

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
ZEKÂ TEKNİĞİYLE MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

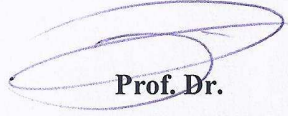
İnş. Yük. Müh. Mehmet Cemal Acar

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez. 15./12./2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Zeki GÜNDÜZ
Jüri Başkanı



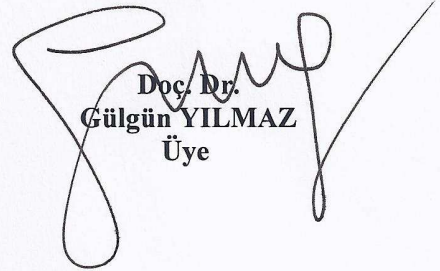
Prof. Dr.
İsmail Hakkı CEDİMOĞLU
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Mansur SÜMER
Üye



Prof. Dr.
Sami ARSOY
Üye



Doç. Dr.
Gülgün YILMAZ
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 çalışmalarına 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 İlgili 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 Cürufur 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 Deneyle 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 tuf numunesinin (karot) çapı |
| L | Karot uzunluğu |
| W | Karot kuru ağırlığı |
| t | L boyunca bir uçtan diğer uca V_p 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 |
| V_p | Karotun sismik P dalga hızı |
| Gs | Karotun Özgül Ağırlığı |
| Is50e | Karotun ortalama aksenal 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 doymunluk 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 v ile suya duyunluk ilişkisi | 28 |
| Şekil 2.11 | Yucca dağında Calico Hills, Bullfrogand Tram, doyun tüfleri | 29 |
| Şekil 2.12 | Numunelerin kırılma zamanını gösteren birim deformasyon hızı | 30 |
| Şekil 3.1 | Kayseri Tüflerde Gözlenen Fiemme yapısı | 42 |
| Şekil 3.2 | Kayseri-Talas da tuf kayası düşmeleri | 47 |
| Şekil 4.1 | Türkiye Haritasında Kayseri | 52 |
| Şekil 4.2 | Kayseri tuf bölgelerini gösteren jeolojik harita | 53 |
| Şekil 4.3 | Tuf 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. | Kompresometre ile Tüfün(gerilme)–(birim kısalma) diyagramı | 60 |
| Şekil 4.7 | Elastisite modülü ve poisson oranı için deney düzeneği | 61 |
| Şekil 4.8 | σ_{cc} , σ_{ci} , σ_{cd} ve σ_{ucs} kritik gerilmeleri altında oluşan deformasyonlar | 63 |
| Şekil 4.9 | Kayseri İncesu tufünün gerilme-deformasyon grafiği-LVDT | 64 |

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.10 | Kayseri Gesi tñfñnñ gerilme-deformasyon grafiği-Strain gauge | 64 |
| Şekil 4.11 | Kayseri İncesu tñfñ yñkleme boşaltma eğrisi | 65 |
| Şekil 4.12 | İncesu tñfñ 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 Tñflerinin üç eksenli basınç deneyi aşamaları | 70 |
| Şekil 4.16 | Brazillian deney dñzeneđi ile test öncesi ve sonrası örnekler | 71 |
| Şekil 4.17 | Brazillian deneyinde örneğe etkiyen kuvvetler ve örnek boyutları | 72 |
| Şekil 4.18 | Nokta yñkleme deney aleti ile eksenel ve çapsal tñf örnekleri | 73 |
| Şekil 4.19 | Çapsal ve Eksenel nokta yñkleme 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 sñrtñme 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 ASTM5313-92'e 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 göre Vp-Donma Çözülme Periyodu İlişkisi | 170 |
| Ek Şekil 3 | Kayseri İncesu tüfü Islanma-Kuruma-ağırlık kaybı çevrim sayısı ilişkisi | 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 tñfñnñn kaynaklanma derecesi için arazi tanımlaması | 21 |
| Tablo 3.1 | Dört volkanik kaya türñnñn kimyasal kompozisyonu | 36 |
| Tablo 3.2 | Kayseri tñflerine ait numunelerin kimyasal analiz sonuçları (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 İstatistik için Kullanılan Veriler (Eğitim ve Test) | 95 |
| Tablo 4.5 | Yılanlı dağı Dolgu Malzemesi Elek Analizi | 102 |
| Tablo 5.5 | 50x100x200 mm boyutunda Kayseri tñfleri üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi | 114 |
| Tablo 5.6 | Silindirik Kayseri tñflerine ait bazı örneklerin eğilmede çekme dayanımları | 115 |
| Tablo 5.1 | Kayseri Tñflerine ait Su içeriği, Özgöl Ağırlık, Birim Hacim Ağırlık, Ağırlıkça Su Emme Deney Sonuçları | 109 |
| Tablo 5.2 | Gesi Tñfü İçin Donma-Çözülme Deneyinde Kullanılan Numune Miktarları (TS699 Göre) | 111 |
| Tablo 5.3 | İncesu Tñfü için Donma-Çözülme Deneyinde Kullanılan Numune Miktarları (TS699 Göre) | 112 |
| Tablo 5.4 | Kayseri Tñflerinin üç eksenli (triaxial test) deney sonuçları | 113 |
| Tablo 5.7 | Kayseri Gesi Tñfü 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 (Br_t) değerleridir. Yapılan regrasyon ve yapay sinir ağları model analizlerinde, E veya UCS bağımlı değişkenlerinin tahmini için, bağımsız değişkenler olarak n, Vp, BHA, Is(50)e, Is(50)c ve Br_t gibi geoteknik parametreleri kullanılmıştır. Yapay sinir ağları modellerinde, en yüksek determinasyon katsayısı (R²) 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 yapıllı yolların alt temel dolgu malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufunun yol dolgularında alt temel malzemesi olarak başarıyla kullanılabilceği 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 strength, indirect tension strength, seismic 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 (V_p), elasticity (Young's) modulus (E), dry unit weight (BHA), porosity (n), axial point load strength ($I_s(50)_e$), diametral point load strength ($I_s(50)_c$) 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 , V_p , BHA, I_{se} , I_{sc} 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 flexible 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 karşılaşmaktadır. 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 tuf 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. Tuf 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 değerlerin karşılaştırılması (Servis Limit Tasarım).

Bu tasarımlar, zeminin geoteknik özellikleri göz önünde bulundurularak yapılır. 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 malzemedен 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 anlatılmıştır. 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 laboratuvar 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 istatistiksel 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 tasarımı, Young modülü (E), Poisson oranı (ν), tek eksenli basınç dayanımı (UCS) gibi tasarım parametreleri, rutin olarak belirlenen bazı elastik sabitlerdir. Kayaçların sınıflandırılmasında temel alınan bu özellikler, klasik yöntemlerle yerinde yada laboratuvar ortamlarında elde edilmektedir. Arazi koşullarında yaşanan güçlükler nedeniyle tüm bu özelliklerin belirlenmesinde sorunlarla karşılaşmaktadır. Bunun yerine, sağlam kaya blokları laboratuvar ortamına getirilerek, deneyler için uygun numuneler elde edilmektedir. Ancak, bu parametrelerin, güvenilir olması için, numunelerin standartlara uygun hazırlanması, tecrübeli kişilerce, güvenilirliği 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 çökmesinden 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 parçalanmış 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. Piroklastikler çok değişik kriterlere göre adlanmakla birlikte, genel kriter dane boyudur. Bunlar, kül (<2 mm), lapilli (2-64 mm), bomba veya blok (>64 mm)'dir (Fisher, 1961). Diğer kriterler ise bileşim, köken ve gözenekliliktir. Volkanik kül, danelerin % 75 veya daha fazlasını oluşturan aynı kökenli veya tesadüfi kökene sahip değişik oranda vitrik, kristal veya litik parçalardan yapıldır (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 çökeltme 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 kayadır.

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 (Guatemala),

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 çökmesiyle 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 oluştuğu 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 yassılaştırmış 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 kırılğan 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 renkte tüfler vardır. Kaynaklanmış tüfler, (İgnimbirit tüf veya piroklastik kül akması) patlama kolonunun çökmesiyle, volkanik

malzemenin sıcak yoğun laminar 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 sıcaklıkta iken aniden soğuyan malzemelerden ince daneler oluşur, soğuma şekline ve içindeki gaz miktarına bağlı olarak oluşan danelerin kendi bünyelerinde değişik oranlarda boşluklar meydana gelmektedir (Lea, 1971). Boşluklu volkanik camsi yapıya sahip olan pomza taşı ısı ve ses yalıtım özeliği yüksek olan, birim hacim ağırlığı 1 den küçük doğal bir malzemedir (Neville, 1993).

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

2.4. Tuf Kayaların Statik ve Dinamik Özellikleri ve Teorisi

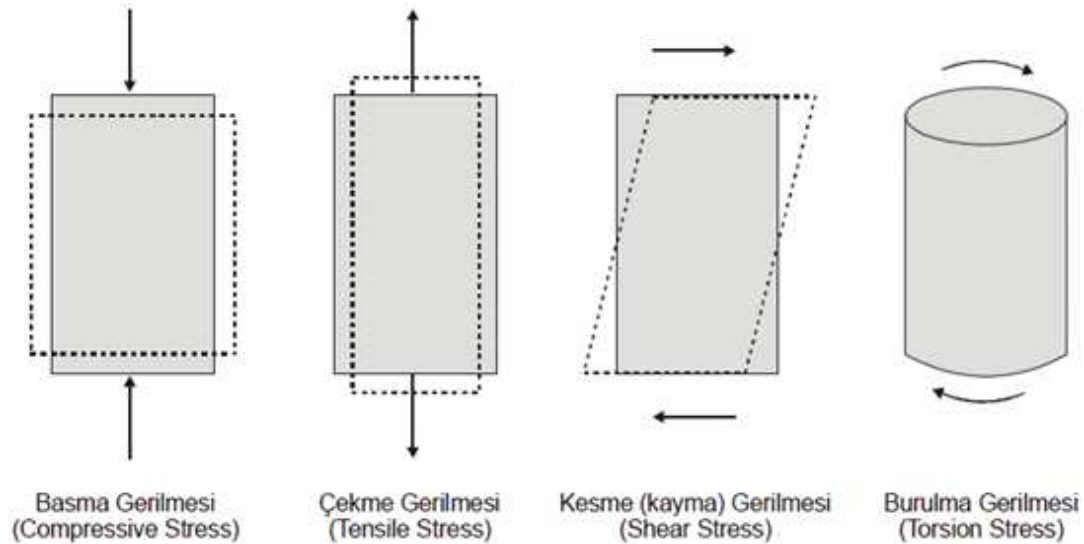
Bina, baraj, köprü, havaalanı, karayolları, tüneller gibi yapılar, temelleriyle irtibatlı olduğundan, yapıdan ve zeminden gelecek her türlü statik ve dinamik yükleri taşıyabilecek bir temel tasarımı yapılmalıdır. Yapı, kullanım süresi boyunca statik ve dinamik yüklere maruz kalır. Bu yüklerin zemine olan etkisinin belirlenmesinde arazi ve laboratuvar deneyleri uygulanır. Özellikle kaya zeminlerin geoteknik özelliklerinin bulunmasında laboratuvar deneylerinden faydalanılır. İnceleme bölgesinden alınan kaya kütesini temsil eden numuneler, laboratuvar ortamında test edilerek, arazideki zeminin gerçek davranışı tahmin edilmeye çalışılır. Bunun yanında, arazi ve laboratuvar ortamında uygulanabilen sismik kırılma gibi bazı tahribatsız deney yöntemleriyle de temel kaya derinliği, jeolojik yapıların kalınlıkları ve kaya tabakasının dinamik elastik parametreleri belirlenir. Burada tuf 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 laboratuvar 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/uzunluk²) ve SI cinsinden birimi N/m² yani pascal (Pa).dır.

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

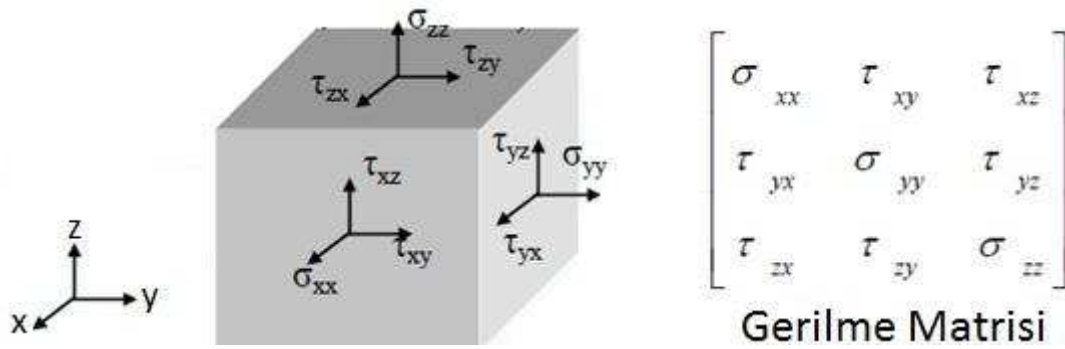


Şekil 2.1. İki boyutlu gerilme çeşitleri

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

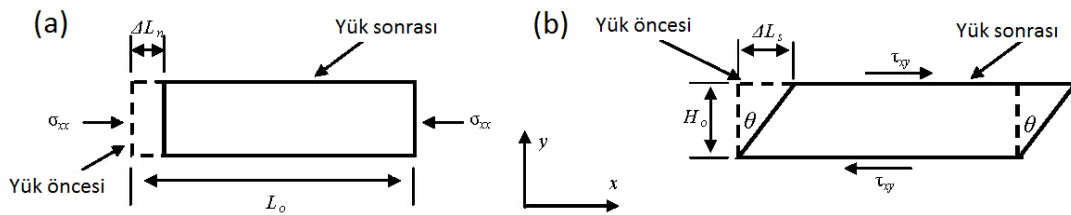
Burada;

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 $\tau_{ij} = \tau_{ji}$ olacağından gerilme matrisi aşağıdaki hale gelir ve denge halindeki bir cisim için $\tau_{zx} = \tau_{xz}$, $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ 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)

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Birim deformasyon ,} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L_n}{L_0} \\
 \text{Kayma birim deformasyon} \quad \gamma = \frac{\Delta L_s}{H_0}
 \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

ΔL_n =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

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.2)$$

Yukarıdaki formülü Hooke yasası olarak bilinir. Burada,

σ =Gerilme

E =Elastisite Modülü (Young Modülü)

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.

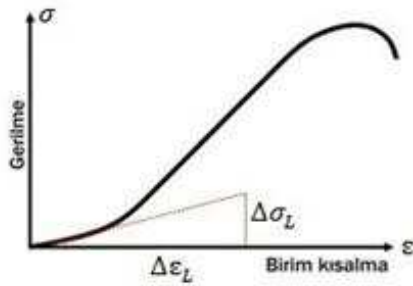
Elastisite modülü (E), tek eksenli basınç deneyi altında belirlenir. Numuneye uygulanan yükler yük hücresi ile, yatay ve düşey deformasyonlar ise gerinim pulu (strain gauge) ve/veya LVDT (linear variable differential transformer) ile data logger'a bağlanarak bulunmuştur. Kayaların, tek eksenli basınç 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 eğrisinin başlangıç 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

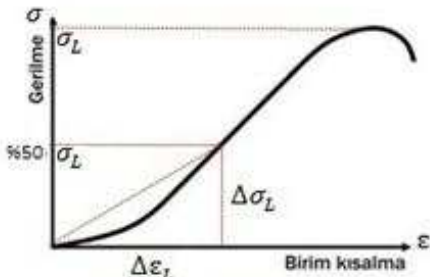
d) Ortalama Elastisite Modülü: Bu elastisite modülünde gerilme deformasyon eğrisinin doğrusal bölümünün eğimi hesaplanır.



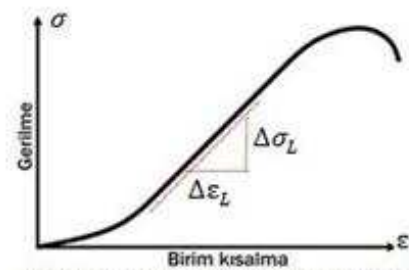
a) Başlangıç young modülü
(Initial young's modulus)



b) Teğetsel young modülü
(Tangent young's modulus)



c) Kiriş young modülü
(Secant young's modulus)



d) Ortalama young modülü
(mean young's modulus)

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.

$$K = \delta\sigma / \delta v \quad (2.3)$$

Poisson Oranı (Poisson's Ratio) ν , kaya kütlelerine 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 - ε 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 $\sigma_{yy}=\tau_{xy}=\tau_{yz}=0$ '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)

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_x}{E} \quad (2.5)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (2.6)$$

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

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_x + \nu\epsilon_y) \quad (2.7)$$

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

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \nu^2} (\nu\epsilon_x + \epsilon_y) \quad (2.8)$$

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

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

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)], \quad \epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)], \quad \epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (2.10)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \quad \gamma_{yx} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (2.11)$$

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 ν (poisson oranı) cinsinden ifade edilebileceğini söyleyebiliriz.

$$G = \frac{E}{2(1 - \nu)} \quad (2.12)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (2.13)$$

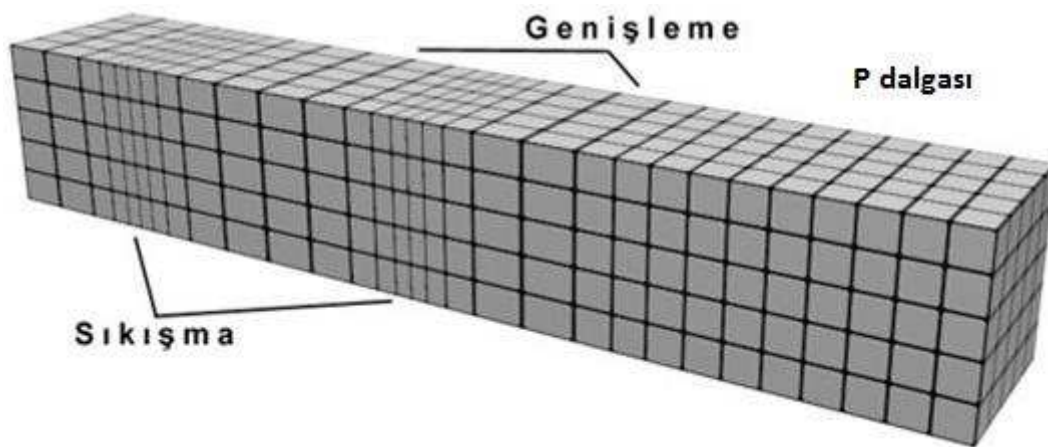
2.4.2. Dinamik özellikleri

Dinamik ve statik yüklere göre, kaya üzerine inşa edilen yapıların tasarımında, kayaların hem dinamik hemde statik elastik parametrelerinin 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.

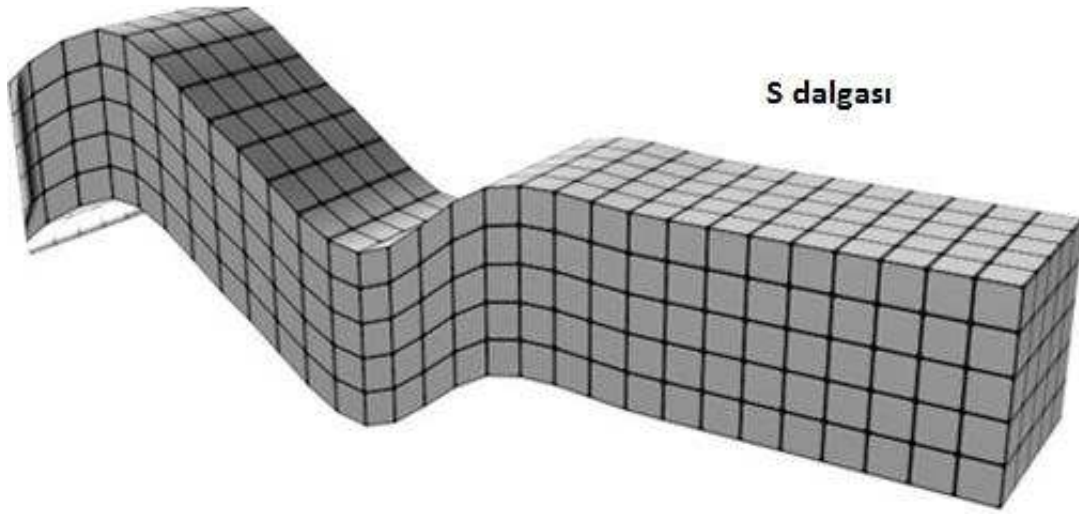
Sismik dalgalar, katı ve sıvılarda yayılan boyuna ve enine titreşim dalgaları ile iletilen elastik dalgalar olarak tanımlanır. Genellikle, sismik dalga yayılım özellikleri, malzemenin dinamik özelliklerine göre değişir. Sismik ölçümlerden yararlanarak, Elastisite (Young) modülü, Bulk modülü Kayma (Shear) modülü, Poisson oranı gibi kayanın dinamik parametreleri 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 yönde sıkıştırır. Bu dalgaların kaya içinden yayılımı, dinamik elastik parametrelerinin belirlenmesini sağlar.

Sismik yöntemler, arazide ve laboratuvarında 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 yansıtılarak 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.

Laboratuvarında yapılan sismik deney, silindirik şeklindeki karotların, cihazın transdüse uçları (sismik analizatörün alıcı-verici uçları) 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, V_p ve V_s sismik hız değerleri ölçüldükten sonra, zeminin Kayma modülü (G), Elastisite modülü (E), Sıkışma modülü (E_c), Hacimsel modül (K) ve Poisson oranı (ν) 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).

$$G = \rho V_s^2 \quad (2.14)$$

$$E_c = \rho V_p^2 \quad (2.15)$$

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

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

(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 tabakalarında 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 kullanılabilirliğinin 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 kayaların 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 tanesi 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 tufün 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 tufü için 5 farklı kaynaklanma halini sınıflamıştır. Yazarlara göre şekilsiz küçük bir tuf 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 tufünün kaynaklanma derecesi için arazi Tanımlaması (Wilson ve Hilreth 2003)

| Tufün Kaynaklanma Derecesi | Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm³) | Tufün 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.

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

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 tuf numunelerinin E değerlerini suya doymun 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, tuf kayası içinde açılmış mağaraların duvar ve tavanlarında ve bu tuf 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 laboratuvar deneylerinden faydalanılır. Literatür incelenerek, deney sonuçlarına etki eden faktörler etraflıca açıklanmıştır.

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

2.6.1. Numune boyutunun etkisi

Kayalar, diğ er yapı malzemeleriyle kıyaslandığında (Çelik, Alüminyum, beton) daha az homojen ve izotrop özellik gösterirler. Aynı tür kayalarda bile iç erdiği 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 süreksizliklerden dolayı değışik 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 laboratuvar 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 mekaniğı deneylerinde yaygın olarak NX boyutlarında (54.5 mm çap, yaklaşık 110 mm boy) numuneler kullanılmaktadır. Bu ebatların kullanılması her zaman doğru sonuçlar vereceğı anlamına gelmez. Doğru olan, çalışılan kayanın özelliklerini en iyi yansıtacak uygun numune boyutlarının seçilmesi 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.

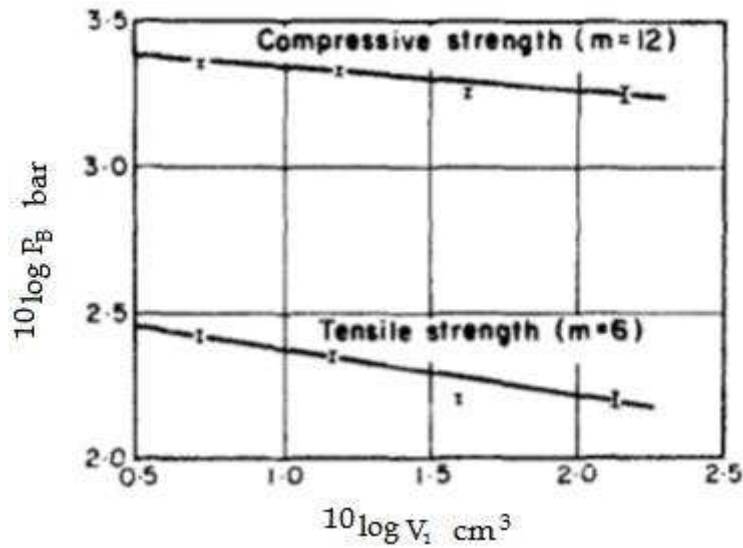
Bu çalışmada da, farklı boyutlarda silindir numuneler kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, aynı cins tüflerin basınç dayanımları ile numune boy değışimi arasındaki ilişki araştırılmıştır.

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 kabul görmüştür.

$$m \log \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \log \frac{V_1}{V_2} \quad (2.18)$$

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 değerinde 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.

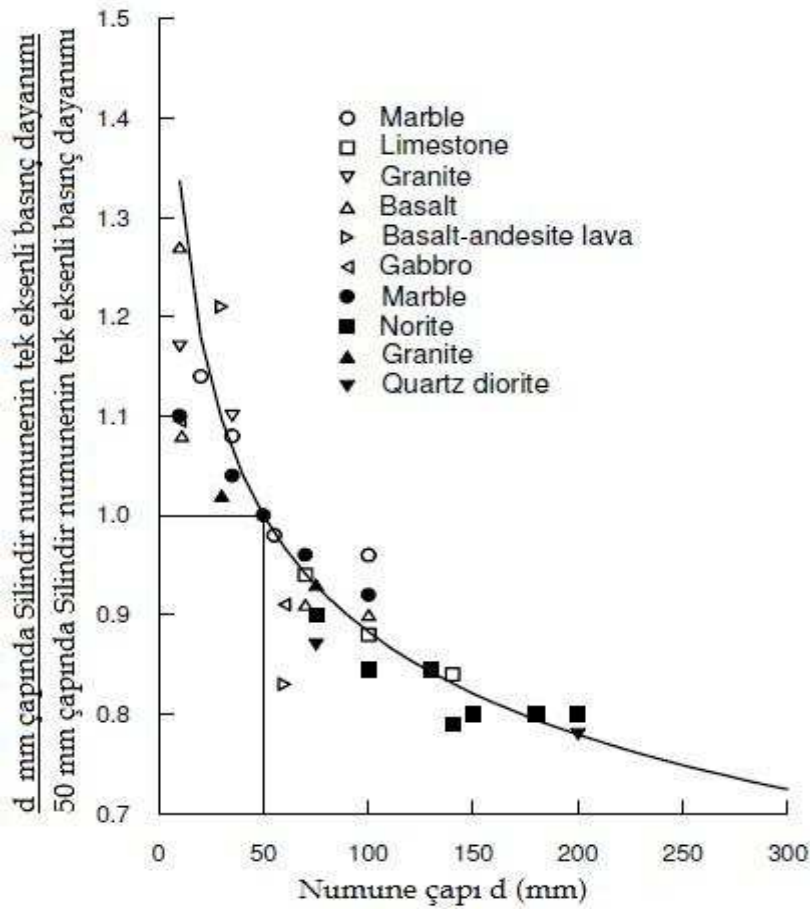
$$\sigma_c = \sigma_{c50} \left(\frac{50}{d} \right)^{0.18} \quad (2.19)$$

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 tuf 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.

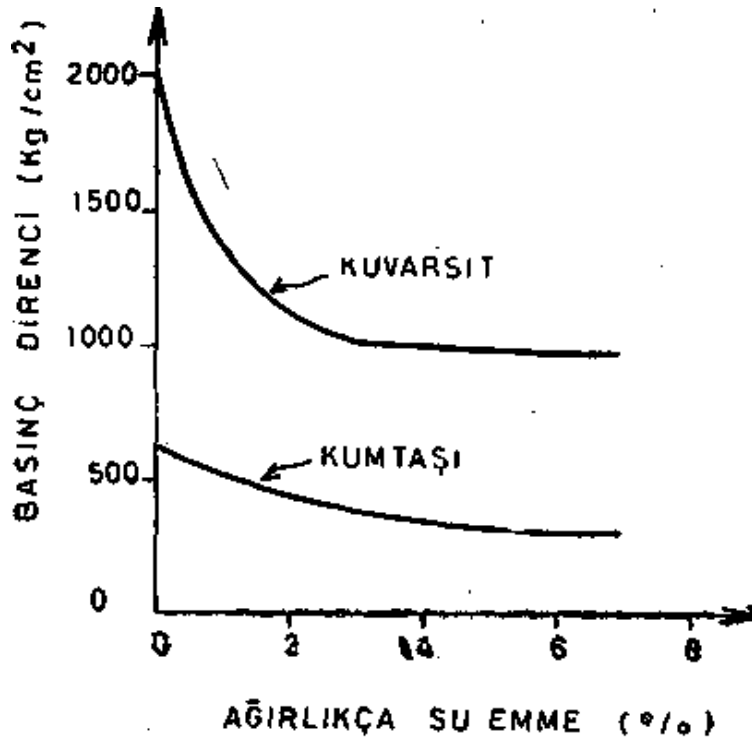
Hoskins ve Horino (1969), Dhir vd. (1972), Tang vd. (2000) gibi pek çok araştırmacı da yaptıkları çalışmalarında numune boyutlarının, mukavemet ve deformasyon özellikleri üzerindeki etkisini araştırmış ve yukarıda anlatılanlara benzer sonuçlar bulmuşlardır.

2.6.2. Suyu 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 direncine 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 kayaçların 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.

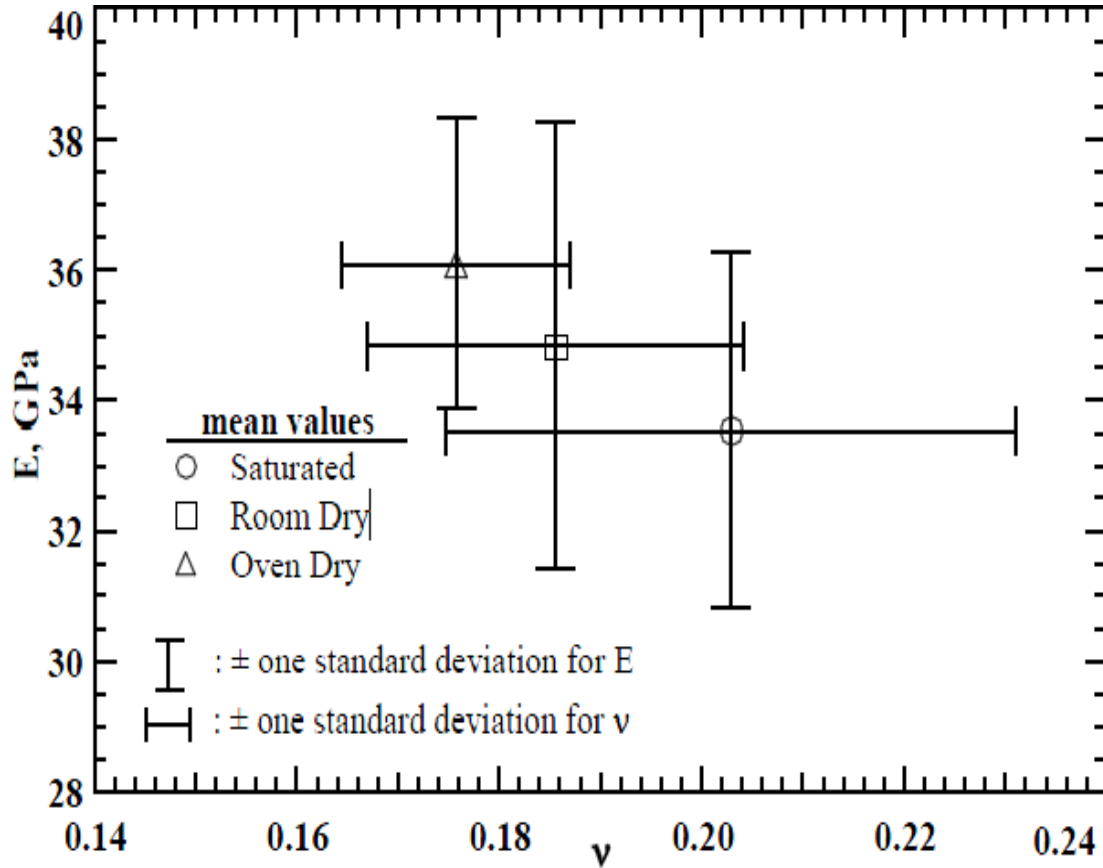


Şekil 2.9. Kumtaşı ve kuvarsitlerde su muhtevası ile tek eksenli basınç direnci arasındaki ilişki (Colback ve wiid, 1965)

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

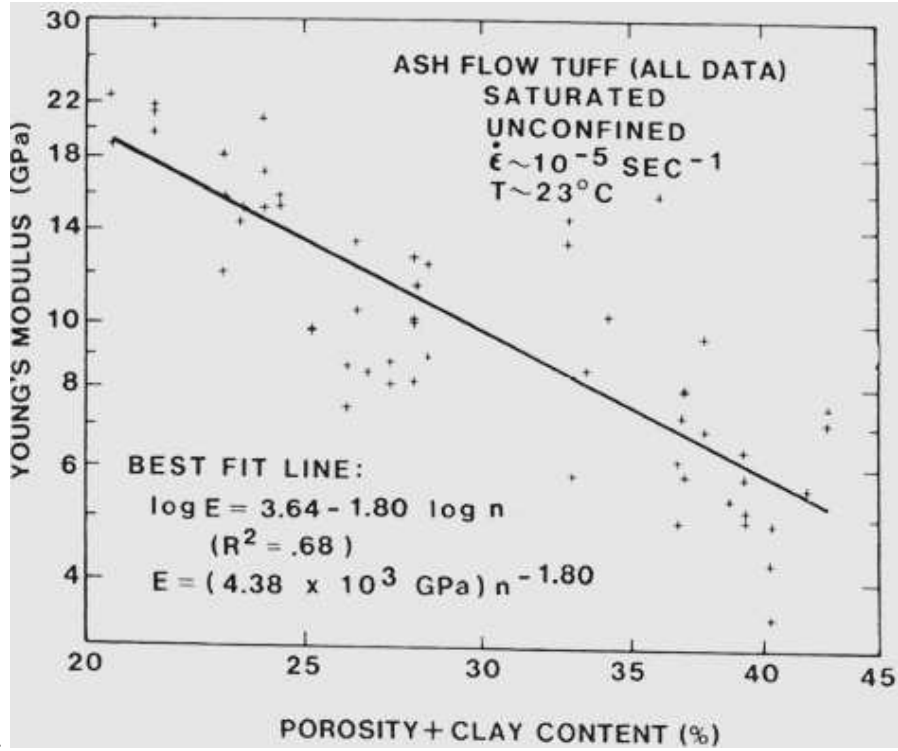
Mattin vd. (1993), suya doymun numunelerin kayma dalgası hızı (V_s), kuru numunelere göre %4 oranında daha düşük bulmuştur. Bunun yanında, basınç dalgası hızı (V_p) ise her ikisinde de aynı değerde sabit kalmıştır. Numunelerin su içeriğinin V_p 'ye etkisi olmamıştır.

Price (2004), boy/çap oranı yaklaşık 2 olan, çapları 26, 51, 82 ve 121 mm gelen, 120 adet tuf numunesini test ederek, numune boyutunun mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bunlardan 71 adedi, oda kurusu, etüv kurusu ve suya doymun 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 doymun durumda test edilen şeklinde sıralanır. Aralarında %4 gibi bir fark vardır (Şekil 2.10).

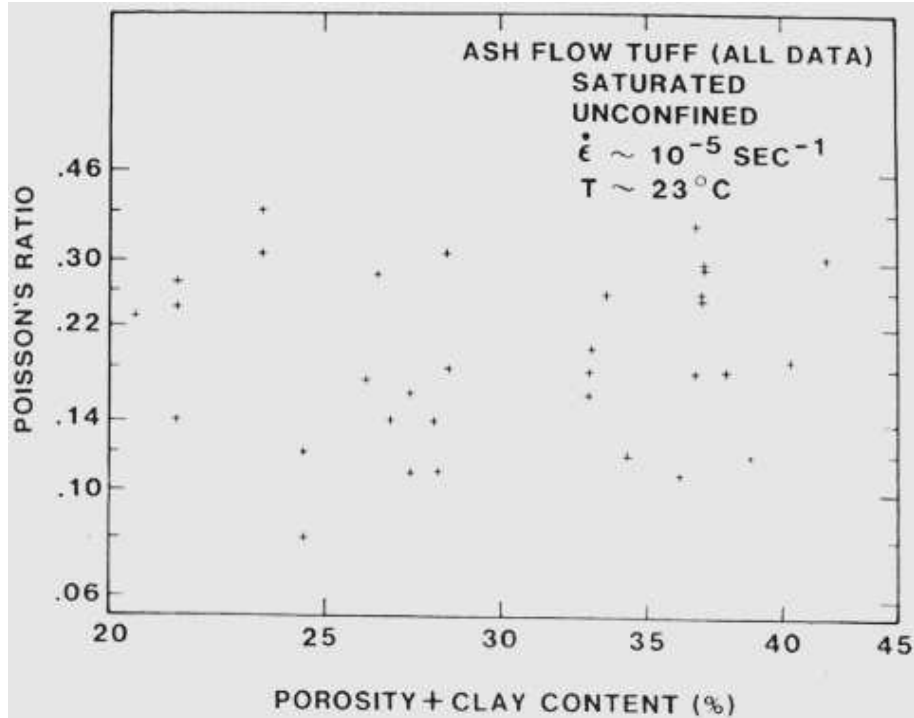


Şekil 2.10. Topopah Spring Tuff'e ait 71 örneğin E ve ν ile suya doygunluk ilişkisi Price, 2004. [Variations of Young's Modulus (E) and Poisson's Ratio (ν) of Seventy-One Lithophysal Specimens from the Topopah Spring Tuff (Ttptll) with Different Degrees of Saturation (after Price, 2004)]

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).



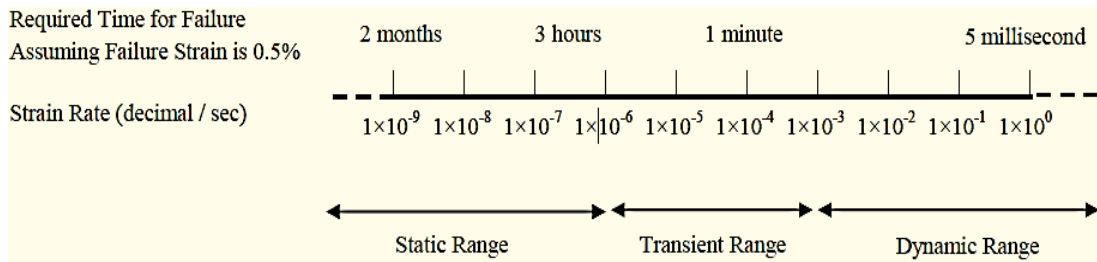
a) Elastik Modülü-Porozite ilişkisi (Price, 1983)



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

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

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



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

Statik yük sabit yük anlamına gelmez, sadece yük artışının yavaş olduğunu ifade eder. Eğer 10^{-3} /s yüklemeler hızı seçilirse, kırılma 2 saniye içinde gerçekleşir ve boşluk suyu kaçırmaya zaman bulamaz. Özetle, yüklemeler hızı arttıkça, 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 cürüfler 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 kullanılabilirdiği ve stabilizasyon malzemesi olarak kullanılması durumunda, karıştırıldığı zeminin mukavemetini arttırıcı etki yaptığını bulmuştur.

Bunun yanında killi zeminlerin, tuf 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 arttığını göstermiştir (Ene E. and Okagbue C., 2009, Kaya A. ve Durukan S., 2003).

Tuf atıkların veya kullanılacak tuf 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 incelenmesi anlatılmıştır. Ayrıca, volkanik cüruflar ve Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufu da detaylı olarak anlatılmıştır.

3.2. Kayseri Tüflerinin Jeolojik Oluşumu

Kayseri-Develi-İncesu arasında yer alan Erciyes dağı Volkanik masifi Erkilet yöresiyle birlikte yaklaşık 1500 km² 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 kubbelere 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 tuf örtüsü vardır (Ketin, 1983). Erciyes volkanik topluluğunun çeşitli evrelerinde püsküren piroklastikler ve ignimbitler çok uzak mesafelere kadar (100 km) yayılmışlar ve Orta Anadolu'nun karasal Neojen havzalarında kimi zaman karada kimi zamanda bir göl içinde yığılmışlardır. 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 yığılan piroklastiklerin oluşturduğu tüfler ve ignimbitler (kaynaklanmış tüfler) geniş alanlarda yaygındırlar. Volkanik ürünler karasal Neojen havzası içinde kimi zaman karada kimi zaman da göl içinde çökel kayalarla aralanmalı olarak yığılmışlardır. Kalınlıkları yüzlerce metreye erişen bu birimler içinde eski insanlar tarafından kiliseler, mağaralar, evler ve yeraltı şehirleri yapılmıştır. İhlara vadisi, Göreme, Üçhisar vb. mevkilerde bu yapılar çok ilginç görünümde dirler. Ayrıca yine yörede volkanitlerin daha sonra aşınmalarıyla oluşan peribacaları da doğada çok ender gözlenen oluşumlardır. Bölgedeki platolarda açılan vadi yamaçlarında yüzeylenen tuf, tüfit (tüfün taşınıp tekrar çökelmiş hali), ignimbit (kaynaklanmış tuf), lahar, volkan külü ve süngertaşı aralanmasından 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 oymalarıyla 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 stratigrafik kolon kesitte Geç Pliyosen yaşlı Koçdağ volkanitleri grubu içerisinde yer almaktadır. 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 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, Na₂O, K₂O, CaO, MnO, MgO, TiO₂, P₂O₅, H₂O ve CO₂'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, SiO₂ içeriğine göre olan sınıflandırmadır. Bu sınıflamada esas olarak irdelenen, kayaç yapısındaki silika içeriğidir, magmadan oluşmuş kayaçlarda SiO₂ 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. SiO₂ içeriğine göre kayaç oluşumları:

- 1) •%66 fazla SiO₂ içeren kayaçlar, asit kayaçlar
- 2) %66 - 52 SiO₂ içeren, kayaçlar, nötr kayaçlar
- 3) %52 - 45 SiO₂ 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 tuf bölgelerin çoğunda SiO₂ 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 | <i>Riyolit</i> | <i>Riyodasit</i> | <i>Dasit</i> | <i>Andesit</i> |
|--------------------------------|----------------|------------------|--------------|----------------|
| 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 ₂ O 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 ₂ O | 4,05 | 3,45 | 3,85 | 4,08 |
| K ₂ O | 4,72 | 3,70 | 3,25 | 1,18 |
| P ₂ O 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.



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

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 tuf ve kaynaklanmış tüflerden çeşitli numuneler almış ve kimyasal analizlerini yaparak sonuçlarını Tablo 3.2’de vermiştir.

Tablo 3.2. Kayseri tüflerine ait numunelerin kimyasal analiz sonuçları (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 ₂ O ₃ | 15,2 | 6,9 | 14,9 | 13,6 |
| Fe ₂ O 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 ₂ O | 4,3 | 1,3 | 3,9 | 3,4 |
| K ₂ O | 3,9 | 2,8 | 2,9 | 2,5 |
| P ₂ O ₅ | 0,17 | 0,05 | 0,09 | 0,07 |
| H ₂ O | 0,6 | 2,8 | 0,5 | 4,1 |
| CO ₂ | - | 21,3 | - | - |
| Toplam | 100,19 | 100,21 | 99,88 | 99,95 |

Açıklama:2:Kaynaklanmış tuf, Akdere kesiti-Erkilet, 5:Kaynaklanmış tuf (%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 \pm kuvars, \pm biyotit ve \pm 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 Şekli 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 fiemme 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 alüminyumca 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 kayaların Paleozoyik Erken Mesozoyik devirlerine ait olduğu, yöredeki volkanik ürünler gölgesel kıltaşı-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 Penec 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)

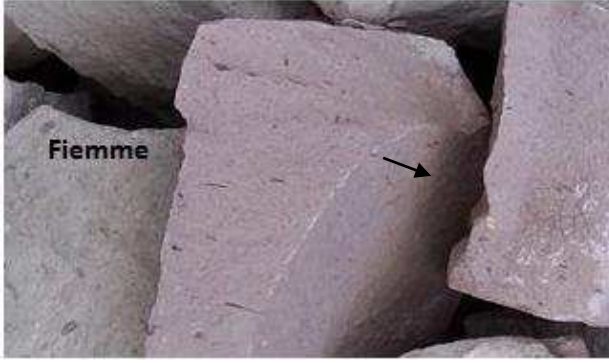
Erciyes volkanizmasının oluşumu, Koççağız köyü (Kayseri) dolayının stratigrafisi ve tüflerin yapı-kaplama taşı olarak kullanılabilirliği çalışılmıştır. (Duran, 2009)

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, literatürde 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 *flemme* adı verilen oluşumlar gözlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kayseri Tüflerinde Gözlenen Fiemme yapısı

Şev stabilitesi ve geoteknik mühendisliği bakımından çeşitli derecelerde kayanaktanmış 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 işaretler. Aşınma ve ayrışma (weathering), yer kabuğunu oluşturan kayaların, hava, su ve canlılar gibi etmenlerin kimyasal ve fiziksel etkileri sonucunda bozulup, dağılması olayıdır. Dolayısıyla, yamaçlarda bulunan bu tüflerin, suya karşı dayanıksız olduğu ve suya doymun durumunda iken şev ve yamaç kaymalarına ve kaya düşmelerine neden olabileceği düşünülmektedir.

Kayseri ve çevre illerde, yapı taşı olarak, Kayseri tüfleri (halk arasında, tuf taşı, yonu taşı veya Kayseri taşı olarak isimlendirilmektedir) kullanılır. Bunun yanında, bölgede tüfden başka traverten, bazalt ve bazalt kayrağı da bulunur. Özellikle tuf taşı kentin mimarisine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Genelde Kayseri taşı denildiğinde ilk akla gelen malzeme olan tuf 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 yılında yapılmış olmasına karşın halen dimdik ayakta ve bu hali ile yapıldığı malzeme olan tuf taşının düşey yükler altında, lokal olarak bazı yüzeysel aşınmalar görülmekle birlikte, ayrışmaya karşı dayanıklılığını uzun yıllar boyunca koruduğunu ispatlamıştır.

Kayseride 20 den fazla tuf taşı ocağı (ignimbrit) bulunmaktadır. Bu ocaklardan sarı, ala sarı, gri, kahverengi, siyah, pembe renkli ve bunların değişik tonların da tuf taşı çıkarılmaktadır. Tüfler, farklı renklerde olması genellikle mimari uygulamalara olanak sağlamaktadır. Bunlar plaka taş, pencere sövesi, kat silmesi, harpuşa, 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 taşta 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 genişlenebileceği 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 adımımda dahi un gibi dağılabilir. Sürtünerek aşınmalara karşı ise oldukça dayanıksızdır. Yerlerde döşeme kaplaması olarak kullanılması uygun değildir.

Tuf taşının en uygun kullanım yerleri insan eli ve ayağıyla birebir temas içerisinde olmayan yerlerdir. Örneğin yığma kağır 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, Mimarşinan, 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 yamaçlarla 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 çökerek 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 çıkarıcı taş ocağı faaliyet göstermektedir. Efkere'nin denizden yüksekliği yaklaşık 1250 m dir. Gesinin muhtelif yerlerinde tüflerin oyulmasıyla oluşmuş yeraltı şehirleri, kaya kilisesi, kaya mezarları, tümülüs ve höyükleri, kale tapınak kalıntıları 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 yassılaştırmış 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 farklı 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 gözlemlendiği , Kayseri , Nevşehir , Niğde civarındaki volkanik birimlerde yoğunlaşıyor.

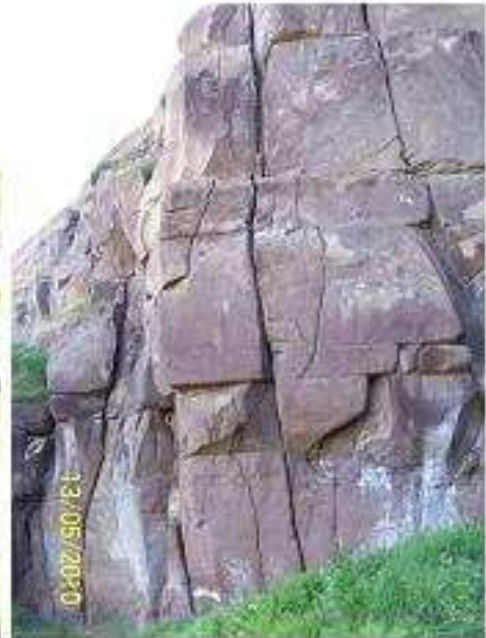
Kaya Düşmesi, eğimli yamaçlarda bulunan büyük kaya bloklarının, dış olayların etkisiyle düşmesi olayıdır. Doğa koşulları ile aşınma ve ayrışmaya uğramış tüf kaya blokların, altında gevşek tüfler bulunan bazalt tabakaları veya killi bir tabaka üzerinde bulunan kalker tabakaları, kaya düşmesi olaylarının sık sık görüldüğü yerlerdir. Aşınmaya dayanıksız kısmın aşınmasıyla altı boşalan tabakalarda oluşan büyük çatlaklar zamanla donma, çözülme ve güneşlenmenin etkisiyle giderek büyür, böylece parçalanmış 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 çözülme uğramasıdır.



a)



b)



c)

Şekil 3.2 Kayseri-Talas da tuf 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 yapıllı 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 tuf kayac türüdür. Volkanik cüruf agregalara, mineralojik ve petrografik yapısı nedeniyle scoria 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 kayalar 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 SiO₂, % 15,70 Al₂O₃, % 10,73 Fe₂O₃, % 8,84 CaO, % 11,92 Na₂O+K₂O, % 5,90 MgO ve %0,04 SO₃ bulunmaktadır. Volkanik cürufların rengi kırmızımtırak, kahverengi ve siyah olabilmektedir. Avustralya'nın birçok bölgesinde (Avusturya, Fransa, Almanya, İtalya) bulunan volkanik cüruflar, silika-aluminaalkalin bir kayadır (Venuat, 1980).

Volkanik cürufların, makroskopik özellikleri üzerine yapılan incelemelerde süngerimsi yapıda ve boşluklar birbirinden bağımsız gözenekler halindedir. Diğer bir deyişle gözenekleri birbiriyle bağlantısız boşlukludur. Bu özellikleri sebebiyle 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 mevcuttur. Özellikle, Kayseri'de bulunan Yılanlı dağı (1640 m) tamamen kırıntılı (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 laboratuvar 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 regrasyon ve yapay zeka tekniklerine dayalı yöntemler incelenmiştir. Son olarak agrega boyutundaki Kayseri Yılanlı dağı volkanik cürufunun, esnek üst yapıllı yollarda alt temel dolgu malzemesi olarak kullanımı için uygulanan zemin deneyleri anlatılmıştır.

4.2. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu

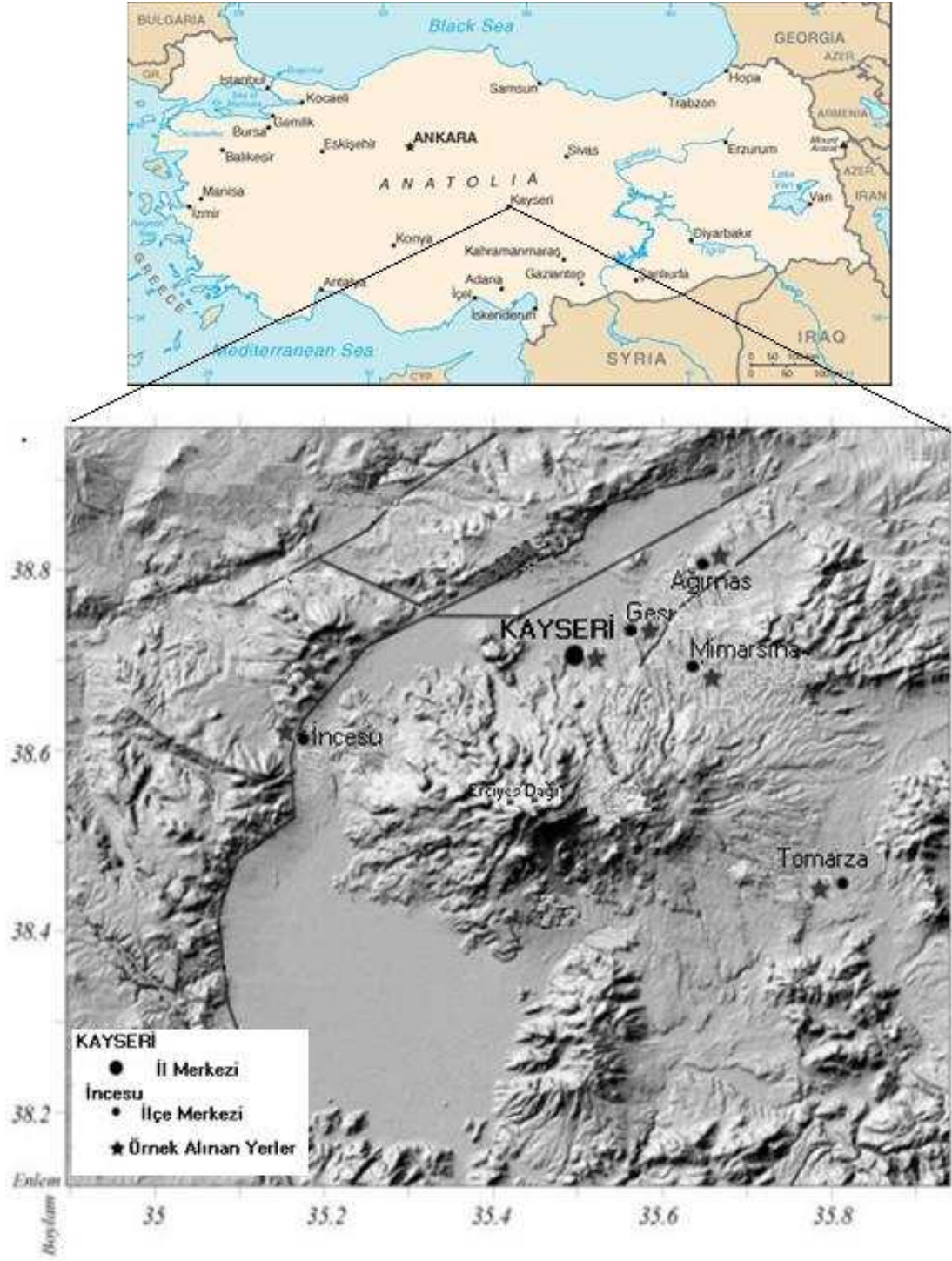
İnceleme alanı, Orta Anadolu'da Kayseri'nin il sınırları içinde, şehir merkezi, Talas, Gesi, Ağırnas, İncesu ve Tomarza bölgelerini içeren geniş bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1.1).

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.

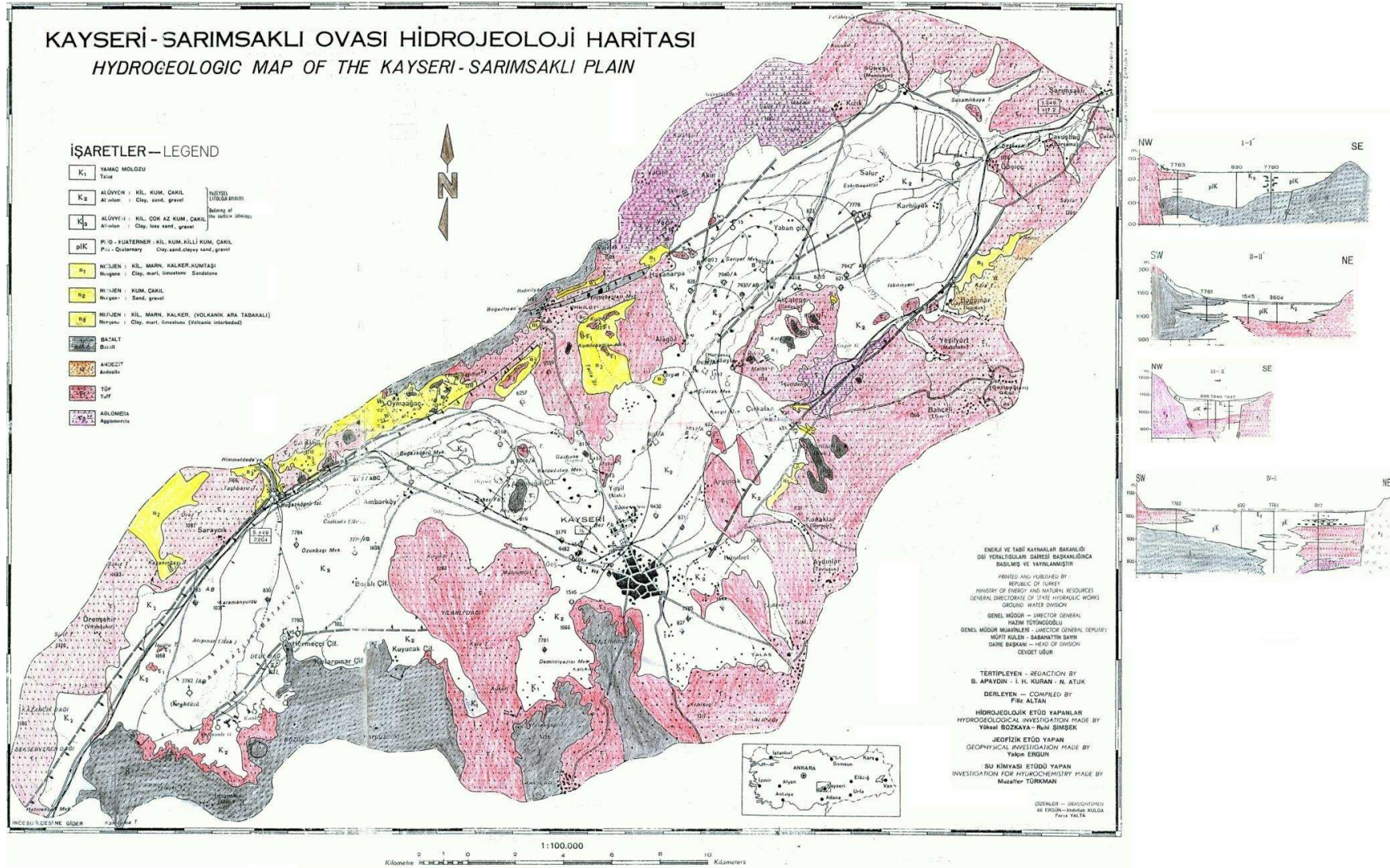
Neojen gölleri altındaki yanardağlardan çıkan lavlar, plato, göller ve akarsular üzerinde 100-150 m kalınlığında farklı sertlikte tüf tabakasını oluşturmuştur. Bu tabakanın bünyesinde tüften başka tüffit, ignimbirit tüf, lahar (volkanik çamur), volkan külü, kil, kumtaşı, marn, aglomera ve bazalt gibi jeolojik kayalar 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 km²'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 kayalar 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)

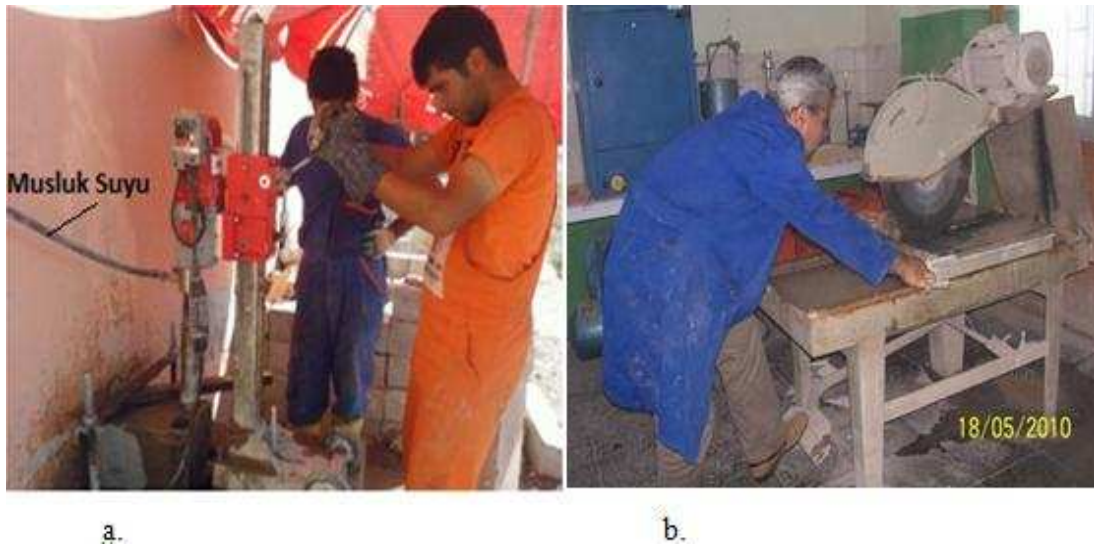


Şekil 4.2: Kayseri şehir Merkezinin yerleştiği 1055 m yüksekliğindeki Kayseri ovasının (Sarimsaklı ovası) tüf bölgelerini gösteren jeolojik harita. (D.S.İ. arşivinden alınmıştır)

4.3. Numunelerin Deneylere Hazırlanması

Çalışma alanı içerisinde Ağırnas, Gesi, Talas, Tomarza, ve İncesu civarında beş farklı bölgeden alınan kaya tufü örnekleri Erciyes Üniversitesi Zemin ve Kaya Mekaniği laboratuvarında 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 kütlelerini ve formasyonun özelliklerini içermesine özen gösterilmiştir. Test edilecek tufün 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 4.4'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. Tuf 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 tuf 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 ıslanma-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 laboratuvar 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.

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

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

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

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

Burada,

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

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

$W_{\text{batık}}$ = Suya doymun 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.

$$G_s = \frac{(w_2-w_1)}{(w_4-w_1)-(w_3-w_2)} \quad (4.4)$$

Burada,

w_1 =Piknometrenin Boş Ağırlığı (gr)

w_2 = Piknometre+10 no.lu elekten geçecek Şekil de öğütülmüş tüfün ağırlığı (gr)

w_3 =Piknometre+tüf+su ağırlığı (gr)

w_4 =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 kuru), doğal (naturel, arazideki) ve doygun (suya tamamen doygun) birim hacim ağırlıklar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

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

$$\gamma_n = \frac{W_{Arazi}}{V_{Tüm}} \quad \text{Doğal Birim Hacim Ağırlık,} \quad (4.6)$$

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

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).

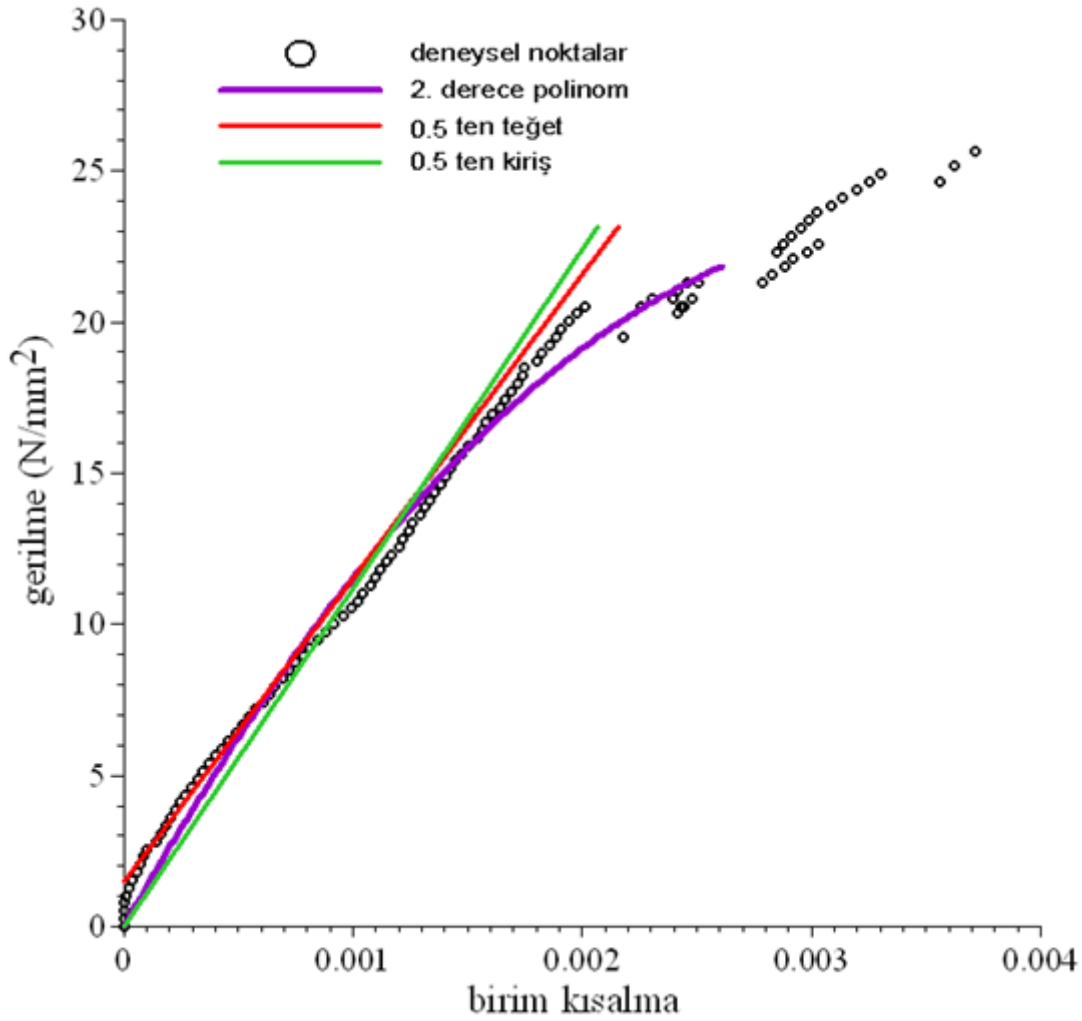


Şekil 4.5 Kayseri tüflerinin Kompresometre ile Elastisite modülü ve Poisson oranı deneyi

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

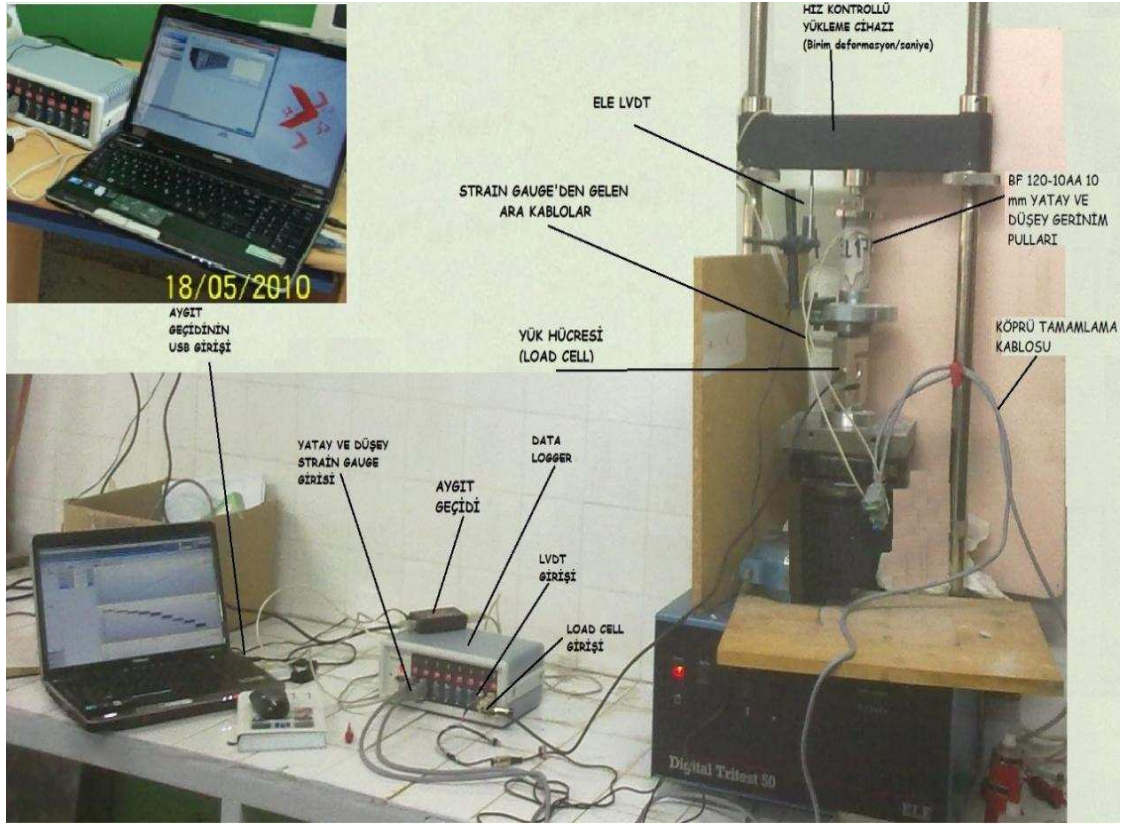
Kiriş Elastisite Modülü = 11229 N/mm² (MPa)=11,2 GPa bulunmuştur.



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 aksel 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 aksel 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. Standartlarda 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 yapılmıştır. 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.

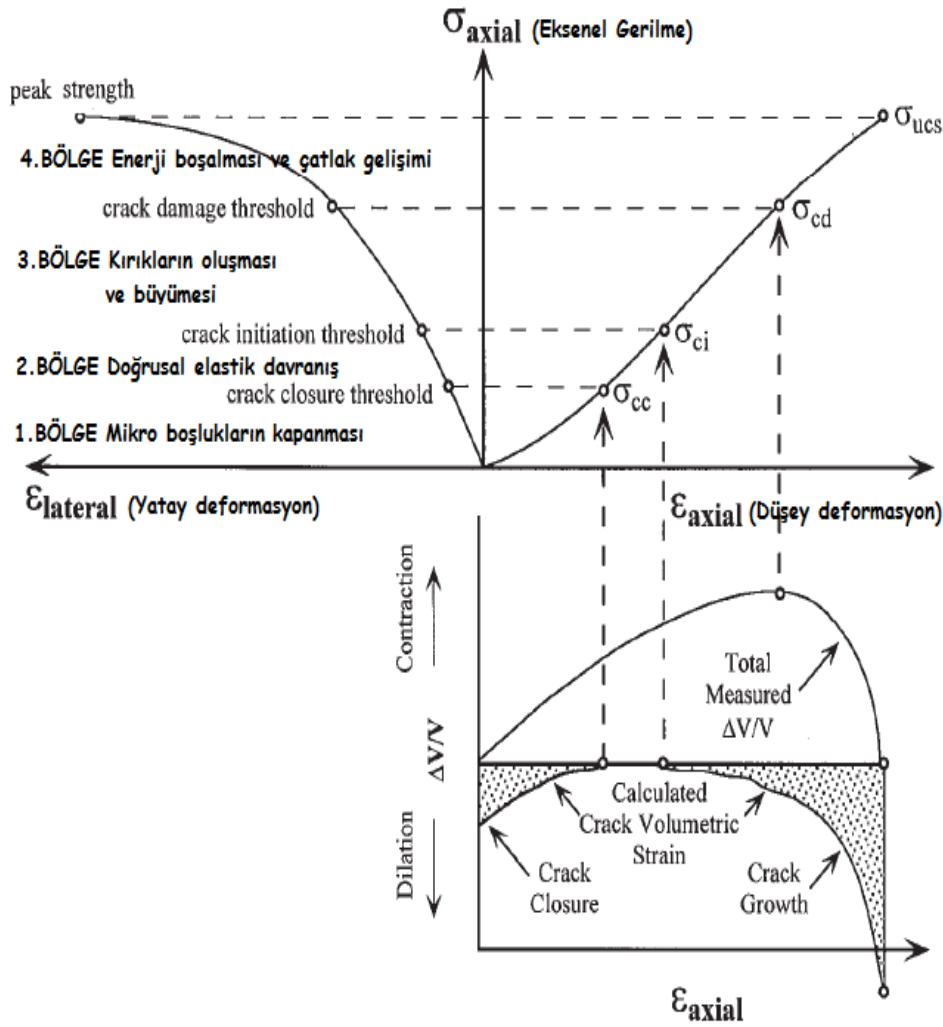
Böylece, sekiz kanallı TESTBOX 1001 isimli data-logger'ın dört kanalı kullanılmış ve bu kanallar sıfırlanarak deneye başlanmıştır. 5 ile 10 dakika arasında yenilmesini sağlayacak bir yükleme hızı (10^{-5} - 10^{-4} arası birim deformasyon/saniye hızında) seçilerek örnekler kırılmıştır. Gerinim pullarının (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 (ϵ_a)= $\Delta L/L_0$ eşitliğinden bulunur. Burada, Δl örneğin eksenel boyunca uzunluktaki değişimi (boydaki kısalma pozitif olarak tanımlanır), l_0 ise deney öncesi örneğin orijinal eksenel boyudur. Çapsal (çevresel) birim deformasyon (ϵ_d), $\epsilon_d = \Delta D/D_0$ eşitlikten hesaplanır. Burada, ΔD çaptaki değişim (çaptaki artış negatif olarak tanımlanır) ve D_0 ise örneğin deney öncesindeki (orijinal) çapıdır. Gerilimler (σ), her okuma aralığında kaydedilen P yük değerleri ve örneğin başlangıçtaki kesit alanı (A_0) esas alınarak, $\sigma = P/A_0$ ifadesinden hesaplanır. Gerilme (σ)-eksenel birim deformasyon (ϵ_a) ve gerilme (σ)-çapsal birim deformasyon (ϵ_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 - ϵ_a eğrisine teğet olan doğrunun eğimidir (Şekil 2.4b).

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

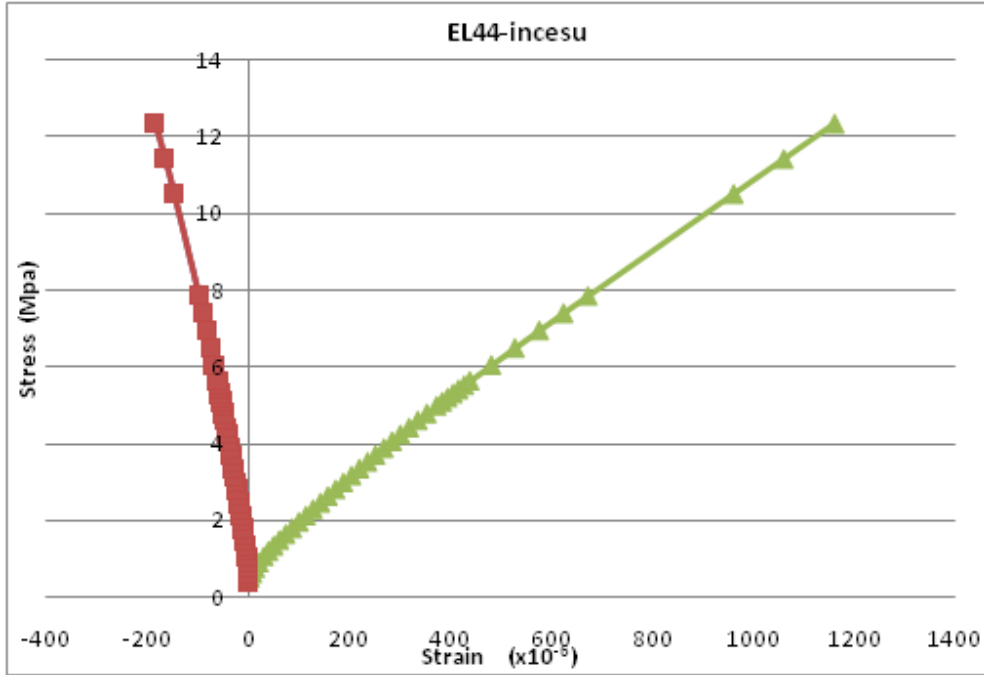
Tüm deneyler için laboratuarda, 800 civarında silindir karot örnekler hazırlanmıştır. Ancak, Kayseri tüflerini temsil edebilecek, geçerli kabul edilen deneyler sonunda 575 örneğin elastisite modülü hesaplanabilmiştir. Bunlardan 80 örneğe gerinim pulları bağlanarak elastisite ve poisson değerleri bulunmuştur. 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.

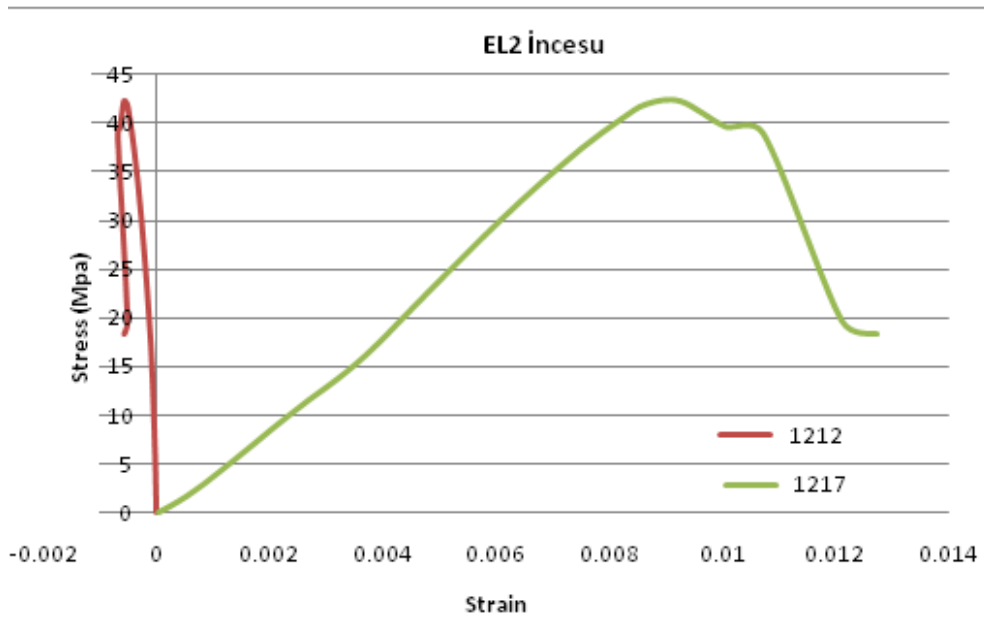


Şekil 4.8. σ_{cc} , σ_{ci} , σ_{cd} ve σ_{ucs} kritik gerilmeleri altında oluşan deformasyonlar (Eberhardt vd., 1998)

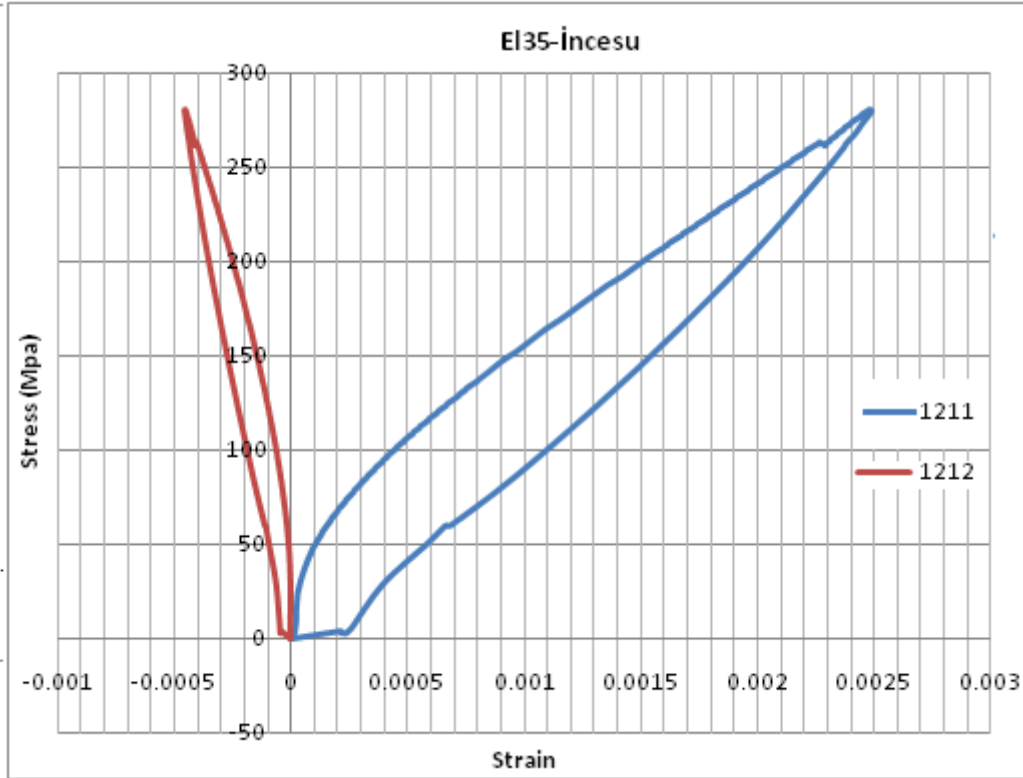
Kayseri Tüflerinin gerilme birim deformasyon davranışlarına örnekler aşağıda verilmiştir.



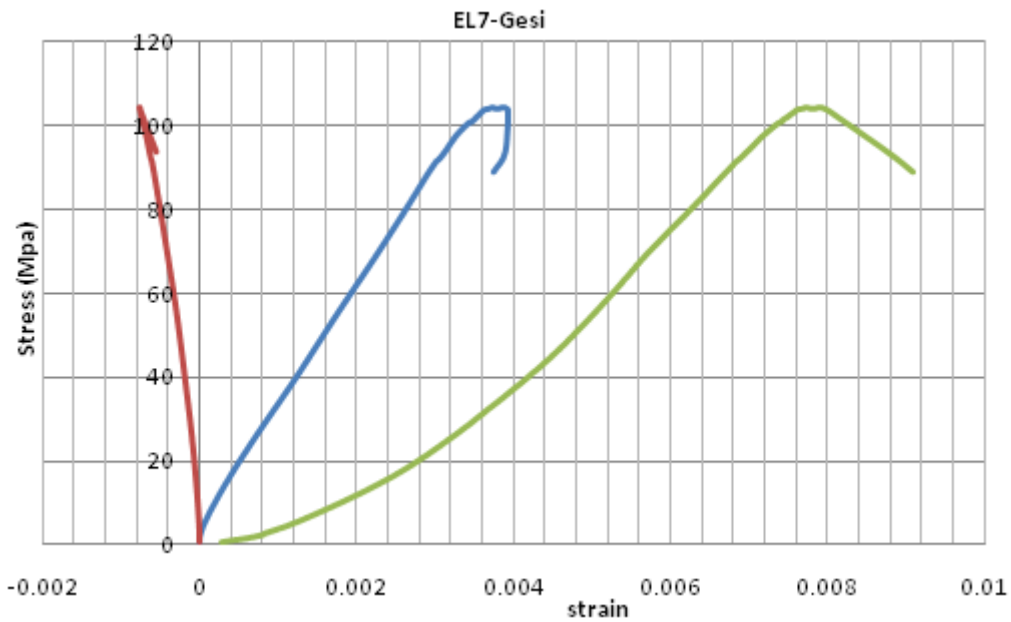
Şekil 4.9. Kayseri İncesu tufünün gerilme-yanal (sol taraf daki) ve aksenal (sağ taraftaki) deformasyon grafiği (her ikisinde strain gauge ile bulunmuştur)



Şekil 4.10. Kayseri İncesu tufünün gerilme-yanal ve aksenal deformasyon grafiği. (1212 yanal deformasyonu göstermekte ve strain gauge ile bulunmuştur, 1217 ise aksenal 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 tuf örnekler üzerinde yapılmıştır. Kayaçların basınç dayanımının bulunması, hem sınıflama hem de tasarım açısından oldukça gereklidir.

Kayaçların basınç dayanımına etki eden jeolojik özellikler;

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 4.13 Tek 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 güçlkle 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 kırılmaz ancak yontulabilir. | >250 |

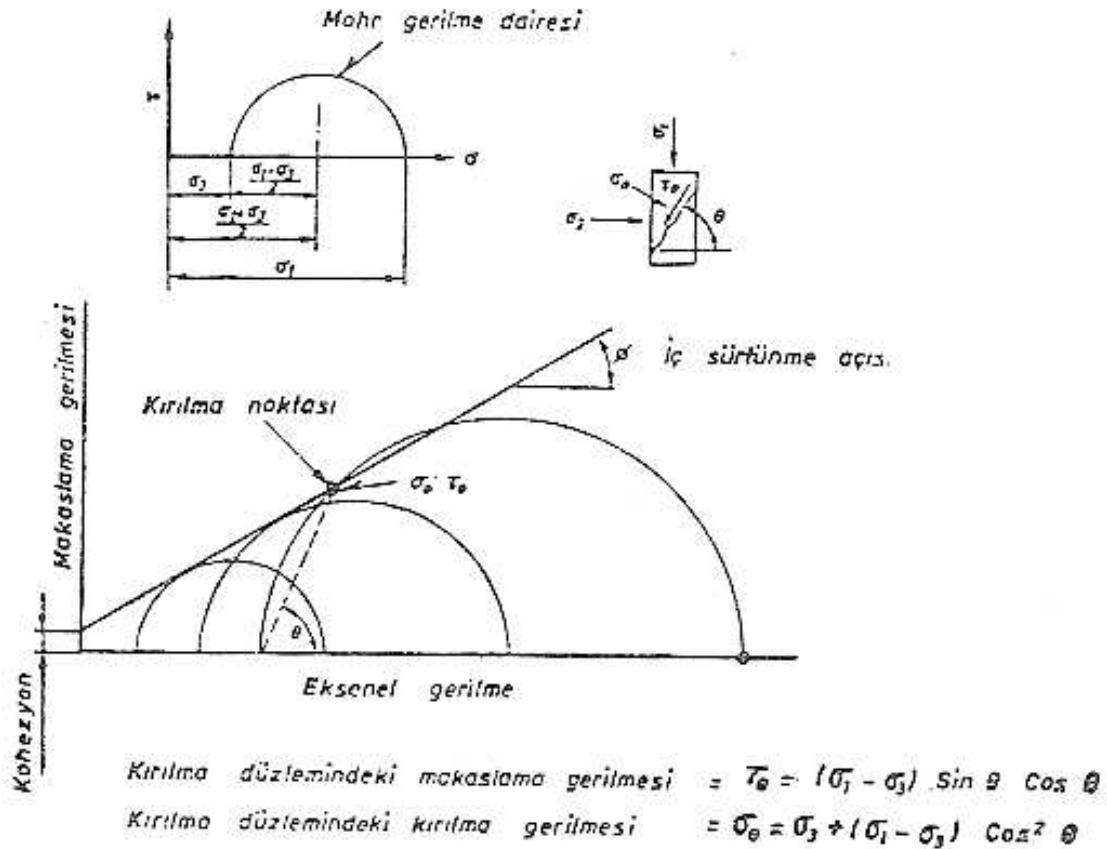
Yukarıdaki Tablo 4.1'e göre, tek eksenli basınçlara göre yapılan sınıflamada çok iyi kaynaklanmış İncesu tüfleri dışında genel olarak Kayseri tüfleri zayıf kaya grubuna girmektedir. Kayseri İncesu tüflerinin ise çok az kısmı zayıf kaya grubunda olmasına karşın büyük bir oranda orta derecede sağlam kaya 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 eksenini 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 degecek biçimde ayarlanmıştır. Yükleme, sürekli olarak, olabildiği kadar değişmez bir yükleme hızı ile kırılma işlemi yaklaşık 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 diyagram 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 tuf 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 daireesi çizilerek ortak doğrusal teğet bulunmuştur. Bu doğrunun yatay eksenle yaptığı açı, içsel sürtünme açısı olarak kabul edilmiştir. Zarfın dik eksenle kesişme noktasındaki değer tütün 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 deneyine 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 şekilde kullanılmaktadır (Ulusay vd., 2005).

Deformasyon hızı kontrollü test düzeneğinde, tuf 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.

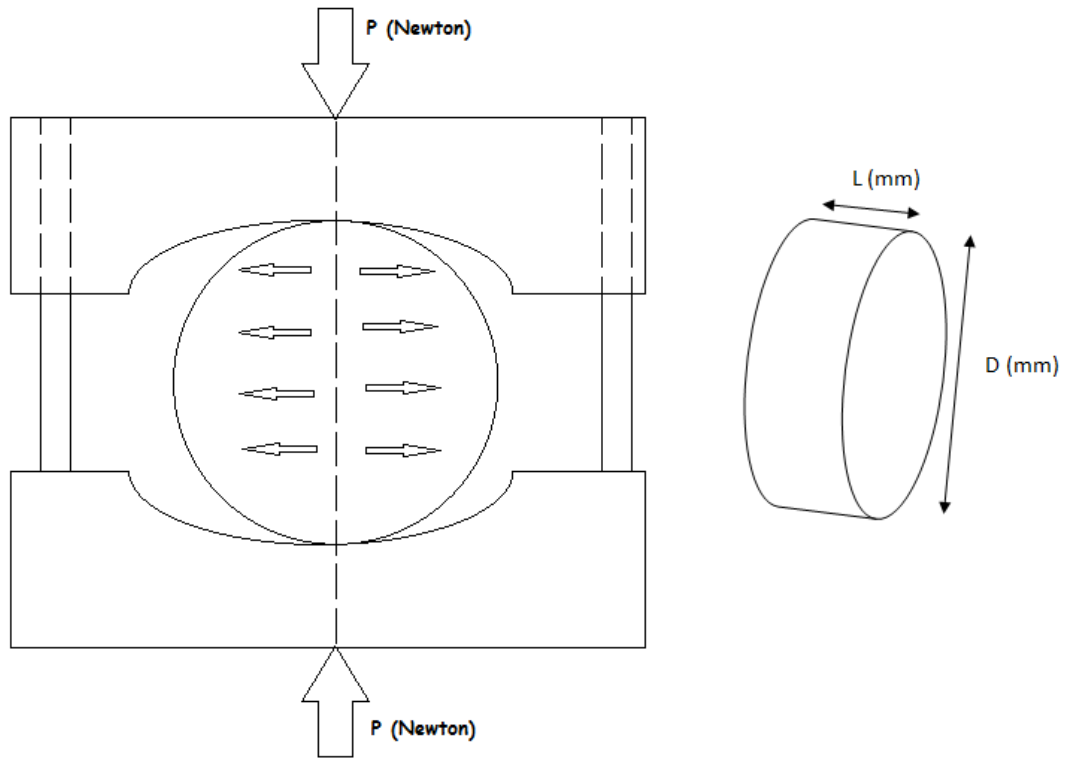
$$\sigma_t = (2P/(\pi Dt)) = (0,636P/(Dt)) \quad (4.8)$$

σ_t = Örneğin çekilme 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

Denyde kalınlık/çap oranı (L/D) 0.5-1.0 arasında olacak şekilde, sağlam ve çatlaksız karot örneğinden 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 tuf 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.

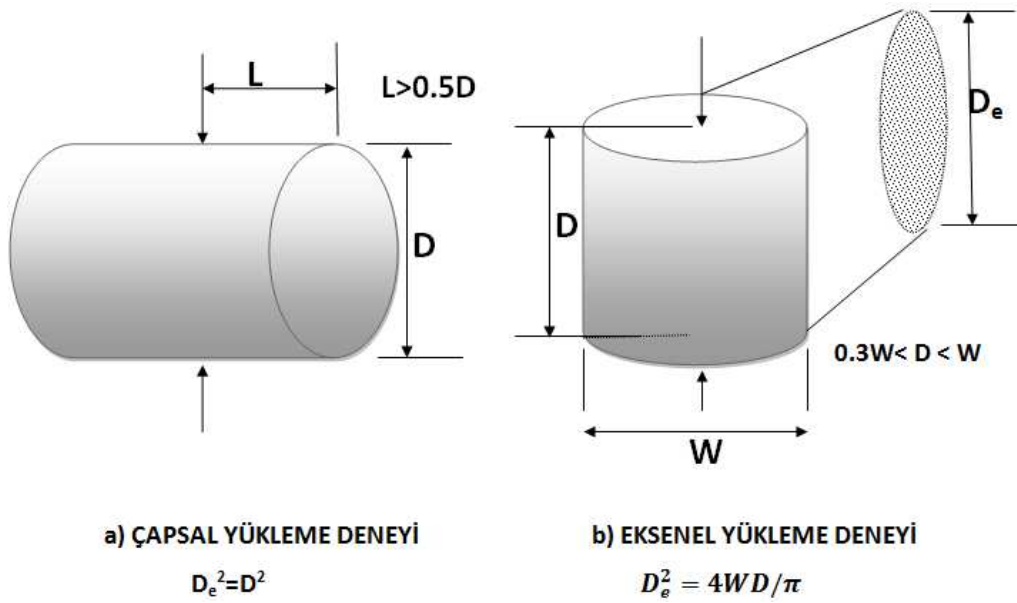
Tablo 4.2. Nokta yükü dayanım indeksine ($I_{s(50)}$) göre kaya sınıflandırması

| 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),

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (4.9)$$

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,

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

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 :

$$\sigma_{eğ} = \frac{3P_k l}{2bh^2} \quad (4.11)$$

Burada;

$\sigma_{eğ}$ = Taşın eğilme mukavemeti, kgf/cm² (N/mm²)

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/cm² (0,1 N/mm²)'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°C ile yazın +35°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 derecelerindeki Kayseri tüflerinin Donma-çözülme periyotlarından nasıl etkilendiği arazi gözlemleri ve laboratuvar

deneyleleriyle araştırılmıştır. Bununla birlikte bu kayalar ile ilgili literatürde çok az sayıda bilimsel çalışma vardır.

Bu deneyler, donma-çözülme çevrimi koşullarında, tüf kayaların fiziksel ve mekanik 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 doymun 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 gözlemlendikten 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. İslanma-Kuruma deneyleri

İslanma –Kuruma deneyleri, nispeten yüksek bir su genleşme katsayısı gösteren tuf gibi kayalarda yararlı bir deneydir. İslanma-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 incelenmiştir. 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°C de kurutma işleminden sonra 30 dakika desikatörde bekletilerek bir ıslanma kuruma çevrimi tamamlanmıştır. Bu Şekil de İslanma-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 laboratuvarlardaki 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 şekilde 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 dışında ayırma 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 (T_p) olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler sonunda sismik hız (V_p) değerleri hesaplanmıştır.

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

Laboratuvarında 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 laboratuvarında tespit edilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra kayaların P dalga hızları ile diğer özellikleri arasındaki ilişkilerin varlığı regresyon analizleri ve yapay zeka teknikleri ile tespit edilerek deneye dayalı formüller elde edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Deneysel 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 V_p 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 tanımlama ve zeminin mühendislik özelliklerinin dinamik kuvvetler altında incelenmesinde sismik çalışmalarından faydalanılmaktadır.

Sismik yöntemler; balyoz, vibratör veya dinamit gibi sismik kaynak yardımıyla oluşturulan yapay sarsıntı (deprem) dalgalarının tabaka sınırlarında kırılarak (refraction) veya yansıtılarak (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 deyişle 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, tütün dinamik Young modülü (E_{dyn}) ve dinamik poisson oranı (ν_{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).

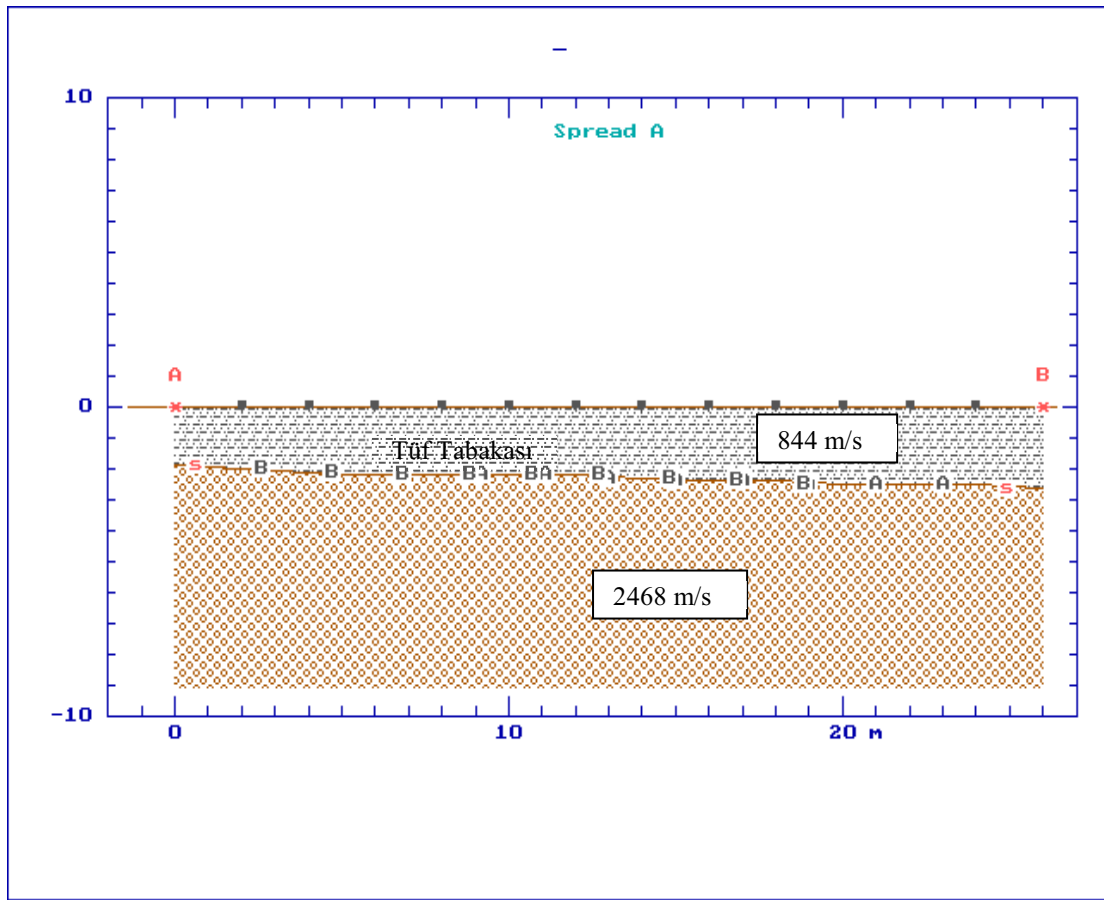
Kayseri tüflerinin dinamik özellikleri arazide belirleme amacıyla, numune alınan 5 bölgede 12 kanallı Geometrix Smart serisi sismik cihaz ile jeofizik çalışmalar yapılarak arazide P dalgası hızı ile arazide S dalgası hız ölçümleri alınmıştır. Uygulanmış olan bu sismik tekniğe bağlı olarak dinamik elastisite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

Arazide, V_p ve V_s 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.

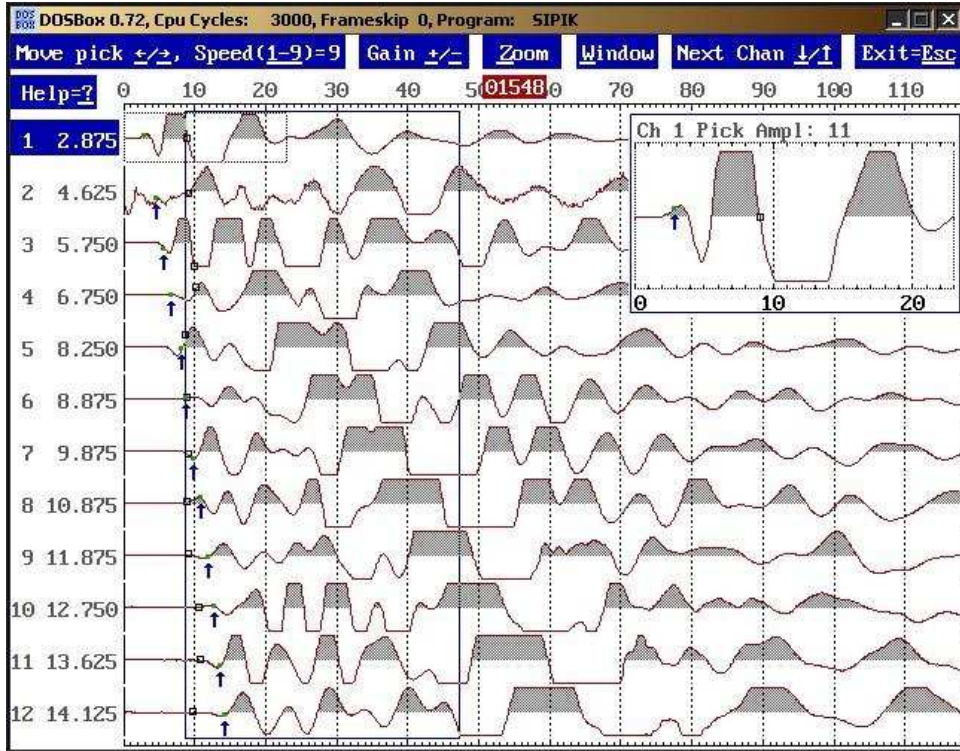


Şekil 4.21. Geometrics ES-3000 marka 12 kanallı sismik kırılma ve yansıma cihazı ile arazide sismik ölçüm

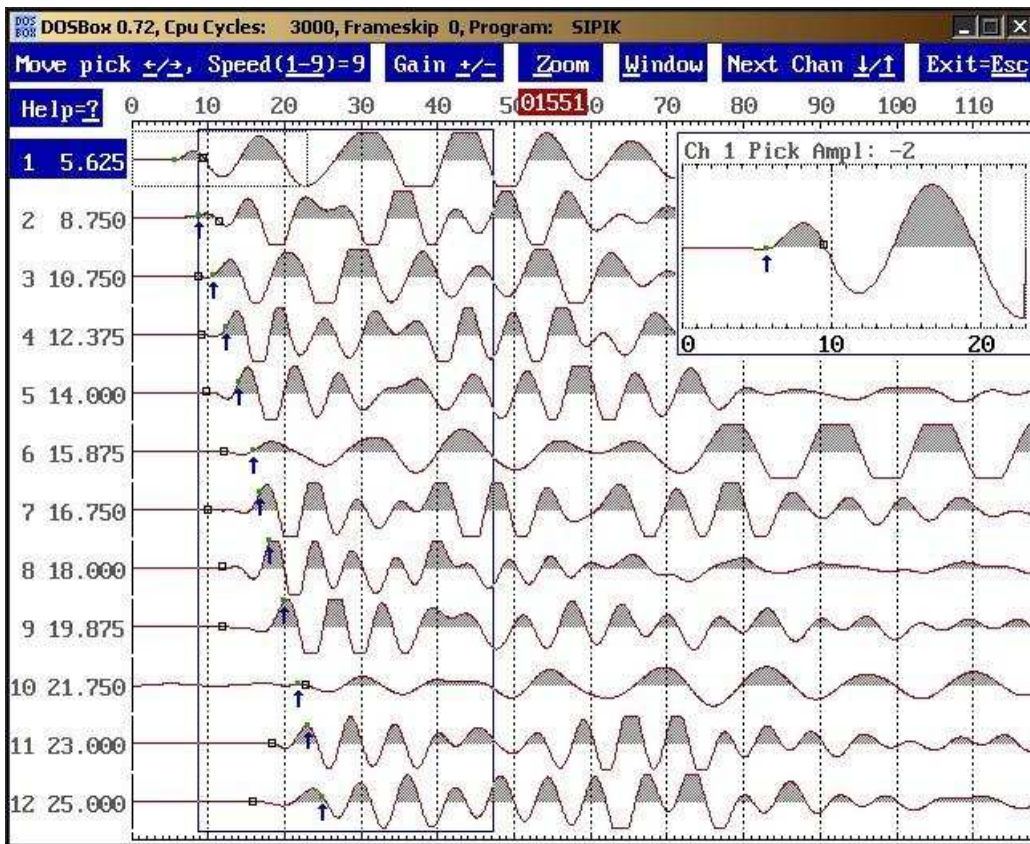
Bir kaynaktan oluşturulan dalga farklı ortamlardan geçerken kırılarak ilerler, yüzeyde belirli mesafelere yerleştirilen jeofonlar (algılayıcılar) tarafından kaydedilirler. Elde edilen kayıtlardan X-T (zaman uzaklık) grafikleri çizilerek tabaka hızları hesaplanır. Hesaplanan hızlardan tabaka kalınlıkları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



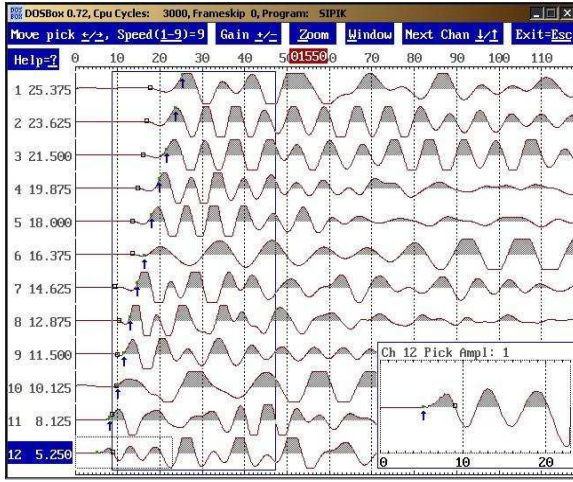
Şekil 4.22. Kayseri-Gesi Yeraltı Derinlik Kesiti



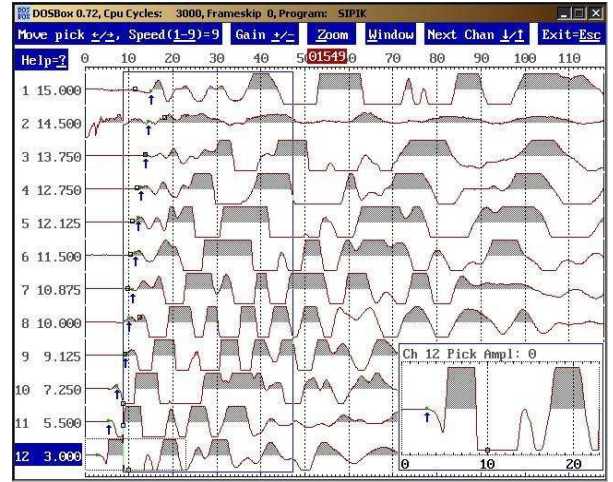
Şekil 4.23. Kayseri-Gesi P DÜZ



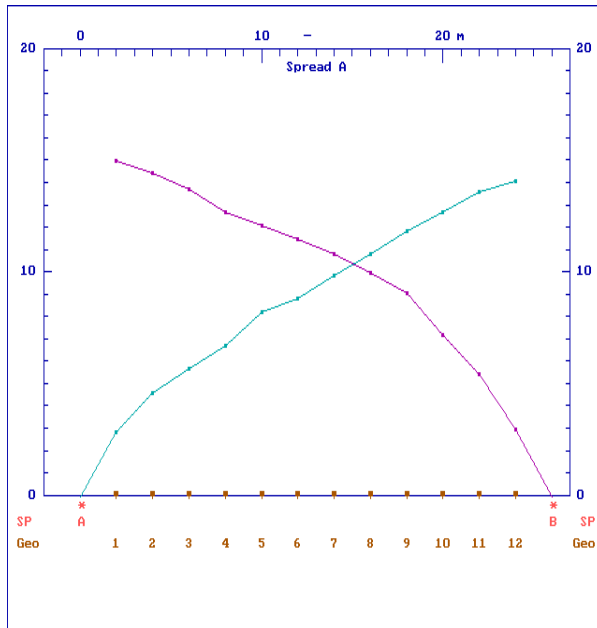
Şekil 4.24. Kayseri Gesi S DÜZ



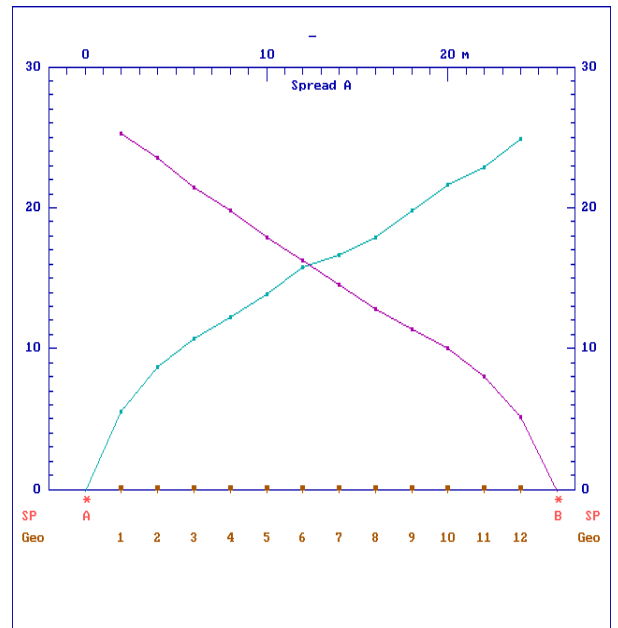
Şekil 4.25. Kayseri-Gesi S TERS



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, $I_{s(50)e}$, $I_{s(50)\ç}$, 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

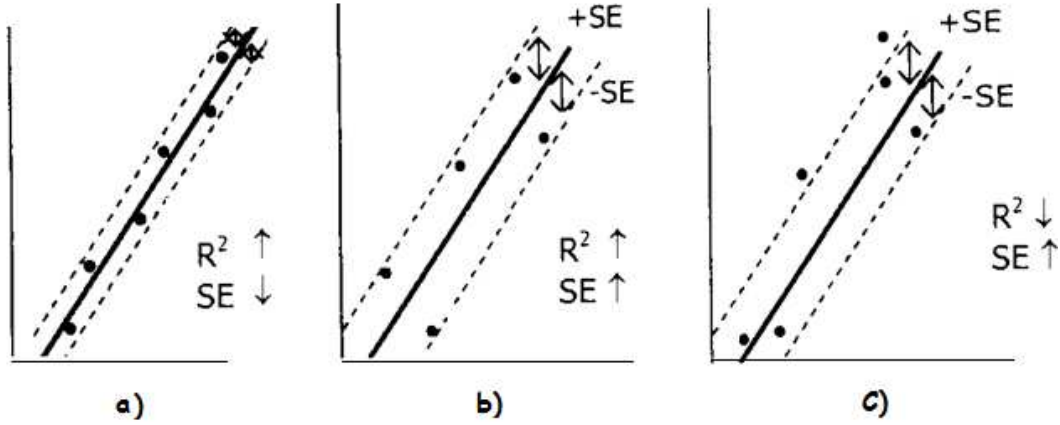
Bu bölümde kısaca korelasyon ve regresyon analizlerinden bahsetmek yararlı olacaktır. Genellikle mühendislik alanında yapılan araştırmalarda, bir değişken başka değişkenler yardımıyla tanımlanır. Değişkenler arasında bir ilişki olup olmadığını, eğer varsa bu ilişkinin şeklini, yönünü ve derecesini araştırmak 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, 0 olması ise değişkenlerin birbirlerinden bağımsız olduğunu gösterir. R'nin mutlak değeri 0'dan 1'e doğru büyüdükçe ilişki kuvvetlenir. R'nin eksi işaretli olması değişkenlerden birinin artmasıyla diğerinin azaldığını gösterir. Korelasyon katsayısının (R) karesine eğit 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 1'e yaklaştıkça regresyonun anlamlılığı giderek artar (Toğrol ve Toğrol, 1967).

Ayrıca elde edilen regresyon denkleminin standart hatası (SE), bize elde edilecek sonuçların doğru 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 ($R=1$) veya R^2 ($R^2=1$) 'ye ve hem de en düşük SE ($SE=0$)'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 yararlanır. 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) | $R = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{me} - \bar{E}_{me})(E_{ann} - \bar{E}_{ann})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_{me} - \bar{E}_{me})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_{ann} - \bar{E}_{ann})^2}}$ |
| 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 E_{me} - E_{ann} $ |

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 grafiğine bakılarak karar verilir.

4.6.2. Çoklu regresyon yöntemleri ile parametre tahmin modelleri

Çoklu regresyon modelinde, tek bir bağımlı değişken ile iki veya daha 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 (V_p), birim hacim ağırlık (BHA), porozite (n), eksenel nokta yükleme dayanımı ($IS_{(50)}$), çapsal nokta yükleme dayanımı ($IS_{(50)\varphi}$) ve brazillian dolaylı çekme dayanımı (Brt) seçilmiştir.

Geliştirilen modellerin istatistiksel anlamlılığı, öncelikle korelasyon katsayısının karesi olarak tanımlanan determinasyon katsayısı R^2 '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 deneyler 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 (V_p), eksenel nokta yükleme dayanımı ($IS_{(50)e}$), çapsal nokta yükleme dayanımı ($IS_{(50)\varphi}$), 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 metodlarının arayışı teknolojik gelişim süreci içerisinde sürekli devam etmektedir. Yapılan çalışmada, istatistik yöntemlerle tuf elastisite modülü (E) ve tek eksenli basınç mukavemeti (UCS) tahmini için faydalı regresyon eşitlikleri oluşturulmuş olmasına rağmen, 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 algoritması sahip 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 algoritmalarından 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 feromon 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 şekillerde 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 gözleme 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 veriyeye 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 uygulamalarda 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 (Yılmaz, 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, tuf kayaların parametrelerinin tahmininde yapay zeka teknikleri olarak yapay sinir ağları kullanımı araştırılmıştır. Artificial neural network (ANN) veya Türkçe ismiyle Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak, regresyon 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 laboratuvar ortamlarında elde edilmesi gerekir.

Bu elde edilen parametrelerle kayalar sınıflandırılarak tasarıma geçilir. Kayaçların sınıflandırılmasında 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 ($I_{s(50)\varphi}$) 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 karşılaşmaktadır. Bunun yerine, sağlam kaya blokları laboratuvar ortamına getirilerek, deneyler için uygun numuneler elde edilmektedir. Ancak, bu parametrelerin, güvenilir olması için, numunelerin standartlara uygun hazırlanması, tecrübeli kişilerce, güvenilirliği 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 artırmasıyla

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 kullanılmış (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 İstatistik 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 İstatistik 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 |

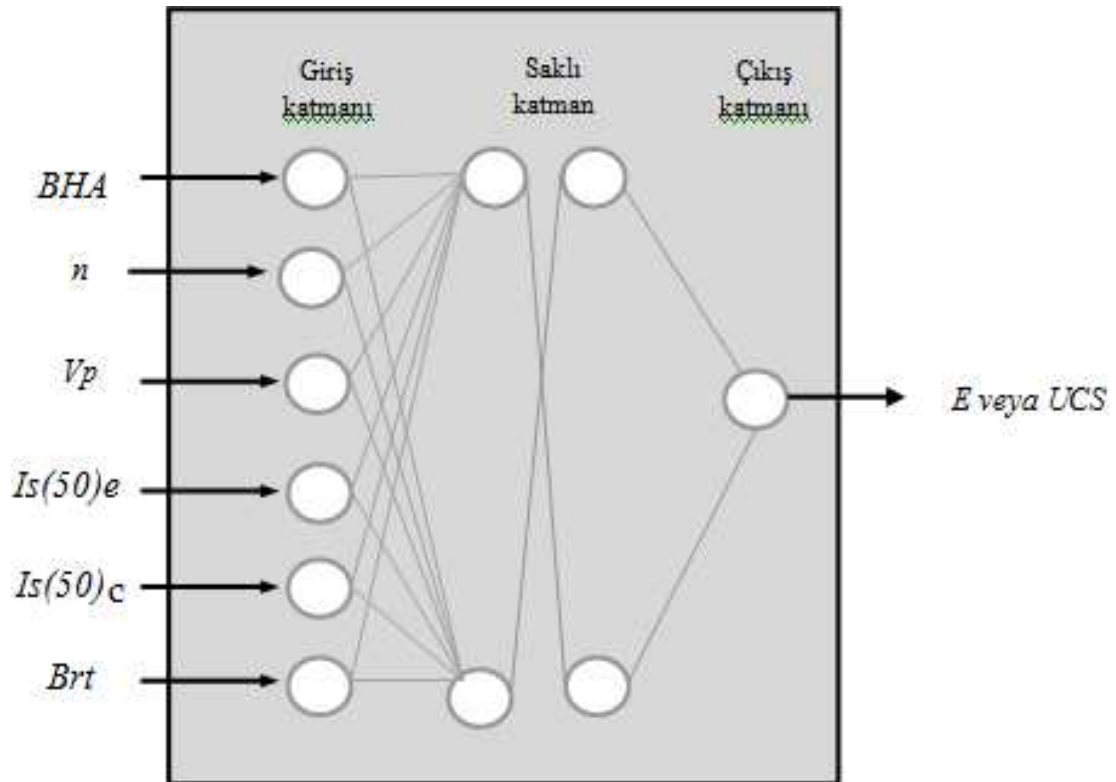
Modelde, çok katmanlı algılayıcı (Multilayer perceptron) yapısı ve dört katmanlı ileri beslemeli ağ kullanılarak, Levenberg Marquardt eğitim algoritması ile sistem eğitilmiştir.

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

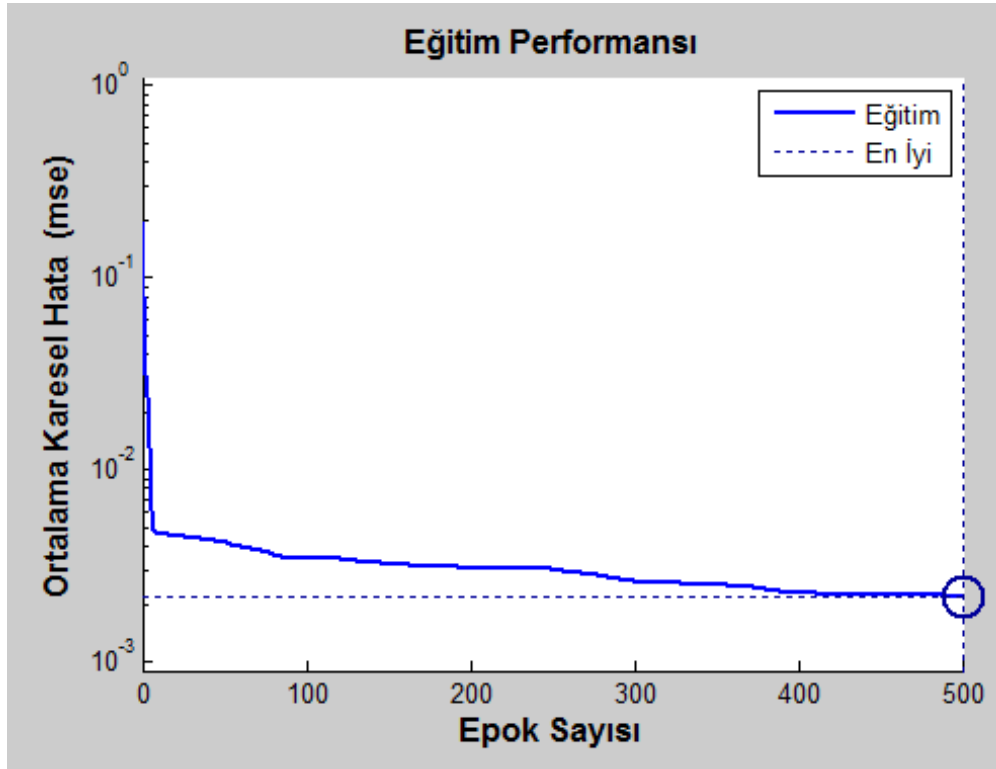
$$f(s) = \frac{1}{1+e^{-s}} \quad (4.12)$$

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 garfı verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi iterasyon sayısının artmasıyla birlikte ortalama karesel hata oranı azalmaktadır.

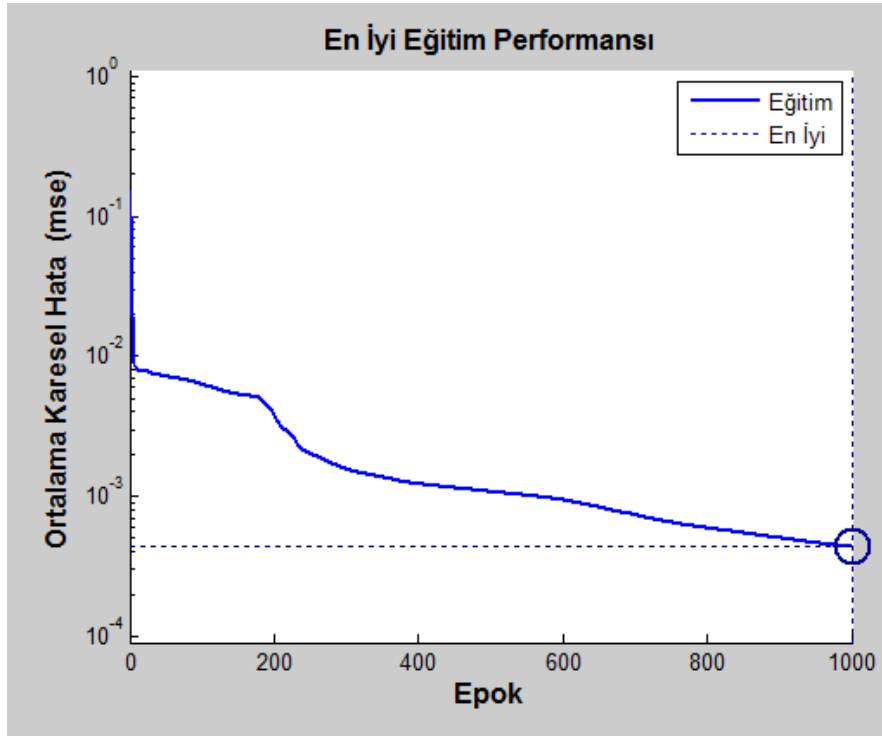


Şekil 4.31. E Tahmininde ortalama karesel hata değerinin iterasyon sayısı ile değişimi
Toplam 170 veri yapay sinir ağını test etmek için kullanılmıştır.

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 ağı eğitimi için (Tablo 4.4-a) ve 170 adet veriseti ise bu eğitilmiş ağı 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 korelasyonu sonucunda, tahmin edilen UCS değeri için geliştirilen YSA modelinin oldukça 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. Agregat 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 agregat kaynağındaki azalmalar, bu cürüfların 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 tuf 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 kullanılacak zemin boyutundaki tüflere rastlanmaktadır. Yılanlı dağı (1640 m), volkanik cüruf olarak tanımlanan ve tamamen tufün çakıl-kum boyutundaki malzemelerden oluşmuştur. Bölgedeki yapıların temel kazılarında bu türden zeminlerle sıkça karşılaşmakta 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 oluşumlar 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 kullanılacak 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 çakılı 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 kullanılacak zemin boyutundaki piroklastik malzemelerden oluşan bir dağ vardır. Yılanlı dağı (1640 m) tamamen tufün çakıl-kum boyutundaki cüfuf diye isimlendirilen malzemelerden oluşmuştur (Ek Şekil 7, 8, 9, 10).

Tuf Cürufunun veya kullanılacak tuf 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 laboratuvar 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 kg malzeme laboratuvara getirilmiştir.

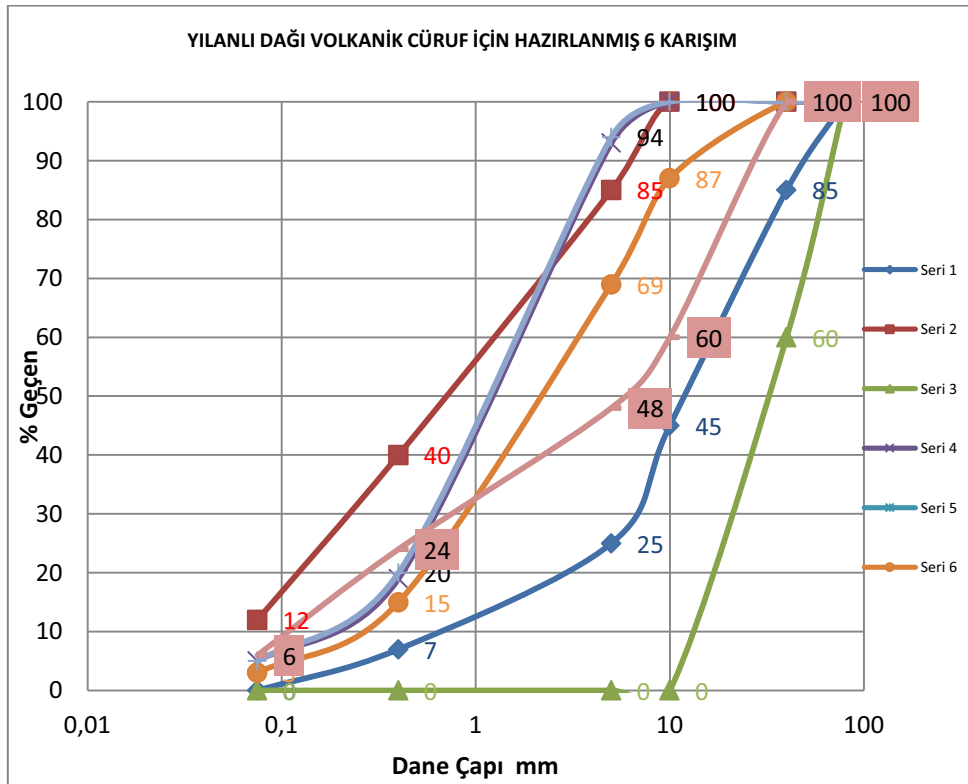
Dane dağılımı için, 60 mm den büyük dana çapına sahip malzeme ayıklanarak, geriye kalan Yılanlı Dağı volkanik Cürufu (YDC)'na yıkamalı elek analizi yapılmıştır. Alt temel malzemesi için TS 9581'de belirtilen alt ve üst limitler içerisine girebilecek ebatlarda 6 farklı numune hazırlanmış ve elek analizleri 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.

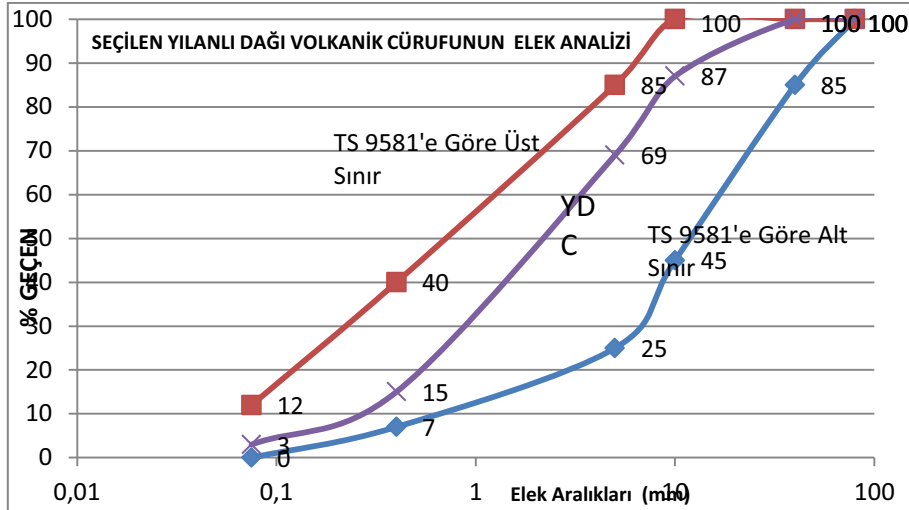
Tablo 4.5. Yılanlı dağı Dolgu Malzemesi Elek Analizi

| 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



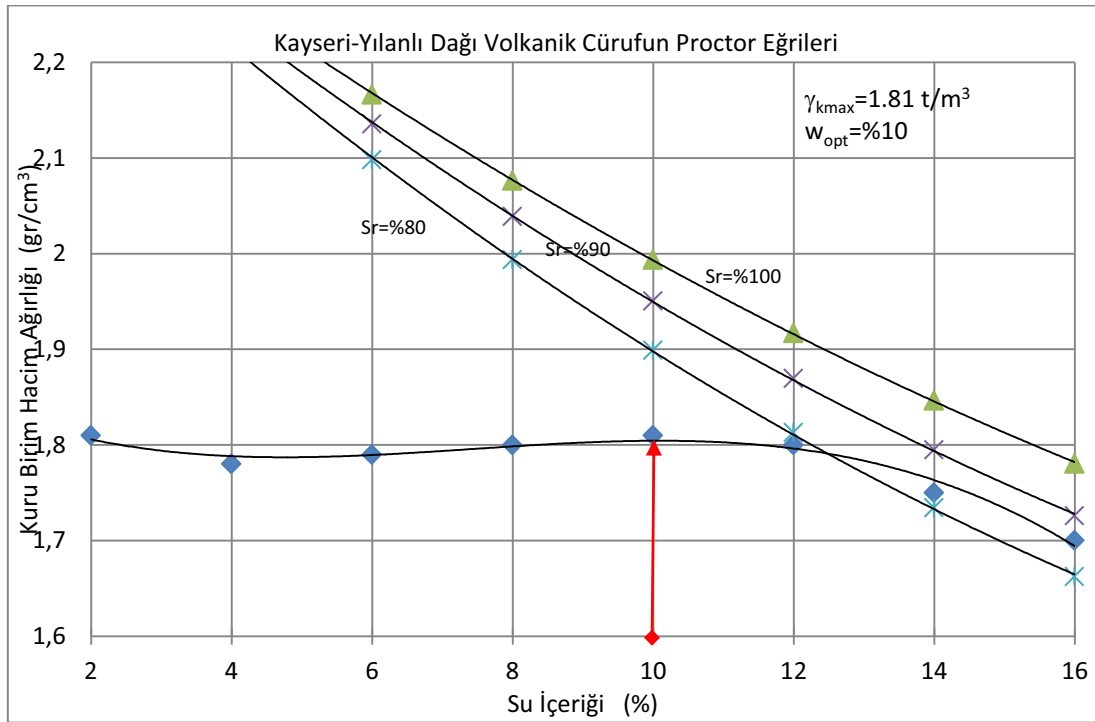
Şekil 4.34. Seçilen Yılanlı dağı volkanik cürufu (YDC) ve TS9581'e göre Alt-Üst sınır

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)

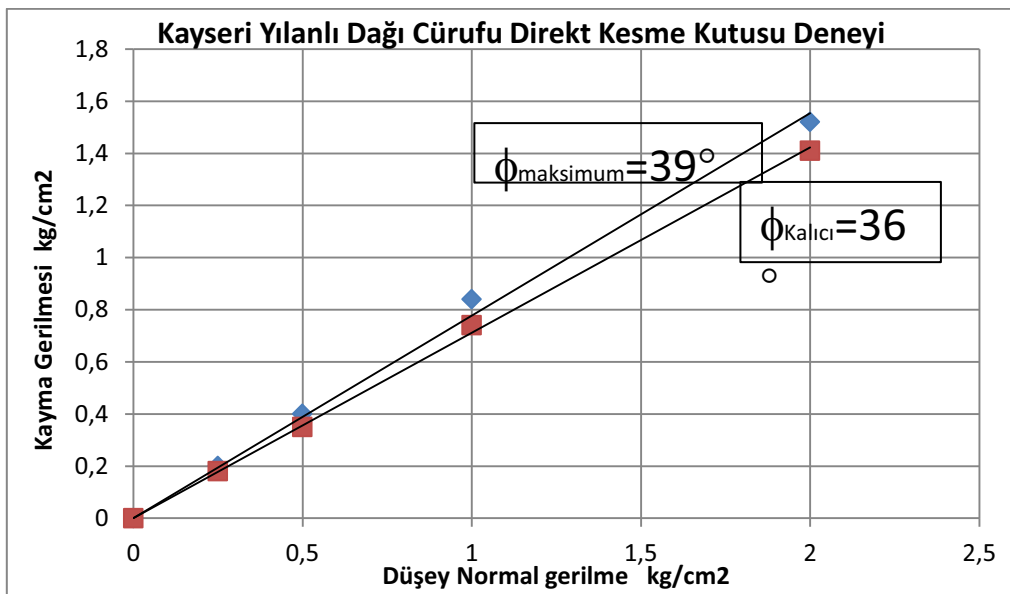
Standart Proctor deneyi uygulanarak, bu malzemenin en iyi sıkışmasını sağlayan maksimum kuru birim hacim ağırlık-su içeriği ilişkisi bulunmuştur. Laboratuvar şartlarında sıkıştırılan zeminin, maksimum kuru birim hacim ağırlığını veren su muhtevası Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



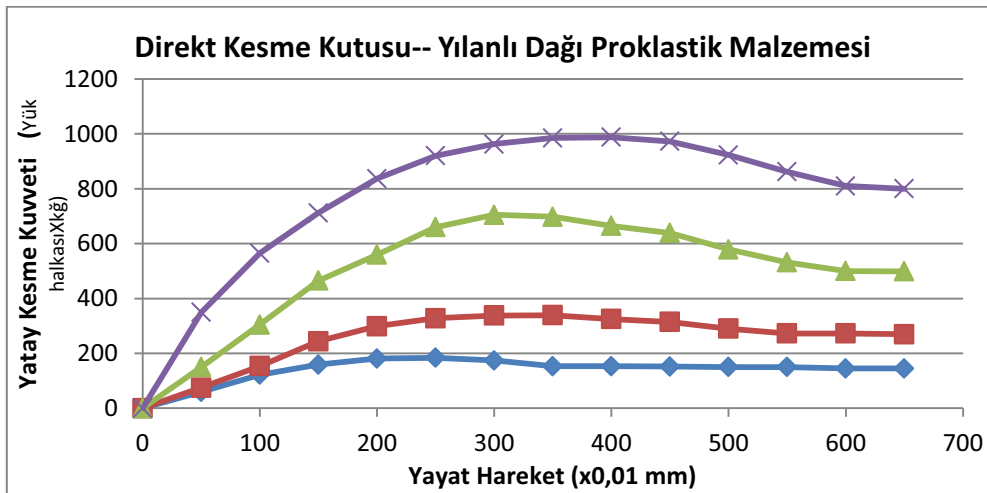
Şekil 4.36. Kayseri-Yılanlı Dağı Volkanik Cürufun Proctor Eğrileri

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 maksimum 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)

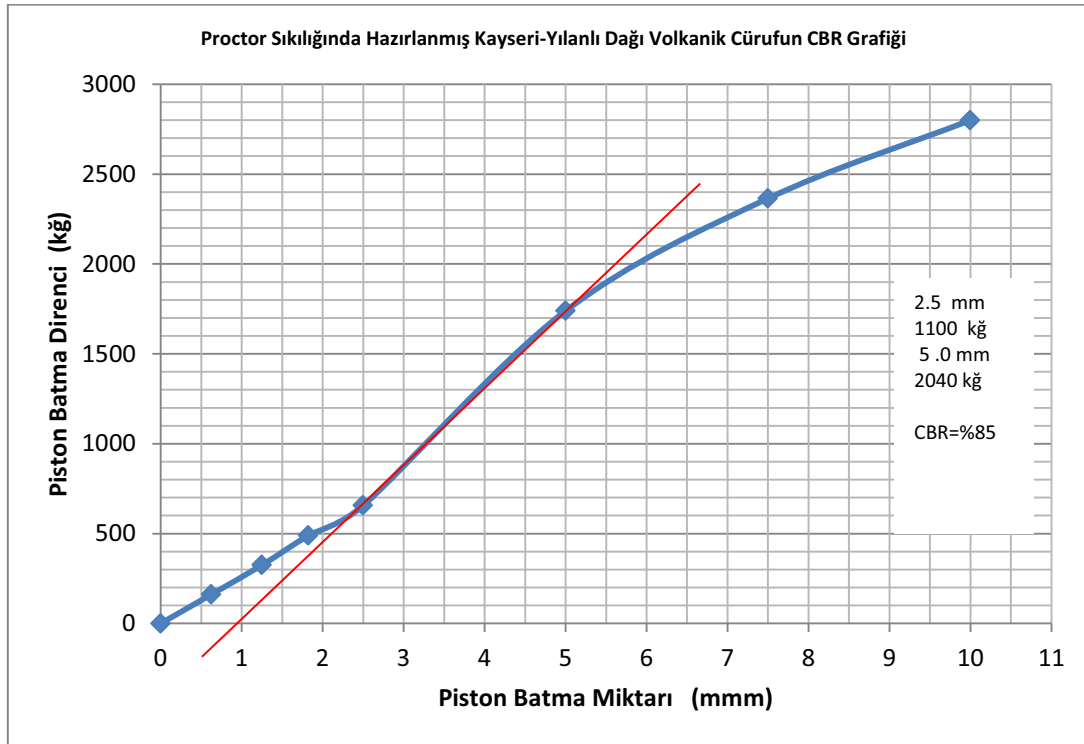


Şekil 4.37 Kayseri yılanlı dağı curufunun içsel sürtünme açısı



Şekil 4.38 Kayseri yılanlı dağı curufu direkt kesme kutusu deneyi

Kaliforniya Taşıma Oranı (California Bearing Ratio), kısaca CBR deneyi yapılarak, cürufun esnek üst yapıllı yollarda alt temel malzemesi olarak kullanılabilmesi için gerekli taşıma gücünün bulunması amaçlanmıştır. Bu deney kesit alanı 19.35 cm² olan silindrsel 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 Sıklığındaki 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 laboratuvarında elde edilen deney sonuçları toplu olarak sunulmuştur. Bunun yanısıra istatistiksel ve Yapay Sinir Ağları yöntemleriyle geliştirilen parametre tahmin modelleri de verilmiştir.

5.2. Laboratuvarında 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. Tablo 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, regresyon 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/m ³ | KIRILMA YÜKÜ (kg) | UCS (kg/cm ²) | GERÇEK POROSİTE, n, % | MAKS SU İÇERİĞİ w (su emme) | GÖRÜNÜR POROSİTE 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

| NUMU NE ADI | ÇAP (mm) | BOY (mm) | KURU AĞIRLIK (gr) | SUYA DOYGUN AĞIRLIK (gr) | SU İÇİNDEKİ AĞIRLIĞI (gr) | G _s ÖZGÜL AĞIRLIK | γ_{dry} t/m ³ | KIRILMA YÜKÜ (kg) | UCS (kg/cm ²) | GERÇEK POROSİTE, n, % | MAKS SU İÇERİĞİ w (su emme) | GÖRÜNÜR POROSİTE 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 ÇEVİRİM 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) | | FTGSR90C25 (1) | | 5 |
| FT=Freeze-Thaw G=Gesi Sr=Doygunluk Derecesi % C=Çevrim sayısı 1 çevrim: 2 saat -20°C ve 2 saat +20°C (66 Numune Kullanılmıştır) | | | | | | | | | | Toplam Numune | | 66 |
| (1) →Kırılacak Numune sayısını gösterir | | | | | | | | | | | | |

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

| GESİ TÜFÜ-HER 5 ÇEVİRİM 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=Doğunluk Derecesi %, C5=Çevrim sayısı 5 (1) →Kırılacak Numune sayısını gösterir | | | | | | | | | | 1 çevrim: 2 saat -20°C ve 2 saat +20°C | | Toplam Numune | 45 |

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

| Kayseri Tüf | Bölgede Birim | C Kohezon | ϕ 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/cm ³) | 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)

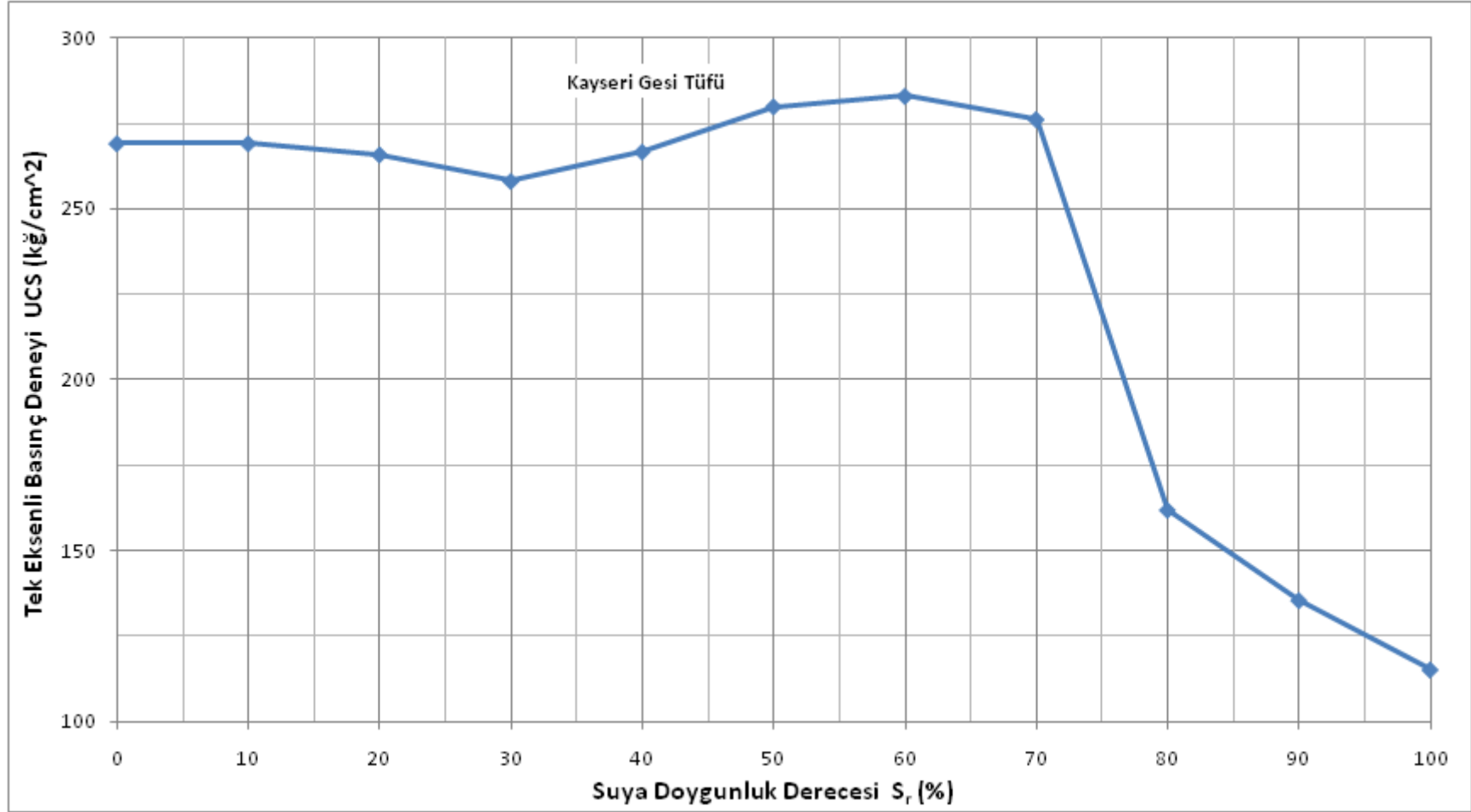
| Eğilmede Çekme(silindir) $\sigma^*=(p*L)/(Pi)*r^3$ | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|--------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| Numune Adı | çap (mm) | Boy (mm) | Ağırlık (gr) | Eğilmede çekme Kuvveti (kg) | Eğilmede çekme Mukavemeti kg/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)

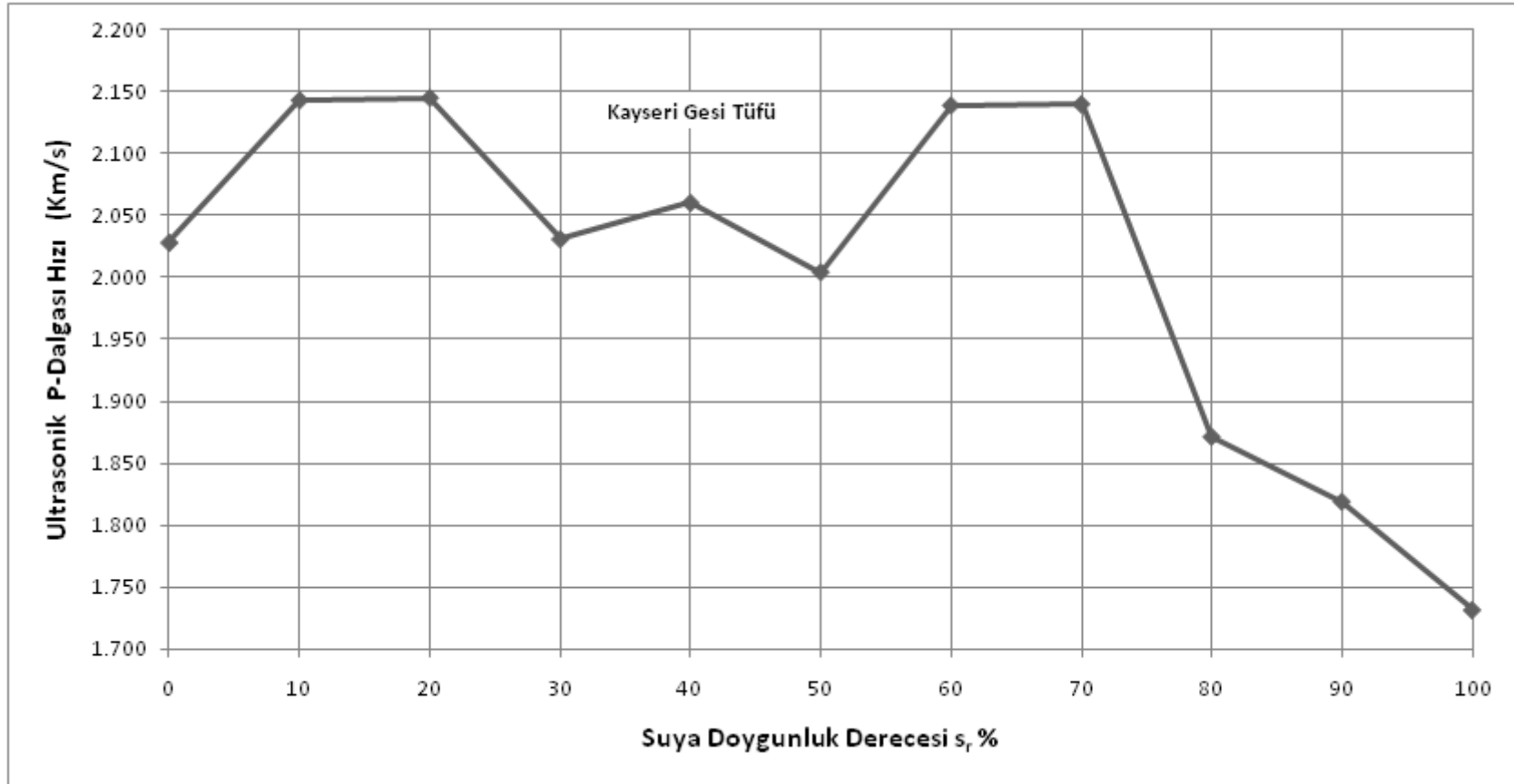
Donma-çözülme deney sonuçları TS 699'a göre yapılmış ve Ek Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen bilgiler aşağıda maddeler halinde ve grafik olarak sunulmuştur.

- 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 hizına, (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

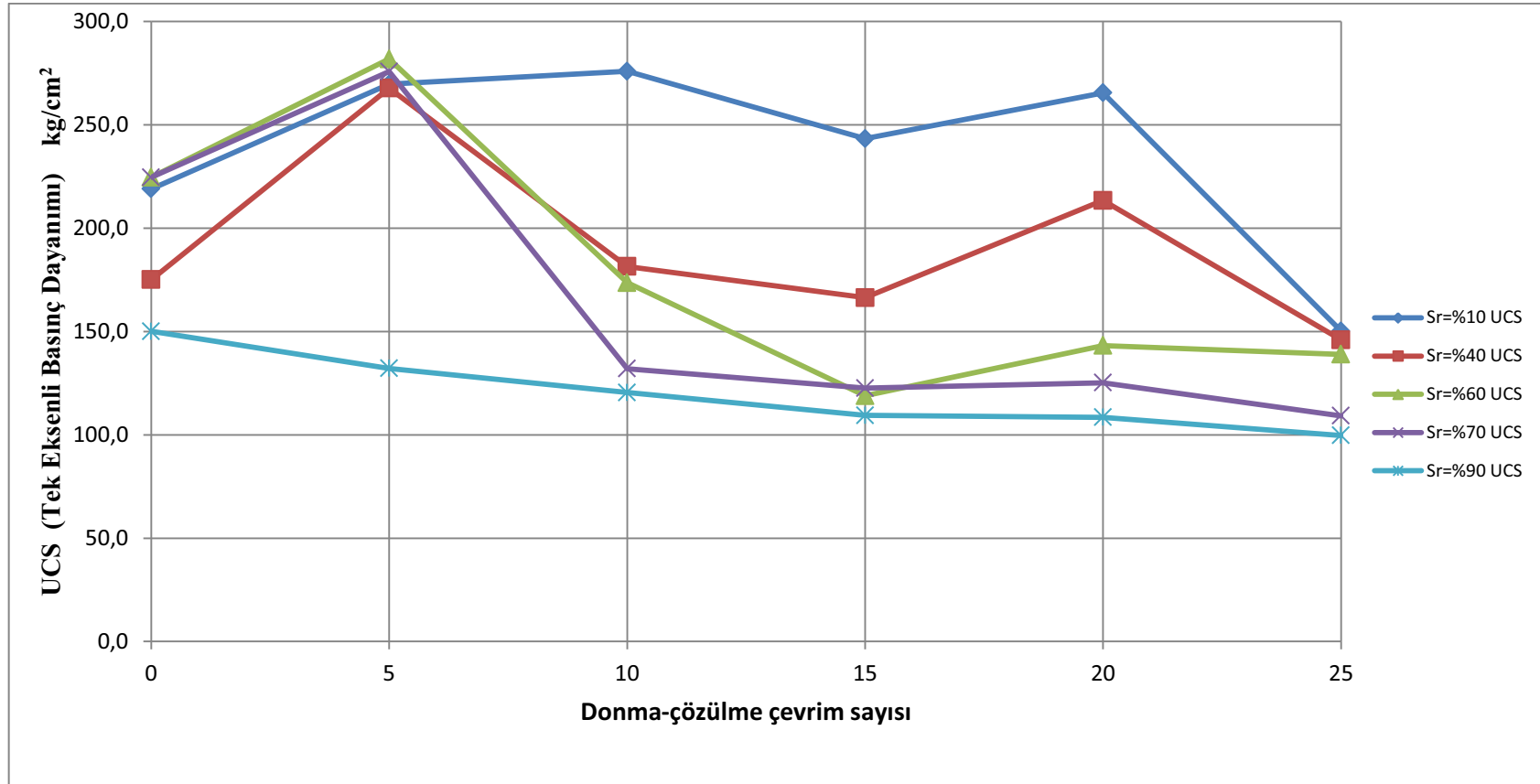
ASTM D5312-04 standardına göre yapılan donma-çözülme deneyinde ise 32 adet numune kullanılmıştır. Deney öncesi numuneler yaklaşık %70-%80 civarında suya doygun hale getirilip, poşetlenerek derin dondurucuya koyulmuştur. Sıcaklığın -18°C 'a düştüğü gözlemlendikten sonra yaklaşık 12 saat sonra $+32^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içine tamamen su altında kalacak şekilde daldırılarak 12 saat bekletilmiştir. Bir donma-çözülme çevrimi 1 gün sürmüştür. Sonra tekrar derin dondurucuya konularak -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 haznedenden 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 sonucu 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.



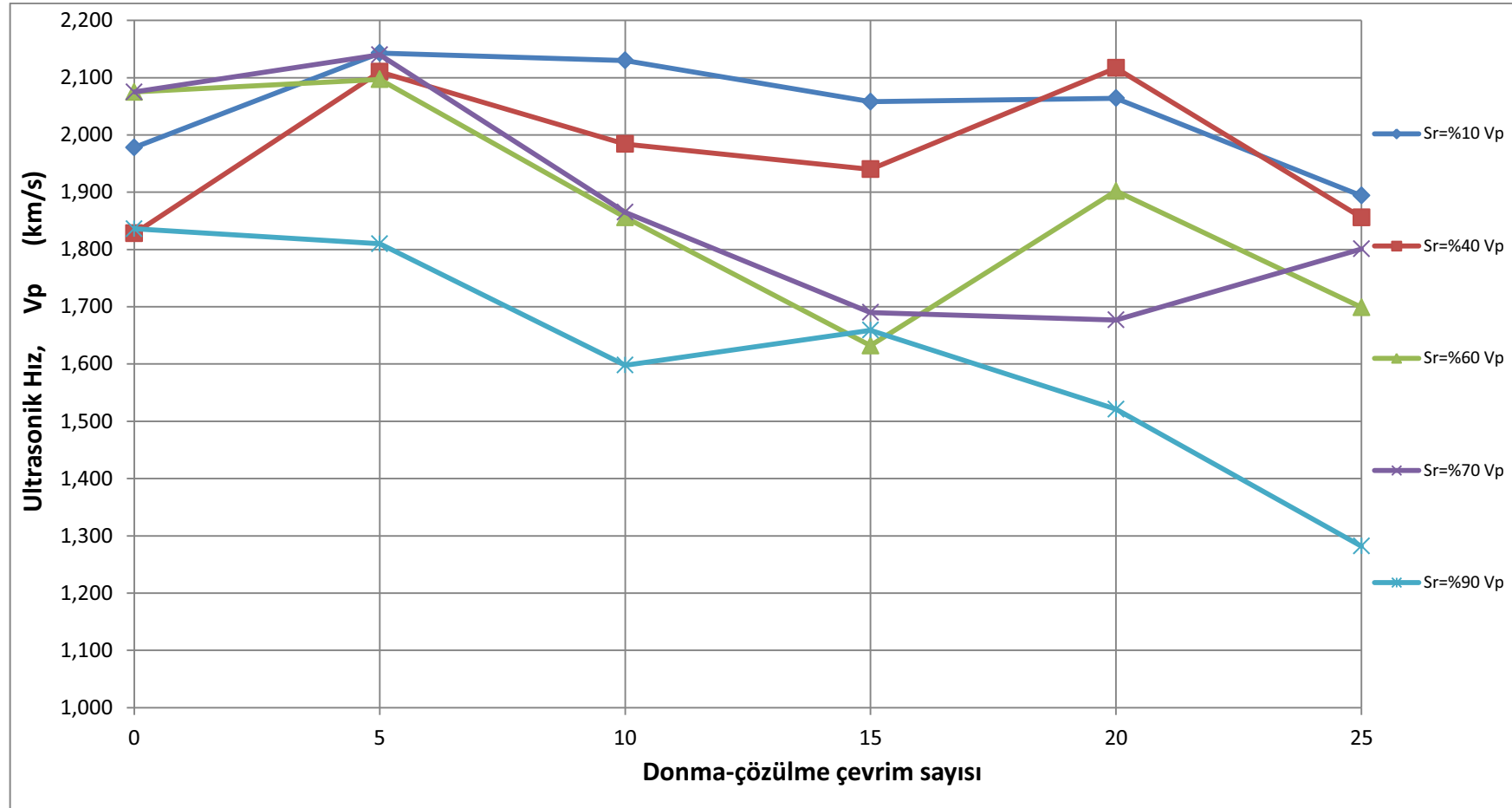
Şekil 5.1. Kayseri Gesi Tüfü TS699 göre Tek Eksenli Basınç Dayanımı-Suya Doygunluk İlişkisi (5. donma çözülme sonucunda ortalama değerler)



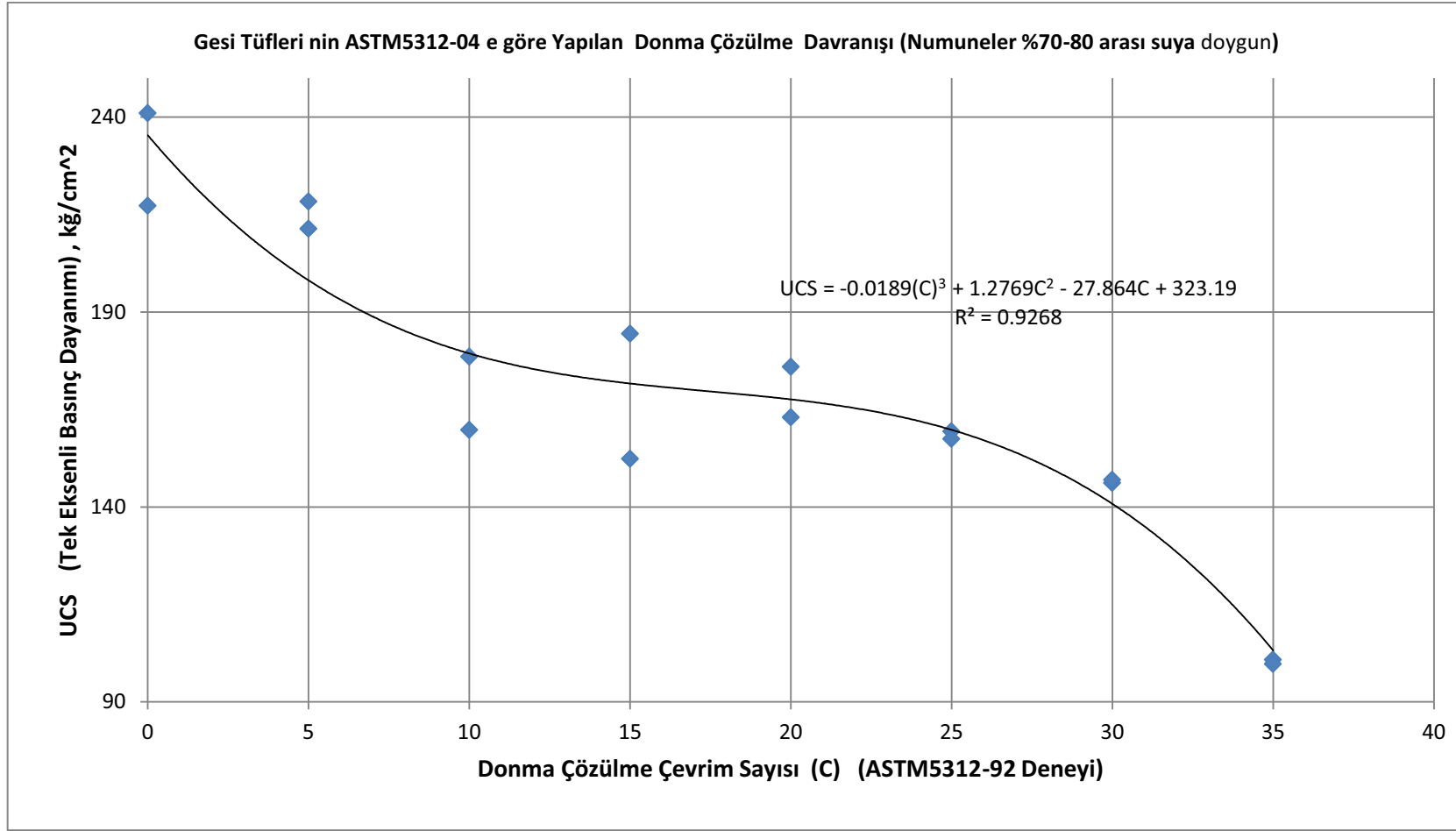
Şekil 5.2. Kayseri Gesi Tüfü TS699 göre P-Dalgası Hızı-Suya Doymuluk İlişkisi (5. donma çözülme sonucunda ortalama değerler)



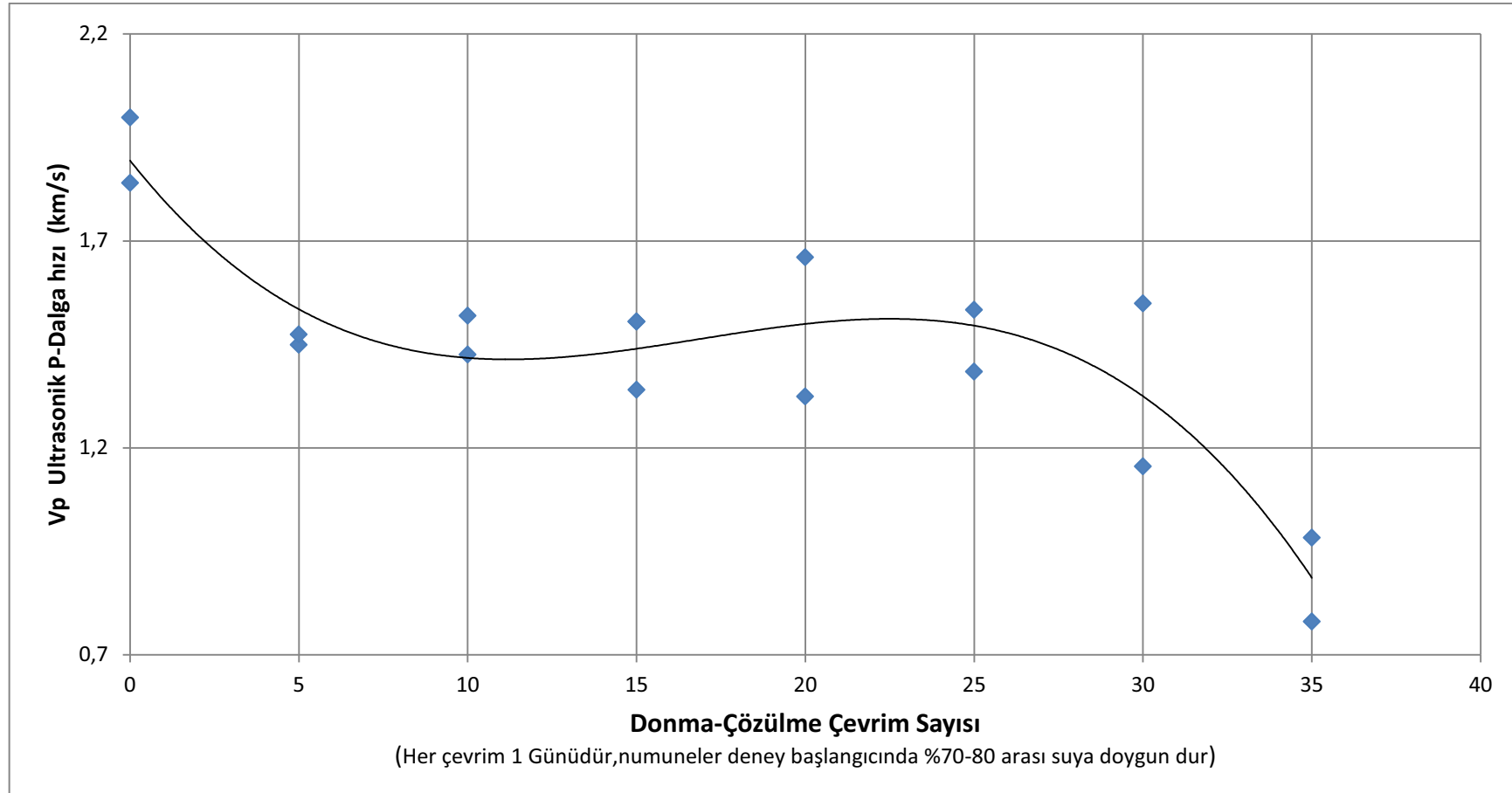
Şekil 5.3 Kayseri Gesi Tüfünde TS699 yöntemi göre donma-çözülme periyodunun tek eksenli basınç dayanımına etkisi



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)



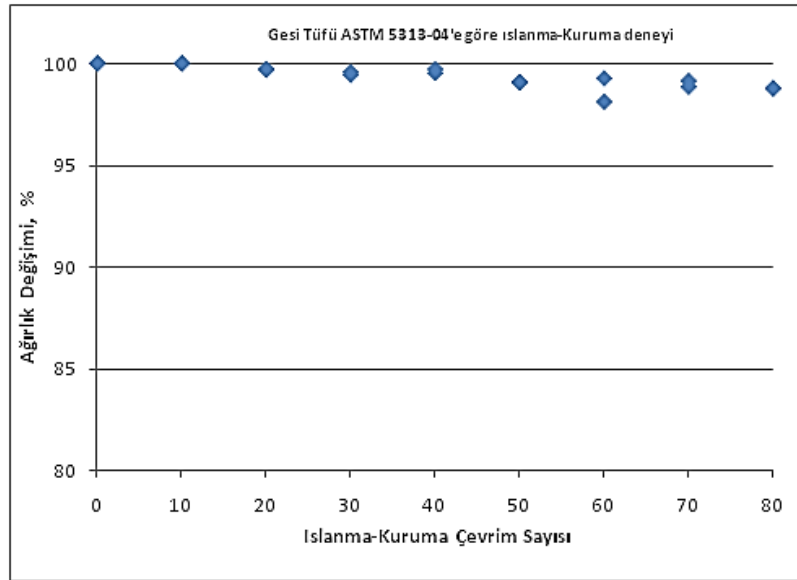
Şekil 5.6. Gesi Tüfleri nin ASTM5312-04'e göre Vp (Sonik Hız)- Donma-Çözülme Çevrim sayısı İlişkisi
Not: 1çevrim 24 saat (1 çevrim=16 saat -18Derece ve 8 saat +32 Derece)

Tablo 5.7. Islanma-Kuruma deneyi

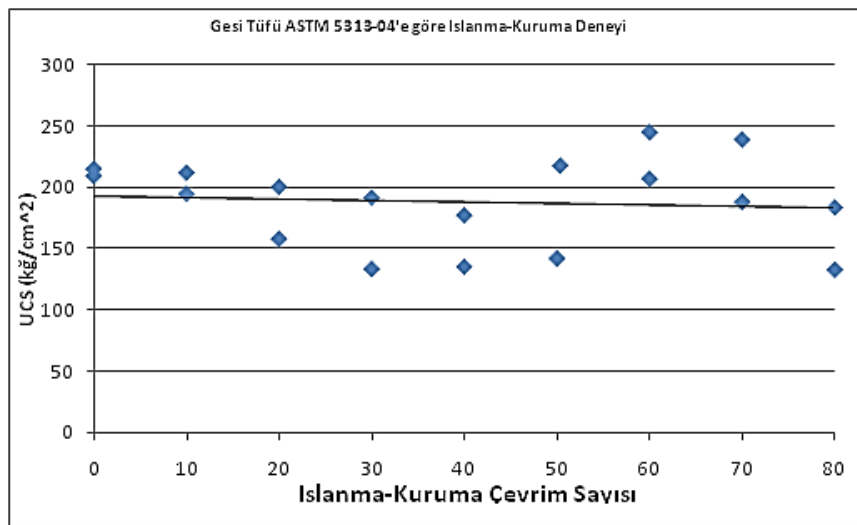
[Kayseri Gesi Tüfü ASTM 5313-04'e göre yapılan Islanma Kuruma Deneyi. WD:Wet-Dry (Islanma-Kuruma) G=Gesi C:Islanma-Kuruma çevrim sayısı]

| 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 (kg/cm ²) | 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 ıslanma-kuruma ile ağırlık kaybı ilişkisi



Şekil 5.8. Kayseri Gesi tüfü ıslanma-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 (V_p/V_s) | (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 elastisite modülünün 3 ile 12 GPa arasında değiştiği gözlenmektedir. Bu çalışmada, Kayseri tüflerinin yoğun olarak bulunduğu 5 bölgeden alınan tuf 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 histogramları 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

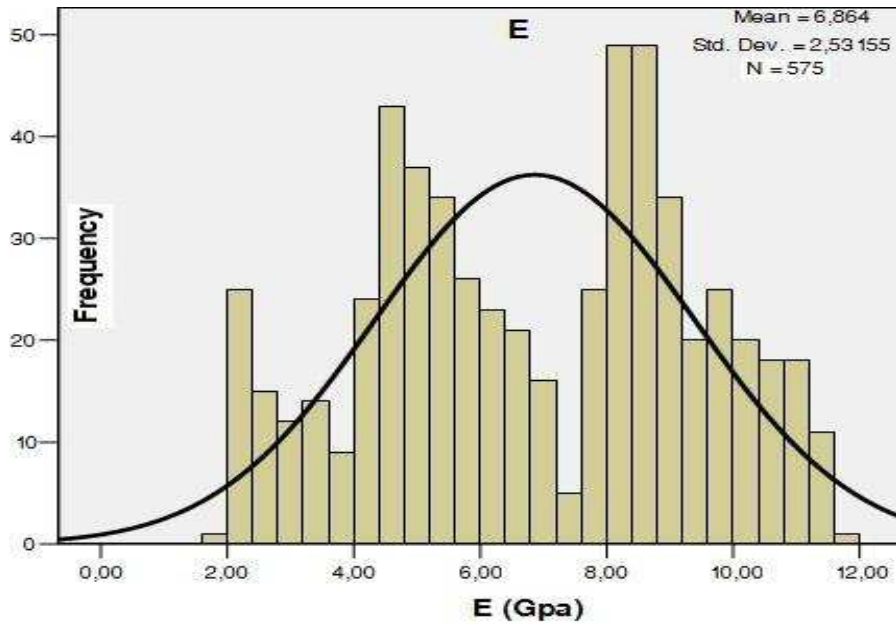
| Bölge | Grup | | E (GPa) | UCS (MPa) | BHA (kN/m ³) | N irimsiz | Vp (Km/s) | Is50e (MPa) | Brt (MPa) | Is50c (MPa) | |
|---------|-------|-----------|------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------|
| Ağırnas | 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 | .000000 | |
| Diğer | Diğer | 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 | .000000 | |
| | 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 | .000000 | |
| Total | 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 | |
| İncesu | 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 | .000000 | |
| 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 | .000000 | |
| 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 | .000000 | |
| | S | 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 | .000000 |
| SB | 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 | .000000 | |
| TB | 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 | .000000 | |

Tablo 5.10. Çalışma bölgesindeki tüflerin istatistiksel sonuçları (Devam)

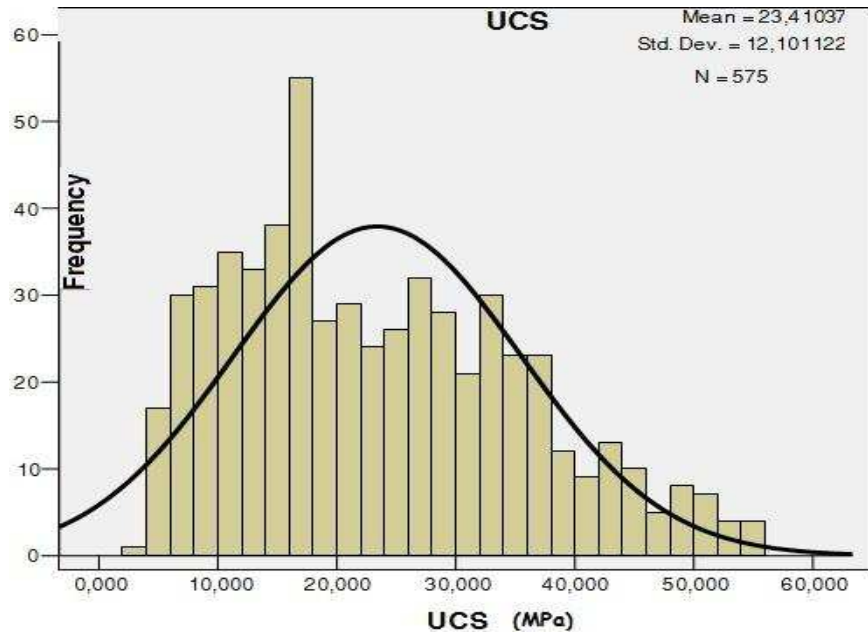
| Bölge | Grup | | E (GPa) | UCS (MPa) | BHA (kN/m ³) | N irimsiz | Vp (Km/s) | Is50e (MPa) | Brt (MPa) | Is50c (MPa) |
|---------|-------|-----------|------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| Tomarza | 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 | .000000 |
| | 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 | .000000 |
| | 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 | .000000 |
| | 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 | .000000 |
| Total | 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

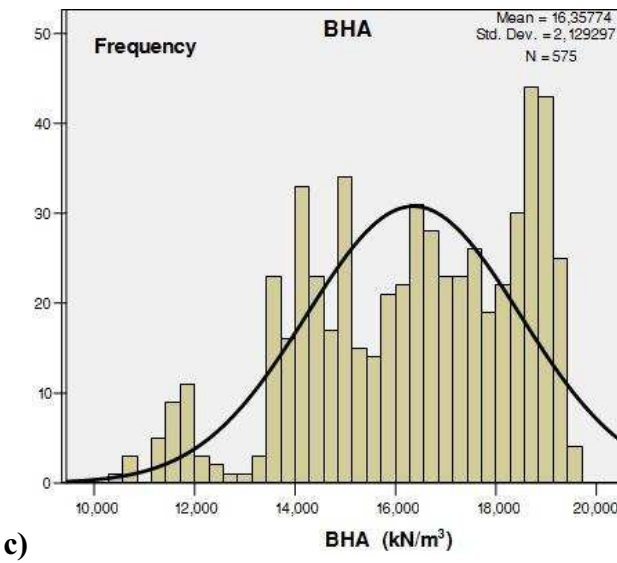
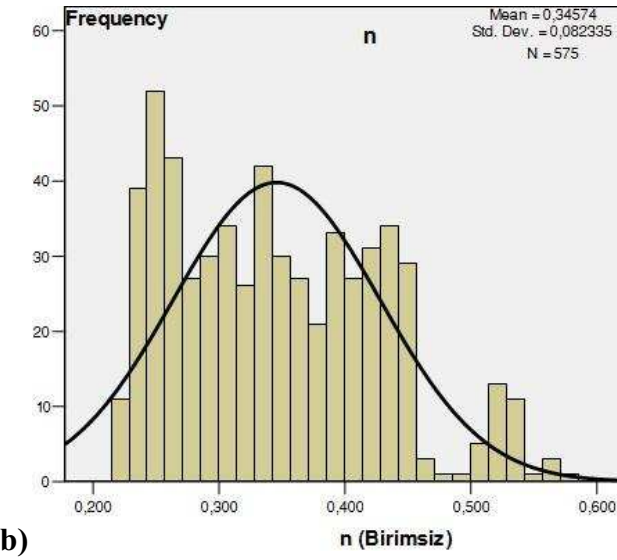
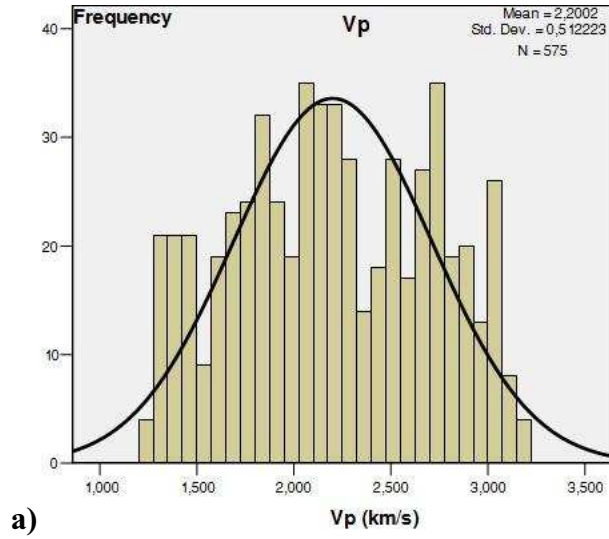
| | Count | Minimum | Maximum | Mean | Standard Deviation | Range |
|--------------------------|-------|---------|---------|--------|--------------------|--------|
| E (GPa) | 575 | 1.97 | 11.63 | 6.86 | 2.53 | 9.66 |
| UCS (MPa) | 575 | 3.640 | 55.540 | 23.410 | 12.101 | 51.900 |
| BHA (kN/m ³) | 575 | 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



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

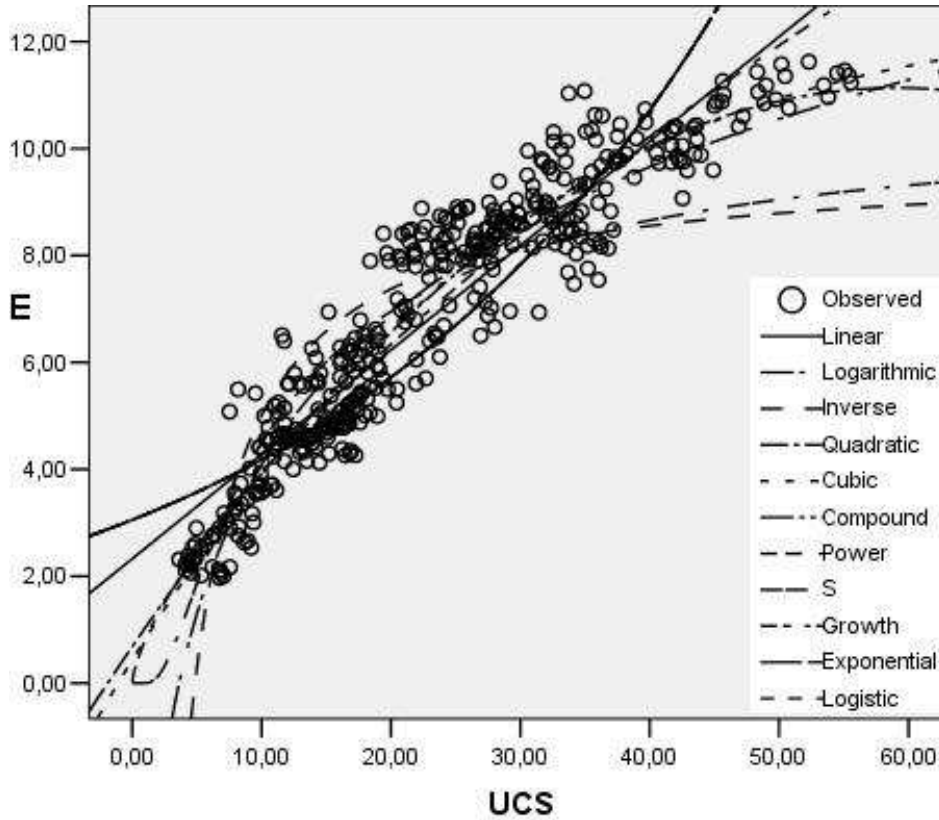
Elastisite modülü ile tek eksenli basınç dayanımı arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.13 ve Şekil 5.12’de sunulmuştur.

Tablo 5.13 E-UCS arasındaki modelin özeti ve parametre tahmini

| Denklem | Model Özeti | | | | | Parametre Tahmini | | | |
|-------------|-------------|----------|-----|-----|------|-------------------|--------|-------|-----------|
| | 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

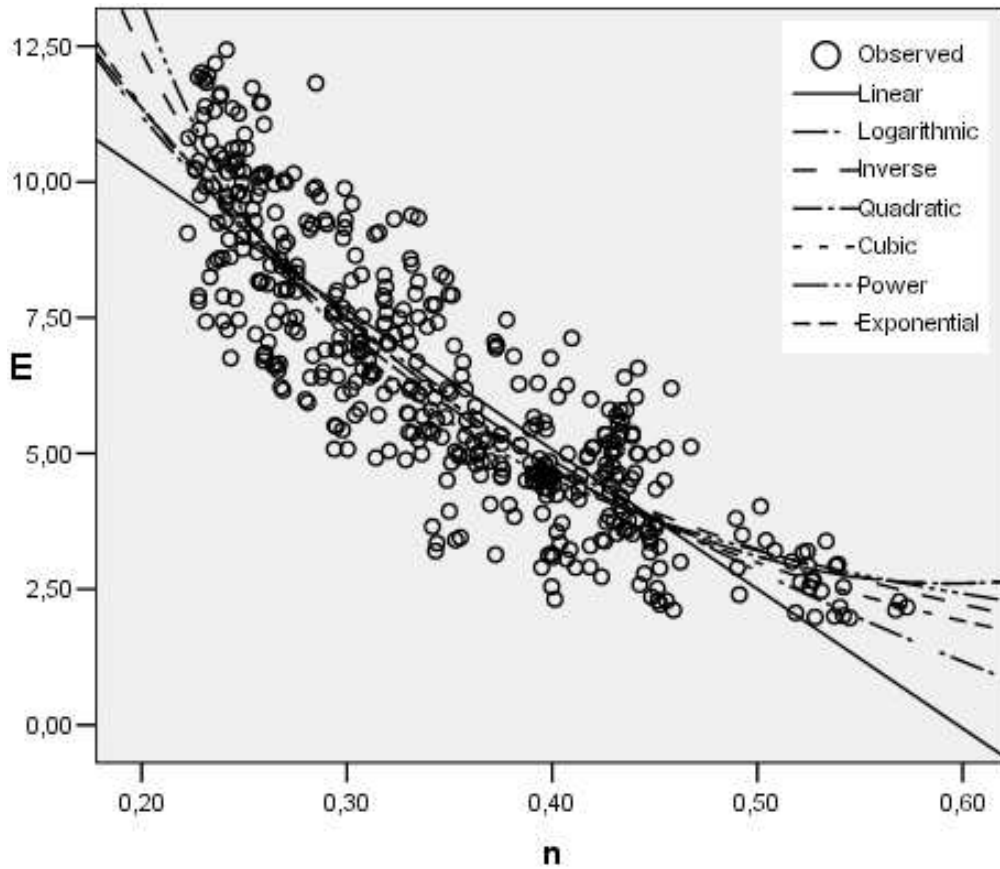
Elastisite modülü ile porozite arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.14 ve Şekil 5.13’de sunulmuştur.

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

| Denklem | Modelin Özeti | | | | | Parametre Tahminis | | | |
|-------------|---------------|----------|-----|-----|------|--------------------|---------|--------|--------|
| | 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

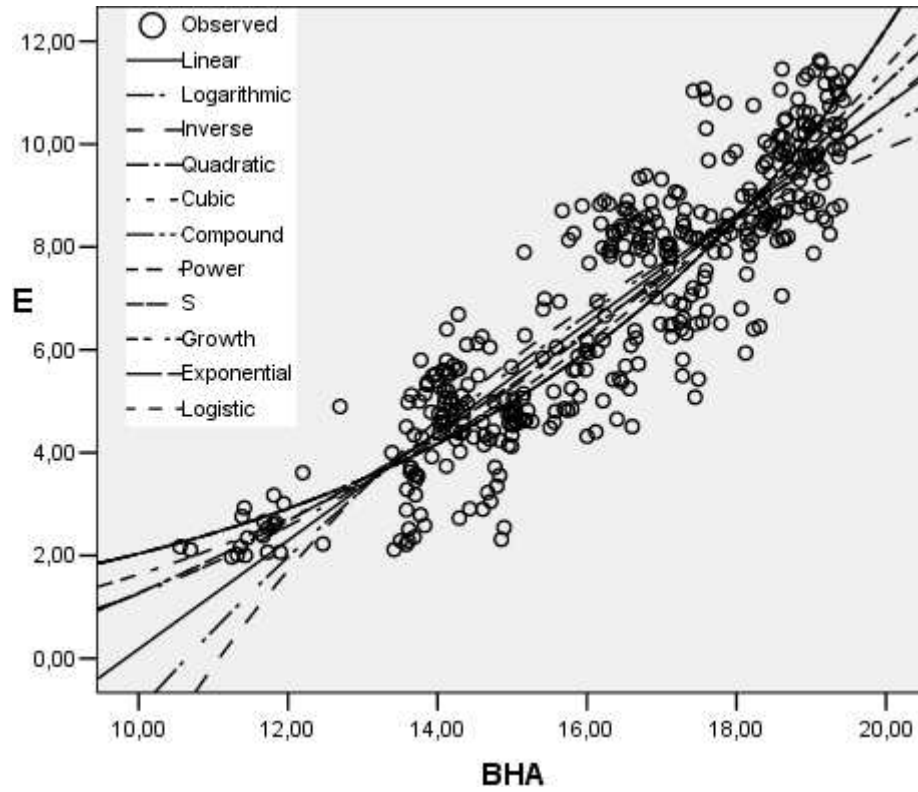
Elastisite modülü ile birim hacim ağırlık arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.15 ve Şekil 5.14’de sunulmuştur.

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

| Denklem | Modelin Özeti | | | | | Parametre Tahmini | | | |
|-------------|---------------|----------|-----|-----|------|-------------------|----------|------|------|
| | 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

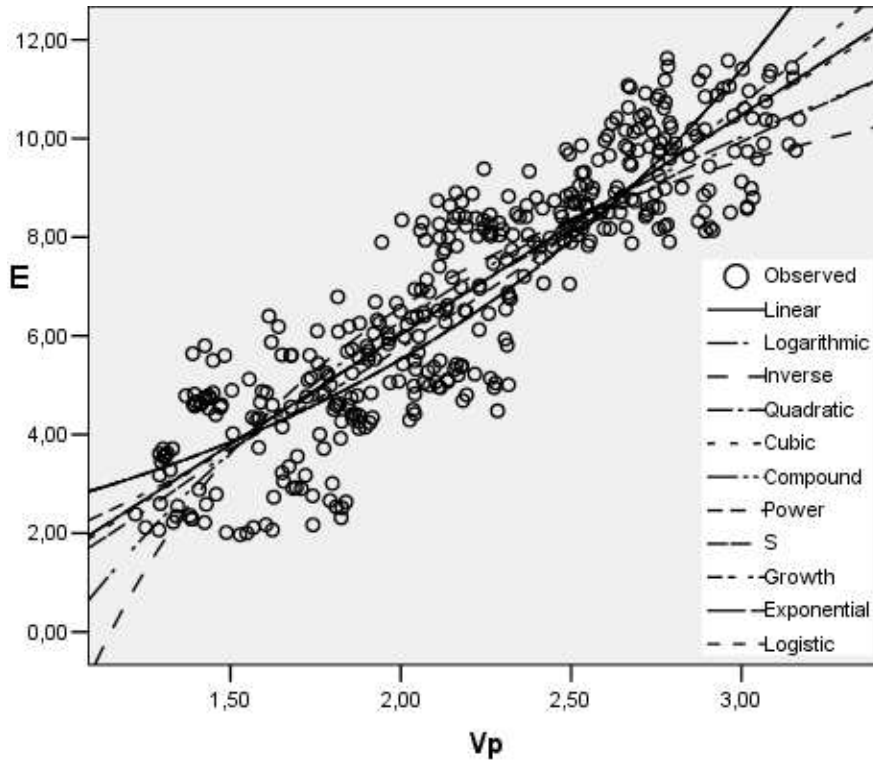
Elastisite modülü ile ultrasonik P dalgı hızı arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve Tablo 5.16 ve Şekil 5.15’de sunulmuştur.

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

| Denklem | Modelin Özeti | | | | | Parametre Tahmini | | | |
|-------------|---------------|----------|-----|-----|------|-------------------|---------|------|-------|
| | 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 Vp.



Şekil 5.15. E-Vp arasındaki modeller

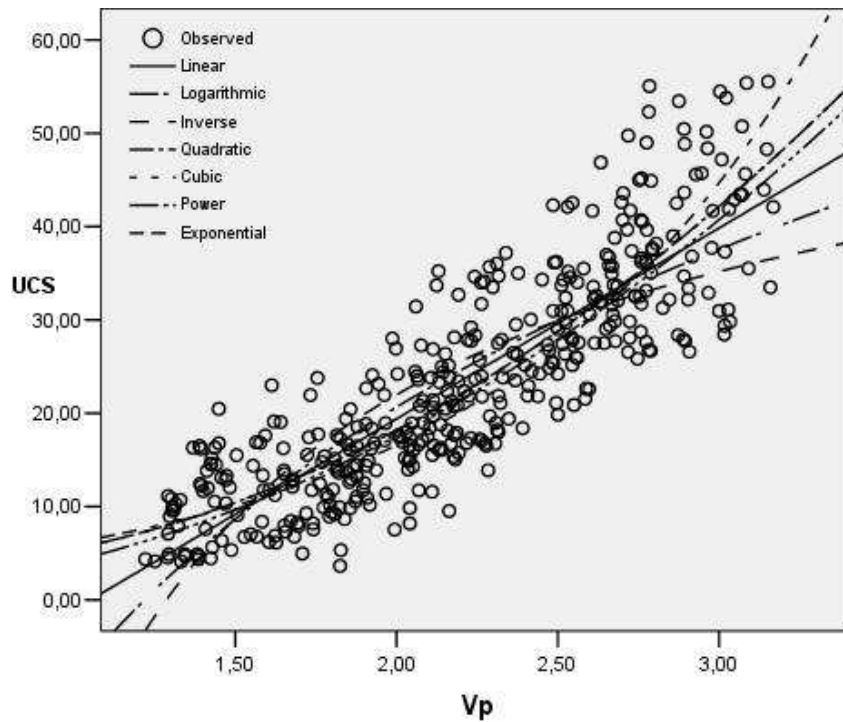
5.4.5. UCS-Vp arasındaki modeller

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

| Denklem | Modelin Özeti | | | | | Parametre Tahmini | | | |
|-------------|---------------|----------|-----|-----|------|-------------------|---------|-------|------|
| | 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

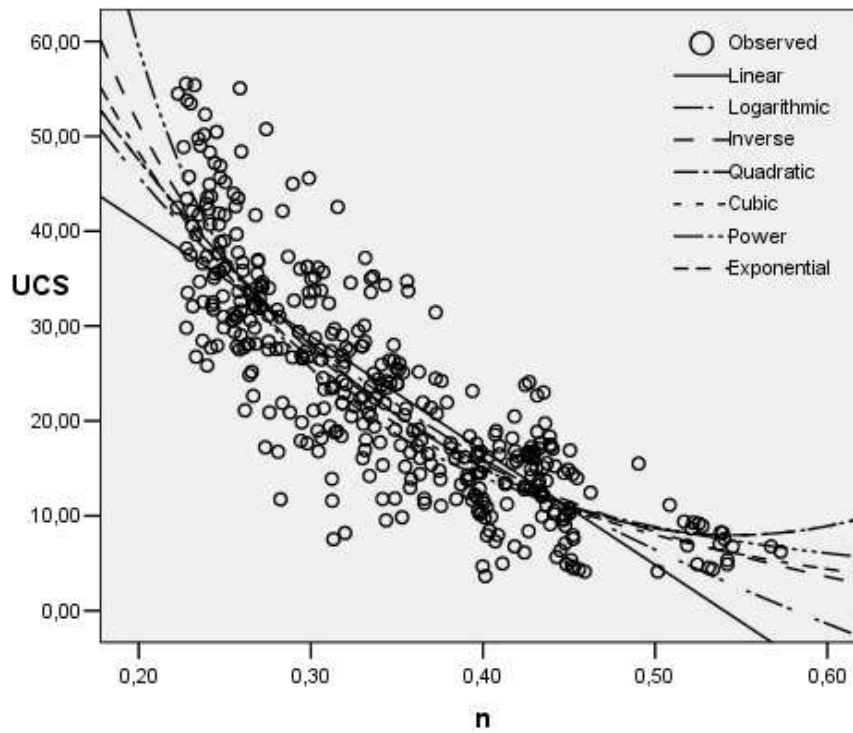
Tek eksenli basınç dayanımı ile porozite arasında doğrusal, logaritmik, ters, kuadratik, kübik, üs ve üstel fonksiyonların uygunluğu araştırılmış ve sonuçlar Tablo 5.18 ve Şekil 5.17'de gösterilmektedir.

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

| Denklem | Modelin Özeti | | | | | Parametre Tahmini | | | |
|-------------|---------------|----------|-----|-----|------|-------------------|----------|---------|------|
| | 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

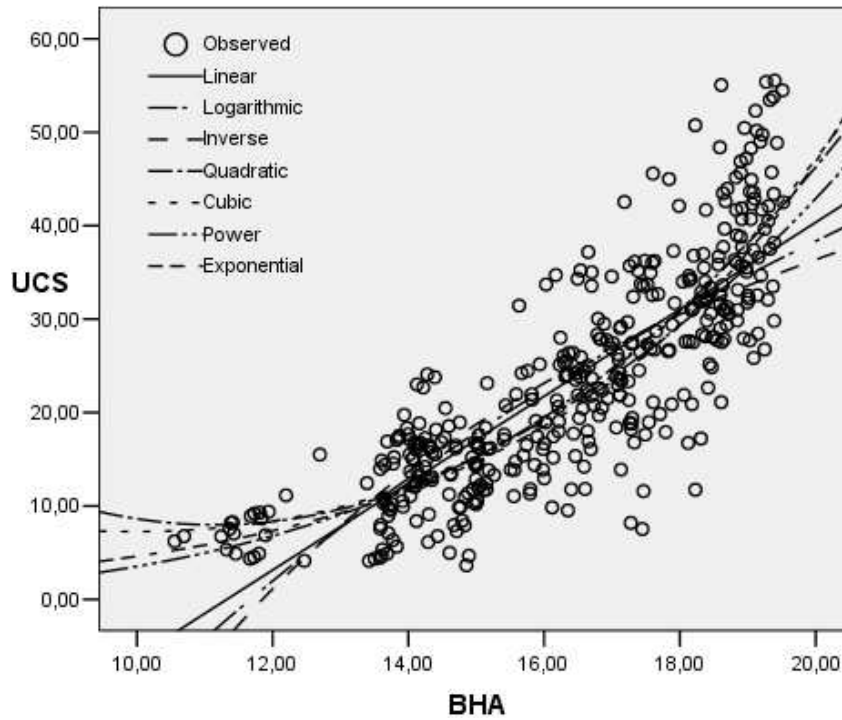
5.4.7. UCS-BHA arasındaki modeller

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

| Denklem | Modelin Özeti | | | | | Parametre Tahmini | | | |
|-------------|---------------|---------|-----|-----|------|-------------------|-----------|-------|------|
| | 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

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

$$E = a * BHA^3 + b * BHA^2 + c * BHA + d * n^3 + f * n^2 + g * n + h * Vp^3 + i * Vp^2 + j * Vp + k * Is(50)_e^3 + l * Is(50)_e^2 + m * Is(50)_e + o * Brt^3 + p * Brt^2 + r * Brt + s * Is(50)_c^3 + t * Is(50)_c^2 + v * Is(50)_c + y \quad (5.2)$$

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 |

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 | | Beta | Standardized Coefficients | |
|-------|------------|-----------------------------|------------|--------|---------------------------|------|
| | | B | Std. Error | | T | Sig. |
| 1 | (Constant) | 370.640 | 98.609 | | 3.759 | .000 |
| | BHA | -14.455 | 3.934 | -.2551 | -3.674 | .000 |
| | n | -410.972 | 100.186 | -.2805 | -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

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

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 | |

$$R \text{ squared} = 1 - (\text{Residual Sum of Squares}) / (\text{Corrected Sum of Squares}) = .839$$

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 |
| 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, R²=Korelasyon Katsayısı

Tahmin edilen ile deneysel olarak bulunan E değerlerinin karşılıklı korelasyonu sonucunda, tahmin edilen E değeri için geliştirilen YSA modelinin oldukça kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Modelin tahmin performansı korelasyon katsayısı R², MSE ve TAE ile karşılaştırılarak bulunmuştur. En yüksek R² (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

| Deneme | Eğitim | | | Test | | |
|----------|--------|-----------|----------------|-------|-----------|----------------|
| | 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, R²=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 G_{sort}=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 K_d= %1-1.5 arası
(Na₂S₀₄ 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 ($I_{s(50)c}$) 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 birbiriyle 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 regresyon 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, bağımsız 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 kullanılması, geoteknik anabilim dalının gelişmesine büyük katkı sağlayacaktır.

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 V_p (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 kullanılabilir, 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 tuf 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 Çözölmeye daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni, İncesu tüfünde karşılaşıldığı gibi gözenekleri az ve birbiriyle irtibatsız (kaynaklanmış Tuf) 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-çözölme çevriminden çok etkilenmektedir. Bozulmalar yüzeyde yaprak yaprak veya pul pul olmaktadır. Bunu, laboratuvar sonuçlarında ve eski tarihi ve yeni tuf 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 yüzden ki buna benzer tuf taşlarından yapıma tarihi yapıların çoğu günümüze kadar zarar görmeden gelmiştir.
6. Kayseri tüfleriyle yapılmış tarihi eserlerde, donma-çözölme 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 dağılır. Sürtünerek aşınmalara karşı ise oldukça dayanıksızdır. Bu sebeple yerlerde döşeme kaplaması olarak kullanılması uygun değildir.

Kayseri tuf taşının en uygun kullanım yerleri insan eli ve ayağıyla birebir temas içerisinde olmayan yerlerdir. Örneğin yağma kağıt 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, tuf 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 kayanmış 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 kayaların, hava, su ve canlılar gibi etmenlerin kimyasal ve fiziksel etkileri sonucunda bozulup, dağılmaları olayıdır. Dolayısıyla, yamaçlarda bulunan bu tüflerin, suya doymun durumunda iken şev ve yamaç kaymalarına ve kaya düşmelerine neden olabileceği düşünülmektedir.

Düşme tehlikesi olan tuf kayaların, geoteknik özelliklerinin laboratuarda belirlenmesi ve yerinde incelenmesi sonucunda bu tuf 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 yapıllı 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 Yılanlı 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 cürufunun, 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 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------|-------------------|
| | Elek Açıklığı (mm) | % Geçen | % Geçen Cürufu |
| 1) Dane Çapı Dağılımı | 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 | |
| 3) Plastisite Indisi | ≤6 | | N.P. |
| 4) 2.5 mm elek üzerinde kalan malzemenin Donma Kaybı (Na ₂ SO ₄), % | ≤25 | | 5 |
| 5) Aşınma Oranı, % | ≤50 | | 31 |
| 6) Organik Madde oranı | 0 – 1 | | 0 |
| 7) 2.5 kg'lık tokmakla bulunan proctor sıklığında 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 tuf 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 cemento 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., YENİPİNAR, 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.; Mittl. 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.

BIENIAWSKI, 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., KASAPOĞLU, K.E., GÖKÇEOĞLU, C. The Surficial Physical Deterioration Behaviour of Neogene Volcanosedimentary Rocks of Eskişehir-Yazılıkaya NW Turkey, Engineering Geology and The Environment, Yunanistan, 1997 3065-3069.

BUESCH, D.C., STOKOE K.H., CHOI 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 compressive strength of Rock. Symposium Canadian Department Mining Technical Survey, Ottawa, pp, 65-83, 1965

COLORNI, A., DORÌGO, M., MANIEZZO, 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)

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

DORÌGO, 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.

DORÌGO, M., MANIEZZO, V. VE COLORNÌ, 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, Koçcağz Köyü (Kayseri) Dolayının Stratigrafisi ve Tüflerin Yapı-Kaplama Taşı Olarak kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi, jeoloji Mühendisliği Yüksek 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 volkanizması.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.

FİŞHER, R. V.,. Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. Geol. Soc. Amer. Bull. 72, 1409-1414. 1961. ReprintedBenchmark Papers in Geology, Sedimentary Rocks:Concepts 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. Engineering 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

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

HANDIN, J., HAGER, R. V., FRIEDMAN, 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., ALGORITHMICS, The Spirit of Computing, Addison-Wesley, 1987.

HARRISON, 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., MARTIN R.J., TANG, W., DUPREE, W.J., AND PRICE, 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 calckaline 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.
- KUŞÇU, 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 Yapıtışı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersin'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., BOURDIER, J.L., FROGER, TEMEL, A., CAMUS, G., GOURGAUD, A., Neogene ignimbrites of the Nevşehir 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., PRICE, 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 Tebliği.* 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 Static and 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 Bulk Properties 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.

PRICE, 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 LÌ, 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., TSUI, Y., AND LIU, H., "Numerical Studies of the Influence of Microstructure on Rock Failure in Uniaxial Compression – PartII : Constrains, Slenderness and Size Effect," International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 37, pp 571-583., 2000.

TATSUAKA, F., KOHATA, Y., OCHI, K. AND TSUBOUCHI, 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., GÜNDOĞDU, 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 Gerilmesinin Sismik 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., GÖKÇEOĞLU, 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, İstanbul, 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, Lancaster 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 Miocene 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 Behavior(Donma-Çözülme Davranışı) TS699 | | | | | | | | | | | | | | MEKANİK PARAMETRELER | |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------|----------------|------------------------------|------|-------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 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 t _p (Mikro Saniye) | P Kırılma yükü k _g | Su İçeriği w % | Doygun Birim Hacim Ağırlık gr/cm ³ | Kuru Birim Hacim Ağırlık gr/cm ³ | DENEY Sonrası | DENEY Sonrası |
| | | | | | | | | | | | | | | P-wave Velocity V _p km/s | (Unconfined Compreion Strength) UCS qu k _g /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 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|---------|-------|----------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Sam ple No | Sample Name | wet Weig ht Befor e Test | Saturat ion S,% | The Freeze- Thaw Cycle Number | D mm | L mm | Dry Weight of Sample Before Test | Dry Weight of Sample After Test | Zama n tp (Mikro Saniye) | P Kırılm a 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 tufu 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°C ve 8 saat +32°C)

| ÖRNEK NO. FTG=freeze-thaw G=GESİ SR=Doygunluk C=Çevrim sayısı | DENEY ÖNCESİ YAŞ Ağırlık gr | su içeriği w % | SUYA DOY GUN LUK Sr % | Donma-Çözülme ÇEVİRİM SAYISI | ÇAP Diameter D (mm) | BOY Length L (mm) | DENEY ÖNCESİ KURU Ağırlık (g) | DENEY ÖNCESİ KURU Ağırlık (gr/cm ³) | DENEY ÖNCESİ DOYGUN Ağırlık (gr/cm ³) | B.H | B.H | Özgül Ağırlık gr/cm ³ | Poro sitesi n | Zaman (Micro Second) T _p | Vp (Km/s) | P Max load kg | UCS Tek eksenli Basınc kg/cm ² | KAYAC 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 |

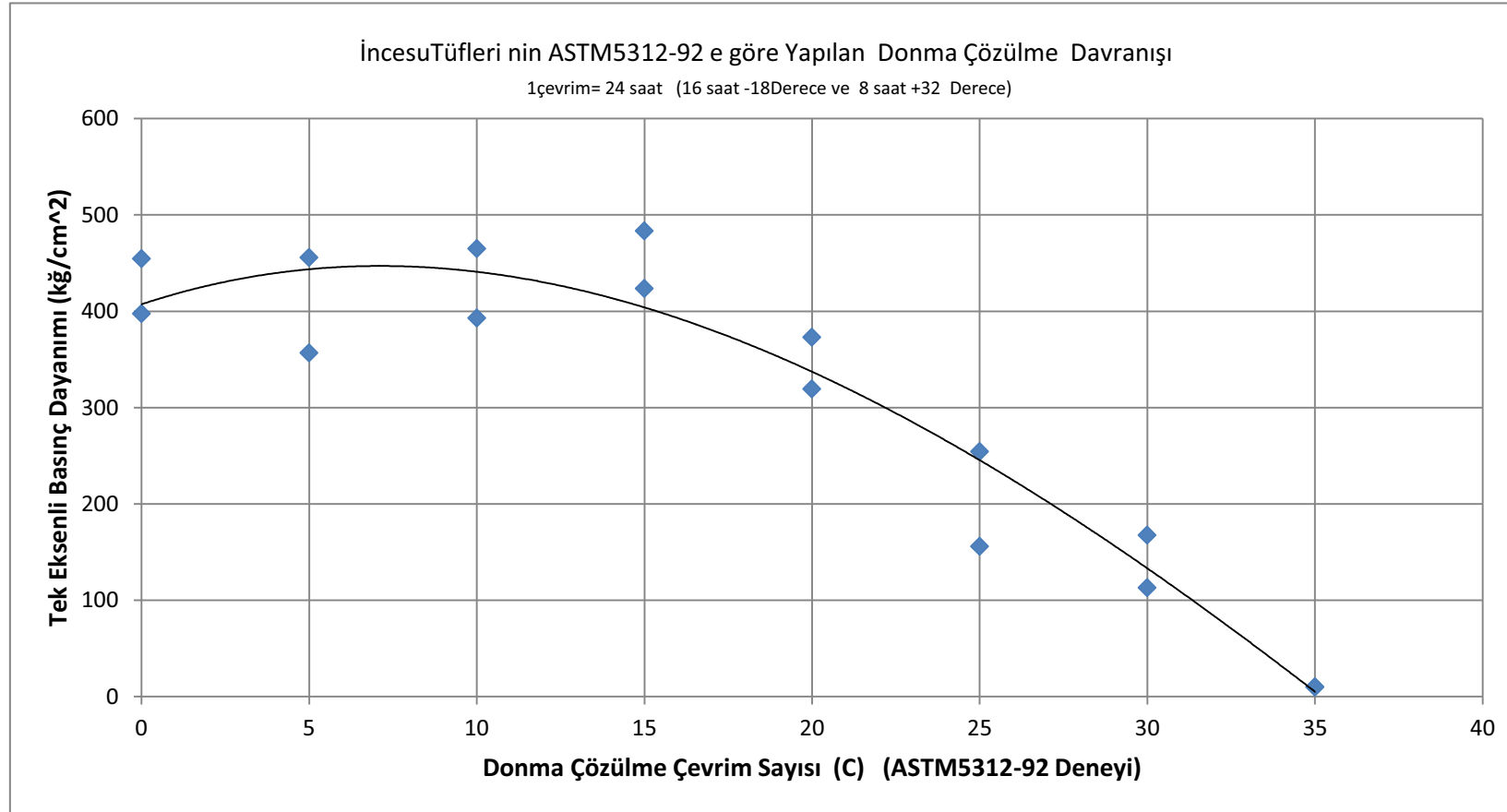
Ek-Tablo 3. Kayseri İncesu Tüfleri nin ASTM5313-92 e göre Donma Çözülme Davranışı (1 çevrim=16 saat -18°C ve 8 saat +32°C)

| ÖRNEK NO. Sample No. FTG=freze-thaw GESİ SR=saturation C=cycle | DENEY ÖNCESİ YAŞ Ağırlık Wet Weight of Sample Before Test (g) | su içeriği w % | SUYA DOY GUN LUK % Saturation % Sr | ÇEVİRİM SAYISI The Number of Cycle Donma Çözülme | ÇAP Diameter D (mm) | BOY Length L (mm) | DENEY ÖNCESİ KURU Ağırlık Dry Weight of Sample Before Test (g) | DENEY ÖNCESİ KURU B.H Ağırlığı (gr/cm ³) | DENEY ÖNCESİ 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 kg | DENEY SONRASI UCS kg/cm ² | KAYAC 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 |

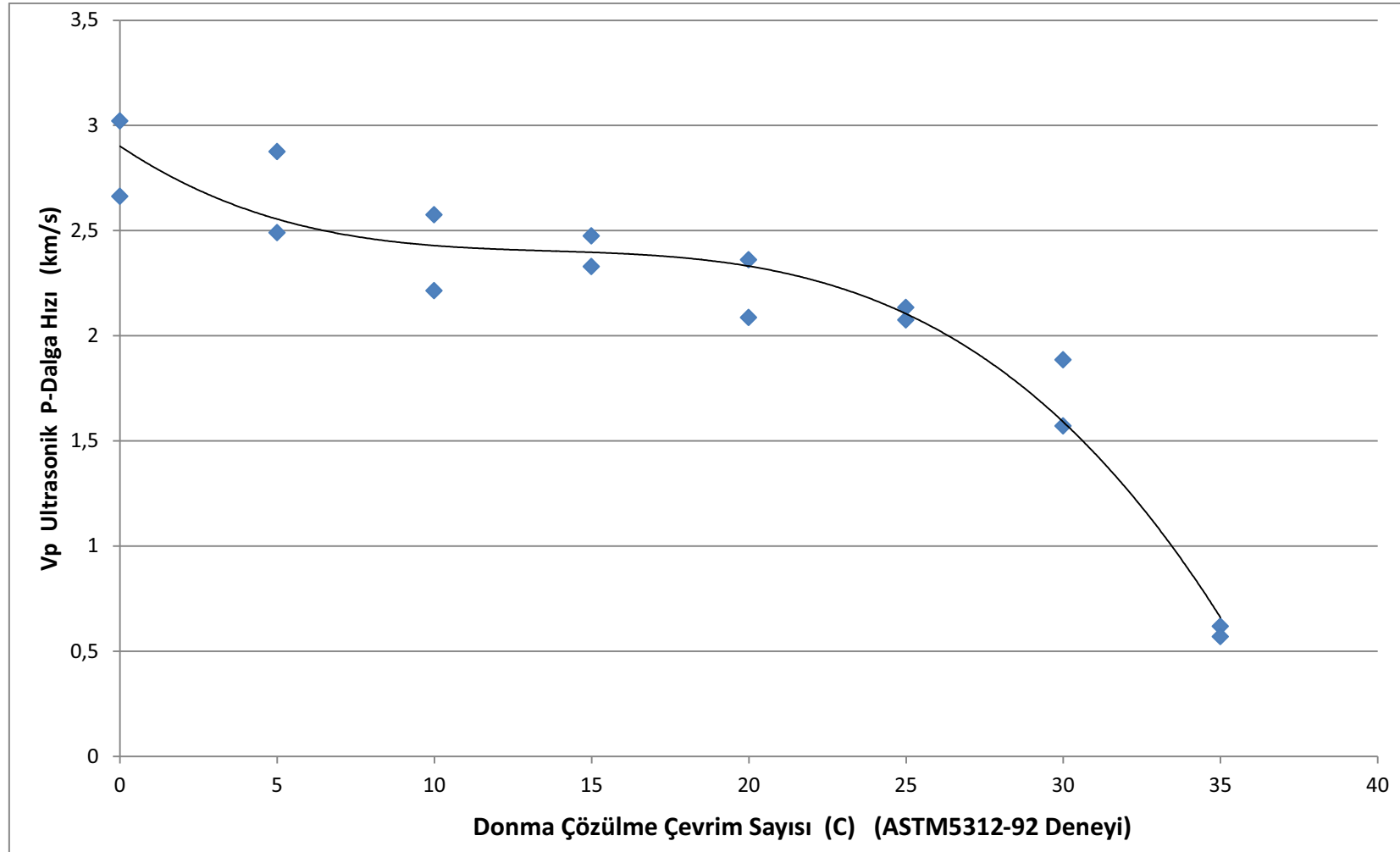
Ek-Tablo 4. Kayseri İncesu tüfü donma çözülme davranışı ASTM 5313-92

| | ÖRNEK NO. Sample No. FTG=frez-thaw GESİ SR=saturation C=cycle | DENEY ÖNCESİ YAŞ Ağırlık (g) | su içeriği w % | SUYA DOY GUN LUK % Sr | ÇEVİRİM SAYISI The Number of Cycle Donma Çözülme | ÇAP Diameter D (mm) | BOY Length L (mm) | DENEY ÖNCESİ KURU Ağırlık (g) | DENEY ÖNCESİ KURU B.H Ağırlığı (gr/cm ³) | DENEY ÖNCESİ 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 kg | DENEY SONRASI UCS kg/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)



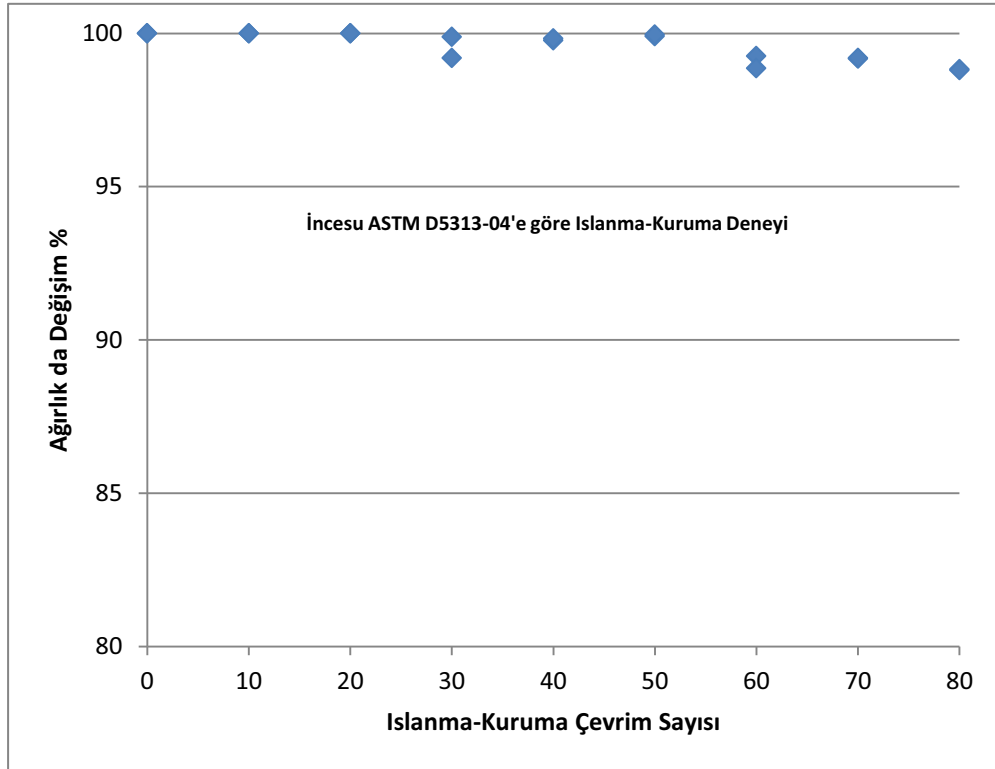
Ek Şekil 1. Kayseri İncesu Tüfleri'nin ASTM5312-92'e göre UCS-Donma Çözülme Periyodu İlişkisi



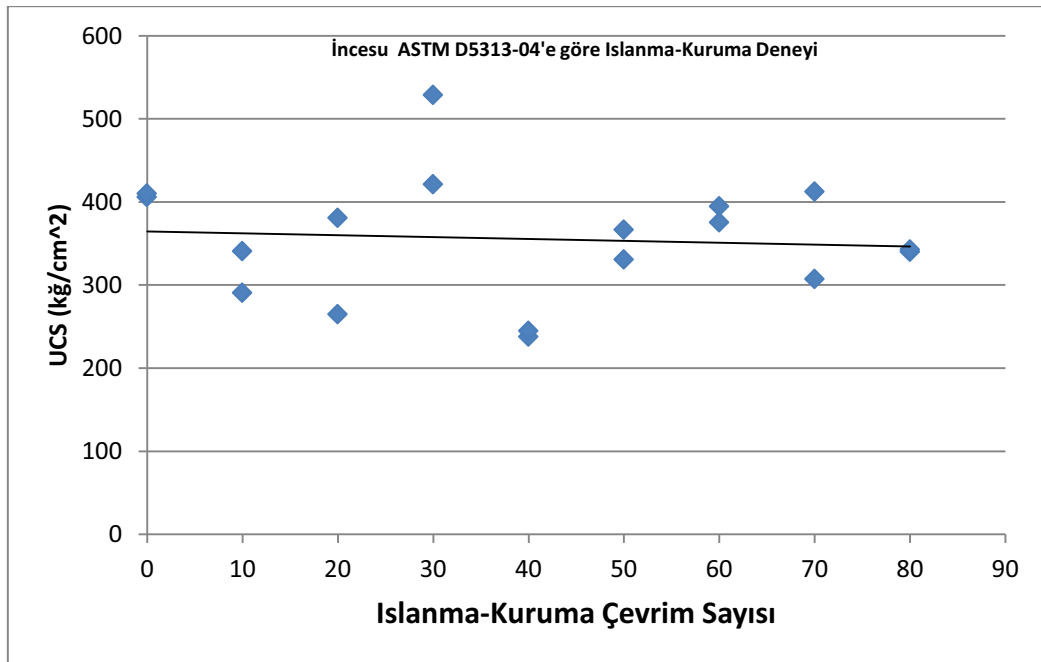
Ek Şekil 2. Kayseri İncesu Tüfleri'nin ASTM5313-92'e göre Vp-Donma Çözülme Periyodu İlişkisi

Ek-Tablo 5. Kayseri İncesu tufü ASTM D5313-04'göre İslanma-Kuruma deney sonuçları

| İslanma Kuruma Deneyi Wetting-Draying Test ASTM 5313-04 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------|-----------|------------------------------|------------|------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------|
| Örnek No | Örnek Adı | İslanma-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 Basıncı (kg/cm ²) | Tufün 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 tufü Islanma-Kuruma sonucu ağırlık kaybı çevrim sayısı ilişkisi



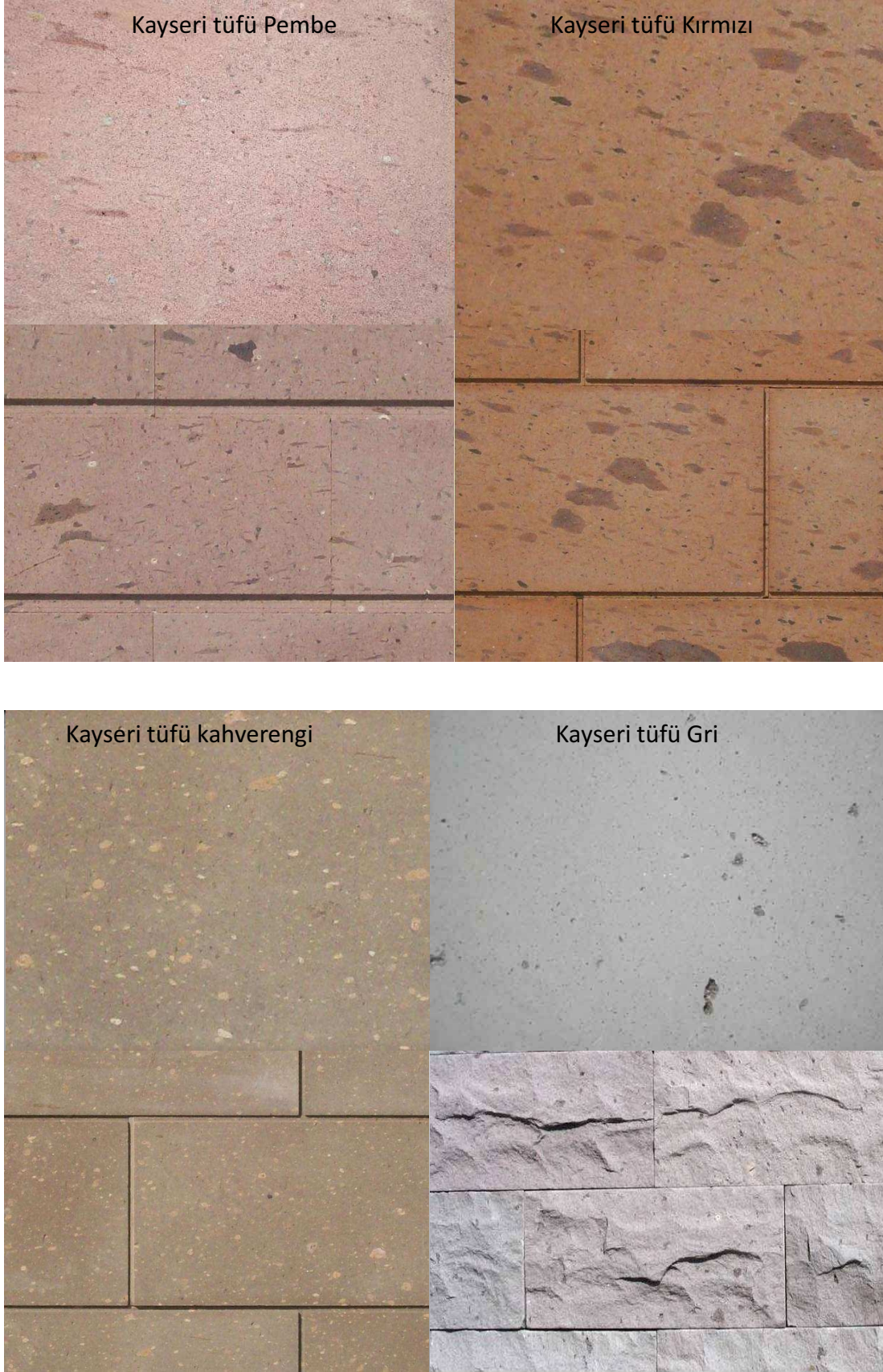
EK Şekil 4. Kayseri İncesu tufü Islanma-Kuruma sonucu Tek eksenli basınç (UCS)-Çevrim sayısı ilişkisi

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 | Brazilian 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 tufu



EK Şekil 12. Gesi Tufu



EK Şekil 13. İncesu tüfleri



EK Şekil 14. Tomarza tüfleri



EK Şekil 15. Talas tufü



EK Şekil 16. Karot alınmış tuf blokları

- D =Silindir tuf numunesinin (karot) çapı (mm)
L =Karot uzunluğu (mm)
W =Karot kuru ağırlığı (gr)
t =Karot boyunca bir uçtan diğer uca Vp dalga hızının geçme süresi (µs)
P =Karot kırılma yükü (kg)
E =Karot Elastisite Modülü (GPa)
BHA=Karotun birim hacim ağırlığı (kN/m³)
n = Karotun Porozite (Birimsiz)
Vp =Karotun sismik P dalga hızı (km/s)
Gs =Karotun Özgül Ağırlığı (Birimsiz)
Is_{50e} =Karotun ortalama aksenal 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} | B rt | Is _{50c} |
|----|---------|------|-------|------|-------|-------|------|---------|------|--------|--------|---------|---------|------|-------------------|---------|-------------------|
| 1 | Agirnas | BB | BB01 | 53,0 | 118,0 | 303,0 | 69,7 | 1856,00 | 2,93 | 8.250 | 11.410 | 5381,69 | 32.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 2 | Agirnas | BB | BB02 | 53,0 | 134,5 | 357,3 | 78,2 | 2088,00 | 3,17 | 9.280 | 11.810 | 5221,72 | 20.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 3 | Agirnas | BB | BB03 | 53,0 | 105,7 | 277,7 | 59,0 | 2010,00 | 2,66 | 8.930 | 11.680 | 5271,79 | 22.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 4 | Agirnas | BB | BB04 | 53,0 | 124,5 | 295,6 | 77,6 | 1398,00 | 2,17 | 6.210 | 10.550 | 5731,60 | 42.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 5 | Agirnas | BB | BB05 | 53,0 | 128,2 | 337,7 | 73,0 | 2124,00 | 2,65 | 9.440 | 11.710 | 5261,75 | 62.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 6 | Agirnas | BB | BB06 | 53,0 | 115,0 | 304,8 | 68,0 | 1706,00 | 2,39 | 7.580 | 11.780 | 5231,69 | 12.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 7 | Agirnas | BB | BB08 | 53,0 | 109,0 | 292,8 | 60,6 | 2110,00 | 3,01 | 9.380 | 11.940 | 5171,79 | 92.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 8 | Agirnas | BB | BB09 | 53,0 | 119,6 | 287,7 | 76,3 | 1520,00 | 2,11 | 6.760 | 10.690 | 5671,56 | 72.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 9 | Agirnas | BB | BB10 | 53,0 | 124,8 | 332,6 | 75,0 | 1686,00 | 2,36 | 7.490 | 11.850 | 5211,66 | 42.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 10 | Agirnas | BB | BB11 | 53,0 | 125,5 | 334,1 | 72,6 | 1450,00 | 2,20 | 6.450 | 11.830 | 5211,72 | 292.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 11 | Agirnas | BB | BB12 | 53,0 | 130,3 | 342,0 | 74,0 | 1812,00 | 2,51 | 8.050 | 11.670 | 5281,76 | 12.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 12 | Agirnas | BB | BB13 | 53,0 | 99,2 | 239,7 | 63,5 | 1776,00 | 2,24 | 7.890 | 10.740 | 5651,56 | 22.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 13 | Agirnas | BB | BB14 | 53,0 | 98,0 | 238,0 | 70,3 | 1814,00 | 2,30 | 8.060 | 10.800 | 5631,39 | 42.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 14 | Agirnas | BB | BB15 | 53,0 | 125,3 | 319,1 | 84,2 | 1200,00 | 2,01 | 5.330 | 11.320 | 5421,48 | 82.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 15 | Agirnas | BB | BB16 | 53,0 | 137,0 | 350,9 | 78,7 | 1844,00 | 2,76 | 8.200 | 11.390 | 5391,74 | 12.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 16 | Agirnas | BB | BB17 | 53,0 | 115,3 | 307,0 | 62,7 | 1948,00 | 2,63 | 8.660 | 11.840 | 5211,83 | 92.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 17 | Agirnas | BB | BB18 | 53,0 | 134,0 | 350,0 | 76,1 | 1370,00 | 2,19 | 6.090 | 11.610 | 5301,76 | 12.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 18 | Agirnas | BB | BB19 | 53,0 | 118,4 | 299,5 | 77,5 | 1518,00 | 1,97 | 6.750 | 11.240 | 5451,52 | 82.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 19 | Agirnas | BB | BB21 | 53,0 | 108,2 | 278,2 | 69,9 | 1585,00 | 2,00 | 7.050 | 11.430 | 5381,54 | 82.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 20 | Agirnas | BB | BB22 | 53,0 | 116,0 | 306,1 | 64,1 | 2068,00 | 2,53 | 9.190 | 11.730 | 5251,81 | 02.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 21 | Agirnas | BB | BB23 | 53,0 | 119,7 | 306,0 | 68,7 | 1698,00 | 2,17 | 7.550 | 11.360 | 5401,74 | 22.520 | 570 | 1,0 | 44 | |
| 22 | Agirnas | BB | BB24 | 53,0 | 121,9 | 326,2 | 75,1 | 1546,00 | 2,07 | 6.870 | 11.890 | 5191,62 | 32.520 | 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 | 2712,51 | 72.540 | 1,10 | 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 | 3322,33 | 92.540 | 1,10 | 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 | 3322,03 | 22.540 | 1,10 | 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 | 2942,31 | 12.540 | 1,10 | 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 | 4411,87 | 22.540 | 1,10 | 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 | 3371,84 | 32.540 | 1,10 | 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 | 3312,01 | 82.540 | 1,10 | 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 | 4281,91 | 32.540 | 1,10 | 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 | 4271,92 | 52.540 | 1,10 | 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 | 3362,13 | 02.540 | 1,10 | 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 | 4901,50 | 42.540 | 1,10 | 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 | 3421,66 | 02.540 | 1,10 | 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 | 4351,82 | 92.540 | 1,10 | 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 _s |
|-----|-------|------|-------|------|-------|-------|------|---------|------|--------|--------|------|------|------|-------------------|--------|-----------------|
| 36 | Gesi | G | G-015 | 49,5 | 113,2 | 365,3 | 55,5 | 3132.00 | 5.93 | 15.960 | 16.440 | 3402 | 0402 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 37 | Gesi | G | G-016 | 49,5 | 110,2 | 309,1 | 61,8 | 3172.00 | 4.72 | 16.160 | 14.290 | 4261 | 7832 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 38 | Gesi | G | G-017 | 53,0 | 111,0 | 387,6 | 70,5 | 3008.00 | 4.51 | 13.370 | 15.520 | 3771 | 5742 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 39 | Gesi | G | G-018 | 53,0 | 110,0 | 410,3 | 66,4 | 3352.00 | 4.05 | 14.900 | 16.580 | 3341 | 6572 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 40 | Gesi | G | G-019 | 54,0 | 113,0 | 406,4 | 51,5 | 7040.00 | 6.92 | 30.150 | 15.400 | 3822 | 1942 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 41 | Gesi | G | G-020 | 53,0 | 115,0 | 354,1 | 73,5 | 3802.00 | 4.34 | 16.900 | 13.690 | 4511 | 5652 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 42 | Gesi | G | G-021 | 53,0 | 116,2 | 384,3 | 61,9 | 3706.00 | 4.26 | 16.470 | 14.700 | 4101 | 8772 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 43 | Gesi | G | G-022 | 53,0 | 117,0 | 457,5 | 46,2 | 7914.00 | 8.18 | 35.180 | 17.380 | 3022 | 5322 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 44 | Gesi | G | G-023 | 53,0 | 123,0 | 483,8 | 44,6 | 8152.00 | 8.17 | 36.240 | 17.480 | 2982 | 7582 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 45 | Gesi | G | G-024 | 53,3 | 115,9 | 437,4 | 63,8 | 3230.00 | 6.09 | 14.200 | 16.590 | 3341 | 8172 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 46 | Gesi | G | G-025 | 53,0 | 116,3 | 413,3 | 72,4 | 2652.00 | 4.85 | 11.790 | 15.800 | 3661 | 6062 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 47 | Gesi | G | G-026 | 53,0 | 114,0 | 402,5 | 64,2 | 3462.00 | 4.86 | 15.390 | 15.690 | 3701 | 7762 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 48 | Gesi | G | G-027 | 53,0 | 117,0 | 417,9 | 72,2 | 4296.00 | 5.87 | 19.100 | 15.880 | 3631 | 6202 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 49 | Gesi | G | G-028 | 53,2 | 118,0 | 452,7 | 52,9 | 6288.00 | 7.02 | 27.740 | 16.930 | 3212 | 2312 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 50 | Gesi | G | G-029 | 53,3 | 115,5 | 438,5 | 62,2 | 3656.00 | 5.73 | 16.070 | 16.690 | 3301 | 8572 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 51 | Gesi | G | G-030 | 53,0 | 120,5 | 469,7 | 62,4 | 3778.00 | 6.32 | 16.790 | 17.330 | 3041 | 9312 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 52 | Gesi | G | G-031 | 53,0 | 116,0 | 451,5 | 50,1 | 6184.00 | 6.88 | 27.490 | 17.300 | 3052 | 3152 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 53 | Gesi | G | G-032 | 53,1 | 116,0 | 424,8 | 70,7 | 4302.00 | 6.19 | 19.050 | 16.220 | 3491 | 6412 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 54 | Gesi | G | G-033 | 53,2 | 113,0 | 361,0 | 78,6 | 4206.00 | 5.63 | 18.560 | 14.090 | 4341 | 4382 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 55 | Gesi | G | G-034 | 53,0 | 122,5 | 463,2 | 55,2 | 3774.00 | 6.21 | 16.780 | 16.810 | 3252 | 2192 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 56 | Gesi | G | G-035 | 53,0 | 112,0 | 417,5 | 60,2 | 3564.00 | 5.72 | 15.840 | 16.570 | 3351 | 8602 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 57 | Gesi | G | G-036 | 53,5 | 119,5 | 449,9 | 53,8 | 4192.00 | 5.49 | 18.290 | 16.420 | 3412 | 2212 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 58 | Gesi | G | G-037 | 49,5 | 121,0 | 354,4 | 63,4 | 3084.00 | 4.10 | 15.720 | 14.930 | 4011 | 9092 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 59 | Gesi | G | G-038 | 53,0 | 114,0 | 404,2 | 69,6 | 2834.00 | 5.29 | 12.600 | 15.760 | 3671 | 6382 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 60 | Gesi | G | G-039 | 53,0 | 115,7 | 405,2 | 62,6 | 3578.00 | 6.04 | 15.900 | 15.570 | 3751 | 8482 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 61 | Gesi | G | G-040 | 49,5 | 112,5 | 311,7 | 75,9 | 2458.00 | 5.79 | 12.530 | 14.120 | 4331 | 9002 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 62 | Gesi | G | G-041 | 53,0 | 114,9 | 470,5 | 39,4 | 8278.00 | 8.14 | 36.800 | 18.200 | 2692 | 9162 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 63 | Gesi | G | G-042 | 53,0 | 114,9 | 378,0 | 72,5 | 3000.00 | 4.34 | 13.340 | 14.620 | 4131 | 5852 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 64 | Gesi | G | G-043 | 53,0 | 111,2 | 433,6 | 44,7 | 8130.00 | 8.25 | 36.140 | 17.330 | 3042 | 4882 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 65 | Gesi | G | G-044 | 53,0 | 114,9 | 468,8 | 50,6 | 7680.00 | 7.47 | 34.140 | 18.140 | 2722 | 2712 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 66 | Gesi | G | G-045 | 53,0 | 114,0 | 439,6 | 52,0 | 5270.00 | 6.49 | 23.430 | 17.140 | 3122 | 1922 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 67 | Gesi | G | G-046 | 53,0 | 112,0 | 368,4 | 67,8 | 3036.00 | 4.16 | 13.500 | 14.620 | 4131 | 6522 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 68 | Gesi | G | G-047 | 49,5 | 111,4 | 310,4 | 60,1 | 2478.00 | 4.75 | 12.630 | 14.200 | 4301 | 8542 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 69 | Gesi | G | G-048 | 53,0 | 114,9 | 439,0 | 57,5 | 6058.00 | 6.50 | 26.930 | 16.980 | 3181 | 9982 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 70 | Gesi | G | G-049 | 53,0 | 116,3 | 456,9 | 50,6 | 7542.00 | 8.16 | 33.520 | 17.460 | 2992 | 2982 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 71 | Gesi | G | G-050 | 53,0 | 112,0 | 364,9 | 71,0 | 3786.00 | 4.30 | 16.830 | 14.480 | 4191 | 5772 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 72 | Gesi | G | G-051 | 53,0 | 112,0 | 360,5 | 67,9 | 3656.00 | 4.38 | 16.250 | 14.310 | 4261 | 6492 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 73 | Gesi | G | G-052 | 49,5 | 113,9 | 316,5 | 59,8 | 3698.00 | 5.53 | 18.840 | 14.160 | 4321 | 9052 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 74 | Gesi | G | G-053 | 49,5 | 114,9 | 347,5 | 63,3 | 3460.00 | 6.79 | 17.630 | 15.410 | 3811 | 8152 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 75 | Gesi | G | G-054 | 49,8 | 110,5 | 356,4 | 55,6 | 5564.00 | 6.66 | 28.010 | 16.240 | 3481 | 9582 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 76 | Gesi | G | G-055 | 53,0 | 112,0 | 362,9 | 70,2 | 3100.00 | 6.05 | 13.780 | 14.400 | 4221 | 5952 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 77 | Gesi | G | G-056 | 53,0 | 112,1 | 405,7 | 51,6 | 7032.00 | 7.81 | 31.260 | 16.090 | 3542 | 1722 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 78 | Gesi | G | G-057 | 50,0 | 119,0 | 346,8 | 65,0 | 4130.00 | 6.19 | 20.630 | 14.560 | 4161 | 8312 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 79 | Gesi | G | G-058 | 49,5 | 116,0 | 373,5 | 58,3 | 5174.00 | 6.79 | 26.370 | 16.410 | 3411 | 9902 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 80 | Gesi | G | G-059 | 49,5 | 110,8 | 358,6 | 55,2 | 4922.00 | 6.96 | 25.080 | 16.490 | 3382 | 0072 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 81 | Gesi | G | G-060 | 53,0 | 116,0 | 407,9 | 56,3 | 7074.00 | 6.94 | 31.440 | 15.630 | 3722 | 0602 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 82 | Gesi | G | G-061 | 53,0 | 120,3 | 433,0 | 65,1 | 3752.00 | 6.19 | 16.680 | 16.000 | 3581 | 8482 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 83 | Gesi | G | G-062 | 53,0 | 117,5 | 464,5 | 55,6 | 6044.00 | 7.41 | 26.870 | 17.570 | 2952 | 1132 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 84 | Gesi | G | G-063 | 53,0 | 111,6 | 412,6 | 63,5 | 3990.00 | 5.44 | 17.740 | 16.430 | 3401 | 7572 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 85 | Gesi | G | G-064 | 53,0 | 110,4 | 407,3 | 69,5 | 2648.00 | 4.65 | 11.770 | 16.400 | 3421 | 5882 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 86 | Gesi | G | G-065 | 53,0 | 119,4 | 445,0 | 64,3 | 4596.00 | 5.25 | 20.430 | 16.570 | 3351 | 8572 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 87 | Gesi | G | G-066 | 49,5 | 116,0 | 341,3 | 60,5 | 1998.00 | 4.34 | 10.180 | 14.990 | 3981 | 9172 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 88 | Gesi | G | G-067 | 49,5 | 109,4 | 344,1 | 51,5 | 6614.00 | 7.68 | 33.700 | 16.030 | 3572 | 1242 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 89 | Gesi | G | G-068 | 49,5 | 110,0 | 305,3 | 58,6 | 2590.00 | 5.56 | 13.200 | 14.140 | 4321 | 8772 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 90 | Gesi | G | G-069 | 49,5 | 110,0 | 305,1 | 60,4 | 2674.00 | 4.62 | 13.630 | 14.130 | 4331 | 8212 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 91 | Gesi | G | G-070 | 53,0 | 110,5 | 447,3 | 53,7 | 6914.00 | 6.71 | 30.730 | 17.990 | 2782 | 0582 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 92 | Gesi | G | G-071 | 53,0 | 119,0 | 472,2 | 50,3 | 8422.00 | 8.06 | 37.440 | 17.640 | 2922 | 3662 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 93 | Gesi | G | G-072 | 49,5 | 114,8 | 308,7 | 64,1 | 2904.00 | 4.87 | 14.800 | 13.700 | 4501 | 7912 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 94 | Gesi | G | G-073 | 49,5 | 119,0 | 349,1 | 52,3 | 3544.00 | 6.39 | 18.060 | 14.950 | 4002 | 2752 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 95 | Gesi | G | G-074 | 49,5 | 103,3 | 335,4 | 43,2 | 7458.00 | 8.15 | 38.010 | 16.550 | 3362 | 3912 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 96 | Gesi | G | G-076 | 49,5 | 114,9 | 316,3 | 61,2 | 2172.00 | 4.39 | 11.070 | 14.030 | 4371 | 8772 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 97 | Gesi | G | G-077 | 49,5 | 116,0 | 324,3 | 62,2 | 2782.00 | 4.42 | 14.180 | 14.250 | 4281 | 8652 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 98 | Gesi | G | G-078 | 49,5 | 113,0 | 315,9 | 61,9 | 3386.00 | 4.26 | 17.250 | 14.250 | 4281 | 8262 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 99 | Gesi | G | G-079 | 53,0 | 119,8 | 461,7 | 53,7 | 6566.00 | 6.96 | 29.190 | 17.130 | 3122 | 2312 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 100 | Gesi | G | G-080 | 53,0 | 113,8 | 377,8 | 54,6 | 4262.00 | 4.99 | 18.950 | 14.760 | 4082 | 0842 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 101 | Gesi | G | G-081 | 53,0 | 116,0 | 450,1 | 55,7 | 4798.00 | 6.89 | 21.330 | 17.250 | 3082 | 0832 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 102 | Gesi | G | G-082 | 53,0 | 121,4 | 437,0 | 65,3 | 2914.00 | 4.32 | 12.950 | 16.000 | 3581 | 8592 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 103 | Gesi | G | G-083 | 53,0 | 113,0 | 438,3 | 53,0 | 5250.00 | 6.55 | 23.340 | 17.240 | 3082 | 1322 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 104 | Gesi | G | G-084 | 53,0 | 120,0 | 454,9 | 55,8 | 4612.00 | 7.18 | 20.500 | 16.850 | 3242 | 1512 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 105 | Gesi | G | G-086 | 49,5 | 115,0 | 351,2 | 63,4 | 2718.00 | 4.59 | 13.850 | 15.560 | 3751 | 8142 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 106 | Gesi | G | G-087 | 49,5 | 113,0 | 312,0 | 62,5 | 2964.00 | 4.60 | 15.100 | 14.070 | 4351 | 8082 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 107 | Gesi | G | G-088 | 49,5 | 122,0 | 358,9 | 65,0 | 2840.00 | 4.12 | 14.470 | 14.990 | 3981 | 8772 | 5401 | 110 | 2.3001 | 14 |
| 108 | Gesi | G | G-089 | 53,0 | 116,0 | 420,6 | 62,5 | 2214.00 | 4.41 | 9.840 | 16.120 | 3531 | 8562 | 5401 | 110 | 2.3001 | |

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

| | Bölge | Grup | Ornek | D | L | W | t | P | E | UCS | BHA | n | Vp | Gs | Is _{50s} | Brt | Is _s |
|-----|-------|------|-------|------|-------|-------|------|----------|-------|--------|--------|------|-------|------------|-------------------|-----|-----------------|
| 114 | Gesi | G | G-095 | 49,5 | 120,0 | 393,3 | 58,4 | 5828.00 | 6.59 | 29.700 | 16.700 | 3292 | 0.552 | 5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 115 | Gesi | G | G-096 | 53,0 | 112,6 | 396,9 | 70,1 | 2542.00 | 5.89 | 11.300 | 15.670 | 3711 | 0.606 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 116 | Gesi | G | G-097 | 53,0 | 114,9 | 396,0 | 61,6 | 4170.00 | 6.77 | 18.540 | 15.320 | 3851 | 0.865 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 117 | Gesi | G | G-098 | 53,0 | 117,0 | 418,5 | 52,3 | 3724.00 | 5.43 | 16.550 | 15.900 | 3622 | 0.237 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 118 | Gesi | G | G-099 | 49,5 | 114,9 | 314,3 | 62,2 | 4406.00 | 5.85 | 22.450 | 13.940 | 4401 | 0.847 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 119 | Gesi | G | G-100 | 49,5 | 111,5 | 354,1 | 55,2 | 2248.00 | 5.10 | 11.460 | 16.180 | 3502 | 0.202 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 120 | Gesi | G | G-101 | 53,0 | 114,5 | 441,3 | 59,1 | 3124.00 | 6.26 | 13.890 | 17.130 | 3121 | 0.937 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 121 | Gesi | G | G-102 | 53,0 | 114,9 | 466,4 | 50,8 | 7652.00 | 8.45 | 34.010 | 18.040 | 2762 | 0.262 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 122 | Gesi | G | G-103 | 53,0 | 116,0 | 450,4 | 50,7 | 8028.00 | 8.29 | 35.690 | 17.260 | 3072 | 0.288 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 123 | Gesi | G | G-104 | 53,0 | 112,0 | 392,5 | 63,3 | 3320.00 | 4.80 | 14.760 | 15.580 | 3751 | 0.769 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 124 | Gesi | G | G-105 | 53,0 | 117,0 | 450,3 | 56,6 | 5306.00 | 6.48 | 23.590 | 17.110 | 3132 | 0.067 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 125 | Gesi | G | G-106 | 53,0 | 114,0 | 443,2 | 49,3 | 4094.00 | 5.81 | 18.200 | 17.280 | 3062 | 0.312 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 126 | Gesi | G | G-107 | 53,0 | 112,0 | 397,9 | 62,9 | 2546.00 | 5.25 | 11.320 | 15.790 | 3661 | 0.781 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 127 | Gesi | G | G-108 | 53,0 | 114,9 | 352,8 | 73,9 | 3234.00 | 5.12 | 14.380 | 13.650 | 4521 | 0.555 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 128 | Gesi | G | G-109 | 53,0 | 116,0 | 364,8 | 60,3 | 4128.00 | 5.53 | 18.350 | 13.980 | 4391 | 0.924 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 129 | Gesi | G | G-110 | 49,5 | 117,5 | 404,0 | 56,6 | 5354.00 | 7.14 | 27.280 | 17.520 | 2972 | 0.762 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 130 | Gesi | G | G-111 | 53,0 | 114,9 | 346,1 | 65,2 | 2798.00 | 4.00 | 12.440 | 13.390 | 4621 | 0.762 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 131 | Gesi | G | G-112 | 49,5 | 113,0 | 301,2 | 55,5 | 2740.00 | 4.50 | 13.960 | 13.580 | 4552 | 0.036 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 132 | Gesi | G | G-113 | 49,5 | 101,1 | 359,8 | 45,1 | 6796.00 | 8.35 | 34.630 | 18.140 | 2722 | 0.242 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 133 | Gesi | G | G-114 | 49,5 | 112,0 | 308,3 | 60,7 | 2684.00 | 4.59 | 13.680 | 14.030 | 4371 | 0.845 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 134 | Gesi | G | G-115 | 53,0 | 114,0 | 405,6 | 65,8 | 4936.00 | 5.61 | 21.940 | 15.820 | 3651 | 0.733 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 135 | Gesi | G | G-116 | 53,0 | 120,1 | 477,7 | 54,8 | 7354.00 | 8.22 | 32.690 | 17.680 | 2902 | 0.192 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 136 | Gesi | G | G-117 | 53,0 | 116,3 | 468,9 | 51,4 | 7134.00 | 8.27 | 31.710 | 17.920 | 2812 | 0.263 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 137 | Gesi | G | G-118 | 53,0 | 124,0 | 487,9 | 61,8 | 3968.00 | 5.43 | 17.640 | 17.490 | 2982 | 0.062 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 138 | Gesi | G | G-130 | 53,0 | 114,9 | 364,4 | 77,5 | 2710.00 | 5.60 | 12.050 | 14.100 | 4341 | 0.483 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 139 | Gesi | G | G-201 | 53,0 | 113,6 | 405,3 | 59,6 | 3238.00 | 5.62 | 14.390 | 15.860 | 3631 | 0.906 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 140 | Gesi | G | G-202 | 53,0 | 112,8 | 394,7 | 63,1 | 2486.00 | 5.19 | 11.050 | 15.550 | 3761 | 0.788 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 141 | Gesi | G | G-203 | 53,0 | 116,4 | 391,5 | 61,4 | 2646.00 | 4.15 | 11.760 | 14.950 | 4001 | 0.896 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 142 | Gesi | G | G-204 | 53,0 | 120,3 | 379,4 | 69,8 | 3496.00 | 4.77 | 15.540 | 14.020 | 4371 | 0.723 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 143 | Gesi | G | G-205 | 53,0 | 118,4 | 425,7 | 71,7 | 3118.00 | 5.61 | 13.860 | 15.980 | 3581 | 0.651 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 144 | Gesi | G | G-206 | 53,0 | 114,8 | 435,2 | 58,1 | 3078.00 | 5.68 | 13.680 | 16.850 | 3231 | 0.976 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 145 | Gesi | G | G-208 | 53,0 | 115,6 | 456,9 | 56,4 | 5856.00 | 7.13 | 26.030 | 17.570 | 2952 | 0.052 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 146 | Gesi | G | G-210 | 53,0 | 115,8 | 396,8 | 62,1 | 3398.00 | 4.28 | 15.100 | 15.230 | 3891 | 0.865 | 2.5401.110 | 2.3001 | 14 | |
| 147 | ncesu | | i-001 | 53,0 | 118,0 | 475,3 | 39,1 | 8392.00 | 9.74 | 37.300 | 17.900 | 2873 | 0.182 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 148 | ncesu | | i-002 | 49,0 | 113,0 | 406,8 | 42,3 | 5870.00 | 9.50 | 30.530 | 18.720 | 2542 | 0.671 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 149 | ncesu | | i-003 | 49,5 | 113,5 | 419,7 | 42,4 | 5860.00 | 8.77 | 29.860 | 18.840 | 2492 | 0.672 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 150 | ncesu | | i-004 | 49,0 | 121,5 | 445,4 | 48,9 | 8134.00 | 9.78 | 42.300 | 19.060 | 2412 | 0.485 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 151 | ncesu | | i-005 | 49,5 | 117,0 | 420,3 | 44,5 | 6258.00 | 8.90 | 31.890 | 18.310 | 2712 | 0.629 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 152 | ncesu | | i-006 | 49,5 | 110,9 | 367,4 | 46,8 | 5788.00 | 8.65 | 29.500 | 16.880 | 3282 | 0.370 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 153 | ncesu | | i-007 | 49,5 | 112,2 | 408,8 | 42,2 | 7032.00 | 10.16 | 35.830 | 18.570 | 2602 | 0.659 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 154 | ncesu | | i-008 | 49,5 | 116,0 | 420,4 | 46,9 | 4874.00 | 8.41 | 24.840 | 18.470 | 2642 | 0.473 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 155 | ncesu | | i-009 | 49,5 | 114,0 | 423,1 | 42,2 | 7988.00 | 10.20 | 40.710 | 18.910 | 2472 | 0.701 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 156 | ncesu | | i-010 | 49,5 | 118,0 | 407,6 | 40,3 | 8944.00 | 10.88 | 45.580 | 17.600 | 2992 | 0.928 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 157 | ncesu | | i-011 | 49,5 | 117,9 | 399,8 | 51,7 | 4192.00 | 8.05 | 21.360 | 17.280 | 3122 | 0.280 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 158 | ncesu | | i-012 | 49,5 | 114,0 | 418,8 | 40,0 | 7974.00 | 10.23 | 40.630 | 18.720 | 2542 | 0.850 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 159 | ncesu | | i-013 | 49,0 | 112,2 | 416,6 | 39,6 | 8760.00 | 11.10 | 45.560 | 19.310 | 2312 | 0.833 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 160 | ncesu | | i-014 | 49,5 | 111,0 | 405,0 | 42,2 | 5432.00 | 8.41 | 27.680 | 18.590 | 2592 | 0.630 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 161 | ncesu | | i-015 | 49,5 | 118,0 | 406,0 | 41,3 | 7200.00 | 9.64 | 36.690 | 17.530 | 3022 | 0.857 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 162 | ncesu | | i-016 | 49,5 | 115,5 | 431,5 | 41,2 | 8990.00 | 10.78 | 45.810 | 19.040 | 2422 | 0.803 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 163 | ncesu | | i-017 | 49,5 | 116,0 | 377,5 | 53,0 | 4186.00 | 8.09 | 21.330 | 16.580 | 3392 | 0.189 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 164 | ncesu | | i-018 | 49,5 | 117,0 | 435,0 | 42,8 | 6782.00 | 10.06 | 34.560 | 18.950 | 2452 | 0.734 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 165 | ncesu | | i-019 | 49,5 | 118,7 | 442,1 | 43,4 | 9428.00 | 10.47 | 48.040 | 18.980 | 2442 | 0.735 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 166 | ncesu | | i-020 | 49,0 | 111,0 | 374,7 | 45,0 | 4698.00 | 8.74 | 24.430 | 17.560 | 3012 | 0.467 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 167 | ncesu | | i-021 | 49,0 | 115,0 | 386,3 | 46,8 | 5508.00 | 7.87 | 28.640 | 17.470 | 3042 | 0.457 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 168 | ncesu | | i-022 | 50,0 | 117,0 | 436,5 | 44,8 | 5108.00 | 8.84 | 25.510 | 18.630 | 2582 | 0.612 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 169 | ncesu | | i-023 | 49,5 | 118,3 | 432,0 | 42,5 | 10804.00 | 11.46 | 55.060 | 18.610 | 2592 | 0.784 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 170 | ncesu | | i-024 | 49,5 | 114,0 | 428,0 | 38,5 | 9846.00 | 11.58 | 50.170 | 19.130 | 2382 | 0.961 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 171 | ncesu | | i-025 | 49,5 | 116,0 | 428,9 | 41,8 | 7072.00 | 8.99 | 36.040 | 18.840 | 2492 | 0.775 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 172 | ncesu | | i-026 | 49,5 | 116,7 | 438,6 | 38,7 | 5580.00 | 8.58 | 28.440 | 19.150 | 2373 | 0.162 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 173 | ncesu | | i-027 | 49,5 | 116,0 | 425,4 | 43,6 | 5766.00 | 8.20 | 29.380 | 18.690 | 2562 | 0.661 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 174 | ncesu | | i-028 | 49,5 | 116,0 | 407,0 | 53,0 | 4100.00 | 8.40 | 20.890 | 17.880 | 2882 | 0.189 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 175 | ncesu | | i-029 | 49,0 | 115,0 | 387,5 | 45,8 | 6476.00 | 8.68 | 33.680 | 17.520 | 3022 | 0.511 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 176 | ncesu | | i-030 | 49,0 | 116,0 | 381,4 | 51,4 | 4936.00 | 8.07 | 25.670 | 17.100 | 3192 | 0.252 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 177 | ncesu | | i-031 | 49,0 | 112,0 | 395,8 | 42,5 | 6148.00 | 9.01 | 31.970 | 18.380 | 2682 | 0.635 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 178 | ncesu | | i-032 | 49,0 | 121,0 | 420,7 | 47,2 | 5304.00 | 8.99 | 27.580 | 18.080 | 2802 | 0.564 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 179 | ncesu | | i-033 | 49,5 | 115,0 | 410,2 | 45,1 | 4100.00 | 7.83 | 20.890 | 18.180 | 2762 | 0.550 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 180 | ncesu | | i-034 | 49,5 | 113,2 | 407,5 | 42,7 | 7254.00 | 8.83 | 36.970 | 18.340 | 2692 | 0.651 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 181 | ncesu | | i-035 | 49,0 | 117,5 | 432,8 | 42,6 | 7040.00 | 9.24 | 36.610 | 19.160 | 2372 | 0.758 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 182 | ncesu | | i-036 | 49,5 | 118,0 | 441,0 | 42,8 | 7988.00 | 9.73 | 40.710 | 19.040 | 2412 | 0.757 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 183 | ncesu | | i-037 | 49,5 | 122,0 | 388,0 | 57,7 | 4042.00 | 7.98 | 20.600 | 16.210 | 3542 | 0.114 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 184 | ncesu | | i-038 | 49,5 | 114,5 | 431,3 | 39,6 | 6804.00 | 8.51 | 34.670 | 19.200 | 2352 | 0.891 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 185 | ncesu | | i-039 | 49,5 | 116,0 | 406,2 | 41,6 | 5240.00 | 7.91 | 26.700 | 17.840 | 2892 | 0.788 | 2.5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 186 | ncesu | | i-040 | 49,5 | 112,0 | 417,5 | 40,6 | 6230.00 | 9.76 | 31.750 | 19.000 | 2432 | 0.759 | 2.5602.440 | 4.000 | | |

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

| | Bölge | Grup | Ornek | D | L | W | t | P | E | UCS | BHA | n | Vp | Gs | Is _{50s} | Brt | Is _s |
|-----|-------|------|-------|------|-------|-------|------|----------|-------|--------|--------|------|------|----------|-------------------|-----|-----------------|
| 192 | ncesu | | -046 | 49,5 | 121,2 | 392,3 | 54,5 | 4292.00 | 8.02 | 21.870 | 16.490 | 3432 | 2242 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 193 | ncesu | | -047 | 49,5 | 118,0 | 445,7 | 42,5 | 7778.00 | 10.74 | 39.640 | 19.250 | 2332 | 7762 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 194 | ncesu | | -048 | 49,5 | 112,0 | 422,1 | 41,1 | 8188.00 | 10.34 | 41.730 | 19.210 | 2352 | 7252 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 195 | ncesu | | -049 | 49,0 | 119,0 | 442,3 | 42,6 | 7214.00 | 10.23 | 37.520 | 19.330 | 2302 | 7932 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 196 | ncesu | | -050 | 49,5 | 115,0 | 420,1 | 44,0 | 5400.00 | 8.17 | 27.520 | 18.620 | 2582 | 6142 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 197 | ncesu | | -051 | 49,5 | 115,0 | 427,4 | 39,8 | 5480.00 | 8.85 | 27.930 | 18.940 | 2462 | 8892 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 198 | ncesu | | -052 | 49,5 | 118,3 | 438,7 | 38,4 | 8956.00 | 11.26 | 45.640 | 18.900 | 2473 | 0812 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 199 | ncesu | | -053 | 49,5 | 117,4 | 435,5 | 44,0 | 7018.00 | 10.63 | 35.760 | 18.900 | 2472 | 6682 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 200 | ncesu | | -054 | 49,5 | 118,5 | 446,1 | 42,7 | 9616.00 | 11.18 | 49.000 | 19.180 | 2362 | 7752 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 201 | ncesu | | -055 | 49,5 | 119,0 | 440,3 | 42,9 | 6504.00 | 9.99 | 33.140 | 18.850 | 2492 | 7742 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 202 | ncesu | | -056 | 49,5 | 119,0 | 447,0 | 43,2 | 6388.00 | 9.52 | 32.550 | 19.140 | 2382 | 7552 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 203 | ncesu | | -057 | 49,5 | 114,5 | 380,5 | 44,3 | 4226.00 | 8.49 | 21.540 | 16.930 | 3252 | 5852 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 204 | ncesu | | -058 | 49,5 | 117,0 | 443,7 | 40,7 | 10488.00 | 11.19 | 53.450 | 19.330 | 2302 | 8752 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 205 | ncesu | | -059 | 49,5 | 124,0 | 445,7 | 41,8 | 6456.00 | 8.50 | 32.900 | 18.320 | 2702 | 9672 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 206 | ncesu | | -060 | 49,5 | 116,3 | 433,3 | 41,7 | 6880.00 | 10.32 | 35.060 | 18.990 | 2442 | 7892 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 207 | ncesu | | -061 | 49,5 | 118,5 | 451,0 | 37,6 | 10898.00 | 11.23 | 55.540 | 19.390 | 2273 | 1522 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 208 | ncesu | | -062 | 49,5 | 114,2 | 399,8 | 41,5 | 8828.00 | 10.80 | 44.990 | 17.840 | 2892 | 7522 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 209 | ncesu | | -063 | 49,5 | 116,0 | 442,3 | 40,1 | 9588.00 | 10.85 | 48.860 | 19.430 | 2262 | 8932 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 210 | ncesu | | -064 | 49,5 | 117,0 | 436,2 | 42,7 | 6380.00 | 8.62 | 32.510 | 19.000 | 2432 | 7402 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 211 | ncesu | | -065 | 49,5 | 117,4 | 449,5 | 39,1 | 10690.00 | 11.41 | 54.480 | 19.510 | 2233 | 0032 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 212 | ncesu | | -066 | 49,5 | 108,2 | 390,3 | 41,5 | 8182.00 | 10.05 | 41.690 | 18.380 | 2682 | 6072 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 213 | ncesu | | -067 | 49,5 | 117,7 | 434,9 | 39,5 | 8182.00 | 9.74 | 41.690 | 18.830 | 2502 | 9802 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 214 | ncesu | | -068 | 49,5 | 113,0 | 409,1 | 38,9 | 6552.00 | 9.44 | 33.390 | 18.450 | 2652 | 9052 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 215 | ncesu | | -069 | 49,5 | 116,2 | 442,1 | 38,3 | 5850.00 | 8.80 | 29.810 | 19.390 | 2283 | 0342 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 216 | ncesu | | -070 | 53,0 | 115,3 | 423,5 | 46,5 | 5748.00 | 7.93 | 25.550 | 16.330 | 3502 | 4802 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 217 | ncesu | | -072 | 49,5 | 111,0 | 355,3 | 51,3 | 4689.00 | 7.82 | 23.890 | 16.310 | 3502 | 1642 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 218 | ncesu | | -073 | 49,5 | 113,5 | 371,9 | 50,1 | 4278.00 | 8.09 | 21.800 | 16.700 | 3352 | 2652 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 219 | ncesu | | -074 | 49,5 | 117,0 | 432,2 | 42,4 | 8864.00 | 10.88 | 45.170 | 18.820 | 2502 | 7592 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 220 | ncesu | | -075 | 49,5 | 112,4 | 421,6 | 40,4 | 10264.00 | 11.63 | 52.300 | 19.110 | 2392 | 7822 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 221 | ncesu | | -076 | 49,5 | 117,0 | 393,0 | 46,8 | 5696.00 | 8.88 | 29.030 | 17.120 | 3182 | 5002 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 222 | ncesu | | -077 | 49,5 | 115,2 | 430,6 | 36,6 | 9478.00 | 11.43 | 48.300 | 19.050 | 2413 | 1482 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 223 | ncesu | | -078 | 49,5 | 112,0 | 362,5 | 45,7 | 6734.00 | 8.74 | 34.320 | 16.490 | 3432 | 4512 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 224 | ncesu | | -079 | 49,5 | 106,5 | 388,6 | 40,2 | 5692.00 | 8.71 | 29.010 | 18.590 | 2592 | 6492 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 225 | ncesu | | -080 | 49,5 | 115,0 | 377,6 | 55,5 | 4083.00 | 7.94 | 20.810 | 16.730 | 3342 | 0722 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 226 | ncesu | | -082 | 49,5 | 114,0 | 432,9 | 38,7 | 8972.00 | 11.02 | 45.720 | 19.350 | 2292 | 9462 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 227 | ncesu | | -083 | 49,5 | 117,2 | 386,8 | 52,8 | 5472.00 | 8.39 | 27.880 | 16.820 | 3302 | 2202 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 228 | ncesu | | -084 | 49,5 | 115,5 | 423,8 | 36,8 | 8624.00 | 9.88 | 43.950 | 18.700 | 2553 | 1392 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 229 | ncesu | | -085 | 49,5 | 118,5 | 388,3 | 45,4 | 6586.00 | 8.50 | 33.560 | 16.700 | 3352 | 6102 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 230 | ncesu | | -086 | 49,5 | 117,0 | 379,8 | 45,7 | 5088.00 | 8.90 | 25.930 | 16.540 | 3412 | 5602 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 231 | ncesu | | -087 | 49,5 | 115,0 | 370,7 | 45,6 | 5174.00 | 8.31 | 26.370 | 16.430 | 3462 | 5222 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 232 | ncesu | | -089 | 49,5 | 116,4 | 416,3 | 37,9 | 9958.00 | 10.76 | 50.750 | 18.230 | 2743 | 0712 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 233 | ncesu | | -090 | 49,5 | 115,5 | 422,4 | 38,8 | 7402.00 | 10.45 | 37.720 | 18.640 | 2582 | 9772 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 234 | ncesu | | -091 | 49,5 | 117,0 | 427,0 | 42,7 | 6394.00 | 10.13 | 32.580 | 18.600 | 2592 | 7402 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 235 | ncesu | | -093 | 49,5 | 114,0 | 375,5 | 50,8 | 5564.00 | 9.39 | 28.350 | 16.790 | 3312 | 2442 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 236 | ncesu | | -094 | 49,5 | 118,0 | 431,5 | 38,5 | 8530.00 | 9.89 | 43.470 | 18.630 | 2583 | 0652 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 237 | ncesu | | -095 | 49,5 | 115,0 | 428,2 | 37,2 | 6970.00 | 10.35 | 35.520 | 18.970 | 2443 | 0912 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 238 | ncesu | | -096 | 49,5 | 115,0 | 367,5 | 45,0 | 5106.00 | 7.92 | 26.020 | 16.280 | 3512 | 5562 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 239 | ncesu | | -097 | 49,5 | 113,0 | 413,1 | 42,1 | 6596.00 | 10.14 | 33.610 | 18.630 | 2582 | 6842 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 240 | ncesu | | -098 | 49,5 | 116,5 | 360,2 | 56,6 | 4800.00 | 8.14 | 24.460 | 15.760 | 3722 | 0582 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 241 | ncesu | | -099 | 49,5 | 115,3 | 370,2 | 53,6 | 5174.00 | 8.24 | 26.370 | 16.360 | 3482 | 1512 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 242 | ncesu | | -100 | 49,5 | 110,1 | 373,7 | 46,9 | 3808.00 | 8.41 | 19.410 | 17.300 | 3112 | 3482 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 243 | ncesu | | -101 | 49,5 | 121,0 | 394,8 | 56,1 | 4386.00 | 8.40 | 22.350 | 16.630 | 3382 | 1572 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 244 | ncesu | | -102 | 49,5 | 116,0 | 380,2 | 51,7 | 4644.00 | 8.17 | 23.670 | 16.700 | 3352 | 2442 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 245 | ncesu | | -103 | 49,5 | 115,2 | 429,0 | 38,3 | 9262.00 | 10.60 | 47.200 | 18.980 | 2443 | 0082 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 246 | ncesu | | -104 | 49,5 | 112,0 | 407,6 | 38,7 | 5446.00 | 8.12 | 27.750 | 18.550 | 2612 | 8942 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 247 | ncesu | | -106 | 49,5 | 118,2 | 394,7 | 47,0 | 5380.00 | 8.25 | 27.420 | 17.020 | 3222 | 5152 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 248 | ncesu | | -107 | 49,5 | 117,0 | 396,8 | 47,4 | 5368.00 | 8.50 | 27.350 | 17.280 | 3122 | 4682 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 249 | ncesu | | -108 | 49,5 | 117,1 | 397,8 | 46,4 | 6358.00 | 8.73 | 32.400 | 17.310 | 3102 | 5242 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 250 | ncesu | | -109 | 49,5 | 115,0 | 353,6 | 46,0 | 4750.00 | 8.71 | 24.210 | 15.670 | 3762 | 5002 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 251 | ncesu | | -110 | 49,5 | 115,5 | 386,6 | 49,6 | 4678.00 | 8.05 | 23.840 | 17.060 | 3212 | 3292 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 252 | ncesu | | -111 | 49,5 | 116,5 | 436,3 | 43,1 | 8552.00 | 10.44 | 43.580 | 19.080 | 2402 | 7032 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 253 | ncesu | | -112 | 49,5 | 109,0 | 366,1 | 44,7 | 4283.00 | 7.98 | 21.830 | 17.120 | 3182 | 4382 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 254 | ncesu | | -113 | 49,5 | 116,0 | 379,2 | 54,2 | 4904.00 | 7.99 | 24.990 | 16.660 | 3362 | 1402 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 255 | ncesu | | -114 | 49,5 | 115,0 | 368,3 | 50,8 | 4700.00 | 8.03 | 23.950 | 16.320 | 3502 | 2642 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 256 | ncesu | | -115 | 49,5 | 114,0 | 417,3 | 44,8 | 5466.00 | 8.68 | 27.850 | 18.650 | 2572 | 5452 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 257 | ncesu | | -116 | 49,5 | 101,0 | 381,5 | 36,3 | 5250.00 | 8.25 | 26.750 | 19.250 | 2332 | 7822 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 258 | ncesu | | -117 | 49,5 | 115,0 | 437,1 | 36,4 | 6574.00 | 9.76 | 33.500 | 19.370 | 2283 | 1592 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 259 | ncesu | | -118 | 49,5 | 115,0 | 419,5 | 38,8 | 9496.00 | 11.06 | 48.390 | 18.590 | 2602 | 9642 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 260 | ncesu | | -119 | 49,5 | 110,6 | 420,6 | 36,6 | 10556.00 | 10.96 | 53.790 | 19.380 | 2283 | 0222 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 261 | ncesu | | -120 | 49,5 | 117,5 | 419,5 | 38,8 | 6106.00 | 8.99 | 31.120 | 18.190 | 2753 | 0282 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 262 | ncesu | | -121 | 49,5 | 113,0 | 414,0 | 41,9 | 8364.00 | 9.75 | 42.620 | 18.670 | 2562 | 6972 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 263 | ncesu | | -122 | 49,5 | 110,9 | 365,7 | 42,7 | 4434.00 | 8.17 | 22.600 | 16.800 | 3312 | 5972 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 264 | ncesu | | -123 | 49,5 | 113,0 | 408,8 | 44,4 | 4940.00 | 8.61 | 25.170 | 18.440 | 2662 | 5452 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 265 | ncesu | | -124 | 49,5 | 115,0 | 437,5 | 41,0 | 7492.00 | 9.90 | 38.180 | 19.390 | 2282 | 8082 | 5602.440 | 4.0001 | 77 | |
| 266 | ncesu | | -125 | 49,5 | 112,0 | 424,1 | 41,7 | 6296.00 | 8.73 | 32.0 | | | | | | | |

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

| Bölge | Grup | Ornek | D | L | W | t | P | E | UCS | BHA | n | Vp | Gs | Is _{50s} | Brt | Is ₅ |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|----------|-------|--------|--------|------|------|----------|-------------------|------|-----------------|
| 270 | ncesu | -130 | 49,5 | 105,0 | 326,0 | 49,7 | 4200.00 | 8.26 | 21.400 | 15.820 | 3702 | 1132 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 271 | ncesu | -131 | 49,5 | 113,0 | 423,3 | 41.4 | 7338.00 | 9.84 | 37.390 | 19.090 | 2402 | 7292 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 272 | ncesu | -132 | 49,5 | 105,0 | 379,1 | 40.2 | 6332.00 | 9.66 | 32.270 | 18.400 | 2672 | 6122 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 273 | ncesu | -133 | 49,5 | 101,0 | 369,8 | 37.2 | 7786.00 | 10.49 | 39.680 | 18.660 | 2572 | 7152 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 274 | ncesu | -134 | 49,5 | 106,0 | 358,4 | 42.0 | 5822.00 | 9.04 | 29.670 | 17.230 | 3142 | 5242 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 275 | ncesu | -135 | 49,5 | 115,5 | 435,5 | 42.5 | 9762.00 | 10.92 | 49.750 | 19.210 | 2352 | 7182 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 276 | ncesu | -136 | 49,5 | 106,5 | 394,9 | 39.8 | 7614.00 | 9.46 | 38.800 | 18.900 | 2472 | 6762 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 277 | ncesu | -137 | 49,5 | 116,0 | 439,4 | 42.0 | 7952.00 | 9.92 | 40.520 | 19.300 | 2312 | 7622 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 278 | ncesu | -138 | 49,5 | 113,0 | 432,9 | 39.4 | 8342.00 | 10.06 | 42.510 | 19.520 | 2222 | 8682 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 279 | ncesu | -139 | 49,5 | 108,5 | 402,3 | 41.2 | 9200.00 | 10.42 | 46.880 | 18.890 | 2472 | 6332 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 280 | ncesu | -140 | 49,5 | 117,0 | 426,4 | 44.0 | 7204.00 | 9.85 | 36.710 | 18.570 | 2602 | 6592 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 281 | ncesu | -141 | 49,5 | 102,2 | 378,0 | 40.4 | 6078.00 | 9.30 | 30.970 | 18.850 | 2492 | 5302 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 282 | ncesu | -142 | 49,5 | 102,0 | 376,4 | 36.8 | 7130.00 | 10.61 | 36.330 | 18.800 | 2512 | 7722 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 283 | ncesu | -143 | 49,5 | 113,0 | 429,8 | 36.8 | 8516.00 | 10.38 | 43.400 | 19.380 | 2283 | 0712 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 284 | ncesu | -144 | 49,5 | 117,0 | 438,5 | 38.4 | 8418.00 | 9.59 | 42.900 | 19.100 | 2393 | 0472 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 285 | ncesu | -145 | 49,5 | 114,0 | 394,3 | 45.7 | 7110.00 | 9.68 | 36.230 | 17.630 | 2982 | 4952 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 286 | ncesu | -147 | 49,5 | 124,0 | 455,0 | 43.9 | 6140.00 | 9.00 | 31.290 | 18.700 | 2552 | 8252 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 287 | ncesu | -148 | 49,5 | 110,3 | 364,8 | 49.9 | 4390.00 | 8.88 | 22.370 | 16.850 | 3292 | 2102 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 288 | ncesu | -150 | 49,5 | 113,0 | 407,0 | 43.8 | 6968.00 | 9.56 | 35.510 | 18.350 | 2692 | 5802 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 289 | ncesu | -151 | 49,5 | 114,2 | 424,7 | 39.5 | 9902.00 | 11.36 | 50.460 | 18.950 | 2452 | 8912 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 290 | ncesu | -152 | 49,5 | 105,0 | 370,6 | 41.5 | 8266.00 | 9.86 | 42.120 | 17.990 | 2842 | 5302 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 291 | ncesu | -153 | 49,5 | 115,0 | 429,1 | 39.6 | 6316.00 | 8.94 | 32.190 | 19.010 | 2432 | 9042 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 292 | ncesu | -154 | 49,5 | 110,9 | 365,5 | 45.9 | 5895.00 | 8.59 | 30.040 | 16.790 | 3312 | 4162 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 293 | ncesu | -155 | 49,5 | 113,0 | 358,6 | 48.8 | 6814.00 | 8.83 | 34.720 | 16.170 | 3562 | 3162 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 294 | ncesu | -159 | 49,5 | 113,5 | 415,8 | 45.2 | 6072.00 | 8.71 | 30.940 | 18.670 | 2562 | 5112 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 295 | ncesu | -191 | 49,5 | 117,4 | 428,4 | 44.0 | 6205.00 | 9.80 | 31.620 | 18.600 | 2592 | 6682 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 296 | ncesu | -200 | 49,5 | 117,0 | 378,2 | 58.4 | 4750.00 | 8.35 | 24.210 | 16.470 | 3442 | 0032 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 297 | ncesu | -201 | 49,5 | 118,1 | 377,6 | 47.5 | 4976.00 | 8.83 | 25.360 | 16.290 | 3512 | 4862 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 298 | ncesu | -203 | 49,5 | 118,0 | 382,9 | 56.0 | 4672.00 | 8.74 | 23.810 | 16.540 | 3412 | 1072 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 299 | ncesu | -204 | 49,5 | 117,0 | 390,2 | 46.1 | 6782.00 | 9.32 | 34.560 | 17.000 | 3232 | 5382 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 300 | ncesu | -205 | 49,5 | 109,2 | 366,0 | 46.0 | 5150.00 | 8.05 | 26.240 | 17.080 | 3202 | 3742 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 301 | ncesu | -206 | 49,5 | 116,3 | 439,8 | 37.7 | 10870.00 | 11.37 | 55.390 | 19.270 | 2323 | 0852 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 302 | ncesu | -207 | 49,5 | 114,6 | 415,0 | 44.1 | 6002.00 | 9.96 | 30.590 | 18.450 | 2652 | 5992 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 303 | ncesu | -208 | 49,5 | 112,3 | 405,8 | 43.4 | 4442.00 | 8.53 | 22.640 | 18.410 | 2672 | 5882 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 304 | ncesu | -209 | 49,5 | 111,5 | 365,4 | 46.9 | 6871.00 | 9.34 | 35.010 | 16.700 | 3352 | 3772 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 305 | ncesu | -210 | 49,5 | 115,5 | 428,7 | 38.1 | 8216.00 | 10.41 | 41.870 | 18.910 | 2473 | 0312 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 306 | ncesu | -211 | 49,5 | 115,3 | 421,7 | 46.4 | 6078.00 | 8.15 | 30.970 | 18.640 | 2582 | 4852 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 307 | ncesu | -212 | 49,5 | 115,5 | 387,9 | 48.0 | 4296.00 | 7.80 | 21.890 | 17.110 | 3182 | 4062 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 308 | ncesu | -213 | 49,5 | 109,0 | 360,8 | 47.1 | 4330.00 | 7.63 | 22.070 | 16.870 | 3282 | 3142 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 309 | ncesu | -214 | 49,5 | 114,9 | 423,4 | 41.0 | 8942.00 | 10.54 | 45.570 | 18.780 | 2522 | 8022 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 310 | ncesu | -215 | 49,5 | 117,5 | 424,4 | 43.0 | 7026.00 | 8.61 | 35.800 | 18.410 | 2672 | 7332 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 311 | ncesu | -216 | 49,5 | 111,0 | 407,1 | 36.3 | 9888.00 | 10.55 | 50.390 | 18.690 | 2563 | 0582 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 312 | ncesu | -217 | 49,5 | 114,0 | 435,3 | 37.2 | 9268.00 | 11.17 | 47.230 | 19.460 | 2253 | 0652 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 313 | ncesu | -218 | 49,5 | 114,0 | 426,1 | 41.3 | 7586.00 | 9.46 | 38.660 | 19.050 | 2412 | 7602 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 314 | ncesu | -219 | 49,5 | 113,5 | 426,0 | 37.3 | 8224.00 | 10.41 | 41.910 | 19.130 | 2383 | 0432 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 315 | ncesu | -220 | 49,5 | 111,0 | 414,0 | 36.5 | 5654.00 | 9.18 | 28.810 | 19.010 | 2433 | 0412 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 316 | ncesu | -221 | 53,0 | 117,0 | 467,8 | 50.0 | 7550.00 | 9.12 | 33.560 | 17.770 | 2922 | 3402 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 317 | ncesu | -222 | 49,5 | 119,8 | 445,5 | 41.6 | 10062.00 | 10.93 | 51.280 | 18.950 | 2452 | 8802 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 318 | ncesu | -223 | 49,5 | 114,5 | 413,0 | 41.3 | 8808.00 | 10.79 | 44.880 | 18.380 | 2682 | 7722 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 319 | ncesu | -224 | 49,5 | 113,2 | 418,6 | 37.2 | 7152.00 | 9.61 | 36.450 | 18.840 | 2493 | 0432 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 320 | ncesu | -226 | 49,5 | 118,0 | 434,3 | 36.8 | 9094.00 | 11.13 | 46.340 | 18.760 | 2533 | 2072 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 321 | ncesu | -227 | 49,5 | 117,4 | 367,0 | 53.4 | 4578.00 | 8.21 | 23.330 | 15.930 | 3652 | 1992 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 322 | ncesu | -228 | 49,5 | 119,0 | 443,5 | 37.9 | 6480.00 | 10.28 | 33.020 | 18.990 | 2443 | 1022 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 323 | ncesu | -229 | 49,5 | 116,1 | 428,7 | 43.7 | 9596.00 | 11.30 | 48.900 | 18.820 | 2502 | 6572 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 324 | ncesu | -230 | 49,5 | 116,0 | 432,7 | 40.2 | 9784.00 | 10.96 | 49.860 | 19.010 | 2432 | 8862 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 325 | ncesu | -231 | 49,5 | 115,0 | 353,5 | 42.5 | 4938.00 | 8.86 | 25.160 | 15.660 | 3762 | 7062 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 326 | ncesu | -232 | 49,5 | 117,8 | 445,8 | 37.6 | 10286.00 | 11.27 | 52.420 | 19.280 | 2323 | 1332 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 327 | ncesu | -233 | 49,5 | 116,7 | 440,6 | 38.6 | 9854.00 | 11.27 | 50.220 | 19.240 | 2343 | 0232 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 328 | ncesu | -234 | 53,0 | 112,2 | 475,5 | 37.9 | 8996.00 | 9.99 | 39.990 | 18.840 | 2502 | 9602 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 329 | ncesu | -236 | 53,0 | 113,0 | 463,0 | 36.3 | 9554.00 | 10.45 | 42.470 | 18.210 | 2753 | 1132 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 330 | ncesu | -237 | 49,5 | 109,5 | 395,0 | 41.5 | 5670.00 | 8.58 | 28.890 | 18.380 | 2682 | 6392 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 331 | ncesu | -238 | 49,5 | 116,5 | 436,9 | 38.8 | 7180.00 | 9.05 | 36.590 | 19.110 | 2393 | 0032 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 332 | ncesu | -239 | 53,0 | 114,2 | 467,0 | 46.8 | 6100.00 | 8.31 | 27.120 | 18.180 | 2762 | 4402 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 333 | ncesu | -240 | 49,5 | 117,0 | 392,7 | 47.5 | 4052.00 | 8.02 | 20.650 | 17.100 | 3192 | 4632 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 334 | ncesu | -241 | 53,0 | 116,5 | 488,6 | 39.5 | 8356.00 | 9.01 | 37.140 | 18.640 | 2572 | 9492 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 335 | ncesu | -242 | 53,0 | 114,5 | 467,0 | 39.1 | 7200.00 | 9.43 | 32.000 | 18.130 | 2782 | 9282 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 336 | ncesu | -243 | 53,0 | 113,9 | 487,9 | 43.9 | 6476.00 | 8.13 | 28.790 | 19.040 | 2422 | 5952 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 337 | ncesu | -244 | 53,0 | 120,4 | 465,8 | 49.9 | 6558.00 | 8.01 | 29.150 | 17.200 | 3152 | 4132 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 338 | ncesu | -245 | 53,0 | 122,5 | 468,7 | 50.9 | 5064.00 | 8.62 | 22.510 | 17.010 | 3232 | 4072 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 339 | ncesu | -246 | 53,0 | 118,4 | 474,2 | 44.0 | 6652.00 | 8.78 | 29.570 | 17.800 | 2912 | 6912 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 340 | ncesu | -247 | 53,0 | 116,5 | 466,5 | 41.3 | 8614.00 | 9.96 | 38.290 | 17.800 | 2912 | 8212 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 341 | ncesu | -248 | 53,0 | 118,4 | 498,4 | 43.9 | 7288.00 | 9.24 | 32.400 | 18.710 | 2552 | 6972 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 342 | ncesu | -249 | 53,0 | 115,5 | 485,2 | 43.6 | 5826.00 | 7.78 | 25.900 | 18.670 | 2562 | 6492 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 343 | ncesu | -250 | 53,0 | 117,0 | 470,0 | 48.1 | 5230.00 | 8.44 | 23.250 | 17.860 | 2892 | 4322 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 344 | ncesu | -251 | 53,0 | 130,5 | 547,8 | 43.3 | 7464.00 | 9.28 | 33.180 | 18.660 | 2573 | 0142 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 345 | ncesu | -252 | 53,0 | 122,6 | 500,3 | 43.0 | 6748.00 | 8.99 | 30.000 | 18.140 | 2772 | 8512 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 346</ | | | | | | | | | | | | | | | | |

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

| | Bölge | Grup | Ornek | D | L | W | t | P | E | UCS | BHA | n | Vp | Gs | Is _{50s} | Brt | Is _s |
|-----|-----------|------|-------|------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|------|--------|----------|-------------------|------|-----------------|
| 348 | ncesu | | i-255 | 53,0 | 120,5 | 510,4 | 39,8 | 8126.00 | 8.90 | 36.120 | 18.830 | 2503 | 0.282 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 349 | ncesu | | i-256 | 53,0 | 115,5 | 489,7 | 38,3 | 8600.00 | 10.18 | 38.230 | 18.850 | 2493 | 0.162 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 350 | ncesu | | i-258 | 53,0 | 116,0 | 477,0 | 41,8 | 8670.00 | 8.99 | 38.540 | 18.280 | 2722 | 0.7752 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 351 | ncesu | | i-259 | 53,0 | 117,2 | 482,5 | 41,2 | 7556.00 | 8.37 | 33.590 | 18.300 | 2712 | 0.8452 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 352 | ncesu | | i-260 | 53,0 | 118,5 | 496,3 | 42,8 | 6804.00 | 8.09 | 30.240 | 18.620 | 2582 | 0.7692 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 353 | ncesu | | i-261 | 53,0 | 114,6 | 488,9 | 45,6 | 5818.00 | 7.96 | 25.860 | 18.960 | 2452 | 0.5132 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 354 | ncesu | | i-262 | 53,0 | 115,2 | 495,6 | 38,1 | 8014.00 | 9.11 | 35.620 | 19.120 | 2383 | 0.242 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 355 | ncesu | | i-263 | 53,0 | 115,3 | 479,9 | 45,6 | 5784.00 | 8.62 | 25.710 | 18.500 | 2632 | 0.5292 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 356 | ncesu | | i-264 | 53,0 | 115,9 | 482,4 | 47,5 | 6176.00 | 8.20 | 27.450 | 18.500 | 2632 | 0.4402 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 357 | ncesu | | i-266 | 53,0 | 120,2 | 485,3 | 54,3 | 6384.00 | 8.52 | 28.380 | 17.950 | 2852 | 0.2142 | 5602.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 358 | Tomarzak | | K02 | 53,0 | 116,0 | 458,4 | 43,5 | 7864.00 | 11.08 | 34.960 | 17.570 | 3002 | 0.6672 | 5602.070 | 4.810 | 1.74 | |
| 359 | Tomarzak | | K04 | 53,0 | 107,2 | 420,2 | 40,1 | 7590.00 | 11.03 | 33.740 | 17.420 | 3062 | 0.6732 | 5602.070 | 4.810 | 1.74 | |
| 360 | Tomarzak | | K05 | 53,0 | 116,0 | 459,1 | 44,3 | 7328.00 | 10.31 | 32.570 | 17.590 | 2992 | 0.6192 | 5602.070 | 4.810 | 1.74 | |
| 361 | Tomarzak | | K06 | 53,0 | 122,6 | 478,6 | 45,6 | 7632.00 | 10.95 | 33.920 | 17.350 | 3092 | 0.6892 | 5602.070 | 4.810 | 1.74 | |
| 362 | Tomarzak | | K07 | 53,0 | 132,2 | 508,4 | 51,6 | 7200.00 | 9.45 | 32.000 | 17.090 | 3192 | 0.5622 | 5602.070 | 4.810 | 1.74 | |
| 363 | Gesi | p | P01 | 53,0 | 134,0 | 409,7 | 101,1 | 1788.00 | 3.28 | 7.950 | 13.590 | 4521 | 3.232 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 364 | Gesi | p | P02 | 53,0 | 122,0 | 374,3 | 92,8 | 2312.00 | 3.62 | 10.280 | 13.640 | 4501 | 3.152 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 365 | Gesi | p | P03 | 53,0 | 103,0 | 317,4 | 78,8 | 2242.00 | 3.57 | 9.970 | 13.700 | 4481 | 3.072 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 366 | Gesi | p | P04 | 53,0 | 125,0 | 385,3 | 96,4 | 2012.00 | 3.45 | 8.940 | 13.700 | 4481 | 2.972 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 367 | Gesi | p | P06 | 53,0 | 126,0 | 388,9 | 96,2 | 2166.00 | 3.57 | 9.630 | 13.720 | 4471 | 3.102 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 368 | Gesi | p | P07 | 53,0 | 131,8 | 406,3 | 102,1 | 1594.00 | 3.18 | 7.090 | 13.700 | 4481 | 2.922 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 369 | Gesi | p | P08 | 53,0 | 118,0 | 364,7 | 90,5 | 2150.00 | 3.54 | 9.560 | 13.740 | 4461 | 3.042 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 370 | Gesi | p | P09 | 53,0 | 119,0 | 365,1 | 91,4 | 2436.00 | 3.71 | 10.830 | 13.640 | 4501 | 3.022 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 371 | Gesi | p | P10 | 53,0 | 110,8 | 340,0 | 83,3 | 2410.00 | 3.71 | 10.710 | 13.640 | 4501 | 3.302 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 372 | Gesi | p | P11 | 53,0 | 111,3 | 332,8 | 84,5 | 2004.00 | 3.22 | 8.910 | 13.290 | 4641 | 3.172 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 373 | Gesi | p | P12 | 53,0 | 106,0 | 325,7 | 82,9 | 2526.00 | 3.65 | 11.230 | 13.660 | 4501 | 2.792 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 374 | Gesi | p | P13 | 53,0 | 108,0 | 296,7 | 87,4 | 2126.00 | 3.51 | 9.450 | 12.210 | 5081 | 2.362 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 375 | Gesi | p | P15 | 53,0 | 111,0 | 305,5 | 87,0 | 1906.00 | 3.13 | 8.470 | 12.230 | 5071 | 2.762 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 376 | Gesi | p | P16 | 53,0 | 105,4 | 289,2 | 81,6 | 2506.00 | 3.61 | 11.140 | 12.200 | 5081 | 2.922 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 377 | Gesi | p | P21 | 53,0 | 116,4 | 324,2 | 90,4 | 2384.00 | 3.55 | 10.600 | 12.380 | 5011 | 2.882 | 530,410 | 1.380 | 0.61 | |
| 378 | TomarzaS | | S01 | 53,0 | 130,4 | 399,1 | 164,0 | 3340.00 | 4.98 | 14.850 | 13.600 | 4492 | 0.382 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 379 | TomarzaS | | S02 | 53,0 | 138,0 | 428,1 | 168,1 | 3424.00 | 4.29 | 15.220 | 13.790 | 4422 | 0.262 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 380 | TomarzaS | | S03 | 53,0 | 136,0 | 429,1 | 165,4 | 3844.00 | 5.28 | 17.090 | 14.020 | 4322 | 0.802 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 381 | TomarzaS | | S04 | 53,0 | 119,8 | 373,6 | 58,6 | 3890.00 | 5.32 | 17.290 | 13.860 | 4392 | 0.442 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 382 | TomarzaS | | S05 | 53,0 | 110,0 | 344,9 | 52,0 | 4442.00 | 5.50 | 19.750 | 13.940 | 4362 | 1.152 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 383 | TomarzaS | | S06 | 53,0 | 138,7 | 442,5 | 60,9 | 3718.00 | 5.05 | 16.530 | 14.180 | 4262 | 2.782 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 384 | TomarzaS | | S07 | 53,0 | 121,0 | 383,9 | 56,6 | 3614.00 | 5.08 | 16.060 | 14.100 | 4292 | 1.382 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 385 | TomarzaS | | S08 | 53,0 | 127,5 | 404,1 | 57,5 | 3780.00 | 5.22 | 16.800 | 14.090 | 4302 | 2.172 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 386 | TomarzaS | | S09 | 53,0 | 108,5 | 341,7 | 49,8 | 3974.00 | 5.40 | 17.660 | 14.000 | 4342 | 1.792 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 387 | TomarzaS | | S10 | 53,0 | 108,4 | 344,8 | 50,0 | 3760.00 | 5.21 | 16.710 | 14.140 | 4282 | 1.682 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 388 | TomarzaS | | S12 | 53,0 | 111,4 | 359,5 | 50,8 | 3544.00 | 4.80 | 15.750 | 14.340 | 4202 | 1.932 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 389 | TomarzaS | | S13 | 53,0 | 111,8 | 360,4 | 52,3 | 3660.00 | 5.12 | 16.270 | 14.330 | 4202 | 1.382 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 390 | TomarzaS | | S15 | 53,0 | 125,8 | 407,5 | 59,6 | 3494.00 | 4.97 | 15.530 | 14.400 | 4172 | 1.112 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 391 | TomarzaS | | S16 | 53,0 | 117,2 | 365,5 | 55,9 | 3940.00 | 5.37 | 17.510 | 13.860 | 4392 | 0.972 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 392 | TomarzaS | | S18 | 53,0 | 132,2 | 418,2 | 60,6 | 3386.00 | 4.69 | 15.050 | 14.060 | 4312 | 1.822 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 393 | TomarzaS | | S22 | 53,0 | 121,0 | 385,9 | 53,2 | 3768.00 | 4.95 | 16.750 | 14.180 | 4262 | 2.742 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 394 | TomarzaS | | S23 | 53,0 | 117,0 | 371,0 | 55,3 | 3718.00 | 4.95 | 16.530 | 14.100 | 4302 | 1.162 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 395 | TomarzaS | | S24 | 53,0 | 112,7 | 350,6 | 49,8 | 3840.00 | 5.14 | 17.070 | 13.830 | 4402 | 2.632 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 396 | TomarzaS | | S25 | 53,0 | 121,5 | 393,8 | 56,3 | 4088.00 | 5.32 | 18.170 | 14.410 | 4172 | 1.582 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 397 | TomarzaS | | S26 | 53,0 | 117,6 | 377,3 | 54,8 | 3522.00 | 4.73 | 15.660 | 14.260 | 4232 | 1.462 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 398 | TomarzaS | | S28 | 53,0 | 115,9 | 376,6 | 54,8 | 3638.00 | 4.85 | 16.170 | 14.440 | 4162 | 1.152 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 399 | TomarzaS | | S29 | 53,0 | 98,3 | 337,8 | 45,1 | 4298.00 | 5.39 | 19.110 | 15.280 | 3822 | 1.802 | 5201.110 | 2.500 | 0.86 | |
| 400 | TomarzaSB | | SB01 | 53,0 | 107,0 | 423,1 | 36,2 | 6586.00 | 8.75 | 29.280 | 17.580 | 3052 | 0.9562 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 401 | TomarzaSB | | SB02 | 53,0 | 127,9 | 514,7 | 42,4 | 6612.00 | 8.62 | 29.390 | 17.890 | 2933 | 0.172 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 402 | TomarzaSB | | SB03 | 53,0 | 123,0 | 493,4 | 42,3 | 5984.00 | 8.20 | 26.600 | 17.830 | 2952 | 0.9082 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 403 | TomarzaSB | | SB04 | 53,0 | 118,0 | 468,5 | 42,8 | 6462.00 | 8.60 | 28.720 | 17.650 | 3022 | 0.7572 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 404 | TomarzaSB | | SB05 | 53,0 | 119,0 | 485,6 | 42,9 | 6218.00 | 8.21 | 27.640 | 18.140 | 2832 | 0.7742 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 405 | TomarzaSB | | SB06 | 53,0 | 122,8 | 485,0 | 43,2 | 6478.00 | 8.41 | 28.800 | 17.560 | 3062 | 0.8432 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 406 | TomarzaSB | | SB07 | 53,0 | 107,0 | 429,3 | 35,8 | 7894.00 | 9.54 | 35.090 | 17.830 | 2952 | 0.9892 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 407 | TomarzaSB | | SB08 | 53,0 | 129,4 | 519,0 | 47,6 | 5972.00 | 8.42 | 26.550 | 17.830 | 2952 | 0.7182 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 408 | TomarzaSB | | SB10 | 53,0 | 113,5 | 468,1 | 39,5 | 6380.00 | 8.32 | 28.360 | 18.330 | 2752 | 0.8732 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 409 | TomarzaSB | | SB11 | 53,0 | 99,0 | 404,7 | 33,0 | 6964.00 | 9.13 | 30.960 | 18.170 | 2823 | 0.002 | 5801.420 | 3.540 | 1.97 | |
| 410 | TomarzaSB | | SB12 | 53,0 | 107,8 | 434,1 | 35,8 | 7062.00 | 8.81 | 31.390 | 17.900 | 2933 | 0.112 | 5801.420 | 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 | 4531 | 4.242 | 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 | 4051 | 7.742 | 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 | 4431 | 4.292 | 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 | 4021 | 6.962 | 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 | 4001 | 3.452 | 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 | 4071 | 6.562 | 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 | 4481 | 3.822 | 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 | 4111 | 7.082 | 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 | 4521 | 4.082 | 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 | 4181 | 6.832 | 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 | 4041 | 3.822 | 530,410 | 830 | | |

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 | 4561 | 3862 | 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 | 4091 | 6522 | 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 | 4511 | 8272 | 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 | 4521 | 3872 | 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 | 4171 | 6422 | 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 | 4531 | 4092 | 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 | 4151 | 6692 | 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 | 4181 | 6902 | 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 | 4551 | 3902 | 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 | 4551 | 7022 | 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 | 3941 | 8822 | 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 | 3971 | 8372 | 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 | 4031 | 6922 | 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 | 3911 | 4122 | 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 | 3921 | 3912 | 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 | 3951 | 3952 | 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 | 3941 | 4002 | 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 | 3971 | 4362 | 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 | 4001 | 4712 | 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 | 3981 | 4492 | 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 | 4011 | 4582 | 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 | 4501 | 7142 | 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 | 3682 | 1012 | 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 | 3621 | 7282 | 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 | 3971 | 4402 | 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 | 4261 | 3892 | 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 | 4141 | 6232 | 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 | 4241 | 6772 | 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 | 3961 | 4372 | 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 | 4001 | 4272 | 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 | 3981 | 4712 | 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 | 3991 | 4242 | 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 | 3991 | 4492 | 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 | 3972 | 0682 | 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 | 3961 | 4152 | 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 | 3871 | 4732 | 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 | 3971 | 3692 | 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 | 3891 | 3942 | 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 | 3961 | 5932 | 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 | 3922 | 1022 | 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 | 3971 | 4562 | 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 | 3941 | 4292 | 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 | 3921 | 3682 | 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 | 3951 | 3622 | 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 | 4001 | 4012 | 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 | 3491 | 8032 | 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 | 4391 | 5072 | 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 | 3562 | 0762 | 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 | 3642 | 1532 | 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 | 3662 | 1042 | 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 | 3922 | 2842 | 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 | 3642 | 3162 | 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 | 2622 | 4952 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 479 | Tomarza | TP | TP-002 | 53,0 | 132,3 | 529,5 | 60.5 | 4026.00 | 6.52 | 17.900 | 17.790 | 2942 | 1872 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 480 | Tomarza | TP | TP-003 | 53,0 | 127,0 | 503,0 | 54.7 | 4746.00 | 6.76 | 21.100 | 17.610 | 3012 | 3222 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 481 | Tomarza | TP | TP-004 | 53,0 | 104,8 | 406,9 | 51.2 | 4256.00 | 6.41 | 18.920 | 17.260 | 3152 | 0472 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 482 | Tomarza | TP | TP-005 | 53,0 | 110,7 | 430,5 | 51.8 | 4228.00 | 6.62 | 18.790 | 17.290 | 3142 | 1372 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 483 | Tomarza | TP | TP-006 | 53,0 | 126,0 | 497,3 | 54.6 | 4268.00 | 6.54 | 18.970 | 17.540 | 3042 | 3082 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 484 | Tomarza | TP | TP-007 | 53,0 | 122,0 | 502,5 | 59.1 | 3794.00 | 6.24 | 16.860 | 18.310 | 2742 | 0642 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 485 | Tomarza | TP | TP-008 | 53,0 | 130,0 | 507,0 | 59.1 | 4254.00 | 6.34 | 18.910 | 17.340 | 3122 | 2002 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 486 | Tomarza | TP | TP-009 | 53,0 | 123,0 | 498,3 | 62.3 | 3482.00 | 5.88 | 15.480 | 18.010 | 2851 | 9742 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 487 | Tomarza | TP | TP-010 | 53,0 | 126,0 | 519,0 | 55.8 | 3872.00 | 6.45 | 17.210 | 18.310 | 2742 | 2582 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 488 | Tomarza | TP | TP-011 | 53,0 | 125,0 | 509,6 | 54.2 | 3766.00 | 5.94 | 16.740 | 18.120 | 2812 | 3062 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 489 | Tomarza | TP | TP-012 | 53,0 | 109,8 | 446,1 | 47.4 | 4922.00 | 6.80 | 21.880 | 18.060 | 2832 | 3162 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 490 | Tomarza | TP | TP-013 | 53,0 | 120,2 | 487,0 | 53.2 | 4894.00 | 6.95 | 21.750 | 18.010 | 2852 | 2592 | 5702,090 | 4.320 | 94 | |
| 491 | Tomarza | TS | TS001 | 53,0 | 138,9 | 469,0 | 71.5 | 2246.00 | 3.93 | 9.980 | 15.010 | 3901 | 9432 | 5101,230 | 2.250 | 88 | |
| 492 | Tomarza | TS | TS002 | 53,0 | 144,0 | 466,2 | 75.0 | 1916.00 | 4.30 | 8.520 | 14.390 | 4151 | 9202 | 5101,230 | 2.250 | 88 | |
| 493 | Tomarza | TS | TS003 | 53,0 | 122,1 | 419,1 | 55.5 | 3608.00 | 6.07 | 16.040 | 15.260 | 3802 | 2002 | 5101,230 | 2.250 | 88 | |
| 494 | Tomarza | TS | TS004 | 53,0 | 119,2 | 400,3 | 56.1 | 2816.00 | 5.31 | 12.520 | 14.930 | 3942 | 1252 | 5101,230 | 2.250 | 88 | |
| 495 | Tomarza | TS | TS005 | 53,0 | 139,4 | 457,7 | 74.2 | 4170.00 | 6.26 | 18.540 | 14.590 | 4071 | 8792 | 5101,230 | 2.250 | 88 | |
| 496 | Tomarza | TS | TS006 | 53,0 | 121,0 | 408,0 | 59.0 | 3216.00 | 5.67 | 14.300 | 14.990 | 3912 | 0512 | 5101,230 | 2.250 | 88 | |
| 497 | Tomarza | TS | TS007 | 53,0 | 134,3 | 445,5 | 65.8 | 2214.00 | 4.42 | 9.840 | 14.750 | 4012 | 0412 | 5101,230 | 2.250 | 88 | |
| 498 | Tomarza | TS | TS008 | 53,0 | 124,5 | 411,7 | 64.8 | 3642.00 | 6.05 | 16.190 | 14.700 | 4031 | 9212 | 5101,230 | 2.250 | 88 | |
| 499 | Tomarza | TS | TS009 | 53,0 | 104,0 | 321,8 | 58.0 | 2298.00 | 5.00 | 10.210 | 13.750 | 4411 | 8792 | 5101,230 | 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 _{50s} | Brt | Is ₅ |
|-----|---------|-------|-------------|------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|--------|------|------|----------|-------------------|------|-----------------|
| 503 | Tomarza | TS | TS015 | 53,0 | 112,0 | 388,7 | 60.3 | 2192.00 | 4.37 | 9.740 | 15.430 | 3731 | 8572 | 5101.230 | 2.250 | 88 | |
| 504 | Tomarza | TS | TS016 | 53,0 | 113,2 | 383,6 | 61.5 | 1816.00 | 5.28 | 8.070 | 15.060 | 3881 | 8412 | 5101.230 | 2.250 | 88 | |
| 505 | Tomarza | TS | TS017 | 53,0 | 111,2 | 348,3 | 61.0 | 2234.00 | 3.92 | 9.930 | 13.920 | 4341 | 8232 | 5101.230 | 2.250 | 88 | |
| 506 | Tomarza | TS | TS018 | 53,0 | 129,8 | 424,4 | 58.2 | 3898.00 | 6.12 | 17.330 | 14.530 | 4102 | 2302 | 5101.230 | 2.250 | 88 | |
| 507 | Tomarza | TS | TS019 | 53,0 | 114,1 | 388,9 | 65.7 | 2646.00 | 5.15 | 11.760 | 15.150 | 3841 | 7372 | 5101.230 | 2.250 | 88 | |
| 508 | Tomarza | TV | TV-001 | 53,0 | 146,0 | 573,6 | 69.2 | 2604.00 | 6.51 | 11.580 | 17.460 | 3122 | 1102 | 5901.200 | 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 | 3202 | 0412 | 5901.200 | 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 | 2822 | 0692 | 5901.200 | 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 | 3131 | 9942 | 5901.200 | 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 | 2981 | 9882 | 5901.200 | 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 | 5341 | 2822 | 5304.70 | 1.250 | 42 | |
| 514 | Diger | Diger | 1 incesu | 53,0 | 115,0 | 492,7 | 42.3 | 8900.00 | 9.57 | 39.560 | 19.040 | 2412 | 7192 | 5602.440 | 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 | 3392 | 1832 | 5401.110 | 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 | 5231 | 2772 | 5304.70 | 1.250 | 42 | |
| 517 | Diger | Diger | 2 incesu | 49,5 | 111,0 | 415,0 | 39.8 | 8812.00 | 9.60 | 44.910 | 19.050 | 2412 | 7892 | 5602.440 | 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 | 2422 | 8922 | 5602.440 | 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 | 5291 | 2722 | 5304.70 | 1.250 | 42 | |
| 520 | Diger | Diger | 3 incesu | 49,5 | 112,5 | 428,8 | 36.9 | 10000.00 | 10.21 | 50.960 | 19.420 | 2263 | 0492 | 5602.440 | 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 | 3382 | 2772 | 5401.110 | 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 | 3292 | 3262 | 5602.440 | 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 | 3502 | 2162 | 5401.110 | 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 | 3192 | 4442 | 5602.440 | 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 | 3791 | 9622 | 5602.440 | 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 | 4181 | 4492 | 5501.110 | 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 | 4311 | 9062 | 5501.110 | 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 | 3591 | 9662 | 5501.110 | 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 | 3182 | 3912 | 5502.440 | 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 | 3552 | 0412 | 5501.110 | 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 | 3422 | 1772 | 5501.110 | 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 | 3632 | 0532 | 5601.110 | 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 | 3652 | 0042 | 5401.110 | 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 | 4301 | 7752 | 5401.110 | 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 | 4451 | 4962 | 5401.110 | 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 | 5341 | 2212 | 5504.70 | 1.250 | 42 | |
| 537 | Diger | Diger | El-20Gesi | 49,5 | 117,3 | 299,8 | 79.3 | 3124.00 | 5.85 | 15.920 | 13.020 | 4771 | 4792 | 5401.110 | 2.300 | 1.14 | |
| 538 | Diger | Diger | El-21 Gesi | 49,5 | 113,0 | 312,0 | 67.4 | 2380.00 | 5.60 | 12.130 | 14.070 | 4351 | 6772 | 5401.110 | 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 | 3542 | 1622 | 5602.440 | 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 | 4471 | 4252 | 5401.110 | 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 | 2982 | 4732 | 5602.440 | 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 | 2952 | 5002 | 5602.440 | 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 | 3652 | 0542 | 5602.440 | 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 | 3392 | 2062 | 5401.110 | 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 | 3732 | 0552 | 5602.440 | 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 | 3522 | 0272 | 5602.440 | 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 | 5311 | 2902 | 5504.70 | 1.250 | 42 | |
| 548 | Diger | Diger | El-30incesu | 53,0 | 114,5 | 406,7 | 54.9 | 5683.00 | 7.84 | 25.260 | 15.790 | 3712 | 0862 | 5602.440 | 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 | 3612 | 0762 | 5401.110 | 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 | 3821 | 9632 | 5401.110 | 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 | 2682 | 1792 | 5602.440 | 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 | 2502 | 8572 | 5602.440 | 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 | 2752 | 6442 | 5602.440 | 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 | 2402 | 7472 | 5602.440 | 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 | 2462 | 7932 | 5602.440 | 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 | 3392 | 1442 | 5602.440 | 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 | 3162 | 5452 | 5602.440 | 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 | 5021 | 3322 | 5504.70 | 1.250 | 42 | |
| 559 | Diger | Diger | El-40incesu | 53,0 | 114,3 | 447,9 | 48.4 | 5955.00 | 7.20 | 26.470 | 17.420 | 3062 | 3622 | 5602.440 | 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 | 2422 | 6782 | 5602.440 | 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 | 2672 | 7232 | 5602.440 | 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 | 3072 | 4192 | 5602.440 | 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 | 2632 | 7232 | 5602.440 | 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 | 4021 | 9092 | 5301.110 | 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 | 3522 | 0102 | 5401.110 | 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 | 4281 | 6792 | 5401.110 | 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 | 3442 | 1632 | 5401.110 | 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 | 4001 | 9682 | 5301.110 | 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 | 3941 | 9442 | 5502.440 | 4.000 | 1.77 | |
| 570 | Diger | Diger | El-50GP | 53,0 | 117,2 | 311,1 | 190.6 | 1100.00 | 2.60 | 4.890 | 11.800 | 5241 | 2942 | 5304.70 | 1.250 | 42 | |
| 571 | Diger | Diger | El-5incesu | 53,0 | 116,8 | 418,7 | 48.7 | 5660.00 | 8.80 | 25.160 | 15.930 | 3632 | 3982 | 5502.440 | 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 | 5421 | 3422 | 5504.70 | 1.250 | 42 | |
| 573 | Diger | Diger | El-7Gesi | 53,0 | 116,0 | 375,5 | 66.1 | 5350.00 | 6.10 | 23.780 | 14.390 | 4251 | 7552 | 5501.110 | 2.300 | 1.14 | |
| 574 | Diger | Diger | El-8Yumupak | 53,0 | 118,7 | 436,6 | 57.5 | 5400.00 | 8.30 | 24.000 | 16.350 | 3462 | 0642 | 5502.440 | 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 | 4351 | 6132 | 5501.110 | 2.300 | 1.14 | |
| N | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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 bölümünden 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.