüfleri	179
Ek Şekil 14	Tomarza tüfleri-	179
Ek Şekil 15	Talas tüfü	180
Ek Şekil 16	Karot alınmış tüf blokları	180

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1	Bishop tüfünün kaynaklanma derecesi için arazi tanımlaması	21
Tablo 3.1	Dört volkanik kaya türünün kimyasal kompozisyonu	36
Tablo 3.2	Kayseri tüflerine ait numunerin kimyasal analiz sonucları (Ayrancı ve Weibel, 1973)	37
Tablo 4.1	Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)	67
Tablo 4.2	Nokta yükü dayanım İndeksine (Is(50)) göre kaya sınıflandırması	73
Tablo 4.3	İstatistiksel dağılımın değerlendirilmesinde kullanılan parametreler	87
Tablo 4.4	YSA ve İstatisitik için Kullanılan Veriler (Eğitim ve Test)	95
Tablo 4.5	Yılanlı dağı Dolgu Malzemesi Elek Analizi	102
Tablo 5.5	50x100x200 mm boyutunda Kayseri tüfleri üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi	114
Tablo 5.6	Silindirik Kayseri tüflerine ait bazı örneklerin eğilmede çekme dayanımları	115
Tablo 5.1	Kayseri Tüflerine ait Su içeriği, Özgül Ağırlık, Birim Hacim Ağırlık, Ağırlıkça Su Emme Deney Sonuçları	109
Tablo 5.2	Gesi Tüfü İçin Donma-Çözülme Deneyinde Kullanılan Numune Miktarları (TS699 Göre)	111
Tablo 5.3	İncesu Tüfü için Donma-Çözülme Deneyinde Kullanılan Numune Miktarları (TS699 Göre)	112
Tablo 5.4	Kayseri Tüflerinin üç eksenli (triaxial test) deney sonuçları	113
Tablo 5.7	Kayseri Gesi Tüfü ASTM 5313-04'e göre yapılan Islanma Kuruma Deneyi (Wetting-Draying Test)	123

Tablo 5.8	Gesi Tüfü Dinamik Elastisite Parametreler	125
Tablo 5.9	Çalışma bölgesindeki tüfler	126
Tablo 5.10	Çalışma bölgesindeki tüflerin istatistiksel sonuçları	127
Tablo 5.11	Tüm Kayseri Tüfleri ile ilgili genel istatistiki bilgiler	128
Tablo 5.12	Kayseri tüfünde parametreleri arasındaki doğrusal korelasyonlar	131
Tablo 5.13	E-UCS arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini	132
Tablo 5.14	E-n arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini	133
Tablo 5.15	E-BHA arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini	134
Tablo 5.16	E-Vp arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini	135
Tablo 5.17	UCS-Vp arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini	136
Tablo 5.18	UCS-n arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini	137
Tablo 5.19	UCS-BHA arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini	138
Tablo 5.20	Tüflerin E değerinin tahmininde doğrusal bir model	139
Tablo 5.21	Tüflerin E değerinin tahmininde doğrusal olmayan bir model	141
Tablo 5.22	Tüflerin UCS değerinin tahmininde doğrusal bir model	142
Tablo 5.23	Tüflerin UCS değerinin tahmininde doğrusal olmayan bir model	144
Tablo 5.24	E'nin tahmininde YSA modelinin eğitim ve test performansı	145
Tablo 5.25	UCS'nin tahmininde YSA modelinin eğitim ve test performansı	146
Tablo 6.1	E değerinin tahmininde modellerin karşılaştırılması	148
Tablo 6.2	UCS değerinin tahmininde modellerin karşılaştırılması	148
Tablo 6.3	TS-9581 ile Yılanlıdağı Malzemesinin Karşılaştırılması	153
Ek Tab.1	Kayseri Gesi tüfü donma çözülme davranışının TS 699 yöntemiyle belirlenmesi	161
Ek Tab.2	Kayseri İncesu tüfü donma çözülme davranışının TS 699 yöntemiyle belirlenmesi	164
Ek Tab.3	Gesi Tüfleri nin ASTM5313-92 e göre Donma Çözülme Davranışı	166
Ek Tab.4	İncesu tüfü donma çözülme davranışı ASTM 5313-92	168
Ek Tab.5	İncesu tüfü ASTM D5313-04'göre Islanma-Kuruma sonuçları	171
Ek Tab.6	Kayseri tüflerinin Is50e, Is50c ve Brt Ortalama Değerleri	173
Ek Tab.7	Kayseri tüflerine ait deney sonuçları	181

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tüf, Kayseri, Taş, İgnimbirit, Yapay zeka, Geoteknik, YSA

Kayseri tüfleri çok yönlü olarak araştırılmış, dayanım ve deformasyon gibi geoteknik özelliklerinin yanı sıra çevre geotekniği açısından da incelenmiştir. Kayseri kaya tüflerinin kolayca ölçülebilen parametrelerinden, tek eksenli basınç dayanımı (UCS) veya Elastisite modülü (E) tahmini için istatistiksel ve yapay zeka tekniklerine dayalı modeller geliştirilmiştir. Elde edilen bu modeller sayesinde pahalı, uğraştırıcı ve zaman alıcı deneyler yapmadan, nokta yükleme dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, sismik dalga hızı, porozite v.b gibi basit deneyler ile Kayseri kaya tüflerinin elastisite modülü ve tek eksenli basınç dayanımı gibi geoteknik özelliklerinin kolayca bulunabilmesi sağlanmıştır. Kayseri tüflerine ait çeşitli boy, çap ve ağırlıklarda toplam 575 adet silindir karotun geoteknik parametreleri bulunmuştur. Bu parametreler, tek eksenli basınç dayanımı (UCS) , elastisite (Young's) Modülü (E), sismik dalga hızı (Vp), birim hacim ağırlığı (kuru) (BHA), porozite (n), eksenek nokta yükleme dayanımı (Is(50)e), çapsal nokta yükleme dayanımı (Is(50)ç) ve Brazillian dolaylı çekme dayanımı (Brt) değerleridir. Yapılan regrasyon ve yapay sinir ağları model analizlerinde, E veya UCS bağımlı değişkenlerinin tahmini için, bağımımsız değişkenler olarak n, Vp, BHA, Is(50)e, Is(50)c ve Brt gibi geoteknik parametreleri kullanılmıştır. Yapay sinir ağları modellerinde, en yüksek determinasyon katsayısı (R^2) ve en düşük ortalama karesel hata (MSE) ve toplam mutlak hata (TAE) değerleri elde edilmiştir. Son olarak, zemin boyutunda (60mm-0,002mm) bulunan Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufunun, esnek üst yapılı yolların alt temel dolgu malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufunun yol dolgularında alt temel malzemesi olarak başarıyla kullanılabileceği görülmüştür.

GEOTECHNICAL PROPERTIES OF KAYSERİ TUFFS AND MODELED WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUE

SUMMARY

Key Words: Tuff, Kayseri, Stone, Ignimbirite, Artificial Intelligence, Geotechnic, ANN

Kayseri tuff was investigated as a multi-faceted, geotechnical properties such as the strength and the deformation were examined, as well as in terms of environmental geotechnics. From easily measurable parameters of Kayseri tuffs, the models developed for the estimation of the uniaxial compressive strength (UCS) or the modulus of elasticity (E) based on statistical and artificial intelligence techniques. With these obtained models, the geotechnical properties of Kayseri tuff such as elasticity (Young's) modulus and uniaxial compression strength can easily be found by simple experiments such as point load strenght, indirect tension strength, sismic wave velocity, porosity etc. without having to make expensive, challenging and time-consuming experiments. Kayseri tuff with the various length, diameter and weights, the geotechnical properties of a total of 575 cylindrical core samples were found. These parameters, uniaxial compression (UCS), the seismic wave velocity (Vp), elasticity (Young's) modulus (E), dry unit weight (BHA), porosity (n), axial point load strength (Is(50)e), diametral point load strength (Is (50)c) and Brazillian indirect tensile strength (BRT), respectively. In the regression analysis and the artificial neural network models made for the estimation of the dependent variables modulus of elasticity and unconfined compression strength, geotechnical parameters such as n, Vp, BHA, Ise, Isc and BRT are used as independent variables. The highest coefficient of determination (R^2) and the lowest mean squared error (MSE) and the lowest total absolute error (TAE) values were obtained in artificial neural network models for estimation of both E and UCS. Finally, Kayseri Yılanlı mountain volcanic slag with the grain size (60mm-0, 002mm) was investigated to use as sub-base fill material in the flexibale pavement roads. It’s found that Yılanlı Mountain volcanic slag was used successfully as subbase fill materials in roads.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tüfler, yanardağların püskürttüğü kül, kum ve lav parçacıklarından oluşan, kimi kırıntılarla birlikte çimentolaşmış ya da yığılıp sıkışmış, çoğunlukla açık renkli, oldukça gözenekli bir kayaç türüdür. Tüfler, binlerce yıldan beri insanoğlu tarafından yapıtaşı olarak ve kolay kazılabilme özelliğinden dolayı yeraltı şehirleri oluşturup yerleşim yeri olarak kullanılmıştır. İnşaat mühendisliği, geoteknik mühendisliği mimarlık, çevre mühendisliği, volkanoloji, hidro-jeoloji, jeoloji, kimya ve Arkeoloji gibi farklı disiplinlerden pek çok araştırmacı tüfler üzerinde çalışmaktadır.

Bu çalışmalar ile,

-tüflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve değişimleri,

-tüflerin yapı taşı olarak kullanımı,

-tüf kayaların içine açılacak tünellerin ve galerilerin dayanımı ve kaya düşmeleri

-tüflerin tarih boyunca kullanımı

-tüf çökelleri üzerine yapılacak yapılardan dolayı alt yapı problemleri ve çözümü,

-yapı-zemin etkileşimi ile depreme dayanıklı yapı tasarımı

-tüflerin puzolanik özelliğinden zemin iyileştirmelerinde kullanımı

-tüf aküferlerinde yeraltı suyu ve kalitesi

-tüf çökelleri içinde endüstriyel ve nükleer atıkların depolanması ve saklanması gibi

konular araştırılmaktadır.

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Son on yıldan beri Kayseri ili içerisinde büyük ölçekli, ağır betonarme yapı projeleri inşa edilmektedir. Bu yapıların temel kazılarında çok farklı özelliklerde Kayseri tüfleriyle karşılaşılmaktadır. Şehrin güneyindeki tepeler ve erozyonla açılmış vadilerde bu tüfler yoğun olarak göze çarpmaktadır. Özellikle Talas, Ağırnas, Gesi, Tomarza ve İncesu civarında tüfler kalın tabakalar halinde mevcuttur.

Bunun yanında, Kayseri'de, tüfün yoğun olduğu bu bölgelerde tüf kayası içinde oyularak açılmış eski ve yeni yer altı açıklıkları vardır. Farklı boyutlarda ve Şekil lerde kolayca kazılıp açılmış olan bu yer altı yapıları, çoğunlukla gıda ve meyve depolama amaçlı kullanılmaktadır. Tüf kayası içine oyma olarak yapılmış otantik mekânlar, günümüzde ilgi görmekte ve yenileri yapılmaya devam edilmektedir. Kaya içinde açılan bu alanlar depolama dışında, konut ve barınak amaçlı da kullanılmaktadır.

Ayrıca, Kayseri'deki taş ocaklarından çıkarılan, yöresel adıyla Kayseri taşı olarak isimlendirilen kaynaklanmış tüfler (İgnimbirit), yörede ve ülkemizin değişik bölgelerinde yapı taşı olarak binlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Bu tüflerin kolaylıkla kesilerek istenilen ebatlarda blok haline getiriliyor olması ve aynı ebattaki pek çok taşa göre daha hafif ve daha fazla ısı yalıtma özelliğine sahip olmasından dolayı günümüzde kullanımı gittikçe artmaktadır.

Bilindiği üzere inşaat mühendisliği yapılarının tasarım aşamasında iki önemli adım vardır;

1. Toptan göçmeye karşı güvenlik sayısının belirlenmesi (Güvenlik sayısı, nihai göçme yükünün, belirlenmiş çalışma yüküne oranıdır-Nihai Limit Tasarım),

2. Belirlenmiş çalışma yükü altında, zeminde oluşacak deformasyon ve yapıda meydana gelecek şekil değiştirmelerin bulunması ve bu değerlerle kesin izin verilebilir değerlerlerin karşılaştırılması (Servis Limit Tasarım).

Bu tasarımlar, zeminin geoteknik özellikleri göz önünde bulundurularak yapılırlar. Yeterli bir güvenlik katsayısı ile ekonomik bir tasarım yapmak için temel zeminin rijitlik özelliklerinin mümkün olduğunca doğru belirlenmesi gerekir.

Yapılacak çalışmanın öncelikli amacı, Kayseri tüfleri üzerinde inşa edilecek ağır yapılardan dolayı temel tabanında, yamaç stabilitesinde, kaya düşmesinde, tüf kayası içinde açılmış mağaraların duvar ve tavanlarında ve bu tüf bloklarından inşa edilmiş yığma binaların yapı taşlarında v.s oluşacak dayanım ve deformasyon gibi geoteknik özelliklerin belirlenmesidir.

İkinci amaç ise, Kayseri kaya tüfleri için elde edilen geoteknik parametrelerin birbirleri arasındaki ilişkiler belirlenerek kolayca ölçülebilen fiziksel özelliklerinden, elde edilmesi zor parametrelerin tahmini için yapay zekâ tekniklerine dayalı yeni bir modelin geliştirilmesidir. Böylelikle pahalı, uğraştırıcı ve zaman alıcı deneyler yapmadan, basit deneyler ile Kayseri tüflerinin elastisite modülü ve tek eksenli basınç dayanımı gibi geoteknik özellikleri kolayca bulunmaya çalışılmıştır.

Son olarak, agrega boyutunda (60mm-0,002mm) bulunan Kayseri tüflerinin esnek kaplamalı yollarda alt temel dolgu malzemesi olarak kullanım alanlarının araştırılmasıdır. Kayseri'deki Yılanlı dağı tamamen bu malzemeden oluşmuştur. Kayseri-Kahramanmaraş bölünmüş karayolu yapım projesi, Kayseri-Yozgat bölünmüş yol projesi ve geniş hacimli dolgu projeleri gibi pek çok diğer projelerde bu agregaların kullanım olanağı vardır.

Pratik bir ifadeyle, bu çalışma, inşaat mühendisleri başta olmak üzere, mimarlara, çevre ve maden mühendislerine Kayseri tüflerinin geoteknik amaçlı kullanımı için önemli noktaları, tavsiyeleri ve tasarım parametrelerini sunacaktır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Bu tez altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde okuyucuya tezi tanıtıcı ön bilgi verilerek, tezin amacı ve önemi belirtilmiş ve tezin kapsamı tanıtılmıştır.

İkinci bölümde, literatürde tüflerle ilgili önceki araştırmalar anlatılarak tüfler ve priklastik malzemelerin genel özellikleri tanıtılmıştır. Tüf kayaların dinamik ve statik özelliklerinin teorisi, deney sonuçlarını etkileyen faktörler ve tüflerin agrega olarak dolgularda kullanımı ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, literatürde Kayseri tüflerini konu alan önceki çalışmalara yer verilmiştir. Kayseri tüflerinin jeolojik oluşumu, kimyasal yapısı ve özellikleri anlatılmıştır. Kayseri tüfleri çevre geotekniği açısından incelenerek, ilde yaşanan kaya düşme olayları analatılmıştır. Zemin boyutundaki volkanik cürufların dolguda kullanımından bahsedilmiş ve Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufu tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, çalışma alanının coğrafik konumu, numunelerin deneylere hazırlanması anlatılmıştır. Kayseri kaya tüflerinin statik ve dinamik özellikleri arazi ve laboratuar deneyleriyle belirlenmiş ve Kayseri tüflerini tanımlayıcı geoteknik parametreleri elde edilmiştir. İstatistiksel analizler için, tüflerin mekanik ve deformasyon özelliklerini gösteren oldukça geniş bir veri setinin oluşması sağlanmıştır. Kayseri kaya tüflerinin yapay zekâ teknikleriyle modellenmesi yapılmıştır. İlk olarak, tüfler için elde edilen veriler çeşitli istatistiksek yaklaşımlarla araştırılmıştır. İkinci olarak, Literatürde yapay zekâ modellerinin inşaat mühendisliğinde uygulanmasına ait önceki çalışmalardan bahsedilmiştir. Daha sonra, yapay sinir ağları ile tüflerin elastisite modüllerinin ve tek eksenli basınç dayanımlarının tahminine yönelik çalışmalar anlatılmıştır. Agrega boyutundaki tüflerin esnek üst yapılı yollarda dolgu malzemesi olarak kullanımı için yapılan deneyler tanıtılmıştır.

Beşinci bölümde, deneylerden elde edilen sonuçlar ve geliştirilen modeller verilmiştir.

Altıncı bölümde çalışmada elde edilen bulgular yorumlanmış, sonuçlar tartışılmış ve öneriler verilmiştir.

BÖLÜM 2. TÜFLER VE GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Giriş

Kayalarda yamaç stabilitesi, yer altı yapıları, barajlar ve kayalar üzerinde yapılan temeller gibi yapıların tasarımda, Young modülü (E), Poisson oranı (ν), tek eksenli basınç dayanımı (UCS) gibi tasarım parametreleri, rutin olarak belirlenen bazı elastik sabitlerdir. Kayaçların sınıflandırlımasında temel alınan bu özellikler, klasik yöntemlerle yerinde yada laboratuar ortamlarında elde edilmektedir. Arazi koşullarında yaşanan güçlükler nedeniyle tüm bu özelliklerin belirlenmesinde sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bunun yerine, sağlam kaya blokları laboratuar ortamına getirilerek, deneyler için uygun numuneler elde edilmektedir. Ancak, bu parametrelerin, güvenilir olması için, numunelerin standartlara uygun hazırlanması, tecrübeli kişilerce, güvenirliği kanıtlanmış deney düzenekleri kullanılarak yapılması gerekir. Bu pahalı ve zaman alıcı deneylere alternatif, kaya mekaniğinde bu parametreler dolaylı olarak da belirlenmektedir.

Erciyes volkanik topluluğunun farklı evrelerde farklı ürünler oluşturmasından ve bu ürünlerin kimi zaman kara ve kimi zaman göl içinde çökelmesinden dolayı değişik özelliklerde tüfler meydana gelmiştir. Kayseri'de pek çok yapılar, örneğin çok katlı binalar, köprüler, karayolları ve tren yolları volkanik tüfler üzerinde kurulmuştur. Bu piroklastik malzemelerin dane dağılımları bloktan küle kadar (kil boyutu <0,002 mm) değişik boyutlarda olabilmektedir. Bu çalışmada birbirinden farklı kaynaklanma derecesine sahip Ağırnas, Talas, Gesi, İncesu ve Tomarza'da bulunan Kayseri tüflerinin geoteknik özellikleri çalışılmıştır. Bu araştırma, genel olarak tüflerin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.2. Tüfler ve Proklastik Malzemelerin Tanımı

Tüfler konsolide olmuş piroklastik (volkanizma sırasında çıkan kül, kum, çakıl gibi volkanik kırıntılar, kristaller, pomza ve cam parçaları içeren daneli) malzemelerdir (Fisher ve diğerleri, 2006). Genel olarak, "volkaniklastik" terimi, kökeni ne olursa olsun, bileşen olarak volkanik kırıntılar veya parçalar içeren kayaçları içine almaktadır. Ancak, "piroklastik" terimi kayacın doğrudan patlamalı bir püskürme sonucu parçalanan kayaçlara ait kırıntıları tanımlamaktadır. Volkanik püskürmeler ile ilişkili birçok yolla oluşmaktadır. Bunlar püskürme biçimi ve danelerin kökeninden bağımsız olarak volkanik bacalardan dışarı atılan kırıntılardır.

Piroklastik kırıntılar doğrudan volkanik yollarla oluşmuş kırıntılardır. Su veya rüzgar gibi sonradan kırıntıları taşıyabilecek diğer süreçlere bakılmaksızın piroklastik olarak kabul edilmektedir.

Epiklastik volkanik kırıntı volkanik kayaçların ayrışması ve taşınması ile oluşmaktadır. Piroklastlar çok değişik kriterlere göre adlanmakla birlikte, genel kriter dane boyudur Bunlar, kül (<2 mm), lapilli (2-64 mm), bomba veya blok (>64 mm)`tur (Fisher, 1961). Diğer kriterler ise bileşim, köken ve gözenekliliktir. Volkanik kül, danelerin % 75 veya daha fazlasını oluşturan aynı kökenli veya tesadüfî kökene sahip değişik oranda vitrik, kristal veya litik parçalardan yapılıdır (Fisher ve diğerleri, 2006).

Tüf külün pekleşmiş karşılığıdır. Bileşen parçalarının büyüklüğüne göre ince ve kaba daneli olmak üzere iki alt bölüme ayrılmıştır. Daha ileri bir sınıflama çökelme ortamı (gölsel tüf, denizel tüf, karasal tüf) ve taşınma şekline göre (fall-out tüfler ve kül akması tüfleri) yapılmıştır. Tekrardan oluşan tüfler ise taşıyan araca göre adlandırılır (flüvyal tüf, rüzgara bağlı“aeolien” tüfler). Kül boyu kırıntılarda olduğu gibi aynı kökenli veya tesadüfi olabilir. Yüzde 75`den fazla lapilli içeren taşlaşmış dolgular, çoğu çalışmacı tarafından lapilli-tüf tercih edilmesiyle birlikte (Schmid, 1981), lapillitaşı olarak adlandırılmaktadır. Burada lapilli tüf terimi, külün piroklastik

karışımın % 25-75`ini oluşturduğu taşlaşmış kül–lapilli karışımı için kullanılmaktadır.

Pomza, volkanizma faaliyetleri esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani terketmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı içeren ve dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son yıllarda girmeye başlamış ve değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir kayaçtır.

Günümüzde, pek çok sanayileşmiş şehirler, tamamen veya kısmen tüfler üzerine kurulmuştur. Bu büyük şehirlerin bulunduğu Ülkeler,

Türkiye (Kayseri, Nevşehir, Ankara, Erzurum, Isparta),
Etiyopya (Abdis Ababa),
Peru (Arequipa),
Endonezya (Bandung),
Meksika (Durango),
Guatemala (Guatemalacity),
Ermenistan (Erivan, kumayri),
Japonya (Kumamoto, Sapporo),
Nikaragua (Managua),
Filipinler (Manila),
Kolombiya (Medellin),
İtalya (Roma),
Ekvator (Quito),
Arjantin (Salta),
Kosta Rika (San jose),
El Salvador (San Salvador),
Şile (Santiago),
Tayvan (Taipe),
Özbekistan (Taşkent),
Gürcistan (Tiflis),
Honduras (Tegucigalpa),
ABD(Nevada) olarak sayılabilir (Heiken, 2006).

2.3. Tüf Kayaların Oluşumu ve Özellikleri

Tüfler, piroklastik malzemelerin konsolide bir hale gelmesiyle oluşmaktadır Volkanizma sırasında çıkan kül, kum, çakıl gibi daneli malzemelere piroklastik malzeme denir. (ince kül<0.06 mm, 0.06<irikül<2 mm , 2 mm<Lapilli< 60 mm, >60 mm Tüf Blok). Volkanik kül ve lapillilerin göl veya deniz tabanlarına çökelmesiyle oluşur. Köken olarak volkanik kül ve tozlardır. Bileşimlerinde baskın görülen piroklastik malzemenin cinsine göre, camsı tüfler " vitrik tüf ", mineral daneli tüfler " kristalli tüf " ve kayaç parçalı tüfler " litik tüf " olarak adlandırılmaktadır (Fisher vd., 2006., Vaniman, 2006). Dolayısıyla tüfler, volkanik cam ve kayaç parçalarının doğal puzolan ile birleşmesinden oluşduğu bilinmektedir.

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya bağlayıcılık değeri çok az olan, fakat ince daneli durumdayken sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özeliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemelerdir. Volkanik kül, volkanik tüf (tüf) doğal puzolanlardır. (Erdoğan, 2003)

Tüfler, genel olarak üç kategoride sınıflandırılır: kaynaklanmamış (nonwelded), kısmen kaynaklanmış (partially welded) ve iyi kaynaklanmış (densely welded). Kaynaklanma, tüfü oluşturan danelerin, sıcaklık ve çıkan gazlarla sıkışması sayesinde olur. Kaynaklaşmayı camsı materyal oluşturur. Kaynaklanmaya neden olan yassılaşmış ve uzamış camsı materyale; fiamme, oluşan dokuya ise öteksitik (eutaxitic) doku denir. (Smith, 1960).

Kaynaklanmamış tüfler düşük birim hacim ağırlığa sahip, kolayca kırılıp ufalanabilir. Porozitesi ve permeabilitesi yüksektir. İyi kaynaklanmış tüfler ise, yüksek birim hacim ağırlığa sahip, camsı, gevrek ve kırılgan bir yapıdadır. Porozitesi ve permeabilitesi düşüktür. Tüflerin bünyelerinde serbest olarak kuvars mineralleri bulunabilir ve sedimanter kayaçlar gibi tabakalanma gösterebilmektedir.

Doğal olarak siyah, sarı, beyaz, pembe, sarı-kırmızı desenli ve yeşil gibi renklerin hâkim olduğu pek çok değişik renkde tüfler vardır. Kaynaklanmış tüfler, (İgnimbirit tüf veya piroklastik kül akması) patlama kolonunun çökmesiyle, volkanik

malzemenin sıcak yoğun laminer akmasıyla, içerisinde tutulan gazların genişlemesinin bir sonucu olarak oluşur. Hızlı ısı kaybı nedeniyle ignimbiritin alt ve üst kesimleri kaynaklanmamış dolayısıyla yüksek gözeneklidir.

İgnimbirit (welded tuff), yanal olarak gevşek, hafifce kaynaklanmış pomza tüflerine geçer. Pomzanın oluşumunda, yüksek bir sicaklikta iken aniden soguyan malzemelerden ince daneler olusur, soğuma sekline ve içindeki gaz miktarina bagli olarak olusan danelerin kendi bünyelerinde degisik oranlarda bosluklar meydana gelmektedir (Lea, 1971). Bosluklu volkanik camsi yapiya sahip olan pomza taşı ısı ve ses yalitim özeligi yüksek olan, birim hacim ağırlığı 1 den küçük dogal bir malzemedir (Neville, 1993).

Gilbert (1938), bolca pumis, volkanik cam ve az litik parçalar içeren tüllerde kaynaklaşmanın en önemli özellik olduğuna değinerek ignimbrit yerine "kaynaklaşmış tüf" (welded tuff) teriminin kullanılmasını önermiştir. Amerikan literatüründe hala ignimbirit yerine tüf (tuff) veya kaynaklanmış tüf (welded tuff) terimi kullanılmaktadır.

2.4. Tüf Kayaların Statik ve Dinamik Özellikleri ve Teorisi

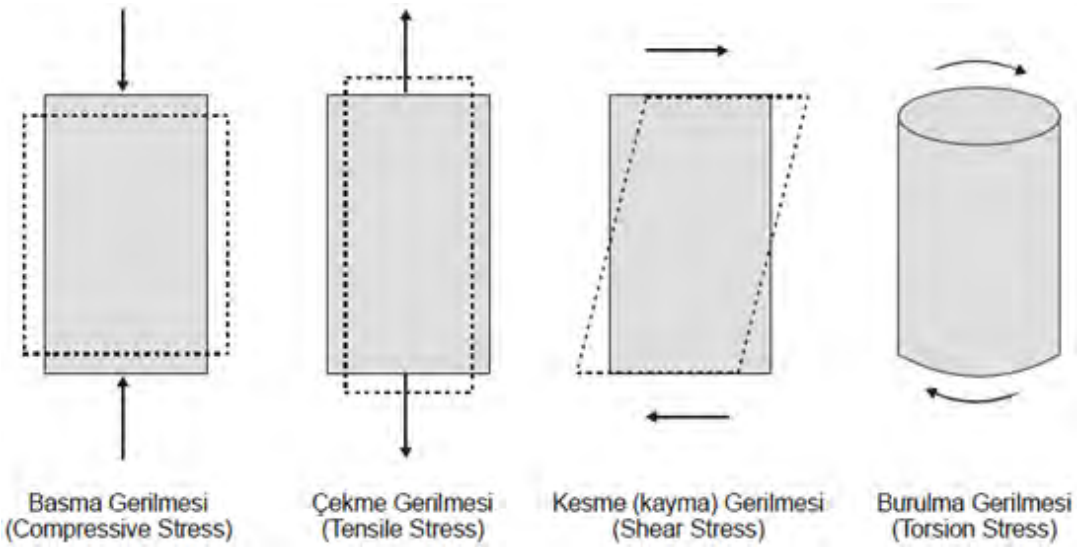
Bina, baraj, köprü, havaalanı, karayolları, tüneller gibi yapılar, temelleriyle irtibatlı olduğundan, yapıdan ve zeminden gelecek her türlü statik ve dinamik yükleri taşıyabilecek bir temel tasarımı yapılmalıdır. Yapı, kullanım süresi boyunca statik ve dinamik yüklere maruz kalır. Bu yüklerin zemine olan etkisinin belirlenmesinde arazi ve laboratuar deneyleri uygulanır. Özellikle kaya zeminlerin geoteknik özelliklerinin bulunmasında laboratuar deneylerinden faydalanılır. İnceleme bölgesinden alınan kaya kütlesini temsil eden numuneler, laboratuar ortamında test edilerek, arazideki zeminin gerçek davranışı tahmin edilmeye çalışılır. Bunun yanında, arazi ve laboratuar ortamında uygulanabilen sismik kırılma gibi bazı tahribatsız deney yöntemleriyle de temel kaya derinliği, jeolojik yapıların kalınlıkları ve kaya tabakasının dinamik elastik parametreleri belirlenir. Burada tüf kayaların statik ve dinamik yükler altında mekanik davranışları ve teorisi açıklanacaktır.

2.4.1. Statik özellikleri

Kayanın statik özellikleri, statik yükler altında, kaya malzemesinin gerilme-şekil değiştirme özelliğiyle yakından ilgilidir. Statik yükler, şiddeti ve yönü ani değişmeyen, kaya tabakalarına her zaman aynı biçimde etki eden ölü ve hareketli yüklerdir. Gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin belirlenmesinde laboratuar deneylerine geçmeden önce, kayanın elastisite modülü, poisson oranı, elastik gösterebildiği aralık, akma noktası, kopma dayanımı, gevreklik, süneklik ve yük altında kayadaki boşlukların nasıl davrandığı gibi konuların teorik alt yapısının iyi anlaşılması gerekir.

Gerilme (σ), kayanın birim alanına etkiyen kuvvet gerilme olarak tanımlanır (kuvvet/uzunluk^2) ve SI cinsinden birimi N/m^2 yani pascal (Pa).dır.

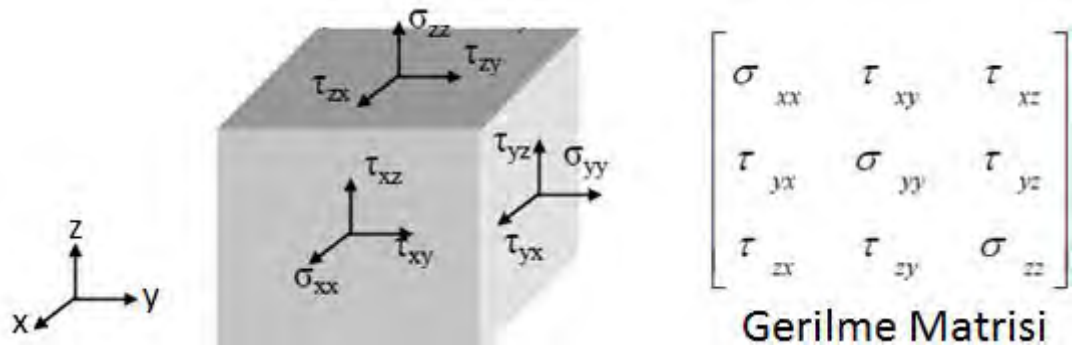
Kaya mekaniğinde pascal çok küçük bir birim olduğu için megapaskal (MPa) veya gigapaskal (GPa) kullanılır. Normal gerilmede yük, uygulandığı alana dik iken kayma gerilmesinde yük uygulandığı alana paralel olur.



Şekil 2.1. İki boyutlu gerilme çeşitleri

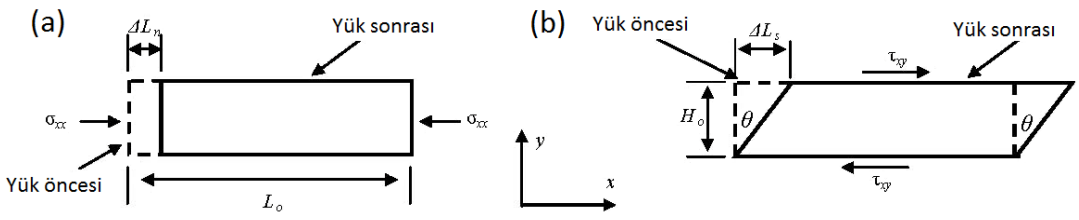
Gere ve Timoshenko (1990), normal gerilme ve kayma gerilmesini 3 boyutlu olarak aşağıdaki gibi açıklamıştır.

Burada;
Birim şekil değiştirme (ε), boydaki değişimin orijinal uzunluğa oranı olarak tanımlanır. Birimsiz olan bu terim, birim kısalma veya birim uzama olarak da ifade edilebilir. Kaya mekaniğinde, basma gerilmeleri pozitif, çekme gerilmeleri negatif olarak kabul edilir.



Şekil 2.2. Gerilme Tensörü (Gere ve Timoshenko, 1990)

Statik yükler altında kayma gerilmesi $_{ij} = _{ji}$ olacağından gerilme matrisi aşağıdaki hale gelir ve denge halindeki bir cisim için $zx = xz$, $xy = yx$, $yz = zy$ olur. Böylece dokuz bağımsız gerilme bileşeni yerine altı gerilme bileşeni tanımlamak mümkün olur.



Şekil 2.3. Gerilme türleri a) Normal gerilme b) Kayma gerilme (Jeon, 2008)

$$\left.\begin{aligned} \text{Birim deformasyon ,} \quad & = \frac{\Delta L_n}{L_0} \\ \text{Kayma birim deformasyon} \quad & = \frac{\Delta L_s}{H_0} \end{aligned}\right\} \qquad (2.1)$$

ΔLn=Kaya numunesinin deney öncesi ve sonrası uzunlukları arasındaki fark

L_0=Kaya numunesinin ilk uzunluk

ΔL_S=Kayma öncesi ve sonrası noktalar arası uzaklık

H_0=Deney öncesi kenar uzunluğu

θ=Kayma açısı

$$\sigma = E.\varepsilon \qquad (2.2)$$

Yukarıdaki formülü Hooke yasası olarak bilinir. Burada,

σ=Gerilme

E=ElastisiteModülü (YoungMudülü)

ε=Şekil değiştirme

Elastik cisimlerin, gerilme-deformasyon ilişkilerini kontrol eden parametrelere elastik parametreler denir. Kayaçlardaki deformasyon bu parametrelere bağlıdır. Bu parametreler; elastisite modülü, poisson oranı, kayma modülü ve kompressibilite (hacimsel sıkışabilirlik)'dir.

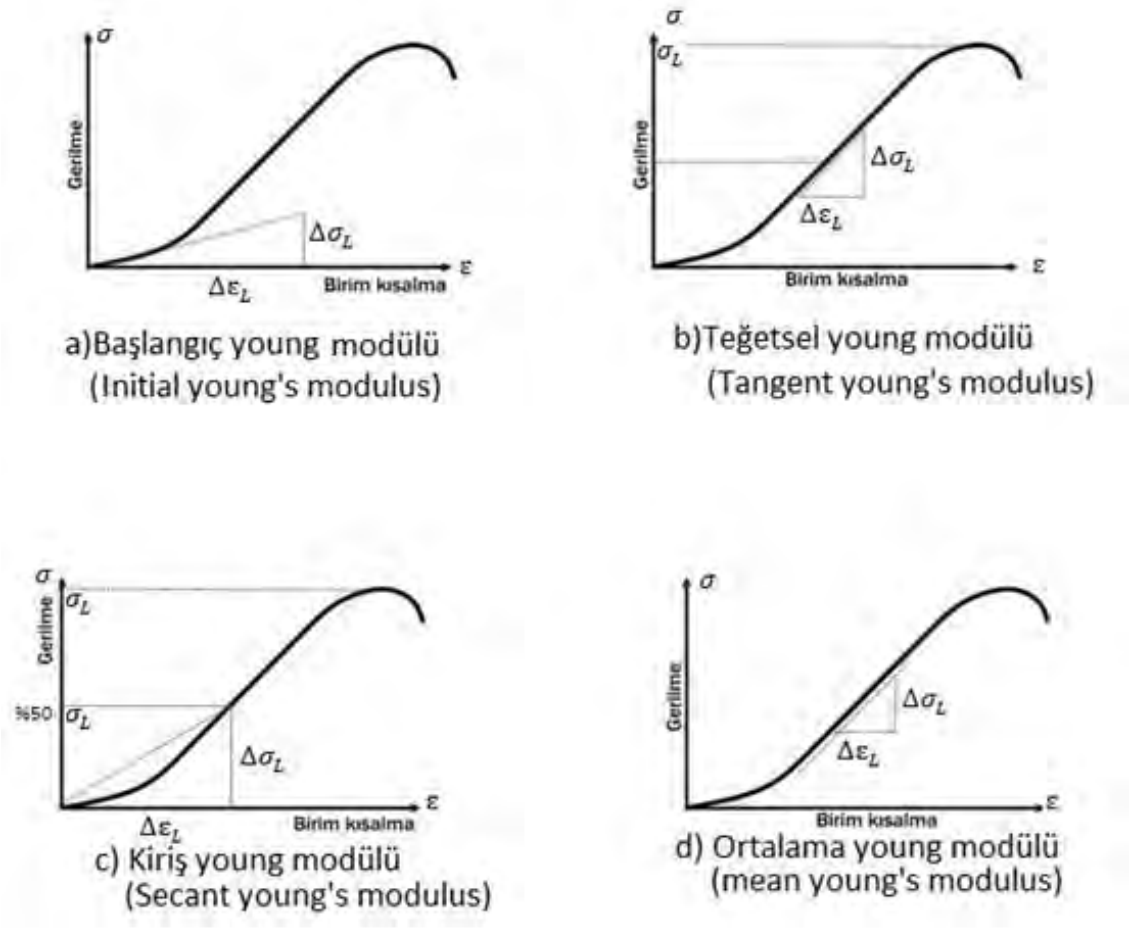
Elastisite modülü (E), tek eksenli basınç deneyi altında belirlenir. Numuneye uygulanan yükler yük hücresi ile, yatay ve düşey deformasyonlar ise gerinim pulu (starain gauge) ve/veya LVDT (linear variable differential transformer) ile data logger'a bağlanarak bulunmuştur. Kayaların, tek eksenli basınç deneyi altında gerilme deformasyon ilişkisi çok değişkendir ve deneylerde mükemmel elastiklik göstermezler. Bu nedenle, dört elastisite modülü tanımlanmıştır (Şekil 2.4).

a) Başlangıç Elastisite Modülü: Gerilme- deformasyon eğrisininbaşlangıç kısmına çizilen teğetin eğimidir. Bu elastisite modülü kazılabilirlik için önemlidir.

b) Tanjant (Teğetsel) Elastisite Modülü: %50 gerilme için çizilen teğetin eğimi tanjant elastisite modülünü verir.

c) Sekant (Kiriş) Elastisite Modülü: Kayacın belirli bir gerilme bölgesinde ortalama bir davranışı için kullanılır

d) Ortalama Elastisite Modülü: Bu elastisite modülünde gerilme deformasyon eğrisinin doğrusal bölümünün eğimi hesaplanır.



Şekil 2.4. Dört farklı Elastisite modülü (Young modülü)

Kompressibilite (K), İlk hacmi v olan bir cisme gerilme uygulandığında δv kadar bir deformasyon meydana geldiği kabul edilirse aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$K = \delta\sigma / \delta v \tag{2.3}$$

Poisson Oranı (Poisson's Ratio) υ, kaya kütlesine tek yönlü bir gerilme etkidiğinde boyunda ve eninde bir değişim meydana gelecektir. Enine gerinmenin boyuna gerinmeye oranı da Poisson oranı olarak tanımlanır.

Tüfler homojen ve izotrop bir malzeme değildir, ancak, hesaplamalarda bazı basitleştirmeler ve varsayımlar kullanarak, elastik malzemelerin gerilme altındaki davranışını modellenerek, tüf kayasının özelliklerinin belirlenmesi mümkündür. Kayalarda tek eksenli basınç deneyinde, σ- bağıntısı iki ve üç eksenli gerilme hali için genişletilebilir. Kaya malzemenin lineer elastik ve şekil değiştirmelerin küçük olduğu kabul edildiğinden süperpozisyon yapılarak iki ve üç eksenli gerilme durumu için Hooke yasaları formüle edilebilir.

Y eksenine paralel bir sondaj kuyusunda, izotrop ve doğrusal elastik cisimler için gerilme-birim deformasyon ilişkisi kabul edilirse, taban yüzeyinde $\sigma_{yy} = {}_{xy} = {}_{yz} = 0$'olur. O halde Şekil 2.2'deki bağımsız değişkenler üçe iner ve gerilme birim deformasyon ilişkileri, σ_x ve σ_y gerilmelerinin etkisi altında x ve y doğrultusundaki birim uzama oranları, iki boyutlu hook kanunu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir. (Goodman, 1989)

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \upsilon\frac{\sigma_y}{E} \tag{2.4}$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_y}{E} - \upsilon\frac{\sigma_x}{E} \tag{2.5}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \tag{2.6}$$

(2.5)'i υ ile çaptıktan sonra (2.4) ve (2.5) toplanarak aşağıdaki denklem bulunur.

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\upsilon^2}\left(\varepsilon_x + \upsilon\epsilon_y\right) \tag{2.7}$$

(2.4)'ü υ ile çaptıktan sonra (2.4) ve (2.5) toplanarak aşağıdaki denklem bulunur.

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\upsilon^2}\left(\upsilon\epsilon_x + \varepsilon_y\right) \tag{2.8}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1+\upsilon)}{G}\tau_{xy} \tag{2.9}$$

Benzer Şekil de üçboyutlu gerilme halinin şöyle yazabiliriz, (Goodman, 1989)

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \upsilon\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right], \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \upsilon\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right], \quad \varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \upsilon(\sigma_y + \sigma_z)\right] \tag{2.10}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}\ , \qquad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}\ , \qquad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \tag{2.11}$$

Kayaçların deformasyonlarını kontrol eden bu parametrelere elastik parametreler denir. Kayaçlardaki deformasyon bu parametrelere bağlıdır Sonuç olarak, elastik malzemelerin gerilme altındaki davranışını, G kayma (rijitlik) modülü, E(elastisite modülü), K (hacimsel sıkışmazlık modülü)'nü υ (poisson oranı) cinsinden ifade edilebileceğini söyleyebiliriz.

$$\mathrm{G} = \frac{\mathrm{E}}{2(1-\upsilon)} \tag{2.12}$$

$$\mathrm{K} = \frac{\mathrm{E}}{3(1-2\upsilon)} \tag{2.13}$$

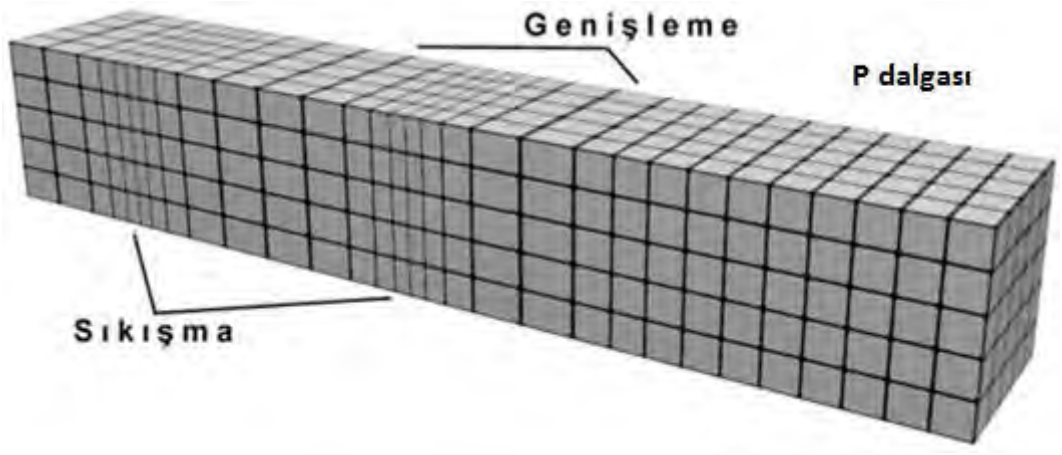
2.4.2. Dinamik özellikleri

Dinamik ve statik yüklere göre, kaya üzerine inşa edilen yapıların tasarımında, kayaların hem dinamik hemde statik elastik paremetrelerinin belirlenmesi gerekir. Statik özellikler, Tek eksenli basınç deneyi, Üç eksenli basınç deneyi, Brazillian dolaylı çekme deneyi, Schmith çekici deneyi, Nokta yükleme deneyi, Eğilmede çekme deneyi gibi bilinen deney yöntemleri ile bulunurlar. Dinamik özelliklerin belirlenmesinde ise sismik dalga yayılımı kullanılır.

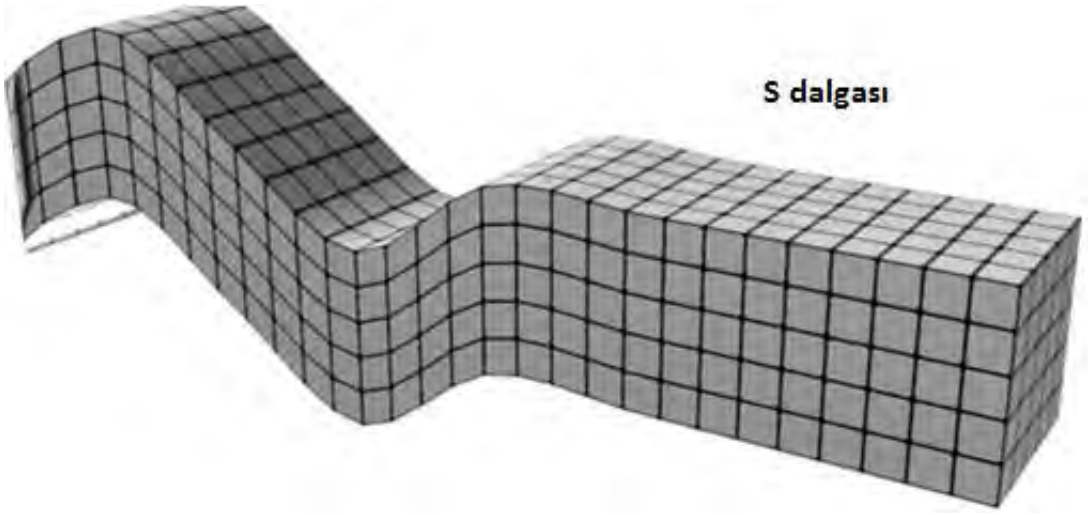
Sismik dalgalar, katı ve sıvılarda yayılan boyuna ve enine titreşim dalgaları ile iletilen elastik dalgalar olarak tanımlanır. Genellikle, sismik dalga yayılım özellikleri, malzemenin dinamik özelliklerine göre değişir. Sismik ölçümlerden yararlanarak, Elastisite (Young) modülü, Bulk modülü Kayma (Shear) modülü, Possion oranı gibi kayanın dinamik paremetreleri bulunur.

Sismik dalgalar, ortam içerisinde iki farklı dalga aracılığıyla yayılır. Bu dalgalar, cisim ve yüzey dalgalarıdır. Cisim dalgalarının iki türü vardır. Bunlar Sıkışma (P dalgaları) ve kesme (S dalgaları) dır.

Bu dalga yayılımları Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.5. P dalgası yayılımı (http://www.sayisalgrafik.com.tr)



Şekil 2.6. S dalgası yayılımı (http://www.sayisalgrafik.com.tr)

Boyuna dalga sıkışmasında, kayadaki partiküller dalganın gelişim yönünde sıkışır. Kayma dalgası, kaya partiküllerini dalga yayılımına dik yünde sıkıştırır. Bu dalgaların kaya içinden yayılımı, dinamik elestik parametrelerinin belirlenmesini sağlar.

Sismik yöntemler, arazide ve laboratuarda olmak üzere iki farklı ortamda çeşitli özelliklere sahip cihazlar ile yapılır.

Arazide yapılan sismik deney, balyoz, vibratör veya dinamit gibi sismik kaynak yardımıyla oluşturulan yapay sarsıntı veya deprem dalgalarının tabaka sınırlarında kırılarak veya yansıyarak yeryüzünde bulunan jeofonlar (alıcılar) tarafından algılanarak sismik cihazlarla kaydedilme esasına dayanır. Bu kayıtlardan sismik boyuna dalgaların (P) ve sismik enine dalgaların (S), her jeofona geliş zamanları belirlenerek zaman- uzaklık grafikleri çizilir. Bu zaman- uzaklık grafiklerinden sismik hızlar ve tabaka kalınlıkları saptanır.

Laboratuvarda yapılan sismik deney, silindir şeklindeki karotların, cihazın transdüse uçları (sismik analizatörün alıcı-verici ucları) arasına yerleştirilerek, P ve S dalga hızlarının örneği bir uçtan diğer uca geçmesi için gerekli net sürelerin belirlenmesi esasına dayanır.

Bu çalışmada Geometrics ES-3000 marka 12 kanallı, sinyal biriktirmeli sismik kırılma ve yansıma cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile alınan ölçülerde, sinyali izleme ve gürültüyü ayıran analog ve sayısal filtreleme işlemi otomatik olarak yapılır. Dolayısıyla, sinyal/gürültü oranı çok yüksek olarak elde edilir. Yerdeki katmanlardan geçerek jeofonlardan gelen bu güçlü sinyaller ile zaman- uzaklık grafikleri oluşturulur.

Arazide ve/veya laboratuarda, Vp ve Vs sismik hız değerleri ölçüldükten sonra, zeminin Kayma modülü (G), Elastisite modülü (E), Sıkışma modülü (Ec), Hacimsel modül (K) ve Poisson oranı (υ) gibi bir çok elastisite parametresini elde etmek mümkündür. Dalga mekaniğindeki bağıntılardan yararlanılarak, kayma ve sıkışma modülleri için sismik kırılma yöntemi ile sismik boyuna dalgaları (P) ve sismik enine dalgaları (S) elde edilir. Bunlardan tabaka kalınlıkları ve zeminin elastik parametreleri ve dinamik özellikleri saptanır (Tezcan vd., 2010).

$$G = \rho V_s^2 \tag{2.14}$$

$$E_c = \rho V_p^2 \tag{2.15}$$

formülleri yazılabilir. Burada, $\rho = \gamma / g$ birim hacim kütledir. Üç boyutlu elastisite denklemlerinden bilindiği üzere, Elastisite modülü (E) ile, Sıkışma modülü (E_c) arasında aşağıdaki ilişkiler geçerlidir:

$$E = \frac{E_c(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \tag{2.16}$$

(Tezcan vd., 2010)

2.5. Tüf Kayaları İle İlgili Yapılmış Önceki Çalışmalar

İnsanoğlu, dünyanın çeşitli volkanik bölgelerinde bulunan tüflerlerden binlerce yıldan beri faydalanmaktadır. Blok olarak çıkarılıp, kolayca şekil verilebilen çeşitli renklerdeki tüfler, tarihi yapılarda yapı taşı olarak yaygın kullanım alanı bulmuştur. Yumuşak tüf kayalara oyularak yapılmış yeraltı şehirleri tarih boyunca pek çok uygarlığa ev sahipliği yapmıştır. Bunlardan en önemlileri Kapadokya bölgesinde bulunan yeraltı şehirleridir. Tüflerin hidrolik bağlayıcılık özelliği olmasından dolayı, hafif beton ve duvar elemanlarının yapımında ve çimentoda katkı malzemesi (tras) olarak tüflerden faydalanılmaktadır. Yine tüflerin bu özeliğinden dolayı, zeminlerin iyileştirilmesinde ve karayolu, havaalanı gibi geniş dolgu hacimlerinde kullanımı araştırılmaktadır (Ene, 2009, Saltan, 2007, Hossain 2007, Kaya ve Durukan, 2003).

Son zamanlarda, kalın tüf tabakalarınında endüstriyel ve nükleer atıkların depolanması ile ilgili çalışmalar da yürütülmektedir. Tüflerin jeolojik, volkanolojik ve jeokimyasal özellikleriyle ilgili çok sayıda çalışma olmasına karşın, tüflerin inşaat mühendisliği ve özellikle geoteknik mühendisliği konularında yayınlanmış çok az sayıda düküman olduğu söylenebilir (Wang and Kemeny, 1993).

Bazı araştırmacılar, çeşitli kayaların elastisite modülü ve tek eksenli basınç dayanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulmuşlardır (Tuğrul ve Zarif 1999, Lashkaripour & Nakhaei, 2001, Palchik, 1999).

Ayazini (Afyon) tüflerinin yapı taşı olarak kullanılabilirliliğinin araştırılması ile ilgili bir çalışma vardır (Kuşcu ve Yıldız 2001).

Genel olarak sağlam kayaların elastise modülü ve tek eksenli basınç değerlerinin tahmininde Schmidth sertlik çekici, nokta yükü indeksi, brezilian çekme dayanımı, porozite, birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık vb. gibi indeks deneyleri kullanılmaktadır. Ancak, yapılacak tahminin geçerliliği açısından bunların kullanımında bazı sınırlamaların olması gerekir.

Grasso vd. (1992), kayma dalgası hızı, schmidth çekici sertlik değeri, nokta yükleme indeksi kullanılarak kayaçların elastisite modülü ve tek eksenli basınç dayanımı'nın tahmin edilmesinde dikkat edilmesi gereken noktalar olduğunu belirtmiş ve bunlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1. Verilerin gerçekte nasıl bir dağılım gösterdiğine bakılmaksızın, Normal dağılımı olarak kabuledilmektedir.
2. Kayaların dokusal özellikleri ihmal edilmektedir (çizgisel doku gibi)
3. Deney sayısı, anlamlı istatistiksel sonuçlar çıkarmak için oldukça sınırlıdır.
4. Numunelerin boyut etkisi dikkate alınmamaktadır
5. Farklı kayaç birimlerden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmektedir.

Üçüncü maddede belirtildiği üzere, literatürde değişik istatistiksel yöntemleri kullanarak elastisite modülünün kestirimini amaçlayan yöntemlerin en önemli eksikliği az sayıda veriye dayanmalarıdır.

Yukarıda bahsedilen husuların dikkate alınması ve kayanın yapısına uygun olarak, parametreler arasında doğrusal ve/veya doğrusal olmayan karmaşık ilişkilerin bulunması, araştırmacıları yeni yöntemler geliştirmeye itmiştir. Modern bilgisayar biliminin gelişimi mühendislik problemlerinin çözüm metotlarını da arttırmaktadır. Günümüzde ortaya atılan yeni yaklaşımlardan bir danesi de parametre tahmininde yapay zeka tekniklerinin kullanılmasıdır. Kayaların tek eksenli basınç mukavemetleri ve elastisite modülleri ile kolay, ucuz ve tahribatsız test sonuçlarını (schmidt çekici testi gibi) korelasyon yapabilen yapay zeka tekniklerine dayalı modeller ile ilgili çalışmalara literatürde rastlanmaktadır (Sharma vd., 2008, Yılmaz ve Yuksel, 2009 Dehghan vd., 2010).

Sağlam kaya tüflerinin elastisite modülü, poisson oranı ve tek eksenli basınç mukavemet değerleriyle bazı fiziksel özellikler arasında ilişkiler arayan bazı bilim adamlarının tüfler üzerinde yaptığı çalışmalarda elastisite modülü ile porozite arasında kuvvetli bir ilişki bulmuşlardır (Price 1983, Price ve Bauer 1985, Price vd. 1994).

Nevada-Yuka dağında nükleer atıkların depolanması amacıyla Topopah Spring tüfleri araştırılmıştır. Bunların iyi kaynaklanmış, yuvarlak şekilli boşluklar (Lithophysal cavities) içerdiği ve tüfün fiziksel özelliklerinin, bu boşluklardan oldukça etkilendiği kanıtlanmıştır (Buesch vd., 2006).

Wilson ve Hilreth (2003), arazide tüflerin birim hacim ağırlığı ile tüflerin kaynaklanma yapısını incelemiş ve Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Yazarlar, Kaliforniadaki Bishop tüfü için 5 farklı kaynaklanma halini sınıflamıştır. Yazarlara göre şekilsiz küçük bir tüf parçasının dikkatlice incelenmesiyle, tüflerin kaynaklanma derecesi ve birim hacim ağırlığı hakkında bilgi edinilebileceğini göstermiştir. Bu amaçla tüflerden 46 adet 300 ile 1800 gr arasında numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 2.1. Bishop tüfünün kaynaklanma derecesi için arazi Tanımlaması (Wilson ve Hilreth 2003)

Tüfün Kaynaklanma Derecesi	**Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm^3)**	**Tüfün Yapısı**
Kaynaklanmamış	1,09-1,47	Topaklanmamış; parmaklar arasında ufalanabilir
Topaklanmış	1,22-1,57	Topaklanmış; Çekiçle kırılır; düzenli bir doku yok
Zayıf Kaynaklanmış	1,49-1,81	Bazı pomza içeren; çok boşluklu ve yumuşak
Orta Kaynaklanmış	1,74-2,0	Net bir düzenli dokusu var;hala kısmen yumuşak
Kaynaklanmış	>2	Sağlam düzenli dokusu var, koyu renkli ve camsı

Quane and Russell (2003), Bandelier tüfleri üzerinde yaptığı araştırmalarda, nokta yük dayanım indeksi deneyi (PLST) ölçümleri ile Tek eksenli basınç mukavemeti deneyi (UCS) arasında aşağıdaki eşitliği bulmuştur.

$$UCS=3,86\ (PLST)^2+5,65\ (PLST) \qquad (2.17)$$

Yuka dağındaki tüflerle ilgili yapılan önceki çalışmalar, tüflerin elastik ve mukavemet özelliklerinin bünyesinde bulunan boşluklara bağlı değiştiğini göstermiştir (Price, 1983, Price and Bauer, 1985).

Haupt vd.. (1991), yaptığı deneylerde kuru tüf numunelerinin E değerlerini suya doygun öreneklere göre biraz daha büyük bulmuştur. Martin vd. (1993), suya dogun numunelerin kayma dalgası hızını (VS), kuru numunelere göre %4 daha düşük bulmuştur. Bunun yanında numunelerin basınç dalgası hızları (VP) tüm numunelerde aynı kalmıştır.

Price vd. (1994), dört grup Yuka dağı tüflerini test etmiş ve dinamik elastik modüllerinin statik elastik modülünden daha büyük olduğu bulumuştur.

Yuka dağında bulunan Calio Hils tüflerinin mukavemet özellikleri detaylı olarak araştırılmıştır (Schult, 1995).

Wang ve Kemeny (1993), tüflerin kırılma mekaniğine bağlı mikromekanik bir model sunmuştur. Çalışmasında, Topopah Spring tüfleri sıfır dâhil değişik çevre basınçlarında test edilmiştir. Sonuçda, tüflerin doğrusal davranış göstermediği ve boşluklara yakın yerlerde derin çatlakların oluştuğu bulunmuştur.

2.6. Deney Sonuçlarını Etkileyen Faktörler İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Tüflerin üzerinde inşa edilecek ağır yapılardan dolayı temel tabanında, tüf kayası içinde açılmış mağaraların duvar ve tavanlarında ve bu tüf bloklarından inşa edilmiş yığma binaların yapı taşlarında oluşacak dayanım ve deformasyon gibi geoteknik özellikleri ve kullanım alanlarının belirlenmesi için tüflerin akma, kırılma, çatlama, eğilme, kesme gibi yenilme kriterlerini belirlemek amacıyla arazi ve laboratuar deneylerinden faydalanılır. Literatür incelenerek, deney sonuçlarına etki eden faktörler etraflıca açıklanmıştır.

Tüf kayaların mekanik özelliklerini etkileyen faktörler arasında, numune boyu, suya doygunluk derecesi, yükleme hızı, yükleme yönü ve bünyesindeki boşluklar sayılabilir.

2.6.1. Numune boyutunun etkisi

Kayalar, diğer yapı malzemeleriyle kıyaslandığında (Çelik, Aluminyum, beton) daha az homojen ve izotrop özellik gösterirler. Aynı tür kayalarda bile içerdiği mineral ve mekanik özellikler bakımından büyük farklılıklar vardır. Bunun yanında, aynı tür kaya olsa bile, aşınma, ayrışma gibi hava şartları ve kırılma, çatlama gibi tektonik hareketlerden kaynaklanan süreksizliklerlerden dolayı değişik mekanik davranış sergilerler. Bu etkilerin azaltılması için kayaların arazideki özelliklerini yansıtacak büyük numunelerle laboratuarda test edilmesi veya arazide yerinde deneyler yapılması önerilir. Bunlar mantıklı çözümlermiş gibi görünebilir, ancak, çok büyük boyutlu numunelerin alınması, taşınması ve laboratuarda test edilmesi çok zordur. Bunun yanında, arazi deneylerinde de benzer zorluklar vardır. Arazi koşullarındaki ulaşım zorlukları, her zaman arazide deney yapmaya izin vermez. Bu nedenlerle kayaların geoteknik özelliklerinin belirlenmesinde laboratuar deneyleri önerilmektedir. Deneylerde kullanılacak numune boyutları, arazi özelliklerini yansıtabilecek kadar uygun olmalıdır. Numune boyutları ne kadar büyük olursa, arazideki gerçek kaya özellikleri o kadar iyi belirlenmiş olur. Numune boyutları gerekenden küçük seçilmesi durumunda, kayadaki süreksizlikler dikkate alınmamış olur. Bunun yanında eğer numune boyutları çok büyük seçilirse, içinde bulunabilecek süreksizlikler test sonuçlarında belirleyici olur ve yanlış bir bilgi verir.

Günümüzde, kaya mekaniği deneylerinde yaygın olarak NX boyutlarında (54.5 mm çap, yaklaşık 110 mm boy) numuneler kullanılmaktadır. Bu ebatların kullanılması her zaman doğru sonuçlar vereceği anlamına gelmez. Doğru olan, çalışılan kayanın özelliklerini en iyi yansıtacak uygun numune boyutlarının seçimesi ve bunun için laboratuarda ön testlerin yapılmasıdır. Araştırmacılar, arazi özelliklerini en iyi yansıtan ve arazi ile uyumlu olabilecek en küçük numune boyutlarını bulmak için çalışmalar yapmışlardır.

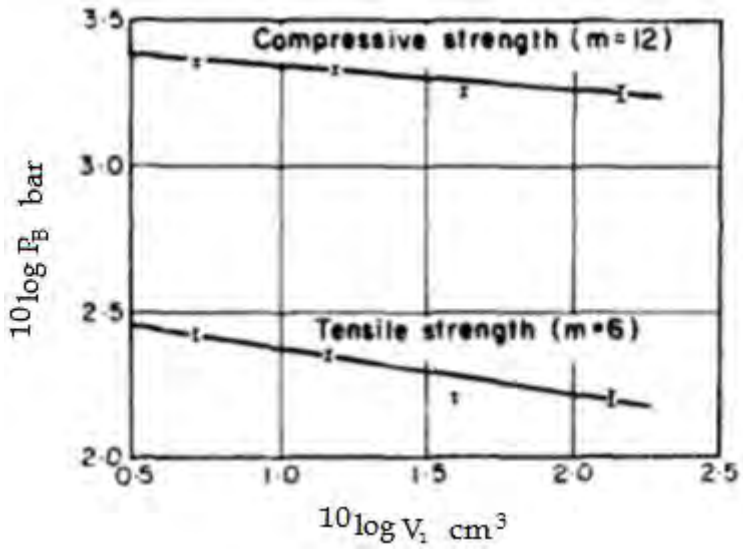
Bu çalışmada da, farklı boyutlarda silindir numuneler kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, aynı cins tüflerin basınç dayanımları ile numune boy değişimi arasındaki ilşki araştırılmıştır.

Lundborg (1966), granit kayadan numuneler hazırlamış ve farklı boyutlarda 20 tek eksenli basınç deneyi ve 21 Brazillian çekme deneyi yaparak mukavemet değerlerindeki değişimleri izlemiştir. Test sonuçları Şekil 2.7'de verilmiştir.

Bulmuş olduğu eşitlik, kayalardaki boyut etkisini ifade ettiği için literatürde genel kabül görmüştür.

$$m\log\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \log\frac{V_1}{V_2} \tag{2.18}$$

Burada, sırasıyla σ_1 ve σ_2 numunelerin mukavemet (basınç yada çekme) değerleri, V_1 ve V_2 hacimleridir. m ise doğrunun eğimini gösteren bir sabit sayıdır. Lundborg (1966), basınç deneyi için m=12, çekme deneyi için m=6 olarak bulmuştur.



Şekil 2.7. Granitin Basınç ve Çekme mukavemeti-Hacim İlişkisi (Lundborg, 1966)

Bieniawski (1967), 0.75 ile 60 inch boyutlarında kömürden elde edilmiş küp numuneleri test etmiştir. Bu çalışmayı kömür madeninde bir kolonun taşıma yükünü bulmak için yapmıştır. Buna göre, eşitlik 2.18'deki m değerini 2.5 olarak bulmuştur. Kömürler üzerinde yaptığı bu çalışma sonucunda, kömürün gerçek basınç mukavemet değeri, laboratuardan elde edilen değerin onda biri kadar alınmasını önermiştir.

Hoek ve Brown (1980), kayaların basınç mukavemeti ile boyut ilişkisini araştırmıştır. Literatürde yapılan çalışmaları toplayarak, grafik oluşturmuş (Şekil 2.8) ve boyut etkisini düzelten bir formül elde etmiştir. Numuneler 50 mm çapından farklı ise, elde edilen basınç mukavemetinin bir mukavemet faktörü ile düzeltilmesi gerektiğini bulmuştur.

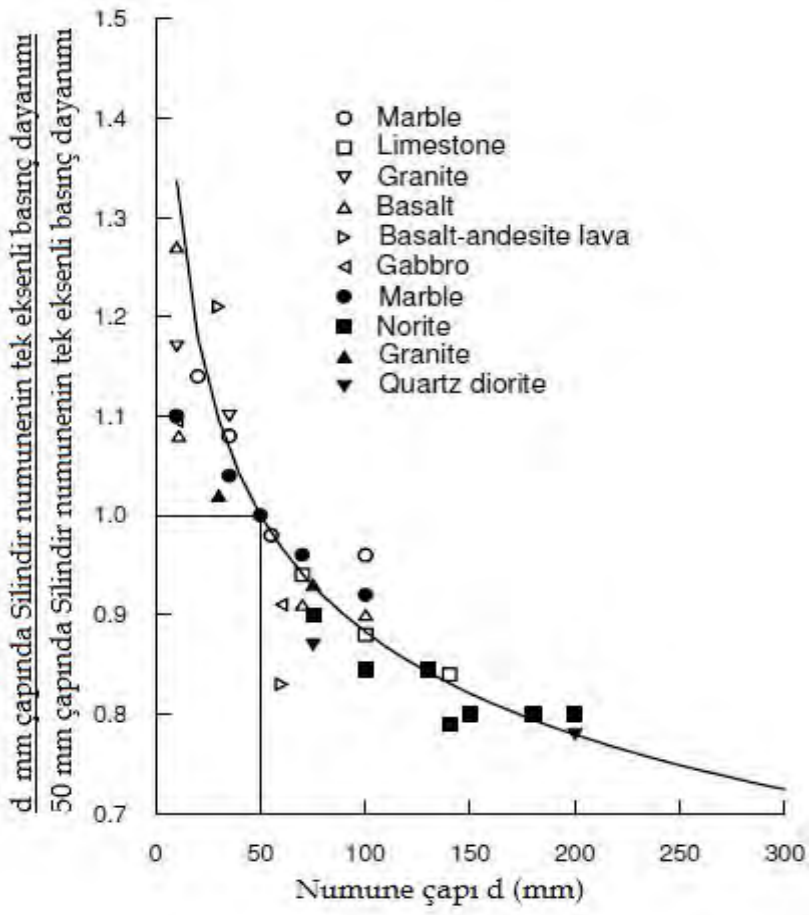
$$\sigma_c = \sigma_{c50}(\frac{50}{d})^{0.18} \tag{2.19}$$

Burada;

σ_c=Numunenin tek eksenli basınç dayanımı

σ_{c50}=50 mm çapındaki numunenin tek eksenli basınç dayanımı

d=Numunenin çapı (mm)



Şekil 2.8. Sağlam Kayada Numune Boyutunun Mukavemete Etkisi (Hoek ve Brawn, 1980)

Hawkes ve Mellor (1970), bütün geçerli bilgilerin ışığı altında günümüzdeki deneyler için L/D=2,5 oranını standart olarak kabul etmişler ve L/D=2,0 oranını da geçerli en küçük oran olarak belirtmişlerdir.

Price (1986), Yucca dağından alınan, 25.4 mm (1 inch) - 228.6 mm (9 inch) aralığındaki çaplara sahip 34 tüf numunesine basınç testi yapmış, basınç mukavemetine boyutun etkisi'ni araştırmıştır. Çalışma sonucunda, Elastisite modülü ve poisson oranının numune ebatlarından çok az etkilendiği, fakat mukavemet ve kayma birim deformasyonun numune çapıyla ters orantılı olarak değiştiğini bulmuştur.

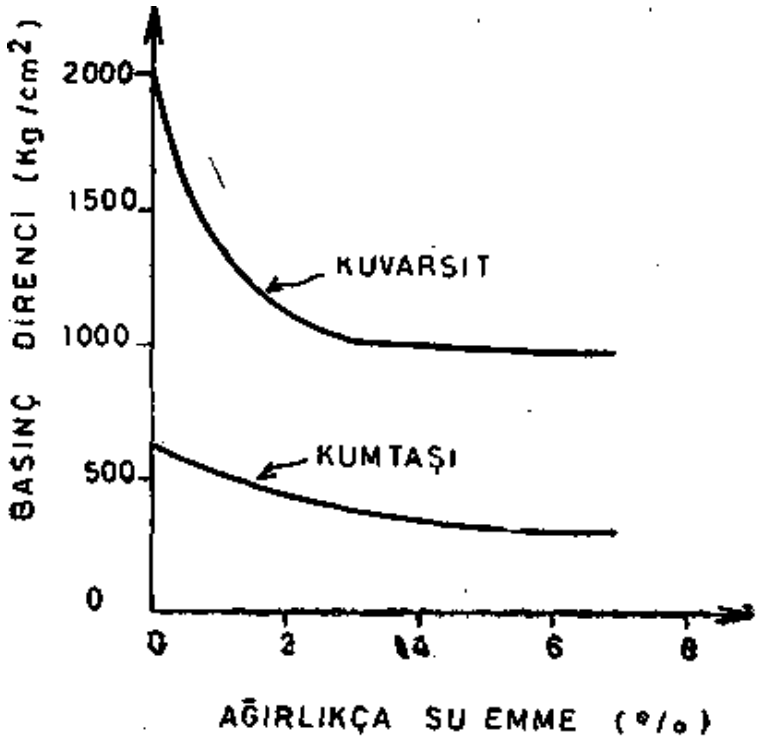
Hoskins ve Horino (1969), Dhir vd. (1972), Tang vd. (2000) gibi pek çok araştırmacı da yaptıkları çalışmalarında numune boyutlarının, mukavemet ve deformasyon özellikleri üzerindeki etkisini araştırmış ve yukarıda anlatılanlara benzer sonuçlar bulmuşlardır.

2.6.2. Suya doygunluk, boşluk oranı, yükleme hızı ve çevre basıncının etkisi

Kayaçların suya doygunluk derecesi artması, kayaçların kohezyon değerlerinin azalmasına yol açar. Bunun sonucu olarak basınç direnci ve taşıma gücünde, kayma dalgası hızında, elastisite modülü ve poisson oranında azalmalar görülür. Su muhtevası ile kayaçların basınç direncinin azaldığı, kayma dalgası hızında düşme olduğu, Elastisite modüllerinde azalma olduğu Postacıoğlu (1948), Handin vd. (1963), Colback ve wiid (1965), Wiid (1966, 1970), Haupt vd. (1991), Martin vd. (1993), Price (2004)' in yapmış olduğu çeşitli deneyler göstermiştir.

Postacıoğlu (1948), tabii taşların basınç dierncine etki eden faktörleri incelerken, su emme ile basınç direnci arasında ilişki kurmuş, su emmesi bilinen bir kayacın en az hangi gerilme altında çalışabileceğini saptamıştır.

Wiid (1966 ve 1970), kumtaşı, kuvarsit ve dolorit gibi kayaçlarm basınç direnci ile su emmeleri arasında ilişkiler kurmuş (Şekil 2.9) ve kuru doloritlerde 480 kg/cm^2 olan basınç direncinin, suya doygun numunelerde 310 kg/ cm^2'ye indiğini tespit etmiştir.

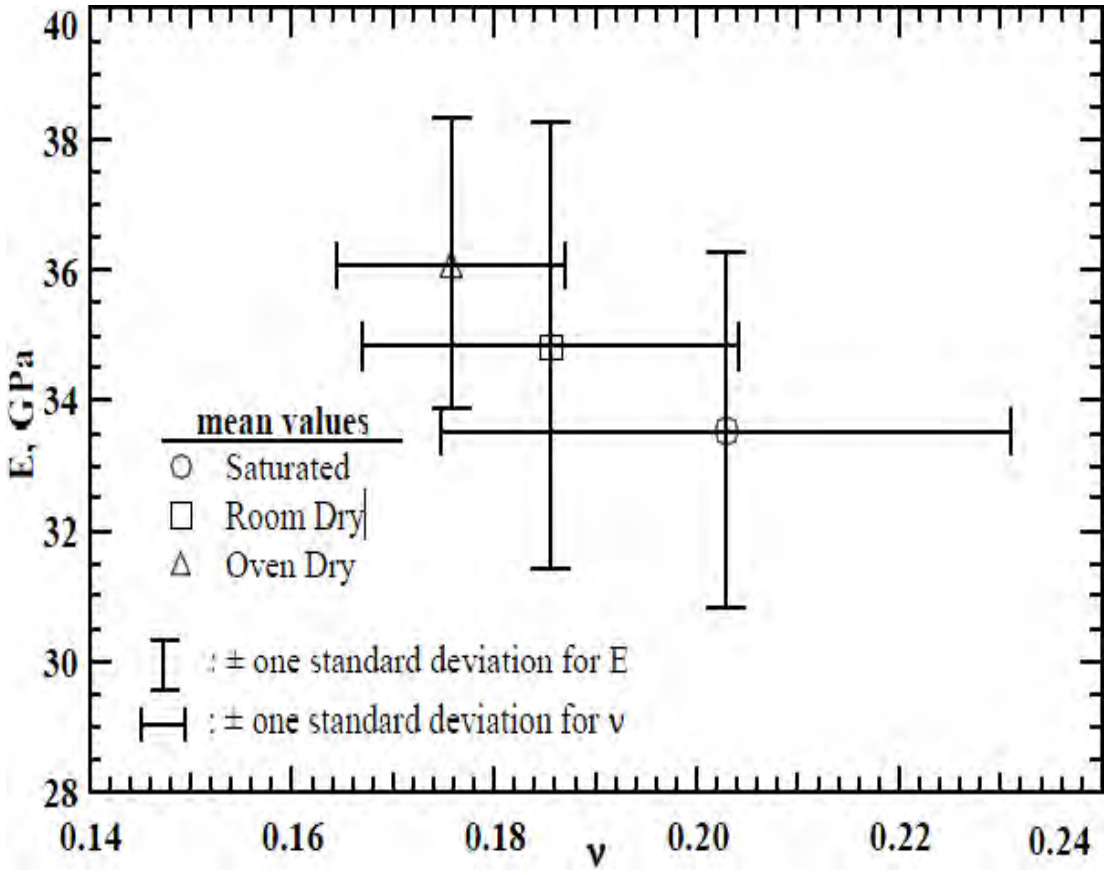


Şekil 2.9. Kumtaşı ve kuvarsitlerde su muhtevası ile tek eksenli basınç direnci arasındaki ilişki (Colback ve wiid, 1965)

Haupt vd. (1991), test ettiği numunelerde, kuru tüf numunelerin E değerleri, suya doygun tüflere göre %6 fazla bulmuştur.

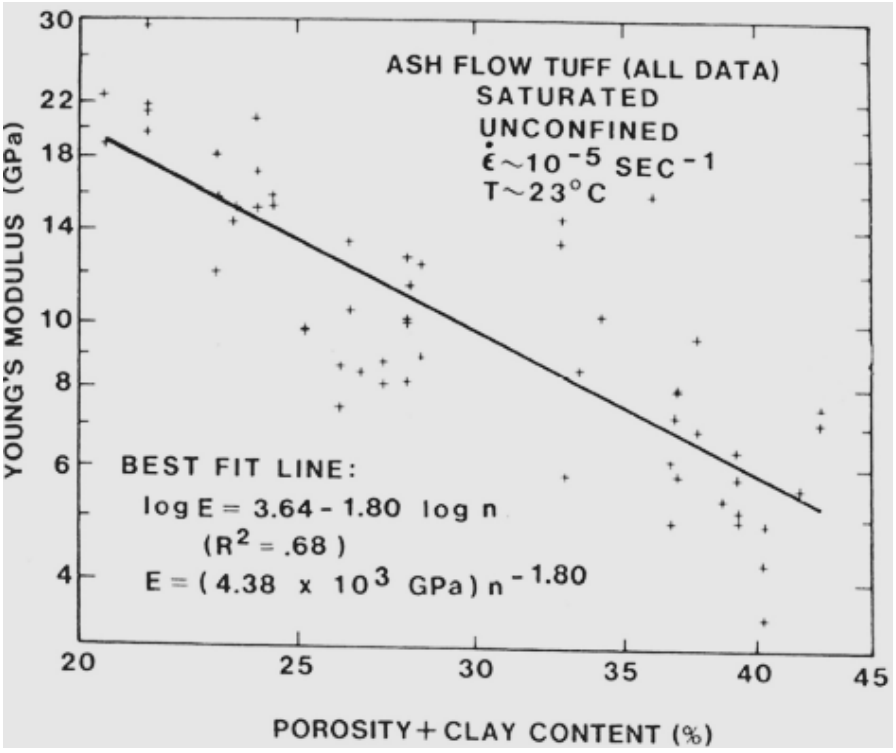
Mattin vd. (1993), suya doygun numunelerin kayma dalgası hızı (Vs), kuru numunelere göre %4 oranında daha düşük bulmuştur. Bunun yanında, basınç dalgası hızı (Vp) ise her ikisinde de aynı değerde sabit kalmıştır. Numunelerin su içeriğinin Vp'ye etkisi olmamıştır.

Price (2004), boy/çap oranı yaklaşık 2 olan, çapları 26, 51, 82 ve 121 mm gelen, 120 adet tüf numunesini test ederek, numune boyutunun mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bunlardan 71 adedi, oda kurusu, etüv kurusu ve suya doygun durumdayken test edilmiştir. Deneyler, sabit oda sıcaklığında, sabit deformasyon hızı 10^{-5} s^{-1} ve çevre basıncı olmadan yapılmıştır. Elastisite modülü (E) değerlerinin ortalamaları büyükden küçüğe etüv kurusu, oda sıcaklığı ve suya doygun durumda test edilen şeklinde sıralanır. Aralarında %4 gibi bir fark vardır (Şekil 2.10).

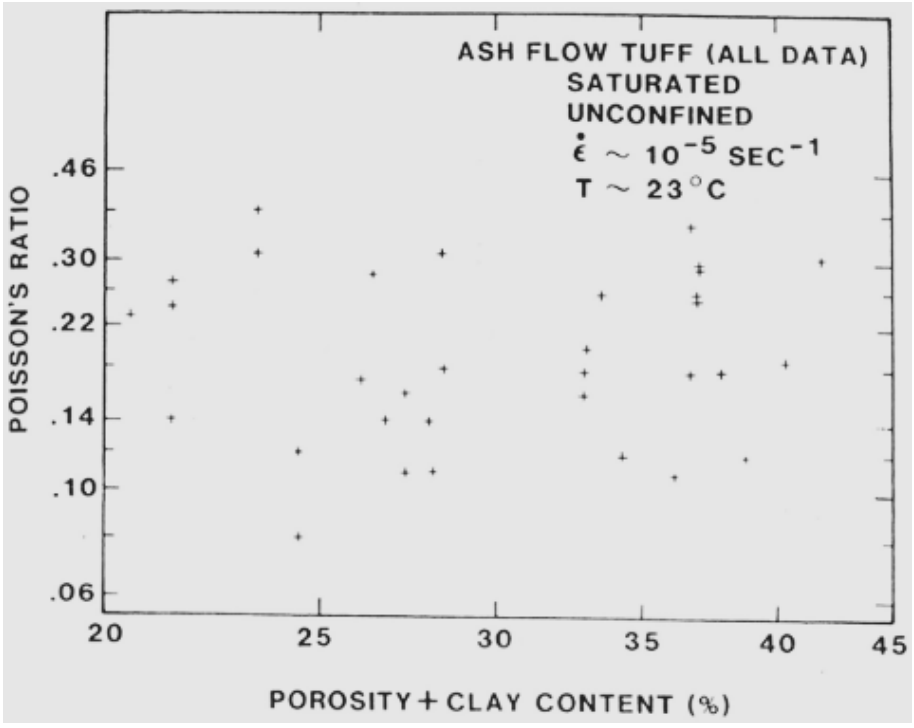


Şekil 2.10. Topopah Spring Tuff'e ait 71 örneğin E ve ν ile suya duygunluk ilişkisi Price, 2004. [Variations of Young's Modulus (E) and Poisson's Ratio (ν) of Seventy-One Lithophysal Specimens from the Topopah Spring Tuff (Tptpll) with Different Degrees of Saturation (after Price, 2004)]

Price (1983), Yucca dağındaki tüflerden alınan suya tam doygun numuneler tek eksenli basınç altında Elastisite modülü (E) ile porozite (n) arasındaki değişimi incelemiş ve grafik olarak Şekil 2.11.a'da gösterilmiştir. Bu grafikten çıkan sonuç ise, E ile n arasında kuvvetli bir ilişkinin var olduğudur. Buna karşın, poisson oranı ile porozite arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Şekil 2.11.b).



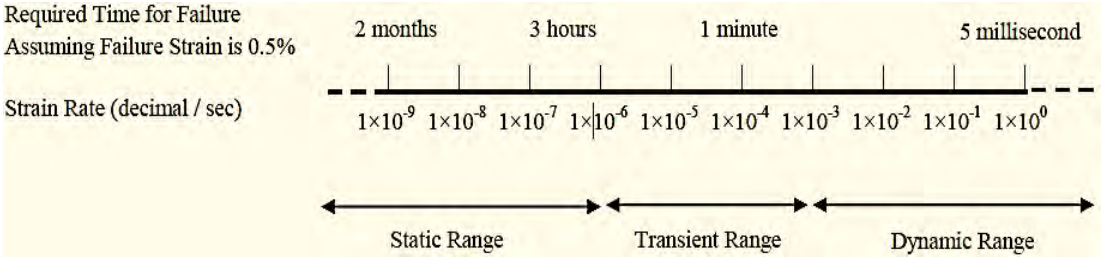
a) Elastik Modülü-Porozite ilişkisi (Price, 1983)



b) Poisson oranı-Porozite ilişkisi (Price, 1983)

Şekil 2.11. Yucca dağında Calico Hills, Bullfrogand Tram, doygun tüflerinin (a) Elastisite Modülü ve (b) Poisson oranı ile Porosity (n) arasındaki ilişki (Price, 1983)

Yükleme hızı, numuneler basınç altında kırılırken 1 saniyede uygula-nacak birim deformasyon miktarıdır. Dinamik ve statik yükleme arasında sadece yükleme hızı farkı vardır. Literatürde bu konuda çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Günümüzde en çok kabul gören yaklaşımı Harrsion ve Hudson (2000), Şekil 2.12'de açıklamıştır.



Şekil 2.12 Numunelerin kırılma zamanını gösteren birim deformasyon hızı (Harrsion ve Hudson, 2000)

Statik yük sabit yük anlamına gelmez, sadece yük artışının yavaş olduğunu nifade eder. Eğer 10^{-3}/s yükleme hızı seçilirse, kırılma 2 saniye içinde gerçekleşir ve boşluk suyu kaçmaya zaman bulamaz. Özetle, yükleme hızı artıkça, kayaların basınç dayanımı da artar, tüflerde de benzer durum söz konusudur. Yapılan çalışmada Kayseri tüflerinin kırılmasında birim deformasyon hızı 10^{-5}/s olarak alınmıştır.

2.7. Tüflerin Agrega Olarak Dolgularda Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Literatürde ulaşılabildiği kadarıyla, agrega boyutundaki çeşitli tüflerden oluşan volkanik cüruflar hakkında az sayıda yayına rastlanmıştır. Çok farklı evrelerde oluşmuş, çeşitli bölgelerdeki volkanik malzemelerin (pomza taşı, volkanik kül, volkanik cüruf gibi daneli piroklastik malzemeler) dolgu amaçlı kullanımına yönelik çalışmalar ise sınırlı sayıdadır.

Saltan ve Fındık (2008), hafif agrega olarak sınıflandırılan Isparta-Karakaya pomzasının, yolların alt temelinde stabilizasyon malzemesi olarak kullanımını araştırmıştır.

Sonuçunda, bölgedeki pumisin her türlü yol yapımında alt temel olarak doğrudan kullanılabildiği ve stabilizasyon malzemesi olarak kullanılması durumunda, karıştırıldığı zeminin mukavemetini arttırıcı etki yaptığını bulmuştur.

Bunun yanında killi zeminlerin, tüf benzeri cüruf malzemeleri ile stabilizasyonu sonucu geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır (Sahu B.K., 2001, Kaya A. ve Durukan S., 2003).

Benzer Şekil de Orense (2006), japonyadaki Unzen dağı ile Filipinlerdeki Pinatubo dağının kül ve cüruflarının geoteknik özelliklerini araştırmış ve belli şartlar altında dolguda kullanılabilirliğini kanıtlamıştır.

Bazı araştırmacılar ise volkan küllerini, killerin şişme özelliklerini azaltmak amaçlı kullanmış ve sonuçta yörede bulunan volkanik küllerin, şişebilen killere katılmasıyla maksimum kuru birim hacim ağırlık, optimum su içeriği, kayma mukavemeti ve CBR gibi zemin değerlerinin artığını göstermiştir (Ene E. and Okagbue C., 2009, Kaya A. ve Durukan S., 2003).

Tüf atıkların veya kullanılacak tüf benzeri malzemenin kaynağını ve cinsini bilmek, bu maddelerin karayolu dolgusunda kullanabilmek için yeterli değildir. Bu maddeler belirli standartlarda oluşmadığı için özellikleri çok değişkendir. Bu nedenle, malzemenin dolguda kullanılabilirliğinin test edilmesi gereği vardır. Yılanlı dağı piroklastik malzemeleri, yol dolgusunda kullanılmadan önce, numuneler üzerinde bütünü temsil edecek yeterli sayıda deneyler yapılmıştır.

BÖLÜM 3. KAYSERİ TÜFLERİ

3.1. Giriş

Bu bölümde Kayserinin jeolojik oluşumu, Kayseri tüflerinin minerolojik ve kimyasal yapısı ve kayseri tüfleriyle ilgili çeşitli konularda yapılmış önceki çalışmalardan bahsedilecektir. Kayseri'deki Devlet su işleri gibi çeşitli kurumlardan elde edilen haritalar ve bilgiler doğrultusunda, tüflerin arazi ön çalışmalarının yapılması, numune alınacak bölgelerin belirlenmesi ve bu bölgelerin çevre geotekniği açısından incelennesi anlatılmıştır. Ayrıca, volkanik cüruflar ve Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufu da detaylı olarak anlatılmıştır.

3.2. Kayseri Tüflerinin Jeolojik Oluşumu

Kayseri-Develi-İncesu arasında yeralan Erciyes dağı Volkanik masifi Erkilet yöresiyle birlikte yaklaşık 1500 km^2 lik bir sahayı kaplar. Masifin Kayseri ile develi arasındaki uzunluğu, düz çizgi boyunca 37 km, Tekir yaylası-Koçdağı ile Sultan sazlığı-İncesu arasındaki genişliği ise ortalama 30 km dir.

Orta Anadolu'nun sönmüş volkanları arasında büyüklüğü ve yüksekliği ile en başta gelen Erciyes dağının 3917 m rakımlı merkezi konisi bulunmaktadır. Böylece, Erciyes dağı tek bir volkan değil, bir volkanlar topluluğudur. Erciyes dağı volkan konilerinden Kayseri şehri yakın çevresinde olanlar: Ali dağı (1870m), yılanlı dağı (1643 m), kükürt tepe, Lifos tepesi (2509 m), Büyük Kızıltepe (1522 m) ve Küçük Kızıltepelerdir (1663 m) (Ketin, 1983).

Pasquare (1968)'e göre, piroklastik koniler ve "kırmızı cüruf kraterleri" Erciyes dağı merkez konisi etrafında ve eteklerinde çok sayıda gözlenmektedir.
Başlıca örnekleri, Abas Tepe, Kefenli Tepe, Sarıgöl, Karnıyarık Tepe, Büyük ve Küçük Kızıl tepelerdir.

Kayseri yakınındaki Ali dağı (1870 m) çevre kubbelerden birisidir. Lavları: Kahve renkli-pembemsi, iridaneli, titanlı hornblend fenokristalleri içeren porfirik [kayacı oluşturan daneler aynı büyüklükte olmayan, ince daneli ve / veya camsı bir hamur içinde iri kristaller (fenokristaller) olan] yapıdadır. Şehrin yakın batısındaki Yılanlıdağı (1643) ise, son patlama safhasında oluşmuş, birçok kraterin yer aldığı genç bir volkandır. Kraterlerden bazıları, çapları 500 m. yi bulan kaldera durumundadırlar. Dağın çevresinde ve kısmen de üzerinde kalın bir sünger taşlı tüf örtüsü vardır (Ketin, 1983). Erciyes volkanik topluluğunun çeşitli evrelerinde püsküren piroklastikler ve ignimbritler çok uzak mesafelere kadar (100 km) yayılmışlar ve Orta Anadolu'nun karasal Neojen havzalarında kimi zaman karada kimi zamanda bir göl içinde yığışmışlardır. Özellikle batıda Nevşehir-Ürgüp ve İncesu dolaylarında, daha kuzeyde Kozaklı-Boğazlıyan çevresinde, doğuda Bünyan ve güneyde Tomarza-Develi dolaylarında kalın volkanik piroklastik örtüler oluşmuştur.

Nevşehir-Ürgüp dolaylarında kısmen Hasandağ ve Acıgöl volkanlarından, çoğunlukla daha batıdaki Erciyes volkanlar topluluğundan Üst Miyosen-Pliyosende şiddetli patlamalarla havadan gelerek bölgedeki Neojen havzasında çökelen ve yığışan piroklastiklerin oluşturduğu tüfler ve ignimbritler (kaynaklanmış tüfler) geniş alanlarda yaygındırlar. Volkanik ürünler karasal Neojen havzası içinde kimi zaman karada kimi zaman da göl içinde çökel kayalarla ardalanmalı olarak yığışmışlardır. Kalınlıkları yüzlerce metreye erişen bu birimler içinde eski insanlar tarafından kiliseler, mağaralar, evler ve yeraltı şehirleri yapılmıştır. Ihlara vadisi, Göreme, Üçhisar vb. mevkilerde bu yapılar çok ilginç görünümdedirler. Ayrıca yine yörede volkanitlerin daha sonra aşınmalarıyle oluşan peribacaları da doğada çok ender gözlenen oluşumlardır. Bölgedeki platolarda açılan vadi yamaçlarında yüzeylenen tüf, tüfit (tüfün taşınıp tekrar çökelmiş hali), ignimbrit (kaynaklanmış tüf), lahar, volkan külü ve süngertaşı ardalanmasından meydana gelen volkanitlere bağımlı

olarak gelişen peribacaları vardır. Emre ve Güner (1985), bunların oluşabilmesi için takke ve gövde kayaçlarına gereksinim olduğunu gözlemişlerdir (Ercan, 1986).

İgnimbrit (welded tuff) ve laharların takke; tüf-tüfit-volkan külü ve sünger taşlarının ise gövde kayaçlarını meydana getirdiklerini, Kuvaternerde yarı kurak iklim koşullarının egemen olduğu bölgede sel sularının yamaçları oymalarıyle peribacalarının oluştuğunu belirtmişlerdir (Ercan, 1986).

Erciyes dağı volkanik faaliyetinin değişik safhalarında püskürtülmüş olan iri ve ufak-ince daneli piroklastikler (tüfler, kül, lapilli, breş, süngertaşı) Orta anadolunun karasal Neojen havzalarındaki dolgu malzemesinin önemli bir kısmını oluşturmuştur. Böylece, Orta Anadolu bölgesinde, özellikle Nevşehir-Ürgüp-Kayseri yörelerinde volkanik faaliyet en az üst miyosende başlamış ve önemli bir kesinti olmaksızın tarihsel çağlara, birinci yüzyıl sonlarına kadar süregelmiştir. Bu faaliyetin Miyosen-Piyosen dönemindeki evresi şiddetli patlamalar şeklinde geçmiş, karasal neojen havzaları tüf ve kaynaklanmış tüf yataklarıyla dolmuştur (Ketin, 1983).

İncesu tüfleri, İçAnadolu volkanik bölgesinde piroklastik kayaçları içerisinde en geniş yayılıma sahip ve en fazla kaynaklaşma özelliği gösteren tüflerdir. Kayseri merkez olmak üzere Himmetdede, İncesu, Erkilet, Mimarsinan, Bünyan, Develi ve Tomarza bölgelerinde geniş yayılım gösteren İncesu tüfleri bölgesel startigrafik kolon kesitte Geç Pliyosen yaşlı Koçdağ volkanitleri grubu içersinde yeralmaktadır. Koçdağ volkanitleri andezit, bazaltik-andezit bileşimli lav ve piroklastikler ile İncesu kaynaklanmış tüflerinden oluşmakta olup, Kışladağ kireçtaşları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Koralay, 2009).

İncesu tüfleri üç farklı seviyeden oluşmaktadır. En üstte grimsi pembemsi renkli, nisbeten karmaşık iç yapıya sahip, daha az kaynaklaşmış, bol miktarda değişik bileşimli volkanik kayaç parçaları içeren yaklaşık 1.5-5 metre kalınlığındaki tavan seviyesi bulunur. Tavan seviyesinin altında 3.5-10 metre kalınlığa sahip, kırmızımsı pembe-bordo renkli, orta-iyi derecede kaynaklaşmış orta seviye yer almaktadır. Bu seviye içerisinde görülen fiamme yapıları koyu kahverengi-siyah renklidir. Kaynaklanmış tüfün en altında 1.5-2 metre arasında değişen kalınlığa sahip, siyah-koyu kahverengi renkli, oldukça iyi derecede kaynaklaşmış, camsı yapıya sahip taban seviyesi görülmektedir (Koralay, 2009).

3.3. Kayseri Tüflerinin Minerolojisi ve Kimyasal Yapısı

Kayacın kimyasal bileşimine dayanarak, oluşum (jenerik) ve magma özellikleri, kayaç serilerini tanımlamaya yaramaktadır. Bu sınıflandırma, kayacın yapı, doku ve direkt olarak mineralojik bileşimi hakkında bilgi vermez, ancak, bazı yardımcı yöntemlerle mineralojik bileşimi saptanabilir (Uz, 1987).

Bir kayacın kimyasal analizi, çeşitli oksitlerin % oranlarını ifade eder. Bunlar $Si0_2$, $A1_2O_3$, Fe_2O_3, FeO, Na_2O, K_2O, CaO, MnO, MgO, TiO_2, P_2O_5, H_2O ve CO_2'dir. Bu oksit elementlere kayacın majör elementleri denilmektedir (Uz, 1987).

Bu oksit elementlere dayanılarak, çeşitli araştırmacılar tarafından farklı tip sınıflandırmalar geliştirilmiştir. Bunların en yaygın olarak bilineni, SiO_2 içeriğine göre olan sınıflandırmadır. Bu sınıflamada esas olarak irdelenen, kayaç yapısındaki silika içeriğidir, magmadan oluşmuş kayaçlarda SiO_2 oranı %35 -%80 arasında bir değişim göstermektedir. Bu geniş aralıkta değişim gösteren silis, diğer oksitlerin de değişim göstermesine neden almaktadır (Uz, 1987).

Çoğu kez bu değişimler birer anlamlılık ifade eden farklı grafik gösterimler ile analiz edilebilmektedir. $Si0_2$ içeriğine göre kayaç oluşumları:

1) •%66 fazla SiO_2 içeren kayaçlar, asit kayaçlar
2) %66 - 52 SiO_2 içeren, kayaçlar, nötr kayaçlar
3) %52 - 45 SiO_2 içeren kayaçlar, bazik kayaçlar olarak adlandırılmaktadır.

Volkanik kayalardaki mineral gelişimi içerdiği mineral kompozisyonuna bağlı olarak hesaplanır. Camsı tüflerin kristalleşmesinde de bu tip hesaplamalar ideal bir kristalleşme göstergesi olur. Çok çeşitli silika camları (vitrik tüfler), %97 ile %82 arasında bir oranda feldispat artı silika minerallerinin birleşmesiyle kristalize olur. Vaniman (2006), dört farklı volkanik kaya türünü tanımlayan, ortalama kimyasal kompozisyonu ve mineral içeriğini Tablo 3.1.'de ki gibi olduğunu belirtmiştir.

Büyük hacimler oluşturarak, tabakalaşma gösteren tüf bölgelerin çoğunda SiO_2 oranı %65-%77 aralığındadır ve aynı zamanda %90 dan fazla feldispat artı silika minerallerini de bünyesinde bulundurur (Vaniman, 2006).

Tablo 3.1. Dört Volkanik Kaya Türünün Kimyasal Kompozisyonu ve Standart Mineral İçeriği (Vaniman, 2006)

Ana Elementler	*Riyolit*	*Riyodasit*	*Dasit*	*Andesit*
SiO_2	76,21	72,19	67,73	62,74
TiO_2	0,07	0,33	0,50	0,59
$Al_2 O_3$	12,58	12,62	15,44	16,53
Fe_2O_3	0,30	3,14	0,69	1,71
FeO	0,73	1,12	2,40	2,14
MnO	0,04	0,05	0,06	0,07
MgO	0,03	0,58	1,30	3,24
CaO	0,61	2,07	3,35	6,20
Na_2O	4,05	3,45	3,85	4,08
K_2O	4,72	3,70	3,25	1,18
P_2O_5	0,01	0,02	0,15	0,16
Diğer	0,52	0,80	1,15	1,31
Ana mineraller				
Silika mineralleri	33,1	33,2	23,0	17,4
Feldispat	64,4	59,0	66,7	64,8
Piroksen	1,2	2,3	6,8	12,5
Oksitler	0,6	3,5	1,8	3,5
Apatit	0	0,2	0,3	0,4

Kaynaklanmış tüflerin fenokristalleri silika, feldispat, piroksen gibi minerallerden oluşmaktadır. Fenokristallerin içinde bulunduğu matris amorf olabilir. Yine kaynaklanmış tüflerin içerisinde belli bir % oranında zeolitler yer alabilir. Zeolitler alkali ve toprak alkali elementlerin kristal yapıya sahip, sulu alüminyum silikatlarıdır. Genel yapısal formülleri.

$$x[(M+1, M++1/2).(AlO2)].y\ SiO2.\ z\ H2O \qquad (3.1)$$

olarak verilebilir. Burada M+, Na+ ya da K+ gibi tek degerlikli bir katyon, M++ ise Ca++, Mg++, Ba++ gibi iki degerli bir katyondur. SiO2 / Al2O3 oranı (y/x) zeolit türüne baglı olarak 1 ile 5 arasında değisir.

Tomarza-Kayseri yolunun 22 km civarında pembe renkli, tabaka halinde, yer yer gri renkli, oluşum gösteren tüfler petrografik tayin için 22 numaralı örnekler alınıp incelenmiştir. Fenokristalleri plagioklas, augit ve hepersten olduğu ve. plagioklaslar oldukça iri kristaller halinde olup albit ikizlerinin varlığı tespit edilmiştir. Minerallerin mikroskopla incelemesi sonucunda, Bazalt dane %2, Plagioklas %35, Augit %1, Hipersten %1, Silisifiye dane %3, Opak Mineral %10, Esas kısım % 45, Kalsit %3 bulunmuştur.(Akın, 1965)

Ayrancı ve Weibel (1973), Kayserideki Erciyes dağı volkan topluluğuna ait tüf ve kaynaklanmış tüflerden çeşitli numuneler almış ve kimyasal analizlerini yaparak sonuçlarını Tablo 3.2'de vermiştir.

Tablo 3.2. Kayseri tüflerine ait numunerin kimyasal analiz sonucları (Ayrancı ve Weibel, 1973)

Ana Elementler	Analizi yapılan örneklerin orijinal metindeki numaraları			
	2	5	13	18
SiO_2	67,7	35,1	70,1	65,9
TiO_2	0,6	0,12	0,36	0,38
Al_2O_3	15,2	6,9	14,9	13,6
Fe_2O_3	3,84	0,20	0,55	0,98
FeO	0,4	0,5	1,8	2,0
MnO	0,08	0,04	0,08	0,12
MgO	1,0	0,9	1,2	1,7
CaO	2,4	28,2	3,5	5,2
Na_2O	4,3	1,3	3,9	3,4
K_2O	3,9	2,8	2,9	2,5
P_2O_5	0,17	0,05	0,09	0,07
H_2O	0,6	2,8	0,5	4,1
CO_2	-	21,3	-	-
Toplam	100,19	100,21	99,88	99,95

Açıklama:2:Kaynaklanmış tüf, Akdere kesiti-Erkilet, 5:Kaynaklanmış tüf (%50 kalsit ve bol pomza taşı içerir), Akdere-Erkilet-Kayseri13:Porfiritik volkanik cam, perikartını-Hacılar-Kayseri18:Pomza, Yılanlıdağ, Hacılar-Kayseri

Kayseri bölgesinde kalite bakımından (tras olarak kullanımı için) muhtelif formasyonlar hâkimdir. Volkanik formasyonların yanında Paleozoik kalkerleri, Kratese kalkerleri, Eosen flişi, ihtiva eden sedimen formasyonlardan (kum taşı ve marn) oluşmuştur Akın (1965).

Kayseri-Talas arkası derevenk mavkii taş ocaklarından alınan pembe renkli trahit tüflerinde plagioklas %30, Augit %5, Opak mineral %5 ve esas kısım %60 bulunmuştur. Esas kısım kriptokristalin ve camdır. Esas kısmın kristalleri plagioklas, augit ve hiperstendir (Akın, 1965).

İncesu ignimbiriti, petrografik bileşenler bakımından volkan camı kıymıkları (shard), pomza parçaları, kristal parçaları ile litik bileşenlerden oluşmaktadır. Mineralojik olarak taban, orta ve tavan seviyelerinde plajiyoklaz (oligoklaz, andezin ve nadiren labrador) + piroksen (ojit, klinoenstatit) + opak mineraller (manyetit, ilmenit) ve daha az oranda ± kuvars, ± biyotit ve ± amfibol mineralleri görülmektedir. Dokusal özellikler açısından İncesu ignimbiritinin taban, orta ve tavan arasında belirgin bir farklılık vardır (Koralay, 2006).

Koralay vd., (2009), kaynaklanmış İncesu ignimbiriti içerisindeki ince-uzun, alev Şekilli ve koyu renkli kapanımlar olarak tanımlanan fiamme yapılarının petrografik ve jeokimyasal özellikleri incelemeleri sonucunda, İncesu ignimbiritinde başlıca iki tür fiammenin varlığı belirlemişlerdir. Bunlar; kristal içermeyen (A-tipi) ve kristal içeren (B-tipi) fiammelerdir. Belirlenen lokasyonlarda A ve B tipi fiamme örneklerindeki değişimleri yansıtabilecek tarzda sistematik örnekleme yapılmış, bu örneklerden petrografik incelemeler için ince kesitler hazırlamışlar. Hazırlanan 25 adet ince kesit üzerinde mineralojik bileşim, dokusal tanımlama gibi mineralojik ve petrografik incelemeler yapmışlar.

Genel olarak, A-tipi fiamme örneklerinin Al_2O_3 içeriği %12.07-13.42 arasında değişirken, SiO_2 %69.55-73.25, MgO %0.24-0.60, Fe_2O_3 %3.35-3.59, TiO_2 %0.39-0.44, CaO %1.26-2.26, Na_2O %4.09-5.53, K_2O %3.49-4.37, P_2O_5 %0.11-0.16, MnO %0.04-0.07 ve kızdırma kaybı %0.30-3.25 değerleri arasında değiştiğini bulmuşlardır (Koralay vd., 2009).

B-tipi fiamme örneklerinin Al_2O_3 içeriği %11.88-13.87 arasında değişirken, SiO_2 %68.41-70.68, MgO %0.38-0.89, Fe_2O_3 %3.63-4.16, TiO_2 %0.65- 0.73, CaO %1.65-3.57, Na_2O içeriği %4.77-5.88, K_2O %2.47-3.07, P_2O_5 %0.17-0.26, MnO %0.07-0.11 ve kızdırma kaybı %0.65-1.95 arasında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir (Koralay vd., 2009).

B-tipi fiammelerin A-tipi fiammelere göre yüksek CaO, Fe_2O_3, TiO_2, P_2O_5, MnO ve Sr, düşük K_2O, Rb, Y, Zr, Hf, Th, La ve Ce içeriklerine sahip oldukları görülmüştür. Al_2O_3 ve Na_2O içerikleri bakımından birbirlerine yakın değerlere sahip oldukları belirlenmiştir. B-tipi fiammelerin sahip olduğu plajiyoklaz (Ca bakımından zengin), piroksen (Ca ve Fe bakımından zengin) ve opak minerallerden (Fe ve Ti bakımından zengin) oluşan kristalli yapısı CaO, Fe_2O_3, TiO_2, P_2O_5 ve Sr değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni olarak düşünülmektedir (Koralay vd., 2009).

3.4. Kayseri Tüfleri İle İlgili Önceki Çalışmalar

Türkiyede tüflere yönelik yapılan çalışmalar, dünyaca bilinen turizm merkezi olmasından dolayı Kapadokya bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bu yörede ayrıntılı jeolojik, volkanolojik ve jeokimyasal çalışmalar yapılmıştır (Yalçınlar, 1950; Ketin, 1963; Beekman, 1966; Pasquare, 1966; Pasquare vd., 1988; Innocenti vd., 1975). Kapadokya yöresi genç volkanik oluşumlarının yayılım ve evrimlerine ilişkin çalışmalarda, tüflerin yaşı ve bileşimleri tanımlanmıştır (Ercan vd., 1990; Ercan vd.,1992; Le Pennec vd., 1994).

Kayseri de volkanik formasyonların en fazla miktarda olanları, Andezit, Tüf, Aglomera, Trahit tüfü ve Bazaltlardır. Tüf tabakaları Talas-Kayseri ovasının güneyinde oldukça dik bir duvar halinde çok uzun bir mesafede devam etmektedir. Bu saha takriben 30 m kadar kalınlığında ince daneli kompakt beyaz renkli tüf ve takriben 10 m kadar kalınlığında boz renkli tüf ile kaplanmaktadır (Akın, 1965).

Genç volkanik faaliyetler safhasında, günümüzde taze morfolojiyi meydana getiren koniler, lav akıntıları ve kül-tüf yatakları oluşmuştur (Ayrancı, 1970). Hacılar güneyindeki Yanıkdağ'ın aluminyumca zengin olivinbazaltları ve çevresindeki küllerle diğer genç konilerin farklı özelliklerdeki lav ve tüfleri bu dönemin başlıca

ürünleridir. Yanıkdağı ve Yılanlıdağı andezit, bazalt ve diğer genç püskürme ürünlerinin kimyasal bileşimlerini incelemiştir.

Kuşcu ve Atilla (2005), Erciyes'in yaklaşık 20 km kuzeybatısında, 1,2 km çapındaki dairesel krateri, 615 m krater taban çapı olan Cora Maarı'nı incelemiş ve jeolojik mirasın tanıtılması konusunda önemli bir çalışma yapmıştır.

Son dönemlerde yapılan araştırmaların çoğu, özellikle Kapadokya (Ürgüp, Avanos, Göreme ve Nevşehir) tüflerinde geçmişte ve günümüzde çeşitli amaçlar için açılmış kaya yapılarının duraylılıklarına ve çeşitli mühendislik özelliklerine ilişkindir (Aydan vd., 1999; Ulusay vd., 1999, Aydan ve Ulusay, 2003, 2007, Ulusay vd., 2006, Aydan vd., 2007, 2007a, 2007b).

Tüflerin Erciyes volkanizması ve çevresinin jeolojisi ile ilişkili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yalçınlar (1950), Ketin (1963), Beekman (1966), Pasquare (1966), Pasquare vd. (1988), Innocenti vd. (1975) gibi araştırmacılar, özellikle Kapadokya bölgesinin jeolojisini ve volkanitlerin petrolojisini ayrıntılı olarak ele almışlardır. Özetle jeolojik, volkanolojik ve jeokimyasal çalışmalar yaparak, yörede temel kayaçların Paleozoyik Erken Mesozoyik devirlerine ait olduğu, yöredeki volkanik ürünler gölsel kiltaşı-marn-tüf ardalanması ile başladığı, üst seviyelere doğru kalın tüf tabakalarına geçiş gösterdiği gibi bulguları elde etmişlerdir.

Kapadokya yöresi genç volkanik oluşumlarının yayılım ve evrimlerine ilişkin çalışmalarda, tüflerin yaşı ve bileşimleri tanımlanmış ve Hasandağ-Karacadağ (Orta Anadolu), dolaylarındaki Senozoyik yaşlı volkanizmanın kökeni ve evrimi hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir (Ercan vd., 1990, Ercan vd., 1992, Le Pennec vd., 1994).

Kapadokya bölgesi tüflerinin yapı malzemesi özellikleri ile bunların dayanım ve ayrışma özelliklerine yönelik çalışmalar da vardır (Erdoğan, 1986; Topal, 1995, Topal ve Doyuran, 1997, Gökçeoğlu vd., 2000). Bu araştırmacılar, Kapadokya tüflerinin nem oranının artmasıyla dayanımının azaldığını ve duraylılığının (donma, çözülme ve suda dağılma) kötüden çok kötüye kadar değişik özellik gösterdiğini bulmuşlardır. Kapadokya bölgesinde yapılan çalışmalarda kısaca, yer altı mağaralarının donma-çözülme, ıslanma-kuruma durumunda aşınma hızları ve

miktarları incelenmiştir (Aydan ve Ulusay, 2003, Ulusay vd., 2006, Aydan vd., 2007). Kayseri'nin çeşitli bölgelerinde tüflerin, bazaltların, ignimbiritlerin varlığı tespit edilmiş, Nevşehir'deki kaynaklanmış Kavak tüflerine ait numuneler üzerinde deneyler yapmış ve bunların minerolojik, petrografik, petrolojik özellikleri ve jeokimyası araştırılmıştır. (Yalçınlar, 1950, Korkanç, 2007, Temur vd., 2007)

Erciyes volkanizmasının oluşumu, Koçcağız köyü (Kayseri) dolayının stratigrafisi ve tüflerin yapı-kaplama taşı olarak kullanılabilirliği çalışılmıştır. (Duran, 2009)

Kayseri ilinde sınırlı sayıda jeolojik, volkanolojik ve jeokimyasal çalışmalar yapılmıştır. (Yalçınlar, 1950, Korkanç 2007, Temur vd., 2007) Kayseri'deki tüflerin çeşitli mühendislik amaçlı kullanım alanları ile ilgili kısmen çalışmalar olmakla birlikte, literaturde ulaşılabildiği kadarıyla geoteknik özellikleri henüz araştırılmış değildir.

3.5. Kayseri Tüflerinin Arazi Ön Çalışması ve Genel Özellikleri

Kayseri tüfleri ile ilgili olabilecek çalışmalar literatürde araştırılmıştır. Bölgede yapılan önceki çalışmalar ve elde edilen ürünler, ilgili kuruluşların arşivlerinde aranmış, incelenmiş ve yararlı olabilecek bilgiler (geoteknik rapor, jeolojik ve topoğrafik haritalar) derlenmiştir. Bu bilgiler ışığında yapılacak çalışmalar planlanmıştır.

Çalışma alanı, tüf bölgelerini gösteren jeolojik haritalar doğrultusunda, genel ve temel bilgiler elde edilmek üzere yerinde incelenmiştir. Bölgede sıkça karşılaşılan masif tüf kayaçları, şehrin güneyindeki tepeler ve erozyonla açılmış vadilerde ve taş ocaklarının açtığı şev ve yamaçlarda gözle görülmektedir. Bu masif tüf kayaçlarının yapılarında, kaynaklanma derecesine bağlı olarak, volkanik kül ve kırıntıların sıkışması sonucu yassılaşıp uzamasından meydana gelmiş *fiemme* adı verilen oluşumlar gözlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kayseri Tüflerinde Gözlenen Fiemme yapısı

Şev stabilitesi ve geoteknik mühendisliği bakımından çeşitli derecelerde kayanaklanmış kalın tabalar halinde bulunan bu tüfler, civardaki pek çok kaya türüne göre daha homojen, sürekli ve masif bir yapıda olduğu izlenmiştir. Dik yamaçlarda ve yüksek şev açılarında dengede durabilen tüfler, kayma mukavemetinin yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak, Kayseri'nin Talas ilçesinde Tablakaya mahallesinde meydana gelen kaya düşme olayları, bölgede erozyonla açılmış vadiler ve çeşitli yamaç kaymaları, tüflerin aşınma ve ayrışmaya uğradığına işarettir. Aşınma ve ayrışma (weathering), yer kabuğunu oluşturan kayaçların, hava, su ve canlılar gibi etmenlerin kimyasal ve fiziksel etkileri sonucunda bozulup, dağılmaları olayıdır. Dolayısıyla, yamaçlarda bulunan bu tüflerin, suya karşı dayanıksız olduğu ve suya doygun durumunda iken şev ve yamaç kaymalarına ve kaya düşmelerine neden olabileceği düşünülmektedir.

Kayseri ve çevre illerde, yapı taşı olarak, Kayseri tüfleri (halk arasında, tüf taşı, yonu taşı veya Kayseri taşı olarak isimlendirilmektedir) kullanılır. Bunun yanında, bölgede tüfden başka traverten, bazalt ve bazalt kayrağı da bulunur. Özellikle tüf taşı kentin mimarisine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Genelde Kayseri taşı denildiğinde ilk akla gelen malzeme olan tüf taşı, Kayseri ve çevresinde bulunan tarihi konaklarda, camilerde, kiliselerde, Osmanlı ve Selçuklu dönemlerinden kalma tarihi yapılarda yoğun olarak kullanılmıştır. Bu yapılar arasında bulunan Gevher Nesibe Hasdanesi 1206 yıllında yapılmış olmasına karşın halen dimdik ayaktadır ve bu hali ile yapıldığı malzeme olan tüf taşının düşey yükler altında, lokal olarak bazı yüzeysel aşınmalar görülmekle birlikte, ayrışmaya karşı dayanıklılığını uzun yıllar boyunca koruduğunu ispatlamıştır.

Kayseride 20 den fazla tüf taşı ocağı (ignimbrit) bulunmaktadır. Bu ocaklardan sarı, ala sarı, gri, kahverengi, siyah, pembe renkli ve bunların değişik tonların da tüf taşı çıkarılmaktadır. Tüfler, farklı renklerde olması genellikle mimari uygulamalara olanak sağlamaktadır. Bunlar plaka taş, pencere sövesi, kat silmesi, harpuşta, eli belinde, denizlik, basamak, kemer, sütun gibi mimari uygulamalardır. Mermere göre daha yumuşak olmasından dolayı işlenmesi kolaydır. El zanaatkârları tarafından çeşitli ve detaylı motiflerle işlenebilir. Kayseri'nin kimi köylerinde halen bu işi yapan, günlerce bir taşa motif vermeye çalışan, mezar taşları, şömine süsleri nakşeden ustalar olduğu söylenir.

Doğa koşullarına dayanıklı sayılabilir. Kayseri taşı gözenekli yapısından dolayı içine işleyen suyun donması esnasında hacimce sudan daha geniş olan buzun rahat rahat genleşebileceği boşluk yarattığından dolayı donma-çözülme etkilerine karşı iyi performans gösterir (detayları donma çözülme deneyinde anlatılmıştır). Fakat, çekme gerilmeleri altında çok dayanıksızdır. Bu olay, yer döşemelerinde kullanılan kayseri taşlarında görülebilir. Düzgün dolgu yapılmadan döşenen kayseri taşı basit bir adımınızda dahi un gibi dağılabilir. Sürtünerek aşınmalara karşı ise oldukça danayıksızdır. Yerlerde döşeme kaplaması olarak kullanılması uygun değildir.

Tüf taşının en uygun kullanım yerleri insan eli ve ayağıyla birebir temas içerisinde olmayan yerlerdir. Örneğin yığma kağir duvarlar, duvar kaplamaları, kemerli kapı ve köprü süsleri gibi yerlerde kullanıldığında pek güzel bir görünüm verebilir. Zaten selçuklu döneminde bu taş kullanılarak inşa edilmiş yapılar ve yapı süslemeleri büyük çoğunlukla sağlam durmaktadır.

Yukarıda bahsedilen Talas, Ağırnas, Gesi, Tomarza ve İncesu bölgelerinden çeşitli derinliklerde alınan blok numuneler laboratuvara getirilmiştir. Bu bloklardan, 49 ve 53 mm çaplarında ve boy/çap oranı 2 den büyük olacak Şekil de muhtelif boylarda, yaklaşık 800 adet karot hazırlanmıştır.

3.6. Kayseri Tüflerinin Çevre Geotekniği Açısından İncelenmesi

Kayseri kayaç tüflerini incelemek için birimin en iyi görüldüğü Ağırnas, Gesi, Talas, Mimarsinan, Tomarza ve İncesu civarları seçilmiştir. Bu yerler, çevre geotekniği açısından, arazide incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda anlatılmıştır.

Ağırnas, Kayserinin kuzeydoğusundadır. Ortalama 1300 m rakımlıdır. İlçenin güneyinde şehri besleyen bir akarsuyu vardır. Bir sırt üzerinde kurulmuş olan Ağırnas, dik yamaçlalarla dereye doğru inmektedir. Şehir tamamen tüfler üzerindedir. Kalınlıkları en az 3-4 metre olduğu görülür. Dere kenarları haricinde, şehirde yapılan sondajlarda yer altı suyuna rastlanılmamaktadır. Ağırnas deresinin dik yamaçlarında kaya düşme vakaları olmaktadır. Sel veya su taşması tehlikesi yoktur. Yamaçlarda, Süreksizlik aralıklarının çok geniş olduğu yer yer çatlaklı olan blok kaya tüfleri ve güneyinde çatlaklı andezit kaya blokları vardır. Ağırnas'da tüf blokları içinde oyulmuş eski yer altı şehirleri bulunmakla ve günümüzde evlerin çoğunun altında Kapadokya'daki yer altı şehirleri gibi tüf bloklarından oyulmuş mağaralar ve çok uzun galeriler bulunmaktadır.

Kayseri iline 18 km. uzaklıkta bulunan Gesi, Erciyes dağının küllerinin çeşitli ortamlarda çökelerek oluşması sonucu biriken tüf ve andezit lavların oluşturduğu geniş bir platoda yer almaktadır. Gesi, derin vadilerin yamaçlarında üç farklı yerleşkeden oluşur. Gesi'nin bir mahallesi konumunda olan Efkere'de gri-renkli kaynaklanmış tüf çıkaran taş ocağı faaliyet göstermektedir. Efkere'nin denizden yüksekliği yaklaşık 1250 m dir. Gesinin muhtelif yerlerinde tüflerin oyulmasıyla oluşmuş yeralti sehirleri, kaya kilisesi, kaya mezarlari, tümülüs ve höyükleri, kale tapinak kalintilari ile güvercinlikler vardır.

Talas Kayserinin güney doğusundadır. Aşağı Talas ortalama 1160 metre rakıma sahip bir vadi, Yukarı Talas ise ortalama 1190 metre rakımlı bir plato görünümündedir. Güneydoğusunda 2000 metre yükseklikte Ali dağı bulunmaktadır. Ali Dağı Erciyes Dağı'nın püskürtmesi sonucu oluşan volkanik bir dağdır. Sahada görülen tüfler kırmızımsı ve bej renkli olup, yüksekliklerin eteklerinde geniş alanları kaplamaktadır. Bölgede yapılan sondajlarda 90 metreden fazla derinliklere kadar masif tüfler devam etmekte ve yer altı suyuna rastlanılmamaktadır. Aşınma ve ayrışmaya uğramış, süreksizlikleri olan ve çatlaklı blok kaya tüfleri yamaçlarda göze çarpmaktadır. Talas'ın Tablakaya mahallesinde meydana gelen kaya düşme olayı

İmar ve İskan Bakanlığı heyet raporunda tehlikeli saha olarak gösterilmiştir. Aşağı Talas da taşma yapabilecek iki dere mevcuttur. İlçenin gelişimi batıya doğru olmakta ve çok katlı yerleşim birimleri farklı tüf zeminler üzerine inşa edilmekte ve. tüf kayalar içine oyulmuş çok sayıda mekânlar bölgede bulunmaktadır.

Mimarsinan, Kayserinin 10 km doğusunda 38-44 kuzey enlem ve 35-36 doğu boylamında yer alır. Höyük tepesi ve Evliyalar Bölgesinde yeraltı şehirleri bulunuyor. 1300 m rakımlı düz bir arazi üzerindedir. Arazide andezit, tüf ve ignimbirit kaya tabakalarına rastlanmaktadır. Ancak, yerleşim alanının bulunduğu zemin genelde tüftür. Andezit kaya tabakaları ise güneydoğu kısmında bulunur. Yer altı suyuna yüksek kısımlarda rastlanmaz fakat Kayseri ovasına doğru inen alanda çoğunlukla ilk 10 m derinlikte yer altı suyu vardır. Fazla dik olan yerlerde tüf kaya düşmelerine rastlanmaktadır. Kaya düşme tehlikesi olan bazı yerler arazide gözlenmiştir. Acil önlem olarak, tehlike oluşturan bölgeler boşaltılmalı, daha sonra bu tüf kayaların geoteknik özellikleri tespit edilip, örgülü çelik ağ, bariyerler, perdeler v.s gibi gerekli önlemler alınmalıdır.

İncesu, Kayseri'nin güneybatısında, Kayseri-Niğde Devlet Karayolu üzerinde Kayseri'ye 30 km. uzaklıkta olup, 1150 rakımlıdır Dar bir vadi içinde kurulmuş olan şehirde doğu yönüne akan İncesu deresi bulunur. Bu sahada gri pembe renkli tüf oluşumlarının yoğunluğu dikkati çekmektedir. Bunlar bol miktarda yassılaşmış pomza parçaları içeren, kaynaklanmış, tabanda oldukça koyu kahverengi camsal kaynaklanma gösteren tüflerdir. Sahada andezit, bazalt ve tüf kaya tabakaları da mevcuttur. Bölgede kayalık alanlar çok olduğu için yer altı suyuna rastlanmaz fakat kayalık olmayan çukur yerlerde 5-10 m derinlikte yer altı suyuna rastlanmaktadır.

Tomarza, Erciyes Dağı'nın güneydoğusunda, 1350 metre rakımı ile bir plato görüntüsü vermektedir. Bütün Anadolu yarım adasının jeolojik gelişimine paralellik gösteren Tomarza'nın faklı yönü, volkanik özelliğe sahip Erciyes'in arazi üzerinde gösterdiği tesirlerdir. Çeşitli zamanlarda meydana gelen volkanik hareketler, yörede çeşitli çöküntü çanaklarının oluşmasına neden olmuştur.

Bu çanaklar, volkanik küller ve bunların çeşitli derecelerde kaynaklanmış tüflerle kaplanmıştır. Bunun sonucunda alüvyonlardan oluşan ovalar meydana gelmiştir. (http://www.tomarza.gov.tr)

Kaya düşmeleri, bölgede, çevre geotekniği açısından karşılaşılan önemli sorunlardan biridir (Şekil 4.2). Türkiye'de 79 ilde kaya düşmesi görülüyor. Kaya düşmesi olayından etkilenen yerleşim birimi sayısı 1.703, afetzede sayısı 19 bin 422'i buluyor. En fazla kaya düşmesinin meydana geldiği il, 279 olayla Kayseri'dir. Onu, Erzurum (229), Nevşehir (179), Adıyaman (135) ve Sivas (129) izlemektedir. Etkilenen afetzede sayısına bakıldığında da Kayseri, Nevşehir, Niğde, Erzurum ve Karaman öne çıkmaktadır. Kaya düşmesi olayları ülkenin tamamında görülmekle birlikte, göreceli olarak, karasal iklimin hüküm sürdüğü, gece-gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu, dolayısıyla fiziksel aşınmanın etkin gözlendiği, Kayseri, Nevşehir, Niğde civarındaki volkanik birimlerde yoğunlaşıyor.

Kaya Düşmesi, eğimli yamaçlarda bulunan büyük kaya bloklarının, dış olayların etkisiyle düşmesi olayıdır. Doğa koşulları ile aşınma ve ayrışmaya uğramış tüf kaya blokların, altında gevşek tüfler bulunan bazalt tabakaları veya killi bir tabaka üzerinde bulunan kalker tabakaları, kaya düşmesi olaylarının sık sık görüldüğü yerlerdir. Aşınmaya dayanıksız kısmın aşınmasıyla altı boşalan tabakalarda oluşan büyük çatlaklar zamanla donma, çözülme ve güneşlenmenin etkisiyle giderek büyür, böylece parçalanan kayaçlar yamaç aşağı düşer veya yuvarlanırlar. Kaya düşmesine neden olan başka bir olayda sarsıntıdır. Depremlerin doğurduğu sarsıntılar, peşinden çok sayıda kaya düşmesini getirir. Dünyanın her yerinde olduğu gibi ülkemizde de her yıl çok sayıda kaya düşmesi olayı meydana gelmektedir. Yerleşim merkezlerinde olan kaya düşmeleri, ev veya iş yerlerinde hasarlara zaman zaman ulaşımın aksamasına ve insan ölümüne neden olmaktadır. Ülkemizde kaya düşmesi olayı en fazla İlkbahar ve Kış mevsiminde meydana gelmektedir. Bunun nedeni bu mevsimde kaya çatlakları içinde suyun bulunması ve sık sık donma çözülmeye uğramasıdır.



a)



b) c)

Şekil 3.2 Kayseri-Talas da tüf kayası düşmeleri (a,b ve c)

3.7. Volkanik Cüruflar ve Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufu

Bu çalışmada, Kayseri Yılanlı dağından (1640 m) çıkarılan, zemin boyutunda (60mm-0,002mm) bulunan Piroklastik malzemelerin Kayseri-Kahramanmaraş bölünmüş karayolu yapım projesi, Kayseri-Yozgat duble yol projesi ve geniş hacimli dolgu projeleri gibi pek çok diğer projelerde ve esnek üst yapılı yollarda alt temel dolgu malzemesi olarak kullanım alanları araştırılmıştır.

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 tüf kayaç türüdür. Volkanik cüruf agregalara, mineralojik ve petrografik yapısı nedeniyle scroria da denilebilmektedir. 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 ortamdan uzaklaşması ve ani soğumaya bağlı olarak meydana gelmiştir. Düzensiz şekilli ve farklı dane boyut dağılımlarına sahip kırıntılardan oluşmuş ve yüksek demir içeriğinden dolayı kırmızı bir renge sahiptir. Özellikle oksidasyonun etkisiyle daha ziyade kırmızı, kahverengi ve bazalt karışımlarından dolayı yer yer gri-siyah tonlarında malzemeler görülebilmektedir.

Kimyasal bileşim açısından, volkanik kökenli bazı kayaçlar için belirtilen majör elementlerin farklılık gösterdiği gözlenebilmektedir. Volkanik olaylar sonucu oluşmuş, boşluklu ve gözenekli bir yapıya sahip olan cüruf oluşumları, volkanik faaliyetlerin bulunduğu dünyanın birçok bölgesinde bulunmaktadır. Volkanik cürufların kimyasal bileşiminde (verilen değerler ortalama değerlerdir); % 45,66 SiO_2, % 15,70 Al_2O_3, % 10,73 Fe_2O_3, % 8,84 CaO, % 11,92 Na_2O+K_2O, % 5,90 MgO ve %0,04 SO_3 bulunmaktadır. Volkanik cürufların rengi kırmızımtırak, kahverengi ve siyah olabilmektedir. Avrupanın birçok bölgesinde (Avusturya, Fransa, Almanya, İtalya) bulunan volkanik cüruflar, silika-aluminaalkalin bir kayaçtır (Venuat, 1980).

Volkanik cürufların, makroskopik özellikleri üzerine yapılan incelemelerde süngerimsi yapıda ve boşluklar birbirinden bağımsız gözenekler halindedir. Diğer bir değişle gözenekleri birbiriyle bağlantısız boşlukludur. Bu özellikleri sebebiylede ısı ve ses izolasyonu sağlayan bir karakteristik göstermektedir.

Ülkemiz, bu kayaç oluşumu ve ekonomik olarak değerlendirilebilirlik bakımından önemli bir yere sahiptir. Özellikle, İç Anadolu, Ege Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi'nin bazı illerinde, oldukça geniş oluşumlara rastlamak mümkündür. Bu iller arasında Kayseride de doğal volkanik cürufdan oluşmuş dağlar mevcudtur. Özellikle, Kayseri'de bulunan Yılanlı dağı (1640 m) tamamen krırıntılı (Zemin boyutunda daneli) volkanik cürufdan meydana gelmiştir. Bu volkanik cüruf oluşumlarının endüstriyel olarak değerlendirilebilirliği göz ardı edilemeyecek boyutlardadır.

BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOT

4.1. Giriş

Bu bölümde, Kayseri'deki kaya tüflerinin coğrafik konumu tanıtıldıktan sonra, statik ve dinamik özellikleri, arazi ve laboratuar deneylerinden elde edilen verilere dayanarak belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra, Kayseri kaya tüflerine yapılan deneylerden elde edilen geoteknik parametrelerin birbirleri arasındaki ilişkiler belirlenerek kolayca ölçülebilen özelliklerinden, diğer bazı özelliklerinin tahmini için korelasyon, doğrusal regrasyon, doğrusal olmayan reğrasyon ve yapay zeka tekniklerine dayalı yöntemler incelenmiştir. Son olarak agrega boyutundaki Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufunun, esnek üst yapılı yollarda alt temel dolgu malzemesi olarak kullanımı için uygulanan zemin deneyleri anlatılmıştır.

4.2. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu

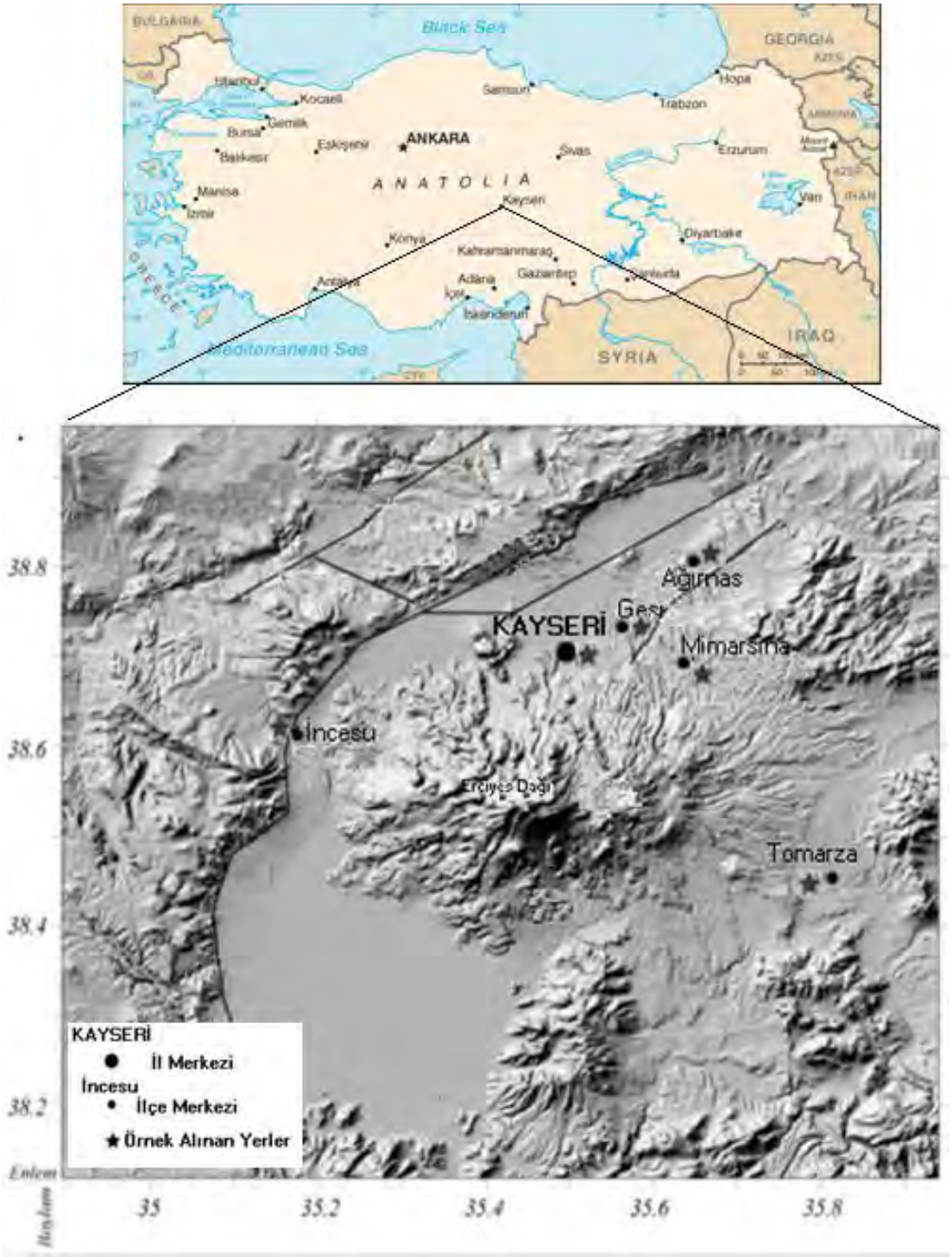
İnceleme alanı, Orta Anadolu'da Kayseri'nin il sınırları içinde, şehir merkezi, Talas, Gesi, Ağırnas, İncesu ve Tomarza bölgelerini içeren geniş bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1.1).

Kayseri'nin adeta sembolü olmuş ve "Kayseri" ismiyle bütünleşmiş olan 3917 m. yüksekliğindeki Erciyes Dağı ile birlikte Kapadokya bölgesinde bulunan Melendiz dağı (1898 m.) ve Hasan dağı (3268 m) jeolojik devirlerde aktif birer volkandı. Bu volkanla birlikte diğer çok sayıdaki volkanların püskürmeleri Üst Miyosende (10 milyon yıl önce) başlayıp, holosene (günümüzden 2000 yıl öncesine) kadar sürmüştür.

Neojen gölleri altındaki yanardağlardan çıkan lavlar, plato, göller ve akarsular üzerinde 100-150 m kalınlığında farklı sertlikte tüf tabakasını oluşturmuştur. Bu tabakanın bünyesinde tüften başka tüffit, ignimbirit tüf, lahar (volkanik çamur), volkan külü, kil, kumtaşı, marn, aglomera ve bazalt gibi jeolojik kayaçlar da bulunmaktadır.

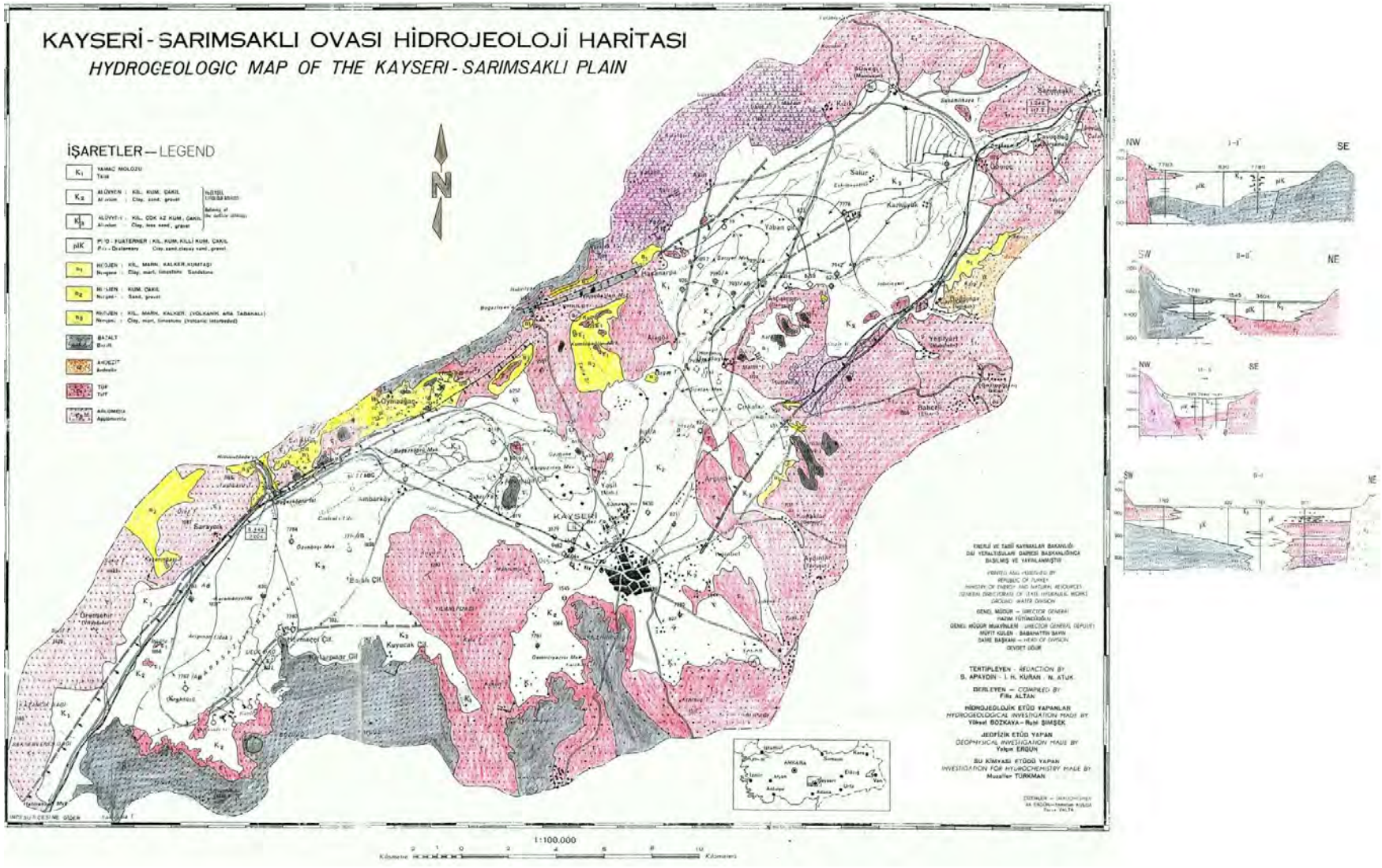
Dünyanın en eski şehirlerinden biri olan Kayseri (eski Mazaka-Kaisareia) klasik çağlarda Kapadokya adı verilen bölgededir. Günümüzde Kapadokya Bölgesi Nevşehir, Aksaray, Niğde, Kayseri illerinin kapladığı geniş bir alandır. Fakat peribacası adı verilen ilginç oluşumlardan dolayı Uçhisar, Göreme, Avanos, Ürgüp, Derinkuyu, Kaymaklı, Ihlara ve yakın çevresi turistik Kapadokya bölgesi olarak bilinmektedir. Şehir merkezi, 1055 m yüksekliğindeki Kayseri ovası (Sarımsaklı ovası) üzerine kurulmuştur. Kayseri ovası; Kayseri ili merkez olmak üzere kuzey - doğuda Sarımsaklı köyünden başlayarak, güney-batıda İncesu ilçe merkezine kadar, kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanır ve yaklaşık 350 km^2'lik bir alanı kaplar. (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2)

Bu çalışma, İç Anadolu Bölgesinde Kayseri il sınırları içerisinde yer almaktadır. Erciyes volkanik topluluğu farklı evrelerde değişik özelliklerde tüfler meydana getirdiğinden, Kayseri kayaç tüflerini incelemek için birimin en iyi görüldüğü Talas, Gesi, Ağırnas, Tomarza ve İncesu civarları seçilmiştir.



Şekil 4.1. a) Türkiye Haritasında Kayseri

b) İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli. (Koralay ve diğ., 2009' dan değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 4.2:Kayseri şehir Merkezinin yerleştiği 1055 m yüksekliğindeki Kayseri ovasının (Sarımsaklı ovası) tüf bölgelerini gösteren jeolojik harita. (D.S.İ. arşivinden alınmıştır)

4.3. Numunelerin Deneylere Hazırlanması

Çalışma alanı içerisinde Ağırnas, Gesi, Talas, Tomarza, ve İncesu civarında beş farklı bölgeden alınan kaya tüfü örnekleri Erciyes Üniversitesi Zemin ve Kaya Mekaniği laboratuarında bir test programı ile TS699 (2009) ve ISRM (1987) standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Numuneler araziden alırken, numune alım kurallarına azami dikkat gösterilmiş ve özellikle numunenin kaya kütlesini ve formasyonun özelliklerini içermesine özen gösterilmiştir. Test edilecek tüfün mekanik davranışının ve özelliklerinin belirlenmesi için blok numunelerden karot alma makinası ve karot ucu kesme cihazlarıyla örnekler hazırlanmıştır. Uzunlukları birbirinden farklı kesilmiş bu numunelerin uçları düzeltilip zımpara ile parlatılarak deneye hazır hale getirilmiştir. (Şekil 4.3). Bunların sağlam ve çatlaksız olanları seçilmiştir. Çapları 50 mm ve 54 mm olan iki farklı elmas karot ucu kullanılarak, boy/çap oranı 2.0-2.5 olacak Şekil de 800'e yakın silindir numune hazırlanmış ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



a. Milwaukee Karot Makinesi 2800 W Dcm 2 -250 C ile NX boyutlu Elmas karot ucu kullanarak karot alımı b. Karot ucu kesme, düzeltme ve parlatma masası

Şekil 4.3. Tüf Örneklerin Hazırlanması



Şekil 4.4. Kayseri tüflerinden elde edilen, çeşitli çap ve boylardaki silindir numuneler (Gesi, Ağırnas, Talas, İncesu ve Tomarza)

Not: Numunelerin isimlendirilmesinde bazı kısaltmalar kullanılmıştır. Bunlar, BB (Beyaz Benekli) Ağırnas, S (Siyah) Tomarza , TK (Tomarza kırmızısı), G Gesi (Gri), SB (Siyah Benekli) Tomarza, TP (Tomarza pembesi), İ İncesu (kırmızı), T (Talas), TS (Tomarza sarısı) , K (Tomarza Kahvesi), TB (Tomarza beyazı), TV (Tomarza Vişne) dir.

4.4. Laboratuvarda Yapılan Deneyler

Tüf bloklarından oluşan kayaç malzemesinin, indeks ve dayanım özelliklerinin bulunması için çeşitli deneyler yapılmıştır. Bunun yanında, Kayseri tüflerinin süreksizlik ve dayanım özelliklerinin belirlenmesi için arazi(in-situ) deney yöntemleri de uygulanmıştır. İndeks ve dayanım deneylerini yapmak amacıyla Kayseri ve ilçelerinden alınan tüf bloklarından, yaklaşık 800 civarında silindir karot numune hazırlanmıştır.

İndeks özellikleri için, Kayseri tüf numuneler üzerinde, su içeriği tayini, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılmıştır. Donma çözülme ile ıslanma-kuruma deneyleri (ASTM ve TS'ye göre) yapılarak, donma çözülmenin ve Islanma-Kurumanın, Kayseri tüflerinin diğer mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Deformasyon Özellikleri için tek eksenli basınç, üç eksenli basınç, elastisite poisson Oranı Tayini, Brazilian dolaylı çekme, Nokta yük dayanımı ve Schmidt çekici deneyleri yapılmıştır.

İndeks özellikler ile dayanım ve deformasyon özellikleri arasında oldukça yüksek korelasyonların elde edilebileceğini gösteren çalışmalar literatürde vardır. Doğru indeks deneylerin seçilmesi koşuluyla, kökenine bakılmaksızın, birbirine yakın indeks parametrelerine sahip kayaçların, benzer mühendislik davranışı göstermeleri beklenir. Ayrıca indeks özelliklerin tayininde kullanılan deney yöntemleri, basit, ucuz ve kısa sürede gerçekleştirilebilen yöntemler oldukları için, yaygın olarak tercih edilirler. Bu avantajları nedeniyle çok sayıda indeks deney, kayaçlardaki yanal ve düşey yönlerdeki değişimlerin değerlendirilmesi açısından da yararlıdır. Kayaçların tek eksenli ve çevre basınçlı/ üç eksenli sıkışma koşulları, çekme ve kesme kuvvetleri altındaki davranışları ve bunlarla ilgili parametreler ise, mühendislik tasarımında dikkate alınan girdi parametreleridir (Ulusay, 2005).

Kaya mekaniği uygulamalarında kaya kütlelerinin yerindeki davranışlarının tayinine yönelik çalışmalara verilen önem günümüzde giderek artmıştır. Hızla gelişen teknolojiye koşut olarak, çok sayıda arazi deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bununla birlikte, gerek kayaların mühendislik sınıflamasında, gerekse tasarımında esas alınan parametrelerin bulunmasında laboratuar deneyleri de önemini korumaya devam etmektedir (Ulusay, 2005).

4.4.1. İndeks özellikleri (Birim hacim ve özgül ağırlıklar, porozite, su emme v.s)

Su içeriği, kayaç örneklerinin içerdiği suyun ağırlığının belirlenerek, etüvde kurutulmuş örneklerin ağırlığına oranının % si olarak ifade edilmiştir.

$$w(\%)=(W_{yaş}-W_{kuru})*100/W_{kuru} \quad (4.1)$$

Tüflerin su emme yüzdesi (TS 699'da Tüfün ağırlıkça su emme yüzdesi olarak kullanılıyor), tüf numunelerin 2 gün suda bekletilmesiyle suya doygun kabul edildiği durumdaki su içeriğidir. Suya tam doygun durumdaki tüfün su içeriği de denebilir.

Tüfün ağırlıkça su emme yüzdesi, $w(\%)=(W_{yaş}-W_{kuru})*100/W_{kuru}$ (4.2)

Hacimce Su emme (yüzdesi) , $w=(W_{yaş}-W_{kuru})*100/(W_{yaş}-W_{Batık})$ (4.3)

Burada,

$W_{Yaş}$=Suya doygun kabul edilen (Suda 2 gün Bekletilmiş) tüfün ağırlığı (gr)

W_{kuru}= Silindir şeklindeki tüfün değişmez kütleye kadar kurutulmuş ağırlığı (gr)

$W_{batık}$= Suya duygun kabul edilen silindirik tüfün su içindeki Ağırlığı (gr)

Özgül Ağırlık, 50 ml Piknometre yöntemiyle yapılmıştır. Hava alma işleminde vakum pompası kullanılmıştır. Özgül ağırlık (Gs) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$G_s = \frac{(w2-w1)}{(w4-w1)-(w3-w2)} \quad (4.4)$$

Burada,

w1=Piknometrenin Boş Ağırlığı (gr)

w2= Piknometre+10 no.lu elekten geçecek Şekil de öğütülmüş tüfün ağırlığı (gr)

w3=Piknometre+tüf+su ağırlığı (gr)

w4=Sadece su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)

Birim Hacim Ağırlık, Silindir örneklerinin çapı (D) ve boyu (L), kompasla birbirine dik iki ayrı yönde, 0.1 mm duyarlılıkta ölçülüp ortalaması alınarak hacimleri hesaplanmış ve ağırlıkları 0.1 gr hassasiyetle tartılarak belirlenmiştir. Ağırlığın hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır. Birimi gr/cm^3 veya kN/m^3 dür. Tüm deneylerde ISRM (1981) tarafından belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Kuru (oda kurusu), doğal (naturel, arazideki) ve doygun (suya tamamen doygun) birim hacim ağırlıklar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\gamma_{kuru} = \frac{W_{kuru}}{V_{Tüm}} \quad \text{Kuru Birim Hacim ağırlık,} \tag{4.5}$$

$$\gamma_{n} = \frac{W_{Arazi}}{V_{Tüm}} \quad \text{Doğal Birim Hacim Ağırlık,} \tag{4.6}$$

$$\gamma_{Doygun} = \frac{W_{Doygun}}{V_{Tüm}} \quad \text{Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık} \tag{4.7}$$

Kayseri tüflerine yapılan indeks deneylerinin sonuçları toplu olarak 5. bölümde verilmiştir.

4.4.2. Elastisite modülü (Young's modules) ve Poisson oranının bulunması

Elastisite modülü ve poisson oranı kayaçların başlıca deformasyon özellikleridir. Kayseri tüflerinden silindirik Şekil li sağlam tüf kaya karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda "gerilim-birim deformasyon" eğrilerinin çizilmesiyle, tüfün Young modülü ve Poisson oranı bulunmuştur. Aşağıda verilen deney yönteminde, ağırlıklı olarak ISRM (1981)'nin önerileri dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada, yükleme presi, Ele LVDT (elektronik birim deformasyon ölçer), 120 ohm dirençli birim gerinim pulları (strain gauges) ve bağlantı terminalleri, gerinim pulu ve LVDT den gelen elektronik sinyalleri alan Testbox1001 marka 8 kanallı veri toplama cihazı (data logger), Ele marka yük hücresi (load cell), bu sinyalleri anlamlı sonuçlara dönüştüren yazılım ve yazılımın kurulacağı bir bilgisayardan oluşan deney düzeneği kullanılmıştır (Şekil 4.7).

Tüflerin elastisite ve poisson oranı 2 farklı deney yöntemiyle bulunmuştur.

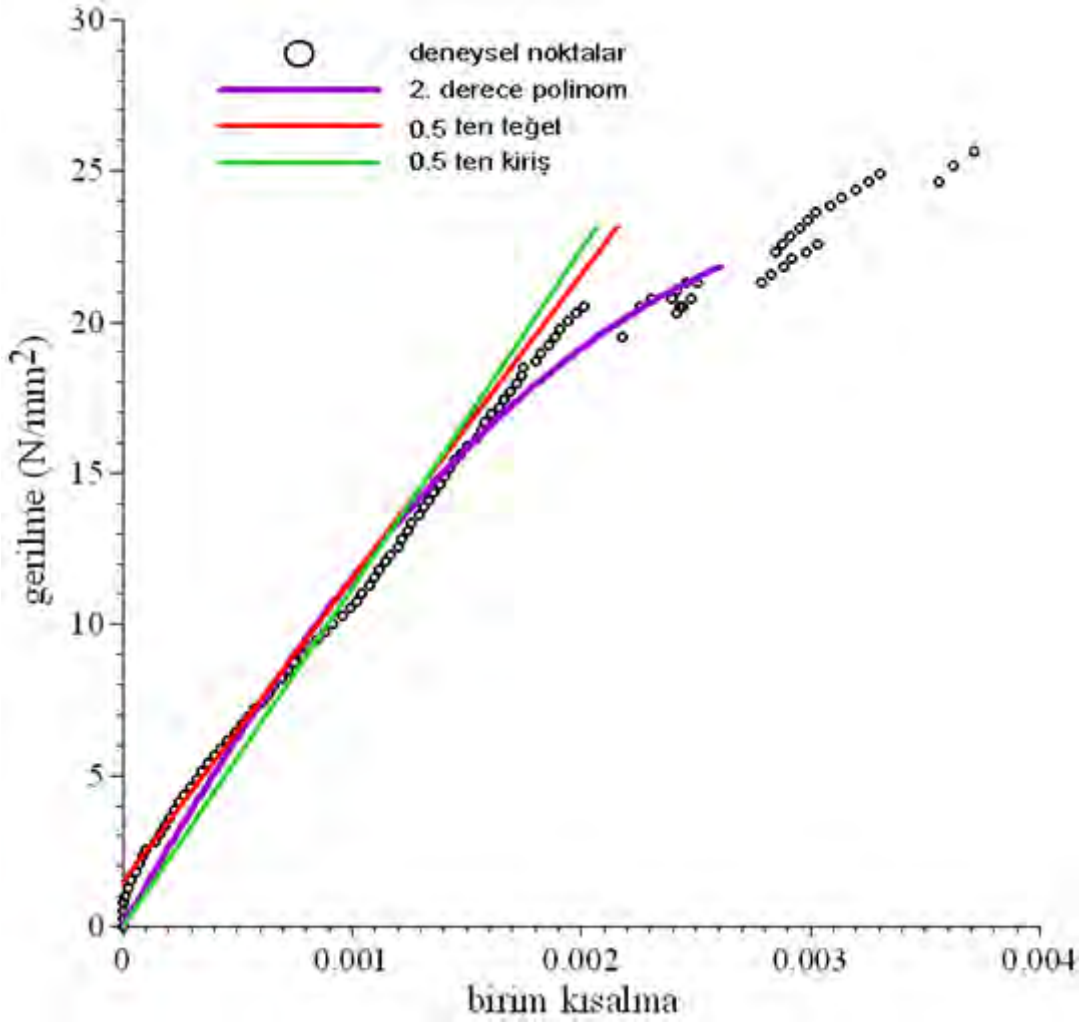
a) Kompresometre deney düzeneği kullanılarak, (Deformasyon çeketi veya ölçüm çerçevesi) Kayseri tüf örneklerinden 15 cmX30 cm silindir karotlar hazırlanarak yapılmıştır. Bu yöntemde, her bir tonluk düşey yük artışı sonunda, numunenin ortasına bağlı biri düşey biri yatay olan analog deformasyon göstergelerinden okumalar alınmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Kayseri tüflerinin Kompresometre ile Elastisite modülü ve Poisson oranı deneyi

Bu Şekil de yapılan deneylerde İncesu tüfünün 15x30 cm lik silindir numunenin basınç dayanımı = 25,7 N/mm2 (MPa) bulunmuştur. Toplam 112 adet noktadan M adedine uydurulan Gerilme (N/mm2) = A*(Birim kısalma) + B*(Birim kısalma)^2 biçimindeki 2. derece polinomların katsayıları ve determinasyon katsayıları hesaplanarak grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.6)

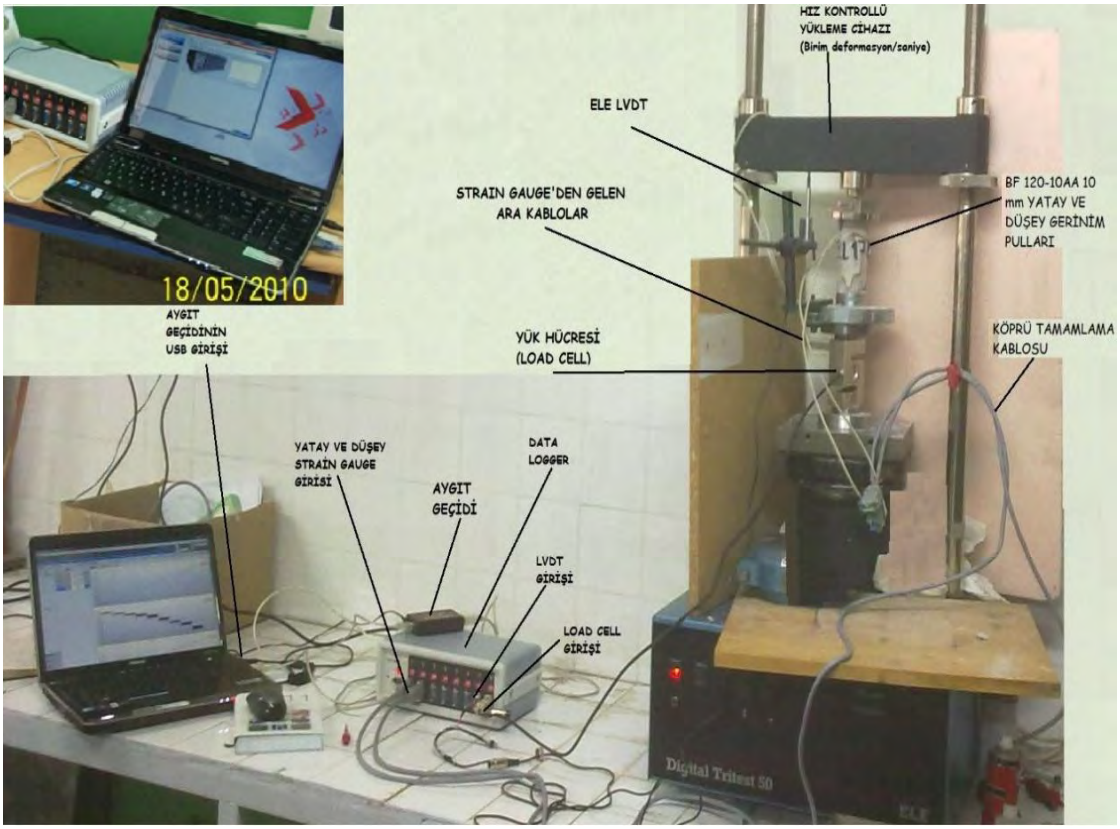
Tanjant Elastisite Modülü = 10050 N/mm2 (MPa)=10 GPa
Kiriş Elastisite Modülü = 11229 N/mm2 (MPa)=11,2 GPa bulunmuştur.



Şekil 4.6. 15x30 luk silindir numunenin kompressometre deneyi datasına göre oluşan (gerilme) – (birim kısalma) diyagramı ve deneysel noktalara uydurulan 2. derece polinom

Not: Basınç mukavemetinin %50 ından çizilen teğetin eğimi Elastisite Modülü olarak alınmıştır.

b) Kaya yüzeyine strain gauge yapıştırılarak, yanal ve eksenel birim deformasyonların ölçümünde 120 ohm elektrik direnç tipi gerinim pulları (strain gauges) kullanılmış ve deformasyon ölçme noktaları numune boyunun ortasında ve numune çevresinde eşit aralıklara ayarlanmıştır. Yatay ve eksenel strain gauge karot üzerine yerleştirilirken düşeylerin ve yatayların karşılıklı olmasına dikkat edilmiştir. Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi destekli olarak alınan TESTBOX 1001 isimli Data-logger bu çalışma için kullanılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Elestisite modülü ve poisson oranı bulunması için deney düzeneği

Standartlara göre, deformasyon ölçümlerinde kullanılan strain gaugelerin boyu ile numuneyi oluşturan minerallerin dane boyu arasında da bir ilişki vardır. Strain gauge boyu kayacı oluşturan minerallerin dane boyunun 10 katı olmalıdır. Standardlarda belirtilen kurallara uygun olarak deneylerde 1cm ve 2 cm uzunluğunda gerinim pulları kullanılmıştır.

Uygulama aşamasında, tek eksenli sıkışma dayanımı deneyindeki gibi, boy/çap oranı 2.5-3.0 arasında olacak Şekil de, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz, düz ve herhangi bir kırık-çatlak içermeyen karot örnekleri hazırlanmıştır. Hava kurusu durumunda olan örneklerle deneyler yapılmıştı. Deney örneği prese yerleştirildikten sonra, gerinim pulunun uçları bağlantı kabloları aracılığıyla veri toplama cihazının (data logger) iki ayrı kanalına bağlanmıştır. Data logger'ın diğer iki kanalına ise düşey yükü gösteren yük hücresi ve düşey kısalmayı gösteren LVDT bağlanmıştır.

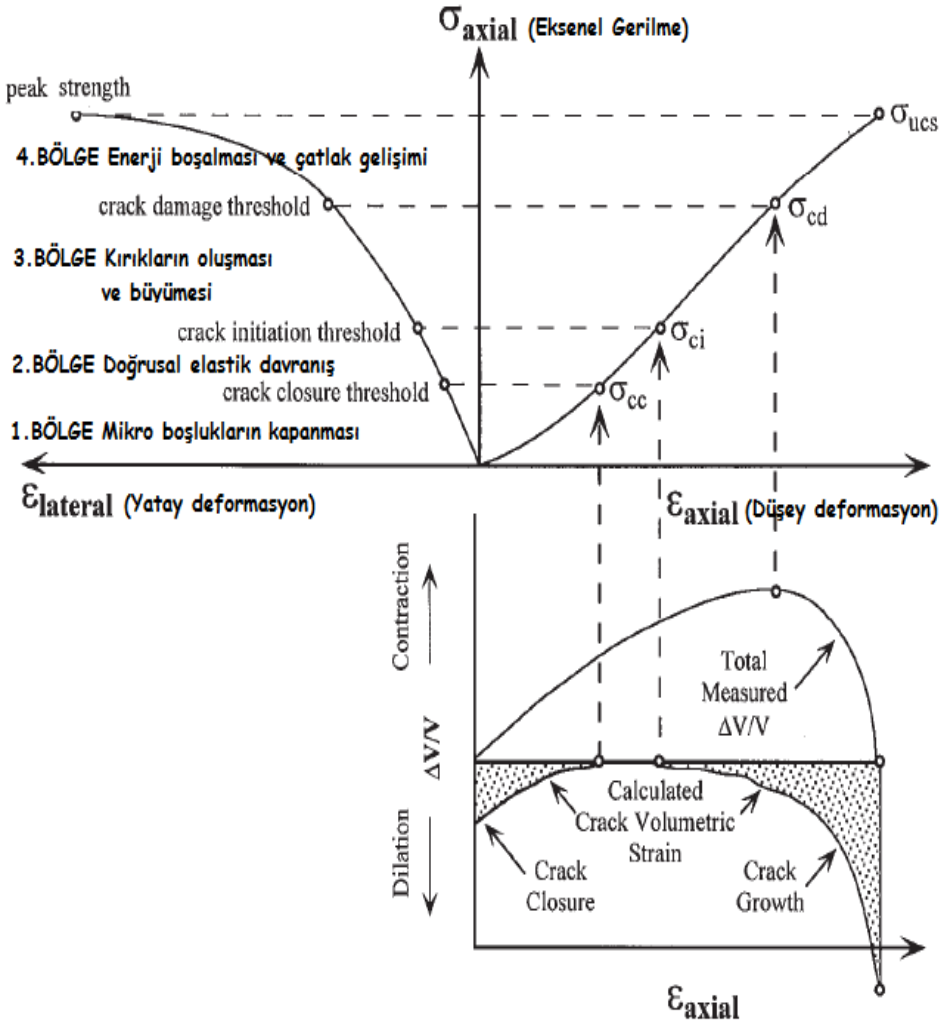
Böylece, sekiz kanallı TESTBOX 1001 isimli data-logger'ın dört kanalı kullanılmış ve bu kanallar sıfırlanarak deneye başlanmıştır. 5 ile 10 dakika arasında yenilmesini sağlayacak bir yükleme hızı (10^{-5}-10^{-4} arası birim deformasyon/saniye hızında) seçilerek örnekler kırılmıştır. Gerinim pullarının (strain gauge) ve yük hücresinin (Load Cell) bağlı olduğu kanallardan; belli bir deformasyona karşılık gelen eksenel (düşey) yük değerleri yazılım sayesinde bilgisayara otomatik kaydedilmiştir.

Eksenel birim deformasyon ($_a$)= $\Delta L/L_0$ eşitliğinden bulunur. Burada, Δl örneğin ekseni boyunca uzunluktaki değişimi (boydaki kısalma pozitif olarak tanımlanır), l_o ise deney öncesi örneğin orijinal eksenel boyudur. Çapsal (çevresel) birim deformasyon ($_d$), $_d = \Delta D/D_0$ eşitlikten hesaplanır. Burada, ΔD çaptaki değişim (çaptaki artış negatif olarak tanımlanır) ve D_o ise örneğin deney öncesindeki (orijinal) çapıdır. Gerilimler (σ), her okuma aralığında kaydedilen P yük değerleri ve örneğin başlangıçtaki kesit alanı (A_o) esas alınarak, $\sigma = P/A_0$ ifadesinden hesaplanır. Gerilme (σ)-eksenel birim deformasyon ($_a$) ve gerilme (σ)-çapsal birim deformasyon ($_d$) grafikleri çizilir. Young Modülü, eksenel gerilimin eksenel birim deformasyona oranı olup, dört farklı yöntemle hesaplanır. Bu çalışmada elastisite modülü olarak tanjant modülü (E_t) kullanılmıştır. Teğet (tanjant) modülü (E_t), kayacın tek eksenli sıkışma dayanımının %50'si gibi sabit bir gerilim değerinde σ- $_a$ eğrisine teğet olan doğrunun eğimidir (Şekil 2.4b).

Poisson oranı (ν), eksenel yükleme koşulunda $\nu = _a/ _d$ ifadelerden hesaplanır. Burada ν çapsal birimdeformasyon/eksenel birimde formasyondur. Belirli bir gerilim düzeyi için hacimsel birim deformasyon ise (dilatasyon) ($_v$) = $_a + 2 _d$ eşitliğinden hesaplanır.

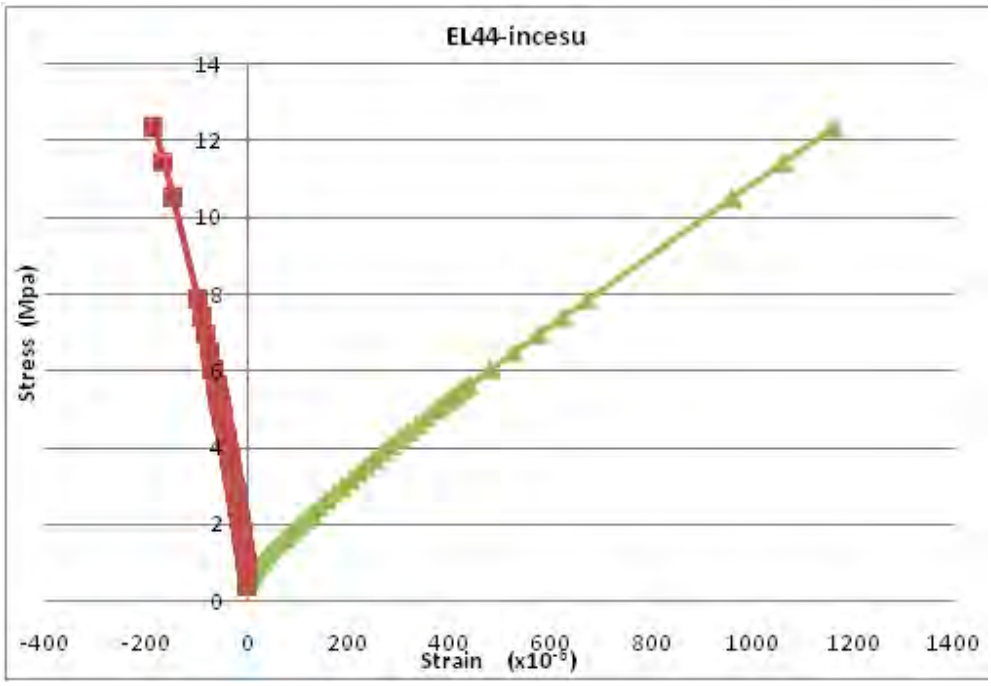
Tüm deneyler için laboratuarda, 800 civarında silindir karot örnekler hazırlanmıştır. Ancak, Kayseri tüflerini temsil edebilecek, geçerli kabul edilen deneylerler sonunda 575 örneğin elastisite modülü hesaplanabilmiştir. Bunlardan 80 örneğe gerinim pulları bağlanarak elastisite ve poisson değerleri bulunmuştur. Geriye kalan 495 adet numunenin elastisite modülleri ise sadece LVDT (düşey deplasman ölçer) kullanılarak hesaplanmıştır.

Eberhardt vd. (1998) çalışmalarında, Şekil 4.8'de verilen bölgeleri tanımlamışlardır. Boşluklu, camsı ve gevrek bir yapıya sahip Kayseri tüflerinin gerilme-Şekil değiştirme grafikleri de benzer davranışlar göstermiş ve aşağıda tanımlanan bölgelerin olduğu gözlenmiştir.

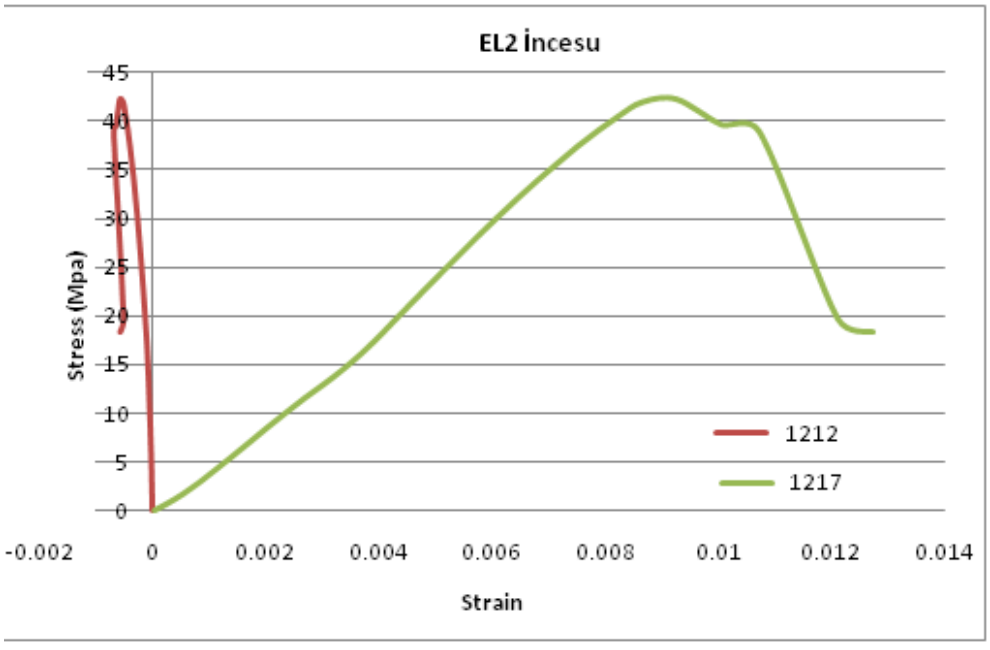


Şekil 4.8. σ_{cc}, σ_{ci}, σ_{cd} ve σ_{ucs} kritik gerilmeleri altında oluşan deformasyonlar (Eberhardt vd., 1998)

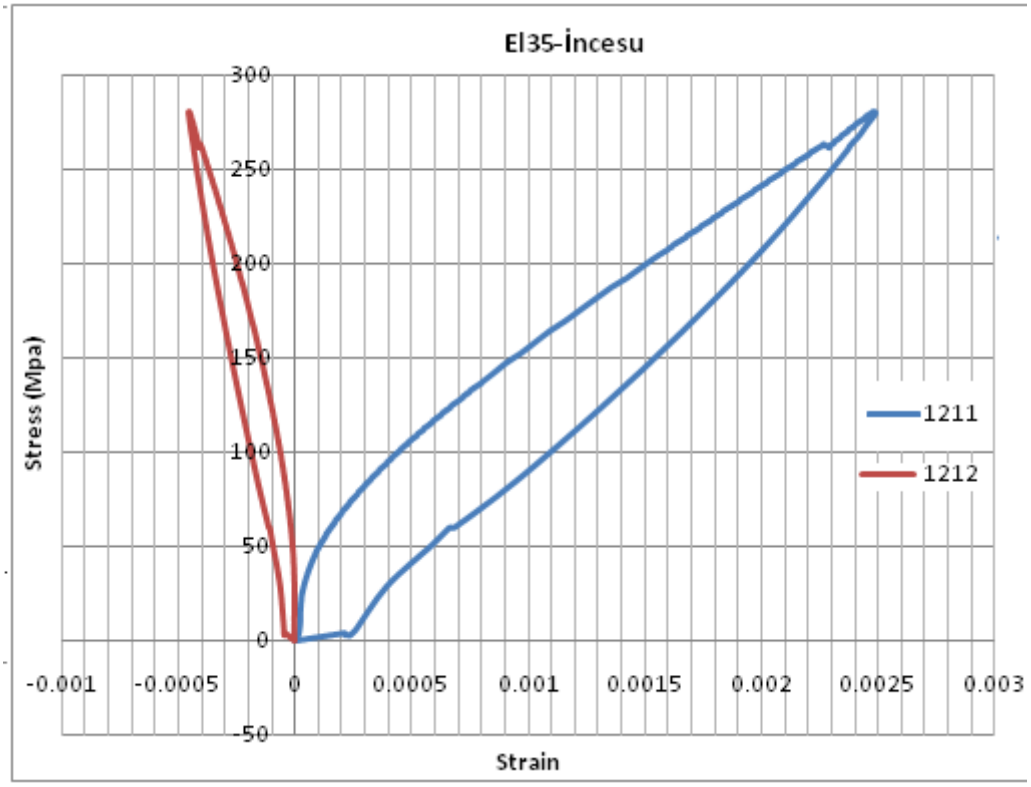
Kayseri Tüflerinin gerilme birim deformasyon davranışlarına örnekler aşağıda verilmiştir.



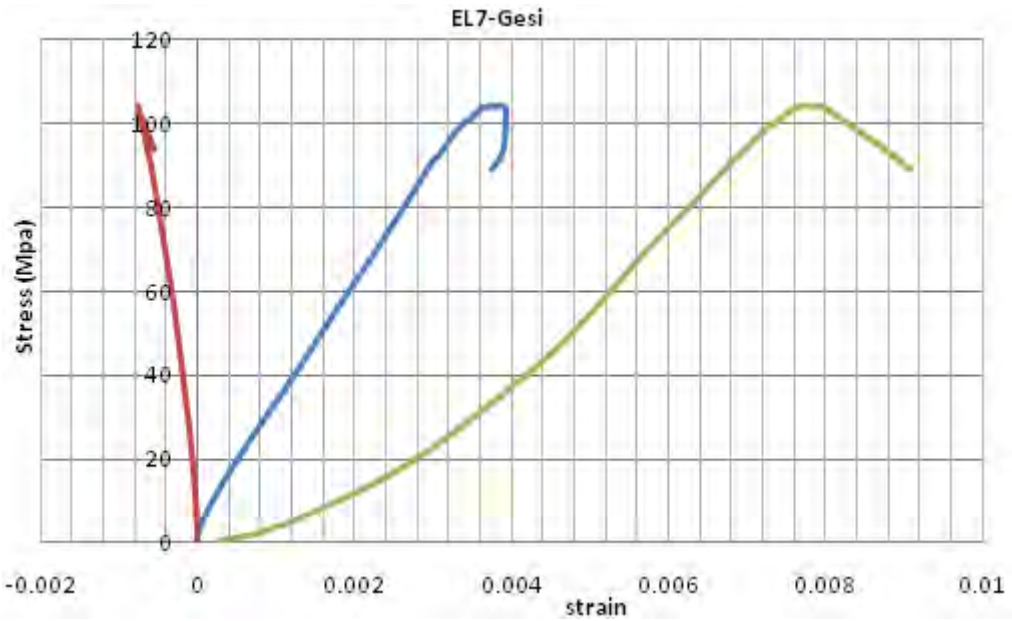
Şekil 4.9. Kayseri İncesu tüfünün gerilme-yanal (sol taraf daki) ve eksenel (sağ tarafdaki) deformasyon grafiği (her ikiside strain gauge ile bulunmuştur)



Şekil 4.10. Kayseri İncesu tüfünün gerilme-yanal ve eksenel deformasyon grafiği. (1212 yanal deformasyonu göstermekte ve strain gauge ile bulunmuştur, 1217 ise eksenel deformasyonu göstermekte LVDT ile bulunmuştur)



Şekil 4.11. Kayseri İncesu tüfü yükleme boşaltma eğrisi (1211:Eksenel deformasyon strain gauge ile 1212:Yanal deformasyon strain gauge ile bulunmuştur)



Şekil 4.12. Kayseri İncesu tüfü gerilme-yanal ve eksenel deformasyon grafiği (Soldaki yanal deformasyon strain gauge ile, ortadaki eksenel deformasyon strain gauge ile ve en sağdaki LVDT ile bulunmuştur)

Yukarıdaki şekillerden anlaşıldığı üzere, strain gauge'lerle elde edilen birim deformasyonlar ile LVDT'den elde edilen birim deformasyonlar aynı olmamakla beraber tanjant elastisite modülleri birbirine çok yakın çıkmaktadır. Bu sonuç çok doğaldır, çünkü kaya örnek üzerine yapıştırılan stain gauge sadece 1 cm'lik alandaki değişimleri göstermektedir. Oysaki LVDT kullanılarak numunenin toplam uzunluğu boyunca yapısındaki değişimleri yansıtmaktadır.

Bu işlemler sonucunda, Kayseri tüflerine ait 575 adet çeşitli boy, çap ve birim hacim ağırlıklardaki örneklerin tanjant elastisite modülleri bulunmuştur. Bu deneyle elde edilen elastisite modülleri, Kayseri tüflerinin diğer geoteknik özellikleriyle birlikte 5. bölümde tablo ve grafik şeklinde verilmiştir..

4.4.3. Tek eksenli basınç dayanım deneyi (UCS)

Bu deney, tüflerden alınan silindirik numunelerin tek eksenli yükleme ile basma dayanımlarının tayini amacıyla yapılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (UCS), çapları 4,9 cm veya 5,3 cm olan ve boy çap oranı 2-2,5 olacak Şekil de çeşitli boylarda, herhangi bir kırık ve çatlak içermeyen sağlam silindir tüf örnekler üzerinde yapılmıştır. Kayaçların basınç dayanımının bulunması, hem sınıflama hem de tasarım açısından oldukça gereklidir.

Kayaçların basınç dayanımına etki eden jeolojik özelikler;

1. Litoloji,
2. Süreksizlik,
3. Su içeriği,
4. Çimentolanma ve kristalleşme derecesi,
5. Homojenite,
6. İzotropluk,
7. Ayrışma derecesi,
8. Yükseklik / Çap oranı (L/D için en uygun değer 2-2.5),
9. Yükleme hızı,
10. Örneğin alt ve üst yüzeylerinin parlaklığı veya pürüzlülüğü sayılabilir.

Tek eksenli basınç dirençleri boy-çap oranı 2-2.5 kat olan karot örneklerinde Şekil 4.13'de gösterilen deney aleti yardımıyla bilgisayar programlı preste yapılmıştır.



Şekil 4.13Tek eksenli basınç deney cihazı (Çelik makine 200 ton kapasiteli)

Tablo 4.1. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)

Simge	Tanım	Saha Tanımlaması	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPA)
R0	Aşırı derece zayıf Kaya	Kayanın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir	0,25-1,0
R1	Çok Zayıf Kaya	Sert bir çekiç darbesiyle ufalanan kaya, çakı ile doğranabilir.	1,0-5,0
R2	Zayıf Kaya	Kaya, çakı ile güçlükle doğranır. Çekiçle yapılan sert bir darbe kayacın yüzeyinde iz bırakır..	5,0-25,0
R3	Orta Derecede sağlam Kaya	Kaya, çakı ile doğranamaz. Sert bir Şekil de tek çekiç darbesiyle kırılır.	25-50
R4	Sağlam Kaya	Sert bir Şekil de birden fazla çekiç darbesiyle kırılır.	50-100
R5	Çok Sağlam Kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için çekiçle çok sayıda darbe gerekir.	100-250
R6	Aşırı derecede sağlam Kaya	Kaya örneği çekiç ile kırılamaz ancak yontulabilir.	>250

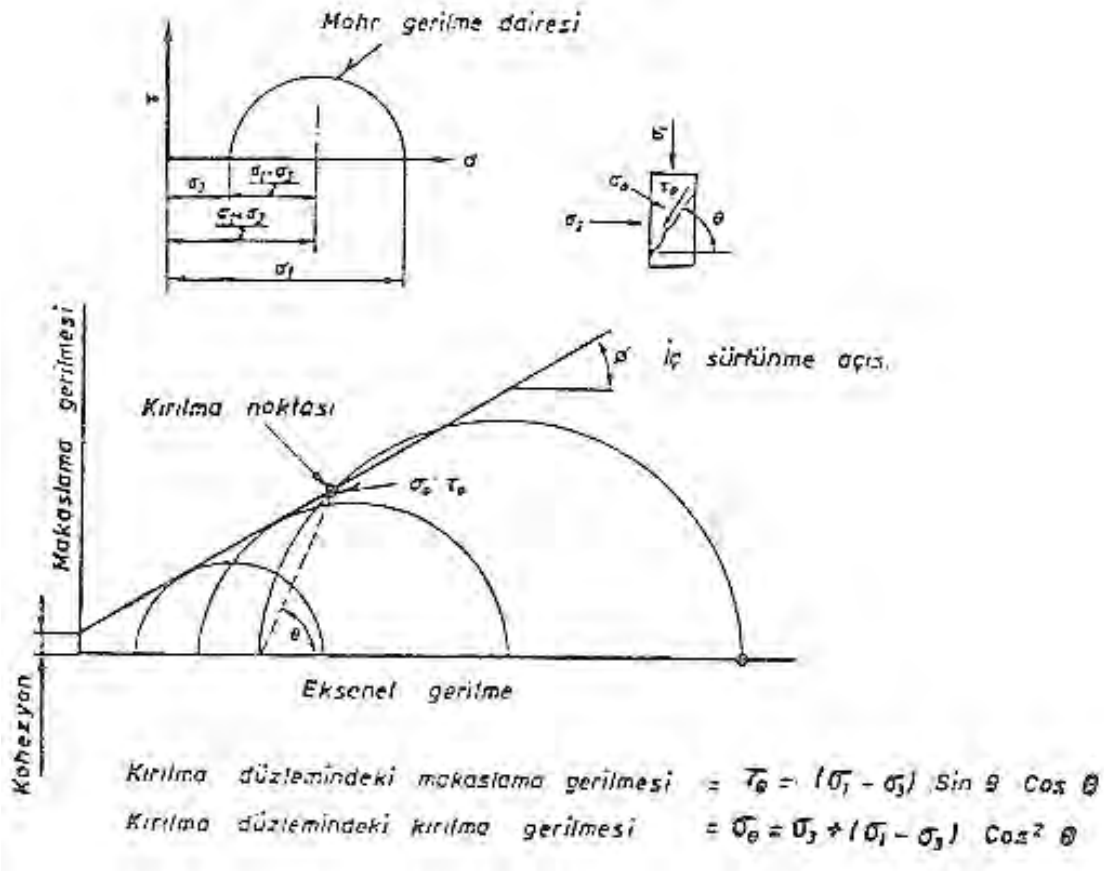
Yukarıdaki Tablo 4.1'e göre, tek eksenli basınçlara göre yapılan sınıflamada çok iyi kaynaklanmış İncesu tüfleri dışında genel olarak Kayseri tüfleri zayıf kaya grubuna girmektedir. Kayseri İncesu tüflerinin ise çok az kısmı zayıf kaya grubunda olmasına karşın büyük bir oranda orta derecede sağlam kaya grubundadır. Çeşitli boy ve çaplardaki Kayseri tüf örneklerden toplam 575 adedine tek eksenli basınç dayanım deneyi uygulanmıştır. Her deneyden önce küresel yatağın oynaklığı kontrol edilmiş ve yükleme tablaları ve deney numunesi yüzeyleri kırıntı ve tozlardan iyice silinerek temizlenmiştir. Deney numune ekseni ile küresel yatak üzerindeki tablanın basınç merkezi aynı olacak biçimde gerekli ayarlama yapılmıştır.. Numuneye uygulanacak yükün yüzeye eşit olarak dağılımını sağlamak için, oynak tabla numune yüzeyine tümüyle değecek biçimde ayarlanmıştır. Yükleme, sürekli olarak, olabildiği kadar değişmez bir yükleme hızı ile kırılma işlemi yakalşık 10 dakikalık bir süre içinde tamamlanmıştır. Numunenin tek eksenli basınç dayanımı, kırılma sırasında elde edilen en büyük yük değerinin (P) numune enkesit alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Sonuçlar en yakın 0,1 Mpa'lık bir doğrulukla gösterilip her bir deney numunesi için kayacın basınç dayanımı bulunmuştur. Deneylerden elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri, tüflerin diğer özellikleriyle 5. bölümde verilmiştir.

4.4.4. Üç eksenli basınç dayanım deneyi

Bu deney, üç eksenli gerilmeler altında tüflerin kayma mukavemeti parametrelerinin bulunması amacıyla yapılmıştır. Bu deney ile boşluk suyu basıncı dikkate alınmadan kayaların değişik yanal basınçlarda makaslama dayanımları, içsel sürtünme açısı ve kohezyon gibi geoteknik özellikleri belirlenir.

Kayseri tüflerinden elde edilen silindirik Nx çapındaki karot örnekleri üzerinde üç eksenli deneyler yapılmıştır. Yanal gerilmeler sırasıyla 3 Mpa ve 6 Mpa (veya 30 ve 60 Bar) olarak artırılmış ve pres altında düşey basınç ile kırılmıştır (Şekil 4.15). Her birinde farklı yanal basınç altında 2 numunenin kırılması sonucunda tüfler ait Mohr diyagramı her birim için elde edilmiştir. Bu diyağram üzerinde içsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri bölgedeki tüf kaya birimi için bulunmuştur. Kayseri tüflerine ait içsel sürtünme açısı ϕ ve kohezyon c değerleri 5.bölümde tablo olarak verilmiştir.

Deneyde kullanılan örneğin dairesel yüzeyi üzerinde, değişik noktalardan komperatör gezdirilerek çapları ölçülmüştür. Bunların boylarının çaplarına oranı 2-2,5 ve iç çapı 53 mm (NX karot) dir. Kayseri'tüflerini temsil eden beş bölgeye ait 1-2 tüf biriminden elde edilen bu silindir örnekler üzerinde üç eksenli deneyler yapılmıştır. Her birime ait kayma mukavemeti parametrelerinin bulunması için en az ikişer örnek kullanılarak deney tamamlanmış ve 2 Mohr dairesi çizilerek ortak doğrusal teğet bulunmuştur. Bu doğrunun yatay eksenle yaptığı açı, içsel sürtünme açısı olarak kabul edilmiştir. Zarfın dik eksenle kesişme noktasındaki değer tüfün kohezyonu olarak alınmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Mohr gerilme daireleri



Şekil 4.15. Kayseri Tüflerinin üç eksenli basınç deneyi aşamaları

4.4.5. Brazilian (Dolaylı çekme) deneyi

Disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılır. Bu yöntemle silindirik kayaç örneklerinin uçlarından sabitlenerek çekilmesi şeklinde uygulanan doğrudan çekme deneyindekine göre genellikle biraz daha yüksek çekilme dayanımları elde edilmektedir. Bununla birlikte, örneklerin deneye hazırlanması ve deneyin yapılışı açısından daha pratik olması nedeniyle Brazilian yöntemi daha yaygın Şekil de kullanılmaktadır (Ulusay vd., 2005).

Deformasyon hızı kontrollü test düzeneğinde, tüf örneklerinin test süresi 15-30 saniye arasında sürmüştür (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Brazillian deney düzeneği ile test öncesi ve sonrası örnekler

Örneğin çekilme dayanımı σ_t aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

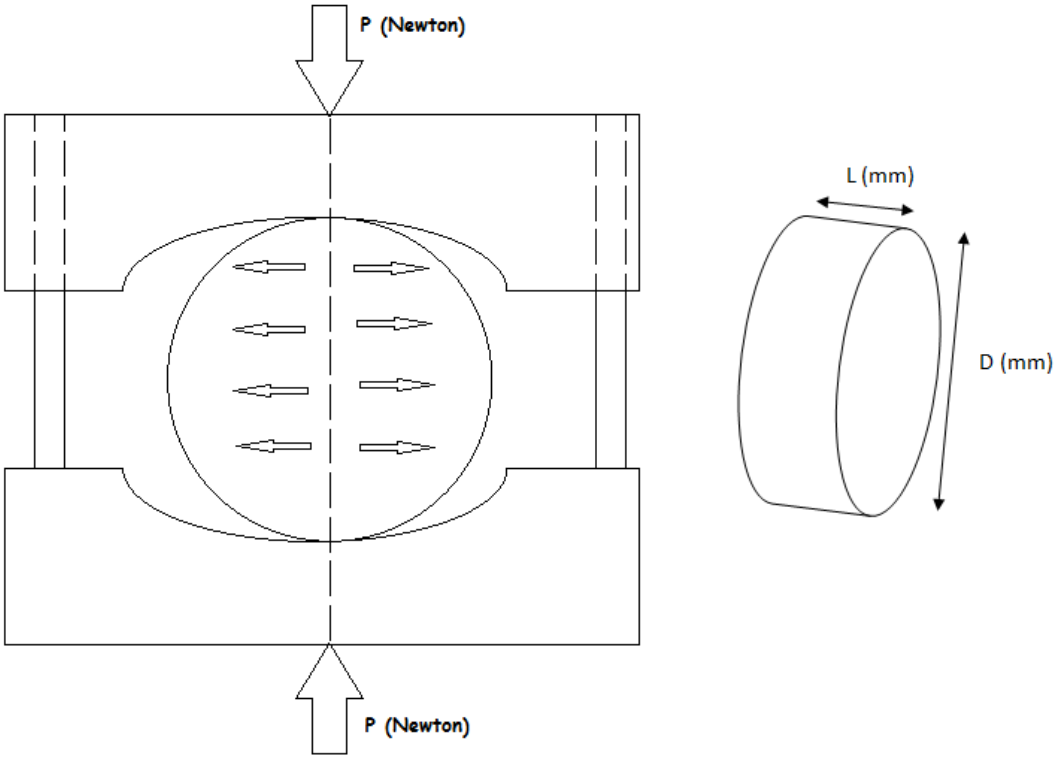
$$\sigma_t = (2P/(\pi Dt) = (0{,}636P/(Dt) \quad (4.8)$$

σ_t=Örneğin çekme dayanımı (MPa)

P = Yenilme yükü (N)

D = Örneğin çapı (mm)

L= Örneğin boyu (mm)



Şekil 4.17. Brazillian deneyinde örneğe etkiyen kuvvetler ve örnek boyutları

Deneyde kalınlık/çap oranı (L/D) 0.5-1.0 arasında olacak şekilde, sağlam ve çatlaksız karot örnekinden kesilerek disk şeklinde deney örnekleri hazırlanmıştır (Şekil 4.17). Yapılan deney sonuçları Ek Tablo 6'da verilmiştir.

4.4.6. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi

Kayaların nokta yükleme dayanım indeksi, dayanım sınıflandırılmasında, önemli dayanım özelliklerinin (tek eksenli basınç gerilmesi, çekme gerilmesi gibi) dolaylı olarak belirlenmesinde, dayanım anizotropisi indeksinin bulunmasında kullanılır.

Kayaçların nokta yükleme kuvvetlerinin indeksleri genellikle 50 mm çapındaki karot numuneleri için standart hale getirilerek I_{s50} şeklinde ifade edilir. Bu deneyde karot numuneleri tabakalaşma düzlemine dik yani eksenine ve tabakalaşmaya paralel olarak yani çapına test edilmiştir. Standart nokta yükleme aleti, yükleme pompası, yük göstergesi, gövdesi, konik başlıkları ve ölçüm cetvelinden oluşur (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Nokta yükleme deney aleti ile eksenel ve çapsal tüf örnekleri

Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen nokta yükü dayanım indeksine ($I_{s(50)}$) göre sınıflandırmalar aşağıda Tablo 4.4'de verilmiştir. Bieniawski (1973)'in yaptığı sınıflandırma yaygın olarak kullanılmaktadır.

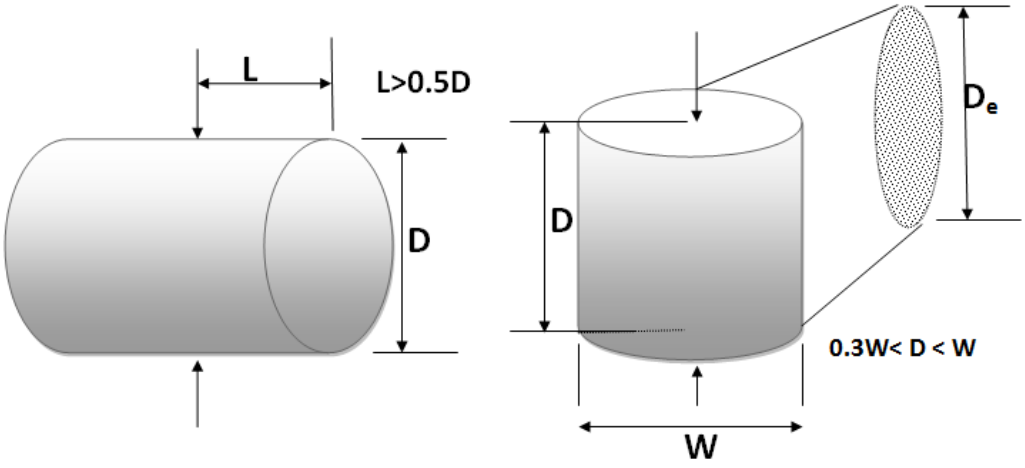
Tablo 4.2. Nokta yükü dayanım indeksine ($I_{s(50)}$) göre kaya sınıflandırması

Sınıf	Dayanım sınıfı	Bieniawski (1973)MPa	Deere (1968) MPa
A veya 1	Çok yüksek	>8	>10
B veya 2	Yüksek	4-8	5-10
C veya 3	Orta	2-4	2.5-5
D veya 4	Düşük	1-2	1.25-2.5
E veya 5	Çok düşük	<1	

Nokta yükü dayanım indeksi I_s (MPa),

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \tag{4.9}$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada, P yenilme yükü ve D_e ise eşdeğer karot çapı olup, Şekil 4.19'da gösterildiği gibi deney türüne göre hesaplanır.



Şekil 4.19. Çapsal ve Eksenel nokta yükleme deneyinde örneklerin Şekil leri

I_s'in değerinin Standard bir karot çapına (D=50 mm) göre düzeltilmesi gerekir. Düzeltilmiş I_s, $I_{s(50)}$ olarak,

$$I_{s(50)} = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} . \frac{P}{D_e^2} \tag{4.10}$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada, D_e'nin birimi mm, P'nin birimi Newton ve $I_{s(50)}$ 'nin birimi MPa olacaktır. Kayseri tüfleri üzerinde eksenel ve çapsal olarak yapılan nokta yükleme deney sonuçları Ek-Tablo 7'de verilmiştir.

4.4.7. Eğilmede çekme deneyi

Deney numuneleri taş kesme testeresi ile ıslak kesilmek suretiyle 50 mm x10 mm kesitinde 200 mm uzunluğunda hazırlanarak TS699'da belirtilen yöntemle yapılmıştır. Bunun yanında, boy/çap oranı 2-2.5 olan silindirik numuneler üzerinde de eğilmede çekme deneyi yapılarak aradaki fark incelenmiştir.
TS699'a göre 50x100x200 mm boyutlarındaki tabii yapı taşlarının eğilme mukavemeti aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır :

$$\sigma_{eğ} = \frac{3P_k l}{2bh^2} \tag{4.11}$$

Burada;
$\sigma_{eğ}$ = Taşın eğilme mukavemeti, kgf/cm^2 (N/mm^2)
P_k = Kırılmaya neden olan en büyük yük, kgf (N)
l = Deney numunesinin alt mesnetler arasında kalan boyu, cm (mm)
b = Deney numunesinin genişliği, cm (mm)
h = Deney numunesinin kalınlığı, cm (mm) dır.
Bulunan sonuçlar 1 kgf/cm^2 (0,1 N/mm^2)'ye yuvarlatılarak belirtilir.

Elde edilen sonuçlar 5.bölümde verilmiştir.

4.4.8. Kayseri tüflerinin Donma-çözülme davranışlarının deneylerle belirlenmesi

Kayseri İli'nde kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak karasal nitelikli Orta Anadolu iklimi egemendir. Yaz ile kış sıcaklık farkları zaman zaman 70 dereceleri bulmaktadır (kışın -35^{o}C ile yazın +35^{o}C gibi). Kayseri'de ki pek çok yığma kâgir yapıların, anıtların, sanat eserlerin ve tarihi eserlerin kayseri tüfleriyle yapıldığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, tüflerin bu sıcaklık farklarından dolayı aşınmaya ve ayrışmaya uğramasına neden olacak mekanizmanın iyi anlaşılması gerekir. Bu çalışmada, çeşitli suya doygunluk derecelerinindeki Kayseri tüflerinin Donma-çözülme periyodlarınından nasıl etkilendiği arazi gözlemleri ve laboratuar

deneyleriyle araştırılmıştır. Bununla birlikte bu kayaçlar ile ilgili literatürde çok az sayıda bilimsel çalışma vardır.

Bu deneyler, donma-çözülme çevrimi koşullarında, tüf kayaçların fiziksek ve makanik özelliklerinde meydana gelebilecek değişimlerin belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerdir. Deneylerin yapılmasıyla ilgili olarak Amerikan ASTM(1992b) ve Türk TS699 standartlarında verilen yöntemler esas alınarak her iki yöntemle ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuçlar Ek'de verilmiştir. Gesi ve İncesu tüfleri, Kayseri'de pek çok tarihi eserde kullanılmış ve halen bölgede tercih edilen yapı taşlarındandır.

TS 699 (1987)'e göre yapılan deneyde 111 adet numune kullanılmıştır. Deney numuneleri, değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulup oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra tartılmıştır (kuru ağırlık). Daha sonra, Gesi için Tablo 4.7 ve İncesu için Tablo 4.8'de belirtildiği gibi çeşitli derecelerde suya doygun hale getirilip poşetlenerek derin dondurucuya koyulmuştur. Soğutma hızı yaklaşık 4 saat zarfında -20°C ye düşecek Şekil de ayarlanmış ve sıcaklığının -20°C'a düştüğü gözlendikten sonra yaklaşık 2 saat. bu sıcaklıkta bekletilen deney numuneleri bu süre sonunda çıkarılarak içinde +20°C oda sıcaklığında 2 saat bekletilerek buzların tamamen erimesi sağlanmıştır. Sonra tekrar derin dondurucuya konulup -20°C a kadar soğutulmuştur. Bu Şekil de donma ve çözülme işlemi 25 kez tekrarlanmış ve örneklerde meydana gelen değişimler izlenmiştir.

4.4.9. Islanma-Kuruma deneyleri

Islanma –Kuruma deneyleri, nispeten yüksek bir su genleşme katsayısı gösteren tüf gibi kayalarda yararlı bir deneydir. Islanma-kuruma çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Bu çalışmada, 80 ıslanma-kuruma çevrimi sonucunda örneklerin fiziksel özelliklerindeki ve dayanım parametrelerindeki değişimlerde incelenenmiştir. Deney sonuçları tablo olarak 5.bölüm'de verilmiştir. Her 10 ıslanma-kuruma çevrimi sonunda örneklerin yüzde ağırlık kayıpları 5. Bölümdeki şekillerde gösterilmiştir. Bununla beraber, ıslanma-kuruma çevrim sayısının artmasıyla tek eksenli basınçlarındaki değişim de araştırılmıştır (Şekil 4.27). Kısa bir özet olarak bu deneyin yapılışında, örnekler 12 saat saf suda bekletme ve 12 saat 105^{o}C de kurutma işleminden sonra 30 dakika desikatörde bekletilerek bir ıslanma kuruma çevrimi tamamlanmıştır. Bu Şekil de Islanma-kuruma işlemi 80 kez tekrarlanmış ve örneklerde meydana gelen değişimler izlenmiştir. Her bir ıslanma-kuruma çevrimi yaklaşık bir gün sürdüğünden, bu deneyler 80 günde tamamlanmıştır. Kayseri tüflerinin ıslanma-kuruma davranışları Gesi ve İncesu tüfleri üzerinde yapılmış ve toplam 36 örnek kullanılmıştır. Bu bölümde açıklayıcı olması bakımından Gesi bölgesi tüflerinin ıslanma-kuruma davranışları detaylı olarak verilmiştir. Diğer Kayseri tüflerinden olan İncesu tüflerine ait deney sonuçları, ilgili grafikleri, numune sayı ve hazırlama aşamaları Ek'de ıslanma-kuruma başlığı altında verilmiştir.

4.4.10. Pundit ultrasonik ölçüm cihazı ile sonik hız deneyi

Kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuarlardaki tespitinde ultrasonik teknikler kullanılır. Uygulanmasının kolaylığı ve zararsız olmasından dolayı, bu yöntem tercih edilmektedir. Birçok araştırmacı kaya özellikleri ve yüksek frekanslı ses hızı arasındaki ilişki üzerinde çalışmış ve ultrasonik ses hızının kaya özellikleriyle oldukça ilişkili olduğunu bulmuştur.

Ultrasonik P dalga hızı katılarda, sıvılardakinden, sıvılarda da havadakinden daha hızlı bir sekilde yayılmaktadır. Kayaçlarda ultrasonik hız değerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan önemli olanları; kayanın tipi, dokusu, dane boyutu ve şekli, porozitesi, yoğunluğu, su içeriği, sıcaklığı ve anizotropisidir.

Bunların dısında ayrısma ve eklem özellikleri (su, dolgu malzemesi, pürüzlülük, doğrultu, eğim vb.) gibi faktörler ultrasonik hız değerini etkileyen önemli parametrelerdir (ASTM, 2005).

Bu çalışmada, tüflerin dinamik elastisite katsayıları, Pundit ultrasonik hız ölçüm cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Ultrasonik hız ölçmede kullanılan Pundit cihazı

Deney öncesinde örneklerin alt ve üst yüzeyleri düzeltilmiş ve deney aleti kendi kalibre aparatıyla kalibre edilmiştir. Örneklerin alt ve üst yüzeyleri ile cihazın gönderici ve alıcıları arasında iyi bir temas sağlamak amacıyla ve düz bir yüzey oluşturmak için numunelerin tabanlarına ince bir Şekil de vazelin veya gres yağı sıvanmıştır. Sonra cihazın dijital göstergesinden *P* dalgasının örnekten geçiş süresi mikro saniye (*Tp*) olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler sonunda sismik hız (*Vp*) değerleri hesaplanmıştır.

Kayaç örnekleri içerisinden geçirilen ultrasonik ses dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kayaç malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik Poisson oranı hesaplanmıştır.

Laboratuvarda yapılan bu deneyin temel amacı, Kayseri tüflerinin P dalga hızı ile önemli geoteknik özelliklerinden olan tek eksenli basma dayanımı (UCS), elastisite modülü (E), ve birim hacim ağırlığı arasındaki ilişkilerin varlığının İstatistiksel analizlerle ortaya çıkarılmasıdır. Bu amaçla Kayseri tüfünü temsil eden 5 bölgedeki tüfler belirlenerek bunların P dalga hızları, birim hacim ağırlıkları, tek eksenli basma dayanımları ve elastisite modülleri laboratuarda tespit edilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra kayaların P dalga hızlan ile diğer özellikleri arasındaki ilişkilerin varlığı regresyon analizleri ve yapay zeka teknikleri ile tespit edilerek deneye dayalı formüller elde edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Deneyler kuru örnekler üzerinde ISRM (1981)'e uygun olarak yapılmıştır. Deney numunelerinin boyları üç farklı noktadan ölçülüp aritmetik ortalaması alınarak ortalama numune boyu hesaplanmıştır. Kayseri tüflerine ait 5 bölgeden 12 farklı tüf türü belirlenmiş, bunlardan çeşitli boy/çap oranlarında sağlam olan 575 örnek üzerinde P dalga hızı ölçümleri yapılmıştır. Deneye ait *Vp* değerleri Ek-Tablo 7'de verilmiştir.

4.5. Arazide Kayseri Tüflerinin Dinamik Özellikleri

Deprem Araştırma Daire Başkanlığı'na göre, Kayseri il sınırlarının çoğunluğu 3.derecede tehlikeli deprem bölgesi olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, Sarız, Pınarbaşı gibi ilçeleri içine alan bir kısmı ise 4. derecede tehlikeli deprem bölgesinde yer almaktadır. Kayseri ciddi bir deprem kuşağında yer almamakla birlikte, tüflerin dinamik elastisite parametrelerine yönelik arazide sismik ölçümler yapılmıştır.

Bir bölgenin geoteknik raporu hazırlanırken, özellikle heterojen ortamlarda yer altının yapısal özelliğini tanımada ve zeminin mühendislik özelliklerinin dinamik kuvvetler altında incelenmesinde sismik çalışmalardan faydalanılmaktadır.

Sismik yöntemler; balyoz, vibratör veya dinamit gibi sismik kaynak yardımıyla oluşturulan yapay sarsıntı (deprem) dalgalarının tabaka sınırlarında kırılarak (refraction) veya yansıyarak (reflection) yeryüzeyinde bulunan jeofonlar (alıcılar) tarafından algılanarak sismik cihazlarla kaydedilme esasına dayanır. Bu kayıtlardan

sismik boyuna dalgaların(P) ve sismik enine dalgaların(S) her jeofona geliş zamanları belirlenerek zaman- uzaklık grafikleri çizilir. Bu zaman- uzaklık grafiklerinden sismik hızlar ve tabaka kalınlıkları saptanır. Sismik yöntemlerden elde edilen zemin dinamik parametreleri ile zeminlerin gözenekli yapısı, kayaçların ise kırıklı, çatlaklı özellikleri belirlenmeye çalışılır. Kayma mukavemeti olmayan ortamlarda (hava, su) sismik kayma (enine) S-dalgaları yayılmaz. Kayma mukavemeti düşük olan zeminlerde sismik kayma dalgası hızları düşüktür. Bir başka değişle kayma (enine) dalga hızları düşük olan zeminler zayıf ve gevşek yapıdadır. Kayma dalga hızları 750 m/sn' den büyük olan jeolojik birimler ana kaya olarak tanımlanır.

Jeolojik malzemelerin gerilme altındaki davranışı yükleme hızına bağlı olduğu için, dinamik yükler (gerilmeler) altındaki elastik özellikleri statik yüklemelerden farklıdır. Bu nedenle dinamik koşullarda, tüfün dinamik Young modülü (E_{dyn}) ve dinamik poisson oranı (υ_{dyn}) gibi sismik parametreler bilinmek istenir.

Sismik Kırılma Yöntemi, yeraltı suyu araştırmalarında, mühendislik amaçlı zemin etütlerinde, özellikle deprem tehlikesinin beklendiği yörede sismik tehlike araştırmalarında yatay ve düşey yönde her bir katman için sismik hızların belirlenmesi ve gerçek tabaka kalınlıkları ve bunların dinamik özelliklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Geometrics ES-3000 marka 12 kanallı, sinyal biriktirmeli sismik kırılma ve yansıma cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.21).

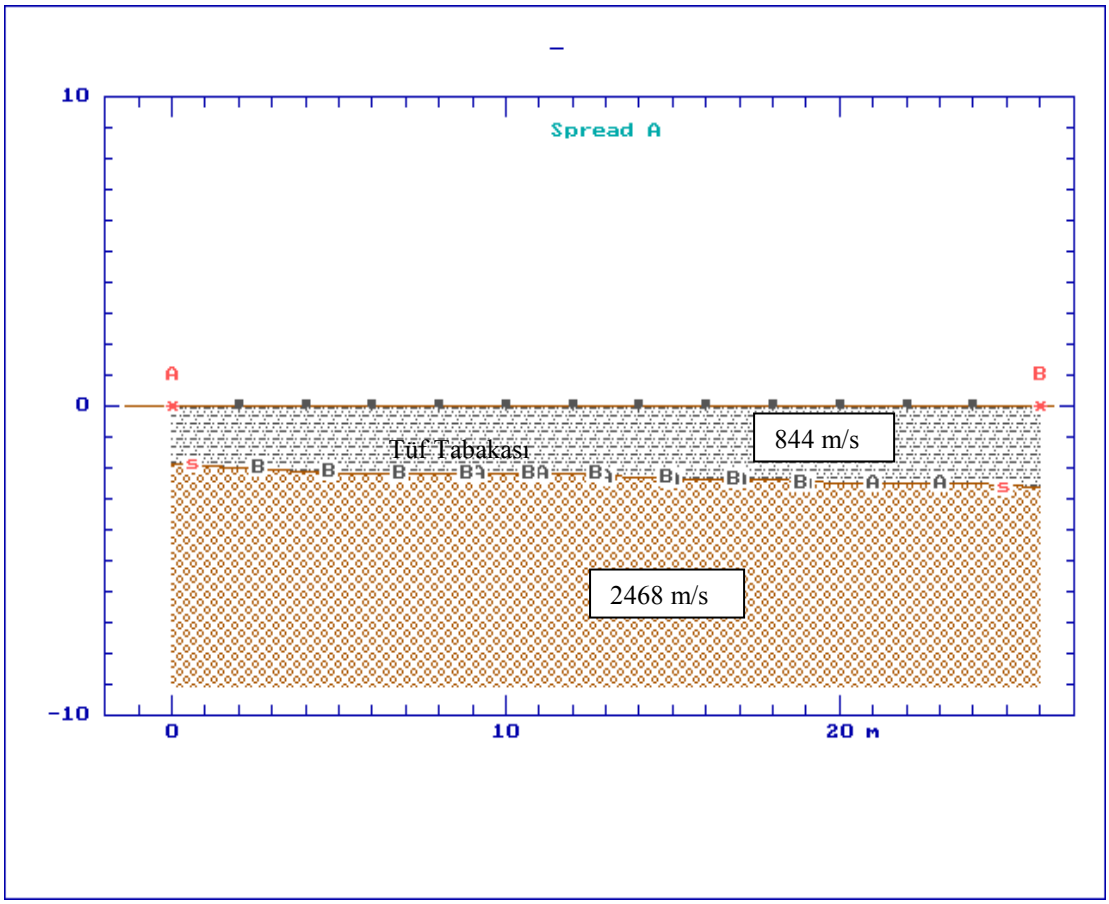
Kayseri tüflerinin dinamik özellikleri arazide belirleme amacıyla, numune alınan 5 bölgede 12 kanallı Geometrix Smart serisi sismik cihaz ile jeofizik çalışmalar yapılarak arazide P dalgası hızı ile arazide S dalgası hız ölçümleri alınmıştır. Uygulanmış olan bu sismik tekniğe bağlı olarak dinamik elastisite ve dinamik poisson oranları gibi tüflerin bazı dinamik özelliklerinin arazide bulunması sağlanmıştır.

Arazide, Vp ve Vs sismik hız değerleri ölçüldükten sonra, tüflerin Kayma modülü (G), Elastisite modülü (E), Sıkışma modülü (E_c), Hacimsel modül (E_k) ve Poisson oranı (ν) gibi bir çok elastisite parametresini elde edilerek, 5.Bölümde tablo olarak sunulmuştur.

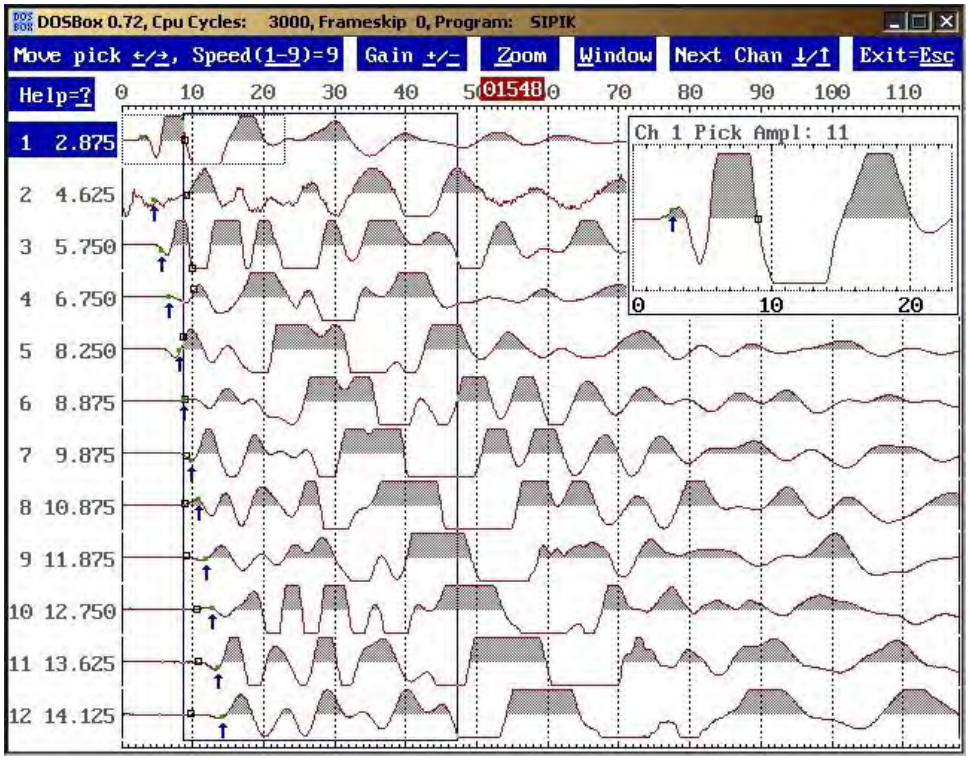


Şekil 4.21. Geometrics ES-3000 marka 12 kanallı sismik kırılma ve yansıma cihazı ile arazide sismik ölçüm

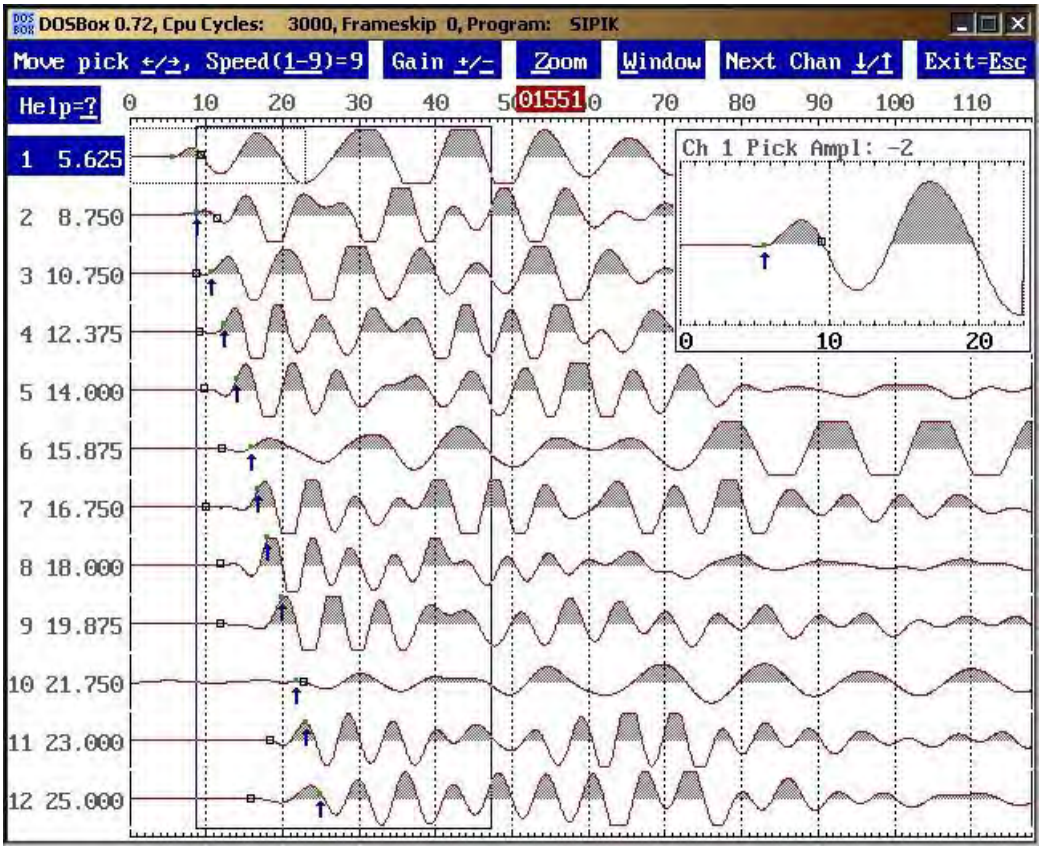
Bir kaynaktan oluşturulan dalga farklı ortamlardan geçerken kırılarak ilerler, yüzeyde belirli mesafelere yerleştirlen jeofonlar (algılayıcılar) tarafından kaydedilirler. Elde edilen kayıtlardan X-T (zaman uzaklık) grafikleri çizilerek tabaka hızları hesaplanır. Hesaplanan hızlardan tabaka kalınlıkları ve tabakalara ait elastik parametreler hesaplanır.



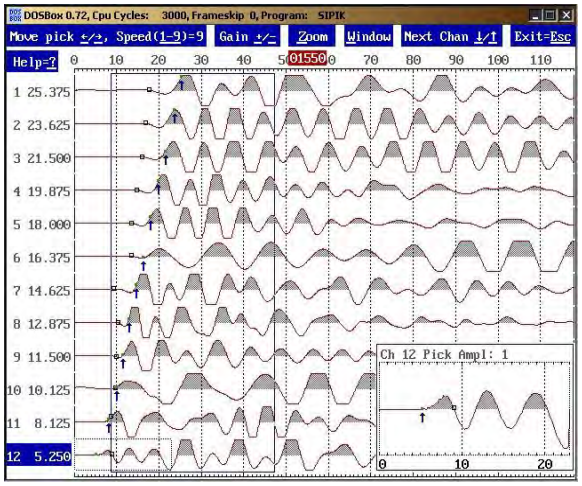
Şekil 4.22. Kayseri-Gesi Yeraltı Derinlik Kesiti



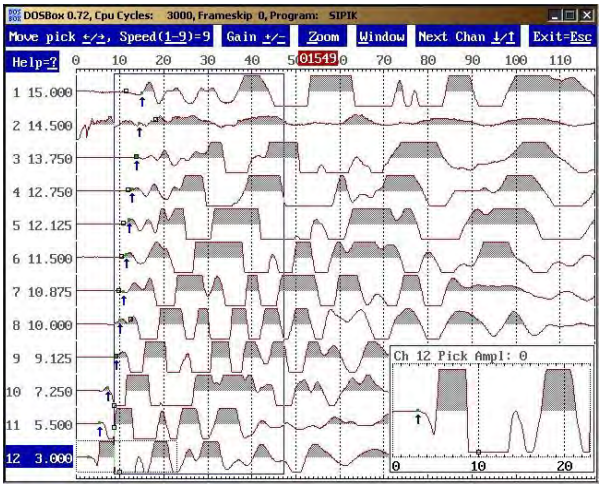
Şekil 4.23. Kayseri-Gesi P DÜZ



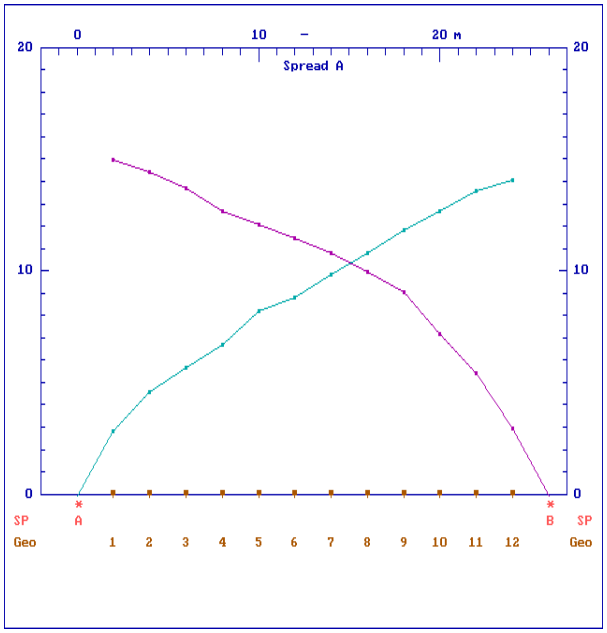
Şekil 4.24. Kayseri Gesi S DÜZ



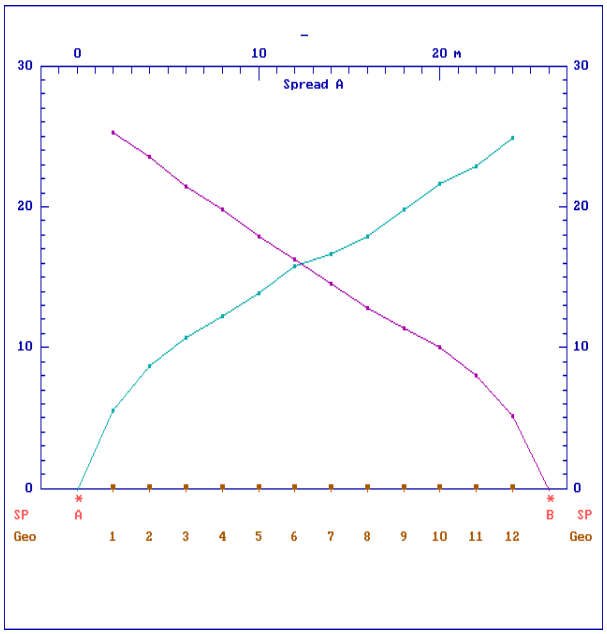
Şekil 4.25. Kayseri-Gesi S TERS



Şekil 4.26. Kayseri Gesi P Ters



Şekil 4.27. P Hızlarına Ait Yol Zaman Grafiği S TERS



Şekil 4.28. P Hızlarına Ait Yol Zaman Grafiği P TERS

4.6. Kayseri Kaya Tüflerinin İstatistiksel Verileri ve Tahmin Modelleri

Kayseri tüflerinin geoteknik özelliklerinin tahmininde, çeşitli tüf parametrelerinin arazi ve/veya laboratuvar şartlarındaki değerleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak araştırılmıştır. Bilimsel araştırmalarda karşılaşılan rasgele değişkenlerin deneysel dağılımlarının pek çoğunun yapısına uymasından dolayı, elde edilen veriler öncelikli olarak Gaussian normal dağılım ile incelenmiştir. Normal dağılımın eğri terimiyle adlandırılan grafiği çan biçimindedir. Normal değişkenin olasılık dağılımını tanımlayan matematiksel bağıntı ortalama değer (μ) ve standart sapma (σ) olmak üzere iki parametreye bağlı değişir. Normal dağılım ortalamaya göre simetriktir. Normal dağılımda; değerlerin % 68.26'sı $\mu \pm 1\sigma$ aralığında, % 95.44'ü $\mu \pm 2\sigma$aralığında ve % 99.74' ü $\mu \pm 3\sigma$ aralığında yer almaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda, Kayseri tüflerine ait çeşitli boy (L), çap (D) ve ağırlıklarada (W) toplam 575 numunenin tek eksenli basınç (UCS) , sismik dalga hızı (Vp), elastisite (Young's) Modülü (E), birim hacim ağırlığı (kuru) (BHA), porozite (n), eksenek nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)e}$), çapsal nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)ç}$) ve Brazillian dolaylı çekme dayanımı (Brt) değerleri elde edilmiştir.(Bkz. Ek-Tablo7). Bu parametrelerin birbirleri arasında istatistiksel ilişkiler olduğu görülmüştür. Bağımlı değişken olarak E veya UCS ile n, Vp, BHA, D, L, W, $I_{s(50)e,}$ $I_{s(50)c,}$ Brt arasında anlamlı korelasyonlar bulunmuştur. Tüm bu parametrelerin biribiriyle olan ilişkileri araştırılarak, aranılan en önemli iki bağımlı değişkenin (E ve UCS), diğer parametreler üzerindeki etkileri istatistiksel olarak tek tek araştırılmıştır. Daha sonra, E ve UCS değerlerini en çok etkileyen birden fazla bağımsız parametrenin aynı anda etkisi, çeşitli doğrusal ve/veya doğrusal olmayan regrasyon analizleri yapılarak incelenmiştir.

Yapılan analizlerde araştırma bulgularının tanımlayıcı istatistikler (frekans, aritmetik ortalama, standart sapma) ve grafikler aşağıda sunulmuştur. Bağımlı (E veya UCS), ile diğer bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon ve regresyon ilişkileri aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

4.6.1. Parametreler arası korelasyon ve basit regrasyon analizleri

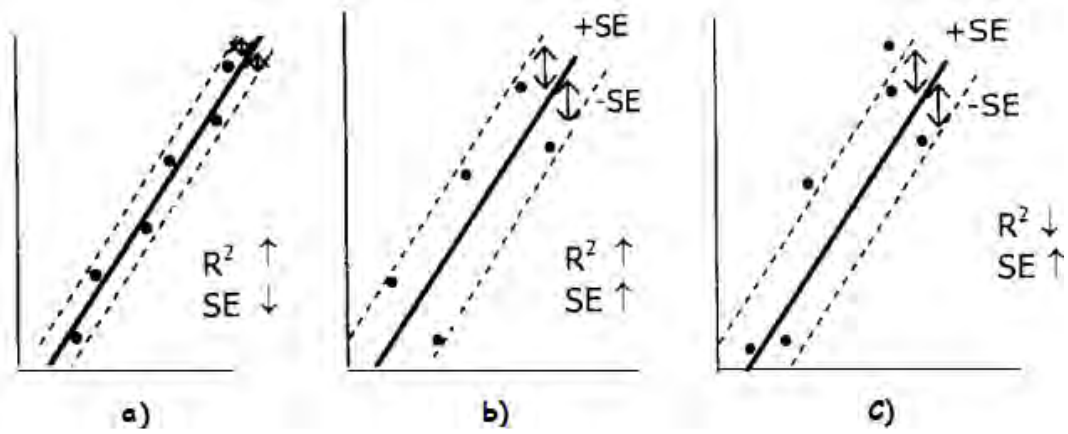
Bu bölümde kısaca korelasyon ve regresyon analizlerinden bahsetmek yararlı olacaktır. Genellikle mühendislik alanında yapılan araştırmalarda, bir değişken başka değişkenler yardımıyla tanımlanır. Değişkenler arasında bir ilişki olup olmadığını, eğer varsa bu ilişkinin şeklini, yönünü ve derecesini araştırmak için istatistiğin regresyon ve korelasyon analizi metodları kullanılır. Eğer, değişkenler arasında bir ilişki olduğu bulunabiliyorsa, bu ilişki en iyi şekilde ancak matematik fonksiyon olarak tanımlanabilir. Bu fonksiyon, ilişkinin şekline göre, lineer bir doğru veya lineer olmayan bir eğri denklemi şeklinde ifade edilebilir. Ne tip bir fonksiyonun daha uygun olacağı, elde edilen serpilme diyagramının şeklinden anlaşılabilir (Bayazıt, 1996).

Regresyon analizi iki değişken arasındaki ilişkinin yalnızca şeklini (en uygun doğru veya eğri denklemini) belirlerken; kuvveti, yönü ve doğrunun veya eğrinin verilere uyumluluğunun derecesi hakkında bilgi vermez. ilişkinin yönünün, derecesinin ve istatistiksel olarak anlamlılığının tayini korelasyon yoluyla yapılmakta, ve korelasyon katsayısı (R) ile ifade edilmektedir. Başka bir ifadeyle R iki değişkeni n birbirlerine karşı gelen değerlerinin bağımlı olup olmadığını gösterir. (Sivrikaya ve Toğrol, 2009)

R'nin değeri -1 ile + 1 arasında değişebilmektedir. Mutlak değerin 1 olması iki değişken arasında fonksiyonel bir ilişki olduğunu, o olması ise değişkenlerin birbirlerinden bağımsız olduğunu gösterir. R'nin mutlak değeri 0'dan l'e doğru büyüdükçe ilişki kuvvetlenir. R'nin eksi işaretli olması değişkenlerden birinin artmasıyla diğerinin azaldığını gösterir. Korelasyon katsayısının (R) karesine eşit olan "determinasyon katsayısı" (R^2), bağımlı değişkenin (y) varyansının bağımsız değişkeni n değişiminden kaynaklanan yüzdesini verir. Bu nedenle R^2 0 ile 1 arasında regresyon bağıntısının anlamlılığının bir ölçüsüdür. R^2'nin değeri l'e yaklaştıkça regresyonun anlamlılığı giderek artar (Toğrol ve Toğrol, 1967).

Ayrıca elde edilen regresyon denkleminin standart hatası (SE), bize elde edilecek sonuçların dogru veya eğri üzerinde hangi aralıkta değiştiğini göstermektedir. Tek başına R^2 veya SE anlam ifade etmez.

Geliştirilen modelin istatistiksel anlamlılık açısından en uygun olduğuna karar vermek için, Şekil 4.29-a'da gösterildiği gibi, aynı anda hem en yüksek R (R=l) veya R^2 (R^2=1) 'ye ve hem de en düşük SE (SE=O)'ye sahip olması gerekir (Sivrikaya ve Toğrol, 2009).



Şekil 4.29. Regrasyonda farklı ilişkiler (Sivrikaya ve Toğrol, 2009)

Tüm değerlerinin regresyon doğrusu üzerinde bulunması halinde R^2=1 değerini alır. R^2 aşağıdaki eşitlik ile bulunur. Regresyon analizinde sonucun yorumlanması için çeşitli istatistiksel parametrelerden yararlanılır. Regresyon analizi sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan bazı parametreler aşağıda Tablo 4.3 de kısaca açıklanmıştır.

Tablo 4.3. İstatistiksel dağılımın değerlendirilmesinde kullanılan parametreler

Değerlendirme Kriterleri	Açıklama
Korelasyon (R)	$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(E_{me} - \overline{E}_{me})(E_{ann} - \overline{E}_{ann})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(E_{me} - \overline{E}_{me})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(E_{ann} - \overline{E}_{ann})^2}}$
Ortalama Karesel Hata (MSE)	MSE= $\frac{\sum_{i=1}^{n}(E_{me} - E_{ann})^2}{n}$
Ortalama karesel hatanın Karekökü (RMSE)	RMSE=$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(E_{me} - E_{ann})^2}{n}}$
Toplam Mutlak Hata(TAE)	TAE=$\sum_{i=1}^{n}\lvert E_{me} - E_{ann}\rvert$

Kayseri tüflerine ait elde edilen toplam 575 adet veri serisi Ek-Tablo 7'de gösterilmiştir. Kayseri tüflerinin, kolayca ölçülebilen özelliklerinden, diğer bazı özelliklerinin tahmini için çeşitli istatistiksel ve yapay zeka tekniklerine dayalı modeller geliştirilmiştir. Verilerin %70'i bu modellerin geliştirilmesinde kullanılmış ve %30'u ise bu modellerin geçerliliğini test etmek amacıyla kullanılmıştır.

Sonuç olarak, korelasyon, regrasyon ve yapay zeka modellerinin geliştirilmesi, 575 veri serisinden rastgele seçilmiş 405'i üzerinden yapılmış ve 170 adedi bu verilerin test edilmesi için ayrılmıştır. Analizlerde kullanılacak bu 405 veriye ait (veri seti), E, UCS, Vp, BHA, Is(50)e, Is(50)c, Brt aralarındaki doğrusal korelasyonlar 5.bölümde tablo olarak gösterilmektedir. Bununla beraber, bu parametreler arasında sadece doğrusal değil, aynı zamanda doğrusal olmayan logaritmik, ters, 2.dereceden(kuadratik), üçüncü dereceden(kübik), üssel, eksponansiyel fonksiyon modelleri denenmiştir. Bu önerilen modellerin uygunluğu korelasyon katsayısına ve grafiğene bakılarak karar verilir.

4.6.2. Çoklu regresyon yöntemleri ile parametre tahmin modelleri

Çoklu regresyon modelinde, tek bir bağımlı değişken ile iki veya daya çok sayıda bağımsız (açıklayıcı) değişken arasındaki ilişki araştırılır. Doğrusal regresyon analizi, parametreleri yönünden doğrusal modeller üzerinde durmaktadır. Diğer bir anlatımla çoklu doğrusal regresyon analizi bağımsız değişkenlerin ağırlıklı bir ortalaması olarak düşünülebilir. Fakat değişkenler arasındaki ilişki her zaman doğrusal olmayabilir. Uygulamalarda değişkenler arasındaki ilişkinin gerçekte doğrusal olmaması halinde bile doğrusal regresyon modelinin belli bir bölge içinde fazla hatalı olmayan sonuçlar vermesi beklebilir. Ancak doğrusal bir ilişki kabulünün gerçek durumdan çok fazla uzaklaşması halinde doğrusal modeller ile yapılacak olan tahminlerdeki hata payı oldukça büyük olacağından doğrusal olmayan regresyon modellerini kullanmak gerekir.

Doğrusal olmayan regresyonda değişkenler seçildikten sonra regresyon bağıntısının biçimine karar verilir. Bu çalışmada SPSS 13.0 for windows programı ile doğrusal

ve/veya doğrusal olmayan regresyon modelleri oluşturularak, tüflerin E Elastisite Modülü veya UCS tek eksenli basınç mukavemeti değerlerinin tahmini için analizler yapılmıştır. Bu amaçla, bağımlı değişken olarak E Elastisite Modülü veya UCS seçilmiştir. Bağımlı değişkenler olarak ise sonik hız (Vp), birim hacim ağırlık (BHA), porozite (n), eksenek nokta yükleme dayanımı ($Is_{(50)}$), çapsal nokta yükleme dayanımı ($Is_{(50)ç}$) ve brazillian dolaylı çekme dayanımı (Brt) seçilmiştir.

Geliştirilen modellerin istatistiksel anlamlılığı, öncelikle korelasyon katsayısının karesi olarak tanımlanan determinasyon katsayısı R2'nin 1'e yaklaşmasıyla ve MSE (Ortalama Karesel Hata) değerlerinin sıfıra yaklaşmasıyla ölçülmüştür.

4.7. Kayseri Kaya Tüflerinin Yapay Zeka Tekniğiyle Modellenmesi

Kayaların Mühendislik özelliklerinin bulunması (özellikle dayanım ve deformasyon karakteristikleri) geoteknik çalışmalarında önemli bir unsurdur. Kayaların, tek eksenli basınç mukavemetleri ve Elastisite modülleri v.b gibi özelliklerini bulmak, pek çok örnek hazırlamayı, pahalı ve tahribatlı deneylerler yapmayı gerektirir. Bunun yerine kayaların elastisite modülleri veya tek eksenli basınç mukavemetleri ile kolay, ucuz ve tahribatsız sayılabilecek test sonuçlarını [birim hacim ağırlığı (kuru) (BHA), porozite (n), sismik dalga hızı (Vp), eksenel nokta yükleme dayanımı ($Is_{(50)e}$), çapsal nokta yükleme dayanımı ($Is_{(50)ç}$), Brazillian çekme dayanımı (Brt)] korelasyon yapabilen modellerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Kayaların doğal yapısını yansıtan bu parametreler arasında karmaşık ilişkileri irdeleyen parametre tahmin yöntem ve metotlarının arayışı teknolojik gelişim süreci içerisinde sürekli devam etmektedir. Yapılan çalışmada, istatistik yöntemlerle tüf elastisite modülü (E) ve tek eksenli basınç mukavemeti (UCS) tahmini için faydalı regrasyon eşitlikleri oluşturulmuş olmasına ragmen, bu parametrelerin tahmininde yapay zeka tekniklerinin kullanımı çok daha başarılı sonuçlar vermiştir. Günümüzde, yapay zeka teknikleri bir çok alanda yaygın olarak kullanıldığı gibi kayaların parametrelerinin tahmininde de etkin olarak kullanılmaktadır.

Yapay zekâ ile ilgili temel konulardan birisi de optimizasyondur. Optimizasyon kelimesinin anlamı basit bir yaklaşımla "daha iyiyi yapma" olarak tanımlanabilir.

Optimizasyon için geliştirilen algoritmalar, matematiksel terimlerle veya belirli kurallara göre tanımlanarak problemleri çözmek için kullanılan yöntemlerdir. Bilinen klasik algoritmalar sadece küçük boyutlu problemlerin çözümünde iyi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, pek çok mühendislik alanında olduğu gibi geoteknik mühendisliğinde de optimizasyon problemlerinin büyük zorluğu, araştırmacıları yeni ve güçlü algoritmalar geliştirmeye teşvik etmiştir. Zor ve büyük boyutlu problemlerin çözümü için türetilmiş bu tür yöntemlerden bazıları şunlardır: bulanık mantık (BM), karınca kolonini optimizasyonu(KKO), genetik algoritma (GA), tabu araştırma (TA) algoritması, benzetilmiş tavlama (BT) algoritması, yapay bağışıklık sistemi (YBS) ve yapay sinir ağları (YSA) (Harrel, 1987)

BM nin temeli bulanık küme ve alt kümelere dayanır. Klasik yaklaşımda bir varlık ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde varlık küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda "1", kümenin elemanı olmadığı zaman "0" değerini alır. Bulanık mantık klasik küme gösteriminin genişletilmesidir. Bulanık varlık kümesinde her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Varlıkların üyelik derecesi, (0, 1) aralığında herhangi bir değer olabilir ve üyelik fonksiyonu M(x) ile gösterilir. Klasik kümelerin aksine bulanık kümelerde elemanların üyelik dereceleri [0, 1] aralığında sonsuz sayıda değişebilir. Bunlar üyeliğin derecelerinin devamlı ve aralıksız bütünüyle bir kümedir. Keskin kümelerdeki soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, aydınlık-karanlık gibi ikili değişkenler, bulanık mantıkta biraz soğuk, biraz sıcak, biraz karanlık gibi esnek niteleyicilerle yumuşatılarak gerçek dünyaya benzetilir. En önemli fark, böyle bir çatıda bilginin kaynağındaki küme üyeliğinin kesin tanımlanmış önkoşullarının olmayışı ve daha çok problemlerle rastgele değişkenlerin hazır bulunmasındadır.

Hollanda tarafından önerilen ve yönlendirilmiş rastgele araştırmanın bir formu olan GA, doğal seçim mekanizması ve genetik bilimine dayanır (Holland, 1975). GA nın her çevrimi bir nesil (generation) olarak adlandırılır. GA çözüm uzayında mümkün olan çözümlerden oluşturulan başlangıç yoğunluğunu, her nesilde doğal seçme ve mutasyon ve çaprazlama gibi genetik operatörlerle geliştirmeye çalışır. Temel bir GA, paralel yapısı nedeniyle araştırma uzayının ümit verici bölgelerine oldukça çabuk bulabilir. Ancak, olasılık tabanlı yaklaşımlar gösterdiği için birçok durumda

bölgesel yakınsama problemine sahip olmakta veya küresel optimuma yakınsaması kabul edilebilir zamanın ötesinde bir süre gerektirebilmektedir. GA araştırmanın geçmiş adımlarına ait bilgileri kümülatif olarak biriktirmekle beraber, değerlendirilmiş çözümlerin bilgisini tutan bir mekanizma kullanmadığı için, benzer yada aynı çözümleri de bir çok defa tekrar değerlendirebilmektedir. Bu nedenle bazı problem için aşırı derecede değerlendirme sayısına ihtiyaç duyabilmektedir.

BT algoritması ilk olarak (Kirkpatrick vd., 1983) tarafından önerilmiştir. BT algoritması, Metropolis algoritmasından esinlenerek, katıların fiziksel tavlama işlemi ile kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümü arasındaki benzerliğe dayalı olarak konmuştur. BT algoritması iteratif yapısı nedeniyle bölgesel araştırmada başarılıdır. Bununla birlikte, BT algoritması araştırmanın geçmiş adımlarıyla ilgili bir kayıt tutmamakla ve herhangi bir gelişme olmadığında gelecek çözümü olasılık tabanlı kurallar ile belirlendiği için benzer çözümleri defalarca değerlendirebilmektedir. Ayrıca, algoritmanın yakınsama hızı da başlangıç çözümünün bulunduğu noktaya fazlaca bağlı olmaktadır. Eğer başlangıç çözümü küresel optimum bölgeye çok uzak olursa, o bölgeye ulaşması çok uzun zaman gerektirebilmektedir.

TA algoritması zeki problem çözme prensipleri üzerine dayalı olarak Glover,F., tarafından önerilmiştir. (Glover 1989., Glover 1990). TA algoritmasısahip olduğu uyarlanabilir hafıza ile araştırmanın geçmiş adımları hakkında gelişimsel kayıt tutmakta ve bu bilgileri araştırma uzayında yeni çözümlerin oluşturulması ve keşfedilmesi için kullanılmaktadır. Temel bir TA algoritması mevcut bir çözüm ile araştırmaya başlar ve mevcut çözümün komşuluğunda araştırmanın geçmiş adımlarına ait kayıtlı bilgileri de kullanarak yeni kabul edilebilir çözümler üretir. Oluşturulan bu yeni çözümlerden kalite değeri en yüksek olan çözüm gelecek çözüm olarak seçilir ve çözümün geçmişe dönük kaydı yenilenir. İlerleyen aşamalarda, mevcut çözümün ışığında araştırma yapılırken araştırma kaydı sayesinde bazı hareketler yasaklanır. Bu yasaklamanın amacı benzer çözümlerim tekrar tekrar değerlendirilmesini önlemektir. Araştırma çözümünün gelişimine bağlı olarak da bazı hareketleri yasak olmaktan çıkartmaktadır. Yasaklama ve serbest bırakma stratejileri ile algoritmanın bölgesel optimumdan kurtulması sağlanmaya

çalışılmaktadır. TA algoritması iteratif bir algoritmadır ve tek bir çözümden hareketle optimum değerine ulaşmaya çalışmaktadır. TA algoritması birçok problem için başarılı sonuçlar üretebilmesine karşın, seri yapısı küresel optimumun bulunduğu bölgeye erişebilmesi için gereken zamanın uzamasına neden olabilmektedir.

KKO, Doigo ve arkadaşları tarafından önerilen en yeni sezgisel algoritmalardan birisidir (Dorigo, M. vd., 1991., Colorni, A. vd., 1991). Algoritma gerçek karınca kolonilerinin yön ve yiyecek bulma stratejileri üzerine dayalıdır. Gerçek karıncalar, yuvaları ile yiyecek kaynağı arasındaki en kısa yolu bulma kabiliyetine sahiptirler ve ayrıca çevredeki değişimlere de uyum sağlayabilmektedirler. Karıncalar üzerinde yapılan çalışmalar, en kısa yolu bulma kabiliyetlerinin birbirleri arasındaki kimyasal haberleşmenin bir sonucu olduğunu göstermiştir. Karıncalar yürürken yolları üzerine feromon olarak adlandırılan kimyasal bir madde bırakmakta ve birbiriyle haberleşmede bu maddenin yaydığı kokuyu kullanmaktadır. Tüm karıncaların hızlarının ve yollara bıraktıkları feromon miktarının eşit olduğu kabul edildiğinde, daha kısa yollar birim zamanda daha çok fenomon maddesi alacaktır. Dolayısıyla, karıncaların büyük çoğunluğu hızla en kısa yolları seçecektir. Karınca koloni optimizasyon algoritması, yukarıda tanımlanan gerçek karınca kolonilerinin yapmış olduğu doğal optimizasyon işleminin yapay bir modelidir. 1991'den bu tarafa KKO'nun yeni türleri ortaya çıkmış ve bu yeni türlerin özellikle ayrık optimizasyon problemlerinin çözümüne uygulanması konusunda çeşitli sayıda çalışmalar yapılmıştır.(Dorigo vd., 1996 ve 1997, Di Caro vd., 1998.)

YSA insan beyninin bilgi işleme teknolojisinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. YSA, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli simüle edilerek tasarlanan programlama yaklaşımıdır. Simüle edilen sinir hücreleri (nöronlar) içerirler ve bu nöronlar çeşitli Şekil lerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın, düşünme ve gözlemleme yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel sebebi ise insan beyninin ve

dolayısıyla insanın sahip olduğu yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir. YSA'lar, ağırlıklandırılmış Şekil de birbirlerine bağlanmış birçok işlem biriminden (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem birimi, aslında sık sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem birimi, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem birimleri kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar. YSA'ların davranışları, yani girdi veriyi çıktı veriye nasıl ilişkilendirdikleri, ilk olarak nöronların transfer fonksiyonlarından, nasıl birbirlerine bağlandıklarından ve bu bağlantıların ağırlıklarından etkilenir.

Yukarıda kısa tanıtılan yöntemlerin geoteknik mühendisliğindeki problemlerin çözümüne uygulanmasıyla ilgili, literatürde çeşitli çalışmalara rastlanmıştır. Yapay zeka tekniklerinin geoteknikte kullanımı son on yıldan bu yana artmakta ve başarılı sonuçlar alınmaktadır. Kazık Taşıma kapasitesi, dayanma yapıları, yapıların oturması, şevlerin stabilitesi, tünel ve mağaraların tasarımı, sıvılaşma, zeminlerin su geçirgenliği, zeminlerin kompaksiyonu gibi konularda başarılı uygulamalar gösterilmiştir. (A.Shahin, 2001).

Kaya malzemesinin çeşitli özellikleri arasında korelasyonlarla ilgili literatürde yayınlar bulunmaktadır (Chary vd., 2006; Sharma, 2008; Kılıç vd. 2008; Tuğrul, vd. 1998; Flint, 2006; Dinçer, vd., 2004; Tezcan vd., 2006). Kayaların dayanım ve elastisite modülünün tahmini için YSA ve ANFIS modeline dayalı uygulamalarada raslanmaktadır.

Çeşitli alçı taşlarının kolayca ölçülen özelliklerinden (Schmidt çekici darbe dayanımı, nokta yükleme dayanımı, sonik hızları v.b), bunların tek eksenli basınç dayanımları ve Elastisite modüllerinin tahmini için YSA ve ANFIS gibi yapay zeka modelleri başarıyla kullanılmıştır (Yilmaz, I. ve Yuksel, 2009). Bununla beraber, Tuğrul ve Zarif (1999), granit kayaların mühendislik ve petroğrafik özelliklerinin birbiri arasındaki ilişkisini bulmak için korelasyon analizleri yapmıştır.
Volkanik tüflerin boşluk oranlarından, onların hidrolik özelliklerinin tahmininde korelasyon analizi çalışmaları da vardır (Flint L.E. and Selker S.S. 2003).

Bu çalışmada, tüf kayaların parametrelerinin tahmininde yapay zeka teknikleri olarak yapay sisnir ağları kullanımı araştırılmıştır. Artificial neural network (ANN) veya Türkçe ismiyle Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak, regrasyon denklemlerine göre çok daha iyi sonuçlar bulunmuştur. Böylece, E ve UCS tahmini için geliştirilen YSA modelleri istatistiksel yöntemlere göre daha başarılı olmuştur. Sonuç olarak Tüfün (E) elastisitesi Modülünü veya (UCS) tek eksenli basınç mukavemetini tahmin etmek için YSA tabanlı bir model geliştirilmiştir.

4.7.1. Tüflerin E değerinin tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modeli

Kayalarda yamaç stabilitesi, yer altı yapıları, barajlar, yapı taşlarının kullanıldığı yığma binalar ve kayalar üzerinde yapılan temeller gibi yapıların tasarımı için kayayı tanımlayacak pek çok parametrenin yerinde yada laboratuar ortamlarında elde edilmesi gerekir.

Bu elde edilen parametrelerle kayalar sınıflandırılarak tasarıma geçilir. Kayaçların sınıflandırlımasında kullanılan Young modülü (E), birim hacim ağırlık (BHA), porozite (n), sismik dalga hızı (V_p), eksenek nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$), çapsal nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)ç}$) ve Brazillian dolaylı çekme dayanımı (Brt) gibi önemli özellikler, birbirlerinden bağımsız olmayıp bazıları arasında doğrudan ya da dolaylı ilişkileri vardır.

Arazi koşullarında yaşanan güçlükler nedeniyle tüm bu özelliklerin belirlenmesinde sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bunun yerine, sağlam kaya blokları laboratuar ortamına getirilerek, deneyler için uygun numuneler elde edilmektedir. Ancak, bu parametrelerin, güvenilir olması için, numunelerin standartlara uygun hazırlanması, tecrübeli kişilerce, güvenirliği kanıtlanmış deney düzenekleri kullanılarak yapılması gerekir. Bu pahalı ve zaman alıcı deneylere alternatif, kaya mekaniğinde bu parametreler dolaylı olarak da belirlenmektedir.
Yukarıda bahsiden husuların dikkate alınması ve kayanın yapısına uygun olarak, parametreler arasında doğrusal ve/veya doğrusal olmayan karmaşık ilişkilerin bulunması, araştırmacıları yeni yöntemler geliştirmeye itmiştir. Modern bilgisayar biliminin gelişimi ve mühendislik problemlerinin çözüm metotlarının arttırmasıyla

kayaların karmaşık ve her zaman doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi mümkün olmuştur. Günümüzde kayalara ait parametre tahmininde ortaya atılan yeni yaklaşımlardan biri de, yapay zekâ tekniklerinin kullanılmasıdır.

Yapay sinir ağları kullanarak güvenli bir tahmin modelinin oluşturulması için, dikkatli ve özenli hazırlanmış çok sayıda veriye ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, tüflerin elastisite modül değerlerinin tahmini için, özenle hazırlanmış 575 adet veri setinden rastgele seçilen 405 adedi, modelin eğitimi için kullanmış (Tablo 4.4-a) ve geriye kalan 170 adet veriseti ise test datası olarak ayrılmıştır (Tablo 4.4-b). E değerinin tahmini için oluşturulan her bir veri setinde giriş verisi olarak BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c değerleri kullanılmıştır.

Tablo 4.4-a. Yapay Zeka Ve İstatisitik yöntemlerinde Eğitim İçin Kullanılan Veriler

	BHA	n	Vp	$Is_{(50)e}$	Brt	$Is_{(50)c}$	UCS	E	Gs
N	405	405	405	405	405	405	405	405	405
Minimum	10.55	.22	1.22	.41	.83	.42	3.64	1.97	2.51
Maximum	19.52	.57	3.17	2.44	4.81	1.97	55.54	11.63	2.60
Mean	16.36	.346	2.197	1.62	2.95	1.31	23.42	6.90	2.55
Std. Deviation	2.105	.081	0.5	.76	1.096	.47353	11.92	2.50	.017

Tablo 4.4-b. Yapay Zeka Ve İstatisitik Yöntemlerinde Test Edilmesi İçin Kullanılan Veriler

	BHA	n	Vp	$Is_{(50)e}$	Brt	$Is_{(50)c}$	UCS	E	Gs
N	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Minimum	2.08	4.67	10.74	.22	1.24	2.51	.41	.83	.42
Maximum	11.30	52.42	19.46	.57	3.21	2.60	2.44	4.81	1.97
Mean	6.773	23.38	16.35	.346	2.208	2.55	1.574	2.87	1.28
Std. Deviation	2.604	12.55	2.19	.0848	.542	.0176	.775	1.15	.491

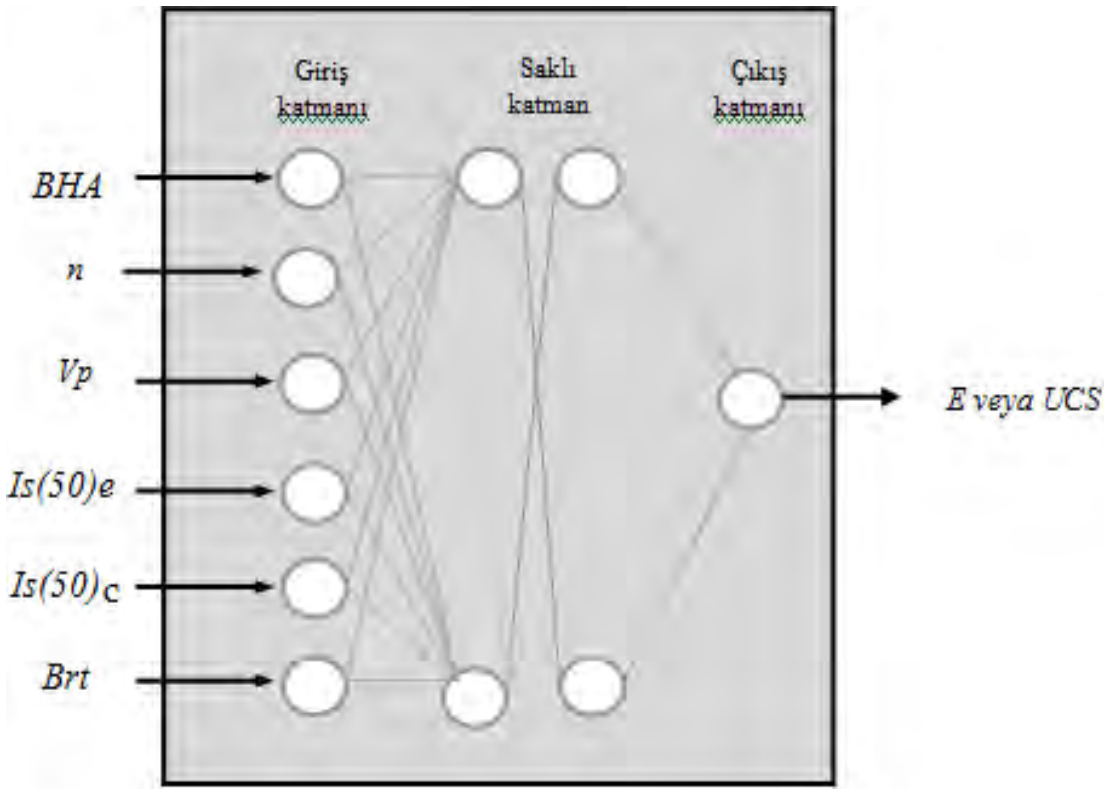
Modelde, çok katmanlı algılayıcı (Multilayer perceptron) yapısı ve dört katmanlı ileri beslemeli ağ kullanılarak, Levenberg Marquardt eğitim algoritması ile sistem eğitilmiştir.

YSA giriş katmanında 6 işlemci eleman, iki saklı katman ve her birisinde 12'şer işlemci elemanı kullanılmıştır (Şekil. 4.30).

YSA'nın eğitilmesinde, saklı katmanlarda ve çıkış katmanında

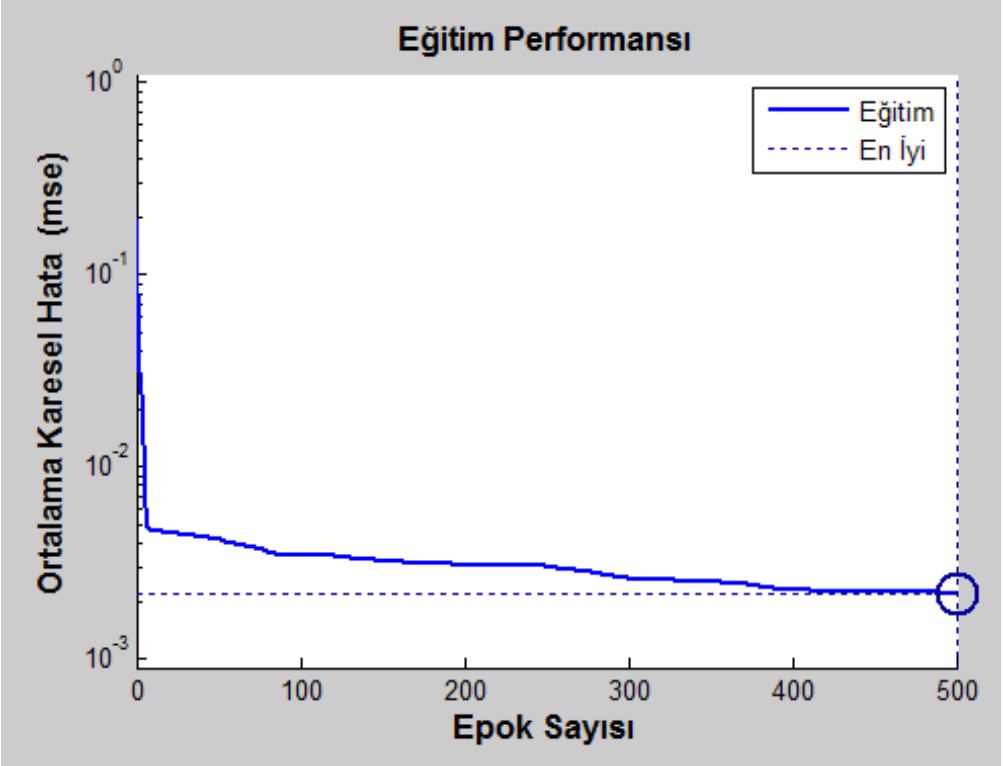
$$f(s) = \frac{1}{1+e^{-s}} \tag{4.12}$$

şeklinde sigmoid bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Öğrenme derecesi 0.01, momentum katsayısı 0.02 olarak alınmıştır (Şekil 4.30). Sigmoid fonksiyonun özelliğinden dolayı veriler ağa verilmeden önce 0-1 arasında normalize edilmiş ve eğitim 500 epok (iterasyon) sonunda sonlandırılmıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.30. E veya UCS tahmininde kullanılan yapay sinir ağı modeli

Şekil 4.31'de sinir ağından 500 iterasyon sonucunda elde edilen değerlerin ortalama karesel hata garfiği verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi iterasyon sayısının artmasıyla birlikte ortalama karesel hata oranı azalmaktadır.

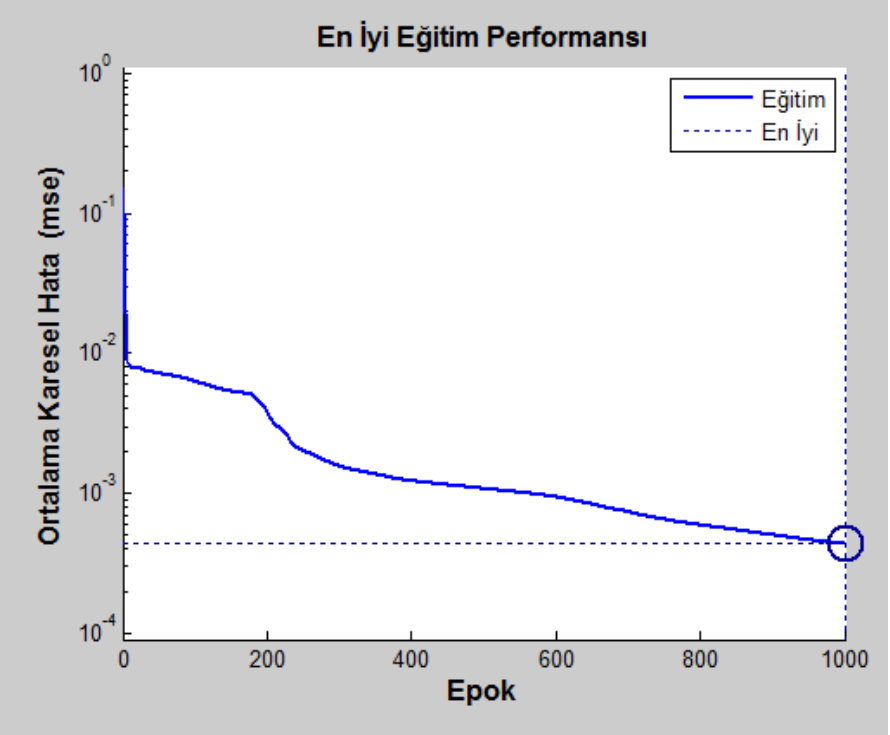


Şekil 4.31. E Tahmininde ortalama karesel hata değerinin iterasyon sayısı ile değişimi
Toplam 170 veri yapay sinir ağını test etmek için kullanılmıştır.

4.7.2. Tüflerin UCS değerinin tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modeli

Bu çalışmada, E'nin bulunmasına benzer olarak tüflerin tek eksenli basınç değerlerinin (UCS) tahmini için, 405 veriseti ağın eğitimi için (Tablo 4.4-a) ve 170 adet veriseti ise bu eğitilmiş ağın test edilmesi için ayrılmıştır (Tablo 4.4-b).

UCS değerinin tahmininde, giriş verisi olarak BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c değerleri kullanılmıştır. Öğrenme derecesi 0.1, momentum katsayısı 0.2 olarak alınmıştır (Şekil 4.30).



Şekil 4.32 UCS Tahmininde ortalama karesel hatanın iterasyon sayısı ile değişimi

Modelde, çok katmanlı algılayıcı (Multilayer perceptron) yapısı ve dört katmanlı ileri beslemeli ağ kullanılarak, Levenberg Marquardt eğitim algoritması ile sistem eğitilmiştir. YSA giriş katmanında 6 işlemci eleman, iki saklı katman ve her birisinde 12'şer işlemci elemanı kullanılmıştır (Şekil 4.30). YSA'nın eğitilmesinde, saklı katmanlarda ve çıkış katmanında eşitlik 4.12'de gösterilen sigmoid bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Sigmoid fonksiyonun özelliğinden dolayı veriler ağa verilmeden önce 0-1 arasında normalize edilmiştir. Eğitim 1000 epok (iterasyon) sonunda sonlandırılmıştır.

Şekil 4.32'de sinir ağından 1000 iterasyon sonucunda elde edilen değerlerin ortalama karesel hata değişim grafiği verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi iterasyon sayısının artmasıyla birlikte ortalama karesel hata oranı iterasyon sonucunda azalmıştır. Tahmin edilen ile deneysel olarak bulunan UCS değerlerinin karşılıklı korelâsyonu sonucunda, tahmin edilen UCS değeri için geliştirilen YSA modelinin oldukca iyi sonuç verdiği bulunmuştur.

Modelin performansını görebilmek amacıyla, eğitim ve test veri seti için MSE (Ortalama Karesel Hata), TAE(Toplam Mutlak Hata) ve R^2 değerleri 5.Bölüm'de tablo olarak verilmiştir.

Bir önceki E'nin tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modelinde yapıldığı gibi bu modelin de tahmin performansı korelasyon katsayısı R^2, MSE ve TAE ile karşılaştırılarak bulunmuştur. En yüksek R^2 (maksimum 1), en az ortalama karesel hata (maksimum 0) ve en küçük toplam mutlak hata (maksimum 0) en iyi tahmin yöntemini göstermektedir.

4.8. Agrega Boyutundaki Kayseri Tüflerinin Esnek Üst Yapılı Yollarda Dolgu Malzemesi Olarak Kullanımı

Dünyada, pek çok alanda geleneksel yapı malzemeleri sıkıntısı yaşandığı bilinmektedir. Ülkemizde ise, inşaat malzeme talepleri yüksek olan Kayseri gibi kentsel alanlarda, geleneksel agrega kaynağındaki azalmalar, bu cürufların kullanımını gündeme getirmiştir. Kayseri ilinde, ilçelerinde ve özellikle Yılanlı dağı çevresinde rastlanan volkanik cüruf oluşumlarının, yollarda dolgu malzemesi olarak kullanımı ile ekonomiye katkı sağlanması düşünülmektedir.

Alt temel tabakasında tüf kullanmanın faydalarından biri de, alt temelin, iri daneli temel zeminine kıyasla daha ince olmasından dolayı iyi bir geçiş tabakası oluşturmasıdır. Bir diğer faydası ise ,plastik olmayan, kılcallık özelliği göstermeyen ve suyu hızlı geçiren bir zemin ortam oluşturmasından dolayı, tüflerin karayollarında alt temel tabakası olarak kullanılmasının uygun olacağıdır (Saltan vd., 2007).

Kayseri il sınırları içindeki inceleme alanında dolguda kullanılabilecek zemin boyutundaki tüflere rastlanmaktadır. Yılanlı dağı (1640 m), volkanik cüruf olarak tanımlanan ve tamamen tüfün çakıl-kum boyutundaki malzemelerden oluşmuştur. Bölgedeki yapıların temel kazılarında bu türden zeminlerle sıkça karşılaşılmakta ve bunlar atık olarak çıkarılmaktadır. Volkanik olaylar sonucu oluşmuş, boşluklu ve gözenekli bir yapıya sahip olan bu cüruf oluşumları, volkanik faaliyetlerin bulunduğu dünyanın birçok bölgesinde de rastlanır. Ülkemizin pek çok yerinde bu oluşunlar geniş alanları kaplar.

Bitümlü kaplama tabakaları ile oluşturulan üstyapılara “esnek üstyapı” denir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakalarına aktaran yolun taşıyıcı kısmını oluşturur. Alttemel ve temel tabakaları için kullanılabilecek malzemelerin dane çapları TS 9581’de belirtilmiştir. Genelde bu tabakalardan alttemel tabakası çakıl, kum, taş kırığı ve yüksek fırın curufu gibi daneli malzemelerden oluşmaktadır.

Esnek üstyapılar, yapılış esasına göre esnek kaplama, temel, alttemel tabakaları ve taban zemininden oluşmaktadır. Bu tabakalı yapı, trafik yüklerini kaplama tabakasından alarak temel ve alttemel tabakasına, en son olarak taban zeminine iletir. Trafik yükleri taban zeminine üstyapıdan itibaren yayılarak etki eder. Esnek üstyapılardaki bitümlü ve granüler tabakalar yükün taban zeminine geniş bir alanda etki etmesini sağlar.

Temel tabakası, temelaltı tabakası ile kaplama tabakası arasına yerleştirilen ve granülometrisi ile diğer koşulları belirli olan doğal çakıli doğal kum veya kırma andezit ve/veya bazalt taş ile az miktarda bağlayıcı ince malzemeden oluşan tabakadır. Yol gövdesinde özel önemi olan bu tabakanın başlıca görevi kaplamadan gelen trafik yükünü taban üzerine yaymak, bu arada trafiğin darbe tesirini yok etmektir. Temelaltı (Alt temel) tabakası ise tesviye yüzeyi üzerine serilen ve genellikle çakıl, kum, taş kırığı, yüksek fırın curufu gibi daneli malzemelerden yapılan tabakadır. Kaplamadan gelen trafik yükünün taban üzerinde yayılmasında üzerinde bulunan temel tabakasına olan yardımı yanında, su ve don tesirlerine karşı tampon bölgesi vazifesi de gören bu tabakanın teşkili ile daha pahalı malzemeden inşa olunan temel tabakasının kalınlığı azaltılarak ekonomik fayda sağlanmış olur.
Esnek kaplamalı karayolları, yüzey kaplaması (bitüm veya asfalt), temel tabakası ve alt temel tabakasından oluşur. Alt temel tabakası düşük kalitede malzemeden yapılabilir çünkü bu tabaka yüzeyden oldukça aşağıda olması dolayısıyla çok az gerilmeye maruz kalır. Bu yüzden çalışma alanında bolca bulunan Kayseri Yılanlı dağındaki piroklastik malzemenin alt temel tabakası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Günümüzde alt temel için kırma taş kullanılmaktadır fakat bu (inşaatların temel kazılarından çıkan) atık doğal cüruf malzemelerinden daha pahalıdır. Bununla birlikte, Kayseri il sınırları içindeki inceleme alanında dolguda kullanılabilecek zemin boyutundaki piroklastik malzemelerden oluşan bir dağ vardır. Yılanlı dağı (1640 m) tamamen tüfün çakıl-kum boyutundaki cüfuf diye isimlendirilen malzemelerinden oluşmuştur (Ek Şekil 7, 8, 9, 10).

Tüf Cürufunun veya kullanılacak tüf benzeri malzemenin kaynağını ve cinsini bilmek, bu maddelerin karayolu dolgusunda kullanabilmek için yeterli değildir. Volkanik cüruflar belirli standartlarda oluşmadığı için özellikleri çok değişkendir. Bu nedenle, malzemenin Alttemel olarak kullanılabilirliği test edilmesi gerekir.

Genellikle doğal zeminden inşa edilen taban zemininin üstyapıya geçilmeden önce zemin özelliğinin laboratuar ortamında belirlenmesi gerekir. Buna bağlı olarak, zeminin taşıma gücü, donma kaybı ve o bölgedeki yer altı su seviyesine bağlı özelliklerinin belirlenerek, yol taban zemini standartlarına uygun olup olmadığı belirlenmelidir. Esnek üstyapının davranışı taban zemininin taşıma gücü ile doğrudan ilişkili olduğundan, taban zemini üstyapıya istenen desteği sağlamalıdır.

4.8.1. Dolguda kullanılacak volkanik cüruf ile deneysel çalışmalar

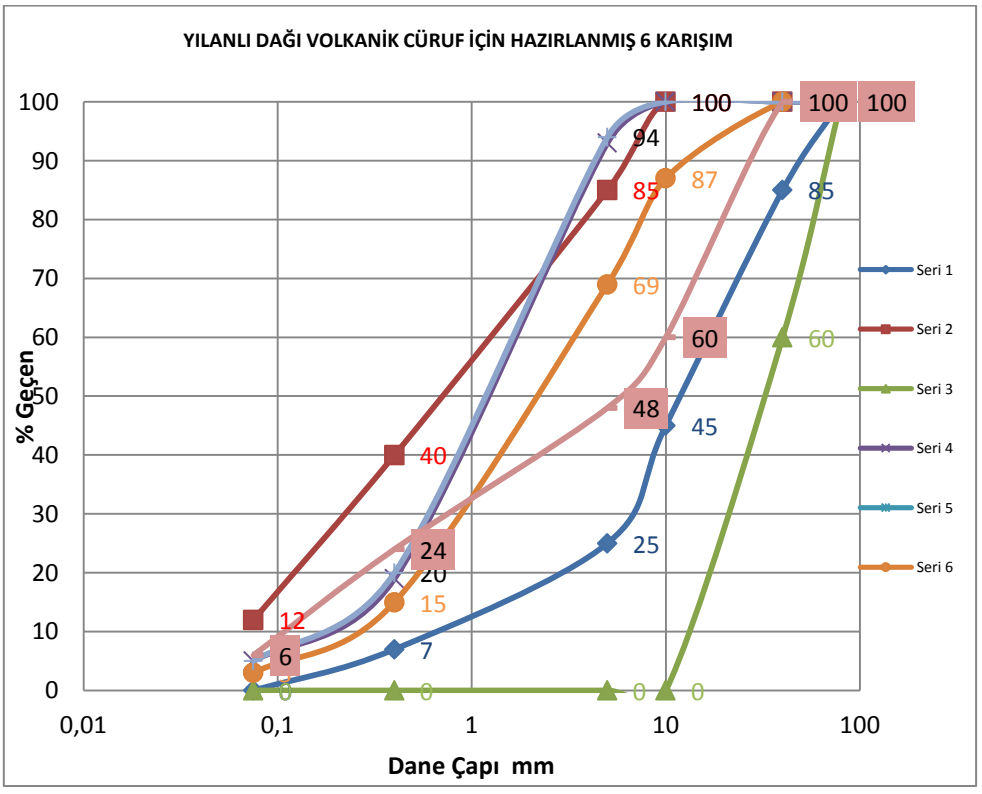
Yılanlı dağı volkanik cürufun özelliklerini tespit etmek için zemin mekaniği deney metodları kullanılmıştır. Bunlar, dane dağılımı, indeks özellikleri, geçirgenlik, sıkışma, kayma mukavemeti, oturma özellikleri, Kalifornia taşıma oranı, donma-çözülme, Los Angeles aşınmasının malzemenin özelliklerine etkisi gibi deneylerdir.
Deneyler için, Yılanlı dağından, 6 farklı araştırma çukurundan (araştırma çukurları arasında yaklaşık 30 m mesafe vardır) toplam 700 kğ malzeme laboratuvara getirilmiştir.

Dane dağılımı için, 60 mm den büyük dana çapına sahip malzeme ayıklanarak, geriye kalan Yılanlı Dağı volkanik Curufu (YDC)'na yıkamalı elek analizi yapılmıştır. Alt temel malzemesi için TS 9581'de belirtilen alt ve üst limitler içerisine girebilecek ebatlarda 6 farklı numune hazırlanmış ve elek analizleri sonuçları Tablo 4.5 ve granülometrik eğrileri Şekil 4.33'de verilmiştir. Bu eğrilerden

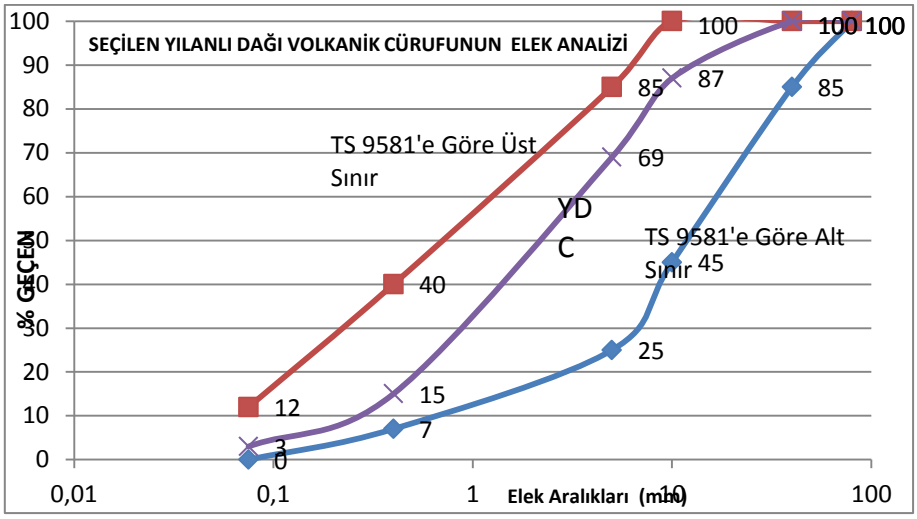
en uygun görünen malzeme, dolgu malzemesi olarak seçilmiştir (Şekil 4.34). Alttemel için standartta belirtilen elek aralığındaki limitlere en uygun cüruf malzeme laboratuarda hazırlanmış ve diğer deneyler bu malzeme üzerinde yapılmıştır.

Tablo 4.5. Yılanlı dağı Dolgu Malzemesi Elek Analizi

elek açıklığı mm	% geçen alt limit	% geçen üst limit	1. Karışım %Geçen	2. Karışım %Geçen	3. Karışım %Geçen	4.** Karışım %Geçen	5. Karışım %Geçen	6. Karışım %Geçen
80	100	100	100	100	100	100	100	100
40	85	100	60	100	100	100	100	100
10	45	100	0	100	65	87	100	60
5	25	85	0	93	39	69	94	48
0,4	7	40	0	19	9	15	20	24
0,075	0	12	0	5	2	3	5	6
** Esnek kaplamalı yollarda TS 9581'e göre kabul edilebilecek en iyi karışım olarak seçildi								



Şekil 4.33 Yılanlı Dağı Volkanik Cüruf İçin Hazırlanmış 6 Karışım



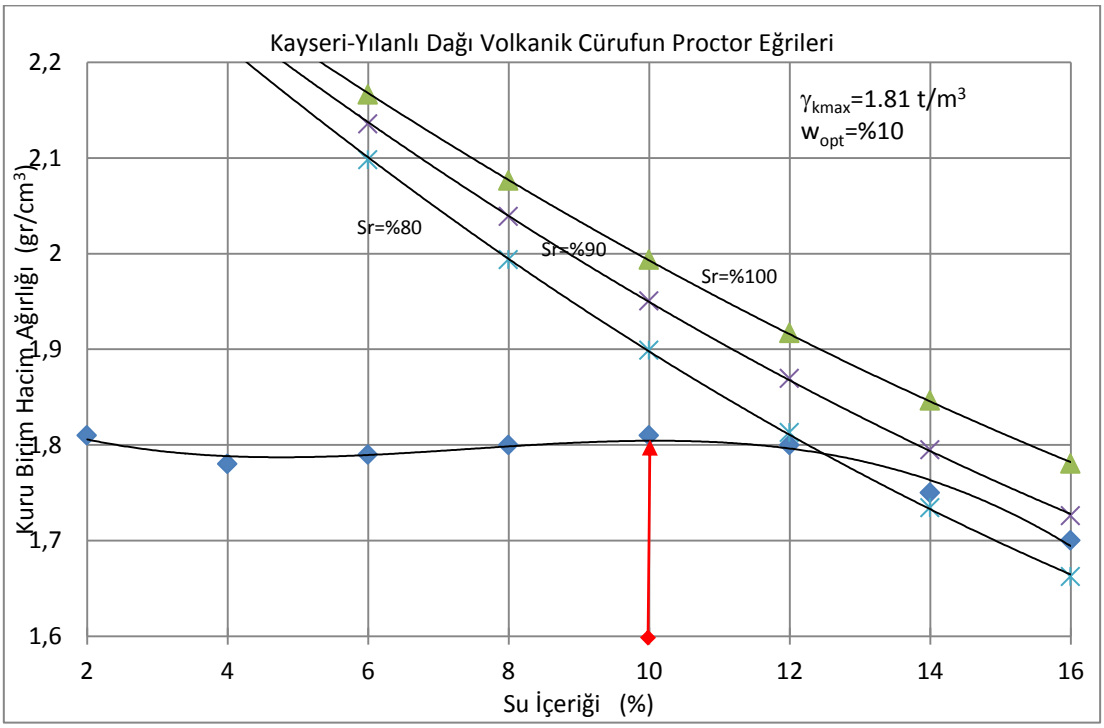
Şekil 4.34. Seçilen Yılanlı dağı volkanik cürufu (YDC) ve TS9581'e göre Alt-Üst sınır

Yılanlı dağı Cürufu üzerinde yapılan Los Angeles Aşınma kaybı deneyi için dağın muhtelif yerlerinden TS EN 932-1 Standardına uygun numuneler alınmış olup, TS 706 EN 12620 standardı ve bu standartların atıf yaptığı TS EN 1097-2 standardı esas alınarak 11 bilya ile 500 devir sonucunda aşınma kaybı %31-%33 aralığında bulunmuştur. TS 706 EN 12620 standardı ve bu standartların atıf yaptığı TS EN 1097-6 standardı esas alınarak su emme deneyi yapılmıştır. YDC'na Elek analiz AASHTO zemin sınıflandırma sistemine ve TS1500'e göre sınıflandırılmıştır. Yol mühendisliğinde yaygın olan AASHTO zemin sınıflandırma sistemine göre (TS1500) grup indeksi bulunarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.35 Yılanlı Dağı volkanik Curufu (YDC)

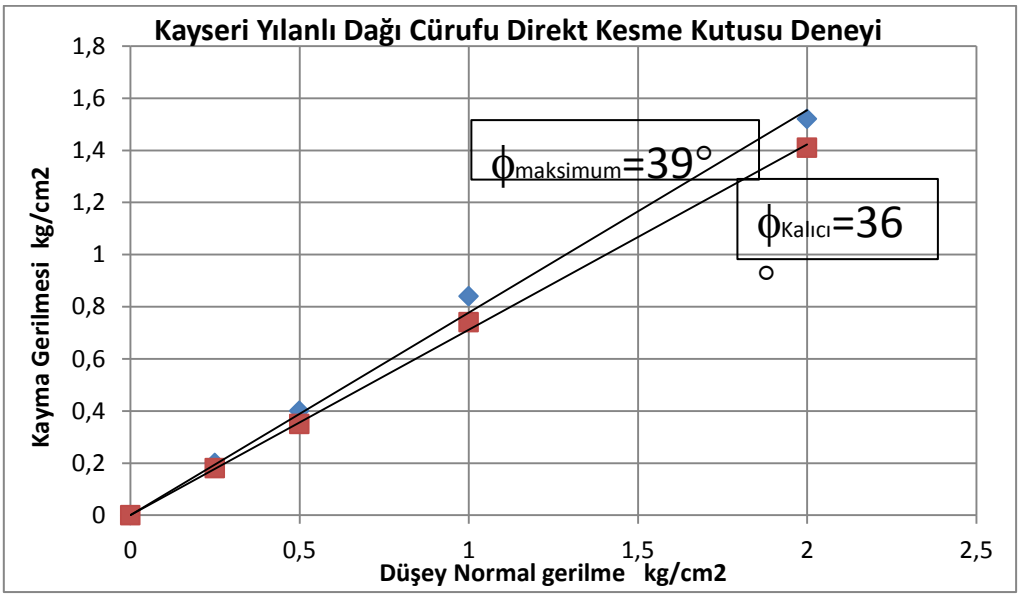
Standart Proctor deneyi uygulanarak, bu malzemenin en iyi sıkışmasını sağlayan maksimum kuru birim hacim ağırlık-su içeriği ilişkisi bulunmuştur. Laboratuar şartlarında sıkıştırılan zeminin, maksimum kuru birim hacim ağırlığını veren su muhtevası Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



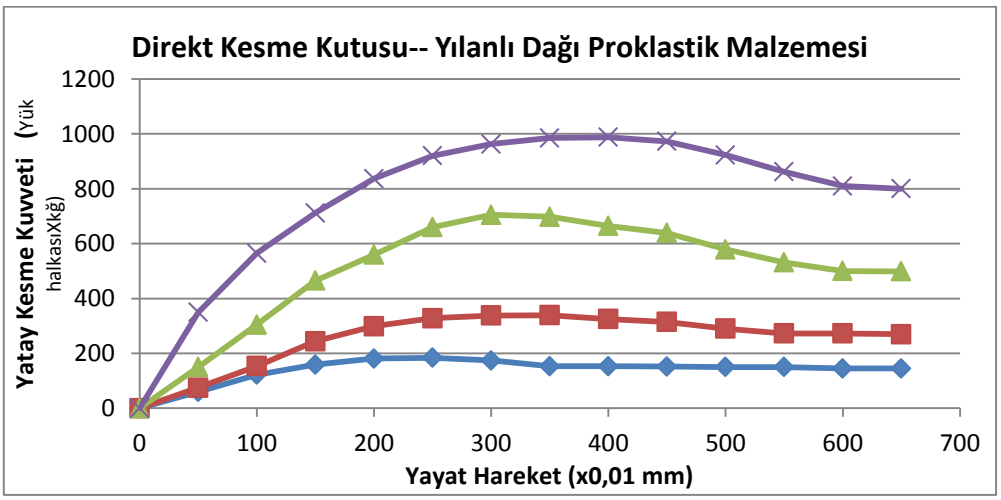
Şekil 4.36. Kayseri-Yılanlı Dağı Volkanik Cürufun Proctor Eğrileri

Direkt kesme kutusu deneyi yapılarak, yamaç veya şevlerde volkanik tüflerin stabilitesini tespit etmek için kayma mukavemeti parametrelerinin bulunmasıdır. YDC kohezyonsuz olduğundan, kayma mukavemeti parametresi olarak YDC'nin içsel sürtünme açısı bulunmuştur. Zemin numunesi 6cmx6cm kare kesitli, iki parçadan oluşan ve numune yüksekliği 2 cm olan rijit bir kutu içine yerleştirilmiştir. Bu kesme kutusunun boyutlarından dolayı test edilecek volkanik cürufun maksimim boyutu 2mm alınmıştır. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun üst parçası sabit tutulurken alt parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca cüruf kaymaya zorlanmaktadır. Numune üzerine normal gerilme uygulayarak, böylece kesmeden önce cürufun konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması

mümkün olmaktadır. Bu deneyde cüruf önceden belirlenmiş (numunenin ortasından geçen) yatay bir düzlem boyunca kırılmaya (göçmeye) zorlanmaktadır. Belirli bir normal gerilme altında uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirmeler ölçülmektedir (Şekil 4.38). Permabilitesi yüksek zeminlerde (Volkanik cüruf gibi) drenajlı koşullar geçerli olmaktadır. Uygulamada, kesme kutusu deneyi daha çok kumların (Volkanik Cürufların) kayma mukavemetini saptamak için kullanılmaktadır. Yılanlı dağı Volkanik cürufu pek çok kez test edilmiş ve kayma mukavemeti açısı en düşük 34 en yüksek 39 derece bulunmuştur (Şekil 4.37)

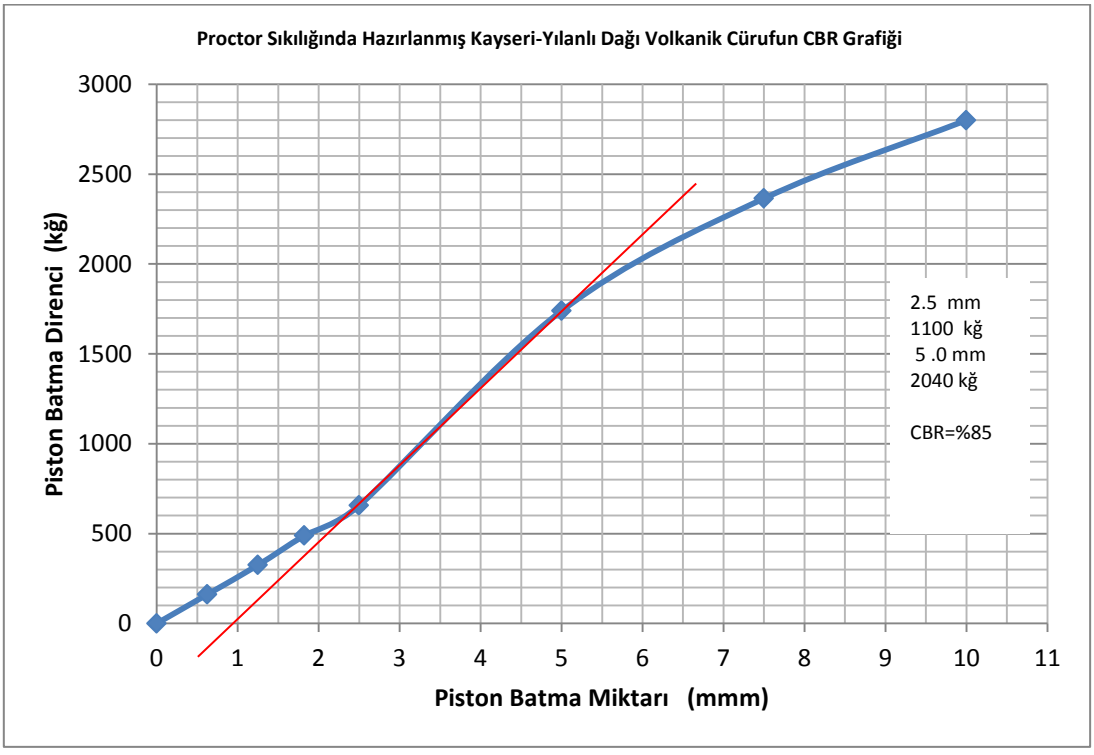


Şekil 4.37 Kayseri yılanlı dağı curufunun içsel sürtünme açısı



Şekil 4.38 Kayseri yılanlı dağı curufu direkt kesme kutusu deneyi

Kaliforniya Taşıma Oranı (California Bearing Ratio), kısaca CBR deneyi yapılarak, cürufun esnek üst yapılı yollarda alt temel malzemesi olarak kullanılabilmesi için gerekli taşıma gücünün bulunması amaçlanmıştır. Bu deney kesit alanı 19.35 cm2 olan silindirsel bir pistonun belirli bir hızla zemine itilerek elde edilen yük - penetrasyon bağıntısının (kaliforniya taşıma oranı) bulunmasını kapsar. Penetrasyon herhangi bir değer için, ölçülen yükün standart bir yüke oranı olarak tanımlanan CBR genellikle 25 mm'lik bir penetrasyon için verilir Ancak, 50 mm'lik penelrasyondan daha büyük bir değer çıkarsa büyük olan değer seçilir. Pistonun boyutları dolayısıyla deney, sadece dane büyüklüğü en çok 20 mm olan malzeme için uygulanır. Numunenin hazırlanışı, CBR deneyinden elde edilecek sonuçları büyük oranda etkiler. Sonuç olarak Yılanlı dağı volkanik cürufun CBR'si, ortalama % 85 olarak bulunmuştur. Bu değer CBR kalıbında hazırlanmış Yılanlı Dağı malzemesinin en kötü ve en elverişsiz doğa koşullarında taşıma gücünü belirlemek amacıyla 4 gün boyunca suda bekletildikten sonra test edilmiştir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39 Proctor Sıkılığındaki Kayseri-Yılanlı Dağı Volkanik Cürufun CBR Grafiği



Şekil 4.40 Erciyes Dağı ve Yılanlı dağı



Şekil 4.41. Yılanlı dağı tamamen Piroklastik (zemin boyutunda volkanik curuf) tüflerden oluşmuştur.

BÖLÜM 5.
DENEY SONUÇLARI VE GELİŞTİRİLEN MODELLER

5.1. Giriş

Bu bölümde, arazide ve laboratuvarda elde edilen deney sonuçları toplu olarak sunulmuştur. Bunun yanısıra istatistiksel ve Yapay Sinir Ağları yöntemleriyle geliştirilen parametre tahmin modelleri de verilmiştir.

5.2. Laboratuvarda ve Arazide Yapılan Deneylerin Sonuçları

Kayseri tüflerine ait su içeriği, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme deney sonuçları Tablo 5.1'de verilmiştir. Tablo 5.2'de Gesi tüfü için donma-çözülme deneyinde kullanılan numune miktarları gösterilmektedir. TS699'a göre İncesu tüfleri için donma-çözülme deneyinde kullanılan numune miktarları Tablo 5.3. verilmiştir. Kayseri tüflerinin üç eksenli (triaxial test) deney sonuçları ise Tablo 5.4. gösterilmektedir. Tabblo 5.5 ve Tablo 5.6'da Kayseri tüflerinin eğilmede çekme dayanımı sonuçları vardır. Kayaların mukavemet ve kayma birim deformasyon gibi mekanik özellikleri, numune çapıyla ters orantılı olarak değişmektedir. Tüm kaya türleri için, numune boyutlarının kayanın mukavemetine ve deformasyonuna etkisi vardır. Elastisite ve poisson oranları, numune ebatlarından çok az etkilenmektedir. Boy/çap oranının 2,0 veya daha fazla olduğu zaman, tüf sağlam kayasının gerçek basınç direncine boyut etkisi en aza indirgenerek sabit hale geldiği bulunmuştur.

Böylece, bu çalışmada boy/çap oranı 2 ve daha fazla olan, muhtelif ebatlarda numuneler ile çalışılmıştır. Korelasyon, regrasyon ve yapay zeka sistemleriyle, numune ebatlarının tüflerin mukavemet ve elastisite modülü gibi geoteknik özelliklerine etkisi olduğu araştırılarak ortaya koyulmuştur.

Tablo 5.1. Kayseri Tüflerine ait Su içeriği, Özgül Ağırlık, Birim Hacim Ağırlık, Ağırlıkça Su Emme Deney Sonuçları G=Gesi İ=İncesu GP=Gesi Pembe

NUMUNE ADI	ÇAP (mm)	BOY (mm)	KURU AĞIRLIK (gr)	SUYA DOYGUN AĞIRLIK (gr)	SU İÇİNDEKİ AĞIRLIĞI (gr)	G_S ÖZGÜL AĞIRLIK	γ_{dry} t/m3	KIRILMA YÜKÜ (kğ)	UCS (kg/cm^2)	GERÇEK POROSİTE, n, %	MAKS SU İÇERİĞİ w (su emme)	GÖRÜNÜR POROZİTE N, %
G01	53,0	116,0	355,5	467,1	219,8	2,54	1,39	5350	242,50	45,28	31,40	45,13
G02	49,5	106,8	296,0	384,4	176,7	2,54	1,44	2513	130,58	43,31	29,85	42,55
G03	53,0	106,5	304,0	414,0	190,2	2,54	1,29	1016	46,05	49,21	36,20	49,16
G04	49,5	111,5	311,1	402,0	186,8	2,54	1,45	3450	179,27	42,91	29,21	42,23
G05	53,0	111,3	401,1	489,1	241,4	2,54	1,63	3260	147,77	35,83	21,95	35,54
G06	53,0	114,7	416,3	504,6	246,7	2,54	1,65	3416	154,84	35,04	21,22	34,25
G07	49,5	113,0	365,0	437,1	219,7	2,54	1,68	3010	156,41	33,86	19,75	33,16
G08	49,5	116,6	365,7	444,9	220,4	2,54	1,63	3158	164,10	35,83	21,65	35,27
G09	53,0	113,2	402,5	492,7	243,8	2,54	1,61	3665	166,12	36,61	22,40	36,23
G10	49,5	115,2	320,9	415,3	192,7	2,54	1,45	2430	126,27	42,91	29,41	42,40
G11	49,5	117,4	298,5	403,8	180,9	2,54	1,32	2330	121,08	48,03	35,26	47,23
G12	49,5	117,3	299,8	402,8	185,7	2,54	1,33	3124	162,33	47,64	34,35	47,44
G13	49,5	113,0	312,0	404,9	184,9	2,54	1,43	2380	123,67	43,70	29,79	42,24
G14	53,0	121,0	345,0	472,0	210,8	2,54	1,29	1968	89,20	49,21	36,80	48,61
G15	53,0	114,5	424,4	508,2	251,6	2,54	1,68	3064	138,88	33,86	19,75	32,66
G16	53,0	109,2	390,9	477,0	233,7	2,54	1,62	3764	170,61	36,22	22,02	35,38
G17	53,0	112,5	389,9	484,4	236,2	2,54	1,57	3350	151,85	38,19	24,23	38,07
G18	53,0	115,5	385,4	486,1	233,5	2,53	1,51	2462	111,60	40,32	26,12	39,86
G19	53,0	117,8	427,6	520,3	255,3	2,54	1,65	3926	177,95	35,04	21,68	34,98
G20	53,0	114,0	365,5	475,4	218,1	2,54	1,45	2906	131,72	42,91	30,06	42,71
G21	53,0	114,0	419,3	505,0	246,2	2,54	1,67	2142	97,09	34,25	20,45	33,13
G22	49,5	111,0	324,1	408,0	195,4	2,54	1,52	2230	115,88	40,16	25,90	39,48
G23	53,0	113,5	442,2	518,2	263,0	2,54	1,77	8524	386,37	30,31	17,19	29,78
G24	49,5	112,2	312,3	402,1	183,0	2,54	1,45	3342	173,66	42,91	28,75	40,99
G25	53,0	114,2	413,0	498,3	256,0	2,54	1,64	3642	165,08	35,43	20,65	35,20
G26	49,5	111,8	362,0	433,6	215,0	2,54	1,68	6580	341,92	33,86	19,78	32,75
G27	53,0	114,8	418,2	508,2	248,5	2,54	1,65	4936	223,73	35,04	21,52	34,66
GP01	53,0	116,6	306,0	432,9	192,7	2,53	1,19	980	44,42	52,96	41,46	52,82
GP02	53,0	114,0	300,7	425,0	187,9	2,53	1,20	1020	46,23	52,57	41,34	52,43
GP03	53,0	105,8	296,7	408,9	181,7	2,53	1,27	930	42,15	49,80	37,81	49,38
GP04	53,0	110,7	285,3	406,2	181,2	2,53	1,17	1100	49,86	53,75	42,36	53,72
GP05	53,0	117,2	311,1	438,2	193,7	2,53	1,20	1100	49,86	52,57	40,87	51,99
GP06	53,0	112,6	293,0	417,7	179,0	2,53	1,18	1680	76,15	53,36	42,56	52,24

Tablo 5.1. Kayseri Tüflerine ait Su içeriği, Özgül Ağırlık, Birim Hacim Ağırlık, Ağırlıkça Su Emme Deney Sonuçları (Devam) G=Gesi İ=İncesu

NUMUNE ADI	ÇAP (mm)	BOY (mm)	KURU AĞIRLIK (gr)	SUYA DOYGUN AĞIRLIK (gr)	SU İÇİNDEKİ AĞIRLIĞI (gr)	G_S ÖZGÜL AĞIRLIK	γ_{dry} t/m3	KIRILMA YÜKÜ (kğ)	UCS (kg/cm^2)	GERÇEK POROSİTE, n, %	MAKS SU İÇERİĞİ w (su emme)	GÖRÜNÜR POROZİTE N, %
GP07	53,0	116,8	310,8	436,0	187,0	2,53	1,21	1700	77,06	52,17	40,28	50,28
GP08	53,0	114,2	300,0	425,1	183,8	2,53	1,19	1550	70,26	52,96	41,70	51,84
İ01	53,0	117,0	399,0	499,0	237,6	2,56	1,55	2206	99,99	39,45	25,06	38,25
İ02	53,0	116,8	418,7	513,0	246,2	2,56	1,62	2660	120,57	36,72	22,52	35,34
İ03	53,0	118,7	436,6	526,5	256,1	2,53	1,67	3400	154,11	33,99	20,60	33,26
İ04	53,0	114,3	438,7	518,2	264,1	2,56	1,74	4140	187,65	32,03	18,12	31,28
İ05	53,0	120,0	410,1	512,3	248,1	2,56	1,55	2650	120,12	39,45	24,92	38,68
İ06	53,0	113,0	448,0	520,7	270,0	2,56	1,80	6013	272,55	29,69	16,23	29,00
İ07	53,0	114,5	456,1	528,3	274,4	2,56	1,81	4463	202,30	29,30	15,83	28,44
İ08	53,0	114,0	409,1	498,9	247,5	2,56	1,63	3240	146,86	36,33	21,95	35,72
İ09	53,0	113,0	400,4	490,9	240,8	2,56	1,61	3900	176,78	37,11	22,60	36,18
İ10	53,0	107,0	391,5	472,0	235,7	2,56	1,66	2100	95,19	35,16	20,56	34,06
İ11	53,0	114,5	406,7	498,6	247,0	2,56	1,61	3683	166,94	37,11	22,60	36,53
İ12	49,5	113,5	409,4	467,7	241,6	2,56	1,87	5520	286,84	26,95	14,24	25,78
İ13	53,0	116,0-	491,6	553,3	297,7	2,56	1,92	8770	397,52	25,00	12,55	24,14
İ14	49,5	117,4	419,2	481,9	245,6	2,56	1,86	5400	280,60	27,34	14,96	26,54
İ15	53,0	114,0	489,5	545,6	300,2	2,56	1,95	5814	263,53	23,83	11,46	22,86
İ16	53,0	113,4	482,6	543,5	290,5	2,56	1,93	8482	384,46	24,61	12,62	24,07
İ17	49,5	114,5	372,8	444,9	226,3	2,56	1,69	4790	248,91	33,98	19,34	32,98
İ18	49,5	114,0	384,4	450,9	237,4	2,56	1,75	8348	433,79	31,64	17,29	31,14
İ19	53,0	114,3	447,9	523,2	273,6	2,56	1,78	5955	269,92	30,47	16,82	30,18
İ20	53,0	113,0	483,8	546,0	283,2	2,56	1,94	6235	282,61	24,22	12,85	23,66
İ21	49,5	113,0	407,9	461,9	254,7	2,56	1,88	5853	304,14	26,56	13,24	26,06
İ22	49,5	114,4	390,6	459,3	234,9	2,56	1,77	4810	249,95	30,86	17,60	30,63
İ23	49,5	113,0	410,3	466,0	248,1	2,56	1,89	5510	286,32	26,17	13,58	25,57
İ24	49,5	118,0	440,7	495,6	267,8	2,56	1,94	8566	445,12	24,22	12,45	24,09
İ25	53,0	115,0	492,7	550,1	301,7	2,56	1,94	8900	403,41	24,22	11,65	23,11
İ26	49,5	111,0	415,0	465,1	253,0	2,56	1,94	8812	457,90	24,22	12,07	23,62
İ27	49,5	112,5	428,8	478,4	256,0	2,56	1,98	10000	519,64	22,66	11,57	22,30
İ28	49,5	110,0	363,4	431,4	218,0	2,56	1,72	5472	284,35	32,81	18,71	31,87
İ29	49,5	112,2	376,7	443,3	224,0	2,56	1,74	4756	247,14	32,03	17,68	30,37
İ30	53,0	115,0	403,3	498,8	246,4	2,56	1,59	4038	183,03	37,89	23,68	37,84

Tablo 5.2. Gesi Tüfü İçin Donma-Çözülme Deneyinde Kullanılan Numune Miktarları (TS699 Göre)

GESİ TÜFÜ-HER 5 ÇEVRİM SONUNDA TEK EKSENLİ BASINÇ DENEYİ İÇİN KIRILACAK NUMUNE MİKTARLARI												
	Sr=%0	**Sr=%10**	**Sr=%20**	**Sr=%30**	**Sr=%40**	**Sr=%50**	**Sr=%60**	**Sr=%70**	**Sr=%80**	**Sr=%90**	**Sr=%100**	Toplam
0.çevrim sonunda	FTGSR00C0 (3)	-	FTGSR20C0 (3)	-	FTGSR40C0 (3)	-		FTGSR70C0 (3)		FTGSR90C0 (3)		15
5.çevrim sonunda	FTGSR00C5 (2)	FTGSR10C5 (2)	FTGSR20C5 (3)	FTGSR30C5 (3)	FTGSR40C5 (3)	FTGSR50C5 (3)	FTGSR60C5 (3)	FTGSR70C5 (3)	FTGSR80C5 (3)	FTGSR90C5 (3)	FTGSR100C5 (3)	31
10.çevrim Sonunda		FTGSR10C10 - (1)			FTGSR40C10 (1)		FTGSR60C10 (1)	FTGSR70C10 (1)		FTGSR90C10 (1)		5
15.çevrim Sonunda		FTGSR10C15 (1)			FTGSR40C15 (1)		FTGSR60C15 (1)	FTGSR70C15 (1)		FTGSR90C15 (1)		5
20.çevrim Sonunda		FTGSR10C20 (1)			FTGSR40C20 (1)		FTGSR60C20 (1)	FTGSR70C20 (1)		FTGSR90C20 (1)		5
25.çevrim Sonunda		FTGSR10C25 (1)			FTGSR40C25 (1)		FTGSR60C25 (1)	FTGSR70C5 (1)		FTISR90C25 (1)		5
FT=Freeze-Thaw G=Gesi Sr=Doygunluk Derecesi % C=Çevrim sayısı 1 çevrim: 2 saat -20ºC ve 2 saat +20ºC (66 Numune Kullanılmıştır) (1) →Kırılacak Numune sayısını gösterir										Toplam Numune		66

Tablo 5.3. İncesu Tüfü için Donma-Çözülme Deneyinde Kullanılan Numune Miktarları (TS699 Göre)

GESİ TÜFÜ-HER 5 ÇEVRİM SONUNDA TEK EKSENLİ BASINÇ DENEYİ İÇİN KIRILACAK NUMUNE MİKTARLARI												
	Sr=%0	**Sr=%10**	**Sr=%20**	**Sr=%30**	**Sr=%40**	**Sr=%50**	**Sr=%60**	**Sr=%70**	**Sr=%80**	**Sr=%90**	**Sr=%100**	Toplam
0.çevrim sonunda	FTISR00C0 (1)	-	FTISR20C0 (1)	-	FTISR40C0 (1)	-		FTISR70C0 (1)		FTISR90C0 (1)		5
5.çevrim sonunda	FTISR00 C5 (1)	FTISR10C5 (1)	FTISR20C5 (2)	FTISR30C5 (2)	FTISR40C5 (2)	FTISR50C5 (2)	FTISR60C5 (2)	FTISR70C5 (2)	FTISR80C5 (2)	FTISR90C5 (2)	FTISR100C5 (2)	20
10.çevrim Sonunda		FTISR10C10 (1)			FTISR40C10 (1)		FTISR60C10 (1)	FTISR70C10 (1)		FTISR90C10 (1)		5
15.çevrim Sonunda		FTISR10C15 (1)			FTISR40C15 (1)		FTISR60C15 (1)	FTISR70C15 (1)		FTISR90C15 (1)		5
20.çevrim Sonunda		FTISR10C20 (1)			FTISR40C20 (1)		FTISR60C20 (1)	FTISR70C20 (1)		FTISR90C20 (1)		5
25.çevrim Sonunda		FTISR10C25 (1)			FTISR40C25 (1)		FTISR60C25 (1)	FTISR70C25 (1)		FTISR90C25 (1)		5
(FTISRC5)→FT=Freeze-Thaw, İ=İncesu , Sr=Doygunluk Derecesi %, C5=Çevrim sayısı 5 1 çevrim: 2 saat -20°C ve 2 saat +20°C (1) →Kırılacak Numune sayısını gösterir										Toplam Numune		45

Tablo 5.4. Kayseri Tüflerinin üç eksenli (triaxial test) deney sonuçları

Kayseri Tüfü	**Bölgede Birim**	**C Kohezon**	**∅ İçsel Sürtünme Açısı**	**Numune Adı**	**σ_3 Çevre Basıncı (MPa)**	**σ_1 Kırılma Basıncı (MPa)**
GESİ	G	6,5	44	G-1	3	48
				G-2	6	65
İNCESU	İ	6	52	İ-1	3	60
				İ-2	6	85
TALAS	T	1,8	27	T-1	3	14
				T-2	6	22
AĞIRNAS	BB	1,5	27	BB-1	3	13
				BB-2	6	21
TOMARZA	K	6,7	42	K-1	3	45
				K-2	6	60
	P	2,5	37	P-1	3	22
				P- 2	6	34
	S	5,5	33	S- 1	3	30
				S- 2	6	40
	SB	7,7	48	SB- 1	3	60
				SB- 2	6	80
	TB	3,35	42	TB- 1	3	30
				TB- 2	6	45
	TK	4,2	40	TK- 1	3	32
				TK- 2	6	46
	TP	2,2	42	TP- 1	3	25
				TP- 2	6	40
	TS	2,7	33	TS- 1	3	20
				TS- 2	6	30

Not:BB (Beyaz Benekli) Ağırnas, S (Siyah) Tomarza , TK (Tomarza kırmızısı), G Gesi (Gri), SB (Siyah Benekli) Tomarza, TP (Tomarza pembesi), İ İncesu, T (Talas), TS (Tomarza sarısı), P (Pembe), K (Tomarza Kahvesi), TB (Tomarza beyazı)

Tablo 5.5. Eğilmede çekme deney sonuçları-1.
(50x100x200 mm boyutunda Kayseri tüfleri üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi)

Eğilmede Çekme (50x100x200) TS699' yöntemiyle					
Numune Adı	Ağırlık (gr)	BHA (gr/cm3	Eğilmede çekme Kuvveti (kğ)	Eğilmede çekme Mukavemeti (kğ/cm^2)	Eğilmede çekme Mukavemeti (Mpa)
Gesi1	1750,2	1,7502	940	101,5	9,96
Gesi2	1701,8	1,7018	280	30,2	2,97
Gesi3	1768,4	1,7684	320	34,6	3,39
Gesi4	1795,1	1,7951	490	52,9	5,19
Gesi5	1703,2	1,7032	480	51,8	5,08
Gesi6	1794	1,794	509	55,0	5,39
Gesi7	1800,8	1,8008	320	34,6	3,39
Gesi8	1779,2	1,7792	340	36,7	3,6
Gesi9	1752	1,752	310	33,5	3,28
Gesi10	1777,7	1,7777	280	30,2	2,97
Gesi11	1660,2	1,6602	520	56,2	5,51
Gesi12	1740,3	1,7403	230	24,8	2,44
Gesi13	1680,6	1,6806	290	31,3	3,07
Gesi14	1712,4	1,7124	750	81,0	7,94
Gesi15	1721,4	1,7214	320	34,6	3,39
Gesipembe1	1330,8	1,3308	190	20,5	2,01
Gesipembe2	1435,2	1,4352	190	20,5	2,01
Gesipembe3	1435,5	1,4355	260	28,1	2,75
Gesipembe4	1268,7	1,2687	140	15,1	1,48
Gesipembe5	1285,2	1,2852	110	11,9	1,17
Gesipembe6	1511,4	1,5114	270	29,2	2,86
Gesipembe7	1439,7	1,4397	240	25,9	2,54
Gesipembe8	1448,9	1,4489	210	22,7	2,22
Gesipembe9	1279,3	1,2793	180	19,4	1,91

Tablo 5.6. Eğilmede çekme deney sonuçları-2.

(Çeşitli boy/çap oranlarında silindirik tüflere ait bazı örneklerin eğilmede çekme dayanımları)

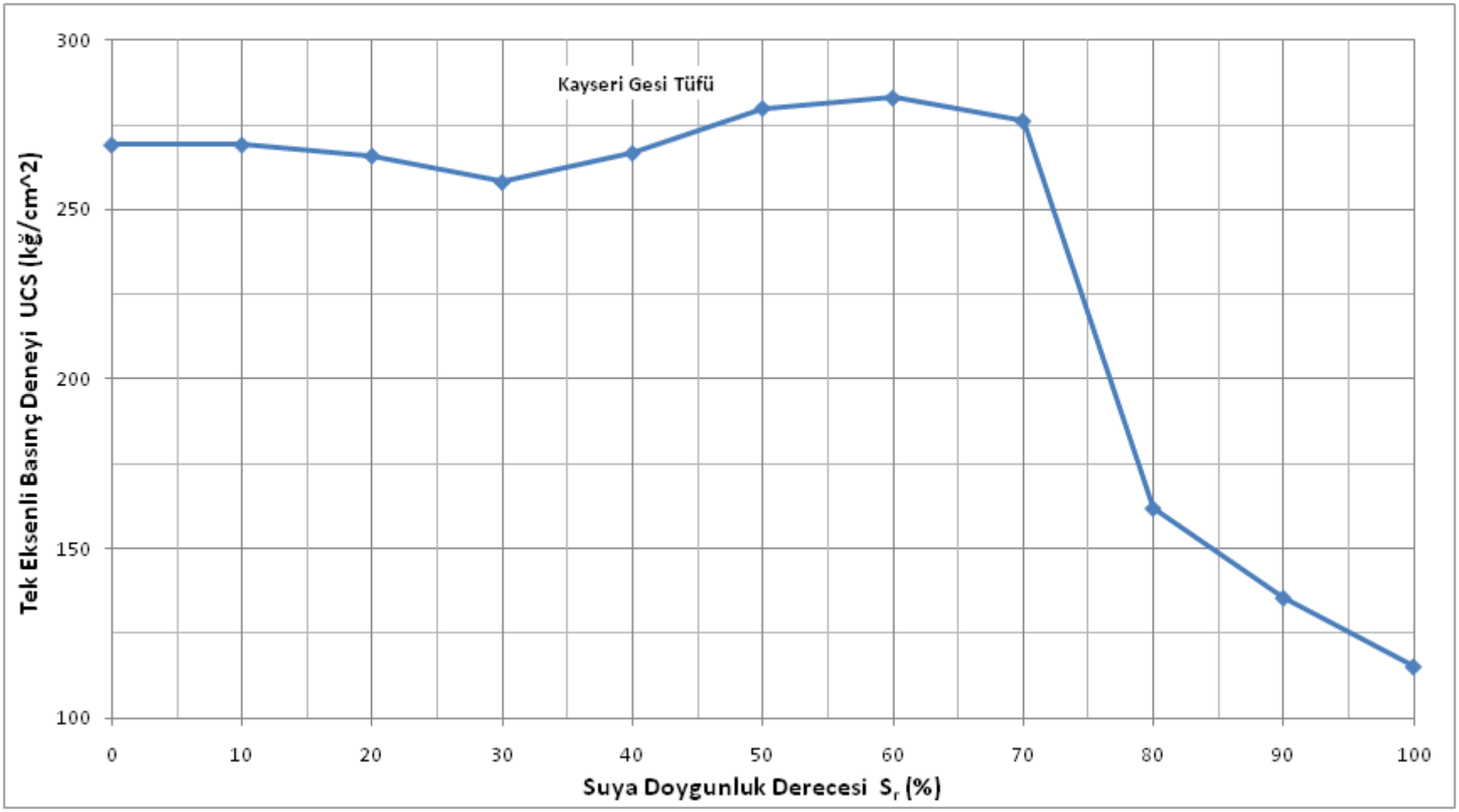
Eğilmede Çekme(silindir) sigma*=(p*L)/(Pi()*r^3)						
Numune Adı	çap (mm)	Boy (mm)	Ağırlık (gr)	Eğilmede çekme Kuvveti (kğ)	Eğilmede çekme Mukavemeti kğ/cm^2	Eğilmede çekme Mukavemeti Mpa (Sigma*)
BB17	53	134	350	120	18,2	1,78
TS3	53	122,1	419,1	210	29,1	2,85
K6	53	122,6	478,6	280	38,9	3,81
BB3	53	124,5	295,6	80	11,3	1,11
S21	54	123,6	392,3	240	19,6	1,92
TB34	53	126,2	427	210	30,0	2,94
TP6	53	126	497,3	370	52,8	5,18
T11	53	124,2	403,2	170	23,9	2,34
İ73	49	113,5	371,9	290	43,6	4,28
TB6	53	117	396,5	210	27,8	2,73
İ31	49	112	395,8	490	72,8	7,14
G30	53	123	469,7	250	34,8	3,41
G96	53	114,9	396,9	230	29,9	2,93
G6	53,1	111	432,9	270	33,8	3,31
İ3	49,5	113,5	419,7	420	61,9	6,07
İ22	50	117	436,5	440	65,5	6,42
İ123	49,5	118,3	432	480	73,8	7,24

Not:BB (Beyaz Benekli) Ağırnas, S (Siyah) Tomarza , G Gesi (Gri), Tomarza, TP (Tomarza pembesi), İ İncesu , T(Talas), TS (Tomarza sarısı) , K (Tomarza Kahvesi), TB (Tomarza beyazı)

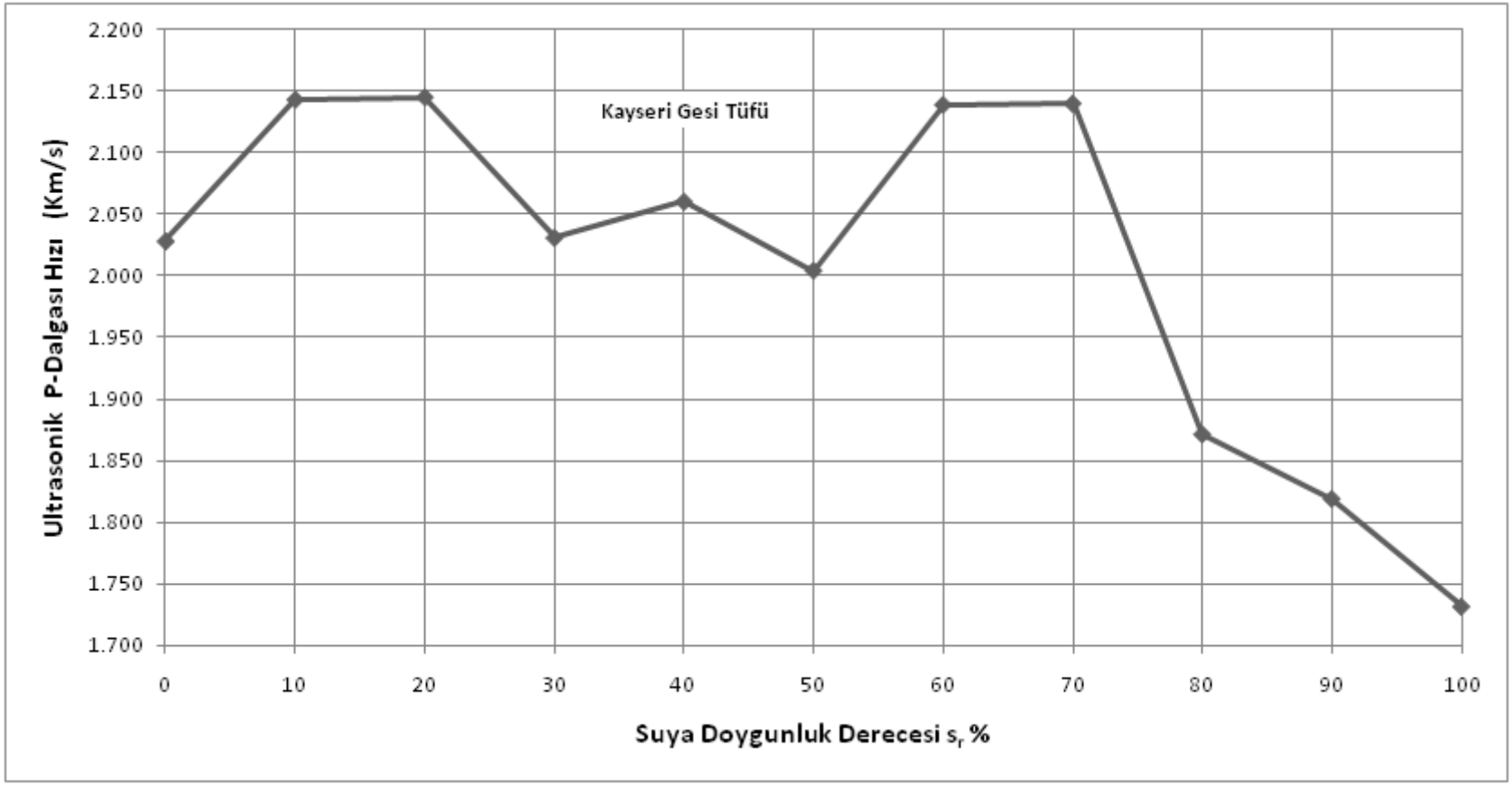
Donma-çözülme deney sonuçları TS 699'a göre yapılmış ve Ek Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen bilgiler aşağıda maddeler halinde ve grafik olarak sunulmuştur.

a) 5. donma-çözülme periyodu sonunda suya doygunluk derecesinin tüflerin tek eksenli basınç mukavemetine etkisi (TS699 yöntemi) Şekil 5.1
b) 5. donma-çözülme periyodu sonunda suya doygunluk derecesinin tüflerin boyuna dalga hizina, (Vp. m/s) etkisi (TS699 yöntemi) Şekil 5.2
c)%10, %40, %60, %70 ve %90 su içeriğinde iken, donma-çözülme periyodunun tüflerin tek eksenli basınç dayanımına etkisi (TS699 yöntemi) Şekil 5.3
d)%10, %40, %60, %70 ve %90 su içeriğinde iken donma-çözülme periyodunun tüflerin boyuna dalga hızı, (Vp. m/s) ilişkisi (TS699 yöntemi) Şekil 5.4

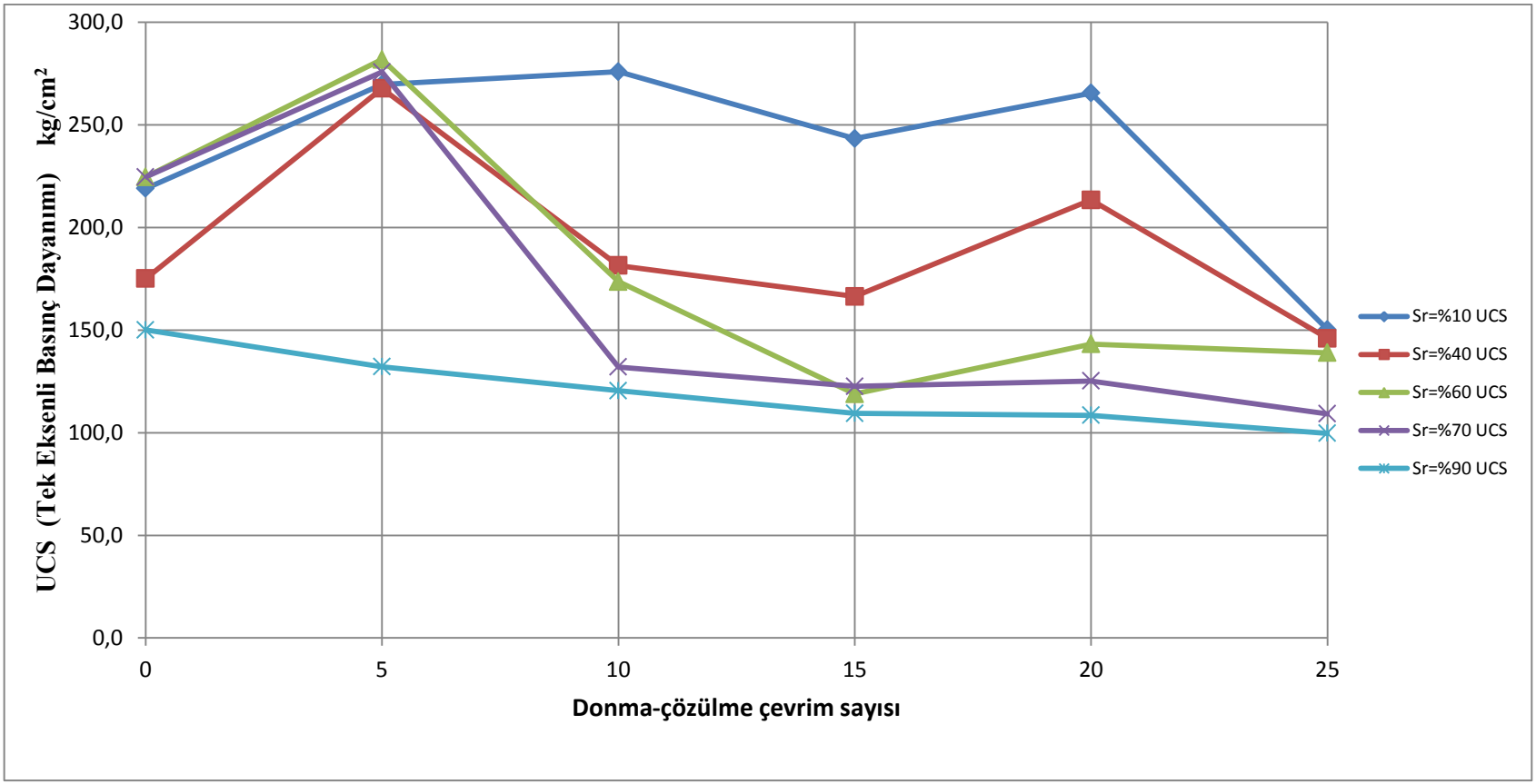
ASTM D5312-04 standardına göre yapılan donma-çözülme deneyinde ise 32 adet numune kullanılmıştır. Deney öncesi numuneler yaklaşık %70-%80 civarında suya doygun hale getirilip, poşetlenerek derin dondurucuya koyulmuştur. Sıcaklığın -18°C'a düştüğü gözlendikten sonra yaklaşık 12 saat sonra +32°C ± 5°C sıcaklıktaki su içine tamamen su altında kalacak şekilde daldırılarak 12 saat bekletilmiştir.Bir donma-çözülme çevrimi 1 gün sürmüştür. Sonra tekrar derin dondurucuya konulularak -18°C'ye kadar soğutulmuştur. Lienhart (1988) tarafından ABD'nin yıllık donma-çözülme çevrimlerinin coğrafya dağılımı için hazırladığı haritada kullanılan yöntem esas alınarak, aynı amaçla Türkiye içinde benzer bir harita da Binal vd. (1997) hazırlanmıştır. Bu haritada, örneklerin alındığı Kayseri'ye ait yıllık donma-çözülme çevrim sayısı 35 olarak belirtildiği için, bu deneyde numuneler 35 defa çevrime tabi tutulmuştur. Her beş çevrimde bir hazneden çıkarılarak örneklerde meydana gelen değişimlerin (kırık, ayrılma vb.) fotoğrafı çekilmiştir. Bu Şekil de donma ve çözülme işlemi 35 kez tekrarlanmıştır. Her 5 donma-çözülme çevrimi sonucunda suya doygunluk derecesi, tek eksenli basınç mukavemeti ve P dalga hızlarındaki değişimler incelenmiştir. Tablo 5.7'de ıslanma-kuruma deney sonuçu verilmiştir. ASTM D5312-04'e göre, donma çözülme çevrim sayısı-tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi Şekil 5.5'de ve donma çözülme çevrim sayısı-Vp (p-dalgası) sonik hızı ilişkisi ise Şekil 5.6'da verilmiştir.



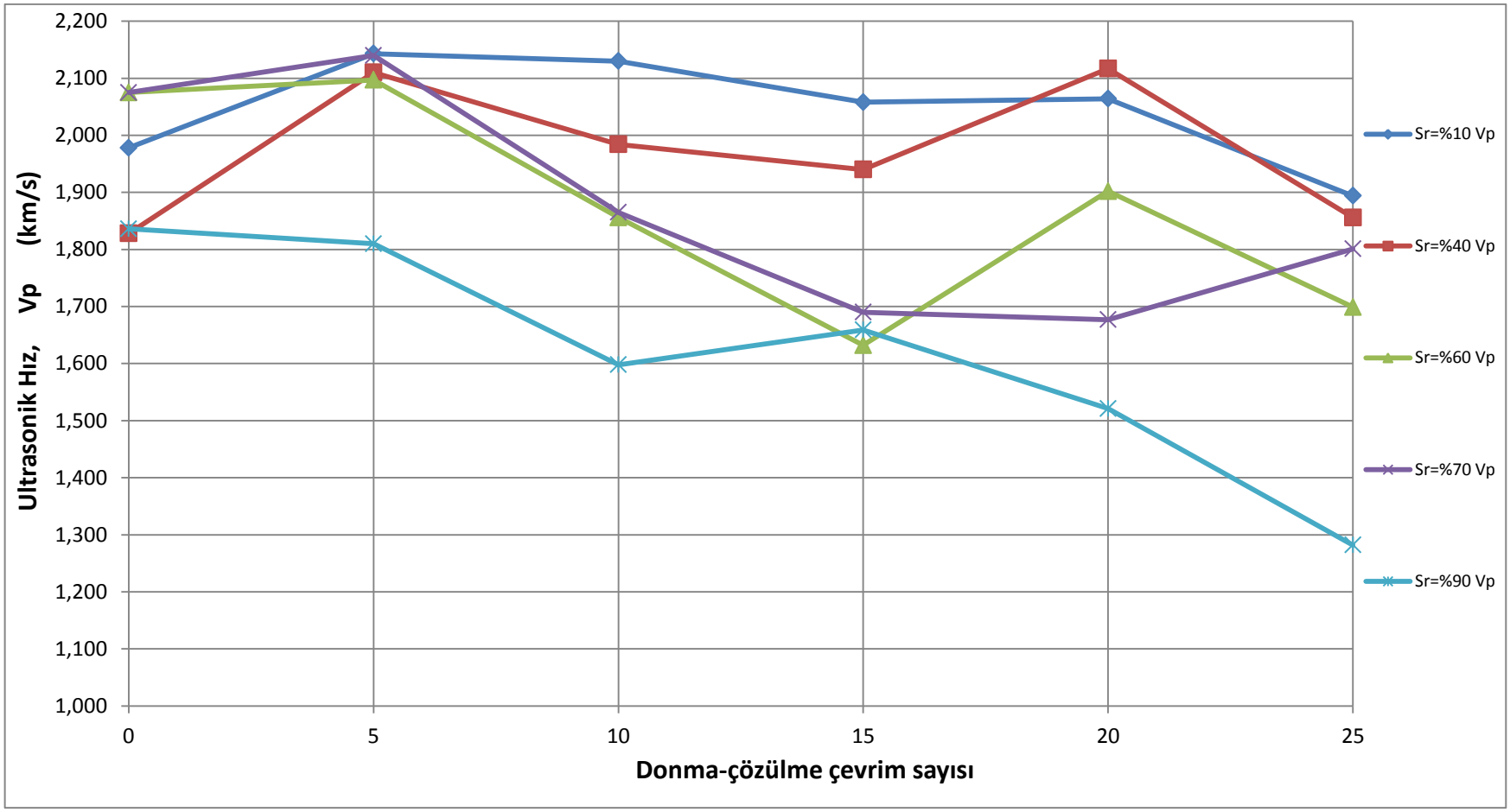
Şekil 5.1. Kayseri Gesi Tüfü TS699 göre Tek Eksenli Basınç Dayanımı-Suya Doygunluk İlişkisi (5. donma çözülme sonucunda ortalama değerler)



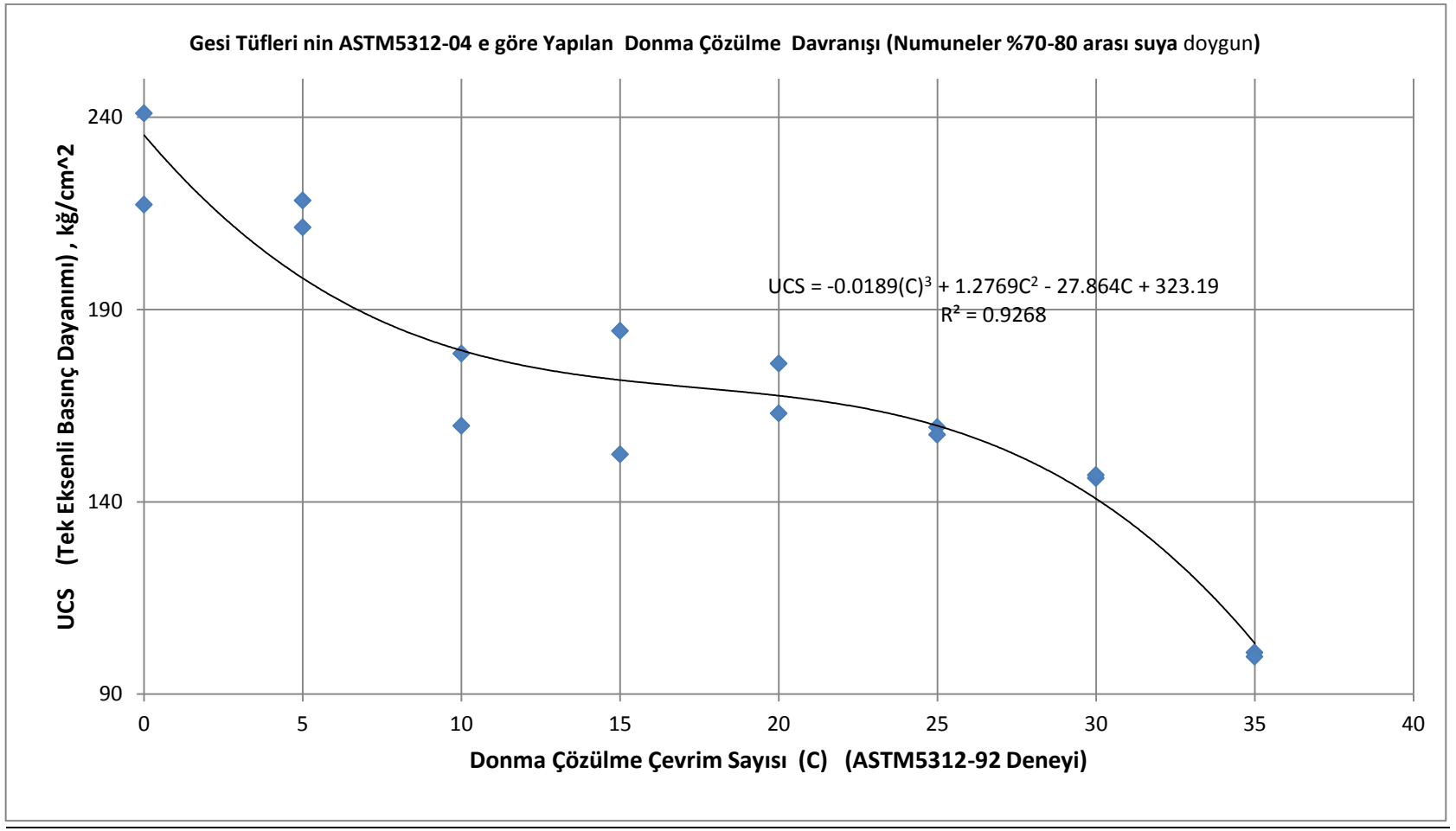
Şekil 5.2. Kayseri Gesi Tüfü TS699 göre P-Dalgası Hızı-Suya Doygunluk İlişkisi (5. donma çözülme sonucunda ortalama değerler)



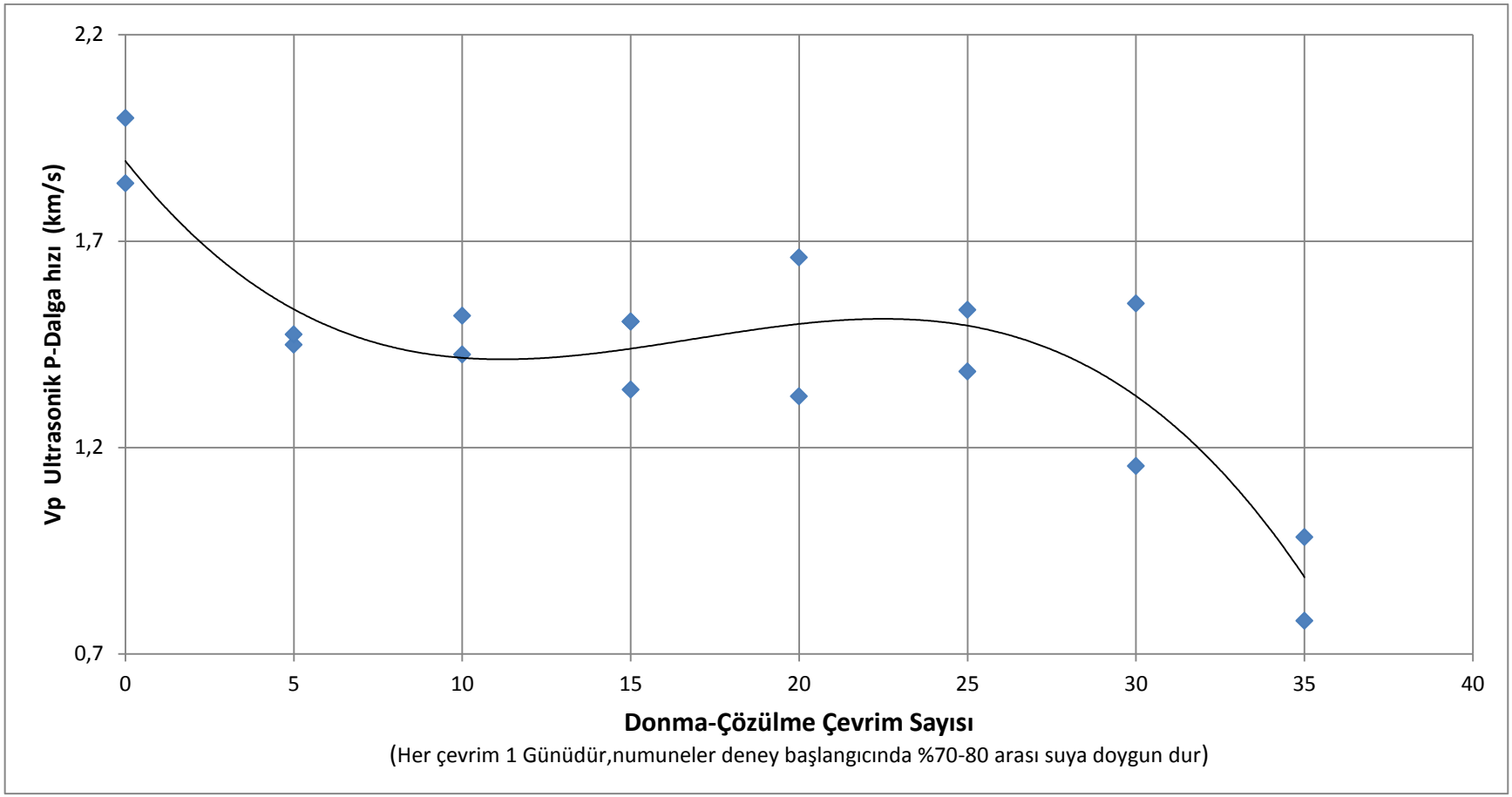
Şekil 5.3 Kayseri Gesi Tüfünde TS699 yöntemi göre donma-çözülme periyodunun tek eksenli basınç dayanımına etkisi



Şekil 5.4 Kayseri Gesi Tüfünde donma-çözülme periyodu ile ultrasonik P dalgası ilişkisi , TS699 yöntemi)



Şekil 5.5. Gesi Tüfleri nin ASTM5312-04 e göre UCS- Donma-Çözülme Çevrim sayısı İlişkisi Not:1çevrim 24 saat (16 saat -18 Derece ve 8 saat +32 Derece)



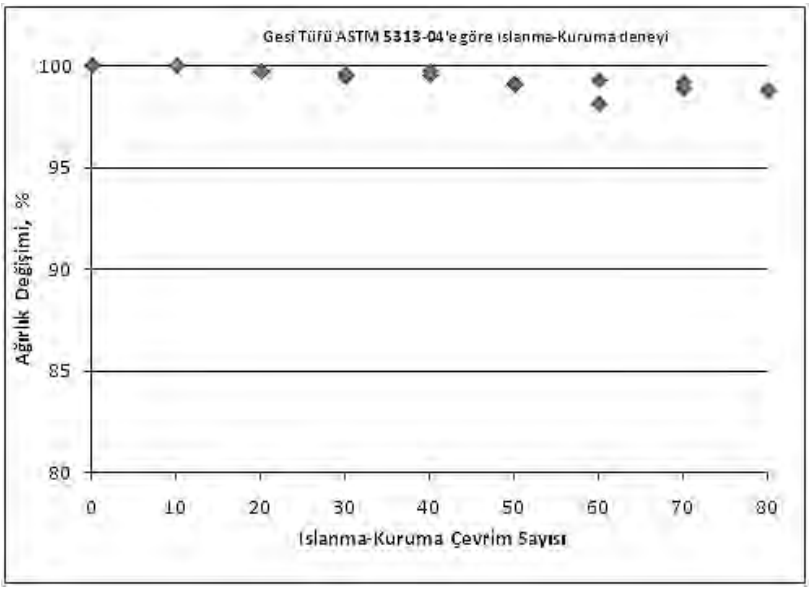
Şekil 5.6. Gesi Tüfleri nin ASTM5312-04'e göre Vp (Sonik Hız)- Donma-Çözülme Çevrim sayısı İlişkisi
Not:1çevrim 24 saat (1 çevrim=16 saat -18Derece ve 8 saat +32 Derece)

Tablo 5.7. Islanma-Kuruma deneyi

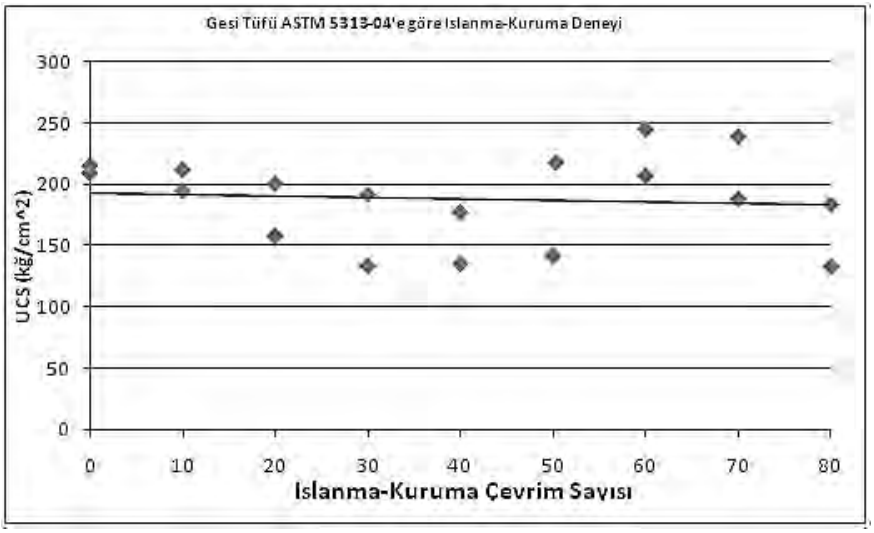
[Kayseri Gesi Tüfü ASTM 5313-04'e göre yapılan Islanma Kuruma Deneyi. WD:Wet-Dry (Islanma-Kuruma) G=Gesi C:Islanma-Kuruma çevrim sayısı]

Örnek No	Örnek Adı	Islanma-Kuruma Çevrim sayısı	Çap D (mm)	Boy L (mm)	Deney öncesi Kuru Ağırlık (gr) A	Deney sonrası Kuru Ağırlık (gr) B	Ağırlık Kaybı % 100-((A-B)/A)*100	Deney Sonu BHA (gr/cm^3)	Deney Sonu Tek Eksenli Kuvveti (kg)	Deney Sonu Tek Eksenli Basıncı (kğ/cm2)	Tüfün Tanımı
1	WDGC00-1	0	53	115,6	422,3	422,3	100	1,66	4622	209,5021	GESİ
2	WDGC00-2	0	53	117,2	419,4	419,4	100	1,62	4748	215,2133	GESİ
3	WDGC10-1	10	53	102	392,4	392,4	100	1,74	4296	194,7254	GESİ
4	WDGC10-2	10	53	115	437,6	437,6	100	1,72	4678	212,0404	GESİ
5	WDGC20-1	20	53	111,5	404,2	403,1	99,73	1,63	4422	200,4366	GESİ
6	WDGC20-2	20	53	112	403,6	402,3	99,68	1,63	3482	157,8291	GESİ
7	WDGC30-1	30	53	113,2	402,8	400,5	99,43	1,60	2938	133,1712	GESİ
8	WDGC30-2	30	53	117,3	419,2	417,4	99,57	1,62	4226	191,5525	GESİ
9	WDGC40-1	40	53	116,5	422,4	420,4	99,53	1,64	3908	177,1385	GESİ
10	WDGC40-2	40	53	114,5	410,7	409,5	99,71	1,62	2980	135,0749	GESİ
11	WDGC50-1	50	53	114,7	410,9	407,2	99,10	1,61	2918	132,2646	GESİ
12	WDGC50-2	50	53	121,7	457	452,7	99,06	1,69	5048	228,8114	GESİ
13	WDGC60-1	60	53	122	457,7	449,1	98,12	1,67	4568	207,0544	GESİ
14	WDGC60-2	60	53	113	438	434,8	99,27	1,74	5410	245,2199	GESİ
15	WDGC70-1	70	53	114	431,4	427,7	99,14	1,70	5278	239,2367	GESİ
16	WDGC70-2	70	53	113,8	442,9	437,83	98,86	1,74	4150	188,1077	GESİ
17	WDGC80-1	80	53	115	415,7	410,6	98,77	1,62	4052	183,6656	GESİ
18	WDGC80-2	80	53	116	413,9	408,9	98,79	1,60	2924	132,5366	GESİ

ASTM 5313-04'e göre yapılan ıslanma kuruma deneyinde, Şekil 5.7'de ıslanma-kuruma çevrim sayısı-ağırlık kaybı ilişkisi ve Şekil 5.8'de ıslanma-kuruma çevrim sayısı-tek eksenli basınç mukavemeti ilişkisi verilmiştir. Tablo 5.8'de arazide Kayseri tüflerinin dinamik özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Kayseri Gesi tüfü Islanma-Kuruma ile ağırlık kaybı ilişkisi



Şekil 5.8. Kayseri Gesi tüfü Islanma-Kuruma ile Tek eksenli basınç dayanımı değişimi (UCS)

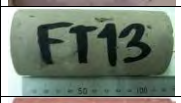
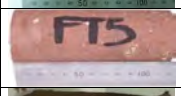
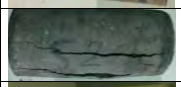
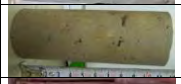
Tablo 5.8. Arazide Kayseri tüflerinin dinamik özellikleri (Gesi tüfü dinamik elastisite parametreleri)

PARAMETRELER	BİRİM	1.TABAKA	2.TABAKA
Hız (V_P)	(m/sn)	844	2468
Hız (V_S)	(m/sn)	368	1223
Kalınlık (h)	(m)	2,25	-
Hız Oranı (Vp/Vs)	(birimsiz)	2,29	2,02
Poisson Oranı	(birimsiz)	0,38	0,34
Birim Hacim Ağırlık	(gr/cm^3)	1,67	1,92
Kayma Modülü	(kg/cm^2)(GPa)	2263	32683(3,2)
Elastisite Modülü	(kg/cm^2)(GPa)	6257	87415(8,6)
Bulk Modülü (Sıkışmazlık)	(kg/cm^2)(Gpa)	8885	89558(8,8)
Zeminin Emniyetli Taşıma Gücü	(kg/cm^2)	1,23	4,61
Zemin Taşıma Gücü	(kg/cm^2)	6,15	26,72
Zemin Oturma Miktarı	(cm)	1,47	0,46
Zemin H.Titreşim Peryodu (Toplam)	(sn)		0,18
Zemin Büyütmesi	(Göreceli)	1,96	0,94
Zemin Yatak Katsayısı	(T/m^3)	2222	8300

5.3. Deneylerden Elde Edilen Verilerle İlgili İstatistiksel Sonuçlar

Şekil 5.1-Şekil 5.3 arasında veri dağılım grafikleri incelendiğinde Kayseri tüflerinin düşük dayanım, yumuşak ve orta sert kaya grubunda yığıldığı ve bu aralıkta elastiside modülünün 3 ile 12 GPa arasında değiştiği gözlenmektedir. Bu çalışmada, Kayseri tüflerinin yoğun olarak bulunduğu 5 bölgeden alınan tüf kayası incelenmiştir (Tablo 5.9). Kayseri tüflerini temsil eden 575 adet örnek kullanılarak elde edilen parametreleri tanımlayan istatistikler Tablo 5.10, Tablo 5.11'de verilmiştir. Bulunan parametrelerin histoğramları Şekil 5.9, 5.10 ve Şekil 5.11'de sunulmuştur.

Tablo 5.9. Çalışma bölgesindeki tüfler

Kayseri Tüflerinin Alındığı Bölgeler	Resim	Elde Edilen Numune Sayısı
BB (Beyaz Benekli) Ağırnas		22
G Gesi (Gri renki)		124
İ İncesu		211
k (Tomarza Kahvesi)		5
S (Siyah)Tomarza		22
Sb (Siyah Benekli) Tomarza		11
T (Talas)		28
Tb (Tomarza beyazı)		32
Tk (Tomarza kırmızısı)		7
Tp (Tomarza pembesi)		13
Ts (Tomarza sarısı)		17
Tv (Tomarza Vişne)		5
P (Gesi Pembesi)		15
Diğer (G, P ve İ ağırlıklı)		63
TOPLAM NUMUNE SAYISI		**575**

Tablo 5.10. Çalışma bölgesindeki tüflerin istatistiksel sonuçları

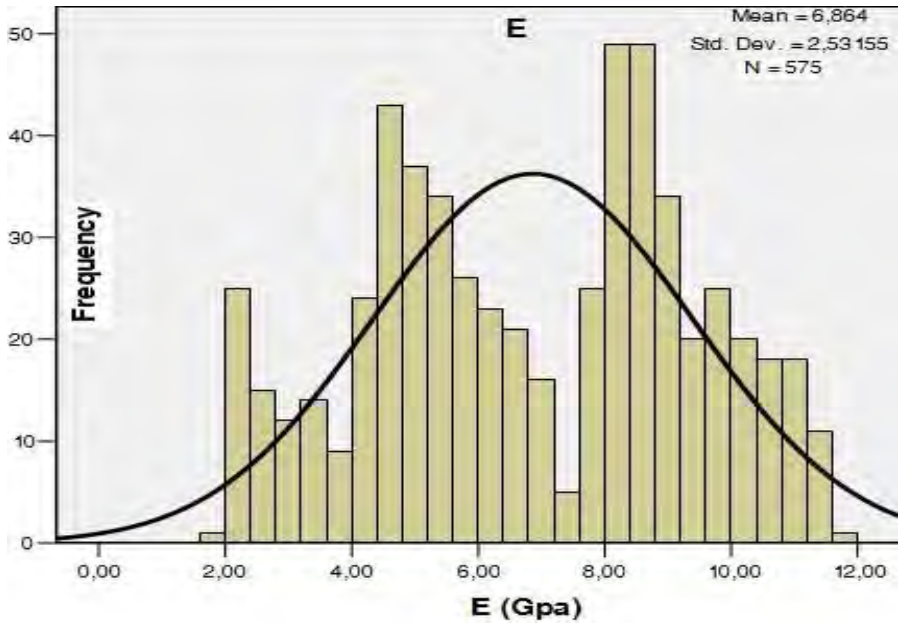
Bölge	Grup		E (GPa)	UCS (MPa)	BHA (kN/m^3)	N irimsiz	Vp (Km/s)	Is50e (MPa)	Brt (MPa)	Is50c (MPa)
Agirnas	BB	N	22	22	22	22	22	22	22	22
		Minimum	1.97	5.330	10.550	.517	1.394	.570	1.050	.44
		Maximum	3.17	9.440	11.940	.573	1.839	.570	1.050	.44
		Mean	2.4103	7.70273	11.46682	.53591	1.67327	.57000	1.05000	.4400
		Std. Dev.	.34516	1.171317	.424504	.017102	.118283	.000000	.000000	.00000
Diger	Diger	N	63	63	63	63	63	63	63	63
		Minimum	2.07	4.130	11.460	.226	1.221	.470	1.250	.42
		Maximum	10.21	50.960	19.420	.542	3.049	2.440	4.000	1.77
		Mean	6.6185	21.23317	15.84127	.36676	2.07817	1.66206	2.97619	1.3486
		Std. Dev.	2.24142	10.690883	2.195068	.086156	.479551	.774003	1.037322	.46340
Gesi	G	N	124	124	124	124	124	124	124	124
		Minimum	4.00	9.840	12.690	.269	1.438	1.110	2.300	1.14
		Maximum	8.48	38.010	18.200	.490	2.916	1.110	2.300	1.14
		Mean	5.8897	20.19758	15.83226	.36444	1.94816	1.11000	2.30000	1.1400
		Std. Dev.	1.27480	7.962184	1.339182	.053757	.266940	.000000	.000000	.00000
	p	N	15	15	15	15	15	15	15	15
		Minimum	3.13	7.090	12.200	.446	1.236	.410	1.380	.61
		Maximum	3.71	11.230	13.740	.508	1.330	.410	1.380	.61
		Mean	3.4871	9.65067	13.26933	.46513	1.29787	.41000	1.38000	.6100
		Std. Dev.	.19171	1.212155	.642867	.025884	.023049	.000000	.000000	.00000
	Total	N	139	139	139	139	139	139	139	139
		Minimum	3.13	7.090	12.200	.269	1.236	.410	1.380	.61
		Maximum	8.48	38.010	18.200	.508	2.916	1.110	2.300	1.14
		Mean	5.6305	19.05942	15.55568	.37530	1.87799	1.03446	2.20072	1.0828
		Std. Dev.	1.41843	8.212232	1.509082	.060224	.323374	.217975	.286482	.16504
incesu	i	N	211	211	211	211	211	211	211	211
		Minimum	7.59	19.410	15.660	.222	2.003	2.440	4.000	1.77
		Maximum	11.63	55.540	19.520	.376	3.207	2.440	4.000	1.77
		Mean	9.3395	34.17346	18.18474	.27564	2.67438	2.44000	4.00000	1.7700
		Std. Dev.	1.06966	9.128147	1.010202	.040246	.277188	.000000	.000000	.00000
Talas	T	N	28	28	28	28	28	28	28	28
		Minimum	2.12	3.640	13.420	.394	1.251	.410	.830	.47
		Maximum	3.72	9.900	15.030	.459	1.882	.410	.830	.47
		Mean	2.8076	6.30429	14.22393	.42668	1.58929	.41000	.83000	.4700
		Std. Dev.	.43806	1.584537	.578864	.023279	.178455	.000000	.000000	.00000
Tomarza	K	N	5	5	5	5	5	5	5	5
		Minimum	9.45	32.000	17.090	.299	2.562	2.070	4.810	1.74
		Maximum	11.08	34.960	17.590	.319	2.689	2.070	4.810	1.74
		Mean	10.5628	33.43800	17.40400	.30660	2.64200	2.07000	4.81000	1.7400
		Std. Dev.	.69549	1.168469	.202435	.008081	.051778	.000000	.000000	.00000
	S	N	22	22	22	22	22	22	22	22
		Minimum	4.29	14.850	13.600	.382	2.026	1.110	2.500	.86
		Maximum	5.50	19.750	15.280	.449	2.278	1.110	2.500	.86
		Mean	5.0721	16.70591	14.14591	.42755	2.14800	1.11000	2.50000	.8600
		Std. Dev.	.28768	1.236734	.336376	.013479	.071123	.000000	.000000	.00000
	SB	N	11	11	11	11	11	11	11	11
		Minimum	8.20	26.550	17.560	.275	2.718	1.420	3.540	1.97
		Maximum	9.54	35.090	18.330	.306	3.017	1.420	3.540	1.97
		Mean	8.6366	29.34364	17.88273	.29309	2.89509	1.42000	3.54000	1.9700
		Std. Dev.	.40899	2.443634	.246459	.009751	.109678	.000000	.000000	.00000
	TB	N	32	32	32	32	32	32	32	32
		Minimum	4.53	10.360	13.690	.362	1.362	.870	2.080	.86
		Maximum	5.64	18.370	15.900	.450	2.102	.870	2.080	.86
		Mean	4.7643	14.38281	14.99656	.39791	1.52069	.87000	2.08000	.8600
		Std. Dev.	.22402	2.409068	.377065	.015096	.204063	.000000	.000000	.00000

Tablo 5.10. Çalışma bölgesindeki tüflerin istatistiksel sonuçları (Devam)

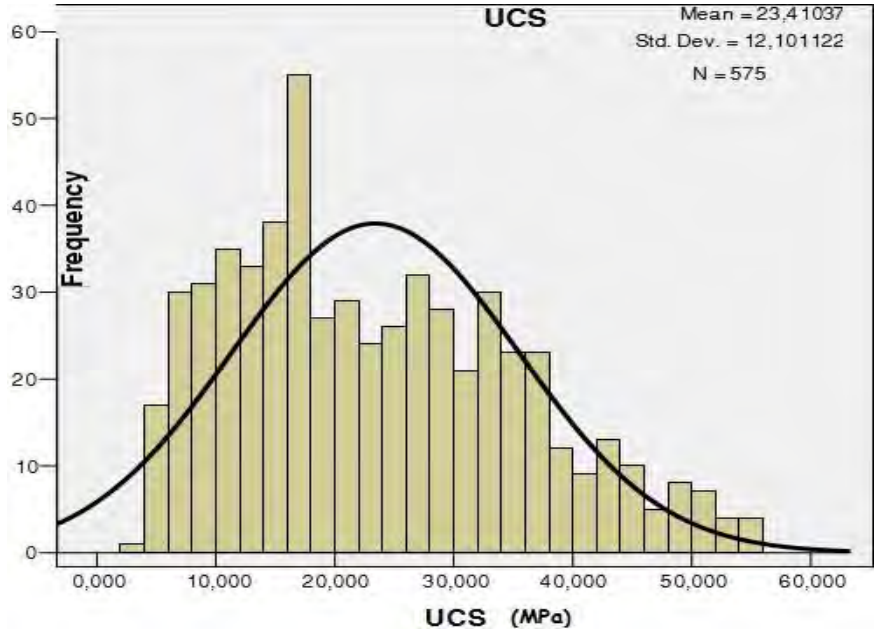
Bölge	Grup		E (GPa)	UCS (MPa)	BHA (kN/m^3)	N irimsiz	Vp (Km/s)	Is50e (MPa)	Brt (MPa)	Is50c (MPa)
Tomarza	TK	N	7	7	7	7	7	7	7	7
		Minimum	4.02	9.100	14.300	.349	1.507	.620	.850	.51
		Maximum	5.01	17.980	16.600	.439	2.316	.620	.850	.51
		Mean	4.4269	12.31143	15.91571	.37571	2.03471	.62000	.85000	.5100
		Std. Dev.	.31609	2.930020	.788519	.030934	.286919	.000000	.000000	.00000
	TP	N	13	13	13	13	13	13	13	13
		Minimum	5.88	15.480	17.260	.262	1.974	2.090	4.320	.94
		Maximum	7.05	21.880	18.610	.315	2.495	2.090	4.320	.94
		Mean	6.4992	18.89385	17.86615	.29108	2.22100	2.09000	4.32000	.9400
		Std. Dev.	.35162	2.064052	.432503	.017027	.140385	.000000	.000000	.00000
	TS	N	17	17	17	17	17	17	17	17
		Minimum	3.74	8.070	13.750	.373	1.583	1.230	2.250	.88
		Maximum	6.99	20.770	15.430	.441	2.230	1.230	2.250	.88
		Mean	5.2263	12.83588	14.77529	.39965	1.95600	1.23000	2.25000	.8800
		Std. Dev.	.98684	3.987807	.503489	.020350	.180604	.000000	.000000	.00000
	TV	N	5	5	5	5	5	5	5	5
		Minimum	5.08	7.530	17.280	.282	1.988	1.200	2.360	1.37
		Maximum	6.51	11.740	18.230	.320	2.110	1.200	2.360	1.37
		Mean	5.7474	9.93400	17.65200	.30500	2.04040	1.20000	2.36000	1.3700
		Std. Dev.	.66289	1.957366	.382583	.015133	.051384	.000000	.000000	.00000
	Total	N	112	112	112	112	112	112	112	112
		Minimum	3.74	7.530	13.600	.262	1.362	.620	.850	.51
		Maximum	11.08	35.090	18.610	.450	3.017	2.090	4.810	1.97
		Mean	5.7582	17.11991	15.69589	.37169	2.03164	1.22009	2.64920	1.0215
		Std. Dev.	1.64182	6.466178	1.497675	.054421	.445910	.430818	.972639	.38847
Total	Total	N	575	575	575	575	575	575	575	575
		Minimum	1.97	3.640	10.550	.222	1.221	.410	.830	.42
		Maximum	11.63	55.540	19.520	.573	3.207	2.440	4.810	1.97
		Mean	6.8640	23.41037	16.35774	.34574	2.20020	1.60697	2.92252	1.2977
		Std. Dev.	2.53155	12.101122	2.129297	.082335	.512223	.766242	1.111173	.47842

Tablo 5.11. Tüm Kayseri tüfleri ile ilgili genel istatistik

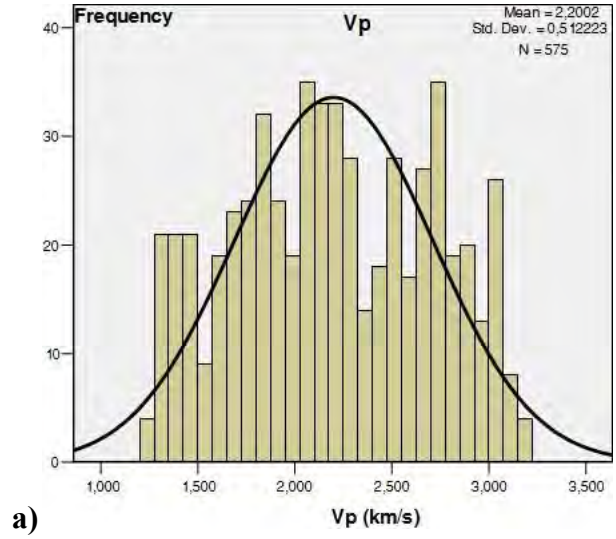
		Count	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Range
E	(GPa)	575	1.97	11.63	6.86	2.53	9.66
UCS	(MPa)	575	3.640	55.540	23.410	12.101	51.900
BHA	(kN/m^3)	575	10.550	19.520	16.358	2.129	8.970
n	------	575	.222	.573	.346	.082	.351
VP	(m/s)	575	1.221	3.207	2.200	.512	1.986
Gs	-------	575	2.510	2.600	2.548	.017	.090
Is50e	(MPa)	575	.410	2.440	1.607	.766	2.030
Brt	(MPa)	575	.830	4.810	2.923	1.111	3.980
Is50c	(MPa)	575	.42	1.97	1.30	.48	1.55



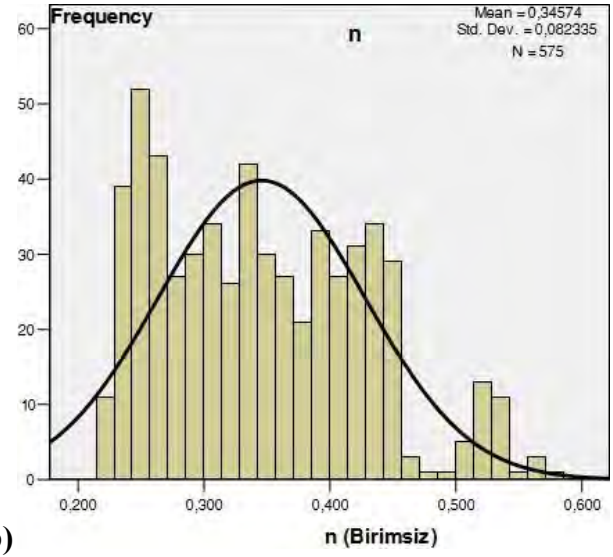
Şekil 5.9. Tüm Kayseri tüflerinin elastisite modülü (E) değerleri histoğramı



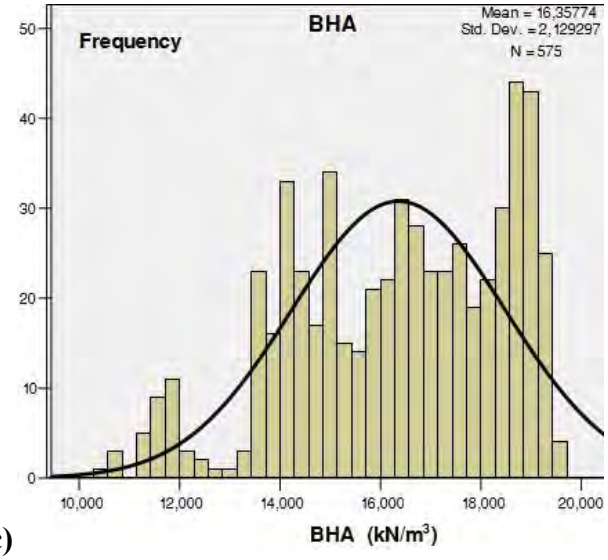
Şekil 5.10. Tüm Kayseri tüflerinin tek eksenli basınç mukavemet değerleri (UCS) histoğramı



a)



b)



c)

Şekil 5.11. a)Sismik hız (Vp) b) Porozite (n) c) Birim Hacim Ağırlık histoğramlar değerleri

5.4. Parametreler Arası Korelasyon ve Basit Regrasyon Modelleri

Tüfler üzerinde yukarıda bahsedilen deneyler yapılarak 575 adet numuneye ait parametreler elde edilmiş ve bunlar arasında korelasyonlar Tablo 5.12'de verilmiştir. Bu ikili doğrusal korelasyonların dışında, çeşitli denklemler uydurularak çeşitli doğrusal olmayan modeller üretilmiştir.

Tablo 5.12. Kayseri tüflerinin geoteknik parametreleri arasındaki doğrusal korelasyonlar

	Korelasyon (R)	E	UCS	BHA	n	Vp	ie	Brt	ic
E	Pearson Correlation	1	.930(**)	.888(**)	-.886(**)	.889(**)	.885(**)	.886(**)	.902(**)
UCS	Pearson Correlation	.930(**)	1	.821(**)	-.822(**)	.857(**)	.760(**)	.750(**)	.773(**)
BHA	Pearson Correlation	.888(**)	.821(**)	1	-.999(**)	.846(**)	.789(**)	.796(**)	.813(**)
N	Pearson Correlation	-.886(**)	-.822(**)	-.999(**)	1	-.844(**)	-.782(**)	-.789(**)	-.805(**)
Vp	Pearson Correlation	.889(**)	.857(**)	.846(**)	-.844(**)	1	.818(**)	.810(**)	.812(**)
ie	Pearson Correlation	.885(**)	.760(**)	.789(**)	-.782(**)	.818(**)	1	.972(**)	.927(**)
Brt	Pearson Correlation	.886(**)	.750(**)	.796(**)	-.789(**)	.810(**)	.972(**)	1	.926(**)
ic	Pearson Correlation	.902(**)	.773(**)	.813(**)	-.805(**)	.812(**)	.927(**)	.926(**)	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

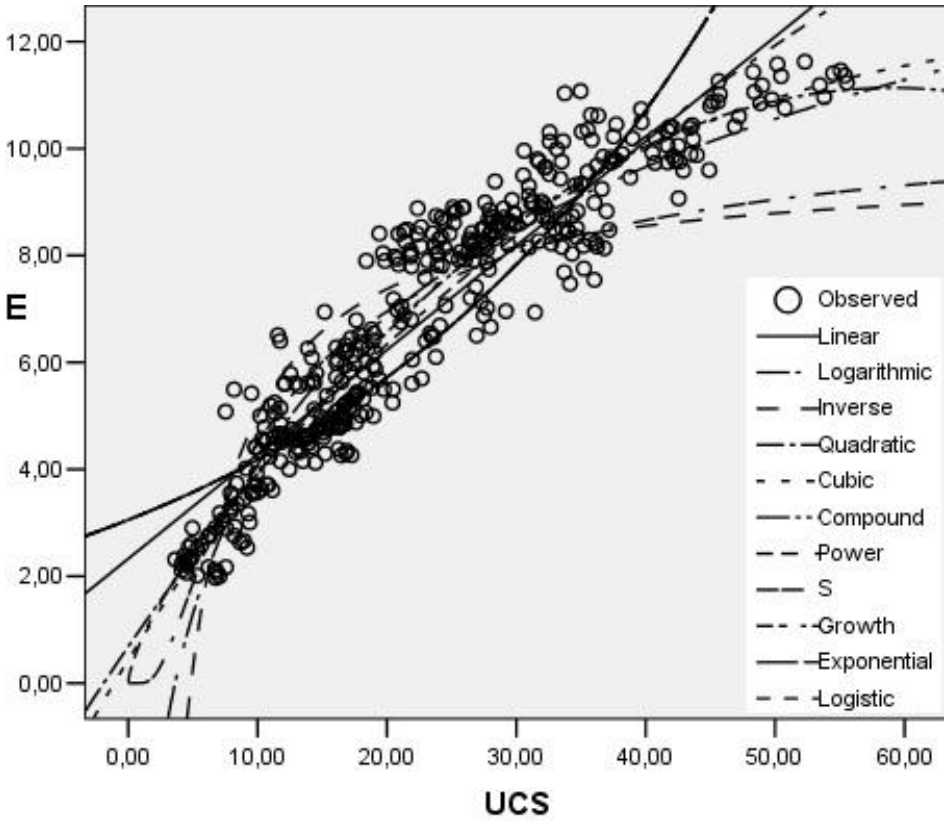
5.4.1. E-UCS arasındaki Modeller

Elastisite modülü ile tek eksenli basınç dayanımı arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.13 ve Şekil 5.12'de sunulmuştur.

Tablo 5.13 E-UCS arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini

	Model Özeti					Parametre Tahmini			
Denklem	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	.866	2598.798	1	403	.000	2.327	.195		
Logarithmic	.881	2978.610	1	403	.000	-5.169	4.019		
Inverse	.675	835.401	1	403	.000	9.735	-47.259		
Quadratic	.904	1885.280	2	402	.000	.683	.354	-.003	
Cubic	.904	1258.391	3	401	.000	.433	.393	-.005	1.96E-005
Power	.899	3592.795	1	403	.000	.802	.690		
Exponential	.773	1374.158	1	403	.000	3.055	.031		

Bağımlı Değişken: E Bağımsız Değişken: UCS.



Şekil 5.12. E-UCS arasındaki modeller

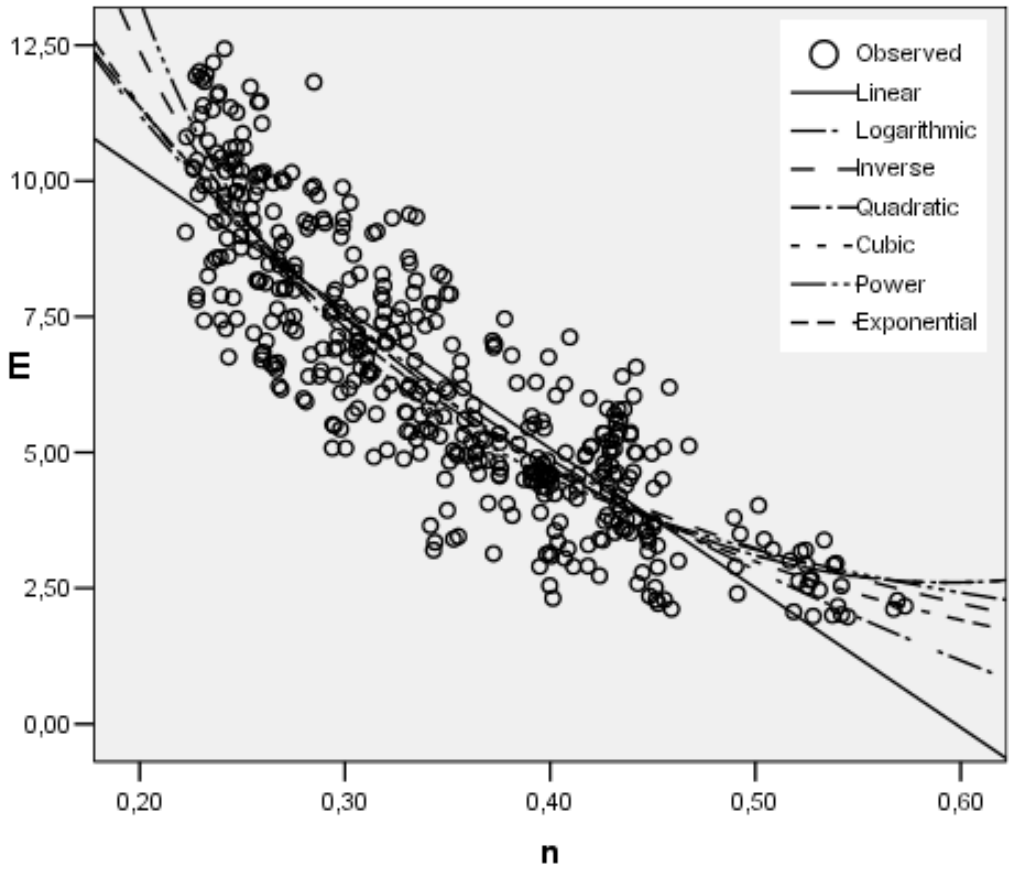
5.4.2. E-n arasındaki modeller

Elastisite modülü ile porozite arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.14 ve Şekil 5.13'de sunulmuştur.

Tablo 5.14. E-n arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini

	Modelin Özeti					Parametre Tahminis			
Denklem	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	.785	1474.432	1	403	.000	16.322	-27.254		
Logarithmic	.788	1499.864	1	403	.000	-3.442	-9.492		
Inverse	.769	1344.105	1	403	.000	-2.574	3.102		
Quadratic	.791	758.786	2	402	.000	19.407	-45.163	24.627	
Cubic	.791	760.389	2	402	.000	18.402	-36.373	.000	22.148
Power	.754	1236.116	1	403	.000	1.141	-1.578		
Exponential	.784	1464.394	1	403	.000	31.561	-4.629		

Bağımlı Değişken: E Bağımsız Değişken n.



Şekil 5.13. E-n arasındaki modeller

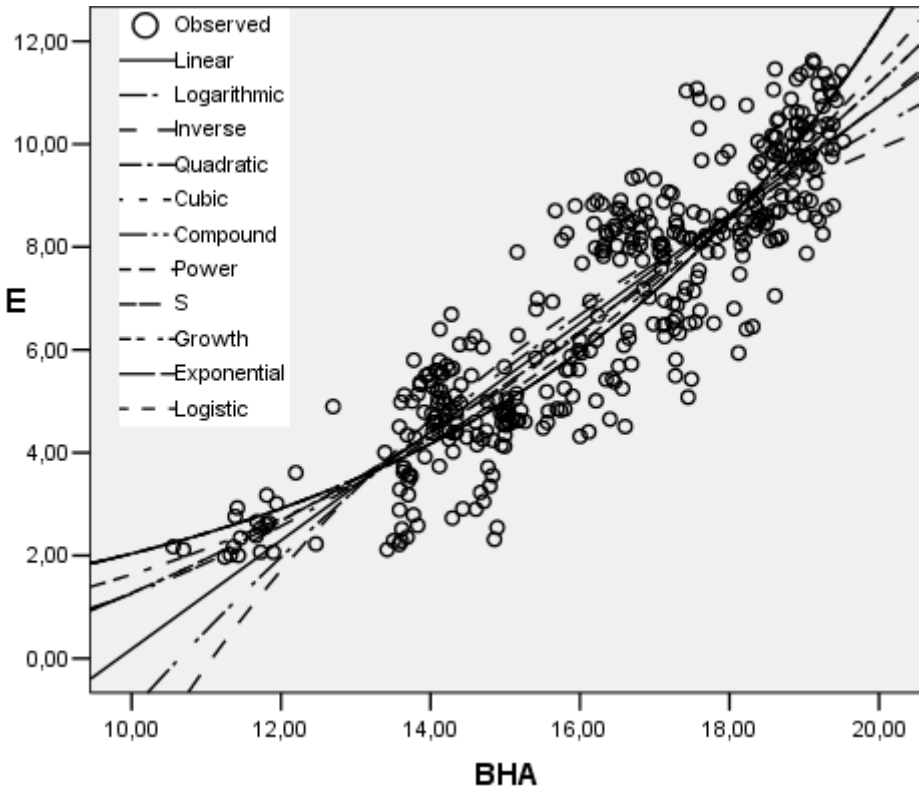
5.4.3. E-BHA arasındaki modeller

Elastisite modülü ile birim hacim ağırlık arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.15 ve Şekil 5.14'de sunulmuştur.

Tablo 5.15. E-BHA arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini

	Modelin Özeti					Parametre Tahmini			
Denklem	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	.789	1508.147	1	403	.000	-10.384	1.057		
Logarithmic	.774	1383.838	1	403	.000	-38.705	16.369		
Inverse	.748	1197.453	1	403	.000	22.219	-246.122		
Quadratic	.794	774.268	2	402	.000	-1.447	-.088	.036	
Cubic	.794	774.268	2	402	.000	-1.447	-.088	.036	.000
Power	.794	1549.797	1	403	.000	.002	2.817		
Exponential	.786	1482.847	1	403	.000	.339	.179		

Bağımlı Değişken: E Bağımsız Değişken BHA.



Şekil 5.14. E-BHA arasındaki modeller

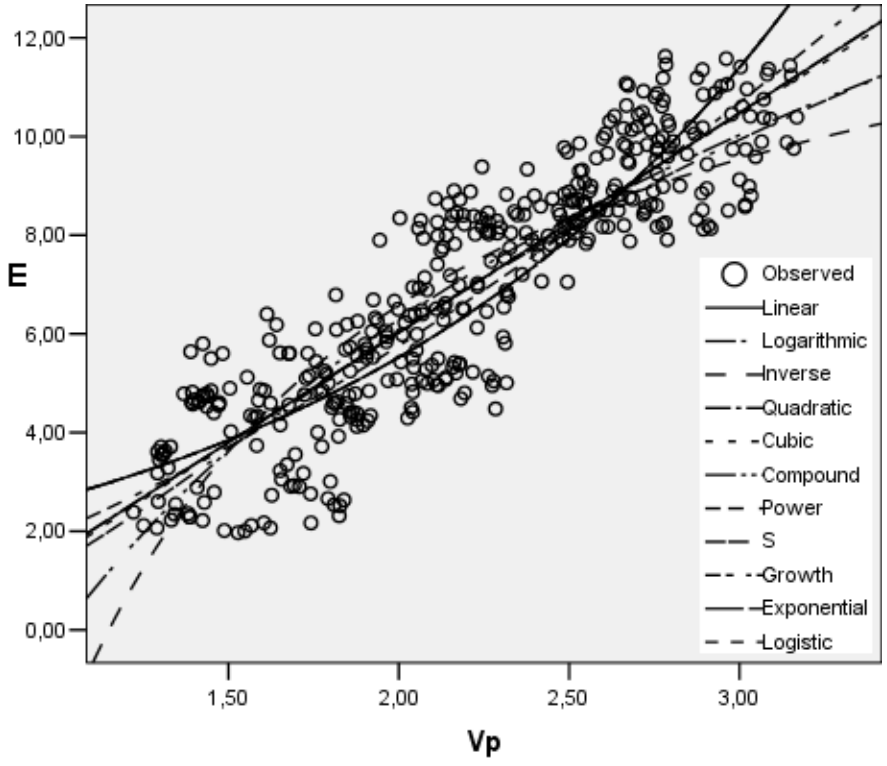
5.4.4. E-Vp arasındaki modeller

Elastisite modülü ile ultrasonik P dalga hızı arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.16 ve Şekil 5.15'de sunulmuştur.

Tablo 5.16. E-Vp arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini

	Modelin Özeti					Parametre Tahmini			
Denklem	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	.791	1521.855	1	403	.000	-2.879	4.452		
Logarithmic	.775	1390.650	1	403	.000	-.102	9.222		
Inverse	.734	1112.827	1	403	.000	15.465	-17.774		
Quadratic	.791	759.044	2	402	.000	-2.833	4.408	.010	
Cubic	.791	759.321	2	402	.000	-3.122	4.629	.000	-.012
Power	.734	1114.854	1	403	.000	2.000	1.526		
Exponential	.725	1061.297	1	403	.000	1.297	.725		

Bağımlı Değişken: E Bağımsız Değişken is V_P.



Şekil 5.15. E-Vp arasındaki modeller

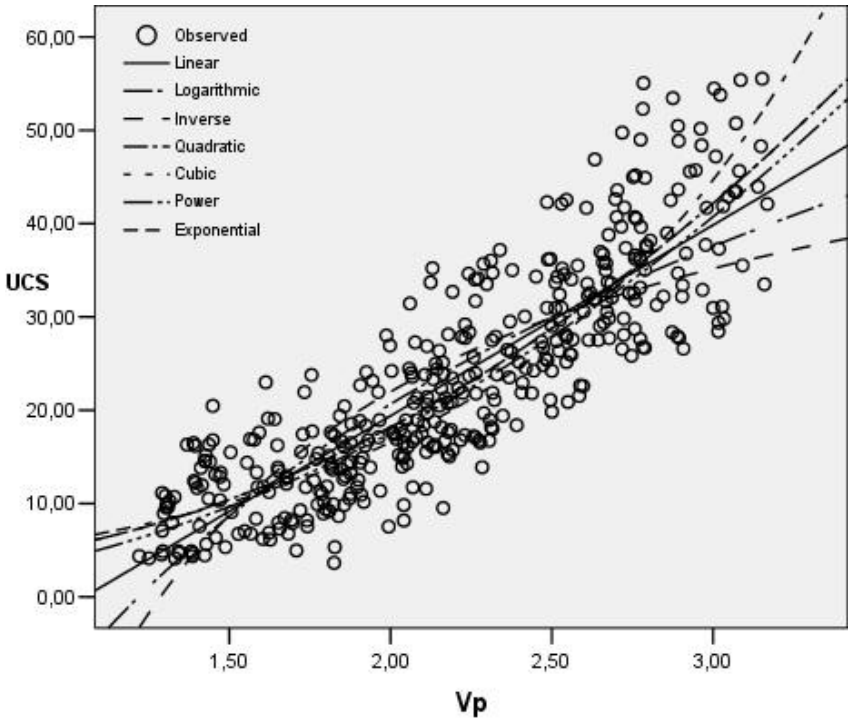
5.4.5. UCS-Vp arasındaki modeller

Tek eksenli basınç dayanımı ile ultrasonik P dalga hızı arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.17 ve Şekil 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.17. UCS-Vp arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini

	Modelin Özeti					Parametre Tahmini			
Denklem	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	.735	1118.994	1	403	.000	-21.505	20.452		
Logarithmic	.699	936.804	1	403	.000	-8.262	41.718		
Inverse	.643	725.527	1	403	.000	61.597	-79.232		
Quadratic	.749	600.413	2	402	.000	4.064	-4.220	5.641	
Cubic	.749	600.413	2	402	.000	4.064	-4.220	5.641	.000
Power	.720	1037.558	1	403	.000	4.166	2.076		
Exponential	.720	1033.973	1	403	.000	2.281	.992		

Bağımlı Değişken: UCS Bağımsız Değişken V_p



Şekil 5.16. UCS-Vp arasındaki modeller

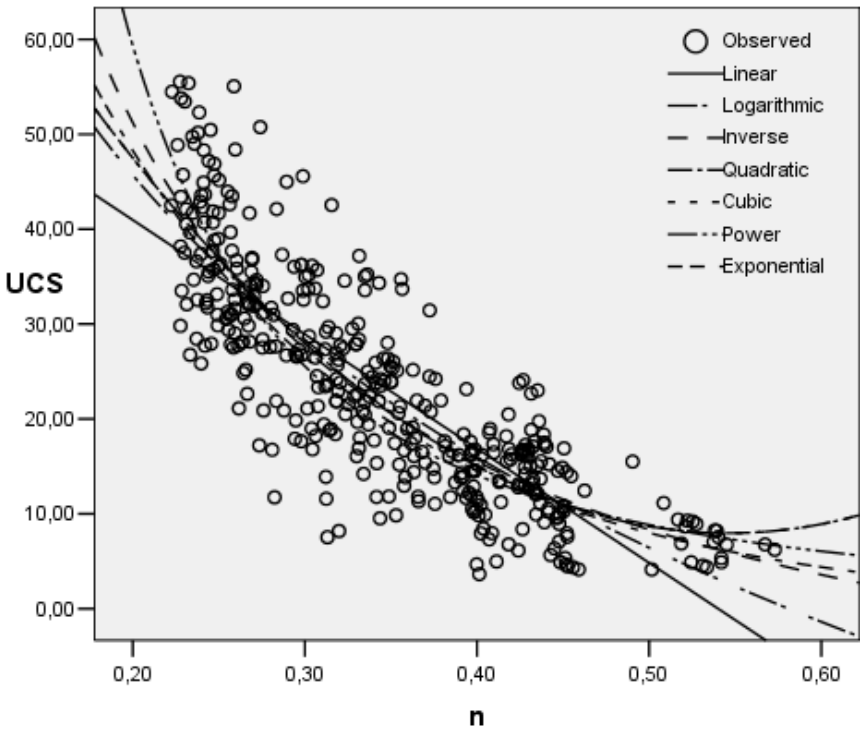
5.4.6. UCS-n arasındaki modeller

Tek eksenli basınç dayanımı ile porozite arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve sonuçlar Tablo 5.18 ve Şekil 5.17'de gösterilmektedir.

Tablo 5.18. UCS-n arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini

	Modelin Özeti					Parametre Tahmini			
Denklem	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	.676	841.901	1	403	.000	65.064	-120.476		
Logarithmic	.708	977.464	1	403	.000	-23.279	-42.857		
Inverse	.720	1038.517	1	403	.000	-20.257	14.298		
Quadratic	.718	510.731	2	402	.000	106.357	-360.172	329.613	
Cubic	.718	510.731	2	402	.000	106.357	-360.172	329.613	.000
Power	.693	909.498	1	403	.000	2.093	-2.078		
Exponential	.698	930.791	1	403	.000	160.309	-6.000		

Bağımlı Değişken: UCS Bağımsız Değişken n.



Şekil 5.17. UCS-n arasındaki modeller

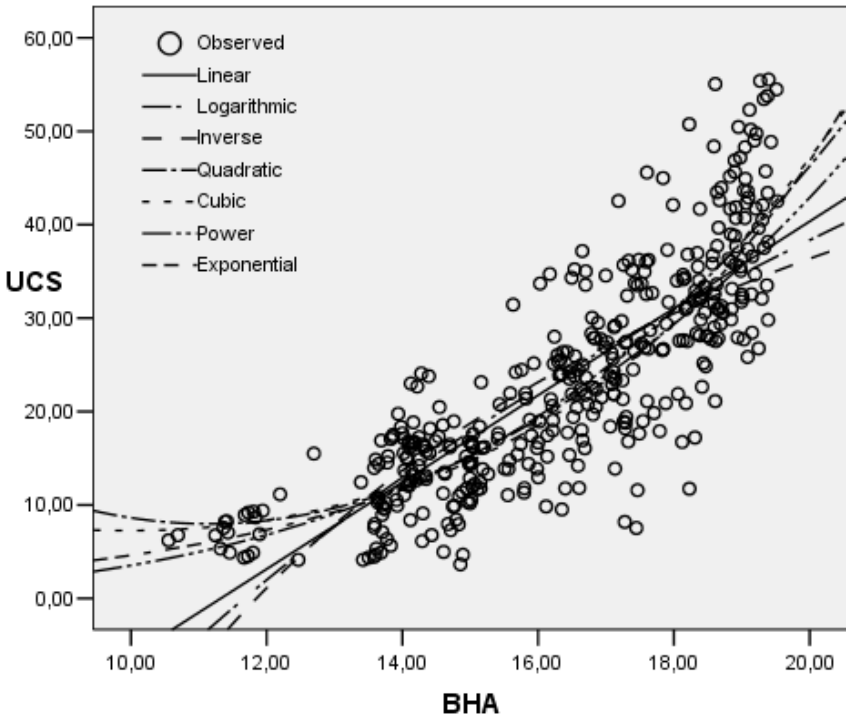
5.4.7. UCS-BHA arasındaki modeller

Tek eksenli basınç dayanımı ile birim hacim ağırlık arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.19 ve Şekil 5.18'de sunulmuştur.

Tablo 5.19. UCS-BHA arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini

	Modelin Özeti					Parametre Tahmini			
Denklem	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	.674	833.602	1	403	.000	-52.682	4.652		
Logarithmic	.646	735.077	1	403	.000	-174.979	71.210		
Inverse	.609	626.774	1	403	.000	89.235	-1057.460		
Quadratic	.713	498.971	2	402	.000	68.629	-10.884	.488	
Cubic	.714	502.061	2	402	.000	15.076	.000	-.237	.016
Power	.689	890.786	1	403	.000	.001	3.604		
Exponential	.695	920.355	1	403	.000	.456	.232		

Bağımlı Değişken: UCS Bağımsız Değişken BHA



Şekil 5.18. UCS-BHA arasındaki modeller

5.5. Parametreler Arası Çoklu Regrasyon Modelleri

Çoklu regresyon yöntemleri ile Kayseri tüflerinin elastisite modülü (E) ve tek eksenli basınç dayınımı (UCS) tahminine yönelik doğrusal ve doğrusal olmayan modeller geliştirilmiştir. E değerini etkileyen, n(Porozite), Vp(sonik Hız), UCS, BHA v.b parametreler arasında anlamlı bir korelasyon olduğu görülmüştür. Yapılan çoklu regrasyon modellerine ait sonuçlar aşağıda Tablo 5.20, Tablo5.21, Tablo 5.22 ve Tablo 5.23'de verilmiştir.

5.5.1. Tüflerin E değerinin tahmininde BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c kullanılarak oluşturulan doğrusal bir model

$$\mathbf{E}=-1{,}573*\mathbf{BHA}-48{,}890*\mathbf{n}+1{,}309*\mathbf{Vp}+0{,}229*\mathbf{Is_{(50)e}}+0{,}254*\mathbf{Brt}+1.676*\mathbf{Is_{(50)c}}+43{,}36 \quad (5.1)$$

Tablo 5.20-a. Modeli oluşturan açıklayıcı İstatistiksel veriler

	Mean	Std. Deviation	N
E	6.9021	2.50268	405
BHA	16.3612	2.10426	405
n	.3456	.08138	405
Vp	2.1968	.49982	405
Is(50)e	1.6208	.76320	405
Brt	2.9445	1.09614	405
Is(50)c	1.3051	.47353	405

Tablo 5.20-b. Korelasyonlar

		E	BHA	n	Vp	ie	Brt	ic
Pearson Korelasyonu (r)	E	1.000	.888	-.886	.889	.885	.886	.902
	BHA	.888	1.000	-.999	.846	.789	.796	.813
	N	-.886	-.999	1.000	-.844	-.782	-.789	-.805
	Vp	.889	.846	-.844	1.000	.818	.810	.812
	Is(50)e	.885	.789	-.782	.818	1.000	.972	.927
	Brt	.886	.796	-.789	.810	.972	1.000	.926
	Is(50)c	.902	.813	-.805	.812	.927	.926	1.000
Sig. (1-tailed)	E	.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	BHA	.000	.	.000	.000	.000	.000	.000
	N	.000	.000	.	.000	.000	.000	.000
	Vp	.000	.000	.000	.	.000	.000	.000
	Is(50)e	.000	.000	.000	.000	.	.000	.000
	Brt	.000	.000	.000	.000	.000	.	.000
	Is(50)c	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.
N	E	405	405	405	405	405	405	405
	BHA	405	405	405	405	405	405	405
	n	405	405	405	405	405	405	405
	Vp	405	405	405	405	405	405	405
	Is(50)e	405	405	405	405	405	405	405
	Brt	405	405	405	405	405	405	405
	Is(50)c	405	405	405	405	405	405	405

Tablo 5.20-c Modelin Özeti

Model	R	R^2	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.955(a)	.913	.911	.74473	.913	694.061	6	398	.000

GirilenBağımlı değişken E, Bağımsız değişkenler BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c

Tablo 5.20-d Varyans analizi

Mode	ANOVA(b)	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2309.674	6	384.946	694.061	.000(a)
	Residual	220.742	398	.555		
	Total	2530.416	404			

a Predictors: (Constant), Is(50)c, n, Vp, Brt, Is(50)e, BHA b Bağımlı Değişken: E

Tablo 5.20-e Modelin Katsayıları

	Bağımlı Değişken: E	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part
1	(Constant)	43.360	13.094		3.311	.001			
	BHA	-1.573	.522	-1.323	-3.012	.003	.888	-.149	-.045
	n	-48.890	13.304	-1.590	-3.675	.000	-.886	-.181	-.054
	Vp	1.309	.157	.261	8.320	.000	.889	.385	.123
	Is(50)e	.229	.219	.070	1.045	.296	.885	.052	.015
	Brt	.254	.150	.111	1.692	.091	.886	.085	.025
	Is(50)c	1.676	.233	.317	7.200	.000	.902	.339	.107

Tablo 5.20-f Modelin Performansı

E'nin Tahmini	Eğitim (Train)			Test (Test)		
	R^2	MSE	TAE	R^2	MSE	TAE
Doğrusal Denklem	0,913	0,545	2,410E+02	0,900	0,683	1,152E+02

5.5.2. Tüflerin E değerinin tahmininde BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c kullanılarak oluşturulan 3.dereceden polinom ile doğrusal olmayan bir model

E= a * **BHA** ^3+ b * **BHA** ^ 2 + c ***BHA** + d * **n**^3 + f ***n**^ 2 + g * **n** + h * **Vp**^3 + i * **Vp**^2+ j *

Vp + k * **Is(50)$_e$**^3 + l * **Is(50)$_e$** ^2 + m * **Is(50)$_e$** + o * **Brt^**3 + p * **Brt** ^2 + r * **Brt** + s *

Is(50)$_c$^3+ t * **Is(50)$_c$^**2 + v * **Is(50)$_c$** + y (5.2)

Tablo 5.21-a Modele ait Parametre Tahmini

Parametre	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	-.184	.069	-.319	-.048
b	7.669	3.208	1.362	13.976
c	-104.042	49.406	-201.180	-6.904
d	-3158.238	1165.278	-5449.325	-867.152
f	4164.029	1334.563	1540.106	6787.952
g	-1770.421	499.224	-2751.959	-788.883
h	-.476	.374	-1.211	.259
i	3.509	2.546	-1.498	8.515
j	-6.694	5.592	-17.688	4.299
k	-.540	.700	-1.916	.836
l	1.981	2.936	-3.791	7.753
m	-.022	3.313	-6.535	6.492
o	.460	.094	.276	.644
p	-3.672	.813	-5.271	-2.074
r	7.947	2.061	3.894	12.000
s	2.853	1.822	-.729	6.435
t	-8.435	6.897	-21.996	5.125
v	8.465	8.381	-8.014	24.943
y	699.066	308.750	92.024	1306.109

Tablo 5.21-b Varyans Analizi

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	21646.506	19	1139.290
Residual	177.940	386	.461
Uncorrected Total	21824.446	405	
Corrected Total	2530.416	404	

R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) =.930.

Tablo 5.21-c E Tahmini için Doğrusal Olmayan Modelin Performansı

E'nin Tahmini	Eğitim (Train)			Test (Test)		
	R^2	MSE	TAE	R^2	MSE	TAE
3.Derece Polinom	0,930	0,439	2,084E+02	0,918	0,566	0,988E+02

5.5.3. Tüflerin UCS değerinin tahmininde BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c kullanılarak oluşturulan doğrusal bir model

UCS=-14,455*__BHA__-410,972*__n__ + 11,942*__Vp__ + 1,941*$\mathbf{Is_{(50)e}}$ - 1,498*__Brt__
+4,863*$\mathbf{Is_{(50)c}}$+370,640 (5.3)

Tablo 5.22-a Modelin Oluşturan Açıklayıcı İstatistiksel Veriler

	Mean	Std. Deviation	N
UCS	23.4247	11.92183	405
BHA	16.3612	2.10426	405
n	.3456	.08138	405
Vp	2.1968	.49982	405
Is(50)e	1.6208	.76320	405
Brt	2.9445	1.09614	405
Is(50)c	1.3051	.47353	405

Tablo 5.22-b Korelasyonlar

		UCS	BHA	N	Vp	ie	Brt	İc
Pearson Correlation	UCS	1.000	.821	-.822	.857	.760	.750	.773
	BHA	.821	1.000	-.999	.846	.789	.796	.813
	n	-.822	-.999	1.000	-.844	-.782	-.789	-.805
	Vp	.857	.846	-.844	1.000	.818	.810	.812
	ie	.760	.789	-.782	.818	1.000	.972	.927
	Brt	.750	.796	-.789	.810	.972	1.000	.926
	ic	.773	.813	-.805	.812	.927	.926	1.000
Sig. (1-tailed)	UCS	.	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	BHA	.000	.	.000	.000	.000	.000	.000
	n	.000	.000	.	.000	.000	.000	.000
	Vp	.000	.000	.000	.	.000	.000	.000
	ie	.000	.000	.000	.000	.	.000	.000
	Brt	.000	.000	.000	.000	.000	.	.000
	ic	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.
N	UCS	405	405	405	405	405	405	405
	BHA	405	405	405	405	405	405	405
	n	405	405	405	405	405	405	405
	Vp	405	405	405	405	405	405	405
	ie	405	405	405	405	405	405	405
	Brt	405	405	405	405	405	405	405
	ic	405	405	405	405	405	405	405

Tablo 5.22-c Modelin Özeti

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.884(a)	.782	.779	5.60836	.782	237.926	6	398	.000

a Predictors: (Constant), BHA, n, Vp, $Is(50)_e$, Brt, $Is(50)_c$

Tablo 5.22-d Varyans analizi

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	44901.924	6	7483.654	237.926	.000(a)
	Residual	12518.574	398	31.454		
	Total	57420.497	404			

a Predictors: (Constant), BHA, n, Vp, $Is(50)_e$, Brt, $Is(50)_c$

Tablo 5.22-e Modelin katsayıları

Model		Unstandardized Coefficients			Standardized Coefficients	
		B	Std. Error	Beta	T	Sig.
1	(Constant)	370.640	98.609		3.759	.000
	BHA	-14.455	3.934	-2.551	-3.674	.000
	n	-410.972	100.186	-2.805	-4.102	.000
	Vp	11.942	1.185	.501	10.078	.000
	ie	1.941	1.652	.124	1.175	.241
	Brt	-1.498	1.132	-.138	-1.323	.187
	ic	4.863	1.753	.193	2.775	.006

a Bağımlı Değişken: UCS

Tablo 5.22-f UCS tahmini için doğrusal modelin performansı

UCS'nin Tahmini	Eğitim (Train)			Test (Test)		
	R^2	MSE	TAE	R^2	MSE	TAE
Lineer Denklem	0,782	30,91	1,776E+03	0,776	35,165	0,851E+03

5.5.4. Tüflerin UCS değerinin tahmininde BHA, n, Vp, Is(50)e, Brt, Is(50)c kullanılarak 3.dereceden Polinom ile doğrusal olmayan bir model oluşturulması

UCS= a *** BHA ^3+** b *** BHA ^ 2** + c ***BHA** + d *** n^3** + f ***n^ 2** + g *** n** + h *** Vp^3** + i *** Vp^2+** j *** Vp** + k *** Is(50)e^3** + l *** Is(50)e ^2** + m *** Is(50)e** + o *** Brt^3** + p *** Brt ^2** + r *** Brt** + s *** Is(50)c^3+** t *** Is(50)c^2** + v *** Is(50)c** + y (5.4)

Tablo 5.23-a Modele ait Parametre Tahmini

Parametre	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	-1.539	.497	-2.515	-.562
b	64.752	23.113	19.309	110.196
c	-893.088	355.984	-1592.998	-193.177
d	-26447.857	8395.674	-42954.833	-9940.881
f	34721.828	9614.832	15817.831	53625.825
g	-14807.461	3596.370	-21878.388	-7736.534
h	-2.963	2.694	-8.261	2.334
i	24.818	18.351	-11.262	60.899
j	-52.200	40.296	-131.427	27.027
k	4.418	5.044	-5.499	14.335
l	-17.709	21.165	-59.322	23.903
m	19.241	23.873	-27.696	66.179
o	.557	.675	-.771	1.885
p	-3.837	5.863	-15.365	7.691
r	7.898	14.864	-21.327	37.123
s	14.497	13.132	-11.321	40.316
t	-54.679	49.708	-152.411	43.052
v	68.168	60.399	-50.584	186.920
y	6088.644	2224.553	1714.887	10462.402

Tablo 5.23-b Varyans analizi (Bağımlı değişken: UCS)

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	270410.878	19	14232.151
Residual	9240.135	386	23.938
Uncorrected Total	279651.013	405	
Corrected Total	57420.497	404	

R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .839

Tablo 5.23-c UCS tahmini için Doğrusal olmayan Modelin Performansı

UCS'nin Tahmini	Eğitim (Train)			Test (Test)		
	R^2	MSE	TAE	R^2	MSE	TAE
3.Derece Polinom	0,839	22,815	1,391E+03	0,851	23,339	0,628E+03

5.6. Kayseri Kaya Tüflerinin Yapay Zeka Tekniğiyle Modellenmesi

Tüflerin elastisite modülü (E) ve tek eksenli basınç mukavemeti (UCS) tahmini için geliştirilen modellerin Eğitim ve Test performans sonuçları aşağıdaki gibidir.

5.6.1. Tüflerin E değerinin tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağı kullanılarak E değerinin tahmini için geliştirilen Modelin tahmin performansları Eğitim ve Test için ayrı olarak Tablo 5.24'de verilmiştir.

Tablo 5.24. E'nin tahmininde yapay sinir ağı modelinin eğitim ve test performansı

E Elastisite Modülü Tahmini	Eğitim			Test		
Denemeler	MSE	TAE	R^2	MSE	TAE	R^2
1	0,210	1,21E+02	0,968	0,200	5,08E+01	0,970
2	0,230	1,30E+02	0,963	0,244	5,84E+01	0,964
3	0,233	1,28E+02	0,964	0,213	5,49E+01	0,968
4	0,213	1,26E+02	0,967	0,256	5,66E+01	0,962
5	0,236	1,29E+02	0,964	0,223	5,36E+01	0,967
Ortalama	**0,224**	**1,27E+02**	**0,965**	**0,227**	**5,48E+01**	**0,966**

MSE=(Ortalama Karesel Hata), TAE=Toplam Mutlak Hata, R^2=Korelasyon Katsayısı

Tahmin edilen ile deneysel olarak bulunan E değerlerinin karşılıklı korelasyonu sonucunda, tahmin edilen E değeri için geliştirilen YSA modelinin oldukca kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Modelin tahmin performansı korelasyon katsayısı R^2, MSE ve TAE ile karşılaştırılarak bulunmuştur. En yüksek R^2 (maksimum 1), en az ortalama karesel hata (maksimum 0) ve en küçük toplam mutlak hata (maksimum 0) en iyi tahmin yöntemini göstermektedir.

5.6.2. Tüflerin UCS değerinin tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağı kullanılarak UCS değerinin tahmini için geliştirilen Modelin tahmin performansları, Eğitim ve test için ayrı olarak Tablo 5.25'da gösterilmiştir.

Tablo 5.25. UCS'nin tahmininde yapay sinir ağı modelinin eğitim ve test performansı

	Eğitim			Test		
Deneme	MSE	TAE	R^2	MSE	TAE	R^2
1	3,895	3,178E+02	0,974	3,913	1,390E+02	0,976
2	1,008	2,225E+02	0,992	4,049	1,288E+02	0,974
3	4,751	4,386E+02	0,970	4,805	1,719E+02	0,969
4	1,148	2,179E+02	0,992	2,279	1,116E+02	0,986
5	2,019	2,932E+02	0,987	2,150	1,178E+02	0,986
Ortalama	2,564	2,980E+02	0,983	3,439	1,338E+02	0,978

MSE=(Ortalama Karesel Hata), TAE=Toplam Mutlak Hata, R^2=Korelasyon Katsayısı

5.7. Yılanlı Dağı Volkanik Cürufunun Deneysel Bulguları

Yılanlı dağı volkanik cürufunun, alttemel malzemesi olarak dolgularda kullanılabilmesi için laboratuvar deneyleri yapılmış ve özetle şu sonuçlar bulunmuştur.

- AASHTO zemin sınıflandırma sistemine göre A-1-a
- TS1500'e göre GW dir.
- Özgül ağırlık ortalama Gsort=2.44
- Los Angeles aşınma Kaybı K500 = %31
- Ağırlıkça Su Emme%4,7 olarak bulunmuştur.
- kayma mukavemeti açısı en düşük 34 en yüksek 39 derece bulunmuştur.
- Yılanlı dağı volkanik cürufun CBR'si, ortalama % 85 olarak bulunmuştur.
- Kıvam limitlerine göre Non-Plastik bir malzemedir.
- Sodyum Sülfat Donma kaybı Kd= %1-1.5 arası
  (Na_2S0_4 çözeltisinde, TS699'daki elek aralıklarında kırılarak hazırlanmıştır.)

BÖLÜM 6.
SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçların Değerlendirilmesi

Kayseri tüfleri çok yönlü olarak araştırılmış, dayanım ve deformasyon gibi geoteknik özelliklerinin yanı sıra çevre geotekniği açısından da incelenmiştir. Kayseri kaya tüfleri için elde edilen geoteknik parametrelerin birbirleri arasındaki ilişkiler belirlenerek kolayca ölçülebilen özelliklerinden, diğer bazı özelliklerinin tahmini için istatistiksel ve yapay zeka tekniklerine dayalı modeller geliştirilmiştir. Elde edilen bu modeller sayesinde pahalı, uğraştırıcı ve zaman alıcı deneyler yapmadan, basit deneyler ile Kayseri kaya tüflerinin elastisite modülü ve tek eksenli basınç dayanımı gibi geoteknik özellikleri kolayca bulunabilmesi sağlanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, Kayseri tüflerine ait çeşitli boy (L), çap (D) ve ağırlıklarda (W) toplam 575 numunenin geoteknik parametreleri bulunmuştur. Bu parametreler, tek eksenli basınç (UCS) , sismik dalga hızı (Vp), elastisite (Young's) Modülü (E), birim hacim ağırlığı (kuru) (BHA), porozite (n), eksenek nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)e}$), çapsal nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)ç}$) ve Brazillian dolaylı çekme dayanımı (Brt) değerleridir (Ek-Tablo 7). Elde edilen parametrelerin birbirleri arasında istatistiksel ilişkiler olduğu görülmüştür. Bağımlı değişken olarak E veya UCS ile n, Vp, BHA, D, L, W, $I_{s(50)e,}$ $I_{s(50)c,}$ Brt arasında anlamlı korelasyonlar bulunmuştur. Bu değerlerin birbirleri üzerinde farklı oranlarda etkileri olduğu ortaya koyulmuştur. Sonik hız yüksek olunca, tüflerin tek eksenli basınç ve elastisite modülü de yükselmektedir. Sonuç olarak ultrasonik P-dalga hızı ile tüflerin mukavemeti arasında doğrusal olmayan bir orantı olduğu belirlenmiştir. Kayseri tüflerinin Brazillian çekme ve nokta yük dayanımı değerleriyle, elastisite ve tek eksenli basınç değerleri arasında iyi bir korelasyon olduğu bulunmuştur.

Tüm bu parametrelerin biribiriyle olan ilişkileri araştırılarak, aranılan en önemli iki bağımlı değişkenin (E ve UCS), diğer parametreler üzerindeki etkileri istatistiksel olarak tek tek araştırılmıştır. Daha sonra, E ve UCS değerlerini en çok etkileyen birden fazla bağımsız parametrenin aynı anda etkisi, çeşitli doğrusal ve/veya doğrusal olmayan analizler yapılarak istatistiğe dayalı regrasyon denklemleri geliştirilmiştir. İstatistiksel modeller, parametreler arasında doğrusal olmayan ilişkilerin olduğunu kanıtlamıştır.

Yapılan istatistiksel ve yapay sinir ağları model analizlerinde, E veya UCS bağımlı değişkenlerinin bulunması için, bağımımsız değişkenler olarak n, Vp, BHA, $I_{s(50)e,}$ $I_{s(50)c}$ ve Brt geoteknik parametreleri kullanılmıştır. Bu modellerin tahmin performansları karşılaştırmalı olarak Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Kayseri tüflerinin E değerinin tahmininde modellerin karşılaştırılması

E Elastisite Modülü Tahmini	EĞİTİM			TEST		
	R2	MSE	TAE	R2	MSE	TAE
E—Lineer istatistiksel model	0,913	0,545	2,410 E+02	0,900	0,683	1,152 E+02
E—NonLineer İstatistiksel model (3.derece Polinom)	0,930	0,439	2,084 E+02	0,918	0,566	0,988 E+02
E-- YSA	0,983	0,224	1,268 E+02	0,983	0,227	0,548 E+02

MSE=(Ortalama Karesel Hata), TAE=Toplam Mutlak Hata, R^2=Korelasyon Katsayısı

Tablo 6.2. Kayseri tüflerinin UCS değerinin tahmininde modellerin karşılaştırılması

UCS Basınç Mukavemeti Tahmini	EĞİTİM			TEST		
	R2	MSE	TAE	R2	MSE	TAE
UCS--Lineer istatistiksel model	0,782	30,91	1,776E+03	0,776	35,165	0,851E+03
UCS--NonLineer İstatistiksel model (3.derece Polinom)	0,839	22,815	1,391E+03	0,851	23,339	0,628E+03
UCS-- YSA	0,983	2,564	2,980E+02	0,978	3,439	1,338E+02

MSE=(Ortalama Karesel Hata), TAE=Toplam Mutlak Hata, R^2=Korelasyon Katsayısı

Tablo 6.1 incelendiğinde E değerinin tahmininde en iyi R^2, MSE ve TMH değerlerinin YSA kullanılarak oluşturulan modellerden elde edildiği görülmektedir. Benzer olarak Tablo 6.2'de görüldüğü gibi UCS tahmininde de, YSA modelleri, parametreler arasındaki karmaşık ilişkileri bulma kabiliyetiyle istatistiksel yöntemlere göre çok daha başarılı olmuştur. Yapay zeka tekniklerine dayalı bu modellerin geliştirilmesiyle, çeşitli zemin parametrelerinin arazi ve/veya laboratuvar şartlarındaki değerleri arasındaki ilişkiler, mühendislere gerek tasarım sırasında ışık tutacak, gerekse çeşitli yöntemlerle bulunan sonuçların tutarlılığını kontrol etme imkanı tanıyacaktır. Ayrıca genel bir malzeme modeli bulunmayan tüf ve benzeri kayalar için yapay sinir ağlarının kullanılanımı, geoteknik anabilim dalının gelişmesine büyük katkı sağlıyacaktır.

Tek eksenli basınçlara göre yapılan sınıflamada çok iyi kaynaklanmış İncesu tüfleri dışında genel olarak Kayseri tüfleri zayıf kaya grubuna girmektedir. Kayseri İncesu tüflerinin ise çok az kısmı zayıf kaya grubunda olmasına karşın büyük bir oranda orta derecede sağlam kaya grubundadır.

Islanma-kuruma'nın tüflerin tek eksenli basınç mukavemetine olumsuz bir etkisi olmamış, herhangi bir değişiklik yaratmamıştır. İyi kaynaklanmış Kayseri tüflerinde yapılan 80 Islanma-Kuruma çevrimi sonucunda, kuru birim hacim ağırlığında çok az değişimler (<%1) olmakla birlikte, çevrim sayısının artmasına paralel ağırlık kayıpları %1.23 seviyelerinde olmuştur.

Donma çözülme davranışı sonucunda, suya doygunluk oranları çok önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Donma çözülme çevrim sayısının artmasıyla Vp (P-Dalda Hızı) ile q_u(Tek Eksenli Basınç deneyi) değişimleri incelenmiştir. Kayseri tüflerinin donma-çözülme davranışı sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Genel Kural olarak boşluklarda bulunan su, donma olayı olunca yaklaşık % 10 civarında şişme basıncı etkisiyle hacim artışına zorlanır. Buda suya doygun gözenekli malzemelerden yapılmış taşıyıcı veya dekoratif duvar elemanlarında tahribata yol açar. Bunu önlemek için boşluksuz denebilecek oranda çok az

boşluk içeren yapı taşı veya kaplama taşı kullaılabilir, mesela n=%3-5 gibi, ancak bu taşlar çoğunlukla bazalt gibi ağır taşlardır ve işlenmesi zor, işçilik ve taşıma maliyetleri oldukça yüksektir.

2. Dayanımı nispeten yüksek (Gesi Taşı gibi n=%40, UCS= 20 Mpa) fakat boşluk oranı da aynı zamanda yüksek olan bazı Kayseri tüf taşları tercih edilmektedir.

3. Tüflerin suya doygunluk oranları % 70-75 den az olması durumunda, boşluk oranlarının az veya çok olmasına bakılmaksızın donma çözülme çevriminden çok az etkilenmektedir. Bir başka ifade ile tüflerde boşluk oranı %70-75 değerlerini aşınca, donma-çözülme çevrim sayısı artmasıyla orantılı olarak mukavemet kaybına yol açmaktadır.

4. Boşluk oranı ortalaması n=%40 ve Tek eksenli basınç dayanımı ortalaması 20 Mpa olan Gesi Tüfü, Boşluk oranı ortalaması %30 olan ve Tek Eksenli basınç dayanımı ortalaması 34.3 Mpa İncesu Tüfüne göre Donma Çözülmeye daha dayanıklı olduğu sonucuna varılnıştır. Bunun nedeni, İncesu tüfünde karşılaşıldığı gibi gözenekleri az ve birbiriyle irtibatsız (kaynaklanmış Tüf) yapısından dolayı yağmur v.b doğal su etkisine maruz kaldığı zaman, boşluk oranı az olduğu için kısa zamanda suya doygunluk derecesi %70 lere ulaşmakta ve bu değerlerin üzerine çıkmaktadır. Gözenekleri sıkı olduğu için su yüzeyde kalmakta ve donma-çözülme çevriminden çok etkilenmektedir. Bozulmalar yüzeyde yaprak yaprak veya pul pul olmaktadır. Bunu, laboratuar sonuçlarında ve eski tarihi ve yeni tüf taşından inşa edilmiş yığma yapılarda gözlemek mümkündür.

5. Gesi Taşı gibi dayanımı yüksek ve fakat bol gözenekli taşlar tarih boyunca kullanıla gelmiş ve muhtemelen bu yüzden hep tercih edilmiştir. Bu taşlarda yüzeyde biriken su donma başladığı zaman, yüzeyden iç taraflara doğru hareket ettiği düşünülmektedir. Boşluklar fazla ve birbiriyle irtibatlı olduğu için donma durumunda suyun iç taraflara doğru hareketi kolay olacaktır. O yüzdendir ki buna benzer tüf taşlarından yapılma tarihi yapıların çoğu günümüze kadar zarar görmeden gelmiştir.

6. Kayseri tüfleriyle yapılmış tarihi eserlerde, donma-çözülme etkisi açısından önemli bir deformasyon görülmemesi, yüksek poroziteli tüflerin doğada suya tam doygun olmadığını kanıtlamaktadır. Doğa koşullarına dayanıklı sayılabilir.

Kayseri taşı gözenekli yapısından dolayı içine işleyen suyun donması esnasında hacimce sudan daha geniş olan buzun rahat rahat genleşebileceği boşluk yarattığından dolayı donma-çözülme etkilerine karşı iyi performans gösterdiği düşünülmektedir.. Fakat çekme gerilmeleri altında çok dayanıksızdır. Bu olay, yer döşemelerinde kullanılan kayseri taşlarında görülebilir. Düzgün dolgu yapılmadan döşenen kayseri taşı basit bir adımınızda dahi un gibi dağılabilir. Sürtünerek aşınmalara karşı ise oldukça danayıksızdır. Bu sebeble yerlerde döşeme kaplaması olarak kullanılması uygun değildir.

Kayseri tüf taşının en uygun kullanım yerleri insan eli ve ayağıyla birebir temas içerisinde olmayan yerlerdir. Örneğin yığma kağir duvarlar, duvar kaplamaları, kemerli kapı ve köprü süsleri gibi yerlerde kullanıldığında güzel bir görünüm verebilir. Selçuklular döneminde Kayseri taşı kullanılarak inşa edilmiş yapılar ve yapı süslemeleri büyük çoğunlukla halen sağlam olarak durmaktadır.

Tüm kaya türleri için, numune boyutlarının kayanın mukavemetine ve deformasyonuna etkisi vardır. Boy/çap oranının 2,0 veya daha fazla olduğu zaman, tüf sağlam kayasının gerçek basınç direncine boyut etkisi en aza indirgenerek sabit hale geldiği bulunmuştur. Tüflerin, mukavemet ve kayma birim deformasyon gibi mekanik özellikleri, numune çapıyla ters orantılı olarak değişmektedir. Elastisite ve poisson oranları, numune ebatlarından çok az etkilenmektedir.

Şev stabilitesi ve geoteknik mühendisliği bakımından çeşitli derecelerde kayanaklanmış kalın tabakalar halinde bulunan Kayseri tüfleri, civardaki pek çok kaya türüne göre daha homojen, sürekli ve masif bir yapıda olduğu izlenmiştir. Dik yamaçlarda ve yüksek şev açılarında dengede durabilen tüfler, kayma mukavemetinin yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak, Kayseri'nin Talas ilçesinde Tablakaya mahallesinde meydana gelen kaya düşme olayları, bölgede erozyonla açılmış vadiler ve çeşitli yamaç kaymaları, tüflerin aşınma ve ayrışmaya uğradığına işarettir. Aşınma ve ayrışma (weathering), yer kabuğunu oluşturan kayaçların, hava, su ve canlılar gibi etmenlerin kimyasal ve fiziksel etkileri sonucunda bozulup, dağılmaları olayıdır. Dolayısıyla, yamaçlarda bulunan bu tüflerin, suya doygun durumunda iken şev ve yamaç kaymalarına ve kaya düşmelerine neden olabileceği düşünülmektedir.

Düşme tehlikesi olan tüf kayaların, geoteknik özelliklerinin laboratuarda belirlenmesi ve yerinde incelenmesi sonucunda bu tüf kayalar için gerekli önlemler alınmalıdır. Bunlar, bariyerler, perdeler, ankrajlama, bulonlama veya püskürtme betonla kaplama gibi çeşitli yöntemlerdir. Ayrıca alanın düzlenerek, afet bölgesi ilan edilmesi ve şu anki durumuyla yerleşime asla izin verilmemesi gerekmektedir.

Son olarak, zemin boyutunda (60mm-0,002mm) bulunan Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufunun, Kayseri-Kahramanmaraş bölünmüş karayolu yapım projesi, Kayseri-Yozgat duble yol projesi ve geniş hacimli dolgu projeleri gibi pek çok diğer projelerde esnek üst yapılı yolların alt temel dolgu malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Yol inşaatının alt temel tabakasında kullanılması düşünülen volkanik cürufun elek analizine, indeks özelliklerine, su emme yüzdesine, donma çözülme özelliğine (donma kaybı %'sine), Los Angeles aşınmasına, plastisitesine ve CBR sonuçlarına bakılmış ve bu değerler ile TS9581 (1991)'de verilen değerler karşılaştırılmıştır.

Yol inşaatının temel ve/veya alt temel tabakasında kullanılması düşünülen volkanik cürufun elek analizine, indeks özelliklerine, su emme yüzdesine, donma çözülme özelliğine (donma kaybı %'sine), Los Angeles aşınmasına, plastisitesine ve CBR sonuçlarına bakılmış ve bu değerler ile TS9581 (1991)'de verilen değerler karşılaştırılmıştır. Kayseri Yolanlı dağı volkanik cürufunun yol dolgularında alt temel malzemesi olarak başarıyla kullanılabileceği bulunmuştur (Tablo 6.2).

Yapılan bu çalışma ile, mühendislik özellikleri öğrenilen Yılanlı dağı volkanik cüruflarının, dolgularda kullanılarak ekonomiye katkı sağlama potansiyeli olacağı belirlenmiştir.

Tablo 6.3. TS-9581'e Esnek Üstyapılı Yollarda Alttemel Tabakası Yapım Kriterleri ve Yılanlıdağı Malzemesinden Elde Edilen Değerlerle Karşılaştırılması

Deney Adı	TS9581 Limit Değerler		Yılanlı Dağı Cürufu
1) Dane Çapı Dağılımı	Elek Açıklığı (mm)	% Geçen	% Geçen
	80	100	100
	40	85-100	100
	10	45-100	87
	5	25-85	69
	0,4	7-40	15
	0,08	0-12	3
2) Likit Limit	≤25		N.P.
3) Plastisite Indisi	≤6		N.P.
4) 2.5 mm elek üzerinde kalan malzemenin Donma Kaybı (Na_2SO_4), %	≤25		5
5) Aşınma Oranı, %	≤50		31
6) Organik Madde oranı	$0-1$		0
7) 2.5 kğ'lık tokmakla bulunan proctor sıkılığında hazırlanmış YDC1 malzemenin Yaş CBR değeri	≥ % 30		% 85

Yapılan bu çalışma ile, mühendislik özellikleri öğrenilen Yılanlı dağı volkanik cüruflarının, dolgularda kullanılarak ekonomiye katkı sağlayacaktır.

6.2 Öneriler

Literatürde var olan tüf veya çeşitli kaya parametrelerinin eklenmesiyle, Kayseri tüfleri için geliştirilen istatistiksel ve YSA'a ile yapılmış tahmin modelleri geliştirilebilir. Bunun yanında, zemin boyutundaki Kayseri tüflerin kireç veya uçucu küllerle stabilizasyonu sonucunda zemin iyileştirmelerinde kullanımı araştırılabilir. Araştırılması gereken bir diğer konuda, pozzolanik özelliğinden dolayı Kayseri tüflerinin öğütülerek cimento boyutuna getirildikten sonra betonda katkı olarak kullanılabilirliğidir.

KAYNAKLAR

ABIEV, R.S., Simulation of the slug, Theor.Found.Chem.Eng., 42, 105-127, 2008

AKIN, G., Jeolog. Türkiye Trasları Teknik Bülten Sayı-3, Haziran 1965

ARI, M., DSİ 12.Bölge Müdürlüğü Kayseri-Sarımsaklı Ovası Hidrojeolojik Raporu , Şubat 1995

ASTM D5312-92, ASTM STANDARD, Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions, 1997;DOI: 10.1520/D5312-92R97

ASTM D5313-04, ASTM STANDARD, Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Wetting and Drying Conditions, DOI: 10.1520/D5313-04.

ASTM. D.2845-95. Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonics elastic constants of rocks, YSAual Book of A.S.T.M. Standards, 4.08. American Society for Testing and Materials, West Conshocken, PA., 1995.

AYDAN, Ö., TANO, H., ULUSAY, R., KUMSAR, H., YENİPINAR, H., Derinkuyu yeraltı şehrinin uzun süreli yapısal duraylılığı ve çevre koşullarının incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma. Kapadokya Yöresinin Jeolojisi Sempozyumu,17-20Ekim2007 Niğde, Bildiriler Kitabı, 24-34., 2007b

AYDAN, Ö., TANO, H., WATANABE, H., ULUSAY, R.,TUNCAY, E., Kapadokya bölgesinde antik ve güncel kaya yapılarının kaya mekaniği açısından değerlendirilmesi. Kapadokya Yöresinin Jeolojisi Sempozyumu,17-20 Ekim 2007 Niğde, Bildiriler Kitabı, 1-12., 2007a.

AYDAN, Ö., ULUSAY, R., Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man- made underground structures in Cappadocia.Turkey. Engineering Geology, 2003; 69, 245-272.

AYDAN, Ö., ULUSAY, R., YÜZER, E., Man-made structures in Cappadocia, Turkey and their implications in rock mechanics and rock engineering. 1999;ISRM News Journal, 6 (1), 63-73.

AYRANCI, B., 1970. Orta Anadolu'nun Kayseri Civarındaki Erciyes Volkanik Bölgesinin (Kantitatif İncelemelere İstinaden) Petroloji ve Jeolojisi: MTA Dergisi, 74, 13-24.

AYRANCI, B., WEİBEL, M., Zum Chemismus der ignimbrite des Erciyes-vulkans (Zentral-Anatolien): Schweiz. Min. Petr.; Mittle 1973; 53, 49-60.

BABA A., ABİDİN K., TURK N., Fairy Chimneys of capadocia and their engineering properties. Journal of applied science 5(5):800-805, 2005 ISSN 1812-5654(2005)

BAUER, T., ROY, S., LANGE, R., Modelling and Simulation of the reactor, 83, 811-819, 2005.

BAYAZIT, M., OĞUZ, B., Mühendisler için istatistik, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, Türkiye, 1985.

BEEKMAN, P.H., The Pliocene and Quaternary volcanism in the Hasandağ-Melendizdağ region. MTA Bull., 1966;Vol. 66, 99-106.

BIENIAWSKI, Z.T., "The Effect of Specimen Size on Compressive Strength of Coal," International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Vol. 5, pp 325-335., 1967.

BIENIAWSKI, Z.T., Engineering Rock Mass Classifications. Wiley-Interscience, 1989;237 p.

BİENİAWSKİ, Z. T., "The Point Load Test in Geotechnical Practice," Engineering Geology, Vol. 9, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands., 1975.

BİNAL, A., KASAPOĞLU K.E., GÖKÇEOĞLU C., The surficial physical deterioration behaviour of Neogene volcanosedimentary rocks of Eskişehir-Yazılıkaya, NW Turkey. Engineering Geology and the Environment, 1997, Athens, Greece, P.G.Marinos, G.C.Koukis, G.C.Tsiambaos and G.C.Stournaras (editörler), A.A. Balkema, Rotterdam, 1997;3065-3069.

BİNAL, A., KASAPOGLU, K.E., GÖKÇEOGLU, C. The Surficial Physical Deterioration Behaviour of Neogene Volcanosedimentary Rocks of Eskisehir-Yazılıkaya NW Turkey, Engineering Geology and The Environment, Yunanistan, 1997 3065-3069.

BUESCH, D.C., STOKOE K.H., CHOİ W.K., JEON, S.Y., LEE J.J., SCHUHEN, M.D. "Lithostartigraphy and Shear-Wave Velocity in the Crystallized Topopah Spring Tuff, Yucca Mountain, Nevada," International High-Level Radioactive Waste Management Conference, April 30 – May 4, 2006, Las Vegas, Nevada. 2006

CHARY, K.B., SARMA, L.P., PRASANNA, LAKSHMI K.J., VIJAYAKUMAR, N.A., NAGALAKSHMI V., Rao M.V.M.S. Evaluation of Engineering properties of rocks using ultrasonic pulse velocity and uniaxial compressive strength, Proc. National Seminar on Non-Destructive 2006 Evaluation Dec.7-9 Hyderabad p.379-385.

COLBACK, P.S.B. and WIID, B.L., The influence of moisture content on the compresive strength of Rock. Symposium Canadian Department Mining Technical Survey, Ottawa, pp, 65-83, 1965

COLORNI, A., DORİGO, M., MANİEZZO, V., Distributed Optimization by Ant Colonies, Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, Paris, France, F.Varela and P.Bourgine (Eds.), 134–142, 1991.

DEERE, D.U. Geological considerations. In Rock Mechanics in Engineering Practice (eds. Stagg K.G. and Zienkiewicz, O.C.), London, John Wiley and Sons., 1968.

DEERE, D.U., MILLER, R.P. Engineering classification and index properties for intact rock. Air Force Weapons Lab. Tech. Report, AFWL-TR 65-116, Kirtland Base, New Mexico, 1966

DEHGHAN, S., SATTARI, GH., CHEHREH CHELGANI, S., ALIABADI MA., Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural networks Mining Science and Technology (China)V.20, Is.1, Jan 2010, Pages 41-46

DHIR, R.K., SANGHA, C. M. AND MUNDAY, J.G.L., Influence of specimen size on unconfined rock strength.Colliery Guardian 220, 75-80, 1972.

DINÇER, I., ACAR, A., ÇOBANOĞLU, I.; URAS, Y., Correlation between Schmidt hardness, uniaxial compressive strength and young's modulus for andesites, basalts and tuffs., Bull Eng. Geol. Environ. Volume 63, Number 2, June 2004 , pp. 141-148(8)

Dİ CARO, G. VE DORİGO, M., Mobile Agents for Adaptive Routing, Proc. of 31st Hawaii Conf. on Systems Sciences (HICSS-31), Hawaii, January, 1998.

DORİGO, M. VE GAMBARDELLA, L. M., Ant Colony System a Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1(1), 53-66, 1997.

DORİGO, M., MANİEZZO, V. VE COLORNİ, A., The Ant System Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernet-ics - Part B, 26(1), 1-13, 1996.

DORİGO, M., MANİEZZO, V., VE COLORNİ, A., Positive Feedback as a Search Strategy. Technical Report No: 91-016, Politecnico di Milano, Italy, 1991.

DURAN, F., 2009. Erciyes Volkanizmasının Oluşumu, Koçcağız Köyü (Kayseri) Dolayının Stratigrafisi ve Tüflerin Yapı-Kaplama Taşı Olarak kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi, jeoloji Mühendisliği Yüsek Lisans Tezi, Adana.

EBERHARDT, E., STEAD, D., STIMPSON, B., and READ, R.S., "Identifying crack initiation and propagation threshold in brittle rock", Canadian Geotechnical journal, Vol.35, pp.222-233,1998

ENE, E., AND OKAGBUE, C., Some basic geotechnical properties of expansive soil modified using pyroclastic dust., Engineering Geology, ISSN: 00137952, Vol: 107, 2009, Pages: 61-65

ERCAN, T., 1986. Orta Anadolu'daki Senozoyik volkanizmasi.MTA Dergisi. 107, 119–140

ERCAN, T., TOKEL, S., CAN, B., FİŞEKÇİ, A., FUJİTANİ, T., NOTSU, K., SELVİ, Y., ÖLMEZ, M., MATSUDA, J. I., UL, T., YILDIRIM, T., AKBAŞLI A., 1990. Hasandağ-Karacadağ (Orta Anadolu), dolaylarındaki Senozoyik yaşlı volkanizmanın kökeni ve evrimi. Jeomorfoloji Dergisi, 18, 39-54.

ERCAN, T., TOKEL, S., MATSUDA, J., UL, T., NOTSU, K., FUJİTANİ, T., 1992. New geochemical isotopic and radiometric data of the Quaternary volcanism of Hasandağı-Karacadağ (Central Anatolia). TJK Bülteni, 7, 8-21.

FISHER, R.V., HEIKEN, G., MAZZONİ, M., Where do tuffs fit into the framework of volcanoes? in HEIKEN, G., ed.Tuffs Geological Society of America Special Paper 2006;408, P.5-9.

FİSHER, R. V.,. Proposed classification of volcaniclastic sediments and rocks. Geol. Soc. Amer. Bull. 72, 1409-1414. 1961. ReprintedBenchmark Papers in Geology, Sedimentary Rocks:Consepts and history, Carozzi, A.V.,ed., Halsted Pres, p.220-225, 1975

FLINT, L.E., SELKER, S.S., use of porosity to estimate hydraulic properties of volcanic tuffs, 2003 Advances in water resources Geology, 50, 473-494.

GERE, J. M., TİMONSHENKO, S. P., "Mechanics of Materials (3rd. Ed.)," PWS-KENT Publishing Company, Boston., 1990

GEVREK, A.İ., KAZANCI, N. Jeoloji Mühendisliği İGNİMBRtT: OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ s. 38, 39-42, 1991.

GİLBERT, CM., Welded tuff in eastern. California Geol.Soc, .Am.. Bull. 1938; 49. 1829-1862.

GLOVER, F., Tabu Search—Part I, ORSA Journal on Computing, 1989;1(3), 190–206.

GLOVER, F., Tabu Search—Part II, ORSA Journal on Computing, 2(1), 4–32, 1990.

GOODMAN, R.E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, 562 pp.

GÖKÇEOĞLU, C., ULUSAY, R., SÖNMEZ, H., Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. Engineerıng Geology 2000;57 (3-4), 215-237.

GRASSO, P. XU S., MAHTAB A.. Problems and promises of index testing of rock. The 33th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), June 3 - 5, 1992 , Santa Fe, NM., pp.879-888., 1992

GUTİERREZ L.A.F., VİTERBO, V.C., MCLEMORE V.T., Geotechnical and Geomecanical characterisation of the Goathill North Rock Pile at Questa Molybdenum Mine, New Mexico, USA 1993.

HANDIN, J., HAGER, R. V., FRİEDMAN, M., FEATHER, J. N., Experimental deformation of sedimentary rocks under confining pressure: pore pressure tests. Bull. Am. Assoc. Petroleum Geologists 1963; 47(5), 717–754.

HARREL, D., ALGORİTHMİCS, The Spirit of Computing, Addison-Wesley, 1987.

HARRISION, J.P., HUDSON, J.A "Engineering Rock Mechanics Part 2:Illustrative worked examples," ISBN 0-08-0430104, Pergamon Elsevier Science Ltd., 2000.

HAUPT. R.W., MARTİN R.J., TANG, W., DUPREE, W.J., AND PRİCE, R.H.,"Modulus Dispersion and Attenuation in Tuff and Granite, " Sandia National Laborator Report, SAND 091-1926C 1991.

HAVERKAMP, V., HESSEL, V., LÖWE, H., MENGES, G., WARNIER MJF., REBROV, EV., de Croon MHJM, SCHOUTEN, JC., LIAUW, M., Hydrodynamics and mixer-induced bubble formation in microbubble columns with single and multiple chYSAels. Chem. Eng. Technol. 2006; 29(9):1015–1026.

HAWKES, I AND MELLOR, M., Uniaxial testing in rock mechanics. Engineering Geology, 1970, vol. 4 177-285.

HEIKEN, G., Tuffs-Introduction. Geological Society of America Special Paper 408, P.3-4, 2006

HOEK, E., BROWN, E.T., “Underground Excavation in Rock,” Inst. Mining and Metallurgy, London, 1980.

HOLLAND, J.H., Adaption in Natural and Artificial Systems, MAMIT Press, Cambridge, 1975.

HOSKINS, J.R, HORINO, F.,G.Influence of spherical head size and specimen diameters on the uniaxialcompressive strength of rocks. United States Bureau of Mines R.I. 7234, 1969.

HOSSAIN, K.M.A., LACHEMI, M., EASA, S., 2007., Stabilized soils for construction applications incorporating natural resources of Papua new Guinea., Resources conservation&Recycling 51 (2007) 711-731

HUNT, ROY E.. Geotechnical Engineering Investigation handbook(2nd Edition). Boca Raton, Fl,Usa:Crc Press, 2005. http://site.ebrary.com.

HUYUK, T. Kayseri Buyuksehir Belediyesi Katı Atık Duzenli Depolama Tesisi Projesi CED Raporu, DOKAY Muhendislik, 15/12/2010.

INNOCENTİ, F., MAZZUOLİ, G., PASQUARE, F., RADİCATİ Dİ BROZOLO, F., VİLLARİ, L., 1975. The Neogene calcalkaline volcanism of Central Anatolia; geochronological data on Kayseri-Niğde area. Geol. Mag. 112 (4), 349-360.

ISRM (International Society for Rock Mechanics),1981. Rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, 211 pp.

JEON, S.Y., Dynamic and cyclic properties in shear of tuff specimens from Yucca Mountain, Nevada., Dissertation., 2008.

KAYA, A. AND DURUKAN, S., “Utilization of bentonite-embedded zeolite as clay liner”. Applied Clay Science,2004;25, 83-91.

KETİN, İ.; ed. Erentöz, Cahit, İhsan Ketin. Baskı Bilgisi, Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü, 1963. Fiziksel Tanımlar, VI, 82 s.: res.,hrt.; 24.

KETİN, İ., “ Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış”, İTÜ vakfı No:32, p441-463, 1983.

KETİN ,İ., Baskı Bilgisi, Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü, 1963. Fiziksel Tanımlar, VI, 82 s.: res.,hrt.; 24.

KILIÇ, A., TEYMEN, A., Determination of mechanical properties of rocks using simple methods, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 67, No. 2. (May 2008), pp. 237-244.

KIRKPATRICK, S. , GELATT JR., C. D., VECCHI, M. P. Optimization by Simulated Annealing Science, 1983,;220, N. 4598, pp 671-680.

KORALAY, T., İncesu ignimbiritinin (Kayseri) Jeolojisi, Petrolojisi ve Ayırtman Özellikleri. Doktora Tezi. 2006; Ankara Üniversitesi. 302 sayfa.

KORKANÇ, M. İgnimbiritlerin Jeomekanik Özelliklerinin Yapı Taşı Olarak Kullanımına Etkisi:Nevşehir Taşı, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 31 (1) 2007.

KOROLAY, T., ZOROĞLU, O., KADIOĞLU, Y.K., İncesu İgnimbiritindeki (İncesu- Kayseri) Fiamme Tiplerinin Kökeni:Petrografik Ve Jeokimyasal Özellikleri Selçuk Ü. Müh.- Mim. Fak. Derg., c.24, s.2, 2009.

KUŞCU, G., ATİLLA, C., Bir Jeolojik Miras Unsur Olarak Cora Maarı, Erciyes Volkanik Kompleksi. İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 43 -56, 2005.

KUŞÇU, M., Yıldız, A., Ayazini Tüflerinin Yapıtaşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem'2001) Bildiriler Kitabı, Afyon, s.85-98, 2001

LASHKARİPOUR, G.R., NAKHAEİ, M., A statistical investigation on mudrocks characteristics. Rock Mechanics. 131-136., 2001.

LE PENNEC, J.L., BOURDİER, J.L., FROGER, TEMEL, A., CAMUS, G., GOURGAUD, A., Neogene ignimbrites of the Nevsehir plateau (Central Turkey): stratigraphy, distribution and source constraints. J. Volcanol. Geotherm. Res. 63,59–87., 1994.

LEA, F.M., The Chemistry of Cement and Concrete, Chemical Publishing C.O. New York, 1971.

LIENHART, D.A.,. The geographic distribution of intensity and freeze-thaw cycles. Bulletin of American Association of Engineering Geologist , 1988;V.25, No.4, pp. 465-469.

LUNDBORG, N., "The Strength-Size Relation of Granite," International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 4, pp 269-272, 1967.

MARTIN, R.J., III., PRİCE, R.H., BOYD, P.J. AND NOEL, J.S. (1993). "The Influence of Strain Rate and Sample Inhomogeneity on the Moduli and Strength of Welded Tuff,"International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 30, (7), 1507–1510.

NEVILLE, A. M., Properties of Concrete. PitmYSA Publishing, London, 1993.
ORENSE, R.P., ZAPANTA, A., HATA, A., AND TOWHATA, I. Geotechnical Characteristics of volcanic soils taken from recent eruptions., Geotechnical and geoenvironmental engineering (2006) 24:129-161.

PALCHİK, V., Influence of porosity and elastic modulus on uniaxial compressive strength in soft brittle porous sandstones. Rock Mech. Rock Engn. 32(4): 303-309., 1999

PASQUARE, G., 1968. Geology of Cenozoic volcanic area of Central Anatolia. Memorie: Roma, Academia Nazionale Dei Lincei, 55-204.
PASQUARE, G., POLI, S., VEZZOLI, L., ZANCHI, A., 1988.Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey. Tectonophysics 146, 217–230.

PETRO, R.D., HÜRLİMYSA M., Geotechnical Classification and characterization of materials for stability analyses of large volcanic slopes. Engineering Geology Volume 98, Issues 1-2, 21 April 2008, Pages 1-17.

POSTACIOĞLU, B., Tabii Taşların Basınç Mukavemeti. İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarı Tebliğleri. İstanbul, 1948.

PRICE, R.H. "Analysis of the Rock Mechanics Properties of Volcanic Tuff Units from Yucca Mountain, Nevada Test Site," Sandia Report SAND82-1315, Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories 1983.

PRICE, R.H. "The Mechanical Properties of Lithophysal Tuff: Laboratory Experiments," TDR-EBS-MD-000027 REV 00. Las Vegas, Nevada: Bechtel SAIC Company., 2004
PRICE, R.H. AND BAUER, S.J. "Analysis of the Elastic and Strength Properties of Yucca Mountain Tuff, Nevada," Research & Engineering Applications in Rock Masse, Proceedings of the 26th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Rapid City, South Dakota, June 26-28, 1985. pp. 89-96. 1985.

PRICE, R.H., "Effects of Sample Size on the Mechanical Behavior of Topopah Spring Tuff," Sandia National Laboratory Report, SAND 85-0709., 1986.

PRICE, R.H., BOYD, P.J., NOEL, J.S., AND MARTIN, R.J. "Relationship between Staticand Dynamic Rock Properties in Welded and Nonwelded Tuff," Rock Mechanics, 1994; ISBN 90-5410-380-8, Nelson & Laubach (eds), Balkme, Rotterdam, pp 505-512.

PRICE, R.H., MARTİN, R.J., III, Boyd, P.J., and Noel, J.S. Mechanical and BulkProperties in Support of ESF Design Issues," High Level Radioactive Wasten Management, Proceedings of the Fifth YSAual International Conference, Las Vegas, Nevada, May 22-26, 1994. 4, 1987-1992.

PRİCE, R.H. AND BAUER, S.J. "Analysis of the Elastic and Strength Properties of Yucca Mountain Tuff, Nevada," Research & Engineering Applications in Rockn Masse, Proceedings of the 26th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Rapid City, South Dakota, June 26-28, 1985. pp. 89-96.

SAHU, B.K.,"Improvement in California Bearing Ratio of Various Soils in Botswana by Fly Ash. "International Ash Utilization Symposium 22 – 24 October 2001, Lexington Kentucky, USA.

SALTAN, M., VE FINDIK, F.C Stabilization of subbase layer materials with waste pumice in flexible pavement., Building and Environment 43, 415-421, 2008.

SCHMID, R. Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the IUGS Subcommision on the Systematics of Igneous rocks, Geology, 9, 41-3.,1981.

SCHUBERT, K., BRANDNER, J., FICHTNER, M, LINDER, G., SCHYGULLA U, WENKA, A., Microstructure devices for applications in thermal and chemical process engineering. Microscale Therm. Eng. 2001; 5:17–39.

SCHULTS, R.A., AND Lİ, Q. Uniaxial strength testing of non-welded Calico Hills tuff, Yucca Mountain, Nevada, Engineering Geology, 1995, 40, 287-299.

SHAH, R.K., LONDON, A.L., Laminar flow forced convection in ducts, Akademic Press, p.198, 1978 .

SHAHİN, M., JAKSA, M. B. AND MAİER, H. R.,Artificial neural network applications in geotechnical engineering, Australian Geomechanics Vol. 36, No. 1, pp. 49-62, 194, 2001.

SHARMA P.K., AND SİNGH. T.N., A Correlation between P-Wave Velocity, Impact Strength Index, Slake Durability Index and Uniaxial Compressive Strength, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67, 17-22, 2008.

SİVRİKAYA, O., TOĞROL, E., Arazi deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, pp (1.3-1.5), ISBN:978-975-511-527-6, 2009.

SMİTH, R.L., Zones and zonal variations in welded ash flows:U.S. Geological Survey Professional Paper 354F, 22p., 1960.

STÜTZLE, T., DORİGO, M., ACO Algorithms for the Traveling Salesman Problem, IRIDIA University Libre de Bruxelles, Belgium, 1999.

STÜTZLE, T., DORİGO, M., ACO Algorithms for the Traveling Salesman Problem, IRIDIA University Libre de Bruxelles, Belgium, 1999.

TANG, C.A., THAM, L.G., LEE, P.K.K., TSUİ, Y., AND LİU, H.,"Numerical Studiesof the Influence of Microstructure on Rock Failure in Uniaxial Compression – PartII : Constrain, Slenderness and Size Efffect," International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 37, pp 571-583., 2000.

TATSUAKA, F., KOHATA,Y., OCHİ, K. AND TSUBOUCHİ, T. Stiffness of soft rocks in Tokyo Metropolitan area from the laboratory tests to full scale behaviour Rock Foundation of large scale structures, 30 september 1995, Tokyo.

TEMEL, A., GÜNDOGDU, M.N., GOURGAUD, A., LE PENNEC, J.L., 1998. Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry. J. Volcanol. Geotherm.Res. 85

TEMUR, S., TEMUR,Y., KANSUN, G. Erkilet bazaltının jeolojik, Petrografik ve Teknolojik İncelenmesi, Kayseri, Orta Anadolu , Jeoloji Mühendisliği Dergisi 2007

TEZCAN, S., KECELI, A., OZDEMIR, Z. Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity, Geotechnical and geological engineering, V. 24; (1), pages 203-218., 2006.

TEZCAN, S., KECELI, A., OZDEMIR, Z., Zemin ve Kayaçlarda Emniyet GerilmesininSismik Yöntem İle Belirlenmesi., TÜBAV Bilim Dergisi, Yıl 2010; Cilt:3, Sayı:1, Sayfa:1-10.

TOĞROL, B., TOĞROL, E., İstatistik metotları, Matbaa Teknisyenleri Basım Evi, İstanbul, 1967.

TOPAL, T., AND SÖZMEN, B., Caharacteristics of the weathering zones developed within the tuffs of the Midas monument, 2001., Turkish journal of Earth Science, Vol. 10, 2001, pp. 83-91.

TS 699, TABİİ YAPI TAŞLARI-MUAYENE VE DENEY METOTLARI (Methods of Testing for Natural Building Stones) Türk Standardları Enstitüsü, 1987;ICS 91.100.01; 91.100.15.

TS1900-1-2 İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - Bölüm 1 : Fiziksel özelliklerin tayini 2007, Bölüm 2 : Mekanik özelliklerin tayini 2007.

TS1900-2 İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - TS699 Doğal yapı taşları - İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri., 2009.

TS9581. Şehiriçi Yollar - Esnek Üstyapılı Alttemel ve Temel Tabakaları Yapım Kuralları.,1991.

TUĞRUL, A., ZARİF I.H. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rock from Turkey. Eng. Geology. V.51, 303-317., 1999.

ULUSAY, R., GÖKÇEOĞLU, C., TOPAL, T., SÖNMEZ, H., TUNCAY, E., ERGÜLER, Z.A., KAŞMER, Ö., Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Urgüp (Cappadocia), Turkey., Environmental jeology Volume 50, Number 4, 473-494, 2006.

ULUSAY, R., ĞÖKÇEOĞLU, C., BİNAL A., Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri TMMOB Jeoloji müh. Odası 2005;ISBN:975-395-4190.

ULUSAY, R., AYDAN, Ö., Kapadokya bölgesinde bazı yeraltı açıklıklarındaki tüflerin kaya mühendisliği açısından değerlendirilmesi. Kapadokya Yöresinin Jeolojisi Sempozyumu, 17-20 Ekim 2007, Niğde, Bildiriler Kitabı, 13-23, 2007.

UZ, B., Petrografi-I, C.1- İTÜ Maden Fak. Magmatik Kayaçlar,Ocak, Istanbul, 286s. ,1987.

VANIMAN, D., Tuff Mineralogy, in HEIKEN, G., ed.Tuffs Geological Society of America Special Paper 408, P.11-15, 2006.

VENUAT, M. Lightweight Agregates-an Uptading Survey of Materials, Production Technology, Innovations and Inventions, Lightweight Concrete,The Concrete Society, The Construction Pres, Lancester London Newyork., 1980.

WANG, R., KEMENY, J.M. "Micromechanical modeling of Tuffaceous rock for application in nuclear waste storage. International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics abstracts, 1993, 30(7), 1351-1357.

WEGENG, RS., DROST, MK., BRENCHLEY, DL., Process intensification through miniaturization of chemical and thermal system in the 21st century. In Proc 3rd Int. Conf. Microreaction Technology (IMRET3), Ehrfeld W (ed); Springer: Berlin, 2000; pp. 2–13.

WIID, B.L., The influence of Moisture on the Pre-Rupture Fracturing of two Rock Types. Proceeding of the 2 nd. Cong,of Rock Mech. V: 2, Beograd, 1970.

WIID, B.L., The influence of Moisture on the Strength behaviour of Rocks. CSIR Report MEG 424, Pretoria, South Africa, 1966.

YALÇINLAR, İ., Les vertebres fossiles du Mioceme superieur a l'Est de Kayseri-Turquie - (Kayseri doğusunda üst Miosen'e ait omurgalılar).Rev.Fac. Sci. Univ. İstanbul, Seri. B, XV, no. 3, s.264-268 (français; Türkçe özetli) , 1950.

YILMAZ, I., YUKSEL, G., Prediction of the strength and elasticity modulus of gypsum using multiple regrassion, YSA, and ANFIS models, Int.Journ. Rock Mech.& mining sciences Vol.46 pp.803-810, 2009.

EKLER

Ek-Tablo 1. Kayseri Gesi tüfü donma çözülme davranışının TS 699 yöntemiyle belirlenmesi

Kayseri Gesi Tuff Freeze-Thaw Behavıor(Donma-Çözülme Davranışı) TS699														MEKANİK PARAMETRELER	
														DENEY Sonrası	DENEY Sonrası
Sample No	Sample Name	wet Weight Before Test	Saturation Sr%	The Freeze-Thaw Cycle Number	D	L	Dry Weight of Sample Before Test	Dry Weight of Sample After Test	Zaman tp (Mikro Saniye)	P Kırılma yükü kğ	Su İçeriği w %	Doygun Birim Hacim Ağırlık gr/cm^3	Kuru Birim Hacim Ağırlık gr/cm^3	P-wave Velocity Vp km/s	(Unconfined Compretion Strength) UCS qu kğ/cm^2
1	FTGSR00C0-1	427,7	0	0	53	111	427,7	427,7	56	4602	0			1,982	208,6
2	FTGSR00C0-2	418	0	0	53	113	418	418	57,9	4710	0	1,68	1,68	1,952	213,5
3	FTGSR00C0-3	437,9	0	0	53	112,8	437,9	437,9	58	4116	0	1,76	1,76	1,945	186,6
4	FTGSR20C0-1	376	20	0	49,5	110	351,7	351,7	56,7	4670	6,9	1,78	1,66	1,940	242,7
5	FTGSR20C0-2	404	20	0	49,5	112,7	378,4	378,4	56,9	5288	6,8	1,86	1,74	1,981	274,8
6	FTGSR20C0-3	422,6	20	0	49,5	115,4	397,2	397,2	57,3	5612	6,4	1,9	1,79	2,014	291,6
7	FTGSR40C0-1	391,1	40	0	49,5	119	353,1	353,1	55,3	5336	10,8	1,71	1,54	2,152	277,3
8	FTGSR40C0-2	377	40	0	49,5	110	345	345	54,6	5224	9,3	1,78	1,63	2,015	271,5
9	FTGSR40C0-3	421,5	40	0	53	114,6	388	382	53	5614	8,6	1,67	1,53	2,162	254,5
10	FTGSR70C0-1	492	70	0	49,5	118,7	395,4	395,4	50,1	6202	24,4	2,15	1,73	2,369	322,3
11	FTGSR70C0-2	488,5	70	0	49,5	119,5	395,7	395,7	54,8	5760	23,5	2,12	1,72	2,181	299,3
12	FTGSR70C0-3	433,3	70	0	49,5	117,5	348	348	62,8	3960	24,5	1,92	1,54	1,871	205,8
13	FTGSR90C0-1	484	90	0	49,5	113	368,5	368,5	54	5110	31,3	2,23	1,69	2,093	265,5
14	FTGSR90C0-2	487	90	0	49,5	111,5	374,5	374,5	51	5438	30	2,27	1,75	2,186	282,6
15	FTGSR90C0-3	480	90	0	49,5	115,1	367,9	367,9	54	5224	30,5	2,17	1,66	2,131	271,5
16	FTGSR00C5-1	312,2	0	5	49,5	112	312,2	312,2	54	5230	0	1,45	1,45	2,074	271,8
17	FTGSR00C5-2	420	0	5	53	111	420	420	56	5902	0	1,72	1,72	1,982	267,5
18	FTGSR10C5-1	371,5	10	5	49,5	115,5	358,9	358,9	52	5320	3,5	1,67	1,61	2,221	276,4
19	FTGSR10C5-2	358,1	10	5	49,5	113,6	346,4	316,4	55	5060	3,4	1,64	1,58	2,065	262,9
20	FTGSR20C5-1	480,2	20	5	53	116	448,8	448,8	52,5	5860	7	1,88	1,75	2,210	265,6

Ek-Tablo 1. Kayseri Gesi tüfü donma çözülme davranışının TS 699 yöntemiyle belirlenmesi (Devam)

21	FTGSR20C5-2	373,2	20	5	49,5	114,3	349,9	318,9	52,3	6184	6,7	1,7	1,59	2,185	321,3
22	FTGSR20C5-3	490	20	5	53	120,4	457,7	457,7	59	4764	7,1	1,84	1,72	2,041	215,9
23	FTGSR30C5-1	350,2	30	5	49,5	112,4	316,9	316,9	52,3	6184	10,5	1,62	1,47	1,767	175,6
24	FTGSR30C5-2	413,5	30	5	49,5	113,8	374,2	374,2	59	4764	10,5	1,89	1,71	2,073	296,3
25	FTGSR30C5-3	423	30	5	49,5	123,9	383,7	383,7	63,6	3380	10,2	1,77	1,61	2,253	302,4
26	FTGSR40C5-1	412,9	40	5	49,5	112,2	362,2	362,2	54,9	5702	14	1,91	1,68	1,925	179,1
27	FTGSR40C5-2	360,7	40	5	49,5	112,6	316,4	316,4	55	5820	14	1,66	1,46	2,293	379,2
28	FTGSR40C5-3	478,6	40	5	53	115,5	420,7	420,7	58,3	3446	13,8	1,88	1,65	2,112	245,2
29	FTGSR50C5-1	358,5	50	5	49,5	110,1	305,1	305,1	49,1	7298	17,5	1,69	1,44	2,202	322,2
30	FTGSR50C5-2	531	50	5	53	115,1	451,6	451,6	54,7	5410	17,6	2,09	1,78	1,984	254,7
31	FTGSR50C5-3	485	50	5	53	114,4	413,5	413,5	50	6200	17,3	1,92	1,64	1,990	266,5
32	FTGSR60C5-1	469,5	60	5	49,5	117	388	388	58	5620	21	2,09	1,72	1,983	245,2
33	FTGSR60C5-2	379,9	60	5	49,5	114	314	314	57,5	5880	21	1,73	1,43	2,111	259,1
34	FTGSR60C5-3	461	60	5	49,5	120,8	381	381	59	4718	21	1,98	1,64	2,196	251,5
35	FTGSR70C5-1	533	70	5	53	111	428,2	428,2	54	4986	24,5	2,18	1,75	2,114	239,2
36	FTGSR70C5-2	441,2	70	5	49,5	121	354,4	354,4	55	4840	24,5	1,89	1,52	2,220	269,8
37	FTGSR70C5-3	468,8	70	5	49,5	116,8	378,9	378,9	52,5	5278	23,7	2,09	1,69	2,086	243,4
38	FTGSR80C5-1	598,8	80	5	53	120	467,8	467,8	54,5	5192	28	2,26	1,77	1,899	136,3
39	FTGSR80C5-2	578,7	80	5	53	117,7	452,1	452,1	56	4684	28	2,23	1,74	1,845	196,3
40	FTGSR80C5-3	405	80	5	49,5	114,1	317,7	317,7	63,2	3008	27,5	1,84	1,45	1,870	154,3
41	FTGSR90C5-1	559,4	90	5	53	115,2	440,6	440,6	63,8	4330	27	2,2	1,73	1,843	118,7
42	FTGSR90C5-2	536	90	5	53	115	407,7	407,7	61	2970	31,5	2,11	1,61	1,794	124,6
43	FTGSR90C5-3	456	90	5	49,5	119,1	348,9	348,9	62,5	2618	30,7	1,99	1,52	1,794	153,3

Ek-Tablo 1. Kayseri Gesi tüfü donma çözülme davranışının TS 699 yöntemiyle belirlenmesi (Devam)

44	FTGSR100C5-1	585	100	5	53,5	120,1	448,5	456,5	67,4	2460	30,4	2,17	1,66	1,782	109,4
45	FTGSR100C5-2	537	100	5	53	118	395,8	422,8	69,5	2458	35,7	2,06	1,52	1,698	111,4
46	FTGSR100C5-3	571	100	5	53	114,2	440,6	440,6	70,4	2520	29,6	2,27	1,75	1,622	114,2
47	FTGSR10C10	362,9	10	10	49,5	119	350,6	350,6	54	6086	3,5	1,58	1,53	2,130	275,9
48	FTGSR40C10	490	40	10	53	113	429,9	429,9	62	4004	14	1,97	1,72	1,984	181,5
49	FTGSR60C10	526,1	60	10	53	115	434,8	434,8	60,9	3830	21	2,07	1,71	1,856	173,6
50	FTGSR70C10	449,4	70	10	53	113,5	361	361	63,8	3502	24,5	1,79	1,44	1,865	182,0
51	FTGSR90C10	613,5	90	10	53	123	464,8	464,8	70,1	2318	32	2,26	1,71	1,598	120,5
52	FTGSR10C15	428	10	15	53	114,4	413,5	413,5	58,5	5368	3,5	1,7	1,64	2,058	243,3
53	FTGSR40C15	427,4	40	15	49,5	116,4	374,9	374,9	60	3588	14	1,91	1,67	1,940	186,4
54	FTGSR60C15	553,8	60	15	53	120,4	457,7	457,7	63,5	3506	21	2,08	1,72	1,802	158,9
55	FTGSR70C15	397,1	70	15	49,5	114,1	317,7	317,7	64,5	2744	25	1,81	1,45	1,769	142,6
56	FTGSR90C15	460,7	90	15	49,3	120,1	349	349	72,4	2088	32	2,01	1,52	1,659	109,4
57	FTGSR10C20	325,3	10	20	49,5	112,4	314,3	314,3	56,2	5416	3,5	1,5	1,45	2,064	245,5
58	FTGSR40C20	353,9	40	20	49,5	113	310,4	310,4	56,5	3914	14	1,63	1,43	2,016	203,4
59	FTGSR60C20	353,9	60	20	53	116	442,9	442,9	59	2756	-20,1	1,38	1,73	1,902	143,2
60	FTGSR70C20	421,3	70	20	49,5	115	337	337	62	2410	25	1,9	1,52	1,758	125,2
61	FTGSR90C20	493,3	90	20	49,5	113,9	373,7	373,7	75,6	1972	32	2,25	1,7	1,521	102,5
62	FTGSR10C25	325,4	10	25	49,5	112,3	314,4	314,4	61,2	2890	3,5	1,51	1,45	1,894	150,2
63	FTGSR40C25	373,7	40	25	49,5	112	327,8	327,8	60,5	2810	14	1,73	1,52	1,856	146,0
64	FTGSR60C25	365,4	60	25	49,5	109	302	302	66,5	2674	21	1,74	1,44	1,699	139,0
65	FTGSR70C25	465	70	25	49,5	115,9	372	372	65,2	2294	25	2,08	1,67	1,724	119,2
66	FTGSR90C25	430,8	90	25	49,5	112,2	326,4	326,4	88,5	2200	32	2	1,51	1,282	99,7

Ek-Tablo 2. Kayseri İncesu tüfü donma çözülme davranışının TS 699 yöntemiyle belirlenmesi

KAYSERİ İNCESU TUFF FREEZE-THAW BEHAVIOR (DONMA-ÇÖZÜLME DAVRANIŞI)TS699															
Sample No	Sample Name	*wet Weight Before Test*	*Saturation S_r%*	*The Freeze-Thaw Cycle Number*	D mm	L mm	*Dry Weight of Sample Before Test*	*Dry Weight of Sample After Test*	*Zaman tp (Mikro Saniye)*	*P Kırılma yükü kğ*	*Su İçeriği w %*	*Doygun Birim Hacim Ağırlık gr/cm^3*	*Kuru Birim Hacim Ağırlık gr/cm^3*	*DENEY Sonrası V_p km/s*	*DENEY Sonrası q_u kğ/cm^2*
1	FTISR00C0	410,3	0	0	49,5	115	410,3	410,3	42,5	6198	0	1,85	1,85	2,7058824	322,070756
2	FTISR20C0	427,3	20	0	49,5	114,2	416,9	416,9	44,5	6468	2,5	1,94	1,87	2,5662921	336,100944
3	FTISR40C0	459,6	40	0	49,5	117,7	417,8	417,8	45	4652	10	2,03	1,81	2,6155556	241,73494
4	FTISR70C0	474,2	70	0	49,5	111,6	403,6	403,6	49,5	3418	17,5	2,21	1,91	2,2545455	177,611785
5	FTISR90C0	521,7	90	0	49,5	117,9	425,9	425,9	49,8	4024	22,5	2,3	1,81	2,3674699	209,101762
6	FTISR00C5	398,3	0	5	49,5	117	398,3	398,3	47	3500	0	1,77	1,82	2,4893617	181,872805
7	FTISR10C5	432	10	5	49,5	116,1	421,5	421,5	42	9122	2,5	1,93	1,84	2,7642857	474,012494
8	FTISR20C5-1	395	20	5	53,2	115,3	376,1	376,1	51,4	3160	5	1,54	1,6	2,2431907	142,158861
9	FTISR20C5-2	510	20	5	49,5	114,1	485,9	485,9	40,6	9972	5	2,32	1,87	2,8103448	518,181604
10	FTISR30C5-1	384	30	5	53	113,3	357,2	357,2	63,5	2918	7,5	1,54	1,64	1,784252	132,264613
11	FTISR30C5-2	505,6	30	5	49,5	119	470,3	470,3	50,1	5536	7,5	2,21	1,79	2,3752495	287,670814
12	FTISR40C5-1	420	40	5	53	114,3	415,7	415,7	42,5	8676	1	1,67	1,63	2,6894118	393,258323
13	FTISR40C5-2	492	40	5	49,5	120,1	487,3	487,3	51,3	7952	1	2,13	1,78	2,3411306	413,215013
14	FTISR50C5-1	473,4	50	5	49,5	115	420,7	420,7	52,5	5264	12,5	2,14	1,85	2,1904762	273,536699
15	FTISR50C5-2	481,7	50	5	49,5	116,2	428,2	428,2	49,4	4888	12,5	2,15	1,83	2,3522267	253,998363
16	FTISR60C5-1	468,5	60	5	49,5	113,7	407,4	407,4	43,8	4310	15	2,14	1,88	2,5958904	223,963369
17	FTISR60C5-2	443	60	5	49,5	115,6	385,2	385,2	55,8	3036	15	1,99	1,84	2,0716846	157,761667
18	FTISR70C5-1	559	70	5	53	117,1	475,9	475,9	50,2	5738	17,5	2,16	1,59	2,3326693	260,087167
19	FTISR70C5-2	461	70	5	49,5	117,5	392,3	392,3	55,2	4018	17,5	2,04	1,81	2,1286232	208,78998
20	FTISR80C5-1	434,8	80	5	49,5	114,6	362,3	362,3	74	2000	20	1,97	1,86	1,5486486	103,927317
21	FTISR80C5-2	493,6	80	5	49,6	110,6	411,3	411,3	44	3572	20	2,31	1,92	2,5136364	184,866499
22	FTISR90C5-1	604,7	90	5	53	115,3	493,6	493,6	43,7	7876	22,5	2,38	1,61	2,6384439	356,996606

Ek-Tablo 2. Kayseri İncesu tüfü donma çözülme davranışının TS 699 yöntemiyle belirlenmesi (Devam)

23	FTISR90C5-2	526,6	90	5	49,5	117,5	429,1	429,1	47	5380	22,7	2,33	1,81	2,5	279,564483
24	FTISR100C5-1	627,4	100	5	53	116,7	501,9	501,9	44	9380	25	2,44	1,59	2,6522727	425,168634
25	FTISR100C5-2	501,4	100	5	49,4	111,6	401,1	401,1	47,5	4484	25	2,34	1,92	2,3494737	233,94934
26	FTISR10C10	428,8	10	10	49,4	114	418,4	418,4	44,7	7604	2,5	1,96	1,88	2,5503356	396,733002
27	FTISR40C10	457,3	40	10	49,4	113	415,7	415,7	43,5	8774	10	2,11	1,89	2,5977011	457,776876
28	FTISR60C10	430	60	10	49,4	111,3	373,9	373,9	51,6	4184	15	2,02	1,92	2,1569767	218,297065
29	FTISR70C10	563	70	10	53,1	117,7	479,4	479,4	50,7	9644	17,4	2,16	1,57	2,321499	435,490092
30	FTISR90C10	530	90	10	49,5	113,5	432,7	432,7	36,5	7396	22,5	2,43	1,88	3,109589	384,323219
31	FTISR10C15	408,4	10	15	49,3	119	398,4	398,4	46,3	5270	2,5	1,8	1,81	2,5701944	276,074882
32	FTISR40C15	484,3	40	15	49,4	120,5	440,3	440,3	42	6894	10	2,1	1,78	2,8690476	359,689284
33	FTISR60C15	433,3	60	15	49,5	113,4	376,8	376,8	51,5	4846	15	1,99	1,88	2,2019417	251,81589
34	FTISR70C15	423	70	15	49,1	114,7	359,8	359,8	65,5	1935	17,6	1,95	1,89	1,751145	102,194637
35	FTISR90C15	532	90	15	49,4	117,2	434,2	434,2	49	6560	22,5	2,37	1,83	2,3918367	342,263085
36	FTISR10C20	444,2	10	20	49,3	117,2	433,4	433,4	43	6928	2,5	1,99	1,83	2,7255814	362,931078
37	FTISR40C20	500,7	40	20	49,4	115,8	455,2	455,2	39,5	7450	10	2,26	1,85	2,9316456	388,698168
38	FTISR60C20	473,1	60	20	49,3	115,8	411,4	411,4	51,1	5118	15	2,14	1,86	2,2661448	268,112191
39	FTISR70C20	448,4	70	20	49	118,5	381,6	381,6	62,5	4250	17,5	2,01	1,84	1,896	225,375596
40	FTISR90C20	478,6	90	20	49,2	117,7	390,7	390,7	53	5446	22,5	2,14	1,83	2,2207547	286,455754
41	FTISR10C25	438	10	25	49,4	116,2	427,3	427,3	38,5	9520	2,5	1,97	1,84	3,0181818	496,698867
42	FTISR40C25	415,9	40	25	49,2	113,7	378,1	378,1	57,4	3990	10	1,92	1,9	1,9808362	209,871182
43	FTISR60C25	427,7	60	25	49,3	111	371,9	371,9	45,4	6450	15	2,02	1,94	2,4449339	337,89051
44	FTISR70C25	495	70	25	49,4	115	421,2	421,2	47,5	4860	17,5	2,25	1,86	2,4210526	253,566858
45	FTISR90C25	511	90	25	49,4	113,3	416,9	416,9	43,2	5904	22,6	2,35	1,89	2,6226852	308,036776

Her 1 çevrim(1 Freeze-Thaw Cycle)= 2 saat -20 derece Donma ve 2 saat +20 derecede Çözülme demektir.

Ek-Tablo 3. Gesi Tüfleri nin ASTM5313-92 e göre Donma Çözülme Davranışı (1 çevrim=16 saat -18^{o}C ve 8 saat +32 ^{o}C)

	ÖRNEK NO. *FTG=freze-thaw G=GESİ SR=Doygunluk C=Çevrim sayısı*	DENEY ÖNCESi YAŞ Ağırlık gr	su içeriği *w %*	SUYA DOY GUN LUK Sr %	Donma-Çözülme ÇEVRiM SAYıSı	ÇAP *Diameter* D (mm)	BOY *Length* L (mm)	DENEY ÖNCESi KURU Ağırlık (g)	DENEY ÖNCESi KURU B.H Ağırlığı (gr/cm^3)	DENEY ÖNCESi Doygun B.H Ağırlığı (gr/cm^3)	Özgül *Ağırlık* gr/cm^3	Poro sitesi *n*	Zaman (Micro Second) Tp	Vp (Km/s) (Km/s)	P Max load kğ	UCS Tek eksenli Basınç kğ/cm^2	KAYAÇ TANIMI *Rock Description*
1	FTGSR70C00-1	453,70	12,89	74	0	53,0	117,0	401,9	1,56	1,76	2,54	0,39	63,6	1,84	5318	241	GESİTüfü GESİ Tuff
2	FTGSR70C00-2	500,40	10,98	82	0	53,1	118,5	450,9	1,72	1,91	2,57	0,33	59,3	1,998	4810	217,2	GESİTüfü GESİ Tuff
3	FTGSR70C5-1	449,80	12,03	72	5	53,1	113,2	401,5	1,6	1,79	2,55	0,37	78,1	1,449	4834	218,3	GESİTüfü GESİ Tuff
4	FTGSR70C5-2	459,80	11,63	70	5	53,1	116,0	411,9	1,6	1,79	2,55	0,37	78,7	1,474	4680	211,3	GESİTüfü GESİ Tuff
5	FTGSR70C10-1	461,80	12,14	76	10	53,2	114,8	411,8	1,61	1,81	2,54	0,37	75,6	1,519	3550	159,7	GESİTüfü GESİ Tuff
6	FTGSR70C10-2	474,80	11,64	75	10	53,2	116,0	425,3	1,65	1,84	2,57	0,36	81,4	1,425	3968	178,5	GESİTüfü GESİ Tuff
17	FTGSR70C15(7)-2	378,80	13,31	75	15	49,3	113,0	334,3	1,55	1,76	2,56	0,39	75,1	1,505	3520	184,4	GESİTüfü GESİ Tuff
8	FTGSR70C15-2	424,70	14,23	74	15	53,0	113,2	371,8	1,49	1,7	2,53	0,41	84,5	1,34	3360	152,3	GESİTüfü GESİ Tuff
9	FTGSR70C20-1	519,80	9,55	72	20	53,2	122,0	474,5	1,75	1,92	2,57	0,32	73,5	1,66	3910	175,9	GESİTüfü GESİ Tuff
10	FTGSR70C20-2	422,30	13,55	70	20	53,1	112,3	371,9	1,5	1,7	2,54	0,41	84,8	1,324	3610	163	GESİTüfü GESİ Tuff
11	FTGSR70C25-1	464,00	11,27	71	25	53,2	115,6	417,0	1,62	1,81	2,54	0,36	75,4	1,533	3544	159,4	GESİTüfü GESİ Tuff
12	FTGSR70C25-2	468,30	9,70	74	25	53,2	110,0	426,9	1,75	1,92	2,57	0,32	79,5	1,384	3498	157,4	GESİTüfü GESİ Tuff
13	FTGSR70C30-1	411,60	16,73	74	30	53,1	115,5	352,6	1,38	1,61	2,53	0,45	100	1,155	3236	146,1	GESİTüfü GESİ Tuff
14	FTGSR70C30-2	451,50	11,56	76	30	53,0	112,0	404,7	1,64	1,83	2,54	0,35	72,3	1,549	3240	146,9	GESİTüfü GESİ Tuff
15	FTGSR70C35-1	468,80	12,10	73	35	53,1	118,0	418,2	1,6	1,79	2,54	0,37	120	0,983	2232	100,8	GESİTüfü GESİ Tuff
16	FTGSR70C35-2	500,30	9,14	71	35	53,0	117,0	458,4	1,78	1,94	2,58	0,31	150	0,78	2200	99,7	GESİTüfü GESİ Tuff

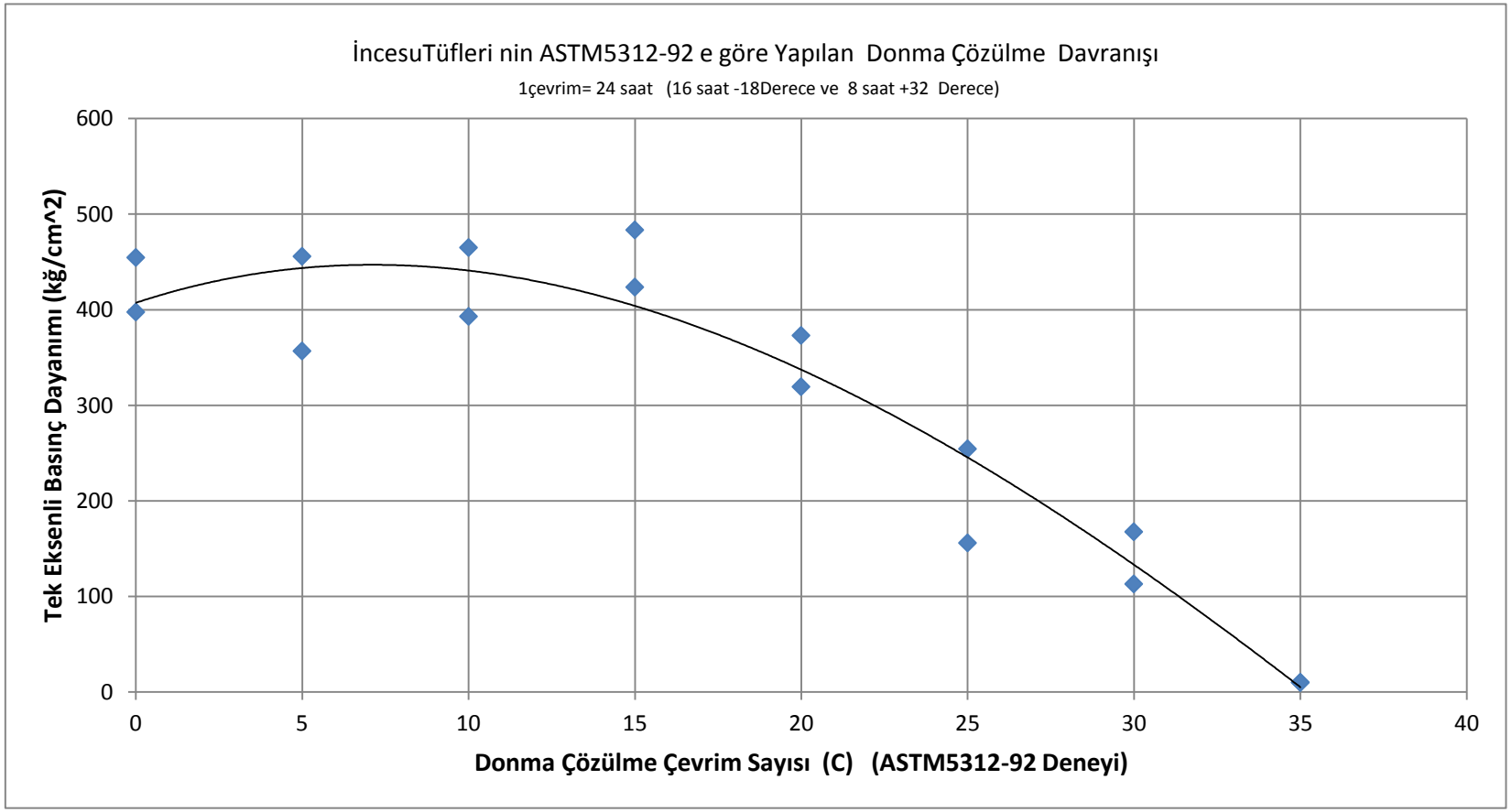
Ek-Tablo 3. Kayseri İncesu Tüfleri nin ASTM5313-92 e göre Donma Çözülme Davranışı (1 çevrim=16 saat -18°C ve 8 saat +32 °C)

	ÖRNEK NO. Sample No. FTG=freze-thaw GESİ SR=saturation C=cycle	DENEY ÖNCESi YAŞ Ağırlık Wet Weight of Sample Before Test (g)	su içeriği w %	SUYA DOY GUN LUK % Saturation % Sr	ÇEVRiM SAYıSı The Number of Cycle Donma Çözülme	ÇAP Diameter D (mm)	BOY Length L (mm)	DENEY ÖNCESi KURU Ağırlık Dry Weight of Sample Before Test (g)	DENEY ÖNCESi KURU B.H Ağırlığı (gr/cm^3)	DENEY ÖNCESi Doygun B.H Ağırlığı (gr/cm^3)	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Poro sitesi n	ZAMAN Tp (Mikro saniye)	DENEY SONRASI Vp (Km/s)	P Max load kğ	DENEY SONRASI UCS kğ/cm^2	KAYAÇ TANIMI Rock Description
1	FTISR70C00-1	499,60	10,19	129	0	49,50	122,00	453,40	1,93	2,13	2,56	0,25	40,4	3,02	8749	454,6	incesuTüfü incesu Tuff
2	FTISR70C00-2	473,70	9,30	119	0	49,50	115,00	433,40	1,96	2,14	2,57	0,24	43,2	2,662	7652	397,6	incesuTüfü incesu Tuff
3	FTISR70C5-1	478,20	10,08	134	5	49,50	116,00	434,40	1,95	2,14	2,55	0,24	46,6	2,489	8772	455,8	incesuTüfü incesu Tuff
4	FTISR70C5-2	478,80	9,17	117	5	49,50	115,00	438,60	1,98	2,16	2,6	0,24	40	2,875	6866	356,8	incesuTüfü incesu Tuff
5	FTISR70C10-1	499,00	9,79	128	10	49,50	121,00	454,50	1,95	2,14	2,56	0,24	47	2,574	8950	465,1	incesuTüfü incesu Tuff
6	FTISR70C10-2	400,50	12,85	124	10	49,50	102,50	354,90	1,8	2,03	2,57	0,3	46,3	2,214	7562	392,9	incesuTüfü incesu Tuff
17	FTISR70C15-1	438,30	10,38	89	15	49,50	115,70	397,10	1,78	1,97	2,56	0,3	49,7	2,328	9304	483,5	incesuTüfü incesu Tuff
8	FTISR70C15-2	481,20	10,54	132	15	49,50	117,00	435,30	1,93	2,14	2,58	0,25	47,3	2,474	8152	423,6	incesuTüfü incesu Tuff
9	FTISR70C20-1	502,40	9,74	127	20	49,50	121,80	457,80	1,95	2,14	2,56	0,24	58,4	2,086	6148	319,5	incesuTüfü incesu Tuff
10	FTISR70C20-2	459,00	10,42	123	20	49,50	113,30	415,70	1,91	2,11	2,57	0,26	48	2,36	7180	373,1	incesuTüfü incesu Tuff
11	FTISR70C25-1	439,30	10,05	82	25	49,50	117,20	399,20	1,77	1,95	2,56	0,31	56,5	2,074	3000	155,9	incesuTüfü incesu Tuff
12	FTISR70C25-2	451,00	8,91	102	25	49,50	111,40	414,10	1,93	2,1	2,57	0,25	52,2	2,134	4894	254,3	incesuTüfü incesu Tuff
13	FTISR70C30-1	443,30	9,65	77	30	49,50	118,50	404,30	1,77	1,94	2,56	0,31	75,5	1,57	2172	112,9	incesuTüfü incesu Tuff
14	FTISR70C30-2	494,30	10,14	118	30	49,50	122,50	448,80	1,9	2,1	2,56	0,26	65	1,885	3226	167,6	incesuTüfü incesu Tuff
15	FTISR70C35-1	448,80	9,65	84	35	49,50	117,50	409,30	1,81	1,98	2,56	0,29	190	0,618	Çatladı	10	incesuTüfü incesu Tuff
16	FTISR70C35-2	466,30	9,90	117	35	49,50	114,70	424,30	1,92	2,11	2,57	0,25	202	0,568	Çatladı	10	incesuTüfü incesu Tuff

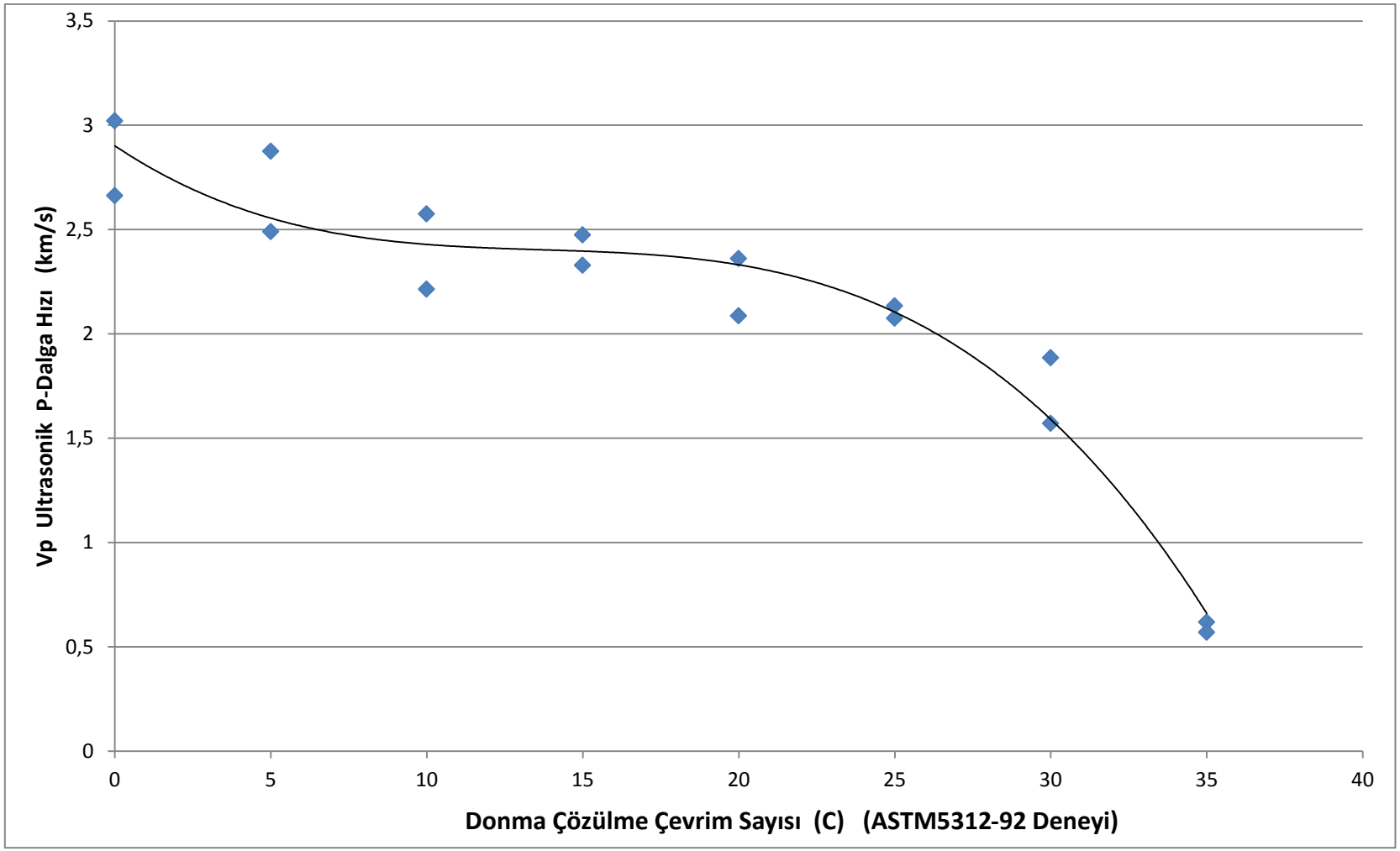
Ek-Tablo 4. Kayseri İncesu tüfü donma çözülme davranışı ASTM 5313-92

	ÖRNEK NO. *Sample No. FTG=freze-thaw GESİ SR=saturation C=cycle*	DENEY ÖNCESi YAŞ Ağırlık (g)	su içeriği *w %*	SUYA DOY GUN LUK % Sr	ÇEVRiM SAYıSı *The Number of Cycle* Donma Çözülme	ÇAP *Diameter* D (mm)	BOY *Length* L (mm)	DENEY ÖNCESi KURU Ağırlık (g)	DENEY ÖNCESi KURU B.H Ağırlığı (gr/cm^3)	DENEY ÖNCESi Doygun B.H Ağırlığı (gr/cm^3)	Özgül *Ağırlık* gr/cm^3	Poro sitesi *n*	Tp (Micro Second) second)	DENEY SONRASI Vp (Km/s)	P Max load kğ	DENEY SONRASI UCS kğ/cm^2	KAYAÇ TANIMI *Rock Description*
1	FTISR70C00-1	499,60	10,19	129	0	49,50	122,00	453,40	1,93	2,13	2,56	0,25	40,4	3,02	8749	454,6	incesuTüfü incesu Tuff
2	FTISR70C00-2	473,70	9,30	119	0	49,50	115,00	433,40	1,96	2,14	2,57	0,24	43,2	2,662	7652	397,6	incesuTüfü incesu Tuff
3	FTISR70C5-1	478,20	10,08	134	5	49,50	116,00	434,40	1,95	2,14	2,55	0,24	46,6	2,489	8772	455,8	incesuTüfü incesu Tuff
4	FTISR70C5-2	478,80	9,17	117	5	49,50	115,00	438,60	1,98	2,16	2,6	0,24	40	2,875	6866	356,8	incesuTüfü incesu Tuff
5	FTISR70C10-1	499,00	9,79	128	10	49,50	121,00	454,50	1,95	2,14	2,56	0,24	47	2,574	8950	465,1	incesuTüfü incesu Tuff
6	FTISR70C10-2	400,50	12,85	124	10	49,50	102,50	354,90	1,8	2,03	2,57	0,3	46,3	2,214	7562	392,9	incesuTüfü incesu Tuff
17	FTISR70C15-1	438,30	10,38	89	15	49,50	115,70	397,10	1,78	1,97	2,56	0,3	49,7	2,328	9304	483,5	incesuTüfü incesu Tuff
8	FTISR70C15-2	481,20	10,54	132	15	49,50	117,00	435,30	1,93	2,14	2,58	0,25	47,3	2,474	8152	423,6	incesuTüfü incesu Tuff
9	FTISR70C20-1	502,40	9,74	127	20	49,50	121,80	457,80	1,95	2,14	2,56	0,24	58,4	2,086	6148	319,5	incesuTüfü incesu Tuff
10	FTISR70C20-2	459,00	10,42	123	20	49,50	113,30	415,70	1,91	2,11	2,57	0,26	48	2,36	7180	373,1	incesuTüfü incesu Tuff
11	FTISR70C25-1	439,30	10,05	82	25	49,50	117,20	399,20	1,77	1,95	2,56	0,31	56,5	2,074	3000	155,9	incesuTüfü incesu Tuff
12	FTISR70C25-2	451,00	8,91	102	25	49,50	111,40	414,10	1,93	2,1	2,57	0,25	52,2	2,134	4894	254,3	incesuTüfü incesu Tuff
13	FTISR70C30-1	443,30	9,65	77	30	49,50	118,50	404,30	1,77	1,94	2,56	0,31	75,5	1,57	2172	112,9	incesuTüfü incesu Tuff
14	FTISR70C30-2	494,30	10,14	118	30	49,50	122,50	448,80	1,9	2,1	2,56	0,26	65	1,885	3226	167,6	incesuTüfü incesu Tuff
15	FTISR70C35-1	448,80	9,65	84	35	49,50	117,50	409,30	1,81	1,98	2,56	0,29	190	0,618	Çatladı	10	incesuTüfü incesu Tuff
16	FTISR70C35-2	466,30	9,90	117	35	49,50	114,70	424,30	1,92	2,11	2,57	0,25	202	0,568	Çatladı	10	incesuTüfü incesu Tuff

Not: 1 çevrim 24 saattir. (Note:1 cycle is 24 hours) (1 çevrim=16 saat -18Derece ve 8 saat +32 Derece)



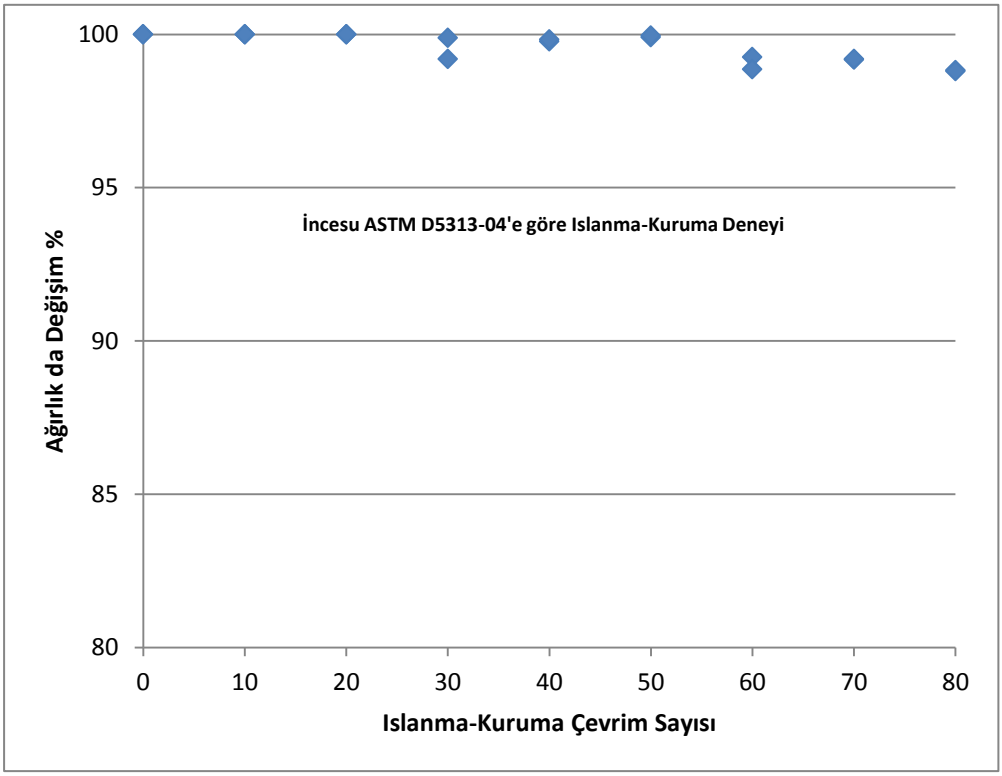
Ek Şekil 1. Kayseri İncesu Tüfleri'nin ASTM5312-92'e göre UCS-Donma Çözülme Periyodu İlişkisi



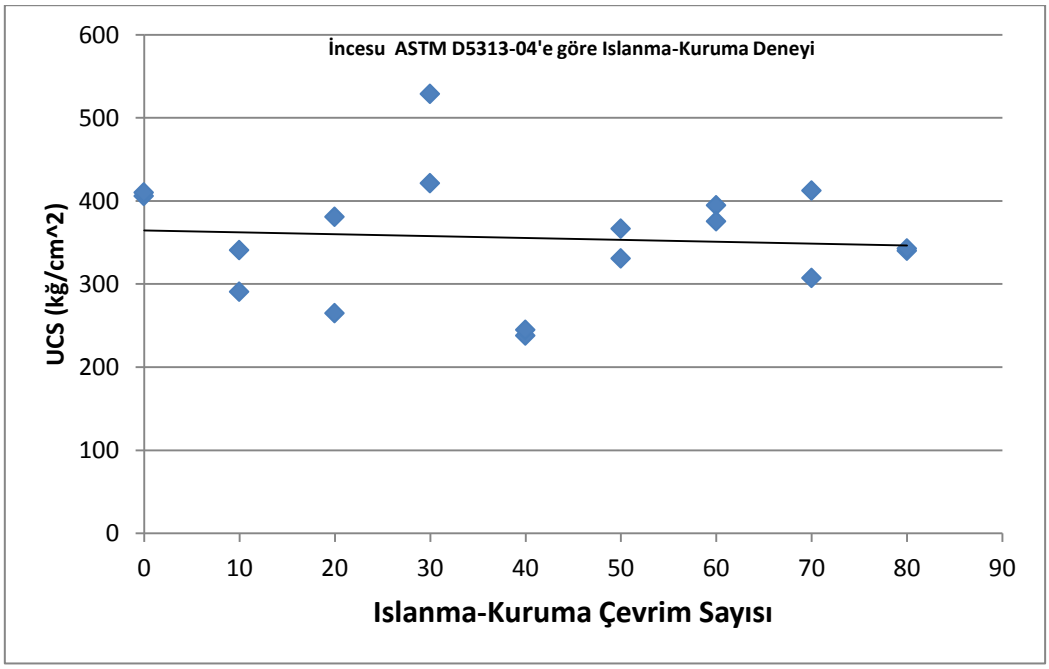
Ek Şekil 2. Kayseri İncesu Tüfleri'nin ASTM5313-92'e göre Vp-Donma Çözülme Periyodu İlişkisi

Ek-Tablo 5. Kayseri İncesu tüfü ASTM D5313-04'göre Islanma-Kuruma deney sonuçları

	Islanma Kuruma Deneyi Wetting-Draying Test ASTM 5313-04										
Örnek No	Örnek Adı	Islanma-Kuruma Çevrim sayısı	Çap D (mm)	Boy L (mm)	Deney öncesi Kuru Ağırlık (gr) A	Deney sonrası Kuru Ağırlık (gr) B	Ağırlık Kaybı % ((A-B)/A)*100	Deney Sonu BHA	Deney Sonu Tek Eksenli Kuvveti (kg)	Deney Sonu Tek Eksenli Basuıncı (kğ/cm2)	Tüfün Tanımı
1	WDIC00-1	0	49,5	116,7	412,3	412,3	100	1,83587116	7812	405,9401	İncesu
2	WDIC00-2	0	49,5	118,4	416,3	416,3	100	1,827066814	7894	410,2011	İncesu
3	WDIC10-1	10	49,5	119,3	434,8	434,8	100	1,893864104	6560	340,8816	İncesu
4	WDIC10-2	10	49,5	118,1	409,6	409,6	100	1,802228159	5598	290,8926	İncesu
5	WDIC20-1	20	49,5	116	430,4	430,4	100	1,928030919	5096	264,8068	İncesu
6	WDIC20-2	20	49,5	114	423,2	423,2	100	1,92903687	7326	380,6858	İncesu
7	WDIC30-1	30	49,5	116,4	420,9	417,5	99,19220718	1,863816792	8110	421,4253	İncesu
8	WDIC30-2	30	49,5	116,2	429,9	429,4	99,88369388	1,920240534	10172	528,5743	İncesu
9	WDIC40-1	40	49,5	114,4	428,5	427,5	99,76662777	1,941823781	4582	238,0975	İncesu
10	WDIC40-2	40	49,5	117	430,2	429,5	99,83728498	1,907554818	4714	244,9567	İncesu
11	WDIC50-1	50	49,5	108,5	412,6	412,2	99,90305381	1,974140099	6366	330,8007	İncesu
12	WDIC50-2	50	49,5	117	437,8	437,6	99,95431704	1,943529658	7054	366,5516	İncesu
13	WDIC60-1	60	49,5	117	429,3	426,1	99,25460051	1,892454267	7598	394,8199	İncesu
14	WDIC60-2	60	49,5	120,3	439,8	434,8	98,8631196	1,87812126	7228	375,5933	İncesu
15	WDIC70-1	70	49,5	111,6	412,1	408,7	99,17495753	1,903006028	7938	412,4875	İncesu
16	WDIC70-2	70	49,5	116,6	425,8	422,4	99,20150305	1,882457066	5912	307,2091	İncesu
17	WDIC80-1	80	49,5	119,1	445,6	440,4	98,83303411	1,921477351	6546	340,1541	İncesu
18	WDIC80-2	80	49,5	117,2	448,2	442,8	98,79518072	1,963268603	6596	342,7523	İncesu



EK Şeki-3. Kayseri İncesu tüfü Islanma-Kuruma sonucu ağırlık kaybı çevrim sayısı ilişkisi



EK Şekil 4. Kayseri İncesu tüfü Islanma-Kuruma sonucu Tek eksenli basınç (UCS)-Çevrim sayısı ilişkisi

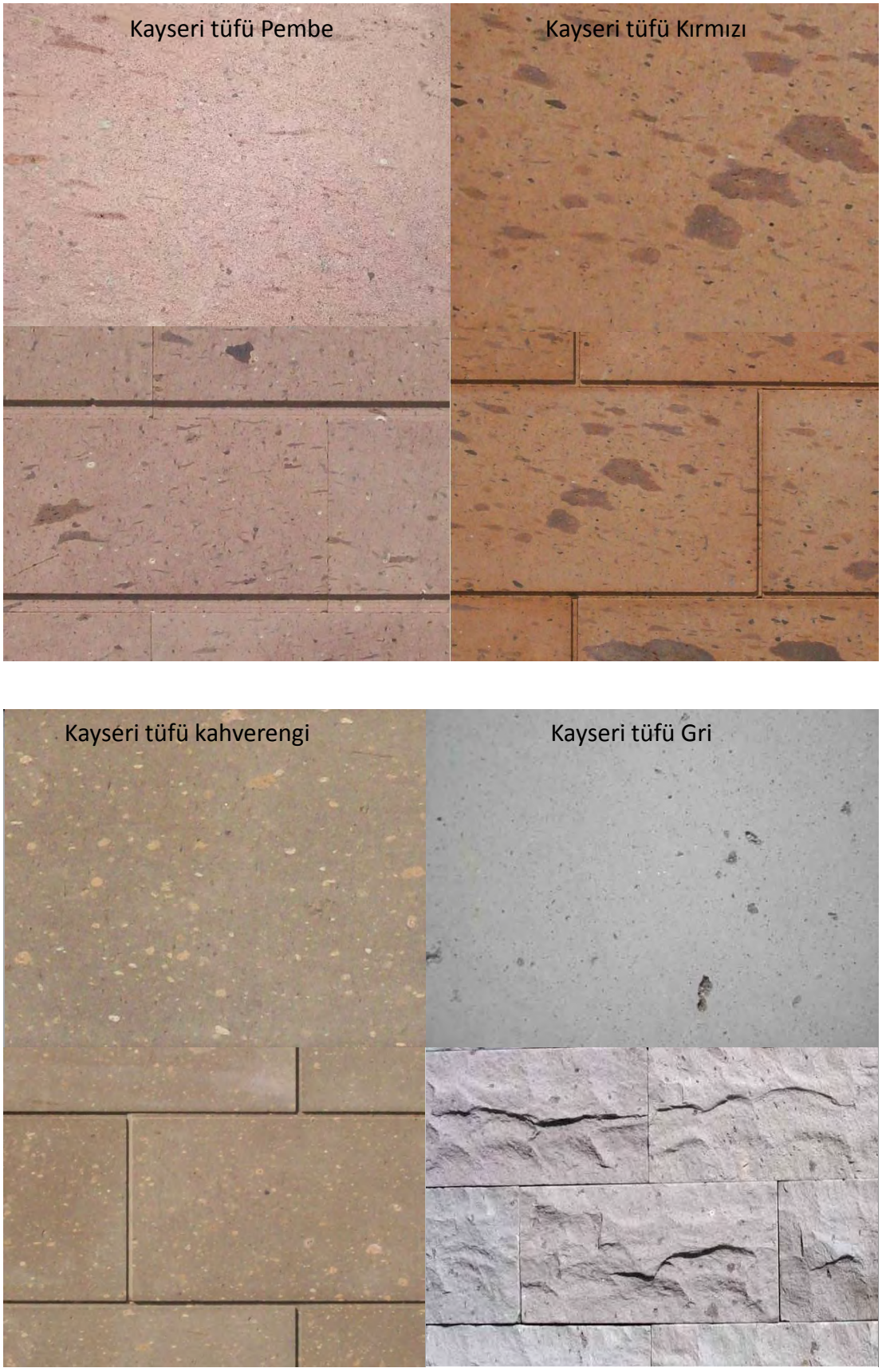
EK-Tablo 6. Kayseri tüflerinin Is_{50e}, $Is_{50c\ ve}$ Brt Ortalama Değerleri

Bölge Adı	Grup adı	Eksenel Nokta Yükleme Dayanımı Is_{50e} (ort)	Test Edilen Örnek Sayısı N	Çapsal Nokta Yükleme Dayanımı Is_{50c}(ort)	Test Edilen Örnek Sayısı N	Brazillian Çekme dayanımı Brt (ort)	Test Edilen Örnek Sayısı N
Agırnas	BB	0,571	11	0,439	16	1,047	13
Gesi	G	1,114	27	1,138	19	2,305	13
incesu	i	2,443	33	1,771	29	4,004	15
Tomarza	K	2,069	15	1,742	13	4,810	11
Gesi	P	0,409	12	0,609	12	1,380	14
Tomarza	S	1,105	10	0,864	13	2,505	15
Tomarza	SB	1,421	13	1,969	14	3,541	13
Talas	T	0,395	23	0,473	14	0,828	13
Tomarza	TB	0,874	39	0,862	18	2,084	18
Tomarza	TK	0,623	16	0,509	12	0,853	13
Tomarza	TP	2,091	12	0,940	12	4,323	12
Tomarza	TS	1,234	16	0,876	16	2,253	15
Tomarza	TV	1,199	14	1,373	13	2,361	14
Gesi	GP	0,473	14	0,423	16	1,245	12
TOPLAM			255		217		191





EK Şekil 5. Çeşitli Kayseri tüfleri (Siyah benekli, Sarı ve Siyah)



EK Şekil 6. Çeşitli Kayseri tüfleri (Pembe, Kırmızı, Kahverengi ve Gri)



EK Şekil 7. Yılanlı dağının uzaktan görünümü



EK Şekil 8. Yılanlı dağı



EK Şekil 9. Yılanlı Dağından Bir Görüntü



EK Şekil 10. Yılanlı Dağı Volkanik Cürufun Yakından Görünümü



EK Şekil 11. İncesu tüfü



EK Şekil 12. Gesi Tüfü



EK Şekil 13. İncesu tüfleri



EK Şekil 14. Tomarza tüfleri



EK Şekil 15. Talas tüfü



EK Şekil 16. Karot alınmış tüf blokları

D =Silindir tüf numunesinin (karot) çapı (mm)
L =Karot uzunluğu (mm)
W =Karot kuru ağırlığı (gr)
t =Karot boyunca bir uctan diğer uca Vp dalga hızının geçme süresi (μs)
P =Karot kırılma yükü (kg)
E =Karot Elastisite Modülü (GPa)
BHA=Karotun birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
n = Karotun Porozite (Birimsiz)
Vp =Karotun sismik P dalga hızı (km/s)
Gs =Karotun Özgül Ağırlığı (Birimsiz)
Is_{50e} =Karotun ortalama eksenel nokta yükleme dayanımı (MPa)
Is_{50c} =Karotun ortalama çapsal nokta yükleme dayanımı (MPa)
Brt =Karotun ortalama Brazillian çekme dayanımı
İ =İncesu Tüfü
G =Gesi Tüfü (Gri)
GP =Gesi Tüfü (Pembe, yumuşak)
T =Talas Tüfü (Gri yumuşak)
SB =Tomarza Tüfü (Kahverengi üzerine siyah benekli)
TS =Tomarza Tüfü (Sarı)
K =Tomarza Tüfü (Kahverengi)
TK =Tomarza Tüfü (Kırmızı)
BB =Ağırnas (Beyaz Benekli, yumuşak)
TV =Tomarza Tüfü (Vişne renkli)
TP =Tomarza Tüfü (Pembe üzeri siyah benekli)
P =Tomarza Tüfü(Pembe)

Ek-Tablo 7 Kayseri tüflerine ait deney sonuçları

	Bölge	Grup	Ornek	D	L	W	t	P	E	UCS	BHA	n	Vp	Gs	Is_{50e}	Brt	Is_{50c}
1	Agirnas	BB	BB01	53,0	118,0	303,0	69.7	1856.00	2.93	8.250	11.410	.538	1.693	2.520	.570	1.0	.44
2	Agirnas	BB	BB02	53,0	134,5	357,3	78.2	2088.00	3.17	9.280	11.810	.522	1.720	2.520	.570	1.0	.44
3	Agirnas	BB	BB03	53,0	105,7	277,7	59.0	2010.00	2.66	8.930	11.680	.527	1.792	2.520	.570	1.0	.44
4	Agirnas	BB	BB04	53,0	124,5	295,6	77.6	1398.00	2.17	6.210	10.550	.573	1.604	2.520	.570	1.0	.44
5	Agirnas	BB	BB05	53,0	128,2	337,7	73.0	2124.00	2.65	9.440	11.710	.526	1.756	2.520	.570	1.0	.44
6	Agirnas	BB	BB06	53,0	115,0	304,8	68.0	1706.00	2.39	7.580	11.780	.523	1.691	2.520	.570	1.0	.44
7	Agirnas	BB	BB08	53,0	109,0	292,8	60.6	2110.00	3.01	9.380	11.940	.517	1.799	2.520	.570	1.0	.44
8	Agirnas	BB	BB09	53,0	119,6	287,7	76.3	1520.00	2.11	6.760	10.690	.567	1.567	2.520	.570	1.0	.44
9	Agirnas	BB	BB10	53,0	124,8	332,6	75.0	1686.00	2.36	7.490	11.850	.521	1.664	2.520	.570	1.0	.44
10	Agirnas	BB	BB11	53,0	125,5	334,1	72.6	1450.00	2.20	6.450	11.830	.521	1.729	2.520	.570	1.0	.44
11	Agirnas	BB	BB12	53,0	130,3	342,0	74.0	1812.00	2.51	8.050	11.670	.528	1.761	2.520	.570	1.0	.44
12	Agirnas	BB	BB13	53,0	99,2	239,7	63.5	1776.00	2.24	7.890	10.740	.565	1.562	2.520	.570	1.0	.44
13	Agirnas	BB	BB14	53,0	98,0	238,0	70.3	1814.00	2.30	8.060	10.800	.563	1.394	2.520	.570	1.0	.44
14	Agirnas	BB	BB15	53,0	125,3	319,1	84.2	1200.00	2.01	5.330	11.320	.542	1.488	2.520	.570	1.0	.44
15	Agirnas	BB	BB16	53,0	137,0	350,9	78.7	1844.00	2.76	8.200	11.390	.539	1.741	2.520	.570	1.0	.44
16	Agirnas	BB	BB17	53,0	115,3	307,0	62.7	1948.00	2.63	8.660	11.840	.521	1.839	2.520	.570	1.0	.44
17	Agirnas	BB	BB18	53,0	134,0	350,0	76.1	1370.00	2.19	6.090	11.610	.530	1.761	2.520	.570	1.0	.44
18	Agirnas	BB	BB19	53,0	118,4	299,5	77.5	1518.00	1.97	6.750	11.240	.545	1.528	2.520	.570	1.0	.44
19	Agirnas	BB	BB21	53,0	108,2	278,2	69.9	1585.00	2.00	7.050	11.430	.538	1.548	2.520	.570	1.0	.44
20	Agirnas	BB	BB22	53,0	116,0	306,1	64.1	2068.00	2.53	9.190	11.730	.525	1.810	2.520	.570	1.0	.44
21	Agirnas	BB	BB23	53,0	119,7	306,0	68.7	1698.00	2.17	7.550	11.360	.540	1.742	2.520	.570	1.0	.44
22	Agirnas	BB	BB24	53,0	121,9	326,2	75.1	1546.00	2.07	6.870	11.890	.519	1.623	2.520	.570	1.0	.44
23	Gesi	G	G-001	53,0	113,0	461,6	44.9	7718.00	8.03	34.310	18.160	.271	2.517	2.540	1.110	2.3	1.14
24	Gesi	G	G-002	53,0	105,0	393,3	44.9	8364.00	8.48	37.180	16.650	.332	2.339	2.540	1.110	2.3	1.14
25	Gesi	G	G-003	53,0	115,0	430,5	56.6	4052.00	6.37	18.010	16.640	.332	2.032	2.540	1.110	2.3	1.14
26	Gesi	G	G-004	53,0	117,4	464,6	50.8	8106.00	7.54	36.030	17.590	.294	2.311	2.540	1.110	2.3	1.14
27	Gesi	G	G-005	49,5	114,2	311,8	61.0	2068.00	4.79	10.540	13.910	.441	1.872	2.540	1.110	2.3	1.14
28	Gesi	G	G-006	53,0	116,5	432,9	63.2	4366.00	5.68	19.410	16.520	.337	1.843	2.540	1.110	2.3	1.14
29	Gesi	G	G-007	49,5	114,8	375,2	56.9	3320.00	6.23	16.920	16.650	.331	2.018	2.540	1.110	2.3	1.14
30	Gesi	G	G-008	49,5	111,5	311,9	58.3	2922.00	4.84	14.890	14.250	.428	1.913	2.540	1.110	2.3	1.14
31	Gesi	G	G-009	49,5	113,0	316,6	58.7	4726.00	6.69	24.080	14.280	.427	1.925	2.540	1.110	2.3	1.14
32	Gesi	G	G-010	53,0	124,6	463,5	58.5	7924.00	7.76	35.220	16.540	.336	2.130	2.540	1.110	2.3	1.14
33	Gesi	G	G-011	53,0	119,4	341,0	79.4	3486.00	4.90	15.500	12.690	.490	1.504	2.540	1.110	2.3	1.14
34	Gesi	G	G-013	53,0	116,5	429,7	70.2	4868.00	5.35	21.640	16.400	.342	1.660	2.540	1.110	2.3	1.14
35	Gesi	G	G-014	49,5	112,1	309,8	61.3	3926.00	5.25	20.010	14.080	.435	1.829	2.540	1.110	2.3	1.14

Ek-Tablo 7 Kayseri tüflerine ait deney sonuçları(Devam)

	Bölge	Grup	Ornek	D	L	W	t	P	E	UCS	BHA	n	Vp	Gs	Is_{50e}	Brt	Is_5
36	Gesi	G	G-015	49,5	113,2	365,3	55.5	3132.00	5.93	15.960	16.440	.340	2.040	2.540	1.110	2.300	1.14
37	Gesi	G	G-016	49,5	110,2	309,1	61.8	3172.00	4.72	16.160	14.290	.426	1.783	2.540	1.110	2.300	1.14
38	Gesi	G	G-017	53,0	111,0	387,6	70.5	3008.00	4.51	13.370	15.520	.377	1.574	2.540	1.110	2.300	1.14
39	Gesi	G	G-018	53,0	110,0	410,3	66.4	3352.00	4.05	14.900	16.580	.334	1.657	2.540	1.110	2.300	1.14
40	Gesi	G	G-019	54,0	113,0	406,4	51.5	7040.00	6.92	30.150	15.400	.382	2.194	2.540	1.110	2.300	1.14
41	Gesi	G	G-020	53,0	115,0	354,1	73.5	3802.00	4.34	16.900	13.690	.451	1.565	2.540	1.110	2.300	1.14
42	Gesi	G	G-021	53,0	116,2	384,3	61.9	3706.00	4.26	16.470	14.700	.410	1.877	2.540	1.110	2.300	1.14
43	Gesi	G	G-022	53,0	117,0	457,5	46.2	7914.00	8.18	35.180	17.380	.302	2.532	2.540	1.110	2.300	1.14
44	Gesi	G	G-023	53,0	123,0	483,8	44.6	8152.00	8.17	36.240	17.480	.298	2.758	2.540	1.110	2.300	1.14
45	Gesi	G	G-024	53,3	115,9	437,4	63.8	3230.00	6.09	14.200	16.590	.334	1.817	2.540	1.110	2.300	1.14
46	Gesi	G	G-025	53,0	116,3	413,3	72.4	2652.00	4.85	11.790	15.800	.366	1.606	2.540	1.110	2.300	1.14
47	Gesi	G	G-026	53,0	114,0	402,5	64.2	3462.00	4.86	15.390	15.690	.370	1.776	2.540	1.110	2.300	1.14
48	Gesi	G	G-027	53,0	117,0	417,9	72.2	4296.00	5.87	19.100	15.880	.363	1.620	2.540	1.110	2.300	1.14
49	Gesi	G	G-028	53,2	118,0	452,7	52.9	6288.00	7.02	27.740	16.930	.321	2.231	2.540	1.110	2.300	1.14
50	Gesi	G	G-029	53,3	115,5	438,5	62.2	3656.00	5.73	16.070	16.690	.330	1.857	2.540	1.110	2.300	1.14
51	Gesi	G	G-030	53,0	120,5	469,7	62.4	3778.00	6.32	16.790	17.330	.304	1.931	2.540	1.110	2.300	1.14
52	Gesi	G	G-031	53,0	116,0	451,5	50.1	6184.00	6.88	27.490	17.300	.305	2.315	2.540	1.110	2.300	1.14
53	Gesi	G	G-032	53,1	116,0	424,8	70.7	4302.00	6.19	19.050	16.220	.349	1.641	2.540	1.110	2.300	1.14
54	Gesi	G	G-033	53,2	113,0	361,0	78.6	4206.00	5.63	18.560	14.090	.434	1.438	2.540	1.110	2.300	1.14
55	Gesi	G	G-034	53,0	122,5	463,2	55.2	3774.00	6.21	16.780	16.810	.325	2.219	2.540	1.110	2.300	1.14
56	Gesi	G	G-035	53,0	112,0	417,5	60.2	3564.00	5.72	15.840	16.570	.335	1.860	2.540	1.110	2.300	1.14
57	Gesi	G	G-036	53,5	119,5	449,9	53.8	4192.00	5.49	18.290	16.420	.341	2.221	2.540	1.110	2.300	1.14
58	Gesi	G	G-037	49,5	121,0	354,4	63.4	3084.00	4.10	15.720	14.930	.401	1.909	2.540	1.110	2.300	1.14
59	Gesi	G	G-038	53,0	114,0	404,2	69.6	2834.00	5.29	12.600	15.760	.367	1.638	2.540	1.110	2.300	1.14
60	Gesi	G	G-039	53,0	115,7	405,2	62.6	3578.00	6.04	15.900	15.570	.375	1.848	2.540	1.110	2.300	1.14
61	Gesi	G	G-040	49,5	112,5	311,7	59.2	2458.00	5.79	12.530	14.120	.433	1.900	2.540	1.110	2.300	1.14
62	Gesi	G	G-041	53,0	114,9	470,5	39.4	8278.00	8.14	36.800	18.200	.269	2.916	2.540	1.110	2.300	1.14
63	Gesi	G	G-042	53,0	114,9	378,0	72.5	3000.00	4.34	13.340	14.620	.413	1.585	2.540	1.110	2.300	1.14
64	Gesi	G	G-043	53,0	111,2	433,6	44.7	8130.00	8.25	36.140	17.330	.304	2.488	2.540	1.110	2.300	1.14
65	Gesi	G	G-044	53,0	114,9	468,8	50.6	7680.00	7.47	34.140	18.140	.272	2.271	2.540	1.110	2.300	1.14
66	Gesi	G	G-045	53,0	114,0	439,6	52.0	5270.00	6.49	23.430	17.140	.312	2.192	2.540	1.110	2.300	1.14
67	Gesi	G	G-046	53,0	112,0	368,4	67.8	3036.00	4.16	13.500	14.620	.413	1.652	2.540	1.110	2.300	1.14
68	Gesi	G	G-047	49,5	111,4	310,4	60.1	2478.00	4.75	12.630	14.200	.430	1.854	2.540	1.110	2.300	1.14
69	Gesi	G	G-048	53,0	114,9	439,0	57.5	6058.00	6.50	26.930	16.980	.318	1.998	2.540	1.110	2.300	1.14
70	Gesi	G	G-049	53,0	116,3	456,9	50.6	7542.00	8.16	33.520	17.460	.299	2.298	2.540	1.110	2.300	1.14
71	Gesi	G	G-050	53,0	112,0	364,9	71.0	3786.00	4.30	16.830	14.480	.419	1.577	2.540	1.110	2.300	1.14
72	Gesi	G	G-051	53,0	112,0	360,5	67.9	3656.00	4.38	16.250	14.310	.426	1.649	2.540	1.110	2.300	1.14
73	Gesi	G	G-052	49,5	113,9	316,5	59.8	3698.00	5.53	18.840	14.160	.432	1.905	2.540	1.110	2.300	1.14
74	Gesi	G	G-053	49,5	114,9	347,5	63.3	3460.00	6.79	17.630	15.410	.381	1.815	2.540	1.110	2.300	1.14
75	Gesi	G	G-054	49,8	110,5	356,4	55.6	5564.00	6.66	28.010	16.240	.348	1.987	2.540	1.110	2.300	1.14
76	Gesi	G	G-055	53,0	112,0	362,9	70.2	3100.00	6.05	13.780	14.400	.422	1.595	2.540	1.110	2.300	1.14
77	Gesi	G	G-056	53,0	112,1	405,7	51.6	7032.00	7.81	31.260	16.090	.354	2.172	2.540	1.110	2.300	1.14
78	Gesi	G	G-057	50,0	119,0	346,8	65.0	4130.00	6.19	20.630	14.560	.416	1.831	2.540	1.110	2.300	1.14
79	Gesi	G	G-058	49,5	116,0	373,5	58.3	5174.00	6.79	26.370	16.410	.341	1.990	2.540	1.110	2.300	1.14
80	Gesi	G	G-059	49,5	110,8	358,6	55.2	4922.00	6.96	25.080	16.490	.338	2.007	2.540	1.110	2.300	1.14
81	Gesi	G	G-060	53,0	116,0	407,9	56.3	7074.00	6.94	31.440	15.630	.372	2.060	2.540	1.110	2.300	1.14
82	Gesi	G	G-061	53,0	120,3	433,0	65.1	3752.00	6.19	16.680	16.000	.358	1.848	2.540	1.110	2.300	1.14
83	Gesi	G	G-062	53,0	117,5	464,5	55.6	6044.00	7.41	26.870	17.570	.295	2.113	2.540	1.110	2.300	1.14
84	Gesi	G	G-063	53,0	111,6	412,6	63.5	3990.00	5.44	17.740	16.430	.340	1.757	2.540	1.110	2.300	1.14
85	Gesi	G	G-064	53,0	110,4	407,3	69.5	2648.00	4.65	11.770	16.400	.342	1.588	2.540	1.110	2.300	1.14
86	Gesi	G	G-065	53,0	119,4	445,0	64.3	4596.00	5.25	20.430	16.570	.335	1.857	2.540	1.110	2.300	1.14
87	Gesi	G	G-066	49,5	116,0	341,3	60.5	1998.00	4.34	10.180	14.990	.398	1.917	2.540	1.110	2.300	1.14
88	Gesi	G	G-067	49,5	109,4	344,1	51.5	6614.00	7.68	33.700	16.030	.357	2.124	2.540	1.110	2.300	1.14
89	Gesi	G	G-068	49,5	110,0	305,3	58.6	2590.00	5.56	13.200	14.140	.432	1.877	2.540	1.110	2.300	1.14
90	Gesi	G	G-069	49,5	110,0	305,1	60.4	2674.00	4.62	13.630	14.130	.433	1.821	2.540	1.110	2.300	1.14
91	Gesi	G	G-070	53,0	110,5	447,3	53.7	6914.00	6.71	30.730	17.990	.278	2.058	2.540	1.110	2.300	1.14
92	Gesi	G	G-071	53,0	119,0	472,2	50.3	8422.00	8.06	37.440	17.640	.292	2.366	2.540	1.110	2.300	1.14
93	Gesi	G	G-072	49,5	114,8	308,7	64.1	2904.00	4.87	14.800	13.700	.450	1.791	2.540	1.110	2.300	1.14
94	Gesi	G	G-073	49,5	119,0	349,1	52.3	3544.00	6.39	18.060	14.950	.400	2.275	2.540	1.110	2.300	1.14
95	Gesi	G	G-074	49,5	103,3	335,4	43.2	7458.00	8.15	38.010	16.550	.336	2.391	2.540	1.110	2.300	1.14
96	Gesi	G	G-076	49,5	114,9	316,3	61.2	2172.00	4.39	11.070	14.030	.437	1.877	2.540	1.110	2.300	1.14
97	Gesi	G	G-077	49,5	116,0	324,3	62.2	2782.00	4.42	14.180	14.250	.428	1.865	2.540	1.110	2.300	1.14
98	Gesi	G	G-078	49,5	113,0	315,9	61.9	3386.00	4.26	17.250	14.250	.428	1.826	2.540	1.110	2.300	1.14
99	Gesi	G	G-079	53,0	119,8	461,7	53.7	6566.00	6.96	29.190	17.130	.312	2.231	2.540	1.110	2.300	1.14
100	Gesi	G	G-080	53,0	113,8	377,8	54.6	4262.00	4.99	18.950	14.760	.408	2.084	2.540	1.110	2.300	1.14
101	Gesi	G	G-081	53,0	116,0	450,1	55.7	4798.00	6.89	21.330	17.250	.308	2.083	2.540	1.110	2.300	1.14
102	Gesi	G	G-082	53,0	121,4	437,0	65.3	2914.00	4.32	12.950	16.000	.358	1.859	2.540	1.110	2.300	1.14
103	Gesi	G	G-083	53,0	113,0	438,3	53.0	5250.00	6.55	23.340	17.240	.308	2.132	2.540	1.110	2.300	1.14
104	Gesi	G	G-084	53,0	120,0	454,9	55.8	4612.00	7.18	20.500	16.850	.324	2.151	2.540	1.110	2.300	1.14
105	Gesi	G	G-086	49,5	115,0	351,2	63.4	2718.00	4.59	13.850	15.560	.375	1.814	2.540	1.110	2.300	1.14
106	Gesi	G	G-087	49,5	113,0	312,0	62.5	2964.00	4.60	15.100	14.070	.435	1.808	2.540	1.110	2.300	1.14
107	Gesi	G	G-088	49,5	122,0	358,9	65.0	2840.00	4.12	14.470	14.990	.398	1.877	2.540	1.110	2.300	1.14
108	Gesi	G	G-089	53,0	116,0	420,6	62.5	2214.00	4.41	9.840	16.120	.353	1.856	2.540	1.110	2.300	1.14
109	Gesi	G	G-090	53,0	113,1	365,0	77.6	2950.00	4.40	13.110	14.350	.424	1.457	2.540	1.110	2.300	1.14
110	Gesi	G	G-091	53,0	113,1	424,1	59.2	3850.00	5.48	17.110	16.670	.331	1.910	2.540	1.110	2.300	1.14
111	Gesi	G	G-092	53,0	114,2	404,3	64.8	2698.00	4.72	11.990	15.740	.368	1.762	2.540	1.110	2.300	1.14
112	Gesi	G	G-093	49,5	111,2	307,4	55.5	2862.00	4.30	14.580	14.090	.434	2.004	2.540	1.110	2.300	1.14
113	Gesi	G	G-094	53,0	113,0	410,4	69.2	4358.00	5.03	19.370	16.140	.352	1.633	2.540	1.110	2.300	1.14

Ek-Tablo 7 Kayseri tüflerine ait deney sonuçları(Devam)

	Bölge	Grup	Ornek	D	L	W	t	P	E	UCS	BHA	n	Vp	Gs	Is_{50e}	Brt	Is_5
114	Gesi	G	G-095	49,5	120,0	393,3	58.4	5828.00	6.59	29.700	16.700	.329	2.055	2.540	1.110	2.300	1.14
115	Gesi	G	G-096	53,0	112,6	396,9	70.1	2542.00	5.89	11.300	15.670	.371	1.606	2.540	1.110	2.300	1.14
116	Gesi	G	G-097	53,0	114,9	396,0	61.6	4170.00	6.77	18.540	15.320	.385	1.865	2.540	1.110	2.300	1.14
117	Gesi	G	G-098	53,0	117,0	418,5	52.3	3724.00	5.43	16.550	15.900	.362	2.237	2.540	1.110	2.300	1.14
118	Gesi	G	G-099	49,5	114,9	314,3	62.2	4406.00	5.85	22.450	13.940	.440	1.847	2.540	1.110	2.300	1.14
119	Gesi	G	G-100	49,5	111,5	354,1	55.2	2248.00	5.10	11.460	16.180	.350	2.020	2.540	1.110	2.300	1.14
120	Gesi	G	G-101	53,0	114,5	441,3	59.1	3124.00	6.26	13.890	17.130	.312	1.937	2.540	1.110	2.300	1.14
121	Gesi	G	G-102	53,0	114,9	466,4	50.8	7652.00	8.45	34.010	18.040	.276	2.262	2.540	1.110	2.300	1.14
122	Gesi	G	G-103	53,0	116,0	450,4	50.7	8028.00	8.29	35.690	17.260	.307	2.288	2.540	1.110	2.300	1.14
123	Gesi	G	G-104	53,0	112,0	392,5	63.3	3320.00	4.80	14.760	15.580	.375	1.769	2.540	1.110	2.300	1.14
124	Gesi	G	G-105	53,0	117,0	450,3	56.6	5306.00	6.48	23.590	17.110	.313	2.067	2.540	1.110	2.300	1.14
125	Gesi	G	G-106	53,0	114,0	443,2	49.3	4094.00	5.81	18.200	17.280	.306	2.312	2.540	1.110	2.300	1.14
126	Gesi	G	G-107	53,0	112,0	397,9	62.9	2546.00	5.25	11.320	15.790	.366	1.781	2.540	1.110	2.300	1.14
127	Gesi	G	G-108	53,0	114,9	352,8	73.9	3234.00	5.12	14.380	13.650	.452	1.555	2.540	1.110	2.300	1.14
128	Gesi	G	G-109	53,0	116,0	364,8	60.3	4128.00	5.53	18.350	13.980	.439	1.924	2.540	1.110	2.300	1.14
129	Gesi	G	G-110	49,5	117,5	404,0	56.6	5354.00	7.14	27.280	17.520	.297	2.076	2.540	1.110	2.300	1.14
130	Gesi	G	G-111	53,0	114,9	346,1	65.2	2798.00	4.00	12.440	13.390	.462	1.762	2.540	1.110	2.300	1.14
131	Gesi	G	G-112	49,5	113,0	301,2	55.5	2740.00	4.50	13.960	13.580	.455	2.036	2.540	1.110	2.300	1.14
132	Gesi	G	G-113	49,5	101,1	359,8	45.1	6796.00	8.35	34.630	18.140	.272	2.242	2.540	1.110	2.300	1.14
133	Gesi	G	G-114	49,5	112,0	308,3	60.7	2684.00	4.59	13.680	14.030	.437	1.845	2.540	1.110	2.300	1.14
134	Gesi	G	G-115	53,0	114,0	405,6	65.8	4936.00	5.61	21.940	15.820	.365	1.733	2.540	1.110	2.300	1.14
135	Gesi	G	G-116	53,0	120,1	477,7	54.8	7354.00	8.22	32.690	17.680	.290	2.192	2.540	1.110	2.300	1.14
136	Gesi	G	G-117	53,0	116,3	468,9	51.4	7134.00	8.27	31.710	17.920	.281	2.263	2.540	1.110	2.300	1.14
137	Gesi	G	G-118	53,0	124,0	487,9	61.8	3968.00	5.43	17.640	17.490	.298	2.006	2.540	1.110	2.300	1.14
138	Gesi	G	G-130	53,0	114,9	364,4	77.5	2710.00	5.60	12.050	14.100	.434	1.483	2.540	1.110	2.300	1.14
139	Gesi	G	G-201	53,0	113,6	405,3	59.6	3238.00	5.62	14.390	15.860	.363	1.906	2.540	1.110	2.300	1.14
140	Gesi	G	G-202	53,0	112,8	394,7	63.1	2486.00	5.19	11.050	15.550	.376	1.788	2.540	1.110	2.300	1.14
141	Gesi	G	G-203	53,0	116,4	391,5	61.4	2646.00	4.15	11.760	14.950	.400	1.896	2.540	1.110	2.300	1.14
142	Gesi	G	G-204	53,0	120,3	379,4	69.8	3496.00	4.77	15.540	14.020	.437	1.723	2.540	1.110	2.300	1.14
143	Gesi	G	G-205	53,0	118,4	425,7	71.7	3118.00	5.61	13.860	15.980	.358	1.651	2.540	1.110	2.300	1.14
144	Gesi	G	G-206	53,0	114,8	435,2	58.1	3078.00	5.68	13.680	16.850	.323	1.976	2.540	1.110	2.300	1.14
145	Gesi	G	G-208	53,0	115,6	456,9	56.4	5856.00	7.13	26.030	17.570	.295	2.050	2.540	1.110	2.300	1.14
146	Gesi	G	G-210	53,0	115,8	396,8	62.1	3398.00	4.28	15.100	15.230	.389	1.865	2.540	1.110	2.300	1.14
147	ncesu	i	i-001	53,0	118,0	475,3	39.1	8392.00	9.74	37.300	17.900	.287	3.018	2.560	2.440	4.000	1.77
148	ncesu	i	i-002	49,0	113,0	406,8	42.3	5870.00	9.50	30.530	18.720	.254	2.671	2.560	2.440	4.000	1.77
149	ncesu	i	i-003	49,5	113,5	419,7	42.4	5860.00	8.77	29.860	18.840	.249	2.677	2.560	2.440	4.000	1.77
150	ncesu	i	i-004	49,0	121,5	445,4	48.9	8134.00	9.78	42.300	19.060	.241	2.485	2.560	2.440	4.000	1.77
151	ncesu	i	i-005	49,5	117,0	420,3	44.5	6258.00	8.90	31.890	18.310	.271	2.629	2.560	2.440	4.000	1.77
152	ncesu	i	i-006	49,5	110,9	367,4	46.8	5788.00	8.65	29.500	16.880	.328	2.370	2.560	2.440	4.000	1.77
153	ncesu	i	i-007	49,5	112,2	408,8	42.2	7032.00	10.16	35.830	18.570	.260	2.659	2.560	2.440	4.000	1.77
154	ncesu	i	i-008	49,5	116,0	420,4	46.9	4874.00	8.41	24.840	18.470	.264	2.473	2.560	2.440	4.000	1.77
155	ncesu	i	i-009	49,5	114,0	423,1	42.2	7988.00	10.20	40.710	18.910	.247	2.701	2.560	2.440	4.000	1.77
156	ncesu	i	i-010	49,5	118,0	407,6	40.3	8944.00	10.88	45.580	17.600	.299	2.928	2.560	2.440	4.000	1.77
157	ncesu	i	i-011	49,5	117,9	399,8	51.7	4192.00	8.05	21.360	17.280	.312	2.280	2.560	2.440	4.000	1.77
158	ncesu	i	i-012	49,5	114,0	418,8	40.0	7974.00	10.23	40.630	18.720	.254	2.850	2.560	2.440	4.000	1.77
159	ncesu	i	i-013	49,0	112,2	416,6	39.6	8760.00	11.10	45.560	19.310	.231	2.833	2.560	2.440	4.000	1.77
160	ncesu	i	i-014	49,5	111,0	405,0	42.2	5432.00	8.41	27.680	18.590	.259	2.630	2.560	2.440	4.000	1.77
161	ncesu	i	i-015	49,5	118,0	406,0	41.3	7200.00	9.64	36.690	17.530	.302	2.857	2.560	2.440	4.000	1.77
162	ncesu	i	i-016	49,5	115,5	431,5	41.2	8990.00	10.78	45.810	19.040	.242	2.803	2.560	2.440	4.000	1.77
163	ncesu	i	i-017	49,5	116,0	377,5	53.0	4186.00	8.09	21.330	16.580	.339	2.189	2.560	2.440	4.000	1.77
164	ncesu	i	i-018	49,5	117,0	435,0	42.8	6782.00	10.06	34.560	18.950	.245	2.734	2.560	2.440	4.000	1.77
165	ncesu	i	i-019	49,5	118,7	442,1	43.4	9428.00	10.47	48.040	18.980	.244	2.735	2.560	2.440	4.000	1.77
166	ncesu	i	i-020	49,0	111,0	374,7	45.0	4698.00	8.74	24.430	17.560	.301	2.467	2.560	2.440	4.000	1.77
167	ncesu	i	i-021	49,0	115,0	386,3	46.8	5508.00	7.87	28.640	17.470	.304	2.457	2.560	2.440	4.000	1.77
168	ncesu	i	i-022	50,0	117,0	436,5	44.8	5108.00	8.84	25.510	18.630	.258	2.612	2.560	2.440	4.000	1.77
169	ncesu	i	i-023	49,5	118,3	432,0	42.5	10804.00	11.46	55.060	18.610	.259	2.784	2.560	2.440	4.000	1.77
170	ncesu	i	i-024	49,5	114,0	428,0	38.5	9846.00	11.58	50.170	19.130	.238	2.961	2.560	2.440	4.000	1.77
171	ncesu	i	i-025	49,5	116,0	428,9	41.8	7072.00	8.99	36.040	18.840	.249	2.775	2.560	2.440	4.000	1.77
172	ncesu	i	i-026	49,5	116,7	438,6	38.7	5580.00	8.58	28.440	19.150	.237	3.016	2.560	2.440	4.000	1.77
173	ncesu	i	i-027	49,5	116,0	425,4	43.6	5766.00	8.20	29.380	18.690	.256	2.661	2.560	2.440	4.000	1.77
174	ncesu	i	i-028	49,5	116,0	407,0	53.0	4100.00	8.40	20.890	17.880	.288	2.189	2.560	2.440	4.000	1.77
175	ncesu	i	i-029	49,0	115,0	387,5	45.8	6476.00	8.68	33.680	17.520	.302	2.511	2.560	2.440	4.000	1.77
176	ncesu	i	i-030	49,0	116,0	381,4	51.4	4936.00	8.07	25.670	17.100	.319	2.257	2.560	2.440	4.000	1.77
177	ncesu	i	i-031	49,0	112,0	395,8	42.5	6148.00	9.01	31.970	18.380	.268	2.635	2.560	2.440	4.000	1.77
178	ncesu	i	i-032	49,0	121,0	420,7	47.2	5304.00	8.99	27.580	18.080	.280	2.564	2.560	2.440	4.000	1.77
179	ncesu	i	i-033	49,5	115,0	410,2	45.1	4100.00	7.83	20.890	18.180	.276	2.550	2.560	2.440	4.000	1.77
180	ncesu	i	i-034	49,5	113,2	407,5	42.7	7254.00	8.83	36.970	18.340	.269	2.651	2.560	2.440	4.000	1.77
181	ncesu	i	i-035	49,0	117,5	432,8	42.6	7040.00	9.24	36.610	19.160	.237	2.758	2.560	2.440	4.000	1.77
182	ncesu	i	i-036	49,5	118,0	441,0	42.8	7988.00	9.73	40.710	19.040	.241	2.757	2.560	2.440	4.000	1.77
183	ncesu	i	i-037	49,5	122,0	388,0	57.7	4042.00	7.98	20.600	16.210	.354	2.114	2.560	2.440	4.000	1.77
184	ncesu	i	i-038	49,5	114,5	431,3	39.6	6804.00	8.51	34.670	19.200	.235	2.891	2.560	2.440	4.000	1.77
185	ncesu	i	i-039	49,5	116,0	406,2	41.6	5240.00	7.91	26.700	17.840	.289	2.788	2.560	2.440	4.000	1.77
186	ncesu	i	i-040	49,5	112,0	417,5	40.6	6230.00	9.76	31.750	19.000	.243	2.759	2.560	2.440	4.000	1.77
187	ncesu	i	i-041	49,5	115,0	435,7	36.3	8262.00	10.39	42.100	19.310	.231	3.168	2.560	2.440	4.000	1.77
188	ncesu	i	i-042	49,5	112,0	361,8	47.3	4616.00	8.42	23.520	16.460	.344	2.368	2.560	2.440	4.000	1.77
189	ncesu	i	i-043	49,5	113,5	360,5	52.3	4182.00	8.45	21.310	16.190	.355	2.170	2.560	2.440	4.000	1.77
190	ncesu	i	i-044	49,5	113,3	373,7	49.5	3864.00	8.04	19.690	16.810	.330	2.289	2.560	2.440	4.000	1.77
191	ncesu	i	i-045	49,5	117,0	424,2	46.0	5514.00	8.63	28.100	18.480	.264	2.543	2.560	2.440	4.000	1.77

Ek-Tablo 7 Kayseri tüflerine ait deney sonuçları(Devam)

	Bölge	Grup	Ornek	D	L	W	t	P	E	UCS	BHA	n	Vp	Gs	Is_{50e}	Brt	Is_5
192	ncesu	i	i-046	49,5	121,2	392,3	54.5	4292.00	8.02	21.870	16.490	.343	2.224	2.560	2.440	4.000	1.77
193	ncesu	i	i-047	49,5	118,0	445,7	42.5	7778.00	10.74	39.640	19.250	.233	2.776	2.560	2.440	4.000	1.77
194	ncesu	i	i-048	49,5	112,0	422,1	41.1	8188.00	10.34	41.730	19.210	.235	2.725	2.560	2.440	4.000	1.77
195	ncesu	i	i-049	49,0	119,0	442,3	42.6	7214.00	10.23	37.520	19.330	.230	2.793	2.560	2.440	4.000	1.77
196	ncesu	i	i-050	49,5	115,0	420,1	44.0	5400.00	8.17	27.520	18.620	.258	2.614	2.560	2.440	4.000	1.77
197	ncesu	i	i-051	49,5	115,0	427,4	39.8	5480.00	8.85	27.930	18.940	.246	2.889	2.560	2.440	4.000	1.77
198	ncesu	i	i-052	49,5	118,3	438,7	38.4	8956.00	11.26	45.640	18.900	.247	3.081	2.560	2.440	4.000	1.77
199	ncesu	i	i-053	49,5	117,4	435,5	44.0	7018.00	10.63	35.760	18.900	.247	2.668	2.560	2.440	4.000	1.77
200	ncesu	i	i-054	49,5	118,5	446,1	42.7	9616.00	11.18	49.000	19.180	.236	2.775	2.560	2.440	4.000	1.77
201	ncesu	i	i-055	49,5	119,0	440,3	42.9	6504.00	9.99	33.140	18.850	.249	2.774	2.560	2.440	4.000	1.77
202	ncesu	i	i-056	49,5	119,0	447,0	43.2	6388.00	9.52	32.550	19.140	.238	2.755	2.560	2.440	4.000	1.77
203	ncesu	i	i-057	49,5	114,5	380,5	44.3	4226.00	8.49	21.540	16.930	.325	2.585	2.560	2.440	4.000	1.77
204	ncesu	i	i-058	49,5	117,0	443,7	40.7	10488.00	11.19	53.450	19.330	.230	2.875	2.560	2.440	4.000	1.77
205	ncesu	i	i-059	49,5	124,0	445,7	41.8	6456.00	8.50	32.900	18.320	.270	2.967	2.560	2.440	4.000	1.77
206	ncesu	i	i-060	49,5	116,3	433,3	41.7	6880.00	10.32	35.060	18.990	.244	2.789	2.560	2.440	4.000	1.77
207	ncesu	i	i-061	49,5	118,5	451,0	37.6	10898.00	11.23	55.540	19.390	.227	3.152	2.560	2.440	4.000	1.77
208	ncesu	i	i-062	49,5	114,2	399,8	41.5	8828.00	10.80	44.990	17.840	.289	2.752	2.560	2.440	4.000	1.77
209	ncesu	i	i-063	49,5	116,0	442,3	40.1	9588.00	10.85	48.860	19.430	.226	2.893	2.560	2.440	4.000	1.77
210	ncesu	i	i-064	49,5	117,0	436,2	42.7	6380.00	8.62	32.510	19.000	.243	2.740	2.560	2.440	4.000	1.77
211	ncesu	i	i-065	49,5	117,4	449,5	39.1	10690.00	11.41	54.480	19.510	.223	3.003	2.560	2.440	4.000	1.77
212	ncesu	i	i-066	49,5	108,2	390,3	41.5	8182.00	10.05	41.690	18.380	.268	2.607	2.560	2.440	4.000	1.77
213	ncesu	i	i-067	49,5	117,7	434,9	39.5	8182.00	9.74	41.690	18.830	.250	2.980	2.560	2.440	4.000	1.77
214	ncesu	i	i-068	49,5	113,0	409,1	38.9	6552.00	9.44	33.390	18.450	.265	2.905	2.560	2.440	4.000	1.77
215	ncesu	i	i-069	49,5	116,2	442,1	38.3	5850.00	8.80	29.810	19.390	.228	3.034	2.560	2.440	4.000	1.77
216	ncesu	i	i-070	53,0	115,3	423,5	46.5	5748.00	7.93	25.550	16.330	.350	2.480	2.560	2.440	4.000	1.77
217	ncesu	i	i-072	49,5	111,0	355,3	51.3	4689.00	7.82	23.890	16.310	.350	2.164	2.560	2.440	4.000	1.77
218	ncesu	i	i-073	49,5	113,5	371,9	50.1	4278.00	8.09	21.800	16.700	.335	2.265	2.560	2.440	4.000	1.77
219	ncesu	i	i-074	49,5	117,0	432,2	42.4	8864.00	10.88	45.170	18.820	.250	2.759	2.560	2.440	4.000	1.77
220	ncesu	i	i-075	49,5	112,4	421,6	40.4	10264.00	11.63	52.300	19.110	.239	2.782	2.560	2.440	4.000	1.77
221	ncesu	i	i-076	49,5	117,0	393,0	46.8	5696.00	8.88	29.030	17.120	.318	2.500	2.560	2.440	4.000	1.77
222	ncesu	i	i-077	49,5	115,2	430,6	36.6	9478.00	11.43	48.300	19.050	.241	3.148	2.560	2.440	4.000	1.77
223	ncesu	i	i-078	49,5	112,0	362,5	45.7	6734.00	8.74	34.320	16.490	.343	2.451	2.560	2.440	4.000	1.77
224	ncesu	i	i-079	49,5	106,5	388,6	40.2	5692.00	8.71	29.010	18.590	.259	2.649	2.560	2.440	4.000	1.77
225	ncesu	i	i-080	49,5	115,0	377,6	55.5	4083.00	7.94	20.810	16.730	.334	2.072	2.560	2.440	4.000	1.77
226	ncesu	i	i-082	49,5	114,0	432,9	38.7	8972.00	11.02	45.720	19.350	.229	2.946	2.560	2.440	4.000	1.77
227	ncesu	i	i-083	49,5	117,2	386,8	52.8	5472.00	8.39	27.880	16.820	.330	2.220	2.560	2.440	4.000	1.77
228	ncesu	i	i-084	49,5	115,5	423,8	36.8	8624.00	9.88	43.950	18.700	.255	3.139	2.560	2.440	4.000	1.77
229	ncesu	i	i-085	49,5	118,5	388,3	45.4	6586.00	8.50	33.560	16.700	.335	2.610	2.560	2.440	4.000	1.77
230	ncesu	i	i-086	49,5	117,0	379,8	45.7	5088.00	8.90	25.930	16.540	.341	2.560	2.560	2.440	4.000	1.77
231	ncesu	i	i-087	49,5	115,0	370,7	45.6	5174.00	8.31	26.370	16.430	.346	2.522	2.560	2.440	4.000	1.77
232	ncesu	i	i-089	49,5	116,4	416,3	37.9	9958.00	10.76	50.750	18.230	.274	3.071	2.560	2.440	4.000	1.77
233	ncesu	i	i-090	49,5	115,5	422,4	38.8	7402.00	10.45	37.720	18.640	.258	2.977	2.560	2.440	4.000	1.77
234	ncesu	i	i-091	49,5	117,0	427,0	42.7	6394.00	10.13	32.580	18.600	.259	2.740	2.560	2.440	4.000	1.77
235	ncesu	i	i-093	49,5	114,0	375,5	50.8	5564.00	9.39	28.350	16.790	.331	2.244	2.560	2.440	4.000	1.77
236	ncesu	i	i-094	49,5	118,0	431,5	38.5	8530.00	9.89	43.470	18.630	.258	3.065	2.560	2.440	4.000	1.77
237	ncesu	i	i-095	49,5	115,0	428,2	37.2	6970.00	10.35	35.520	18.970	.244	3.091	2.560	2.440	4.000	1.77
238	ncesu	i	i-096	49,5	115,0	367,5	45.0	5106.00	7.92	26.020	16.280	.351	2.556	2.560	2.440	4.000	1.77
239	ncesu	i	i-097	49,5	113,0	413,1	42.1	6596.00	10.14	33.610	18.630	.258	2.684	2.560	2.440	4.000	1.77
240	ncesu	i	i-098	49,5	116,5	360,2	56.6	4800.00	8.14	24.460	15.760	.372	2.058	2.560	2.440	4.000	1.77
241	ncesu	i	i-099	49,5	115,3	370,2	53.6	5174.00	8.24	26.370	16.360	.348	2.151	2.560	2.440	4.000	1.77
242	ncesu	i	i-100	49,5	110,1	373,7	46.9	3808.00	8.41	19.410	17.300	.311	2.348	2.560	2.440	4.000	1.77
243	ncesu	i	i-101	49,5	121,0	394,8	56.1	4386.00	8.40	22.350	16.630	.338	2.157	2.560	2.440	4.000	1.77
244	ncesu	i	i-102	49,5	116,0	380,2	51.7	4644.00	8.17	23.670	16.700	.335	2.244	2.560	2.440	4.000	1.77
245	ncesu	i	i-103	49,5	115,2	429,0	38.3	9262.00	10.60	47.200	18.980	.244	3.008	2.560	2.440	4.000	1.77
246	ncesu	i	i-104	49,5	112,0	407,6	38.7	5446.00	8.12	27.750	18.550	.261	2.894	2.560	2.440	4.000	1.77
247	ncesu	i	i-106	49,5	118,2	394,7	47.0	5380.00	8.25	27.420	17.020	.322	2.515	2.560	2.440	4.000	1.77
248	ncesu	i	i-107	49,5	117,0	396,8	47.4	5368.00	8.50	27.350	17.280	.312	2.468	2.560	2.440	4.000	1.77
249	ncesu	i	i-108	49,5	117,1	397,8	46.4	6358.00	8.73	32.400	17.310	.310	2.524	2.560	2.440	4.000	1.77
250	ncesu	i	i-109	49,5	115,0	353,6	46.0	4750.00	8.71	24.210	15.670	.376	2.500	2.560	2.440	4.000	1.77
251	ncesu	i	i-110	49,5	115,5	386,6	49.6	4678.00	8.05	23.840	17.060	.321	2.329	2.560	2.440	4.000	1.77
252	ncesu	i	i-111	49,5	116,5	436,3	43.1	8552.00	10.44	43.580	19.080	.240	2.703	2.560	2.440	4.000	1.77
253	ncesu	i	i-112	49,5	109,0	366,1	44.7	4283.00	7.98	21.830	17.120	.318	2.438	2.560	2.440	4.000	1.77
254	ncesu	i	i-113	49,5	116,0	379,2	54.2	4904.00	7.99	24.990	16.660	.336	2.140	2.560	2.440	4.000	1.77
255	ncesu	i	i-114	49,5	115,0	368,3	50.8	4700.00	8.03	23.950	16.320	.350	2.264	2.560	2.440	4.000	1.77
256	ncesu	i	i-115	49,5	114,0	417,3	44.8	5466.00	8.68	27.850	18.650	.257	2.545	2.560	2.440	4.000	1.77
257	ncesu	i	i-116	49,5	101,0	381,5	36.3	5250.00	8.25	26.750	19.250	.233	2.782	2.560	2.440	4.000	1.77
258	ncesu	i	i-117	49,5	115,0	437,1	36.4	6574.00	9.76	33.500	19.370	.228	3.159	2.560	2.440	4.000	1.77
259	ncesu	i	i-118	49,5	115,0	419,5	38.8	9496.00	11.06	48.390	18.590	.260	2.964	2.560	2.440	4.000	1.77
260	ncesu	i	i-119	49,5	110,6	420,6	36.6	10556.00	10.96	53.790	19.380	.228	3.022	2.560	2.440	4.000	1.77
261	ncesu	i	i-120	49,5	117,5	419,5	38.8	6106.00	8.99	31.120	18.190	.275	3.028	2.560	2.440	4.000	1.77
262	ncesu	i	i-121	49,5	113,0	414,0	41.9	8364.00	9.75	42.620	18.670	.256	2.697	2.560	2.440	4.000	1.77
263	ncesu	i	i-122	49,5	110,9	365,7	42.7	4434.00	8.17	22.600	16.800	.331	2.597	2.560	2.440	4.000	1.77
264	ncesu	i	i-123	49,5	113,0	408,8	44.4	4940.00	8.61	25.170	18.440	.266	2.545	2.560	2.440	4.000	1.77
265	ncesu	i	i-124	49,5	115,0	437,5	41.0	7492.00	9.90	38.180	19.390	.228	2.805	2.560	2.440	4.000	1.77
266	ncesu	i	i-125	49,5	112,0	424,1	41.7	6296.00	8.73	32.080	19.300	.231	2.686	2.560	2.440	4.000	1.77
267	ncesu	i	i-126	49,5	98,8	356,2	38.6	6678.00	8.45	34.030	18.370	.268	2.560	2.560	2.440	4.000	1.77
268	ncesu	i	i-127	49,5	112,0	375,6	46.5	4502.00	7.59	22.940	17.090	.319	2.409	2.560	2.440	4.000	1.77
269	ncesu	i	i-129	49,5	116,4	420,3	40.9	6316.00	9.64	32.190	18.400	.267	2.846	2.560	2.440	4.000	1.77

Ek-Tablo 7 Kayseri tüflerine ait deney sonuçları(Devam)

	Bölge	Grup	Ornek	D	L	W	t	P	E	UCS	BHA	n	Vp	Gs	Is_{50e}	Brt	Is_5
270	ncesu	i	i-130	49,5	105,0	326,0	49.7	4200.00	8.26	21.400	15.820	.370	2.113	2.560	2.440	4.000	1.77
271	ncesu	i	i-131	49,5	113,0	423,3	41.4	7338.00	9.84	37.390	19.090	.240	2.729	2.560	2.440	4.000	1.77
272	ncesu	i	i-132	49,5	105,0	379,1	40.2	6332.00	9.66	32.270	18.400	.267	2.612	2.560	2.440	4.000	1.77
273	ncesu	i	i-133	49,5	101,0	369,8	37.2	7786.00	10.49	39.680	18.660	.257	2.715	2.560	2.440	4.000	1.77
274	ncesu	i	i-134	49,5	106,0	358,4	42.0	5822.00	9.04	29.670	17.230	.314	2.524	2.560	2.440	4.000	1.77
275	ncesu	i	i-135	49,5	115,5	435,5	42.5	9762.00	10.92	49.750	19.210	.235	2.718	2.560	2.440	4.000	1.77
276	ncesu	i	i-136	49,5	106,5	394,9	39.8	7614.00	9.46	38.800	18.900	.247	2.676	2.560	2.440	4.000	1.77
277	ncesu	i	i-137	49,5	116,0	439,4	42.0	7952.00	9.92	40.520	19.300	.231	2.762	2.560	2.440	4.000	1.77
278	ncesu	i	i-138	49,5	113,0	432,9	39.4	8342.00	10.06	42.510	19.520	.222	2.868	2.560	2.440	4.000	1.77
279	ncesu	i	i-139	49,5	108,5	402,3	41.2	9200.00	10.42	46.880	18.890	.247	2.633	2.560	2.440	4.000	1.77
280	ncesu	i	i-140	49,5	117,0	426,4	44.0	7204.00	9.85	36.710	18.570	.260	2.659	2.560	2.440	4.000	1.77
281	ncesu	i	i-141	49,5	102,2	378,0	40.4	6078.00	9.30	30.970	18.850	.249	2.530	2.560	2.440	4.000	1.77
282	ncesu	i	i-142	49,5	102,0	376,4	36.8	7130.00	10.61	36.330	18.800	.251	2.772	2.560	2.440	4.000	1.77
283	ncesu	i	i-143	49,5	113,0	429,8	36.8	8516.00	10.38	43.400	19.380	.228	3.071	2.560	2.440	4.000	1.77
284	ncesu	i	i-144	49,5	117,0	438,5	38.4	8418.00	9.59	42.900	19.100	.239	3.047	2.560	2.440	4.000	1.77
285	ncesu	i	i-145	49,5	114,0	394,3	45.7	7110.00	9.68	36.230	17.630	.298	2.495	2.560	2.440	4.000	1.77
286	ncesu	i	i-147	49,5	124,0	455,0	43.9	6140.00	9.00	31.290	18.700	.255	2.825	2.560	2.440	4.000	1.77
287	ncesu	i	i-148	49,5	110,3	364,8	49.9	4390.00	8.88	22.370	16.850	.329	2.210	2.560	2.440	4.000	1.77
288	ncesu	i	i-150	49,5	113,0	407,0	43.8	6968.00	9.56	35.510	18.350	.269	2.580	2.560	2.440	4.000	1.77
289	ncesu	i	i-151	49,5	114,2	424,7	39.5	9902.00	11.36	50.460	18.950	.245	2.891	2.560	2.440	4.000	1.77
290	ncesu	i	i-152	49,5	105,0	370,6	41.5	8266.00	9.86	42.120	17.990	.284	2.530	2.560	2.440	4.000	1.77
291	ncesu	i	i-153	49,5	115,0	429,1	39.6	6316.00	8.94	32.190	19.010	.243	2.904	2.560	2.440	4.000	1.77
292	ncesu	i	i-154	49,5	110,9	365,5	45.9	5895.00	8.59	30.040	16.790	.331	2.416	2.560	2.440	4.000	1.77
293	ncesu	i	i-155	49,5	113,0	358,6	48.8	6814.00	8.83	34.720	16.170	.356	2.316	2.560	2.440	4.000	1.77
294	ncesu	i	i-159	49,5	113,5	415,8	45.2	6072.00	8.71	30.940	18.670	.256	2.511	2.560	2.440	4.000	1.77
295	ncesu	i	i-191	49,5	117,4	428,4	44.0	6205.00	9.80	31.620	18.600	.259	2.668	2.560	2.440	4.000	1.77
296	ncesu	i	i-200	49,5	117,0	378,2	58.4	4750.00	8.35	24.210	16.470	.344	2.003	2.560	2.440	4.000	1.77
297	ncesu	i	i-201	49,5	118,1	377,6	47.5	4976.00	8.83	25.360	16.290	.351	2.486	2.560	2.440	4.000	1.77
298	ncesu	i	i-203	49,5	118,0	382,9	56.0	4672.00	8.74	23.810	16.540	.341	2.107	2.560	2.440	4.000	1.77
299	ncesu	i	i-204	49,5	117,0	390,2	46.1	6782.00	9.32	34.560	17.000	.323	2.538	2.560	2.440	4.000	1.77
300	ncesu	i	i-205	49,5	109,2	366,0	46.0	5150.00	8.05	26.240	17.080	.320	2.374	2.560	2.440	4.000	1.77
301	ncesu	i	i-206	49,5	116,3	439,8	37.7	10870.00	11.37	55.390	19.270	.232	3.085	2.560	2.440	4.000	1.77
302	ncesu	i	i-207	49,5	114,6	415,0	44.1	6002.00	9.96	30.590	18.450	.265	2.599	2.560	2.440	4.000	1.77
303	ncesu	i	i-208	49,5	112,3	405,8	43.4	4442.00	8.53	22.640	18.410	.267	2.588	2.560	2.440	4.000	1.77
304	ncesu	i	i-209	49,5	111,5	365,4	46.9	6871.00	9.34	35.010	16.700	.335	2.377	2.560	2.440	4.000	1.77
305	ncesu	i	i-210	49,5	115,5	428,7	38.1	8216.00	10.41	41.870	18.910	.247	3.031	2.560	2.440	4.000	1.77
306	ncesu	i	i-211	49,5	115,3	421,7	46.4	6078.00	8.15	30.970	18.640	.258	2.485	2.560	2.440	4.000	1.77
307	ncesu	i	i-212	49,5	115,5	387,9	48.0	4296.00	7.80	21.890	17.110	.318	2.406	2.560	2.440	4.000	1.77
308	ncesu	i	i-213	49,5	109,0	360,8	47.1	4330.00	7.63	22.070	16.870	.328	2.314	2.560	2.440	4.000	1.77
309	ncesu	i	i-214	49,5	114,9	423,4	41.0	8942.00	10.54	45.570	18.780	.252	2.802	2.560	2.440	4.000	1.77
310	ncesu	i	i-215	49,5	117,5	424,4	43.0	7026.00	8.61	35.800	18.410	.267	2.733	2.560	2.440	4.000	1.77
311	ncesu	i	i-216	49,5	111,0	407,1	36.3	9888.00	10.55	50.390	18.690	.256	3.058	2.560	2.440	4.000	1.77
312	ncesu	i	i-217	49,5	114,0	435,3	37.2	9268.00	11.17	47.230	19.460	.225	3.065	2.560	2.440	4.000	1.77
313	ncesu	i	i-218	49,5	114,0	426,1	41.3	7586.00	9.46	38.660	19.050	.241	2.760	2.560	2.440	4.000	1.77
314	ncesu	i	i-219	49,5	113,5	426,0	37.3	8224.00	10.41	41.910	19.130	.238	3.043	2.560	2.440	4.000	1.77
315	ncesu	i	i-220	49,5	111,0	414,0	36.5	5654.00	9.18	28.810	19.010	.243	3.041	2.560	2.440	4.000	1.77
316	ncesu	i	i-221	53,0	117,0	467,8	50.0	7550.00	9.12	33.560	17.770	.292	2.340	2.560	2.440	4.000	1.77
317	ncesu	i	i-222	49,5	119,8	445,5	41.6	10062.00	10.93	51.280	18.950	.245	2.880	2.560	2.440	4.000	1.77
318	ncesu	i	i-223	49,5	114,5	413,0	41.3	8808.00	10.79	44.880	18.380	.268	2.772	2.560	2.440	4.000	1.77
319	ncesu	i	i-224	49,5	113,2	418,6	37.2	7152.00	9.61	36.450	18.840	.249	3.043	2.560	2.440	4.000	1.77
320	ncesu	i	i-226	49,5	118,0	434,3	36.8	9094.00	11.13	46.340	18.760	.253	3.207	2.560	2.440	4.000	1.77
321	ncesu	i	i-227	49,5	117,4	367,0	53.4	4578.00	8.21	23.330	15.930	.365	2.199	2.560	2.440	4.000	1.77
322	ncesu	i	i-228	49,5	119,0	443,5	37.9	6480.00	10.28	33.020	18.990	.244	3.140	2.560	2.440	4.000	1.77
323	ncesu	i	i-229	49,5	116,1	428,7	43.7	9596.00	11.30	48.900	18.820	.250	2.657	2.560	2.440	4.000	1.77
324	ncesu	i	i-230	49,5	116,0	432,7	40.2	9784.00	10.96	49.860	19.010	.243	2.886	2.560	2.440	4.000	1.77
325	ncesu	i	i-231	49,5	115,0	353,5	42.5	4938.00	8.86	25.160	15.660	.376	2.706	2.560	2.440	4.000	1.77
326	ncesu	i	i-232	49,5	117,8	445,8	37.6	10286.00	11.27	52.420	19.280	.232	3.133	2.560	2.440	4.000	1.77
327	ncesu	i	i-233	49,5	116,7	440,6	38.6	9854.00	11.27	50.220	19.240	.234	3.023	2.560	2.440	4.000	1.77
328	ncesu	i	i-234	53,0	112,2	475,5	37.9	8996.00	9.99	39.990	18.840	.250	2.960	2.560	2.440	4.000	1.77
329	ncesu	i	i-236	53,0	113,0	463,0	36.3	9554.00	10.45	42.470	18.210	.275	3.113	2.560	2.440	4.000	1.77
330	ncesu	i	i-237	49,5	109,5	395,0	41.5	5670.00	8.58	28.890	18.380	.268	2.639	2.560	2.440	4.000	1.77
331	ncesu	i	i-238	49,5	116,5	436,9	38.8	7180.00	9.05	36.590	19.110	.239	3.003	2.560	2.440	4.000	1.77
332	ncesu	i	i-239	53,0	114,2	467,0	46.8	6100.00	8.31	27.120	18.180	.276	2.440	2.560	2.440	4.000	1.77
333	ncesu	i	i-240	49,5	117,0	392,7	47.5	4052.00	8.02	20.650	17.100	.319	2.463	2.560	2.440	4.000	1.77
334	ncesu	i	i-241	53,0	116,5	488,6	39.5	8356.00	9.01	37.140	18.640	.257	2.949	2.560	2.440	4.000	1.77
335	ncesu	i	i-242	53,0	114,5	467,0	39.1	7200.00	9.43	32.000	18.130	.278	2.928	2.560	2.440	4.000	1.77
336	ncesu	i	i-243	53,0	113,9	487,9	43.9	6476.00	8.13	28.790	19.040	.242	2.595	2.560	2.440	4.000	1.77
337	ncesu	i	i-244	53,0	120,4	465,8	49.9	6558.00	8.01	29.150	17.200	.315	2.413	2.560	2.440	4.000	1.77
338	ncesu	i	i-245	53,0	122,5	468,7	50.9	5064.00	8.62	22.510	17.010	.323	2.407	2.560	2.440	4.000	1.77
339	ncesu	i	i-246	53,0	118,4	474,2	44.0	6652.00	8.78	29.570	17.800	.291	2.691	2.560	2.440	4.000	1.77
340	ncesu	i	i-247	53,0	116,5	466,5	41.3	8614.00	9.96	38.290	17.800	.291	2.821	2.560	2.440	4.000	1.77
341	ncesu	i	i-248	53,0	118,4	498,4	43.9	7288.00	9.24	32.400	18.710	.255	2.697	2.560	2.440	4.000	1.77
342	ncesu	i	i-249	53,0	115,5	485,2	43.6	5826.00	7.78	25.900	18.670	.256	2.649	2.560	2.440	4.000	1.77
343	ncesu	i	i-250	53,0	117,0	470,0	48.1	5230.00	8.44	23.250	17.860	.289	2.432	2.560	2.440	4.000	1.77
344	ncesu	i	i-251	53,0	130,5	547,8	43.3	7464.00	9.28	33.180	18.660	.257	3.014	2.560	2.440	4.000	1.77
345	ncesu	i	i-252	53,0	122,6	500,3	43.0	6748.00	8.99	30.000	18.140	.277	2.851	2.560	2.440	4.000	1.77
346	ncesu	i	i-253	53,0	117,6	498,5	40.4	8340.00	9.30	37.070	18.840	.249	2.911	2.560	2.440	4.000	1.77
347	ncesu	i	i-254	53,0	115,4	495,1	40.4	10786.00	10.57	47.940	19.070	.240	2.856	2.560	2.440	4.000	1.77

Ek-Tablo 7 Kayseri tüflerine ait deney sonuçları(Devam)

	Bölge	Grup	Ornek	D	L	W	t	P	E	UCS	BHA	n	Vp	Gs	Is_{50e}	Brt	Is_5
348	ncesu	i	i-255	53,0	120,5	510,4	39.8	8126.00	8.90	36.120	18.830	.250	3.028	2.560	2.440	4.000	1.77
349	ncesu	i	i-256	53,0	115,5	489,7	38.3	8600.00	10.18	38.230	18.850	.249	3.016	2.560	2.440	4.000	1.77
350	ncesu	i	i-258	53,0	116,0	477,0	41.8	8670.00	8.99	38.540	18.280	.272	2.775	2.560	2.440	4.000	1.77
351	ncesu	i	i-259	53,0	117,2	482,5	41.2	7556.00	8.37	33.590	18.300	.271	2.845	2.560	2.440	4.000	1.77
352	ncesu	i	i-260	53,0	118,5	496,3	42.8	6804.00	8.09	30.240	18.620	.258	2.769	2.560	2.440	4.000	1.77
353	ncesu	i	i-261	53,0	114,6	488,9	45.6	5818.00	7.96	25.860	18.960	.245	2.513	2.560	2.440	4.000	1.77
354	ncesu	i	i-262	53,0	115,2	495,6	38.1	8014.00	9.11	35.620	19.120	.238	3.024	2.560	2.440	4.000	1.77
355	ncesu	i	i-263	53,0	115,3	479,9	45.6	5784.00	8.62	25.710	18.500	.263	2.529	2.560	2.440	4.000	1.77
356	ncesu	i	i-264	53,0	115,9	482,4	47.5	6176.00	8.20	27.450	18.500	.263	2.440	2.560	2.440	4.000	1.77
357	ncesu	i	i-266	53,0	120,2	485,3	54.3	6384.00	8.52	28.380	17.950	.285	2.214	2.560	2.440	4.000	1.77
358	Tomarza	k	K02	53,0	116,0	458,4	43.5	7864.00	11.08	34.960	17.570	.300	2.667	2.560	2.070	4.810	1.74
359	Tomarza	k	K04	53,0	107,2	420,2	40.1	7590.00	11.03	33.740	17.420	.306	2.673	2.560	2.070	4.810	1.74
360	Tomarza	k	K05	53,0	116,0	459,1	44.3	7328.00	10.31	32.570	17.590	.299	2.619	2.560	2.070	4.810	1.74
361	Tomarza	k	K06	53,0	122,6	478,6	45.6	7632.00	10.95	33.920	17.350	.309	2.689	2.560	2.070	4.810	1.74
362	Tomarza	k	K07	53,0	132,2	508,4	51.6	7200.00	9.45	32.000	17.090	.319	2.562	2.560	2.070	4.810	1.74
363	Gesi	p	P01	53,0	134,0	409,7	101.	1788.00	3.28	7.950	13.590	.452	1.323	2.530	.410	1.380	.61
364	Gesi	p	P02	53,0	122,0	374,3	92.8	2312.00	3.62	10.280	13.640	.450	1.315	2.530	.410	1.380	.61
365	Gesi	p	P03	53,0	103,0	317,4	78.8	2242.00	3.57	9.970	13.700	.448	1.307	2.530	.410	1.380	.61
366	Gesi	p	P04	53,0	125,0	385,3	96.4	2012.00	3.45	8.940	13.700	.448	1.297	2.530	.410	1.380	.61
367	Gesi	p	P06	53,0	126,0	388,9	96.2	2166.00	3.57	9.630	13.720	.447	1.310	2.530	.410	1.380	.61
368	Gesi	p	P07	53,0	131,8	406,3	102.	1594.00	3.18	7.090	13.700	.448	1.292	2.530	.410	1.380	.61
369	Gesi	p	P08	53,0	118,0	364,7	90.5	2150.00	3.54	9.560	13.740	.446	1.304	2.530	.410	1.380	.61
370	Gesi	p	P09	53,0	119,0	365,1	91.4	2436.00	3.71	10.830	13.640	.450	1.302	2.530	.410	1.380	.61
371	Gesi	p	P10	53,0	110,8	340,0	83.3	2410.00	3.71	10.710	13.640	.450	1.330	2.530	.410	1.380	.61
372	Gesi	p	P11	53,0	111,3	332,8	84.5	2004.00	3.22	8.910	13.290	.464	1.317	2.530	.410	1.380	.61
373	Gesi	p	P12	53,0	106,0	325,7	82.9	2526.00	3.65	11.230	13.660	.450	1.279	2.530	.410	1.380	.61
374	Gesi	p	P13	53,0	108,0	296,7	87.4	2126.00	3.51	9.450	12.210	.508	1.236	2.530	.410	1.380	.61
375	Gesi	p	P15	53,0	111,0	305,5	87.0	1906.00	3.13	8.470	12.230	.507	1.276	2.530	.410	1.380	.61
376	Gesi	p	P16	53,0	105,4	289,2	81.6	2506.00	3.61	11.140	12.200	.508	1.292	2.530	.410	1.380	.61
377	Gesi	p	P21	53,0	116,4	324,2	90.4	2384.00	3.55	10.600	12.380	.501	1.288	2.530	.410	1.380	.61
378	Tomarza	S	S01	53,0	130,4	399,1	64.0	3340.00	4.98	14.850	13.600	.449	2.038	2.520	1.110	2.500	.86
379	Tomarza	S	S02	53,0	138,0	428,1	68.1	3424.00	4.29	15.220	13.790	.442	2.026	2.520	1.110	2.500	.86
380	Tomarza	S	S03	53,0	136,0	429,1	65.4	3844.00	5.28	17.090	14.020	.432	2.080	2.520	1.110	2.500	.86
381	Tomarza	S	S04	53,0	119,8	373,6	58.6	3890.00	5.32	17.290	13.860	.439	2.044	2.520	1.110	2.500	.86
382	Tomarza	S	S05	53,0	110,0	344,9	52.0	4442.00	5.50	19.750	13.940	.436	2.115	2.520	1.110	2.500	.86
383	Tomarza	S	S06	53,0	138,7	442,5	60.9	3718.00	5.05	16.530	14.180	.426	2.278	2.520	1.110	2.500	.86
384	Tomarza	S	S07	53,0	121,0	383,9	56.6	3614.00	5.08	16.060	14.100	.429	2.138	2.520	1.110	2.500	.86
385	Tomarza	S	S08	53,0	127,5	404,1	57.5	3780.00	5.22	16.800	14.090	.430	2.217	2.520	1.110	2.500	.86
386	Tomarza	S	S09	53,0	108,5	341,7	49.8	3974.00	5.40	17.660	14.000	.434	2.179	2.520	1.110	2.500	.86
387	Tomarza	S	S10	53,0	108,4	344,8	50.0	3760.00	5.21	16.710	14.140	.428	2.168	2.520	1.110	2.500	.86
388	Tomarza	S	S12	53,0	111,4	359,5	50.8	3544.00	4.80	15.750	14.340	.420	2.193	2.520	1.110	2.500	.86
389	Tomarza	S	S13	53,0	111,8	360,4	52.3	3660.00	5.12	16.270	14.330	.420	2.138	2.520	1.110	2.500	.86
390	Tomarza	S	S15	53,0	125,8	407,5	59.6	3494.00	4.97	15.530	14.400	.417	2.111	2.520	1.110	2.500	.86
391	Tomarza	S	S16	53,0	117,2	365,5	55.9	3940.00	5.37	17.510	13.860	.439	2.097	2.520	1.110	2.500	.86
392	Tomarza	S	S18	53,0	132,2	418,2	60.6	3386.00	4.69	15.050	14.060	.431	2.182	2.520	1.110	2.500	.86
393	Tomarza	S	S22	53,0	121,0	385,9	53.2	3768.00	4.95	16.750	14.180	.426	2.274	2.520	1.110	2.500	.86
394	Tomarza	S	S23	53,0	117,0	371,0	55.3	3718.00	4.95	16.530	14.100	.430	2.116	2.520	1.110	2.500	.86
395	Tomarza	S	S24	53,0	112,7	350,6	49.8	3840.00	5.14	17.070	13.830	.440	2.263	2.520	1.110	2.500	.86
396	Tomarza	S	S25	53,0	121,5	393,8	56.3	4088.00	5.32	18.170	14.410	.417	2.158	2.520	1.110	2.500	.86
397	Tomarza	S	S26	53,0	117,6	377,3	54.8	3522.00	4.73	15.660	14.260	.423	2.146	2.520	1.110	2.500	.86
398	Tomarza	S	S28	53,0	115,9	376,6	54.8	3638.00	4.85	16.170	14.440	.416	2.115	2.520	1.110	2.500	.86
399	Tomarza	S	S29	53,0	98,3	337,8	45.1	4298.00	5.39	19.110	15.280	.382	2.180	2.520	1.110	2.500	.86
400	Tomarza	SB	SB01	53,0	107,0	423,1	36.2	6586.00	8.75	29.280	17.580	.305	2.956	2.580	1.420	3.540	1.97
401	Tomarza	SB	SB02	53,0	127,9	514,7	42.4	6612.00	8.62	29.390	17.890	.293	3.017	2.580	1.420	3.540	1.97
402	Tomarza	SB	SB03	53,0	123,0	493,4	42.3	5984.00	8.20	26.600	17.830	.295	2.908	2.580	1.420	3.540	1.97
403	Tomarza	SB	SB04	53,0	118,0	468,5	42.8	6462.00	8.60	28.720	17.650	.302	2.757	2.580	1.420	3.540	1.97
404	Tomarza	SB	SB05	53,0	119,0	485,6	42.9	6218.00	8.21	27.640	18.140	.283	2.774	2.580	1.420	3.540	1.97
405	Tomarza	SB	SB06	53,0	122,8	485,0	43.2	6478.00	8.41	28.800	17.560	.306	2.843	2.580	1.420	3.540	1.97
406	Tomarza	SB	SB07	53,0	107,0	429,3	35.8	7894.00	9.54	35.090	17.830	.295	2.989	2.580	1.420	3.540	1.97
407	Tomarza	SB	SB08	53,0	129,4	519,0	47.6	5972.00	8.42	26.550	17.830	.295	2.718	2.580	1.420	3.540	1.97
408	Tomarza	SB	SB10	53,0	113,5	468,1	39.5	6380.00	8.32	28.360	18.330	.275	2.873	2.580	1.420	3.540	1.97
409	Tomarza	SB	SB11	53,0	99,0	404,7	33.0	6964.00	9.13	30.960	18.170	.282	3.000	2.580	1.420	3.540	1.97
410	Tomarza	SB	SB12	53,0	107,8	434,1	35.8	7062.00	8.81	31.390	17.900	.293	3.011	2.580	1.420	3.540	1.97
411	Talas	T	T-001	53,0	121,0	369,7	85.0	1000.00	2.22	4.450	13.580	.453	1.424	2.530	.410	.830	.47
412	Talas	T	T-002	53,0	116,0	385,4	65.4	2228.00	3.72	9.900	14.770	.405	1.774	2.530	.410	.830	.47
413	Talas	T	T-003	53,0	122,0	379,5	85.4	1270.00	2.59	5.650	13.830	.443	1.429	2.530	.410	.830	.47
414	Talas	T	T-004	53,0	114,5	382,0	67.5	1782.00	3.56	7.920	14.830	.402	1.696	2.530	.410	.830	.47
415	Talas	T	T-005	53,0	105,7	354,1	78.6	1050.00	2.55	4.670	14.890	.400	1.345	2.530	.410	.830	.47
416	Talas	T	T-006	53,0	113,1	374,3	68.3	1642.00	3.05	7.300	14.710	.407	1.656	2.530	.410	.830	.47
417	Talas	T	T-007	53,0	119,5	367,9	86.5	1100.00	2.36	4.890	13.680	.448	1.382	2.530	.410	.830	.47
418	Talas	T	T-009	53,0	116,5	382,8	68.2	1118.00	2.90	4.970	14.610	.411	1.708	2.530	.410	.830	.47
419	Talas	T	T-010	53,0	112,2	342,9	79.7	1706.00	2.89	7.580	13.580	.452	1.408	2.530	.410	.830	.47
420	Talas	T	T-011	53,0	124,2	403,2	73.8	1524.00	2.91	6.770	14.430	.418	1.683	2.530	.410	.830	.47
421	Talas	T	T-012	53,0	102,5	341,1	61.3	1898.00	3.35	8.440	14.790	.404	1.672	2.530	.410	.830	.47
422	Talas	T	T-013	53,0	116,0	350,2	92.7	930.00	2.12	4.130	13.420	.459	1.251	2.530	.410	.830	.47
423	Talas	T	T-014	53,0	123,3	396,4	75.8	1380.00	2.73	6.130	14.290	.424	1.627	2.530	.410	.830	.47
424	Talas	T	T-015	53,0	111,5	345,4	76.5	1428.00	2.79	6.350	13.770	.445	1.458	2.530	.410	.830	.47
425	Talas	T	T-016	53,0	115,0	384,3	63.0	818.00	2.31	3.640	14.850	.401	1.825	2.530	.410	.830	.47

Ek-Tablo 7 Kayseri tüflerine ait deney sonuçları(Devam)

	Bölge	Grup	Ornek	D	L	W	t	P	E	UCS	BHA	n	Vp	Gs	Is_{50e}	Brt	Is_5
426	Talas	T	T-017	53,0	126,5	384,3	91.3	980.00	2.29	4.360	13.500	.456	1.386	2.530	.410	.830	.47
427	Talas	T	T-018	53,0	109,2	360,4	66.1	1790.00	3.23	7.960	14.670	.409	1.652	2.530	.410	.830	.47
428	Talas	T	T-019	53,0	123,3	377,7	67.5	1200.00	2.51	5.330	13.620	.451	1.827	2.530	.410	.830	.47
429	Talas	T	T-020	53,0	125,0	382,6	90.1	1050.00	2.29	4.670	13.610	.452	1.387	2.530	.410	.830	.47
430	Talas	T	T-021	53,0	118,9	387,0	72.4	1450.00	2.82	6.450	14.470	.417	1.642	2.530	.410	.830	.47
431	Talas	T	T-022	53,0	118,8	362,8	84.3	1050.00	2.29	4.670	13.570	.453	1.409	2.530	.410	.830	.47
432	Talas	T	T-024	53,0	118,2	386,2	70.8	1768.00	3.20	7.860	14.520	.415	1.669	2.530	.410	.830	.47
433	Talas	T	T-025	53,0	109,5	356,0	64.8	1884.00	3.33	8.370	14.450	.418	1.690	2.530	.410	.830	.47
434	Talas	T	T-026	53,0	113,3	344,4	81.5	1310.00	2.64	5.820	13.510	.455	1.390	2.530	.410	.830	.47
435	Talas	T	T-027	53,0	120,0	364,8	70.5	1500.00	2.88	6.670	13.510	.455	1.702	2.530	.410	.830	.47
436	Talas	T	T-028	53,0	124,0	419,3	65.9	1650.00	2.76	7.330	15.030	.394	1.882	2.530	.410	.830	.47
437	Talas	T	T-029	53,0	121,8	410,2	66.4	1500.00	2.88	6.670	14.970	.397	1.834	2.530	.410	.830	.47
438	Talas	T	T-030	53,0	112,5	374,8	66.5	1702.00	3.49	7.570	14.810	.403	1.692	2.530	.410	.830	.47
439	Tomarza	TB	TB-004	53,0	106,2	362,7	75.2	3112.00	4.63	13.830	15.180	.391	1.412	2.540	.870	2.080	.86
440	Tomarza	TB	TB-005	53,0	106,0	361,2	76.2	2796.00	4.62	12.430	15.150	.392	1.391	2.540	.870	2.080	.86
441	Tomarza	TB	TB-006	53,0	117,0	396,5	83.9	2748.00	4.58	12.220	15.060	.395	1.395	2.540	.870	2.080	.86
442	Tomarza	TB	TB-007	53,0	125,2	425,4	89.4	2624.00	4.66	11.660	15.100	.394	1.400	2.540	.870	2.080	.86
443	Tomarza	TB	TB-008	53,0	135,0	456,0	94.0	2366.00	4.53	10.520	15.010	.397	1.436	2.540	.870	2.080	.86
444	Tomarza	TB	TB-009	53,0	136,8	460,3	93.0	2330.00	4.57	10.360	14.960	.400	1.471	2.540	.870	2.080	.86
445	Tomarza	TB	TB-010	53,0	134,0	451,8	92.5	2486.00	4.67	11.050	14.990	.398	1.449	2.540	.870	2.080	.86
446	Tomarza	TB	TB-011	53,0	132,5	444,4	90.9	3348.00	4.83	14.880	14.910	.401	1.458	2.540	.870	2.080	.86
447	Tomarza	TB	TB-013	53,0	118,8	365,9	69.3	3518.00	4.72	15.640	13.690	.450	1.714	2.540	.870	2.080	.86
448	Tomarza	TB	TB-017	53,0	105,7	374,3	51.8	3714.00	4.82	16.510	15.740	.368	2.041	2.540	.870	2.080	.86
449	Tomarza	TB	TB-018	53,0	103,0	368,4	59.6	3920.00	5.10	17.420	15.900	.362	1.728	2.540	.870	2.080	.86
450	Tomarza	TB	TB-019	53,0	131,0	442,7	91.0	3260.00	4.73	14.490	15.020	.397	1.440	2.540	.870	2.080	.86
451	Tomarza	TB	TB-020	53,0	119,3	383,7	85.9	3710.00	5.64	16.490	14.300	.426	1.389	2.540	.870	2.080	.86
452	Tomarza	TB	TB-021	53,0	106,5	349,8	65.6	2528.00	4.60	11.240	14.600	.414	1.623	2.540	.870	2.080	.86
453	Tomarza	TB	TB-022	53,0	129,5	418,0	77.2	2874.00	4.56	12.780	14.350	.424	1.677	2.540	.870	2.080	.86
454	Tomarza	TB	TB-024	53,0	126,0	426,2	87.7	3670.00	4.78	16.310	15.040	.396	1.437	2.540	.870	2.080	.86
455	Tomarza	TB	TB-025	53,0	104,6	351,5	73.3	3416.00	4.76	15.180	14.940	.400	1.427	2.540	.870	2.080	.86
456	Tomarza	TB	TB-026	53,0	126,5	426,7	86.0	2894.00	4.55	12.860	14.990	.398	1.471	2.540	.870	2.080	.86
457	Tomarza	TB	TB-027	53,0	104,1	350,7	73.1	3282.00	4.74	14.590	14.970	.399	1.424	2.540	.870	2.080	.86
458	Tomarza	TB	TB-028	53,0	125,8	423,9	86.8	3774.00	4.85	16.780	14.980	.399	1.449	2.540	.870	2.080	.86
459	Tomarza	TB	TB-029	53,0	121,0	408,8	58.5	3748.00	5.05	16.660	15.020	.397	2.068	2.540	.870	2.080	.86
460	Tomarza	TB	TB-030	53,0	119,3	403,5	84.3	2696.00	4.62	11.980	15.030	.396	1.415	2.540	.870	2.080	.86
461	Tomarza	TB	TB-031	53,0	124,8	428,5	84.7	2994.00	4.60	13.310	15.260	.387	1.473	2.540	.870	2.080	.86
462	Tomarza	TB	TB-032	53,0	121,2	409,7	88.5	3670.00	4.78	16.310	15.030	.397	1.369	2.540	.870	2.080	.86
463	Tomarza	TB	TB-033	53,0	124,2	424,9	89.1	3642.00	4.82	16.190	15.210	.389	1.394	2.540	.870	2.080	.86
464	Tomarza	TB	TB-034	53,0	126,2	427,0	79.2	3960.00	4.88	17.600	15.040	.396	1.593	2.540	.870	2.080	.86
465	Tomarza	TB	TB-035	53,0	127,2	433,2	60.5	4132.00	5.06	18.370	15.140	.392	2.102	2.540	.870	2.080	.86
466	Tomarza	TB	TB-036	53,0	138,9	469,1	95.4	2414.00	4.63	10.730	15.010	.397	1.456	2.540	.870	2.080	.86
467	Tomarza	TB	TB-037	53,0	115,3	391,5	80.7	2832.00	4.53	12.590	15.090	.394	1.429	2.540	.870	2.080	.86
468	Tomarza	TB	TB-038	53,0	116,7	397,9	85.3	3800.00	4.92	16.890	15.160	.392	1.368	2.540	.870	2.080	.86
469	Tomarza	TB	TB-040	53,0	126,3	428,3	92.7	3858.00	4.93	17.150	15.070	.395	1.362	2.540	.870	2.080	.86
470	Tomarza	TB	TB-041	53,0	130,0	437,2	92.8	3426.00	4.71	15.230	14.950	.400	1.401	2.540	.870	2.080	.86
471	Tomarza	TK	TK-003	53,0	103,5	386,6	57.4	2658.00	4.51	11.820	16.600	.349	1.803	2.600	.620	.850	.51
472	Tomarza	TK	TK-005	53,0	116,5	374,8	77.3	2048.00	4.02	9.100	14.300	.439	1.507	2.600	.620	.850	.51
473	Tomarza	TK	TK-006	53,0	112,3	414,8	54.1	2318.00	4.22	10.300	16.420	.356	2.076	2.600	.620	.850	.51
474	Tomarza	TK	TK-007	53,0	110,0	401,1	51.1	2430.00	4.24	10.800	16.210	.364	2.153	2.600	.620	.850	.51
475	Tomarza	TK	TK-008	53,0	115,3	419,2	54.8	2764.00	4.51	12.290	16.160	.366	2.104	2.600	.620	.850	.51
476	Tomarza	TK	TK-010	53,0	111,0	387,2	48.6	3124.00	4.48	13.890	15.510	.392	2.284	2.600	.620	.850	.51
477	Tomarza	TK	TK-011	53,0	115,8	422,4	50.0	4046.00	5.01	17.980	16.210	.364	2.316	2.600	.620	.850	.51
478	Tomarza	TP	TP-001	53,0	123,5	517,0	49.5	4748.00	7.05	21.110	18.610	.262	2.495	2.570	2.090	4.320	.94
479	Tomarza	TP	TP-002	53,0	132,3	529,5	60.5	4026.00	6.52	17.900	17.790	.294	2.187	2.570	2.090	4.320	.94
480	Tomarza	TP	TP-003	53,0	127,0	503,0	54.7	4746.00	6.76	21.100	17.610	.301	2.322	2.570	2.090	4.320	.94
481	Tomarza	TP	TP-004	53,0	104,8	406,9	51.2	4256.00	6.41	18.920	17.260	.315	2.047	2.570	2.090	4.320	.94
482	Tomarza	TP	TP-005	53,0	110,7	430,5	51.8	4228.00	6.62	18.790	17.290	.314	2.137	2.570	2.090	4.320	.94
483	Tomarza	TP	TP-006	53,0	126,0	497,3	54.6	4268.00	6.54	18.970	17.540	.304	2.308	2.570	2.090	4.320	.94
484	Tomarza	TP	TP-007	53,0	122,0	502,5	59.1	3794.00	6.24	16.860	18.310	.274	2.064	2.570	2.090	4.320	.94
485	Tomarza	TP	TP-008	53,0	130,0	507,0	59.1	4254.00	6.34	18.910	17.340	.312	2.200	2.570	2.090	4.320	.94
486	Tomarza	TP	TP-009	53,0	123,0	498,3	62.3	3482.00	5.88	15.480	18.010	.285	1.974	2.570	2.090	4.320	.94
487	Tomarza	TP	TP-010	53,0	126,0	519,0	55.8	3872.00	6.45	17.210	18.310	.274	2.258	2.570	2.090	4.320	.94
488	Tomarza	TP	TP-011	53,0	125,0	509,6	54.2	3766.00	5.94	16.740	18.120	.281	2.306	2.570	2.090	4.320	.94
489	Tomarza	TP	TP-012	53,0	109,8	446,1	47.4	4922.00	6.80	21.880	18.060	.283	2.316	2.570	2.090	4.320	.94
490	Tomarza	TP	TP-013	53,0	120,2	487,0	53.2	4894.00	6.95	21.750	18.010	.285	2.259	2.570	2.090	4.320	.94
491	Tomarza	TS	TS001	53,0	138,9	469,0	71.5	2246.00	3.93	9.980	15.010	.390	1.943	2.510	1.230	2.250	.88
492	Tomarza	TS	TS002	53,0	144,0	466,2	75.0	1916.00	4.30	8.520	14.390	.415	1.920	2.510	1.230	2.250	.88
493	Tomarza	TS	TS003	53,0	122,1	419,1	55.5	3608.00	6.07	16.040	15.260	.380	2.200	2.510	1.230	2.250	.88
494	Tomarza	TS	TS004	53,0	119,2	400,3	56.1	2816.00	5.31	12.520	14.930	.394	2.125	2.510	1.230	2.250	.88
495	Tomarza	TS	TS005	53,0	139,4	457,7	74.2	4170.00	6.26	18.540	14.590	.407	1.879	2.510	1.230	2.250	.88
496	Tomarza	TS	TS006	53,0	121,0	408,0	59.0	3216.00	5.67	14.300	14.990	.391	2.051	2.510	1.230	2.250	.88
497	Tomarza	TS	TS007	53,0	134,3	445,5	65.8	2214.00	4.42	9.840	14.750	.401	2.041	2.510	1.230	2.250	.88
498	Tomarza	TS	TS008	53,0	124,5	411,7	64.8	3642.00	6.05	16.190	14.700	.403	1.921	2.510	1.230	2.250	.88
499	Tomarza	TS	TS009	53,0	104,0	321,8	58.0	2298.00	5.00	10.210	13.750	.441	1.793	2.510	1.230	2.250	.88
500	Tomarza	TS	TS010	53,0	104,0	330,3	65.7	1886.00	3.74	8.380	14.120	.426	1.583	2.510	1.230	2.250	.88
501	Tomarza	TS	TS011	53,0	130,0	443,6	61.0	3620.00	6.28	16.090	15.170	.384	2.131	2.510	1.230	2.250	.88
502	Tomarza	TS	TS013	53,0	113,0	392,3	51.9	4672.00	6.99	20.770	15.430	.373	2.177	2.510	1.230	2.250	.88

Ek-Tablo 7 Kayseri tüflerine ait deney sonuçları(Devam)

	Bölge	Grup	Ornek	D	L	W	t	P	E	UCS	BHA	n	Vp	Gs	Is_{50e}	Brt	Is_5
503	Tomarza	TS	TS015	53,0	112,0	388,7	60.3	2192.00	4.37	9.740	15.430	.373	1.857	2.510	1.230	2.250	.88
504	Tomarza	TS	TS016	53,0	113,2	383,6	61.5	1816.00	5.28	8.070	15.060	.388	1.841	2.510	1.230	2.250	.88
505	Tomarza	TS	TS017	53,0	111,2	348,3	61.0	2234.00	3.92	9.930	13.920	.434	1.823	2.510	1.230	2.250	.88
506	Tomarza	TS	TS018	53,0	129,8	424,4	58.2	3898.00	6.12	17.330	14.530	.410	2.230	2.510	1.230	2.250	.88
507	Tomarza	TS	TS019	53,0	114,1	388,9	65.7	2646.00	5.15	11.760	15.150	.384	1.737	2.510	1.230	2.250	.88
508	Tomarza	TV	TV-001	53,0	146,0	573,6	69.2	2604.00	6.51	11.580	17.460	.312	2.110	2.590	1.200	2.360	1.37
509	Tomarza	TV	TV-002	53,0	140,0	544,1	68.6	1840.00	5.50	8.180	17.280	.320	2.041	2.590	1.200	2.360	1.37
510	Tomarza	TV	TV-003	53,0	87,5	358,8	42.3	2642.00	6.40	11.740	18.230	.282	2.069	2.590	1.200	2.360	1.37
511	Tomarza	TV	TV-005	53,0	137,0	537,7	68.7	1694.00	5.08	7.530	17.450	.313	1.994	2.590	1.200	2.360	1.37
512	Tomarza	TV	TV-006	53,0	130,0	521,6	65.4	2394.00	5.26	10.640	17.840	.298	1.988	2.590	1.200	2.360	1.37
513	Diger	Diger	1 GP	53,0	112,6	293,0	87.8	1680.00	2.79	7.470	11.570	.534	1.282	2.530	.470	1.250	.42
514	Diger	Diger	1 incesu	53,0	115,0	492,7	42.3	8900.00	9.57	39.560	19.040	.241	2.719	2.560	2.440	4.000	1.77
515	Diger	Diger	2 Gesi	49,5	112,2	362,3	51.4	6342.00	9.07	32.320	16.460	.339	2.183	2.540	1.110	2.300	1.14
516	Diger	Diger	2 GP	53,0	116,8	310,8	91.5	1700.00	2.08	7.560	11.830	.523	1.277	2.530	.470	1.250	.42
517	Diger	Diger	2 incesu	49,5	111,0	415,0	39.8	8812.00	9.60	44.910	19.050	.241	2.789	2.560	2.440	4.000	1.77
518	Diger	Diger	2i2 incesu	49,5	118,0	440,7	40.8	8566.00	10.18	43.650	19.030	.242	2.892	2.560	2.440	4.000	1.77
519	Diger	Diger	3 GP	53,0	114,2	300,0	89.8	1550.00	2.14	6.890	11.680	.529	1.272	2.530	.470	1.250	.42
520	Diger	Diger	3 incesu	49,5	112,5	428,8	36.9	10000.00	10.21	50.960	19.420	.226	3.049	2.560	2.440	4.000	1.77
521	Diger	Diger	4 Gesi	49,5	111,8	362,0	49.1	6580.00	8.96	33.530	16.500	.338	2.277	2.540	1.110	2.300	1.14
522	Diger	Diger	4 incesu	49,5	110,0	363,4	47.3	5472.00	7.74	27.880	16.840	.329	2.326	2.560	2.440	4.000	1.77
523	Diger	Diger	5 Gesi	53,0	114,8	418,2	51.8	4936.00	6.34	21.940	16.190	.350	2.216	2.540	1.110	2.300	1.14
524	Diger	Diger	5 incesu	49,5	112,2	376,7	45.9	4756.00	7.82	24.240	17.110	.319	2.444	2.560	2.440	4.000	1.77
525	Diger	Diger	6 incesu	53,0	115,0	403,3	58.6	4938.00	6.05	21.950	15.590	.379	1.962	2.560	2.440	4.000	1.77
526	Diger	Diger	El-10Gesi	49,5	106,5	304,0	73.5	4016.00	5.50	20.470	14.550	.418	1.449	2.550	1.110	2.300	1.14
527	Diger	Diger	El-11 Gesi	49,5	111,5	311,1	58.5	4450.00	5.70	22.680	14.220	.431	1.906	2.550	1.110	2.300	1.14
528	Diger	Diger	El-12Gesi	53,0	111,3	401,1	56.6	4260.00	5.94	18.940	16.020	.359	1.966	2.550	1.110	2.300	1.14
529	Diger	Diger	El-13incesu	53,0	114,3	438,7	47.8	4140.00	7.90	18.400	17.060	.318	2.391	2.550	2.440	4.000	1.77
530	Diger	Diger	El-14Gesi	53,0	114,7	416,3	56.2	3416.00	6.94	15.180	16.130	.355	2.041	2.550	1.110	2.300	1.14
531	Diger	Diger	El-15Gesi	49,5	113,0	365,0	51.9	3010.00	5.38	15.340	16.460	.342	2.177	2.550	1.110	2.300	1.14
532	Diger	Diger	El-16Gesi	49,5	116,6	365,7	56.8	3158.00	5.99	16.090	15.980	.363	2.053	2.560	1.110	2.300	1.14
533	Diger	Diger	El-17Gesi	53,0	113,2	402,5	56.5	3665.00	5.43	16.290	15.810	.365	2.004	2.540	1.110	2.300	1.14
534	Diger	Diger	El-18Gesi	49,5	115,2	320,9	64.9	2430.00	5.49	12.380	14.200	.430	1.775	2.540	1.110	2.300	1.14
535	Diger	Diger	El-19Gesi	49,5	117,4	318,5	78.5	2330.00	5.58	11.870	13.820	.445	1.496	2.540	1.110	2.300	1.14
536	Diger	Diger	El-1GP	53,0	116,6	306,0	95.5	980.00	2.39	4.360	11.670	.534	1.221	2.550	.470	1.250	.42
537	Diger	Diger	El-20Gesi	49,5	117,3	299,8	79.3	3124.00	5.85	15.920	13.020	.477	1.479	2.540	1.110	2.300	1.14
538	Diger	Diger	El-21Gesi	49,5	113,0	312,0	67.4	2380.00	5.60	12.130	14.070	.435	1.677	2.540	1.110	2.300	1.14
539	Diger	Diger	El-22incesu	53,0	120,0	438,1	55.5	5650.00	8.90	25.110	16.230	.354	2.162	2.560	2.440	4.000	1.77
540	Diger	Diger	El-23Gesi	53,0	121,0	375,0	84.9	3268.00	5.80	14.530	13.780	.447	1.425	2.540	1.110	2.300	1.14
541	Diger	Diger	El-24incesu	53,0	113,0	448,0	45.7	6013.00	8.10	26.730	17.620	.298	2.473	2.560	2.440	4.000	1.77
542	Diger	Diger	El-25incesu	53,0	114,5	456,1	45.8	4463.00	7.90	19.840	17.710	.295	2.500	2.560	2.440	4.000	1.77
543	Diger	Diger	El-26incesu	53,0	114,0	409,1	55.5	3240.00	7.60	14.400	15.950	.365	2.054	2.560	2.440	4.000	1.77
544	Diger	Diger	El-27Gesi	53,0	114,5	424,4	51.9	3064.00	4.80	13.620	16.480	.339	2.206	2.540	1.110	2.300	1.14
545	Diger	Diger	El-28incesu	53,0	113,0	400,4	55.0	3900.00	6.53	17.340	15.750	.373	2.055	2.560	2.440	4.000	1.77
546	Diger	Diger	El-29incesu	53,0	107,0	391,5	52.8	5100.00	6.29	22.670	16.260	.352	2.027	2.560	2.440	4.000	1.77
547	Diger	Diger	El-2GP	53,0	114,0	300,7	88.4	1020.00	2.07	4.530	11.720	.531	1.290	2.550	.470	1.250	.42
548	Diger	Diger	El-30incesu	53,0	114,5	406,7	54.9	5683.00	7.84	25.260	15.790	.371	2.086	2.560	2.440	4.000	1.77
549	Diger	Diger	El-31Gesi	53,0	109,2	390,9	52.6	3764.00	5.12	16.730	15.910	.361	2.076	2.540	1.110	2.300	1.14
550	Diger	Diger	El-32Gesi	53,0	112,5	389,9	57.3	3850.00	5.84	17.110	15.410	.382	1.963	2.540	1.110	2.300	1.14
551	Diger	Diger	El-33incesu	49,5	113,5	409,4	52.1	5520.00	8.72	28.130	18.380	.268	2.179	2.560	2.440	4.000	1.77
552	Diger	Diger	El-34incesu	53,0	116,0	491,6	40.6	8770.00	10.19	38.980	18.840	.250	2.857	2.560	2.440	4.000	1.77
553	Diger	Diger	El-35incesu	49,5	117,4	419,2	44.4	5400.00	8.50	27.520	18.200	.275	2.644	2.560	2.440	4.000	1.77
554	Diger	Diger	El-36incesu	53,0	114,0	489,5	41.5	5814.00	8.90	25.840	19.090	.240	2.747	2.560	2.440	4.000	1.77
555	Diger	Diger	El-37incesu	53,0	113,4	482,6	40.6	8482.00	9.79	37.700	18.920	.246	2.793	2.560	2.440	4.000	1.77
556	Diger	Diger	El-38incesu	49,5	114,5	372,8	53.4	4790.00	8.64	24.410	16.590	.339	2.144	2.560	2.440	4.000	1.77
557	Diger	Diger	El-39incesu	49,5	114,0	384,4	44.8	8348.00	9.07	42.540	17.180	.316	2.545	2.560	2.440	4.000	1.77
558	Diger	Diger	El-3GP	53,0	105,8	296,7	79.4	930.00	2.23	4.130	12.470	.502	1.332	2.550	.470	1.250	.42
559	Diger	Diger	El-40incesu	53,0	114,3	447,9	48.4	5955.00	7.20	26.470	17.420	.306	2.362	2.560	2.440	4.000	1.77
560	Diger	Diger	El-41incesu	53,0	113,0	483,8	42.2	6235.00	7.88	27.720	19.030	.242	2.678	2.560	2.440	4.000	1.77
561	Diger	Diger	El-42incesu	49,5	113,0	407,9	41.5	5853.00	8.56	29.830	18.390	.267	2.723	2.560	2.440	4.000	1.77
562	Diger	Diger	El-43incesu	49,5	114,4	390,6	47.3	4810.00	7.06	24.510	17.400	.307	2.419	2.560	2.440	4.000	1.77
563	Diger	Diger	El-44incesu	49,5	113,0	410,3	41.5	5510.00	8.48	28.080	18.500	.263	2.723	2.560	2.440	4.000	1.77
564	Diger	Diger	El-45Talas	53,0	115,5	385,4	60.5	2462.00	4.24	10.940	14.830	.402	1.909	2.530	1.110	2.300	1.14
565	Diger	Diger	El-46Gesi	53,0	117,8	427,6	58.6	3926.00	5.99	17.450	16.140	.352	2.010	2.540	1.110	2.300	1.14
566	Diger	Diger	El-47Gesi	53,0	114,0	365,5	67.9	2906.00	5.61	12.920	14.250	.428	1.679	2.540	1.110	2.300	1.14
567	Diger	Diger	El-48Gesi	53,0	114,0	419,3	52.7	2142.00	5.42	9.520	16.350	.344	2.163	2.540	1.110	2.300	1.14
568	Diger	Diger	El-49Gesi	49,5	111,0	324,1	56.4	2230.00	5.05	11.360	14.880	.400	1.968	2.530	1.110	2.300	1.14
569	Diger	Diger	El-4incesu	53,0	117,0	399,0	60.2	5206.00	7.90	23.140	15.160	.394	1.944	2.550	2.440	4.000	1.77
570	Diger	Diger	El-50GP	53,0	117,2	311,1	90.6	1100.00	2.60	4.890	11.800	.524	1.294	2.530	.470	1.250	.42
571	Diger	Diger	El-5incesu	53,0	116,8	418,7	48.7	5660.00	8.80	25.160	15.930	.363	2.398	2.550	2.440	4.000	1.77
572	Diger	Diger	El-6GP	53,0	110,7	285,3	82.5	1100.00	2.34	4.890	11.460	.542	1.342	2.550	.470	1.250	.42
573	Diger	Diger	El-7Gesi	53,0	116,0	375,5	66.1	5350.00	6.10	23.780	14.390	.425	1.755	2.550	1.110	2.300	1.14
574	Diger	Diger	El-8Yumuþak	53,0	118,7	436,6	57.5	5400.00	8.30	24.000	16.350	.346	2.064	2.550	2.440	4.000	1.77
575	Diger	Diger	El-9 Gesi	49,5	106,8	296,0	66.2	4513.00	6.40	23.000	14.120	.435	1.613	2.550	1.110	2.300	1.14
N	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Cemal ACAR, 08.07.1965 de Sivas'da doğdu. İlk ve orta okul eğitimini Urfa'da ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1983 yılında Göztepe Mehmet Beyazıt Lisesi, Fen Bölümünden mezun oldu. 1984 yılında başladığı Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümününden 1990 şubat döneminde mezun oldu. 1990 yılında Sistem Proje Müh. Mim.Tic. Ltd. Şti.nde statik proje mühendisi olarak çalıştı ve 10 dan fazla konuta ait statik proje ve teknik uygulama sorumluluğunu yaptı. 1990-1991 yılları arasında STFA inşaat A.Ş'nin Kınalı-Sakarya arası otoyol inşaatında saha mühendisi olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin üstlendiği İzmit-Sakarya arası yol yapım işlerinin yanı sıra altgeçit-üstgeçit projeleri ve öngermeli köprü projelerinde aktif rol aldı. 1991-1992 yılları arasında YÖK'ün Dünya bankası endüstriyel eğitim projesini kazandı ve İngiltere'de 9 ay yabancı dil ve inşaat mühendisliği laboratuvar eğitimi alarak yurda döndü. Socrates ve Erasmus koordinatörü olarak Erciyes üniversitesinde görev aldı. Şu anda Erciyes Üniversitesinde akademisyen olarak çalışmaktadır.

EK-3 DIŞ KAPAK YANI

M.CEMAL ACAR

KAYSERİ TÜFLERİNİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE YAPAY ZEKA TEKNİĞİYLE MODELLENMESİ

ARALIK 2011