



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**KÖMÜR DAMARI ÇEVRE KAYAÇLARININ**  
**MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE ŞİŞME**  
**DAVRANIŞI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**Meriç KAYA**

**YÜKSEK LİSANS**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Eylül-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Meriç KAYA tarafından hazırlanan “KÖMÜR DAMARI ÇEVRE KAYAÇLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE ŞİŞME DAVRANIŞI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 02/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. M. Erdinç BİLİR

#### Danışman


Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZŞEN

### İmza

  
.....

  
.....

  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 116M698 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Meriç KAYA

02/09/2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## KÖMÜR DAMARI ÇEVRE KAYAÇLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE ŞİŞME DAVRANIŞI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

**Meriç KAYA**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. İhsan ÖZKAN**

**2019, 116 Sayfa**

**Jüri**

**Danışman: Prof. Dr. İhsan ÖZKAN  
Doç. Dr. M. Erdinç BİLİR  
Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZŞEN**

Bu çalışma, TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden ocağında hazırlık çalışmalarının yürütüldüğü A1, A2 ve A6 uzunayak panosunda gerçekleştirilmiştir. Kalın kömür damarı tabanında, tavanında ve ara kesmelerinde konumlanan zayıf ve tabakalı kil ve kıltaşı birimlerine ait dayanım parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Yerinde, büyük ölçekli kazı arınlarında Schmidt sertlik belirleme (SH) ve nokta yükleme dayanımı (NYD) indeks deneyleri yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, 13 adet kazı arınında SH deneyleri, 25 adet bölgede NYD indeks deneyleri gerçekleştirilmiştir. Toplam 142.75 m<sup>2</sup> olan deney bölgeleri, kendi içlerinde her biri 0.15-0.25 m<sup>2</sup> olacak şekilde 398 birim ölçüm hücresine bölünmüştür. Birim hücrelerin orta noktasında en az üç kez tekrarlanmak kaydı ile SH deneyleri (876 adet), aynı birim hücrelerden alınan üç adet düzensiz örnek üzerinde NYD indeks deneyleri (1194 adet) yapılmıştır. Ayrıca laboratuvara getirilen bloklardan yoğunluk (26 adet), suda dağılma (12 adet), tek eksenli basma dayanımı (72 adet), dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı (7 adet), tek eksenli deformabilite deneyleri (38 adet) gerçekleştirilmiştir. Sahada karşılaşılan kil malzemesinin tanımlanmasına yardımcı olması için XRD analizleri yapılmıştır. Kil malzemesi, belirlenen mekanik davranışları yardımıyla üç ayrı sınıfa bölünmüştür. Özellikle suda dağılma dayanımı sonuçlarına göre bu sınıflama, çok zayıf kayadan sağlam kayaya doğru K-1, K-2, K-3 (K:Kil, Kıltaşı) şeklinde olmuştur. Mekanik özellikleri belirlenen kil malzemesinin ayrıca şişme davranışı belirlenmiştir. K-1 sınıfına giren kil malzemesi için şişme davranışı ortalama 7.8 mm, K-2 sınıfında yer alan kil malzemesi için şişme davranışı 1.59 mm olurken K-3 sınıfı için herhangi bir şişmenin olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada belirlenen tüm mekanik davranışlar ile şişme davranışı arasındaki istatistiksel ilişkiler araştırılmıştır. Gerçekleştirilen istatistik analizler neticesinde yoğunluk, suda dağılma dayanımı, nokta yükleme dayanım indeksi, Schmidt sertlik, tek eksenli basma dayanımı ile şişme davranışı arasında güçlü ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca suda dağılma dayanımı-nokta yükleme dayanım indeksi, suda dağılma dayanımı-tek eksenli basma dayanımı, nokta yükleme dayanım indeksi-tek eksenli basma dayanımı arasında güçlü istatistiksel ilişkilerin olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasından elde edilen kaya mekaniği deneylerinde suda dağılma ve nokta yükleme indeks dayanımı deney sonuçları ile şişme deney sonuçları yardımıyla bir bütünlüyci yaklaşım (abak) geliştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:**Kaya mekaniği, yerinde indeks deneyler, uzunayak, şişme deneyleri.

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN MECHANICAL PROPERTIES AND SWELLING BEHAVIOR OF COAL SEAM WALL ROCKS**

**Meriç KAYA**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mining Engineer**

**Advisor: Prof. Dr. İhsan ÖZKAN**

**2019,116 Pages**

**Jury**

**Advisor: Prof. Dr. İhsan ÖZKAN  
Assoc. Prof. Dr. M. Erdinç BİLİR  
Asst. Prof. Dr. Hakan ÖZŞEN**

This study was carried out in the A1, A2 and A6 longwall panel, where preparations are in progress in TKİ-GLİ-Ömerler underground mine. In this study, it is aimed to determine the strength of the weak and stratified claystone located in floor, roof and intermediate of thick coal seam. It was planned to carry out in situ Schmidt hardness (SH) and point load strength (NYD) index tests in large scale excavation faces. For this purpose, SH tests were performed in 13 excavation faces and also NYD index tests were carried out in 25 locations. The test areas, which has totaling 142.75 m<sup>2</sup>, were divided into 398 units of measuring cells, of which has 0.15-0.25 m<sup>2</sup> each area. SH tests were performed at the midpoint of the unit cells with at least three repeats. In addition, NYD index tests were carried out on three irregular samples taken from the same unit cells. In this study, a total of 801 SH test results and 336 NYD index test results were evaluated together. In addition, density (26#), slake durability (12#), uniaxial compressive strength (72#), indirect (Brazilian) tensile strength (7#), uniaxial deformability (38#) tests were performed from the blocks brought to the laboratory. XRD analyzes were performed to help identify the clay material encountered in the field. By the determined mechanical behavior of the clay material, it was divided three separate classes. Especially according to the results of slake durability index tests, this classification was as K-1, K-2, K-3 (K: Clay, Claystone). In addition, the swelling behavior of the clay was determined. The swelling behavior for the clay material in the K-1 class was 7.8 mm, the swelling behavior for the clay material in the K-2 class was 1.59 mm, while the swelling behavior for the K-3 class did not occur. In this study, statistical relationships between swelling behavior and all mechanical behaviors were investigated. As a result of the statistical analyzes performed, it was determined that there are strong relationships between density, slake durability, point load strength index, Schmidt hardness, uniaxial compressive strength and swelling behavior. In addition, it has been found that there are strong statistical relationships between slake durability-point load strength index, slake durability-uniaxial compressive strength, point load strength index-uniaxial compressive strength. In the rock mechanics experiments obtained from this thesis, an integrative approach (nomogram) was developed with the help of slake durability, point load strength index test results and swelling test results.

**Key Words:** Rock mechanics, in-situ index tests, longwall, swelling tests

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezimin başlangıcından son anına kadar desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. İhsan ÖZKAN'a, bölümümüz hocalarından Sayın Arş. Gör. Mehmet MESUTOĞLU'na, saha çalışmalarında tam özveri ile yardımlarını esirgemeyen TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı işletmesi Maden Mühendisleri Sayın Ahmet SANCAK ve Sayın Hakan BOZKURT'a, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü laboratuvar sorumlusu Sayın İbrahim KÜÇÜK'e ve değerli arkadaşım Sayın Süleyman BAKHRİV'e, ayrıca jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. M. Erdiç BİLİR (BEÜ) ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZŞEN'e, tez çalışmalarında gerçekleştirilen analizlerinde desteklerini esirgemeyen Gebze Teknik Üniversitesinden Sayın Doç. Dr. Salim ÖNCEL'e, hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmada da desteklerini esirgemeyen annem, babam ve kardeşime sonsuz teşekkürleri borç bilirim.

Meriç KAYA

KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problemin Tanımı .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	1
1.3. Çalışmanın İçeriği.....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>2</b>
2.1. Genel.....	2
2.2. Killer Hakkında Genel Bilgi .....	2
2.3. Mühendislik Yapılarında Şişme Problemleri.....	6
2.4. Şişmeye Neden Olan Faktörler .....	9
2.4.1. Şişen mineraller .....	10
2.5. Şişen Ortamda Alınabilecek Önlemler .....	11
2.6. Şişme Deneyleri.....	12
2.7. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	12
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>15</b>
3.1. Genel.....	15
3.2. TKİ- Ömerler Yeraltı İşletmesi Hakkında Genel Bilgiler .....	15
3.2.1. Tarihçe .....	15
3.2.2. Coğrafi konum .....	15
3.2.3. İklim ve bitki örtüsü.....	16
3.2.4. Genel jeoloji ve stratigrafi .....	17
3.2.5. Kömürün yapısı ve kömür damarını çevreleyen kayaçların jeoteknik özellikleri .....	19
3.2.6. Ömerler yeraltı işletmesi ve üretim yöntemi .....	20
3.2.7. Ömerler yeraltı ocağında kullanılan tahkimat sistemleri ve özellikleri.....	22
3.2.8. Ömerler yeraltı işletmesi panolarında üretim şekli.....	25
3.3. TKİ-GLİ-Ömerler Yeraltı Kömür Maden Ocağında Yapılan Çalışmalar .....	26
3.3.1. Laboratuvar deneyleri için sahada numune seçme çalışmaları.....	26
3.3.2. Laboratuvarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için numune hazırlama ..	29
3.3.3.Sahada gerçekleştirilen deneyler için deney alanı hazırlama çalışmaları.....	36
3.3.4. XRD analiz sonuçlarının tespitine yönelik numune hazırlama çalışmaları ..	43
3.3.5. Şişme deneyi için numune hazırlama çalışmaları.....	43
4.1. Genel.....	45
4.2. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Deneysel Çalışmalar .....	45

4.2.1. Yoğunluk belirleme deneyleri .....	45
4.2.2. Suda dağılma dayanımı deneyleri .....	46
4.2.3. Tek eksenli basma dayanımı deneyleri .....	47
4.2.4. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı belirleme deneyleri .....	47
4.2.5. Tek eksenli deformabilite özelliklerini belirleme deneyleri .....	48
4.3. Sahada Gerçekleştirilen Deneysel Çalışmalar .....	49
4.3.1. Schmidt çekici ile kaya sertliği belirleme çalışmaları .....	50
4.3.2. Nokta yükleme dayanımı indeksi değerinin belirleme çalışmaları .....	51
4.4. XRD Analiz Sonuçları .....	52
4.5. Şişme Deneyleri ve Şişme Davranışının Belirlenmesi .....	53
4.5.1. Örneklerin temini ve şişme deneyleri için hazırlanması .....	53
4.5.2. Şişme deneyleri .....	54
4.5.3. Şişme deney sonuçlarına dayalı genel değerlendirme .....	70
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>83</b>
5.1. Sonuçlar .....	83
5.2. Öneriler .....	89
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>90</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>92</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>116</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$A^\circ$	: Angstrom
B	: Galeri açıklığı
E	: Elastisite modülü
$E_i$	: Kaya malzeme elastisite modülü
$I_{a(50)}$	: Anizotropi indeksi
$I_{s(50)}$	: Nokta yükleme dayanım indeksi
$I_{d1}$	: I. döngü sonunda suda dağılmaya karşı dayanım indeksi
$I_{d2}$	: II. döngü sonunda suda dağılmaya karşı dayanım indeksi
$\sigma$	: Gerilme
$\sigma_v$	: Düşey gerilme
$\sigma_c$	: Tek eksenli basınç dayanımı
$\sigma_t$	: Çekme dayanımı
$\nu$	: Poisson oranı
$\rho$	: Yoğunluk
$\gamma$	: Birim hacim ağırlık
$\nu$	: Poisson oranı

### Kısaltmalar

ASTM	: Amerika Test ve Materyal Topluluğu
AO	: Açık Ocak
DSD	: Dörtüzlü-Sekizyüzlü-Dörtüzlü
GLİ	: Garp Linyit İşletmesi
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği
KGA	: Kılavuz Galeri Arını
KGY Y	: Kılavuz Galerisi Yan Yüzeyi
MTA	: Maden Tetkik Arama
NGA	: Nakliye Galeri Arını
NGY Y	: Nakliye Galerisi Yan Yüzeyi
NYİ	: Nokta Yükleme Dayanım İndeksi
SH	: Schmidt Hammer
SPSS	: Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
XRD	: X-Işını Difraktometresi

## **1. GİRİŞ**

### **1.1. Problemin Tanımı**

TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı kömür ocağındaki kömür stampında bulunan ara kesmeler, taban taşı ve tavan taşı kil minerallerinden oluşan kiltaşından oluşmaktadır. Yer altı suyunu bünyesine alarak şişebilen kil içerikli birimler, uzunayak içerisindeki üretim ekipmanlarının dengesini etkileyerek üretim başarısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

### **1.2. Çalışmanın Amacı**

Ömerler yeraltı kömür ocağında üretimi devam etmekte olan A1, A2, A6 panolarında gözlenen A, B, S, C ara kesmeler ile taban taşı, tavan taşının mekanik özelliklerinin belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmuştur. Bu amaca ulaşmak amacıyla ara kesmeler, taban ve tavan taşı için yerinde ve laboratuvar ortamında ISRM (2007) tarafından önerilen deneyler gerçekleştirilmiştir.

### **1.3. Çalışmanın İçeriği**

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde, problemin tanımı, çalışmanın amacı ve içeriği; ikinci bölümde kaynak araştırması; üçüncü bölümde çalışma sahası hakkında genel bilgi, deney cihazının tasarım ve imalatı, sahada gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel metotlar hakkında bilgi verilmiş, dördüncü bölümde saha ve laboratuvar deneyleri yanında gerçekleştirilen şişme deneylerine ait sonuçlar verilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasına ait elde edilen sonuçlar ve öneriler beşinci bölümde sunulmuştur.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Genel

Bu bölümde killer hakkında genel bilgiler, killerin mühendislik yapılarıdaki şişme problemleri, killerde şişmeye neden olan faktörler, şişen ortamda alınabilecek önlemler, şişme deneyleri ve daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

### 2.2. Killer Hakkında Genel Bilgi

Kil terimi genellikle doğal yollardan oluşmuş, ince taneli, belirli bir su içeriğine kadar plastik davranış gösteren ancak kurtulduğunda veya fırınlandığında sertleşen malzemeler için kullanılır (Ranst, 1998). Killer çoğu zaman saf halde bulunmayıp değişik elementler ve mineraller içerirler ve çok farklı kristal şekillerine sahiptirler. Bu nedenle mineralojilerine, kimyasal özelliklerine, yapılarına ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılabilirler (Ranst, 1998) (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Killerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılması (Ranst, 1998)

Killer			
Mineralojik Özelliklerine Göre	Kimyasal Özelliklerine Göre	Yapılarına Göre	Fiziksel Özelliklerine Göre
Kaolin Grubu	Yüksek Al Killer	Amorf Grup	Plastik Özelliklerine Göre
Smektit Grubu	Boksit içerikli Killer	Kristal Grup	Tane boyutuna Göre
Mika Grubu	Silikat içerikli Killer	-	Refrakter Özelliklerine Göre
İllit Grubu	Demir İçerikli Killer	-	Renk Özelliklerine Göre
Attapulijit Grubu	Kalsit İçerikli Killer	-	-
-	Karbonat İçerikli Killer	-	-

Kil minerallerinin kimyasal bileşimi bünyesinde buldukları materyalin mineralojik bileşimine bağlı olarak değişiklik gösterirler. Kil minerallerinin kimyasal yapısındaki elementler ve bunların oksitlerinin oranları, farklı kil mineralleri arasında belirgin bir ayrımın yapılamayacağı göstermektedir (Demiral, 2013). Kil minerallerinin ağırlıklarına göre kimyasal bileşimleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Kil minerallerinin (ağırlıkça) kimyasal bileşimi (%) (Scheffer ve Schachtschabel, 1970)

Kil Minerallari	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Montmorillonit	42-55	0-28	0-30	0-0.5	0-3	0-2.5	0-0.5	0.3
İllit	50-56	18-13	2-5	0-0.8	0-2	1-4	4-7	0-1
Vermikulit	33-37	7-18	3-12	0-0.6	0-2	20-28	0-2	0-0.4
Klorit	22-35	12-24	0-15	-	0-2	12-34	0-1	0-1
Kaolinit	45-48	38-40	-	-	-	-	-	-

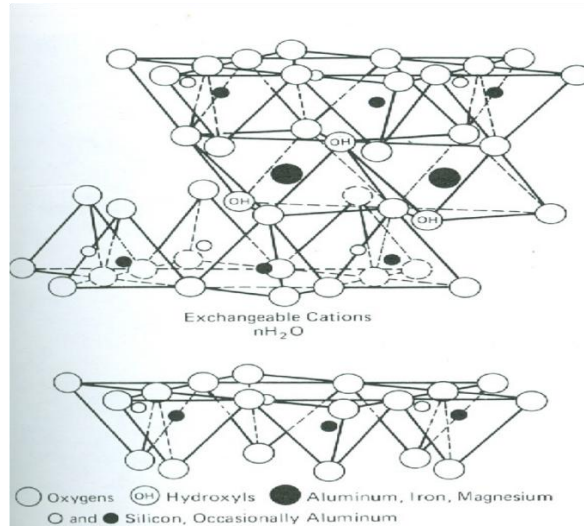
Doğada en çok bulunan kil minerallerinden montmorillonit, illit ve kalonit kil tiplerinin tane büyüklüğü, tane şekli, özgül yüzeyi (m<sup>2</sup>/g), tane kalınlığı likit limit, plastisite indisi, şişme-büzülme yeteneği ve özgül ağırlıkları Çizelge 2.3’de verilmiştir (Önalp, 1983).

**Çizelge 2.3.** Bazı kil minerallerinin özellikleri (Önalp, 1983)

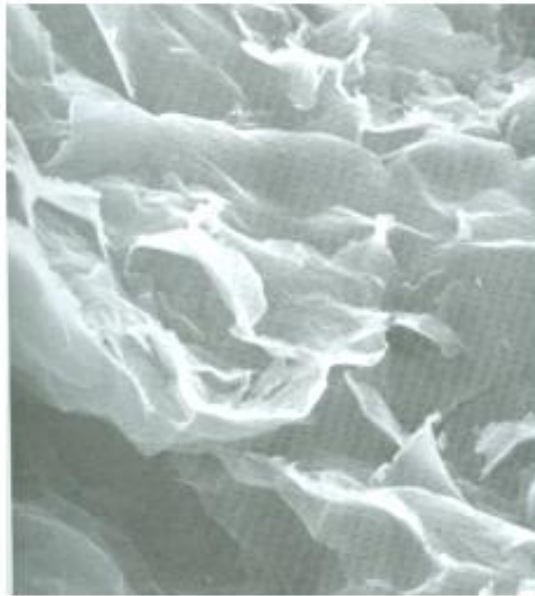
Parametre	Montmorillonit	İllit	Kaolinit
Tane Büyüklüğü	10A-1	0.1-2	0.1-5
Tane Şekli	Eş boyutlu yaprak	Pul	Altı köşeli pul
Özgül Yüzeyi (m <sup>2</sup> /g)	50-800	65-100	10-20
Tane kalınlığı	10A	30A	0.05-2
Likit Limit	110-710	60-120	30-70
Plastisite İndisi	51-100	34-60	26-38
Şişme-Büzülme Yeteneği	Yüksek	Orta	Düşük
Özgül Ağırlık	2.35-2.70	2.60-3.00	2.60-2.95

**Montmorillonitler:** Kristal yapısı merkezde bir alümina oktahedral tabaka düzlemi ile 2 silika tedrahedral düzlemden oluşmuştur. Tedrahedronların bütün uçları aynı yönde ve birim merkezine doğrudur. Tedrahedral ve oktahedral düzlemler birleşirler, öyle ki OH tabakalarının biri, ortak bir tabaka oluşturur. Tedrahedral ve oktahedral tabakalarının her ikisi için ortak bileşim OH yerine O<sub>2</sub> olmaktadır (Grim, 1962)

Yığın yapıda atomların tüm valansları doldurulmuştur. 3 oktahedral pozisyonun iki tanesi 3 valanslı Al tarafından doldurulur (dioktahedral düzen). Alternatif olarak 3 pozisyonun hepsi, 2 valanslı Mg tarafından doldurulabilir (trioktahedral düzen). Montmorillonit grubu kil minerallerinin yapısı, belirli atomların diğer atomlarla yer değiştirmesiyle talk ve profillitden elde edilir (VanOlphen, 1977). Montmorillonit yapısındaki göze çarpan özellik, belirli organik moleküller gibi diğer polar moleküllerin ve suyun birim tabakalar arasına girerek, c yönünde kafesi genişletmesidir. Şekil 2.1’de montmorillonitin atomik yapısı verilmiştir. Çoğu zamanda çok ince eş boyutlu kabuk şeklinde oluşmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Montmorillonitin atomik yapısı (Yıldırım, 2009)



Şekil 2.2. Montmorillonitin elektron mikroskobundan görünüşü (Yıldırım, 2009)

Silikat tabakaları arasında değişebilir katyonlar vardır ve tamamıyla hidrate olan montmorillonitin c-ekseni boşluğu, tabakalar arası katyonların boyutuna bağlıdır. Silikat birimler arasındaki su tabakasının kalınlığı, verilen bir su-buhar basıncında değişebilir katyonların yapısına bağlıdır. Normal şartlar altında değişebilir katyon  $Na^+$  olduğunda, montmorillonit bir moleküler su tabakası içerir ve c-ekseni boşluğu yaklaşık  $12.5 \text{ \AA}$ 'dır. Fakat değişebilir katyon  $Ca^{+2}$  olduğunda ise, montmorillonit 2 molekül su içerir ve c-ekseni boşluğu yaklaşık  $15.5 \text{ \AA}$  olur. Eğer tabakalar arasındaki polar moleküllerinin hepsi uzaklaştırıldığında yapı tamamen çökmezse, şişme (genişleme) özelliği geri dönüşümlüdür.

Montmorillonitin teorik formülü  $(OH)_4.Si_8.Al_4O_{20}$  olup, tabakalar arası  $H_2O$  ve tabakalar arasında malzeme olmaksızın montmorillonitin teorik kompozisyon, % 66.7  $SiO_2$ , % 28.3  $Al_2O_3$ , % 5  $H_2O$  içermektedir.

Alüminyum latisinde iyon değiştirme ve tetrahedral koordinasyondaki silis yerine P'nin yer değişimi ve / veya oktahedral düzlemdeki Alüminyum yerine Fe, Zn, Ni, Li, Mg'un yer değişiminden dolayı montmorillonit yukarıdaki teorik formülden daima farklıdır.

Montmorillonitin teorik formülündeki farklılıklarının nedeni latisdeki yer değişme ile oluşan dengesizliktir. Bu dengesizlik, tetrahedral, oktahedral veya her ikisinde de farklı valanslı iyonların yer değişimi sonucu olabilir (Grim, 1962). Örneğin 4 valanslı Si kısmen 3 valanslı alüminyum ile veya oktahedral tabakadaki Al, 2 valanslı Mg ile yer değiştirebilir. Elektropozitif elementlerin düşük valanslı elementlerle yer değiştirmesi tabakanın yüzeyinde negatif şarjın fazlalığına neden olur. Bu net negatif şarj tabaka yüzeyinde katyonların adsorplanması ile dengelenir (VanOlphen, 1977).

**İllitler:** İllitler, montmorillonitlere benzer yapıya sahip kil mineralleridir. Toplam izomorfik yer değiştirme miktarı montmorillonitlerden fazladır. Tetrahedral tabakada  $Si^{+4}$ 'un  $Al^{+3}$  ile yer değiştirmesi baskındır. Net negatif yükü dengeleyen katyonlar genellikle potasyum iyonlardır. Birim sıklıkta K iyonlarıyla bağlanmıştır ve kafes yapısı genişlemez. Çok sayıda K iyonları ve bu iyonların uygun geometrik yerleşiminden dolayı her kenardaki yüklenmiş iki tabaka ve K iyonları arasındaki güçlü elektrostatik çekimden dolayı tabakalar arası şişme montmorillonitlere göre daha azdır. İllitin genel formülü  $(Al_4Fe_4Mg_4Mg_6)O_{20}(OH)_4 Ky(Si_8-yAly)$ . İllitte, y 1.0 ile 1.5 arasındadır.

İllitte tabakalar arası şişmenin olmamasından dolayı montmorillonitlerde olduğu gibi tabakalar arası değişim için katyonlar mevcut değildir. Böylece yığının sadece dış yüzeylerinde katyon değiştirme kapasitesi (KDK) vardır. Bu nedenle KDK, montmorillonitlerden daha düşüktür (100 gr başına yaklaşık 20-40 meq )

**Kaolinitler:** Küçük miktarda izomorfik yer değişim tabaka yığınlarının sadece dış yüzeylerine yerleşen değişebilir katyonlar ile dengelenir. KDK (Katyon Değiştirme Kapasitesi) 100 gr başına 2-10 meq'dir. Alternatif olarak şarjla silika-alümina bileşenlerinden kaynaklanabilir. Üst üste gelmiş alümina silikaları kaolinin temel yapısını oluşturur. Kaolinler ortamda alüminyumun bol ve silikanın az olduğu durumlarda kolaylıkla oluşurlar.

**Kloritler:** Bu minerallerde tabakalar arasındaki şarj dengeleyici katyonlar bir oktahedral magnezyum hidroksil tabaka ile yer değiştirir. Bu hidroksil tabakadaki, Mg+2 ile Al+3 yer değiştirmesinden dolayı bu tabaka net bir pozitif şarj taşır. Kloritlerin katyon değiştirme kapasitesinin oldukça düşük olmasından dolayı pratik olarak hidroksil tabakadaki pozitif şarj tabakanın net negatif şarjını dengeler. Kloritlerin karakteristik basal boşluğu  $14.2 \text{ \AA}$  dır.

**Atapulgitler:** Atapulgit bir sulu magnezyum silikattır ve başlıca bileşeni adsorban killerdir (Kuşcu, 2001). Birim hücre içerisinde su molekülleri ve değişebilir katyonların yerleştiği çok dar kanallara sahiptir. Bu kanallar değişimli silika tetrahedral çiftlerinin değişmesi ile meydana gelir. Atapulgitler, uzun, iğnemi yapıda kristalleşirler (VanOlphen, 1977).

### 2.3. Mühendislik Yapılarında Şişme Problemleri

Şişme, zemin ve kayaları oluşturan minarelerden bazılarının su ile fiziko-kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan zamana bağlı hacim artışıdır (ISRM, 1983).

Su içeren fiziko-kimyasal reaksiyonlar şişme davranışında genellikle başlıca rolü oynarlar, fakat sadece aynı anda veya daha sonra oluşan bir gerilme rahatlamasıyla şişme meydana gelir.

Şişen kayaçların başlıcaları; kiltası, çamurtaş, şeyl, marn, anhidritli kayaç, fay breşi gibi sedimenter kökenli kayaçlar, killi şist gibi metamorfik kökenli kayaçlar ve bazalt, andezit gibi magmatik kökenli kayaçlardır.

Literatürdeki şişme problemleri zeminlerde ve farklı kayaç türlerinde görülmektedir. Ancak hacim artışı, zemin ve kayaçlar içinde değişik tipte ve oranda dağılmış bulunan şişen minerallerden kaynaklanır. Bu konuda yapılan araştırmalar simektit grubu kil mineralleri ve anhidritin şişmeye yol açan en yaygın mineraller olduğu incelenmektedir (Bilir, 2001).

Mühendislikte yapılan bütün çalışmalar sabit parametreler üzerine olduğu zaman tam anlamı ile doğru sonucu ortaya koymaktadır. Ancak arazi ve doğa şartları göz önünde bulundurulduğu zaman böyle bir şeyin mümkün olmadığı kaçınılmaz bir gerçektir ve tam da bu aşamada mühendislik çalışmalarının önemi ortaya çıkmaktadır. Oluşabilecek problemleri önceden tahmin edip istenmeyen durumlar oluşmadan önlemini almak gerekir. Killerin şişmesi de çalışma sahasında istenmeyen bir durum

olup üretimi engellemekten iş kazalarına kadar birçok olumsuz durumla sonuçlanabilmektedir.

Dünyanın birçok bölgesinde, zemin ve kayaçlar üzerinde meydana getirilen mühendislik yapılarında, özellikle şişme problemi oluşturabilecek olan ortamlarda çalışıldığında, birçok problem ile karşılaşmış, şişen zemin ve kayaç birimlerinden dolayı yapıların oluşumunu ve duraylı bir şekilde kalmasını olumsuz yönde etkileyebilecek sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu tip sorunlara örnek olarak, bazı mühendislik yapılarında şişen zemin ve kayaçların yarattıkları sorunlardan aşağıdaki paragraflarda bahsedilmiştir.

1964-1970 yılları arasında İsviçre'nin kuzeyinde yapılan 3.2 km uzunluğundaki Belchen Tüneli'nin yapım aşamasında ciddi şişme sorunları yaşanmış ve birkaç ay içinde tünel tabanı 0.9 m yükselmiştir. Bunun üzerine tünelde 45 cm kalınlığında ve 10.4 m yarıçapında ters taban kemeri inşa edilmiştir. Kısa bir süre sonra ters kemerinde yenilmesiyle 0.6 m daha taban kabarmıştır. Bu durum daha küçük yarıçaplı ve daha büyük kalınlığa sahip bir taban kemerinin yeniden inşasını gerektirmiştir. Yeniden yapılan bu ters kemerin altındaki kaya ve beton arayüzündeki gerilme hücreleri, yerleştirilmesinden yaklaşık 200 gün sonra 3.5 MPa maksimum temas gerilmeleri göstermiştir. Tünelde 1998-2001 yılları arasında, yer altı su seviyesini şişen zonun altına indirmek için drenaj sondajları yapılmış ancak bu çalışma da başarısız olmuştur (Anagnostou, 1993).

Nielsen (2011), Norveç'teki tünellerde çökme ve kaya düşmesi ile ilgili Oslofjord ve Hanekleiv tünellerinde oluşan kaya düşmesi ve çökme olayları ile ilgili bazı vakaları örnek olarak vermiştir. Bahsi geçen bu tünellerde yaşanan bu örnek vakalarda, düşük içsel sürtünme açısının en az şişme kadar istikrar bozucu faktör olmasına rağmen, simektit varlığının istikrarsızlığın başlıca nedeni olduğu ve fay-zayıflık zonlarında çok düşük kalitedeki malzeme ve yüksek su basıncı kombinasyonunun şişme ve çökme ile ilgili problemleri oluşturan ve çözülmesi en zor durum olduğu sonucuna varılmıştır (Nilsen, 2011).

Norveç'te, üç şeritli ve deniz altında bulunan Oslofjord tünelinin inşaatı 1997'nin ortasından 2000'nin ortasına kadar sürmüştür. Tünelin inşaatından 3.5 yıl sonra hiç beklenmedik şekilde toplam 40 m<sup>3</sup>'lük bir kaya düşmesi gerçekleşmiştir ve bu olayın kaya kütlesi merkezindeki 0.5-1 m genişliğinde dik kil zonunun varlığı nedeniyle olduğu tespit edilmiştir. Bu alanda, 4-6 cm kalınlıktaki püskürtme betonun yetersiz



olduğu görülmüştür (Nilsen, 2011). Duraysız alanlardaki kil dolguları üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları kilin yüksek aktivite ve 0.55 MPa şişme basıncına sahip olduğunu göstermiştir. Kaplamanın onarımı ve ek tahkimat uygulaması ardından 3 ay boyunca kapalı kalan tünel tekrar açılmıştır (Sarigül, 2018).

Ankara'nın su ihtiyacının Çamlıdere Barajı'ndan karşılanması amacıyla açılan Kınık Su İletim Tüneli'nde Kızılcahamam ile Ayaş arasında bulunmaktadır. 3.4 m çapında yumuşak ve şişen zeminler, çatlaklı ve ezilmiş kayalar, 80 adet fay ve bol su taşıyan akiferler nedeniyle tünelin açılmaya başlanılmasından itibaren çok çeşitli problemlerle karşı karşıya kalınmıştır. Bunlar; göçük ve tavanın boşalması, tünel kesitinin daralması, tahkimatın bozulması, kazının sık sık durması, su patlaması, kilin hızla akarak tünelin pasa ile dolması tünelde yaşanan başlıca sorunlar olarak özetlenebilir (Sarigül, 2018).

Almanya'da bulunan 1859 -1862 yılları arasında inşa edilmiş olan 891 m uzunluğundaki Weinsberg Tüneli inşası sırasında anhidritin suyla temasıyla ciddi şişme meydana gelmiş ve tünel kaplaması zarar görmüştür. Sonraki birkaç on yılda şişme taban kabarması şeklinde kendini göstermiştir. 1920 ile 1953 arasında tünelin orta kısmında ölçülen yatay konverjans değeri 217 mm olmuştur. 172 kısma ayrılmış olan tünelin 55'den 72'ye kadar olan kısımları 1955/1956'da yatay konverjanslar 100 mm'den fazla olmuş ve eski taş kaplama kaldırılarak 70 cm kalınlıkta kuvvetlendirilmemiş yeni beton kemer yerleştirilmiştir. 66 ile 70 derece arasında hafifçe yuvarlatılmış 50 cm kalınlıkta ters taban kemeri ile takviye edilmiştir. 1956'dan sonra 55 ve 70 zonları arasında, duvarlarda ve temelde birkaç desimetreye varan yeni bir konverjans gözlenmiştir. Duvarlarda, bu zonların birkaçına uzanan yatay çatlaklar görülmüştür. 1974/75'de ve tekrar 1988/89'da bazı zonlarda onarımlar gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte bu, uzun süre yatay konverjansları durduramamıştır. Mayıs 2001 ve Aralık 2002 arasında 0,01 mm duyarlıkta yapılan konverjans ölçümlerine göre tabanın desteklenmediği zonlarda tabanda ölçülen en yüksek değer 5 mm'dir. Taban kemerinin olduğu zonlarda ise ölçülen en yüksek konverjans 0,8 mm olarak yan duvarların ortasında belirlenmiştir. Ayrıca, ölçümler konverjansların halen devam ettiğini de göstermiştir (Sarigül, 2018).

## 2.4. Şişmeye Neden Olan Faktörler

Kil mineralleri kendi özelliği olarak şişmeye ve ortamın dengesini bozmaya elverişlidir. Yapılan deneylerde göstermektedir ki kil bünyesine yüksek miktarda su alabilmekte ve hacimsel olarak artış yaşayabilmektedir. Bu nedenle killerde şişme olayını tetikleyen en büyük etmen su ile temasıdır. Hatta uzun süre nemli ortamda kalması da killin kimyasal özelliğini değiştirip farklı özellikler göstermesine neden olmaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalar simektit grubu kil mineralleri ve anhidritin şişmeye yol açan en yaygın mineraller olduğunu göstermektedir.

Duraysızlık problemlerinin yaşanmasındaki en önemli faktörlerden biri eklemleri dolduran simektit, illit, kalsit ve klorit içeren dolgu malzemeleridir.

Bir sahada şişme olup olmayacağını etkileyen birden fazla parametre vardır, şişme özelliği olmayan bir zemin şartlar ne olursa olsun şişme davranışı göstermez. Ayrıca şişen malzemeler, malzemenin başlangıçtaki fiziksel durumuna, daha sonra uğrayacağı gerilme ve su içeriği değişikliklerine bağlı olarak az veya çok şişme gösterebilir (Mollamahmutoğlu ve Taşkıran, 2000). Şişmeyi etkileyen faktörlerden katı madde içeriği, kil minerallerinin türü ve miktarını yansıtır ve potansiyel hacim değişimini belirler. Geriye kalan malzeme özellikleri ve ortam şartları şişmenin hızı ve miktarını belirlemede etkili olur (Çizelge 2.4).

**Çizelge 2.4.** Şişmeyi etkileyen parametreler (Ünver, 2015)

<b>Faktörler (zemin özellikleri)</b>	<b>Tanımlama</b>
Katı madde içeriği	Montmorillonit içeren aktif kil mineralleri ve montmorillonit ve diğer kil minerallerinin kombinasyonu ile oluşan karışık tabakalı killer
Boşluk sıvısı tuz kombinasyonu	Boşluk sıvısındaki yüksek katyon konsantrasyonunun şişme özelliğini azaltma eğilimindedir. Osmoz yoluyla şişme uzun sürede önem kazanır.
Boşluk sıvısı içeriği	Tek değerlilik katyonları fazlalığı büzülme-şişme özelliğini artırır. İki ve üç değerlikli katyonlar ise büzülme-şişme özelliğini engeller
Kuru yoğunluk	Yüksek kuru yoğunluk, partiküllerinin daha sıkı dizilmelerine ve şişmenin artmasına yol açar
Yapı	Moleküler yapı, dağınık yapılara oranla daha fazla şişerler, çimentolanmış partiküller ise daha az şişerler. Ayrılmış dokular şişmenin artmasına yol açarlar
İklim	Kurak iklimler kurumayı artırırken, ılıman iklimler, zeminin nemli kalmasına neden olurlar
Yeraltı suyu	Yüzeysel ve değişken yer altı suyu zemin nemine kaynak oluşturur ve şişmeye yol açar
Drenaj	Yetersiz yüzey drenajı nem birikimi ve göllenmeye neden olur
Bitki örtüsü	Ağaçlar, çalılar, otar zemin neminin azalmasına yol açar. Bitki örtüsünün alındığı yerlerde ise nem birikimi oluşur
Yanal basınç	Yüksek yanal basınç, şişmenin azalmasına yol açar. Kazı alanları daha fazla şişerler
Arazi permeabilitesi	Figüler, permeabiliteyi önemli ölçüde artırır ve daha çabuk şişmeye neden olurlar

Şişmeye, mekanik, ozmotik ve kristal içi mekanizmalarının kombinasyonu neden olur (Einstein, 1996). Mekanik şişme aşırı gözenek basıncı altında dağılmasından meydana gelir. Osmotik şişme, çift katman etkisi ile kil parçacık yüzeylerine elektrostatik olarak çekilen iyonlar ve daha fazla gözenek suyundaki iyonlar arasındaki konsantrasyondaki büyük farkla alakalıdır. Osmotik şişme, çift katman etkisine ve dışarıdan uygulanan gerilmelere bağlı itici kuvvetlerin etkileşimi ile kontrol edilir. Katyonlar suyla temas ettiğinde hidratlaşır ve kendilerini kil tabakaları yarı düzlemde düzenler. Bu kil katmanları arasındaki boşluğun genişlemesine neden olur ve genel etki, kil katmanları arasındaki su katmanlarının sayısına bağlıdır. Her mekanizmanın oluşması kayacı oluşturan minerallere bağlıdır.

#### **2.4.1. Şişen mineraller**

Literatürdeki şişme problemleri, zeminlerde ve farklı kayaç türlerinde görülmektedir. Ancak hacim artışı, zemin ve kayaçlar içinde değişik tipte ve oranda dağılmış bulunan şişen minerallerden kaynaklanır. Bu konuda yapılan araştırmalar simektit grubu kil mineralleri ve anhidritin şişmeye yol açan en yaygın mineraller olduğunu göstermektedir.

##### **2.4.1.1. Simektit grubu kil mineralleri**

Yerbilimlerinde, kimyasal bileşim sulu alüminyum silikat olan, tane boyutu 22µ'den küçük, su ile karıştırıldığında plastik özellikler gösteren doğal malzemeler kil olarak tanımlanmaktadır. Simektit grubu kil mineralleri, dörtyüzlü-sekizyüzlü-dörtyüzlü (DSD) kristal yapısına sahip tabakaları genişleyebilen kil mineralleri grubuna dahildirler. İki silikat tabakası arasında bir alümina tabakasının girmesi durumunda simektit grubu mineralleri DSD şeklinde oluşmaktadır.

Simektit grubu minerallerin başlıca örnekleri montmorillonit, montronit, beidellit, saponit, vermikulit olarak verilebilir.

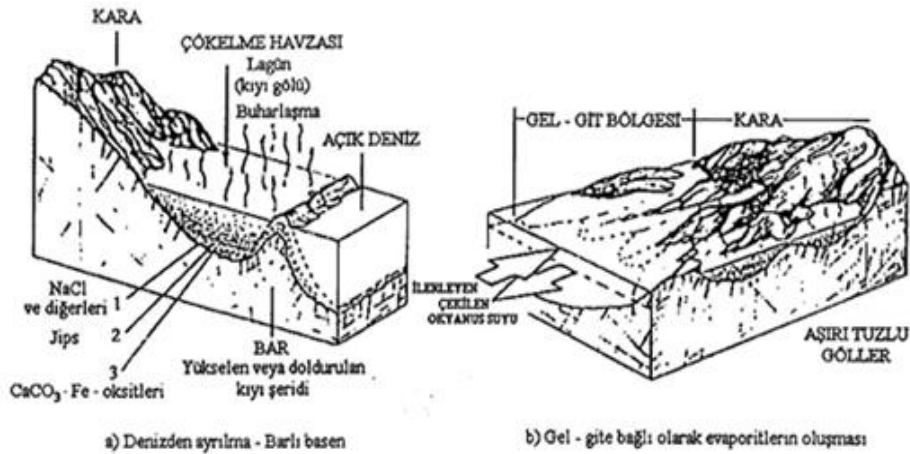
Montmorillonit, korensit gibi şişebilir mineralleri içeren kiltası bantlı anhidritlerde birden fazla fiziko-kimyasal reaksiyon oluştuğunda büyük hacimsel artış veya basınç artışı meydana geldiği belirlenmiştir (Bilir, 2001).

### 2.4.1.2. Anhidrit

Anhidrit (susuz alçıtaşı) ve jips (alçıtaşı) gibi evaporitler, kurak iklim koşullarındaki içdeniz ve göllerde veya açık denizle olan bağlantıları zaman zaman kopan sığ denizlerin koy ve körfezlerinde hızlı buharlaşma sonucu oluşan minerallerdir (Şekil 2.3). Bu kapalı havzalarda kalsiyum sülfat önce jips olarak çökelme ve daha sonra 600-1000 m'lik litostatik basınçlarla suyunu kaybederek anhidrite dönüşmektedir.

Dışa açık ıslak bir sistemdeki anhidrit ve gerekli tepkime suyu toplamının hacmi, oluşan jips hacminden %10 daha fazladır.

Dışa açık kuru bir sistemdeki boşluksuz anhidritte dönüşüm için gerekli olan suyun dışarıdan beslenmesi halinde oluşan jipsin hacmi anhidrite oranla %61 daha fazladır.



Şekil 2.3. Evaporitlerin oluşumu (Vardar ve Fecker, 1986)

### 2.5. Şişen Ortamda Alınabilecek Önlemler

Killerin şişmesini önlemenin en etkili yöntemi su ile temasının önüne geçmektir. Kilin su ile temasını önlemek her durumda mümkün olamayacağından dolayı şişen ortamlarda önlem alabilmek için öncelikle kilin hangi şartlarda ne miktarda şiştiğini doğru tespit etmek gerekir bunun için şişme deneylerinin yapılması, şişen kilin mekanik özelliklerin tayin edilmesi gerekmektedir.

Şişen ortamlarda şişme eylemi olmadan alınacak önlemlerin yansıra şişme eyleminin gerçekleşeceği zamanı tahmin edip oluşabilecek olası tehlikelerin verebileceği zararların önüne geçmekte önemli bir konudur. Şişme eyleminin önceden

tespit edilebilmesi için sürekli gözlemler ve ölçümler gibi ciddi takiplerin yapılması gerekmektedir.

## 2.6. Şişme Deneyleri

1980 yılında ISRM tarafından şişen kayaçlar ile ilgili bir komisyon oluşturulmuştur. Şişme konusunda değerli çalışmaları olan araştırmacıların bulunduğu komisyonun amacı, kil içeren kayaçların ve şişme problemlerinin tanımlanması, şişen kayaçlar içinde veya üzerindeki yapılar için deney, analiz ve tasarım prosedürlerinin oluşturulması ve bu konu ile ilgilenen Kaya mekaniği topluluğunun aydınlatılmasıdır (ISRM, 1989). Şişen kayalarda maksimum şişme basıncını ve tek eksenli şişme kanununu belirleyebilmek amacıyla aşağıdaki deney yöntemlerini önermiştir.

En büyük eksenel şişme basıncını belirlemek için yapılan deney, şişme ölçer ile yapılan sıfır hacim deformasyonu deneyidir. Şişme basıncı, sabit hacimde zamana bağlı olarak gelişir. Tek eksenli şişme deneyinde, kısa silindirik örnek doğal nem içeriği ile şişme ölçerin metal halkası içine yerleştirilir. Hücre su ile doldurulduğu zaman örnek şişmeye çalışacaktır. Zamana bağlı tek eksenli deformasyon değerleri kayıt edilmektedir.

Eksenel şişme birim deformasyonu fonksiyonu olarak eksenel şişme basıncını belirlemek için yapılan deneyde radyal kısıtlanmış örneğin su içinde en büyük şişme basıncının belli bir seviyeye düşmesi için gerekli birim deformasyon değeri belirlenir.

Metal halka içine yerleştirilen örneğe belli bir seviyeye kadar basınç uygulanır. Sonra su ilave edilir. Şişme oluşur ve kaydedilir. Şişme durduğu zaman düşey basınç kra kadar düşürülür. Böylece kademeler halinde basınç indirimine karşılık şişme birim deformasyonları kaydedilir ve "Tek Eksenli Şişme Eğrisi" elde edilir. Grob (1972) ve Kovari (1988) şişme ölçer deneylerinden elde edilen verilere dayanarak bir eşitlikle ifade edilen "Tek Eksenli Şişme Kuralını" geliştirmişlerdir (Bilir, 2001).

## 2.7. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde yüksek lisans tez çalışması ile ilgili önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalara ait özet bilgiler yer almaktadır.

Ulusay ve arkadaşları (1986) Afşin Kışlaköy Linyit Açık Ocağı, kuzeybatı şevinde oluşan kayma olayı nedeniyle bölgede bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırma kapsamında, bölgedeki zayıf taban kilinin tüm şevin duraylılığında önemli bir

faktör olduğu kanısına varılarak, kayma yüzeyleri bu zayıf yüzeyden geçen 6 şevde analizler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda araştırmacılar, belirlenen şev profillerinden birini en kritik kesit olarak belirlemişler ve bu kesite göre bazı basamaklarda tarama yapılmasını ve bu basamakların geriye alınmasını önermişlerdir (Sarıgül, 2018).

Şener, (1993) yapmış olduğu bir çalışmada, Göynük Linyit Açık Ocağında meydana gelen bir heyelandan sonra, linyitin tabanındaki yeşil kilin plastik özelliğe sahip olduğunu, ve bu kilin su ile temasında aşırı derecede şiştiğini ve işletme aşamasında aşırı zorluklar çıkaracağını belirtmiştir.

Ekmekçi ve Erdoğan, (1998) Göynük Linyit Açık Ocağında yapmış oldukları bir çalışmada, açık işletme sahasındaki yeraltı suyu koşullarının şev duraylılığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada, ocakta belli bir formasyonun belirli oranlarda su taşıyabilen ancak taşıdığı suyu yavaş iletebilen “akitard” niteliğinde bir birim tanımlamışlardır (Sarıgül, 2018).

Ural ve Yüksel (2006) yapmış oldukları bir çalışma kapsamında, Afşin Kışlaköy Linyit açık ocak işletmesinde örtü tabakasını oluşturan birimlerin mineralojik özelliklerini belirlemişler ve alüvyon, marn, mavi kil, gıdya ve taban kilinde sırası ile %17.31, %18.73, %22.32, %28.09 ve %17.73 kil minerallerinin mevcut olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, çalışmanın sonunda yüksek şişme özelliği gösteren montmorillonit mineralinin en fazla taban kilinde % 77.96 oranında ve en az marn da % 0.49 oranı ile bulmuşlardır.

Bülbül, (2012) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında Çan Yeniçeri Yer altı Linyit Ocağı'nda şişme problemlerine neden olan kil birimlerinin tek eksenli ve üç eksenli şişme deneyleri ile şişme gerilmesi ve şişme birim deformasyonu parametrelerini nicel olarak belirlemek için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Araştırmacı çalışmasında tek ve üç eksenli şişme davranışını tanımlayarak çalıştığı linyit ocağında şişme problemlerini önleyecek bir tasarım önermeyi planlamıştır. Araştırmacı, çalışmanın sonucunda, elde ettiği üç eksenli şişme verilerine dayanarak linyit ocağına ait kil birimi ve kıltaşı için, Eşitlik 2.1 ile 2.2 arasında verilen Üç Eksenli Şişme Bağıntıları türetmiştir ve bu bağıntıları Çan Yeniçeri Ocağı'nda tahkimat tasarımında kullanılmak üzere önermiştir.

$$\sigma_s = 1.37 \times \sigma_3 - 0.36 \times \varepsilon_s + 1.62 \quad r^2=0.95 \quad (2.1)$$

$$\sigma_s = 1.21 \times \sigma_3 - 0.45 \times \varepsilon_s + 1.41 \quad r^2=0.96 \quad (2.2)$$

Yılmaz ve Çelik, (2012) yapmış oldukları bir çalışmada, şişme özelliği gösteren killerde şişmeyi engelleyebilmek adına şişme özelliğine sahip kil formasyonunun içerisine öğütülmüş kuvars kumu katarak optimum su muhtevasında sıkıştırılmış deneyler yapmışlardır. Bu söz konusu karışımın kilin tek başına bünyesinde barındırdığı gerilme koşullarında değişikliğe neden olmuştur. Kilin su geçirgenliği az olmasına rağmen bünyesine en üst düzeyde su alarak hacimsel değişim göstermektedir. Araştırmacılar, bu hacimsel artışı önleyebilmek adına kilin içerisinde artan oranlarda öğütülmüş kum ilavesi yaparak deneyler yapmışlardır.

Bilir, (2013) yapmış olduğu bir çalışmada, mavi kil örnekleri üzerinde gerçekleştirdiği üç eksenli şişme deneyleri sonuçları ile şişme gerilmesini ( $\sigma_s$ ) yanal basınç ( $\sigma_3$ ) ve şişme birim deformasyonuna ( $\epsilon_s$ ) bağlı olarak aşağıdaki eşitliği önermiştir (Eşitlik 2.3) Ayrıca araştırmacı, Göynük Linyit Açık Ocağındaki yeşil killer üzerinde yapmış olduğu bir çalışmada, yeşil kilin şişme gerilmesini ( $\sigma_s$ ) yanal basınç ( $\sigma_3$ ) ve şişme birim deformasyonuna ( $\epsilon_s$ ) bağlı olarak aşağıda belirtilen eşitliği önermiştir (Eşitlik 2.4) (Bilir ve ark., 2013).

$$\sigma_s = 0.55 \times \sigma_3 - 0.28 \times \epsilon_s + 1.18 \quad r^2=0.97 \quad (2.3)$$

$$\sigma_s = 1.30 \times \sigma_3 - 0.27 \times \epsilon_s + 0.68 \quad r^2=0.97 \quad (2.4)$$

Ünver (2015), yapmış olduğu çalışmada şişme özelliğine sahip düşük plastisiteli kil zemine kuru ağırlığının farklı oranlarında Çatalağzı ve Soma uçucu külü ilave ederek geoteknik özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Şişme özelliğine sahip Afyon kilinin katkısız durumda yüksek oranda dispersif özellik gösterdiğini ancak uçucu kül katkıları ile şişme özelliğinde azalma olduğuna deneyler sonucuyla ulaşmıştır. Ulaştığı bu sonucu da iğne deliği ve dağılma deneyleri birbirleri ile uyumluluk gösteren sonuçları örtüştürmüştür. Sonuç olarak dispersif ve şişme özelliklerine sahip zeminlerde Soma uçucu külünün etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucunu elde etmiştir.

Aydingün (2019), yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, TKİ Bursa – Orhaneli Linyit işletmesine ait zemin ve kayaçların şişme davranışlarını tespit etmeye çalışarak bölgede meydana gelen şev duraysızlığı ile ilişkisini belirlemeye çalışmıştır. Araştırmacı, bölgeye ait, sınıflandırdığı kiltası ve marn birimleri üzerinde şişme davranışını belirlemek üzere deneyler gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak araştırmacı bu deneylerde en büyük eksenel şişme gerilmesi, en büyük eksenel şişme birim deformasyonu ve su içeriği değişimleri parametrelerini belirlemiştir (Aydingün, 2019).

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Genel**

Yüksek Lisans tez raporunun bu bölümünde, tez çalışmalarının gerçekleştirildiği TKİ-GLİ-Tunçbilek- Ömerler yer altı kömür maden işletmesi hakkında bilgiler yer almaktadır. Bu yüksek lisans çalışmasında TKİ-GLİ-Tunçbilek-Ömerler yer altı kömür madeninde gerçekleştirilen arazi çalışmaları ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kaya malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deney çalışmalarına ait yöntemler ve gerçekleştirilen çalışma adımları sunulmuştur.

#### **3.2. TKİ- Ömerler Yeraltı İşletmesi Hakkında Genel Bilgiler**

##### **3.2.1. Tarihçe**

Devlet bünyesinde yapılan linyit işletmeciliği ilk olarak 16.02.1938 tarihinde Etibank'a bağlı Değirmisiz işletmesinin kurulmasıyla başlamıştır. Ardından 18.05.1939 tarihinde Tunçbilek ve 23.09.1939 tarihinde Soma işletmeleriyle faaliyete geçmiştir. Bu üç işletme 01.01.1940 tarihinde birleşerek Etibank'a bağlı "Mahdut Mesuliyetli Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi" kurulmuş ve 15.09.1957 tarihinden itibaren 6974 sayılı kanunla kurulan "Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu" bünyesinde yer almıştır.

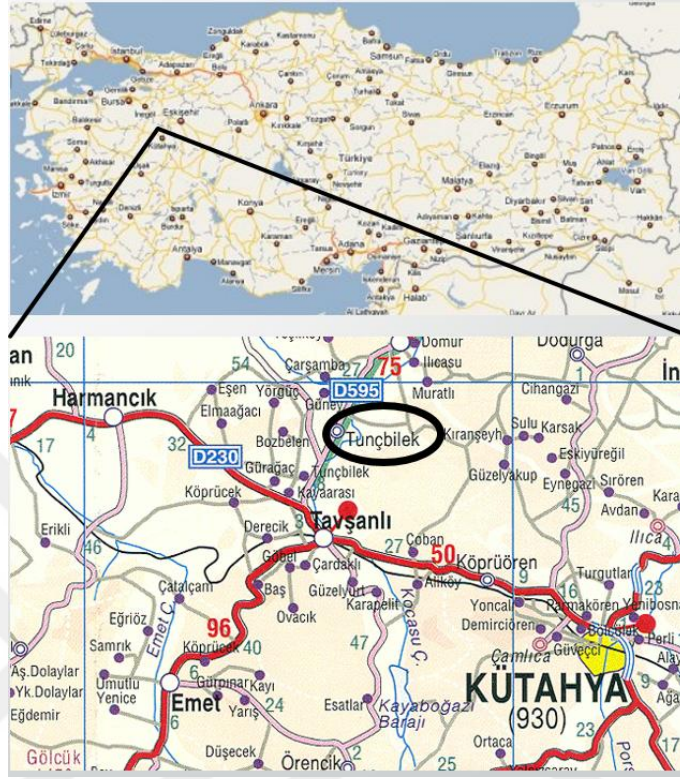
1940 yılında 01.09.1995 tarihine kadar Müessese adı altında faaliyetlerini sürdüren Garp Linyitleri İşletmesi bu tarihten itibaren "G.L.İ Bölge Müdürlüğü" ne dönüştürülmüş, 2004 yılı başından itibaren tekrar "G.L.İ Müessese Müdürlüğü" ne dönüştürülmüştür. 12.05.2017 tarihinde yapılan son düzenleme ile "TKİ Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü" olarak çalışmalarına devam etmektedir (Anonim, 2017).

##### **3.2.2. Coğrafi konum**

Ömerler Yeraltı İşletmesi, Kütahya ili Tunçbilek beldesinde, Tavşanlı-Domaniç karayolu üzerindedir. İşletme Tavşanlı ilçesinin kuzeyinde, Tavşanlı'ya 13 km, Kütahya'ya 63 km uzaklıktadır. İşletmeyi çevreye bağlayan 2. Karayolu ise 65 km'lik Tunçbilek-Domaniç-İnegöl yoludur. TKİ-GLİ Müessesesi imtiyaz sınırları 1/25000



ölçekli Kütahya İ22-c2 paftasında bulunmaktadır (Anonim, 2017). İşletmenin konumunu belirten yer bulduru haritası Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Çalışma sahasının yer bulduru haritası

### 3.2.3. İklim ve bitki örtüsü

Kütahya ve çevresinde, Batı Anadolu geçiş iklimi görülmektedir. Bu iklim tipi Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinde görülen iklim tipleri arasında köprü niteliğinde olup iklimler arası geçiş iklimi niteliğini taşımaktadır. Mevsimlere göre yağış dağılımı yönünden Marmara ikliminin, sıcaklık yönünden İç Anadolu karasal ikliminin etkisindedir. Kışlar soğuk ve kar yağışlı geçer, sık sık don olayı görülür. Yazlar fazla sıcak olmayıp, yaz kuraklığı azdır.

Tavşanlı devlet meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama yağış miktarı 464.80 mm'dir (Anonim, 2018). En çok yağış düşen ay Aralık, en az yağış düşen ay ise Ağustos ayıdır. Tuncbilek beldesine yakın meteoroloji istasyonlarının mevsimlere göre yağış durumlarına bakıldığında, sırasıyla kış, ilkbahar, sonbahar, yaz mevsiminde yağış miktarlarında azalma görülmektedir. Kütahya ve çevresinin 62 yıllık verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 10.6 °C olarak tespit edilmiştir. Aylık ortalama

düşük sıcaklığın en az olduğu ay Ocak (-3.6 °C)'tır. Aylık ortalama yüksek sıcaklığın en fazla olduğu ay ise Ağustos (27.9 °C)'dur (Anonim, 2018).

Tunçbilek Ege Bölgesinde yer alır ve çevresi bol miktarda çam ağaçlarıyla kaplı orman örtüsüne sahip, genelde yükseltisi fazla olmayan dağ ve tepelerle çevrilidir. Tunçbilek Neojen havzası ise tarıma uygundur. Son yıllarda tarımcılık azalmış olsa da tarımsal ürün olarak arpa, buğday, nohut ve şekerpancarının yanı sıra başta vişne, kiraz ve elma gibi meyvelerin yetiştirilmesine elverişli bir toprak yapısına sahiptir. Engbeli arazilerle kaplı olan bölgedeki bu arazilerin bir kısmı da maden sahası içerisinde yer almaktadır. Projelendirme yapılan sahanın bir bölümü daha önceki yıllarda döküm sahası olarak kullanılmıştır.

### **3.2.4. Genel jeoloji ve stratigrafi**

#### **3.2.4.1. Stratigrafik jeoloji**

Tunçbilek kömür havzasını Neojen yaşlı birimler oluşturmaktadır, en yaşlı birim olarak Paleozoik yaşlı metamorfik şist ve kristalize kireçtaşları ile paleozoik üzerinde diskordan olarak Kreatese yaşlı ultra bazik kayaçlar bulunmaktadır.

Havza genellikle serpantinleşmiş ultra bazik kayaçlar oluşturmaktadır. Tunçbilek Havzasındaki Neojen sedimanları; Miyosende çökelenler, Alt seri ya da Tunçbilek serisi, Pliyosenlerde çökelenler ise Üst seri veya Domaniç serisi olarak adlandırılmıştır. Temel üzerinde diskordan olarak oturan Alt seri (Tunçbilek serisi), yuvarlak serpantin ve kireçtaşı çakıllı konglomera ile başlamakta, üst kısımlara doğru killi şist bölgesine gelmektedir. Serinin en üst kısmında killi şist bölgesi üzerine gelen mavi-gri marn tabakaları bulunmaktadır. Serinin yaşlı killi şist horizonları içerisinde bulunan yaprak fosillerine dayanılarak alt-orta miyosen olarak kabul edilmiştir.

Volkanizma ürünleri ile kesilmiş olan Üst seri (Domaniç serisi) ise, tabanda serpantin materyallerinden oluşan gevrek bir moloz ile başlamakta, üste doğru marn bölgesi geçişi görünmektedir. Bu üst seri, silisli kalker bölgesi ile son bulmaktadır. Bölgeye ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit Şekil 3.2'de belirtilmiştir.

### 3.2.4.2. Yapısal jeoloji

Neojende yapısal olarak önemli olabilecek fay ve kıvrım eksenlerine rastlanmaktadır. Genelde havzanın belirli aralıklarla çökmesine bağlı olarak eğim atımlı normal faylar gelişmiştir. Sahanın tektoniğine yönelik jeofizik-rezistivite ve kömürlü zonun tavan kotuna göre yapılan yapı-kontur haritalarından fayların genelde kuzey-güney doğrultusuna da geliştikleri gözlenmiştir. Tabaka eğimleri genelde 5-20° eğimle kuzey doğuya doğrudur. Beke köyünden geçen Beke deresi havzanın antiklinal eksenidir. Beke deresinin kuzeyindeki birimler ise kuzeydoğuya eğimlidir. Güneyindeki birimler ise güneybatıya eğimlidir. Genelde yataya yakın 11-15° derece Miyosen çökeller fay zonlarında eğim kazanabilmektedir. Pliyosen eğimleri ise faylanmalardan daha az etkilenmiştir. Bunlar havza kenarındaki bir kenara bırakılacak olursa genelde yatay konumludur (Anonim 2018).

Yaş	Litoloji	Açıklamalar
Kuv.		Alüvyon, çakıl,yamaç molozu (5-25 m)
Pliyosen		Kireçtaşı, yer yer silisifiye, yer yer çakıllı ((100-125 m)
		Tüf-tüfit, bazalt, kireçtaşı (350-500 m)
Miyosen		Kireçtaşı, yer yer kumtaşı,konglomera geçişli (50-150 m)
		Linyit içeren marn, yer yer killi, siltli (400-450 m)
		Kumtaşı, konglomera, merceksel linyit içerikli (60-150 m)
Neojen öncesi		Ofiyolitik ve metamorfik temel kayalar

Şekil 3.2. Tavşanlı havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Çetin ve ark., 1985)

### 3.2.4.3. Tektonizma

Ömerler sahasında üst seri olarak adlandırılan Domaniç serisi, alt serinin üzerine diskordans olarak yatmaktadır. Onun yerine bazı mostralarda karşılaşılan yatak durumları, alt serinin üst seri tarafına diskonform durumda altta kalmış olduğunu gösterirler. Üst seride bulunan formasyonlar yataya yakın tabakalar halinde kendilerini göstermektedir.

Bölgede pliyosen boyunca faylanmalar meydana gelmiştir. Pliyosen-Kuaterner döneminde üst serinin çökmesinden sonra, bölge yeniden tektoniğe maruz kalmıştır. Sahada Miosen, Pliosen ve Plio kuaterner dönemlerinde oluşan, normal, ters, dönel ve makaslama fayları vardır. Fay eğimleri genelde 70°'nin üzerinde olup dike yakındır.

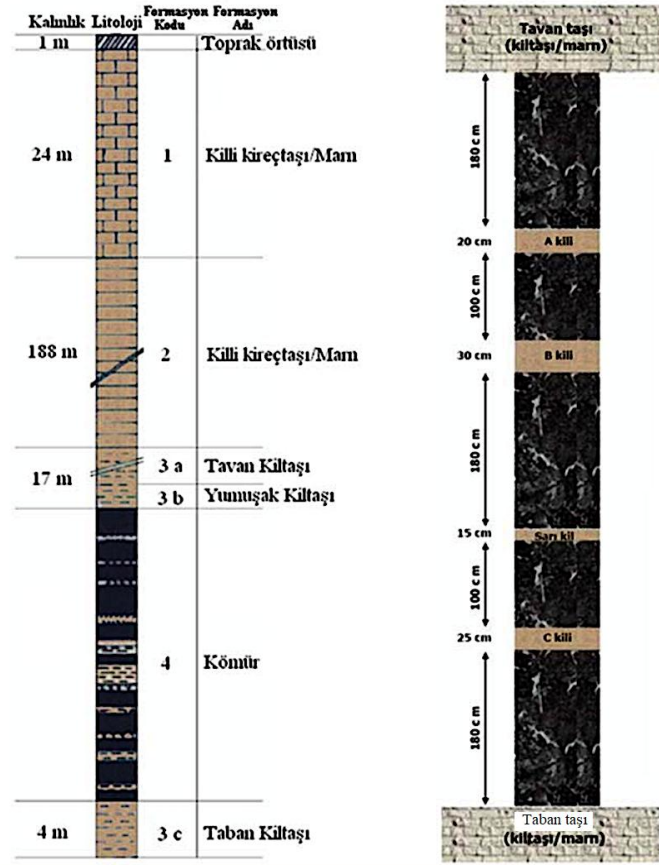
### 3.2.5. Kömürün yapısı ve kömür damarını çevreleyen kayaçların jeoteknik özellikleri

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1987 yılında sondajlar yapılarak Ömerler yeraltı kömür sahasının jeoteknik özellikleri tespit edilmiştir. Toplam derinliği 1726.5 metre olan sondajlarda, tüfit, kıltaşı, kireçtaşı, kumtaşı, konglomera, serpantin ve peridodit, dolorit, kalkerli marn ve marn birimleri kesilmiştir. Sondajlarda kesilen birimler, kıltaşı, kalkerli marn ve marn olmak üzere 3 adet ana grupta toplanmıştır (Şekil 3.3).

MTA tarafından, laboratuvar ortamında, jeoteknik deneylere tabi tutulmuş olan bu deneylerden elde edilen veriler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Şekil 3.3'de görülen kömür damarının hemen üzerinde yer alan, yumuşak kıltaşı tabakası, dayanımı düşük ve oldukça fazla süreksizlik içermektedir. Yumuşak kil tabakasının üzerinde yer alan marn ise dayanımı daha yüksek bir kayaç olup, doğal nem içeriği bakımından düşük oranda nem miktarına sahiptir.

Bölgede işletilmekte olan kömür damarı, genellikle orta sertlikte siyah ve parlak linyit ihtiva etmektedir. Kömür damarının taban ve tavan kısımlarında ara kesmeler daha az, orta kısımlarında ise daha fazladır.



Şekil 3.3. Ömerler bölgesi kömür damarının çevre kayaları ve stratigrafisi (Çelik, 2005)

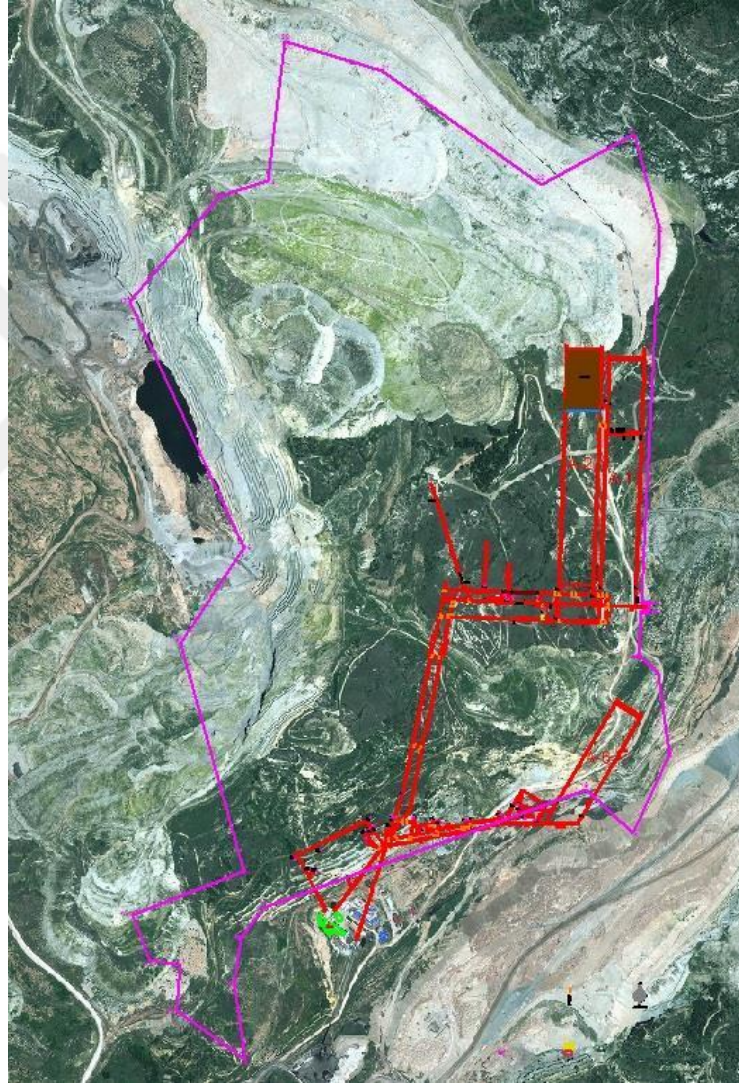
Çizelge 3.1. MTA sondajlarının jeoteknik etüt sonuçları (Destanoğlu ve ark., 2000)

Formasyon	Birim Hacim Ağırlık (MN/m <sup>3</sup> )	Porozite (%)	Su İçeriği (%)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Üç Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	
						Kohezyon (MPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)
Kilitaşı	0.021	25.3	-	10.2	1	2.5	50
Kalkerli Marn	0.023	13.8	-	29.2	3.9	12.5	47
Kireçtaşı	0.025	4.3	-	64.3	-	-	-
Marn	0.022	-	14.2	16.1	1.9	5.0	31

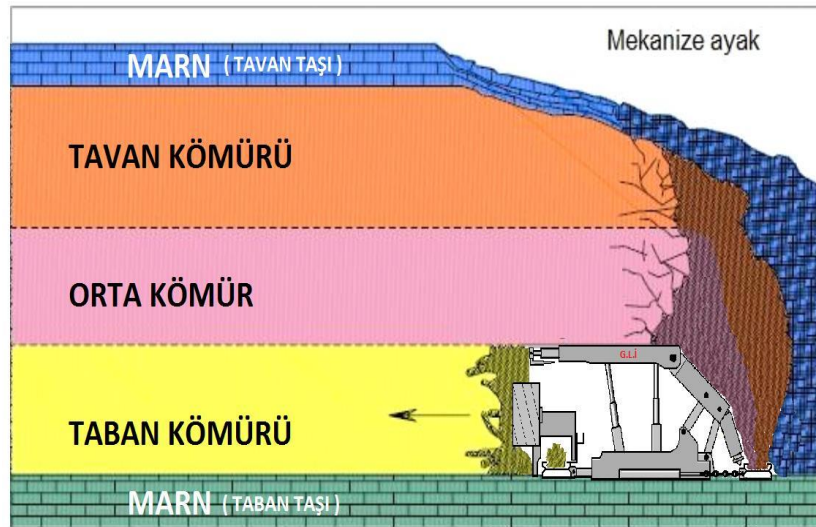
### 3.2.6. Ömerler yeraltı işletmesi ve üretim yöntemi

GLİ Tunçbilek kömür havzasında, yeraltı kömür üretimi, mevcut Ömerler-A sahasında gerçekleştirilmektedir. Yeraltı kömür ocağındaki üretim, GLİ Yeraltı İstihsal Şube Müdürlüğü bünyesinde çalışan kendi personeli ile yapılmaktadır. Ömerler-A yeraltı ocağında yürüyen tahkimatların kullanıldığı, arkadan blok göçerteli tam mekanize uzun ayak üretim yöntemi ile kömür üretimi yapılmaktadır. Ömerler-A sahasının sınırları Şekil 3.4’de mor renkle gösterilmiştir (Fişne, 2017).

Çalışma sahası içerisinde kalan kömür rezervi 18 milyon ton civarındadır. Kömür damarı kalınlığı 5-12 m arasında değişmekte olup, ortalama 8 m kalınlığa sahiptir. Kömür damarının içerisinde 4 adet ara kesme bulunmaktadır. Bu ara kesmeler yukarıdan aşağıya sırası ile A, B, S ve C kil damarlarıdır (Şekil 3.3). Yer altı ocağında çalışılan en derin kısım +469 kotu olup A1 panosu içerisinde yer almaktadır. Örtü tabakası kalınlığı 330 m'dir. Kömür damarının kalınlığının dolaylı olarak tek katlı yöntem uygulanmaktadır. Üretim yönteminin kesit görünümü Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Ömerler A sahasına ait ocak sınırları (Fişne, 2017).



Şekil 3.5. Ömerler A sahasına uygulanan üretim yönteminin kesit görünümü (Fişne, 2017)

Kömür damarının tabanından tavan (malzeme yolu) ve taban (kömür yolu) yolu sürülüp birbirine bağlanarak ayaklar oluşturulur. Ayak içi uzunlukları 90-110 m arasında olup oluşturulan panolar arasında 20 m topuk bırakılmaktadır. Ayak üretimleri kömür damarının 3 m'lik kısmı arından, 5 metrelik kısmı ayak arkasından alınmaktadır. Yüksek Lisans tezi kapsamında arazi çalışmalarının gerçekleştirildiği tarihlerde A1 ve A2 panolarında üretim ve hazırlık çalışmaları yapılmaktaydı ancak son gelişmelerden dolayı işletmesi kararı ile A1 panosu barajlama yapılarak kapatıldı, A2 panosunda üretim, A6 panosunda ise mevcut bulunan kömür yolunun karşılığı olan hazırlık aşamasında yarım bırakılmış malzeme yolunu tamamlayıp tavan ve taban yolunu birleştirip üretime geçmek için gerekli hazırlık çalışmalarına başlanmıştır.

A1 panosunda üretim sırasında genel stampta bulunan 4 adet kil damarlarını hepsi yer yer görülmektedir. A2 panosunda üretim sırasında taban taşı ve en altta bulunan C kil damarı ile karşılaşmaktadır. A6 panosunda ise galeriler taban taşında sürülmekte olduğundan dolayı mevcut ara kesmelere bu tez çalışmaları esnasında rastlanılmadığı için bütün çalışmalar A6 panosunda taban taşı için yapılmıştır.

### 3.2.7. Ömerler yeraltı ocağında kullanılan tahkimat sistemleri ve özellikleri

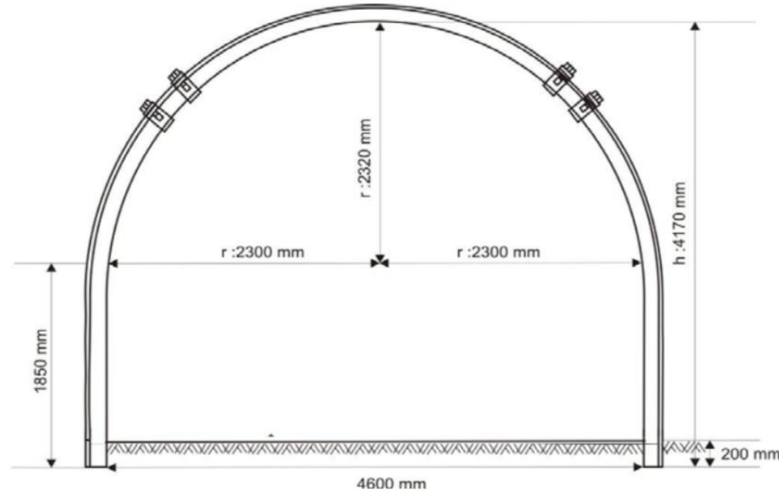
GLİ Ömerler mekanize panolarında profil tipi GI 140 olan 4.60'lık çelik bağ kullanılır. Taban genişliği 4600 mm yüksekliği ise 3500 mm 'dir. Kazı alanı 15.79 m<sup>2</sup> faydalı kesiti ise 13.80 m<sup>2</sup>'dir. Ayrıca özel makas bağları ve kullanım yerinin durumuna

göre daha değişik kalıplarda bağlar yapılarak kullanılmaktadır. Şekil 3.6'da galeri ve bacalarda kullanılan tahkimat sisteminin şekli sunulmuştur.

Ömerler yeraltı ocağında mekanize ayaktaki mevcut panolarda üç tip kalkan tahkimat ünitesi kullanılmaktadır. Bu üniteler; ayak içi tahkimatları, geçiş tahkimatları ve ayak başı tahkimatları olarak sınıflandırılmıştır.

Ayak içi tahkimat üniteleri, ayak içini komple tahkim etmek üzere ve arka sarmadan kömür alma üzerine dizayn edilen tahkimat üniteleridir. Bu tahkimatlar çalışmaları esnasında, sarma ileriye doğru sürülür ve ayna tutucu aynaya yaslanır. Bu işlemlerden önce arka kömürün alımı sırasında tahkimat ile ayak konveyörü arasına dolan pasanın temizlenmesi gereklidir. Ayak motor başı tahkimatları ayak konveyörü ile ötelendikten sonra toplayıcı konveyör ile birlikte ötelenerek ilerletilir. Şekil 3.7'de bu tip tahkimat ünitelerine örnek bir görünüm sunulmuştur.

Geçiş tahkimat üniteleri, ocakta uzun ayağın giriş kısımlarına yerleştirilmekte olup, ayak geçişini sağlamaktadırlar. Görünüm açısından bu ünitelerin ayak içi tahkimat ünitelerinin görünümünden pek bir farkları yoktur. Ancak bazı belirli özellikler ve boyut açısından farklılıklar ihtiva etmektedir. Bu tip tahkimat ünitelerine ait şekilsel bir görünüm Şekil 3.8'de sunulmuştur.



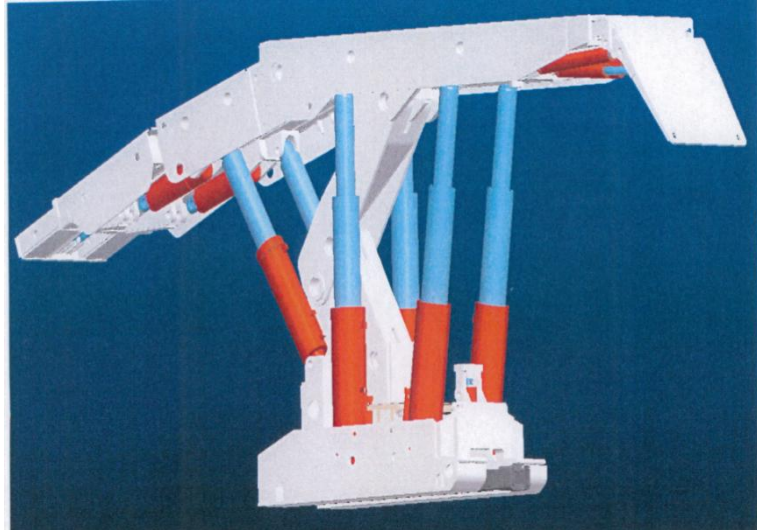
Şekil 3.6. Ömerler yeraltı ocaklarında galeri ve bacalarda kullanılan tahkimat profili



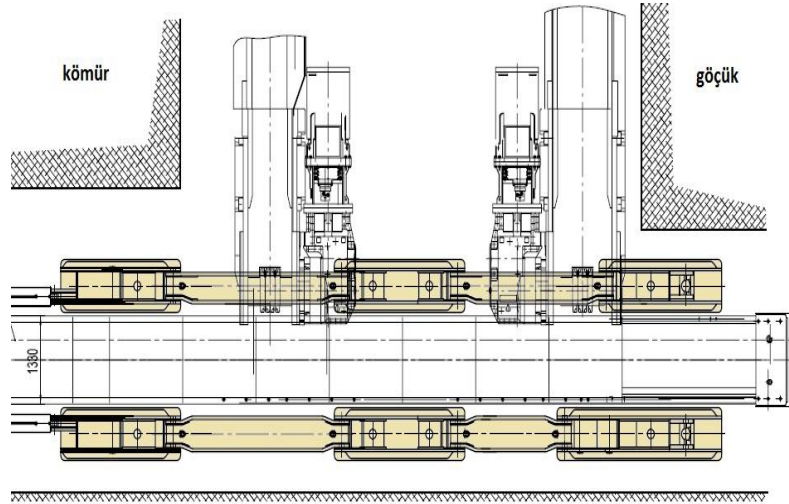


Şekil 3.7. Ömerler yeraltı ocaklarında kullanılan ayak içi tahkimat ünitelerinin görünümü

Ayak başı tahkimat üniteleri, yukarıdaki paragraflarda sunulan tahkimat sistemlerinden hem yapı hem de kapasite olarak oldukça farklı olup, üç parçadan oluşmaktadır. Bu üniteler, ayak başında emniyetli çalışma alanı sağlayarak, tavan yolu arkasındaki kömürün kazılmasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda zincirli konveyör baş kısmı ve tahrik üniteleri ile diğer yükleme ünitelerine yeterli genişlikte alanı emniyetle muhafaza ederek bu ünitelerin ilerletilmesini sağlamaktadır. Ayak başı tahkimat ünitelerine ait bir görünüm Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3.8. Ömerler yeraltı ocaklarında kullanılan geçiş tahkimat ünitelerinin görünümü



Şekil 3.9. Ömerler yer altı ocaklarında kullanılan ayak başı tahkimat ünitesinin görünümü

### 3.2.8. Ömerler yeraltı işletmesi panolarında üretim şekli

Ömerler yeraltı mekanize panoda arkadan göçertmeli ve geri dönüşlü uzun ayak yöntemi kullanılmaktadır. Mekanize panoda M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8, A5 panolarının üretimi tamamlanmıştır. 2008 Nisan ayında biten ve mekanize üretim için açılan M6 panoda ve 2019 Mart ayında A1 panoda yangın çıkmış ve panolar beton barajlar ile kapatılıp içerisine su basılmıştır.

Tez çalışmaları kapsamında sürdürülen arazi faaliyetleri esnasında A1 panosunda hazırlık işlemleri devam ederken, eş zamanlı olarak A2 panosunda üretim faaliyetleri devam etmekteydi. Ancak A1 panosu hazırlık kılavuz galerisinde çıkan yangın ve oluşan göçük nedeni ile A1 panosunda mevcut üretim hazırlık kılavuz galerisi 20 metre daha geriden tekrar açılmış ve A2 panosunda üretime devam edilmiştir. Ancak A1 panoda ortaya tekrar çıkan yangın ve göçük problemlerinden dolayı A1 panosu için barajlama kararı alınıp barajlanmıştır. Barajlanan A1 panosu yerine daha önceden kömür yolu hazır bulunan A6 panosunda malzeme yolu ve ayak içi hazırlık çalışmalarına başlanmıştır.

Ocağın üretim panolarında kömür kesme işlemi tek yönlü olarak gerçekleştirilmektedir ve kesime ayak motor başından veya ayak kuyruğundan başlanabilir. Kesici makine motor başından başlayarak taban temizliğine girer ve kesiciyi takip eden konveyör aynaya itilir. Kesicinin aynaya girmesinin ardından daha önceden makine tarafından tabanı temizlenen kuyruk, konveyör aynaya itilir. Bu işleminden sonra kesici makine kuyruk girişindeki sonradan ayak konveyörünün

dayanıldığı yerdeki ayna kesimini yaparak geriye döner. Kesici makine motor başına doğru ilerleyerek tüm ayna kesimi bitirilir ve kesim işlemi bitmiş olur ve ilk aşamadaki konumuna gelir. Böylece kesim işlemi tamamlanır. Arka kömürün alınması ise hidrolik tahkimatların hareketi esnasında arkada tarafını serbest bırakması ile arka konveyöre aktarılır.

Mekanize panoda üretim üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar; ayna kesimi, bakım ve arka kömürün alınması aşamalarıdır.

Ocakta üretim periyotlarının vardiyalara göre dağılımı şu şekildedir;

1. Vardiya (24:00-08:00): Arka kömürün alınması
2. Vardiya (08:00-16:00): Ayna Kesimi
3. Vardiya (16:00-24:00): Bakım

İşletmede ayak ilerlemesi günde 3 ayna kesimi olarak planlanmaktadır. Ayna kesim vardiyasında 3 kesim tamamlanmakta ve bir sonraki vardiyada bakıma geçilerek tüm makine ve ekipmanların gerekli görülen tamir ve bakımları yapılmaktadır. Takip eden vardiyada ise arka kömür alınmaktadır. Tahkimat ilerletilmesi çalışmaları, kesici makinenin 5 m arkasından ayak konveyörünün sonuna kadar yapılır. Her bir tahkimatın kumanda işlemi yanındaki tahkimatın üzerindeki kontrol panelinden yapılır. İlerletilecek tahkimatın özellikle ayna tutucu ve uzatılabilir sarması geriye çekilir. Tahkimatların ana direkleri tavan kırılmasına müsaade etmeyecek kadar alçaltılır. Bu durumda tahkimat üzerindeki tavan yükü azaltılmış olur. Tahkimatın alçaltılmasıyla birlikte itme çekme pistonu açılır. Pistona bağlı bulunan itme-çekme kazığının geriye çekilmesi ile tahkimat ileriye hareket eder.

### **3.3. TKİ-GLİ-Ömerler Yeraltı Kömür Maden Ocağında Yapılan Çalışmalar**

Yüksek Lisans tez çalışmaları sürecinde, TKİ-GLİ-Tunçbilek-Ömerler yeraltı kömür işletmelerinde 2018 ve 2019 yıllarında gerçekleştirilen sahada ve laboratuvarında yapılan çalışmalara ait detaylı bilgiler bu bölümde yer almaktadır.

#### **3.3.1. Laboratuvar deneyleri için sahada numune seçme çalışmaları**

Çalışma bölgesinde kömür damarı içerisindeki mevcut ara kesmelerin, tavan ve taban taşının mekanik özelliklerini belirlenmesi için gerekli olan numunelerin seçimi bu çalışmanın öncelikli planı olmuştur. Sahada A1, A2, A6 panolarında eş zamanlı olarak

üretim ve hazırlık çalışmaları yürütülmektedir. Bu çalışma kapsamında yaklaşık 25 seyahat ile sahada yapılan çalışmalarda numune seçimi gerçekleştirilmiştir. İşletmenin çalışmalarına engel olmayacak şekilde her seyahatte işletmenin tarafımıza tahsis ettiği 2 işçi ile birlikte numune alma işlemleri yapılmıştır. Her üç pano için yapılan çalışmalar aşağıda sıralandığı şekilde gerçekleştirilmiştir.

A1 panosunda gerçekleştirilen çalışmalar;

- Saha çalışmaları esnasında A1 panosu uzun ayağını oluşturacak hazırlık kılavuz galerisi açılmış henüz üretim başlamamış durumdaydı.
- 110 m uzunluğundaki uzunayak arını olacak kılavuz galeri arını yaklaşık 10 m olacak şekilde bölgelere ayrılmıştır (Çizelge 3.2).
- Ara kesmelerin fayların etkisinden dolayı her bölgedeki konumları değişebilmektedir. Bir başka ifade ile kömür damarı içerisinde konumlanan 4 ara kesme (A, B, S ve C kili) fayların etkisi ile damar içerisinde birbirine yaklaşmakta veya uzaklaşmaktadır. Bu etkiden dolayı Çizelge 3.2'de gösterildiği gibi her bölgeden bütün ara kesmelerden numune toplanamamıştır.
- Numune seçme işlemleri için seçilen 10'ar m'lik alanlar bir karelej yöntemi ile birim hücrelere bölünmüştür. Her bir birim hücre içinden numune alma ya da deney yapma işlemi yapılmıştır.
- Belirlenen 8 bölgeden farklı boyutlarda numuneler her bir ara kesmeden alınmaya çalışılmıştır. Her bir ara kesmeden 3 er adet ortalama 10 cm boyutlarında numuneler arından alınmıştır.
- Numunelerin doğal nemliliği kaybetmemeleri için ağzı kapalı poşetlere etiketlenerek konmuş böylece numunelerin hava ile mümkün olduğu kadar temas etmeden laboratuvara nakil edilmesi sağlanmıştır.

A2 panosunda yapılan çalışmalar;

- Saha çalışmaları esnasında A2 panosunda üretim çalışmaları yürütülmekteydi.
- A2 panosunda ara kesme olarak sadece C kil damarı ve taban taşı bulunmaktadır.
- Arında kuyruk tarafında taban taşı, arının ortasında ise yaklaşık 1 m kalınlığında C kil damarı mevcuttu. Her iki bölgenin arınından yaklaşık 50 cm x 50 cm x 50 cm boyutlarında 20 blok alınmıştır.

- Numunelerin doğal nemliliği kaybetmemeleri için özel hazırlanmış sandıklar içerisine streçlenerek konmuş böylece blokların hava ile mümkün olduğu kadar temas etmeden laboratuvara nakil edilmesi sağlanmıştır.

A6 panosunda yapılan çalışmalar;

- A6 panosunda malzeme galerisi (taban yolu) sürülürken galeri arınından, arına yakın galeri yan yüzlerinden ve uzunayak olacak kılavuz galerisi içerisinden numune alma işlemleri vardiya sonlarında gerçekleştirilmiştir.
- Numuneler alınmadan önce arın yüzeyleri 50 cm x 50 cm boyutlarında kodlanarak küçük karelajlara bölünmüş, her bir hücreden 3'er adet numune alınmış, nem almayacak şekilde etiketlenerek poşetlere konmuştur (Çizelge 3.3 ve Şekil 3.10).

**Çizelge 3.2.** A1 panosu numune alınan bölgeler

Bölge	Mevcut ara kesme	Numune adedi
30-50 bağ arası	A, B	3+3=6
50-70 bağ arası	A, B, S	3+3+3=9
70-90 bağ arası	B, S	3+3=6
90-110 bağ arası	B, S	3+3=6
110-130 bağ arası	B, S	3+3=6
130-150 bağ arası	B, S	3+3=6
150-170 bağ arası	B, S, C	3+3+3=9
170-190 bağ arası	S, C	3+3=6

**Çizelge 3.3.** A6 panosu galeri arını ve yan yüzünden numune seçme sistematığı

	a	b	c	d	e	f	g	H
1	a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1
2	a2	b2	c2	d2	e2	f2	g2	h2
3	a3	b3	c3	d3	e3	f3	g3	h3
4	a4	b4	c4	d4	e4	f4	g4	h4
5	a5	b5	c5	d5	e5	f5	g5	h5
6	a6	b6	c6	d6	e6	f6	g6	h6



Şekil 3.10. A6 panosu arından alınan numunelerin alındığı sistematiğe görünümü

### 3.3.2. Laboratuarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için numune hazırlama

#### 3.3.2.1. Yoğunluk belirleme deneyleri için numune hazırlama

Kaya mekaniğinde kaya malzemesinin fiziksel özellikleri (parametreler) içerisinde, özgül ağırlık, yoğunluk, birim hacim ağırlığı, gözeneklilik ve geçirgenlik parametreleri sıralanabilir. Tez çalışması kapsamında A1, A2 ve A6 panolarından alınan numuneler suya karşı çok hassas olduğu için mineral tane yoğunluğu yöntemi ile piknometre kullanılarak yoğunluk değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.11). Bu kapsamda yoğunluk deneyleri için sahadan toplanan numuneler Çizelge 3.4’de sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Yoğunluk belirleme deneylerinde kullanılan numunelere ait bilgiler

Sınıflama	Numunenin alındığı bölge	Deney adedi
K-1	A2 pano (taban taşı ve ara kesme)	11
K-2	A1 pano (ara kesme)	1
K-3	A1 pano (ara kesme) A6 pano (taban taşı) Açık işletme (tavan taşı)	14

Numune hazırlama çalışmalarında sahada karşılaşılan ara kesme, taban ve tavan taşının tanımlamalarında zorlukla karşılaşılmıştır. Bu zorluğun aşılmasında kil ve kiltası içerikli malzemenin suya karşı zayıf yönünün kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun için ön suda dağılma dayanımı deneylerine başvurulmuştur. Gerçekleştirilen suda

dağılma dayanım sonuçlarına göre bir grup kaya biriminin  $I_{d2}$  değerinin %1'den az, bir grup kaya biriminin  $I_{d2}$  değerinin %15-20 aralığında olurken bir grup kaya biriminin de  $I_{d2}$  değerinin %60-100 olduğu görülmüştür. Bu aralıklar dikkate alınarak sahadan alınacak numunelerin suda dağılma dayanımlarına bağlı bir sınıflama yapılmaya çalışılmıştır. Bu tez çalışmasında dikkate alınan sınıflama Çizelge 3.5'de sunulmuştur. Bu sınıflanan aralıklar dikkate alınarak her bir deney için numune temini yapılmış ve tanımlanmıştır.

**Çizelge 3.5.** Ara kesme taban ve tavan taşı sınıflaması

Suda dağılma dayanımı sonucu $I_{d2}$ (%)	Sınıflama tanımı	Sınıflama kodu
<1	Çok aşırı zayıf kil	K-1
15-20	Zayıf kil	K-2
60-100	Kiltaşı	K-3



**Şekil 3.11.** Piknometre ile yoğunluk belirleme

### 3.3.2.2. Suda dağılma dayanımı deneyleri için numune hazırlama

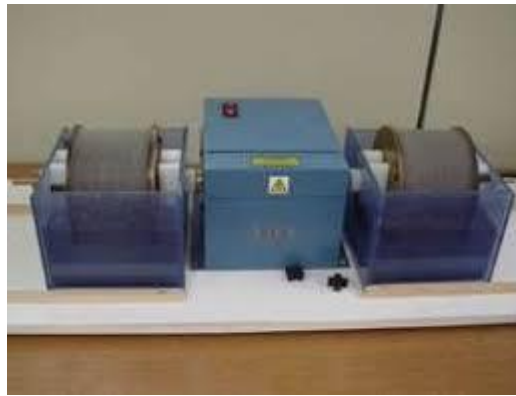
Suda dağılma dayanımı deneyi, kayaların oluşum süreçleri ile aşınma, oksidasyon, çözünme gibi önemli mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde önem arz etmektedir. Genellikle zayıf ve kil içeren kaya birimleri üzerinde yapılan bu deneyde,

numunelerin iki standart ıslanma kuruma devrine tabi tutulması durumunda, zayıflama ve ayrılıp suda dağılmaya karşı gösterdiği duraylılık belirlenmektedir.

Yüksek Lisans tez çalışmaları kapsamında, temin edilen parça numunelerden, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin (ISRM 1981, 2007) öngördüğü öneriler doğrultusunda her biri 40-60 gr arasında 10'ar adet küresel numune hazırlanmıştır. Her 10 adet küresel numune 1 tambura konduğu için her tambur bir set olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada toplam 12 set deney tamburu için toplam 120 adet küresel numune hazırlanmıştır. Normal çeşme su ortamında 2 çevrim ile ağırlıkça malzeme kayıpları belirlenerek yüzde cinsinden (%)  $I_{d1}$  ve  $I_{d2}$  değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla hazırlanan bilgiler Çizelge 3.6'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan ekipman Şekil 3.12'de görülmektedir.

**Çizelge 3.6.** Suda dağılma dayanımı deneyinde kullanılan numunelere ait bilgiler

Sınıflama	Numunenin alındığı bölge	Deney adedi
K-1	A1 pano (ara kesme) A2 (ara kesme, taban taşı)	3 set
K-2	A2 pano (ara kesme)	1 set
K-3	A1 pano (ara kesme) A6 pano (taban taşı) Açık işletme (tavan taşı)	8 set



**Şekil 3.12.** Suda dağılma dayanımı deney düzeneği

### 3.3.2.3. Tek eksenli basma dayanımı deneyleri için numune hazırlama

Tek eksenli basma dayanımı, bir kayaç örneğinin tek bir doğrultuda karşı koyabileceği maksimum basma gerilmesi olarak tanımlanmaktadır. Tasarımlarda en çok kullanılan mekanik büyüklüktür. Deneyin genel amacı, numunenin düşey yönde uygulanacak basınç dayanımının belirlenmesidir. ISRM önerisinde tek eksenli basınç



dayanımı deneyi genellikle boy/çap (L/D) oranı: 2.5-3.0 olan NX çaplı (54.7 mm) silindirik karot numuneleri ile yapılmaktadır. Özellikle zayıf ve kil içerikli kayaç birimlerinden silindirik karot almak her zaman mümkün olamamaktadır. Bu durumda tek eksenli basma dayanımı deneyleri için kübik numuneler de tercih edilmektedir.

Tek eksenli basma dayanımı deneyleri yapabilmek için Ömerler yeraltından getirilen bloklardan 5 cm x 5 cm x 5 cm olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.13). Deneysel çalışmada kullanılan numunelere ait bilgiler aşağıdaki Çizelge 3.7’de sunulmuştur. Bu çizelgeden görüldüğü üzere çok zayıf karakterde olan K-1 ve K-2 sınıfında numuneler hazırlanamamıştır. Sadece daha sağlam olan K-3 sınıfında numuneler hazırlanmıştır. Tek eksenli basma dayanımı deneyleri için toplam 72 adet kare prizma numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 3.14’de görüldüğü üzere 200 tonluk hidrolik preste yapılmıştır. Deneyler esnasında yükleme hızı 0.5-1 MPa/sn seçilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Tek eksenli basma dayanımı deneyinde kullanılan numunelere ait bilgiler

Kil sınıfı	Numunenin alındığı bölge	Deney adedi
K-3	A2 pano (taban taşı, ara kesme)	39
K-3	A6 pano (taban taşı)	20
K-3	Açık ocak (tavan taşı)	13



**Şekil 3.13.** Tek eksenli basma dayanımı deneyinde kullanılan temsili numuneler



Şekil 3.14. Tek eksenli basma dayanımı deneyinden bir görünüm

#### 3.3.2.4. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı belirleme deneyi için numune hazırlama

Çekme dayanımı, kayaçların önemli mekanik özelliklerinden biridir. Bu deney için ISRM (2007) tarafından direk çekme ve dolaylı çekme olmak üzere iki deney önerilmiştir. Direk çekme dayanımı deneyleri çoğunlukla başarı ile yapılamamaktadır. Bundan dolayı silindirik disk numuneler üzerinde gerçekleştirilmesi önerilen dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deneyi önerilmiştir. Bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Çekme dayanımı değeri Kaya mühendisliğinde bazı tasarım problemlerinde girdi olarak kullanılmaktadır. Deney yuvarlak disk şeklindeki numuneler üzerine düşey yönde basma kuvveti uygulandığında, numunenin yatay yönde oluşan çekme kuvveti neticesinde kırılması esasına dayanır.

Bu deneysel çalışmalarda bölüm laboratuvarında bulunan 200 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 3.15). Yükleme hızı 200 N/sn seçilmiştir (ISRM 1981, 2007). Bu deneysel çalışmalar için sahadan getirilen blok numunelerden silindirik karot numunesi alma işlemi oldukça zor olmakla birlikte az sayıda da olsa karot alma

makinası yardımıyla silindirik disk numuneler alınmıştır. Bu numunelere ait bilgiler Çizelge 3.8’de verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deneyinde kullanılan numunelere ait bilgiler

Kil Sınıfı	Numunenin alındığı bölge	Deney adedi
K-3	A2 pano (ara kesme)	3
K-3	A2 pano (taban taşı)	4



**Şekil 3.15.** Dolaylı çekme (Brizilan) dayanımı deneyinden bir görünüm

### 3.3.2.5. Tek eksenli deformabilite özelliklerini belirleme deneyleri için numune hazırlama

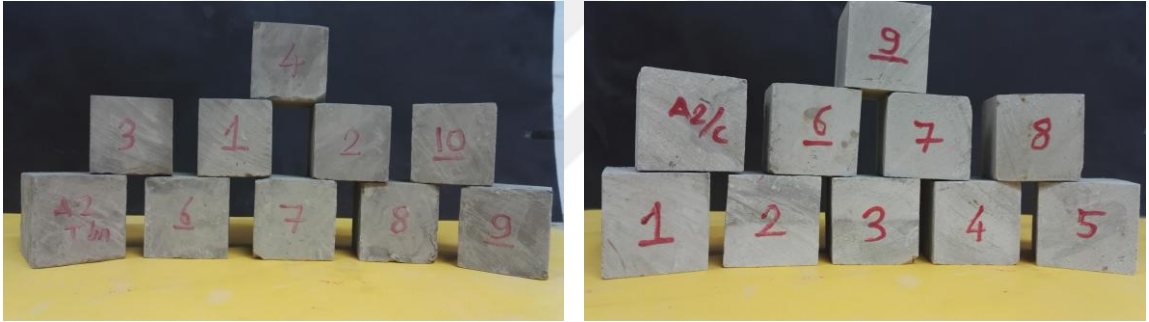
Kayaçların deformasyon özelliği, gerilme altında deformasyonları kontrol eden elastik parametrelere bağlıdır. Elastisite modülü ve Poisson oranı, kaya yapılarının tasarımında kullanılan önemli bir girdi parametresidir. Laboratuar koşullarında bu parametrelere ulaşmak amacıyla kaya malzemeleri üzerinde tek eksenli deformabilite deneyi uygulanmaktadır. Bu deney, silindirik şekilli sağlam kayaç karot örneklerin tek eksenli yükleme koşullarında, elastisite modülü ve Poisson oranının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, sahadan getirilen bloklardan silindirik numune elde edilememiştir. Bundan dolayı bu deneyler için kare prizma numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.16, Çizelge 3.9).

ISRM (1981, 2007) önerisi doğrultusunda hazırlanan küp örnekleri 200 ton kapasiteli hidrolik preste deneylere tabi tutulmuştur (Şekil 3.17). Deney esnasında 0.01 mm hassasiyetli komparatör saati ile yatay ve düşey deformasyon ölçümleri ve hidrolik presin ekranından ise yük okumaları yapılmıştır. Yükleme hızı 0.5-1 MPa/sn aralığından seçilmiştir (ISRM 1981, 2007).

**Çizelge 3.9.** Tek eksenli deformabilite deneyinde kullanılan numunelere ait bilgiler

Kil sınıfı	Numunenin alındığı bölge	Deney adedi
K-3	A2 pano (ara kesme)	19
K-3	A2 pano (taban taşı)	10
K-3	A6 pano (taban taşı)	4
K-3	Açık ocak (tavan taşı)	5



**Şekil 3.16.** Tek Eksenli deformabilite deneyinde kullanılan temsili numuneler

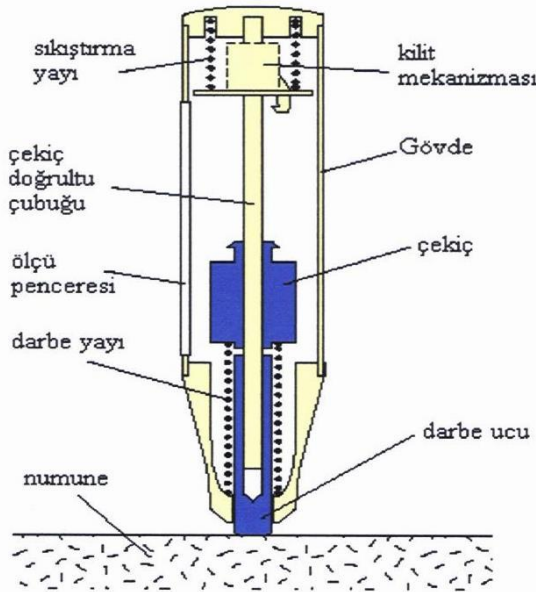


**Şekil 3.17.** Tek eksenli deformabilite deneylerinden bir görünüm

### 3.3.3.Sahada gerçekleştirilen deneyler için deney alanı hazırlama alışmaları

#### 3.3.3.1. Schmidt çekici ile kaya sertliğinin tespitine yönelik deney alanı belirleme alışmaları


Schmidt çekici 1948 yılında beton numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) tahmini için geliştirilmiş basit bir deney düzeneğidir. 1960'lı yıllardan itibaren Kaya Mekaniği alanında kullanılmaya başlanmıştır. Schmidt çekicileri darbe enerjilerine göre sınıflandırıldığında ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; L ve N tipi ekicilerdir. L tipi çekicilerin darbe enerjisi 0.735 Nm'dir ve N tipi Schmidt çekicinin darbe enerjisi 2.207 Nm'dir. Ancak laboratuvarıda karot numuneleri üzerine sertlik deneyi yapılırken N tipi eki yerine L tipi ekicin kullanılması önerilmektedir. Sertlik değerini lulecek olan kayaç ya da beton numunesinin üzerine yerleştirilen eki numuneye bastırılarak göstergedeki geri sıçrama değerini okunur (şekil 3.18).



şekil 3.18. Basit bir Schmidt çekicinin yapısı ve mekanizması

Bu tez çalışmasında yeraltında dijital Schmidt çekici ile testler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan cihaz Proceq marka Digi Schmidt 2000 model L tipi dijital Schmidt çekici'dir. Cihazın teknik özellikleri izelge 3.10'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.10.** Ölçüm çalışmalarında kullanılan Schmidt Çekicinin teknik özellikleri

Test Çekici Tipi	L tipi	
Darbe Enerjisi	0.54 ft-lbs (0.735 Nm)	
Basma Dayanımı Ölçüm Aralığı	1450 psi- 10.150 psi -10-70 N/mm <sup>2</sup>	
Ölçüm Doğruluğu	±0.2 R	
Tekrarlanabilirlik	±0.5 R	
Boyutlar	12.8" x 11.6" x 4.15" (325 x 295 x 105 mm)	
Ağırlık	3 kg	

Schmidt Çekici ile sertlik belirleme çalışmaları Ömerler yeraltı madeninde A1 ve A6 panolarında gerçekleştirilmiştir. Schmidt Çekici'nin arazide uygulamasına yönelik ISRM (2007) herhangi bir öneride bulunmazken ASTM (1993) tarafından ortaya konan öneride büyük ölçekli yüzeyde Schmidt Çekici ile uygulamanın yapıldığı noktadan en az 15 cm ileride başka bir Schmidt Çekici uygulamasının yapılmasını önermektedir. Ancak büyük ölçekli bir yüzeyde kaç tane Schmidt çekici yapılması gerektiği konusunda herhangi bir önerisi bulunmamaktadır. Bu konuda Özkan ve Bilim (2008) tarafından yapılan bir çalışmada arının hücrelere bölünmesi ve her bir hücreden en az bir tane Schmidt Çekici uygulamasının yapılmasını ve elde edilen sonuçlarının ortalamasının hesaplanmasını önermektedir. Bu çalışmada Özkan ve Bilim (2008) tarafından yapılan öneri dikkate alınarak A1 ve A6 panolarında seçilen büyük ölçekli arınlar yaklaşık 50 cm x 50 cm alanlara bölünmüştür. Her bir alanda 3 Schmidt sertlik deneyi gerçekleştirilmiş ortalaması alınarak o hücreye ait Schmidt değeri kaydedilmiştir (Özkan ve Bilim, 2008)

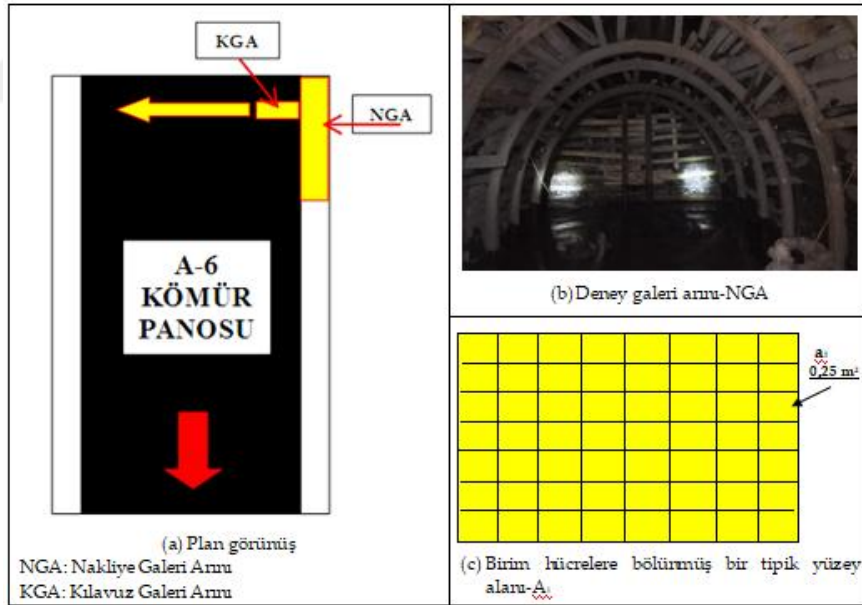
Ömerler yeraltı kömür madeninde, A1 pano ayak içinde dört farklı ana ölçüm bölgesi hazırlanmıştır. Bu test alanları SH-1, SH-2, SH-3 ve SH-4 olarak kodlanmıştır (Şekil 3.19). Yaklaşık 15 m<sup>2</sup>'lik bir yüzeyden oluşan 4 yüzeyden ölçümler yapılmıştır. TÜBİTAK 116M698 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmalarda Şekil 3.19'da görüldüğü gibi kömür (A, C, E) ve ara kesmelerde (B, D) Schmidt çekici uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ancak bu tezde sadece ara kesme, üzerinde gerçekleştirilen deneyler dikkate alınmıştır.

	6.8m	2.74m (SH-4)	25m	3.5m (SH-3)	25m	7m (SH-2)	25m	2.25m (SH-1)	13.35m
3.5 m		A		A		A		A	
		B		B		B		B	
		C		C		C		C	
		D		D		D		D	
		E		E		E		E	
	110 m								

Şekil 3.19. A1 panosu ayak içinde Schmidt Çekici ile sertlik deney bölgeleri (Mesutoğlu ve Özkan, 2019)

A2 panosunda tamburlu kesici yükleyici arında kazıya devam ettiği için Schmidt Çekici deneyleri yapmak mümkün olmamıştır.

A6 panosunda kömür galeri arınında, uzun ayak galeri arını olacak kılavuz galeri arınında ve bunların yan yüzeylerinde Schmidt Çekici deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma yüzeyler yaklaşık 50 cm x 50 cm'lik birim hücrelere bölünmüş ve her bir hücrenin ortasından 3'er değer okumak koşulu ile Schmidt Çekici ile Schmidt sertlik değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. A6 panosu ayak içinde Schmidt Çekici ile sertlik deney bölgeleri (Özkan ve Kaya, 2019)

A1 ve A6 panolarında Schmidt sertlik deneylerinin gerçekleştirildiği bölgelere ait bilgiler Çizelge 3.11'de sunulmuştur. Bu çizelgeden görüldüğü üzere A1 ve A6 panolarında toplam 13 farklı büyük ölçekli yüzeyde ( $70.72 \text{ m}^2$ ) toplam 292 adet Schmidt sertlik deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin yapılış ana ait bir fotoğraf Şekil 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Schmidt sertlik deney alanları ile ilgili bilgiler

Pano adı	Ölçüm bölgesi	Ara kesme deney alanı	Toplam alan m <sup>2</sup>	Birim hücre alanı m <sup>2</sup>	Ara kesme deney sayısı
A1	SH-1	Ara kesme (B, D)	0.35	0.070	5
	SH-2		1.16	0.145	8
	SH-3		0.49	0.070	7
	SH-4		1.02	0.204	5
A6	NGA-1	Taban taşı	10.75	0.25	43
	NGA-2		7.25	0.25	29
	KGA-1		10	0.25	40
	KGA-2		8.25	0.25	33
	NGYY-1		3.50	0.25	14
	NGYY-2		2.75	0.25	11
	NGYY-3		4.75	0.25	19
	NGYY-4		3.00	0.25	12
	KGYY-1		16.5	0.25	66



Şekil 3.21. Galeri arınında Schmidt sertlik belirleme deneyine ait tipik bir görünüm

### 3.3.3.2. Nokta yükleme dayanımı indeksi değerinin tespitine yönelik deney alanı belirleme çalışmaları

Kaya malzemesinin en yaygın kullanılan deneyi tek eksenli basma dayanımı deneyidir. Bu deney için ISRM (2007) tarafından önerilen numune boyutları L/D oranı 2.5-3 olması gerekmektedir. Ancak bu boyutlardaki örnek her zaman hazırlanamamaktadır. Bu sorunu aşılması yönünde ISRM (2007) tarafından düzensiz örnekler için nokta yükleme dayanım indeksi deneyi önerilmiştir.



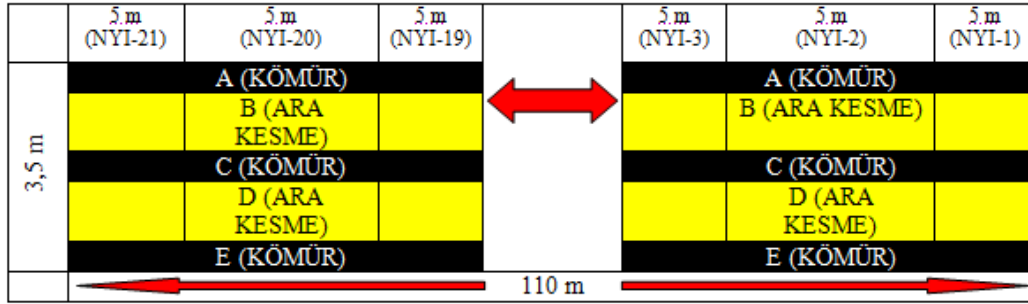
Nokta yükleme deney aleti, basit ve taşınabilir bir cihaz olup bu alet (Şekil 3.22) elle çalışan bir hidrolik pompa ve 2 adet standart kuvvet uygulama başlığından oluşmaktadır. Alanı sabit 14.4 cm (2.236 in<sup>2</sup>) olan yükleme başlıkları arasındaki mesafe test edilen numuneye göre kolayca ayarlanabilir. Konik uçlar arasında kırılan numunenin nokta yükleme dayanımı yük değeri, deney aleti üzerine monte edilmiş göstergelerden okunur. Bu deneyde, silindirik karot özelliği taşıyan parça karotlar üzerinde çapsal ve aksenal nokta yükleme dayanım deneyleri yapılabilmektedir. Ayrıca karot özelliği taşımayan düzensiz numuneler üzerinde de bu deney gerçekleştirilebilmektedir. Bu tez çalışmasında deneye tabi tutulan tüm numuneler düzensiz numunelerden oluşmuştur.



**Şekil 3.22.** Basit bir nokta yükleme dayanımı indeks belirleme deney cihazı

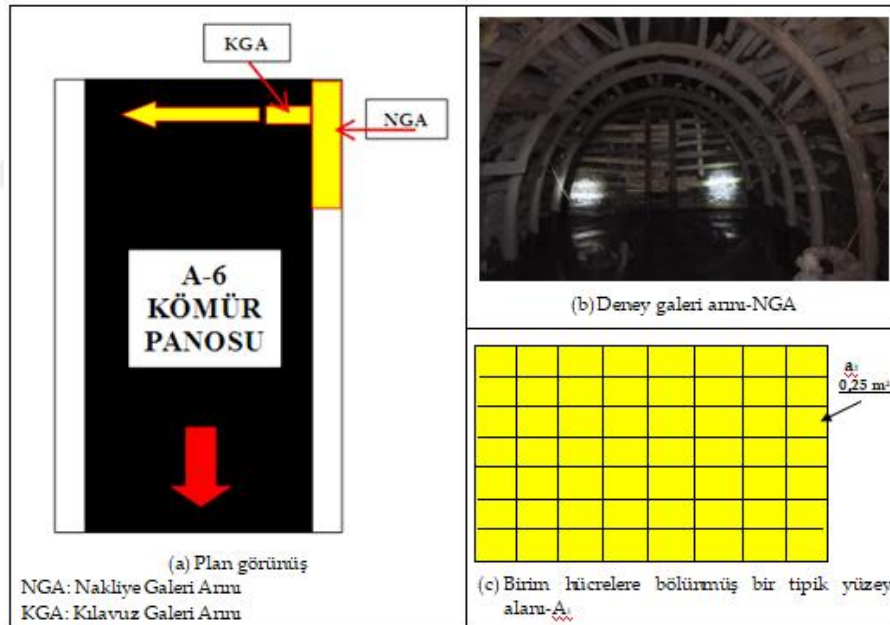
Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında, TKİ-GLİ Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında, A1 ve A6 panolarında seçilen büyük ölçekli yüzeylerde nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak deneylerin gerçekleştirileceği A1 panosu hazırlık galerisinde deneyler için örnek alınacak bölgeler tanımlanmıştır. Şekil 3.24'de görüldüğü üzere 110 metrelik kömür arını yaklaşık 5'er metrelik bölgelere ayrılmıştır. Her bölgeye NYİ-1 gibi kodlar verilmiştir.

A1 pano ayak içerisindeki çalışma bölgesi, gerçekleştirilecek olan nokta yükleme deney numuneleri elde etmek amacı ile 21 bölgeye ayrılmıştır. Her bir bölge de Şekil 3.23'de görüldüğü üzere kömür ve ara kesmelerden örnekler toplanmıştır.



Şekil 3.23. A1 kılavuz galerisinde belirlenen NYİ bölgeleri (Mesutoğlu ve Özkan 2019)

A6 panosunda kömür galeri arınında, uzunayak galeri arını olacak kılavuz galeri arınında ve bunların yan yüzeylerinde nokta yükleme dayanımı indeks deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma yüzeyler yaklaşık 50 cm x 50 cm'lik birim hücrelere bölünmüş ve her bir hücreden 3'er adet düzensiz parça numune alınmıştır. Bu numuneler üzerinde tabakalara dik ve paralel nokta yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.24, Şekil 3.25).



Şekil 3.24. A6 panosuda nokta yükleme dayanımı indeks deney bölgeleri (Özkan ve Kaya, 2019)

A1 ve A6 panolarında seçilen toplam 323.277 m<sup>2</sup>lik alanda 210 tane birim hücre oluşturulmuş ve her birim hücreden 3'er adet numune alınarak toplam 630 adet numune üzerinde nokta yükleme dayanım indeks deneyleri yapılmıştır (Çizelge 3.11). Yeraltında tavan taşı gözlenemediği için açık ocakta kömür damarı üzerindeki açılmış olan tavan taşından alınan bloklardan ayrıca nokta yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.12).



Deneysel nokta yükleme çalışmaları



Deney sonrası bir kil örneği

Şekil 3.25. Seçilen örnekler üzerinde gerçekleştirilen nokta yükleme deneyleri

Çizelge 3.12. Nokta yükleme dayanım indeksi deney alanları ile ilgili bilgiler

Pano adı	Ölçüm bölgesi	Deney alanı	Toplam alan m <sup>2</sup>	Birim hücre alanı m <sup>2</sup>	Ara kesme deney sayısı
A1	NYİ-1	Ara kesme (B, D)	2.22	0.40	17
	NYİ-2		2.64	0.50	15
	NYİ-3		2.69	1.15	7
	NYİ-4		6.44	3.22	5
	NYİ-5		5.28	2.14	7
	NYİ-6		6.5	2.17	9
	NYİ-7		6.7	1.99	9
	NYİ-8		9.83	3.06	7
	NYİ-9		7.5	2.79	7
	NYİ-10		5.45	1.99	9
	NYİ-11		6.58	1.86	11
	NYİ-12		6.86	1.75	11
	NYİ-13		9.68	3.87	5
	NYİ-14		6.02	1.53	13
	NYİ-15		3.77	1.27	11
	NYİ-16		4.5	1.23	11
	NYİ-17		5.23	1.23	11
	NYİ-18		4.14	1.21	11
	NYİ-19		4.6	1.12	12
	NYİ-20		4.79	1.31	10
	NYİ-21		3.33	1.16	12
A6	NGA-1	Taban taşı	10.75	0.25	43
	KGA-1		10	0.25	40
	KGY-1		7.25	0.25	29
Açık ocak	AO	Tavan taşı	-	-	40

### 3.3.4. XRD analiz sonuçlarının tespitine yönelik numune hazırlama çalışmaları

Sahada A1 ve A2 panolarından alınan numuneler önce suda dağılma dayanımı davranışlarına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamaya göre tanımlanan (K-1,K-2,K-3) ve XRD analizleri için Gebze Teknik Üniversitesi gönderilen numuneler aşağıdaki Çizelge 3.13’de tanımlanmıştır. Numuneler orijinal nemlerini kaybetmemeleri için dikkatlice etiketlenerek paketlenmiştir.

**Çizelge 3.13.** XRD deney numunelerine ait bilgiler

Numunenin alındığı bölge	Sınıflama	Deney adedi
A1 pano (ara kesme)	K-1	2
	K-2	2
	K-3	2
A2 pano (ara kesme)	K-1	2
	K-2	1

### 3.3.5. Şişme deneyi için numune hazırlama çalışmaları

Şişme davranışının tespiti genellikle laboratuvar ölçekte mümkün olabilmektedir. Kaya birimlerinin şişme özelliklerini tespit etmek için numune deney düzeneğine yerleştirilip düzeneğin altından suyu bünyesine çekebileceği durum sağlanmalıdır. Numune bünyesine su alıp yanal olarak hacimsel artışı mümkün olmadığı durumda tek yönlü aksenal olarak boydaki değişimin zamana karşı takibi ile şişme davranışı da belirlenebilmektedir. Tek eksenle şişme davranışı belirlenebildiği gibi üç eksenli şişme davranışı belirlenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında şişme deneyleri için numuneler A1, A2 ve A6 panolarından seçilmiştir. Kömürü damarı içerisinde konumlanan A, B, S ve C ara kesmelerinden numuneler alınmış ayrıca taban taşından ve tavan taşından numuneler alınmıştır. Bu numuneler yaklaşık 10 ar cm boyunda düzensiz numuneler olmuştur. Seçilen numuneler etiketlenerek doğal nemini koruyacak şekilde paketlenmiştir. Daha sonra üniversite laboratuvarında hazırlanan tek eksenli şişme deney düzeneğinde deneylere tabi tutulmuştur. Numunelerin seçildiği bölgeler ve bu bölgelere ait bilgiler Çizelge 3.14’de sunulmuştur. Toplam 23 numune üzerinde şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sahadan getirilen numuneler önce -200 mikron seviyesinde bilyeli değirmende öğütülmüştür. Takibinde 105 °C de 12 saat boyunca kurutulmuştur. Her bir sınıftaki (K-1,K-2,K-3) hazırlanan numunelerin sahada karşılaşılan birimlerin yoğunluğuna uygun olması için yoğunluk deneylerinden belirlenen yoğunluklar dikkate alınmıştır (Bkz. Çizelge 4.2).

Bu yoğunluk değerlerini verecek küle (m) değerleri hesaplanarak numune hazırlamada kullanılmıştır. Daha sonra deney numune hazırlama aparatları yardımıyla 54 mm çapında (D) 20 mm boyunda (H) sıkıştırılarak numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.26). Hazırlanan numuneler ISRM (2007) tarafından önerilen  $H/D \leq 2.5$  olma koşuluna uygun hazırlanmıştır. Bu deneylerin gerçekleştirildiği deney düzeneği Şekil 3.27’de görülmektedir. Saha gözlemlerine ve Kaya Mekaniği Laboratuvar deneylerine bağlı olarak sahada gözlenen kıltaşı K-1, K-2 ve K-3 olarak sınıflanmıştır. Bu sınıflamaya bağlı olarak deney sonuçlarına dayalı değerlendirmeler Bölüm 4’de sunulmuştur.

**Çizelge 3.14.** Şişme deneyinde kullanılan numunelere ait bilgiler

Sınıflama	Numunenin alındığı bölge	Deney adedi
K-1,K-2,K-3	A1 pano (ara kesme)	3
K-1,K-3	A2 pano (ara kesme)	10
K-2	A6 pano (taban taşı)	6
K-2	Açık ocak (tavan taşı)	4



**Şekil 3.26.** Numune hazırlama aparatları



**Şekil 3.27.** Şişme deney düzeneği

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Genel

Bu bölümde sahada ve laboratuvarda yapılan çalışmalardan elde edilen deneysel sonuçlar, hazırlanan veri tabanı yardımıyla gerçekleştirilen analizler ve değerlendirmeler verilmiştir.

### 4.2. laboratuvarda Gerçekleştirilen Deneysel Çalışmalar

A1, A2 ve A6 panolarından ve açık ocaktan laboratuvara nakil edilen blok numunelerden toplam 155 tane numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin dağılımları aşağıdaki Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler sırasıyla aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

**Çizelge 4.1.** Laboratuvarda gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan numunelere ait bilgiler

Pano adı	Numunen alındığı konum	Sınıflama	Laboratuvar çalışmalarında kullanılan numune adetleri				
			$\gamma$	$I_{d1}, I_{d2}$	$\sigma_c$	$\sigma_t$	$Y$
A1 pano	Ara kesme	K-1	-	1	-	-	-
		K-2	1	-	-	-	-
		K-3	2	2	-	-	-
A2 pano	Ara kesme, taban taşı	K-1	11	2	-	-	-
		K-2	-	1	-	-	-
		K-3	-	-	39	7	29
A6 pano	Taban taşı	K-1	-	-	-	-	-
		K-2	-	-	-	-	-
		K-3	6	4	20	-	4
Açık ocak	Tavan taşı	K-1	-	-	-	-	-
		K-2	-	-	-	-	-
		K-3	6	2	13	-	5

$\gamma$ : Yoğunluk,  $I_{d1}$ : Suda dağılma dayanımı deneyi,  $I_{d2}$ : Suda dağılma dayanımı deneyi,  $\sigma_c$ : Tek eksenli basma dayanımı deneyi,  $\sigma_t$ : Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi,  $Y$ : Tek eksenli deformabilite deneyi

#### 4.2.1. Yoğunluk belirleme deneyleri

Ömerler yeraltı ocağında konumlanan A1, A2, A6 ve açık ocaktan temin edilen numuneler suya karşı hassas oldukları için düzgün geometriye sahip karot numuneleri alınamamıştır. Bundan dolayı minarel tane yoğunluğu belirleme yöntemi yardımıyla yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi bölgedeki kilit taşı K-1, K-2,

K-3 sınıflamasına maruz bırakılmış olup bu çerçevede yapılan deneylere ait sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.2.** Yoğunluk belirleme deney sonuçları

Sınıflama	Numune Adedi	Numunenin alındığı bölge	Yoğunluk, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Ortalama Yoğunluk, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
K-1	11	A2 pano (taban taşı ve ara kesme)	21.7±4	21.7±4
K-2	1	A1 pano (ara kesme)	21.9	21.9
K-3	1	A1 pano (ara kesme)	24.5	22.3±2.28
	1	A1 pano (ara kesme)	24.2	
	6	A6 pano (taban taşı)	21.0±1.1	
	6	Açık işletme (tavan taşı)	19.60±2.7	

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere suya karşı en az dayanım gösteren K-1 düşük yoğunluğa sahip olup suya karşı dayanımı fazla olan K-3’ün genel olarak daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir.

#### 4.2.2. Suda dağılma dayanımı deneyleri

Sahadan getirilen parça numunelerden ISRM (2007) öngörülere doğrultusunda hazırlanan 10 adet küresel numuneler bir deney tamburuna konarak deneye tabii tutulmuştur. İki aşamadan oluşan deneylerden birinci aşama sonucunda  $I_{d1}$  (%) ikinci deney aşaması sonucunda  $I_{d2}$  (%) sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.3’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.3.**Suda dağılma dayanımı deney sonuçları

Sınıflama	Numunenin alındığı bölge	Numune Adedi	$I_{d1}$ (%)	$I_{d2}$ (%)	Ortalama $I_{d2}$ (%)
K-1	A1 pano (ara kesme)	1	13.22	0.04	0.14±0.09
	A2 (ara kesme)	1	26.80	0.23	
	A2 (taban taşı)	1	15.72	0.14	
K-2	A2 pano (ara kesme)	1	38.57	18.57	18.57
K-3	A1 pano (ara kesme)	1	66.59	62.08	93.58±12.81
	A1 pano (ara kesme)	1	97.64	94.58	
	A6 pano (taban taşı)	1	99.99	98.13	
	A6 pano (taban taşı)	1	99.91	98.69	
	A6 pano (taban taşı)	1	99.34	98.42	
	A6 pano (taban taşı)	1	99.86	98.96	
	Açık işletme (tavan taşı)	1	99.41	98.89	
	Açık işletme (tavan taşı)	1	99.34	98.87	

Çizelge 4.3’de görüldüğü üzere ikinci aşama deney sonucunu gösteren  $I_{d2}$  (%) değerleri K-1 sınıfında en düşük değeri alırken K-3 sınıfında en yüksek değeri aldığı görülmektedir.

#### 4.2.3. Tek eksenli basma dayanımı deneyleri

A2, A6 pano ve açık ocaktan alınan bloklardan hazırlanan numuneler K-3 sınıfında olup bu numuneler kare prizma (5 cm x 5 cm x 5 cm) şeklindedir. 200 tonluk hidrolik preste 0.5-1MPa/sn yükleme hızında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

Çizelge 4.4’de görüldüğü üzere ara kesmeler en düşük dayanıma sahip iken tavan taşının en yüksek dayanıma sahip olduğu anlaşılmaktadır.

**Çizelge 4.4.** Tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları

Sınıflama	Numunenin alındığı bölge	Numune Adedi	Tek eksenli basma dayanımı $\sigma_c$ (MPa)	Ortalama Tek eksenli basma dayanımı $\sigma_c$ (MPa)
K-3	A2 pano (ara kesme)	25	6.33±3.66	8.465±2.44
	A2 pano (taban taşı)	13	7.71±1.86	
K-3	A6 pano (taban taşı)	20	7.84±3.69	
K-3	Açık ocak (tavan taşı)	13	11.98±5.49	

#### 4.2.4. Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı belirleme deneyleri

A2 panosundan alınan bloklardan hazırlanan numuneler K-3 sınıfına girmektedir. Bloklardan alınan disk şeklindeki karotlar 54 mm çapında ve yaklaşık 30 mm kalınlığında olup bu numuneler üzerinde 200 N/sn yükleme hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.5.** Dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı deney sonuçları

Sınıflama	Numunenin alındığı bölge	Numune Adedi	Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı $\sigma_t$ (MPa)	Ortalama Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı $\sigma_t$ (MPa)
K-3	A2 pano (ara kesme)	3	8.31±0.72	8.61±0.42
K-3	A2 pano (taban taşı)	4	8.91±0.41	

Çizelge 4.5’de sunulan dolaylı çekme dayanım sonuçlarına göre ara kesme ve taban taşının dolaylı çekme dayanımlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Diğer K-1 ve K-2 sınıfına ait numuneler için malzemenin çok zayıf olmasından dolayı numune hazırlanamamıştır.

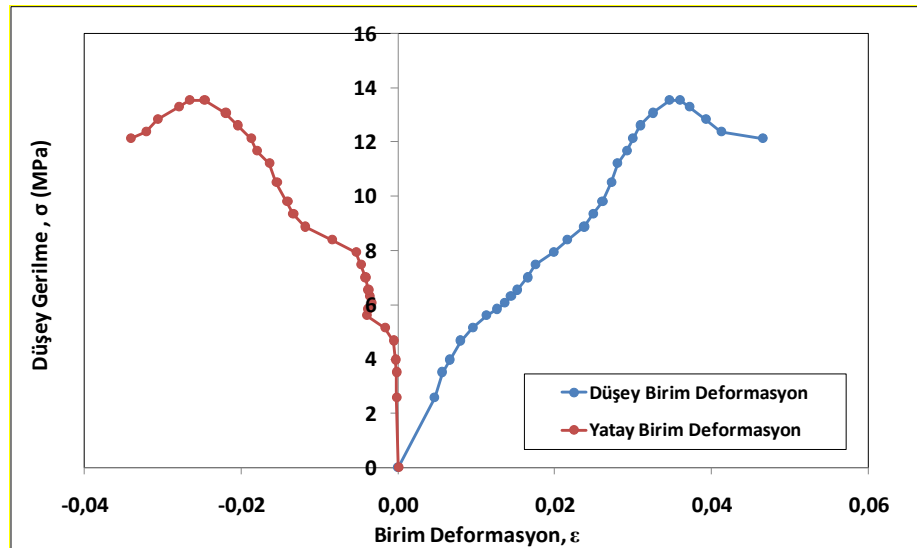


#### 4.2.5. Tek eksenli deformabilite özelliklerini belirleme deneyleri

A2 panodan ara kesme ve taban taşı, A6 panodan taban taşı ve açık ocaktan tavan taşı için alınan bloklardan hazırlanan numuneler K-3 sınıfına girmektedir. Bu numuneler geometrik şekil açısından kare prizma (5 cm\*5 cm\*5 cm) şeklindedir. 200 tonluk hidrolik pres de 0.5-1 MPa/sn yükleme hızında gerçekleştirilen deneylerden komparatör saatler yardımıyla düşey ve yatay deformasyonlar ölçülmüş aynı zamanda hidrolik prestin yük değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Bu deneylere ait tipik bir örnek Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Tek eksenli deformabilite deney sonuçları

Sınıflama	Numunenin alındığı bölge	Numune Adedi	Teğetsel Elastisite Modülü, E (GPa)	Teğetsel Poisson Oranı, $\nu$	Ortalama	
					Teğetsel Elastisite Modülü, E (GPa)	Teğetsel Poisson Oranı, $\nu$
K-3	A2 pano (ara kesme)	8	0.395±0.225	0.186±0.157	0.386±0.111	0.199±0.124
K-3	A2 pano (taban taşı)	8	0.529±0.192	0.228±0.11		
K-3	A6 pano (taban taşı)	1	0.36	0.34		
K-3	Açık ocak (tavan taşı)	2	0.261±0.156	0.041±0.035		



Şekil 4.1. A6 taban taşına ait tipik bir düşey birim deformasyon-düşey gerilme davranışı (A6-TBN-12)

Çizelge 4.6'da görüldüğü üzere taban taşının elastik modülü yüksek tavan taşının ise en düşük elastik modülüne sahip olduğu anlaşılmaktadır. Poisson oranları

incelendiğinde ise tavan taşının Poisson oranının düşük, taban taşının ise daha yüksek olduğu görülmektedir.

### 4.3. Sahada Gerçekleştirilen Deneysel Çalışmalar

Nokta yükleme dayanımı ve Schmidt sertlik indeks deneyleri için A1, A6 pano ve açık ocakta belirlenen toplam 38 bölgede toplam 654 adet numune üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Numunelerin dağılımı Çizelge 4.7’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.7.** Sahada gerçekleştirilen deneylere ait topluca numune sayıları

Deney adı	Pano adı	Ölçüm bölgesi	Deney alanı	Toplam alan m <sup>2</sup>	Birim hücre alanı m <sup>2</sup>	Deney sayısı #
Schmidt sertlik deneyi	A1	SH-1	Ara kesme	0.35	0.070	5
		SH-2		1.16	0.145	8
		SH-3		0.49	0.070	7
		SH-4		1.02	0.204	5
	A6	NGA-1	Taban taşı	10.75	0.25	43
		NGA-2		7.25	0.25	29
		KGA-1		10	0.25	40
		KGA-2		8.25	0.25	33
		NGYY-1		3.50	0.25	14
		NGYY-2		2.75	0.25	11
		NGYY-3		4.75	0.25	19
		NGYY-4		3.00	0.25	12
		KGYY-1		16.5	0.25	66
		Nokta yükleme dayanım indeksi deneyi		A1	NYİ-1	Ara kesme
NYİ-2	7.56		0.50		15	
NYİ-3	8.064		1.15		7	
NYİ-4	16.088		3.22		5	
NYİ-5	14.95		2.14		7	
NYİ-6	19.5		2.17		9	
NYİ-7	17.875		1.99		9	
NYİ-8	21.45		3.06		7	
NYİ-9	19.5		2.79		7	
NYİ-10	17.92		1.99		9	
NYİ-11	20.475		1.86		11	
NYİ-12	19.22		1.75		11	
NYİ-13	19.35		3.87		5	
NYİ-14	19.865		1.53		13	
NYİ-15	14		1.27		11	
NYİ-16	13.5		1.23		11	
NYİ-17	13.5		1.23		11	
NYİ-18	13.344		1.21		11	
NYİ-19	13.386		1.12		12	
NYİ-20	13.05		1.31		10	
NYİ-21	13.86		1.16		12	
A6	NGA-1		Taban taşı	10.75	0.25	43
	KGA-1			10	0.25	40
	KGYY-1	7.25		0.25	29	
Açık ocak	AO	Tavan taşı	-	-	40	

SH: Schmidt deney bölgesi, NYİ: Nokta yükleme indeksi deney bölgesi, NGA: Nakliye galerisi arımı, KGA: Klavuz galerisi arımı, KGYY: Klavuz galerisi yan yüzeyi, AO: Açık ocak

### 4.3.1. Schmidt çekici ile kaya sertliği belirleme çalışmaları

A1 ve A6 panolarında seçilen on üç bölgede birim hücre alanları oluşturulmuştur. Her bir birim hücrede gerçekleştirilen 3'er adet Schmidt sertlik ölçümünün ortalaması alınarak o birim hücreye ait ortalama Schmidt sertlik değeri kaydedilmiştir. Gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 4.8' de sunulmuştur. Bu birim hücre alanlarda K-1, K-2, K-3 aynı anda geçişler gösterdiği için burada kil, kıltaşı (K) sınıflaması dikkate alınmamıştır.

Çizelge 4.8. Sahada gerçekleştirilen Schmidt sertlik deney sonuçları

Pano adı	Ölçüm bölgesi	Ölçüm bölgesi tanımı	Deney alanı	Toplam alan, $A_i$	Deney sayısı	Ortalama Schmidt sertlik deney sonucu N	Genel ortalama Schmidt sertlik deney sonucu N
				$m^2$	#	(-)	(-)
A1	SH-1	Ara kesme	B, D	0.35	5	29.60±4.07	33.46±6.38
	SH-2		B, D	1.16	8	43.00±4.90	
	SH-3		B, D	0.49	7	30.43±2.32	
	SH-4		B, D	1.02	5	30.80±2.04	
A6	NGA	Taban taşı	NGA-1	10.75	43	22.28±0.5	21.41±1.89
			NGA-2	7.25	29	22.68±1.3	
	KGA		KGA-1	10	40	22.85±1.4	
			KGA-2	8.25	33	22.26±1.0	
	NGYY		NGYY-1	3.50	14	19.39±0.9	
			NGYY-2	2.75	11	18.66±3.1	
			NGYY-3	4.75	19	23.21±1.8	
			NGYY-4	3.00	12	18.74±0.5	
	KGYY		KGYY-1	16.5	66	22.64±0.3	
	Toplam				69.77	292	

Nakliye Galeri Arını (NGA), Kılavuz Galeri Arını (KGA), Nakliye Galeri Yan Yüzü (NGYY), Kılavuz Galeri Yan Yüzü (KGYY)

Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi kömür damarında konumlanan ara kesmelerin Schmidt değeri 33.46±6.38 iken, taban taşının Schmidt değerinin 21.41±1.89 olduğu anlaşılmaktadır.

### 4.3.2. Nokta yükleme dayanımı indeksi değerinin belirleme çalışmaları

A1 ve A6 panosunda seçilen toplam 24 ölçüm bölgesi önce birim hücre bölünmüş daha sonra ise her bir birim hücreden 3'er adet düzensiz numuneler alınmıştır. Ayrıca açık işletme ocağından tavan taşı numuneleri toplanmıştır. Bu numuneler üzerinde tabakalara dik ve tabakalara paralel nokta yükleme dayanımı indeksi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 4.9' da sunulmuştur. Bu birim hücre alanlarda K-1, K-2, K-3 aynı anda geçişler gösterdiği için burada kil, kıltaşı (K) sınıflaması dikkate alınmamıştır.

**Çizelge 4.9.** Sahada gerçekleştirilen nokta yükleme dayanımı indeks deney sonuçları

Pano adı	Ölçüm bölgesi	Deney alanı tanımı	Toplam alan (m <sup>2</sup> )	Deney adedi (#)	Ortalama Is(50) (MPa)	Genel ortalama Is(50) (MPa)
A1	NYİ-1	Ara kesme	2.22	17	0.63	0.823±0.41
	NYİ-2		2.64	15	0.665	
	NYİ-3		2.69	9	0.9	
	NYİ-4		6.44	7	1.19	
	NYİ-5		5.28	9	0.91	
	NYİ-6		6.5	10	0.75	
	NYİ-7		6.7	10	0.915	
	NYİ-8		9.83	9	0.565	
	NYİ-9		7.5	9	0.605	
	NYİ-10		5.45	11	1.41	
	NYİ-11		6.58	13	0.3	
	NYİ-12		6.86	13	0.395	
	NYİ-13		9.68	7	0.285	
	NYİ-14		6.02	15	0.89	
	NYİ-15		3.77	13	0.83	
	NYİ-16		4.5	13	0.645	
	NYİ-17		5.23	13	0.56	
	NYİ-18		4.14	13	0.635	
	NYİ-19		4.6	14	1.745	
	NYİ-20		4.79	12	1.78	
	NYİ-21		3.33	14	0.685	
A6	NGA	Taban taşı	10.75	43	0.550	0.703±0.134
	KGA		10	40	0.762	
	KGY Y		7.25	29	0.798	
Açık ocak	AO	Tavan taşı	-	40	2.385	2.385±2.015
	Toplam		142.75	398		1.304±0.94

Nakliye Galeri Arımı (NGA), Kılavuz Galeri Arımı (KGA), Kılavuz Galeri Yan Yüzü (KGY Y)

Çizelge 4.9'da görüldüğü üzere ara kesmelerin nokta yükleme dayanım indeksi değeri 0.823±0.41 MPa, taban taşına ait nokta yükleme dayanım indeksi değeri 0.703±0.134 MPa iken tavan taşına ait dayanım değeri 2.385±2.015 MPa olmuştur. Tavan taşına ait nokta yükleme dayanım indeksi değerinin diğerlerine nazaran yüksek

olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ara kesme ve taban taşının dayanım değerinin birbirine yakın olduğu anlaşılmaktadır.

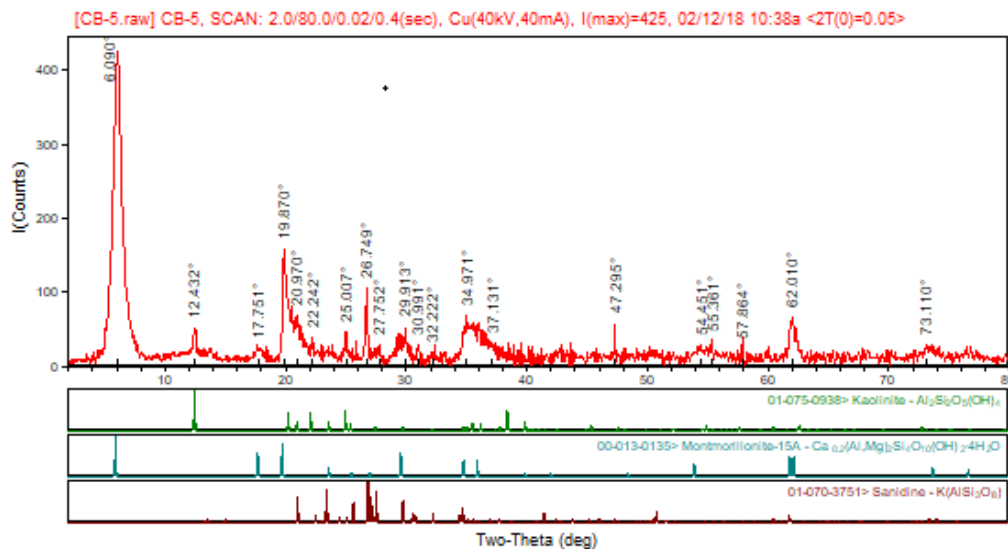
#### 4.4. XRD Analiz Sonuçları

Yeraltı maden ocağında karşılaşılan ara kesme, taban ve tavan taşı kil taşı olup, sudan kolaylıkla etkilenebilmektedir. Bu durum göz önüne alınarak geliştirilen sınıflamaya göre hazırlanan XRD numunelerinin analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Şekil 4.2 de K-1 sınıfına ait tipik bir XRD sonucu verilmiştir. Çizelge 4.10'da verilen XRD sonuçlarına göre sahada karşılaşılan kil malzemesinin şişme yeteneği yüksek olan montmorillonit mineral içerdiği tespit edilmiştir. Diğer XRD sonuçları EK-1'de sunulmuştur. XRD sonuçları yardımı ile kil tanımlamaları sonuçları ile Kaya Mekaniği malzeme özellikleri ve şişme davranışları arasındaki ilişkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.10. XRD analizlerinden elde edilen sonuçlar

Numunenin alındığı bölge	K sınıfı	Numune No	Tanımlanan kil minerali
A1 pano (ara kesme)	K-1	A1/1	Nontronit, Kuvars, Mikroclin
	K-2	A1/2	Kaolinit, Nontronit, Kaolinit, Kuvars
	K-3	A1/3	Kaolinit, Dolomit, Nontronit
A2 pano (ara kesme)	K-1	A1/4	Kuvars, Kaolinit
	K-2	A2/5	Kaolinit, Montmorillonit, Sanidin
	K-2	A2/6	Nontronit, Kuvars, Kaolinit



Şekil 4.2. K-1 sınıfına ait tipik bir XRD analiz sonucu

#### 4.5. Şişme Deneyleri ve Şişme Davranışının Belirlenmesi

TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden ocağında üretim yapılan A2 uzunayak panosunun kazı arınında, halen hazırlık çalışmalarının yürütüldüğü A1 uzunayak panosunun kılavuz galeri arınında ve A6 panosunun malzeme galeri arınında ve kılavuz galeri arından temin edilen kil örnekleri üzerinde yapılan şişme deneyleri bu bölümde verilmiştir.

##### 4.5.1. Örneklerin temini ve şişme deneyleri için hazırlanması

Yeraltı maden ocağında üç ayrı panoda (A1, A2 ve A6) yapılan gözlemler neticesinde kömür damarı içerisinde konumlanan A, B, S ve C kilinden oluşan ara kesmeler ile yine kiltaşından oluşan tavan ve taban taşlarından örnekler alınmıştır. Kiltaş kaya malzemesi zayıf olduğu için alınan örneklerin büyük bir bölümü yaklaşık 10-15 cm boyutlarında küçük parça bloklardan oluşmuştur. Toplam 23 adet örneğin alındığı yerler Çizelge 4.11'de sunulmuştur. Bölüm 3'de belirtildiği üzere bu örneklerden hazırlanan suda dağılma dayanım deney sonuçları ( $I_{d2}$ , %) dikkate alınarak ortaya konan sınıflama burada da kullanılmış ve Çizelge 4.11'de belirtilmiştir.

Konya Teknik Üniversitesi-Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarına getirilen örnekler, şişme deneyi için hazırlanmalarında aşağıdaki aşamalara maruz kalmıştır.

- Örnekler bir bez torba içerisinde çekiç yardımıyla küçük parçalara ayrılmıştır.
- Parçalanmış örnekler tabii nemlerinden arındırılması için 105°C'de 4 saat boyunca kurutulmuştur.
- Kurutulan örnekler bilyalı değirmen yardımıyla yaklaşık 2 saat süre ile öğütülmüştür.
- Öğütülen malzeme 200 mesh elekten geçirilerek daha iri taneler tekrar öğütme işlemlerine maruz bırakılmıştır.
- -200 mesh altına indirilen malzeme daha sonra 105 °C'de 4 saat boyunca kurutulmuştur.
- Öğütülmüş ve kurutulmuş malzemedan orijinal numunenin yoğunluğuna ulaşmak için hesaplanan miktarda tartılan malzemedan, şişme deney örnek hazırlama aparatları yardımıyla 54 mm çaplı (D) ve 20 mm boyuna (L) sahip olacak şekilde preslenmiş ve şişme deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Orijinal numune yoğunluğuna ulaşmak amacı ile K-1 sınıfı için 21.7 kN/m<sup>3</sup>,

K-2 sınıfı için  $21.9 \text{ kN/m}^3$  ve K-3 sınıfı için  $22.3 \text{ kN/m}^3$  değerleri (Çizelge 4.2) dikkate alınmıştır.

- Deneysel düzeneğine düşey yönde konumlandırılan  $0.01 \text{ mm}$  hassasiyetli komparatör saati yardımıyla örnekteki şişme miktarları başlangıçta ilk 8-10 saat boyunca her 15-30 dakikada bir, daha sonraki süreçte ise ölçümler komparatör saatinden el ile kayıt edildiği için mesai saatleri arasında her 2-3 saatte bir yapılırken, mesai saatleri dışında 8-10 saat arası ile yapılmıştır.

**Çizelge 4.11.** Şişme deneyleri için yeraltı maden ocağından örneklerin alındığı yerler

Örnek kod adı	Örneğin alındığı bölge	Suda dağılıma dayanımı	Sınıflandırma
		$I_{d2}$ (%)	
A1/1	A1 Panosu - uzunayak üretim arını olacak kılavuz galeri içerisi-Ara kesme	0.14	K-1
A1/2		18.57	K-2
A1/3		97.34	K-3
A2/1	A2 Panosu – Uzun ayak arını –Ara kesme	0.14	K-1
A2/2		0.14	K-1
A2/3		0.14	K-1
A2/4		0.14	K-1
A2/5		0.14	K-1
A2/6		0.14	K-1
A2/7		0.14	K-1
A2/8		0.14	K-1
A2/9		97.34	K-3
A2/10		0.14	K-1
A6/1	A6 Panosu – Malzeme galeri arını-Taban taşı	18.57	K-2
A6/2		18.57	K-2
A6/3		18.57	K-2
A6/4		18.57	K-2
A6/5		62.08	K-2
A6/6		18.57	K-2
AO/1	Açık işletme ocağı-Tavan taşı	18.57	K-2
AO/2		18.57	K-2
AO/3		18.57	K-2
AO/4		18.57	K-2

#### 4.5.2. Şişme deneyleri

Bölüm 4.5.1’de verilen Çizelge 4.11’de belirtildiği üzere K-1, K2 ve K-3 olarak sınıflandırılan şişme deney örnekleri sırasıyla şişme davranışlarının belirlenmesi amacıyla şişme deneylerine maruz bırakılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler aşağıda sırası ile verilmiştir.

#### 4.5.2.1. K-1 sınıfı örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar

Yeraltı maden ocağının A1 ve A2 uzunayak panolarından temin edilen toplam 10 adet örneğin suda dağılma dayanım sonuçlarından ortalama  $I_{d2} = \% 0.14$  olduğu belirlenerek bu örnekler K-1 tanımlaması yapılmıştır.

K-1 sınıfındaki örnekler için tipik bir zaman-deformasyon davranışı, A2 uzun ayak panosundan alınan 3 no'lu örnek (A2/3) için Şekil 4.3'de verilmiştir. Sunulan grafikten görüldüğü üzere ilk 50 saatlik süreçte zamana bağlı şişme davranışı artarak devam etmiş ancak 50 inci saatten sonra şişme davranışının sonlandığı anlaşılmaktadır. Öğütülmüş malzemeden preslenerek hazırlanan silindir geometriye sahip örneğin boyu (L) 20 mm olduğu göz önüne alınarak mm boyutunda kayıt edilen deformasyon (u) değerleri örnek boyuna (L) yüzde olarak düşey birim deformasyon ( $\epsilon$ ) değerleri belirlenmiştir. Şekil 4.3'de verilen örnek (A2/3) ait zamana bağlı düşey birim deformasyon davranışı Şekil 4.4'de verilmiştir.

K-1 sınıfına giren tüm örneklerin zaman-deformasyon ve zaman-düşey birim deformasyon davranışları grafiksel olarak öncelikle hazırlanmıştır. Bu davranışların matematiksel olarak modellenmesi için bir seri istatistiksel analizler yapılmıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS v.17 paket programı kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel analizler neticesinde aşağıdaki matematiksel modelin hem zaman-deformasyon hem de zaman-düşey birim deformasyon davranışını açıklamakta başarılı olduğu belirlenmiştir.

$$u = C1 [1 - e^{-t/C2}] \quad (4.1)$$

$$\epsilon = C3 [1 - e^{-t/C4}] \quad (4.2)$$

Burada C1, C2, C3 ve C4 istatistiksel katsayılar, t zaman (saat), u deformasyon (mm) ve  $\epsilon$  düşey birim deformasyondur. Matematiksel model sonuçları Çizelge 4.12 ve 4.13'de sunulmuştur.

Her iki model yardımıyla belirlenen sonuçların zamana bağlı birinci ve ikinci türevleri ile hız ve ivme değerleri belirlenmiştir. Bu değerler yardımıyla şişme davranışının hangi zaman değerinde tamamlandığı belirlenmeye çalışılmıştır. Eşitlik 4.1'e ait birinci türev (hız) eşitliği ve aynı eşitliğin ikinci türevi (ivme) eşitlikleri aşağıda sunulmuştur.

$$du/dt = v = (C1/C2) e^{-t/C2} \quad (4.3)$$

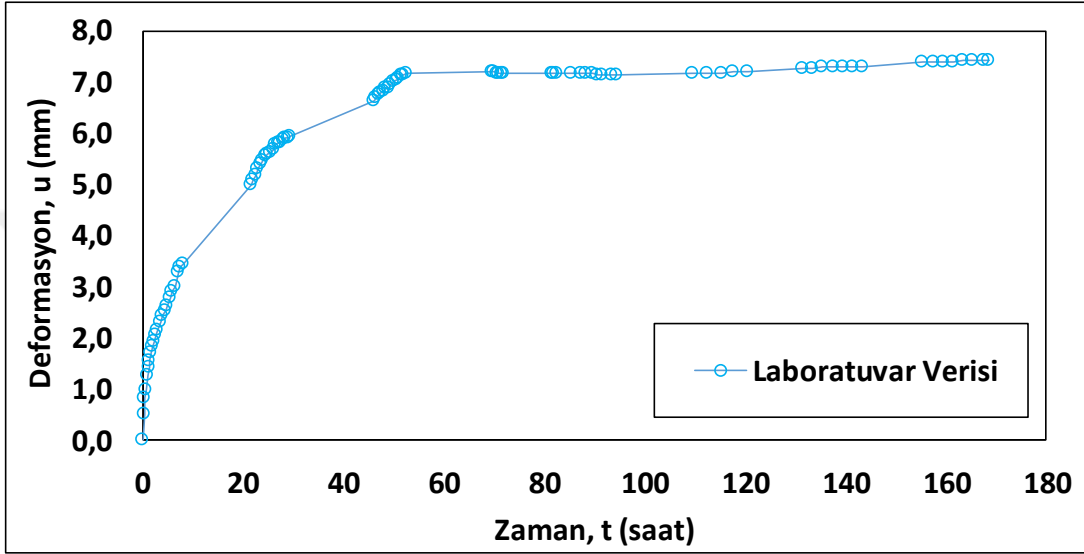


$$du/dt^2 = a = (-C_1/C_2^2) e^{(-t/C_2)} \quad (4.4)$$

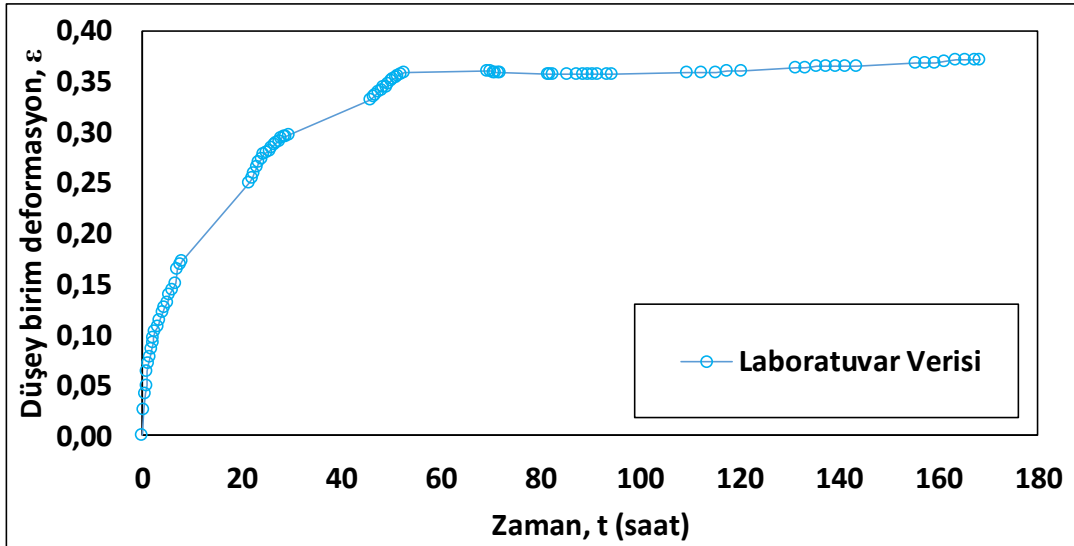
Eşitlik 4.2'ye ait birinci türev (hız) eşitliği ve aynı eşitliğin ikinci türevi (ivme) eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$du/dt = v = (C_3/C_4) e^{(-t/C_4)} \quad (4.5)$$

$$du/dt^2 = a = (-C_3/C_4^2) e^{(-t/C_4)} \quad (4.6)$$



Şekil 4.3. K-1 sınıfındaki örnekler için tipik bir zaman-deformasyon davranışı (A2/3)



Şekil 4.4. K-1 sınıfındaki örnekler için tipik bir zaman-düşey birim deformasyon davranışı (A2/3)

Şişme davranışına ait laboratuvar verisi ve matematiksel model verisi (Eşitlik 4.1) topluca Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7 sunulmuştur.

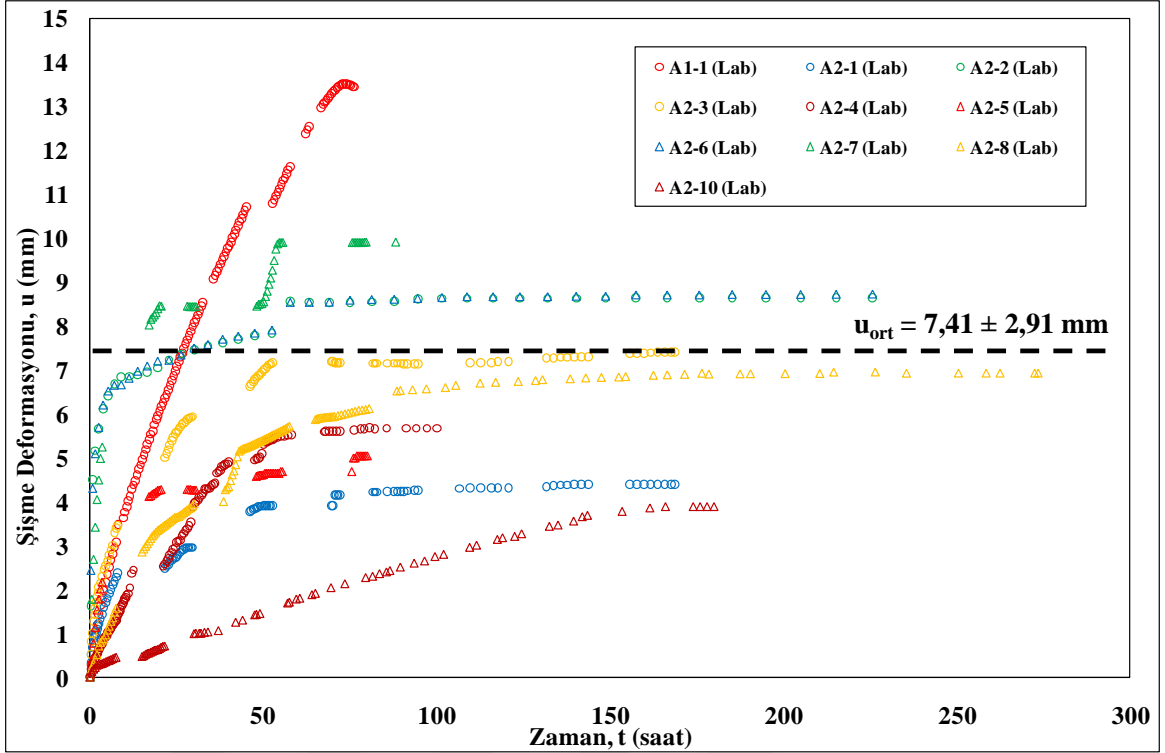
K-1 sınıfına giren 10 numune üzerinde gerçekleştirilen şişme deneylerinden elde edilen laboratuvar sonuçlarının topluca sunumu Şekil 4.5’de, gerçekleştirilen istatistiksel analizler sonucu belirlenen model sonuçları Şekil 4.6’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.7’de sadece model sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.5’de sunulan grafikten ortalama şişme değerinin K-1 sınıfı için 7.41 mm olduğu belirlenirken model sonuçlarına göre ortalama şişme değerinin 7.17 mm olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.12.** K-1 sınıfına giren örnekler için deformasyon, matematiksel model ve kritik dönüm nokta sonuçları

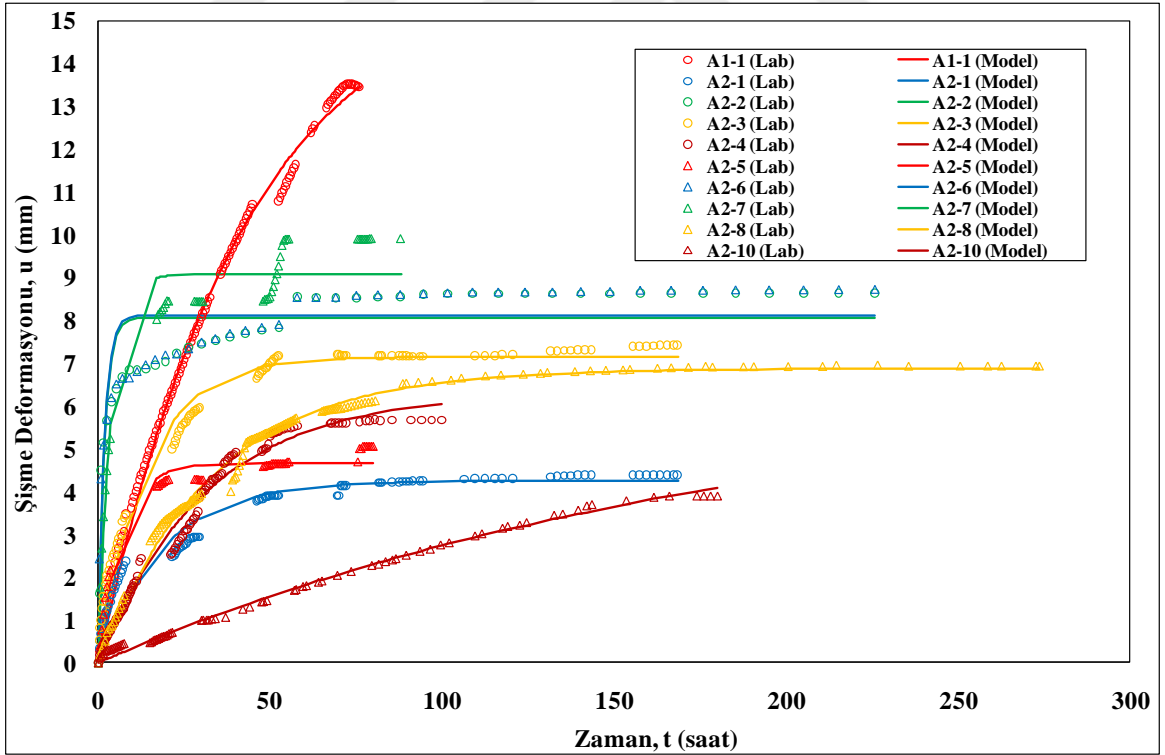
Örneğin alındığı yer	Kiltaşı Kodu	Toplam Deformasyon	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Kritik Dönüm Noktası	
		u (mm)				t (saat)	u (mm)
A1/1	K-1	13.45	16.13	42.26	1.00	20.00	6.08
A2/1	K-1	4.40	4.24	18.60	0.90	50.00	3.95
A2/2	K-1	8.64	8.05	1.76	0.84	11.25	8.04
A2/3	K-1	7.42	7.16	13.93	0.97	50.00	6.96
A2/4	K-1	5.66	6.29	31.26	0.99	58.00	5.31
A2/5	K-1	5.05	4.67	6.53	0.97	30.00	4.62
A2/6	K-1	8.73	8.10	1.75	0.82	11.25	8.09
A2/7	K-1	9.91	9.07	3.67	0.92	17.50	8.99
A2/8	K-1	6.93	6.87	32.78	0.99	105.50	6.60
A2/10	K-1	3.89	6.566	185.712	0.99	57.50	1.75
Ortalama		<b>7.41</b>				<b>41.1</b>	<b>6.04</b>

**Çizelge 4.13.** K-1 sınıfına giren örnekler için düşey birim deformasyon, matematiksel model ve kritik dönüm nokta sonuçları

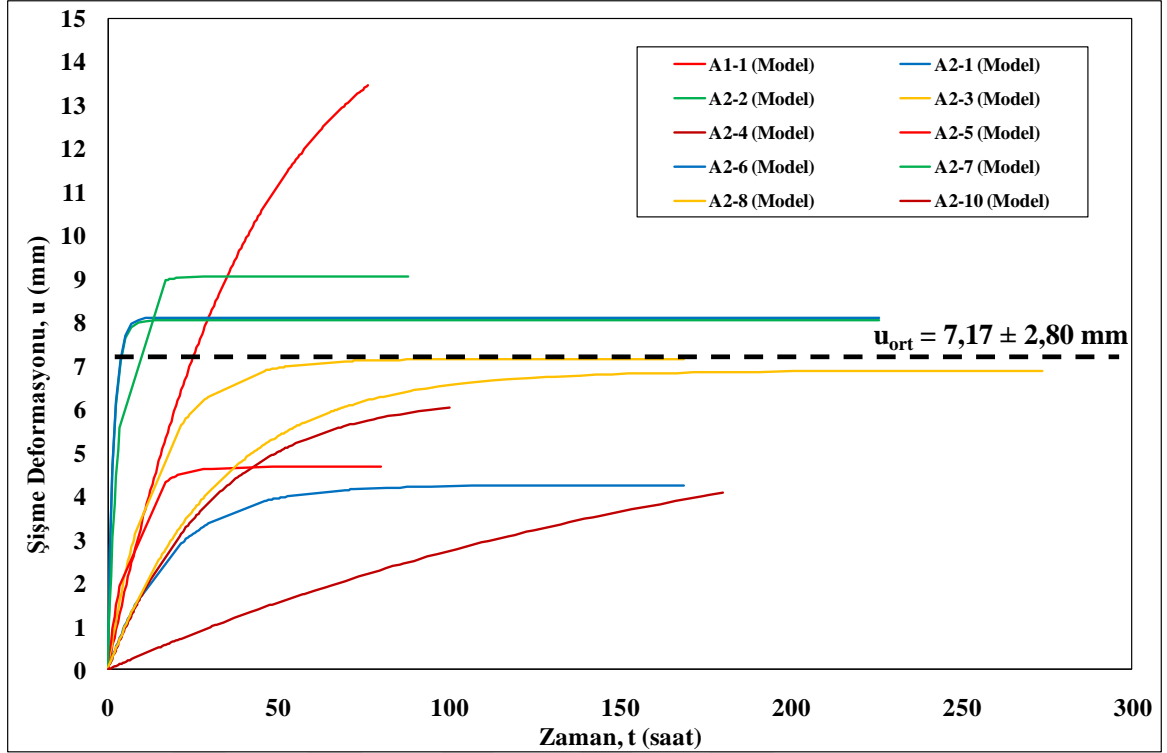
Örneğin alındığı yer	Kiltaşı Kodu	Düşey Birim Deformasyon	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	R <sup>2</sup>	Kritik Dönüm Noktası	
		ε (-)				t (saat)	ε (-)
A1/1	K-1	0.67	0.81	42.30	0.99	20.00	0.30
A2/1	K-1	0.22	0.21	18.60	0.90	50.00	0.20
A2/2	K-1	0.43	0.40	1.76	0.84	11.25	0.40
A2/3	K-1	0.37	0.36	13.93	0.97	50.00	0.35
A2/4	K-1	0.28	0.31	31.26	0.99	58.00	0.26
A2/5	K-1	0.25	0.23	6.53	0.97	30.00	0.23
A2/6	K-1	0.44	0.41	1.74	0.82	11.25	0.40
A2/7	K-1	0.50	0.45	3.67	0.92	17.50	0.45
A2/8	K-1	0.35	0.34	32.75	0.99	105.50	0.33
A2/10	K-1	0.2	0.328	185.712	0.99	57.50	0.09
Ortalama		<b>0.37</b>				<b>41.1</b>	<b>0.30</b>



Şekil 4.5. K-1 sınıfına giren numunelerin topluca şişme deney sonuçları

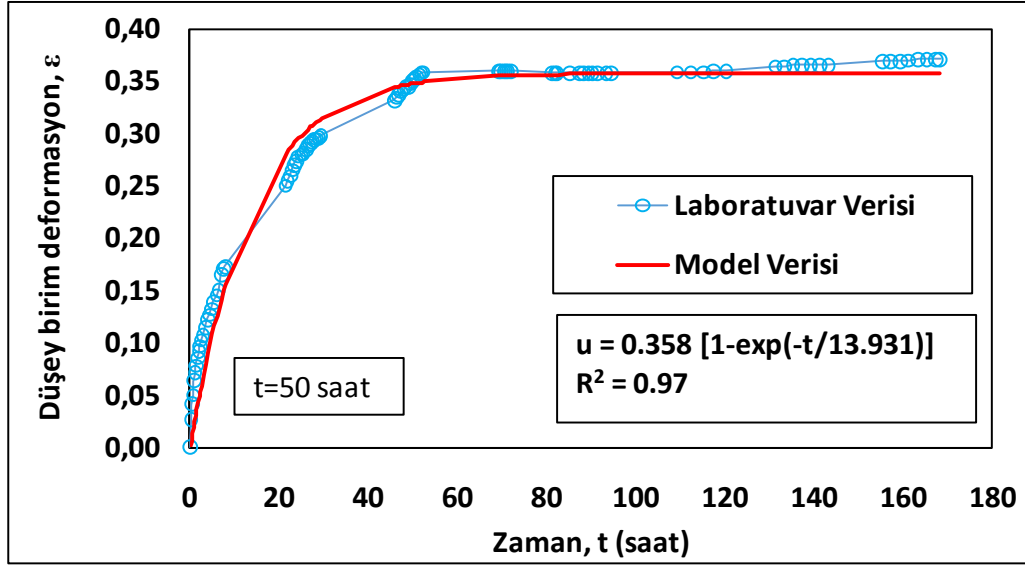


Şekil 4.6. K-1 sınıfına giren numunelerin topluca şişme deney ve model sonuçları

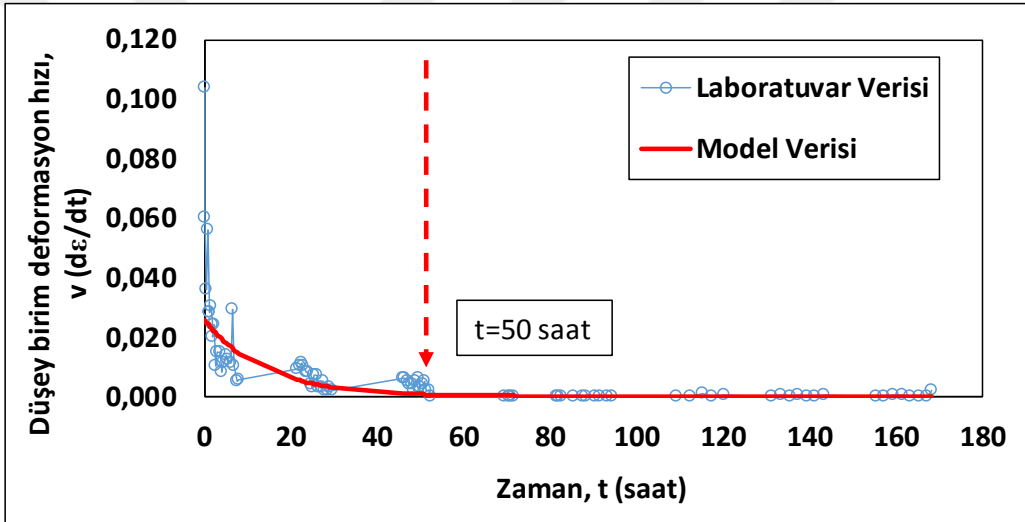


Şekil 4.7. K-1 sınıfına giren numunelerin topluca şişme model sonuçları

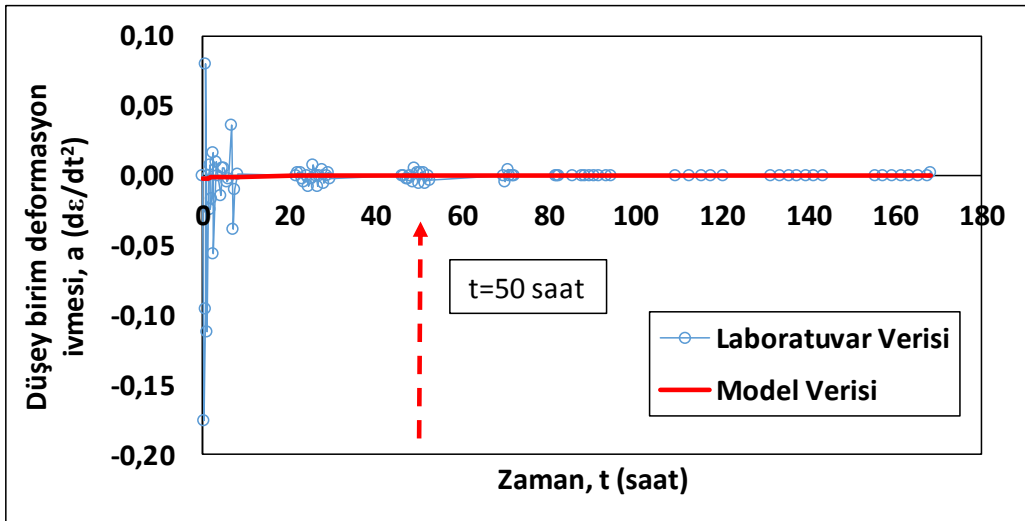
Düşey birim deformasyon davranışına ait matematiksel model (Eş. 4.2) sonucu ve buna bağlı hız ve ivme analizleri burada tipik birer örnek olarak A2/3 örneği için aşağıda hazırlanan grafikler üzerinde sunulmuştur (Şekil 4.8). Hız ve ivme grafiklerinden 50. saate kadar şişme sürecinin arttığı daha sonra deformasyon değerlerinin sabitlendiği anlaşılmaktadır. Bu durum EK-2’de verilen tüm K-1 sınıfına giren örnekler için belirlenmiştir. Eşitlik 4.2 kullanılarak ulaşılan tüm sonuçlar topluca Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’de sunulmuştur. Burada K-1 sınıfı için laboratuvar verisine göre ortalama düşey birim deformasyon değeri 0.37 olduğu belirlenirken model sonuçlarına göre ortalama düşey birim deformasyon değerinin 0.30 olduğu tespit edilmiştir.



a-Zaman-düsey birim deformasyon davranışı

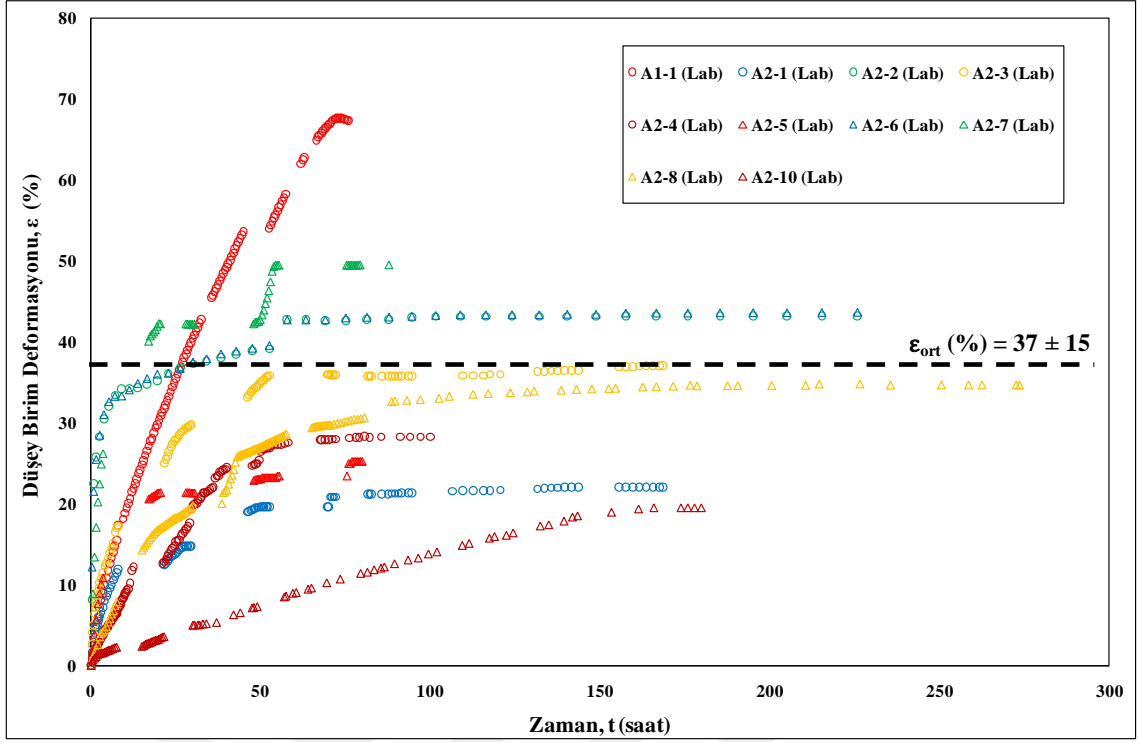


b-Zaman- düsey birim deformasyon hız davranışı

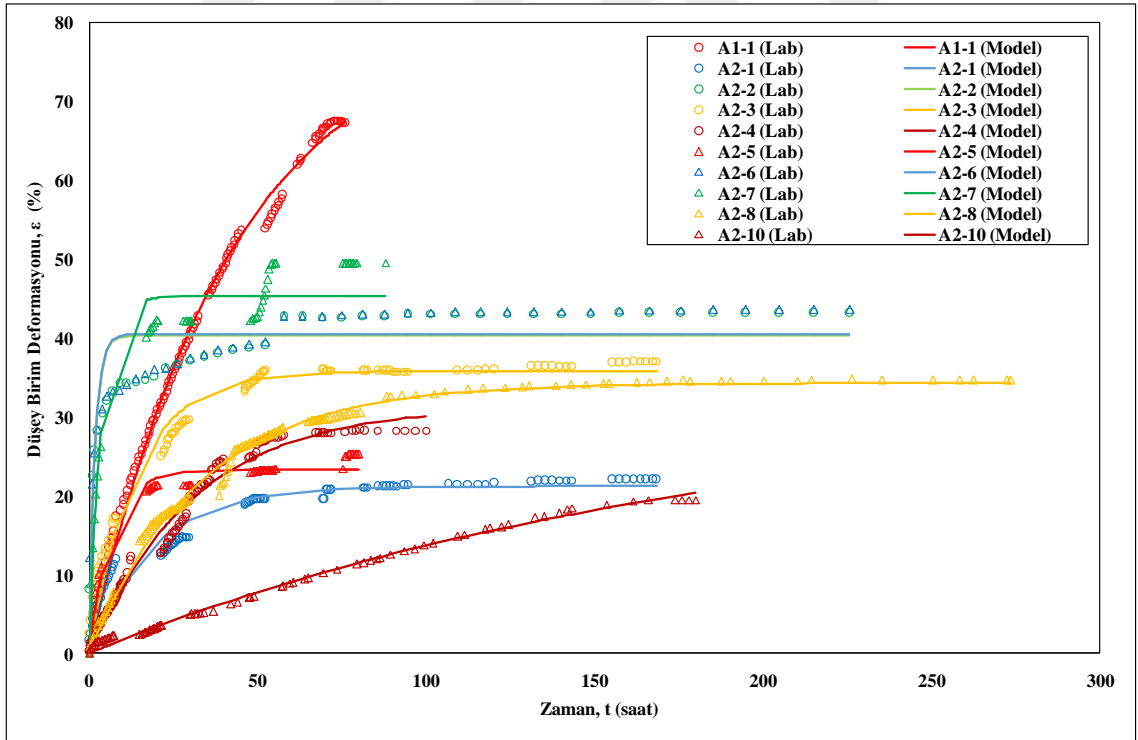


c-Zaman- düsey birim deformasyon ivme davranışı

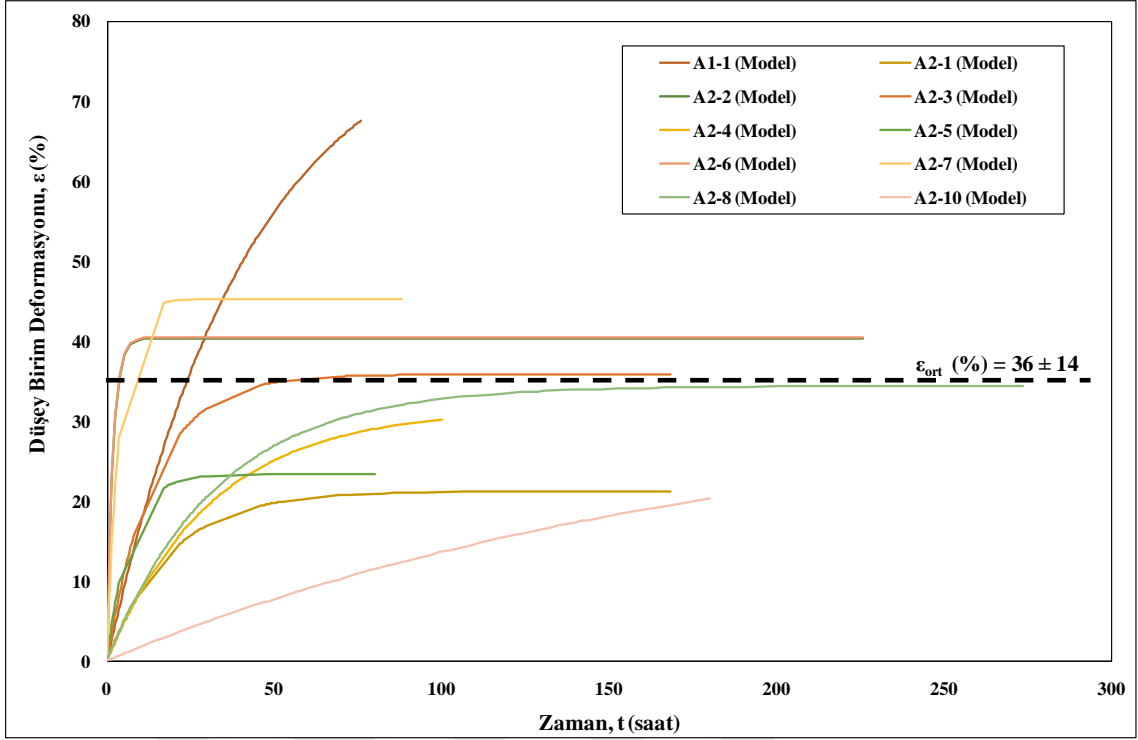
Şekil 4.8. K-1 sınıfa ait tipik bir örnek için düsey birim deformasyona dayalı matematiksel model sonuçları (Örnek:A2/3)



Şekil 4.9. K-1 sınıfına giren numunelerin tümüne ait şişme deney sonuçları



Şekil 4.10. K-1 sınıfına giren numunelerin tümüne ait şişme deney ve model sonuçları



Şekil 4.11. K-1 sınıfına giren numunelerin topluca şişme model sonuçları

K-1 sınıfına giren kil genel olarak ortalama şişme deformasyon değerinin 7.41 mm olduğu 41.1 saat içinde hemen hemen maksimum şişme seviyesine ulaştığı Çizelge 4.12'den anlaşılmaktadır (Şekil 4.5-4.7). Benzer şekilde Çizelge 4.13'den ortalama 41.1 saat içerisinde örnek boyunun %30'u kadar şiştiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.9-4.11).

Hazırlanan örneğin çapı (D) 54 mm boyunun (L) ise 20 mm olduğu dikkate alınırsa örnek yüzey alanı ( $A_{LAB}$ )  $22.9 \text{ cm}^2$ , örnek hacmi ( $V_{LAB}$ ) ise  $45.80 \text{ cm}^3$  olacaktır. Bu değerlere ortalama şişme deformasyon ( $u=7.41 \text{ mm}$ ) değeri bölünürse  $0.032 \text{ cm/cm}^2$  ( $u/A_{LAB}$ ) ve  $0.016 \text{ cm/cm}^3$  ( $u/V_{LAB}$ ) olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar maden ocağında şişme potansiyeli olan K-1 sınıfındaki kıltaşı bölgelerinde her bir  $1 \text{ cm}^2$ 'lik yüzeyin  $0.032 \text{ cm}$  veya her bir  $\text{cm}^3$ 'lük hacmin  $0.016 \text{ cm}$  şiştiğini ifade edecektir.

Yukarıda verilen açıklamalar sonucundan görüldüğü üzere, K-1 sınıfındaki kil malzemesinin uzunayak içerisindeki kazı dengesini bozacak büyüklükte şişme kapasitesine sahip olduğu bunun da saha gözlemleri ile teyit edildiği burada ifade edilebilir.

#### 4.5.2.2. K-2 sınıfı örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar

Yeraltı maden ocağının A1 ve A6 panoları ile açık ocaktan (AO) temin edilen toplam 11 adet örneğin suda dağılma dayanım sonuçlarından ortalama  $I_{d2} = \% 18.57$  olduğu belirlenerek bu örneklerle K-2 tanımlaması yapılmıştır. Bu tanıma giren 11 örnekten A6/2 burada tipik bir örnek olarak verilmiştir.

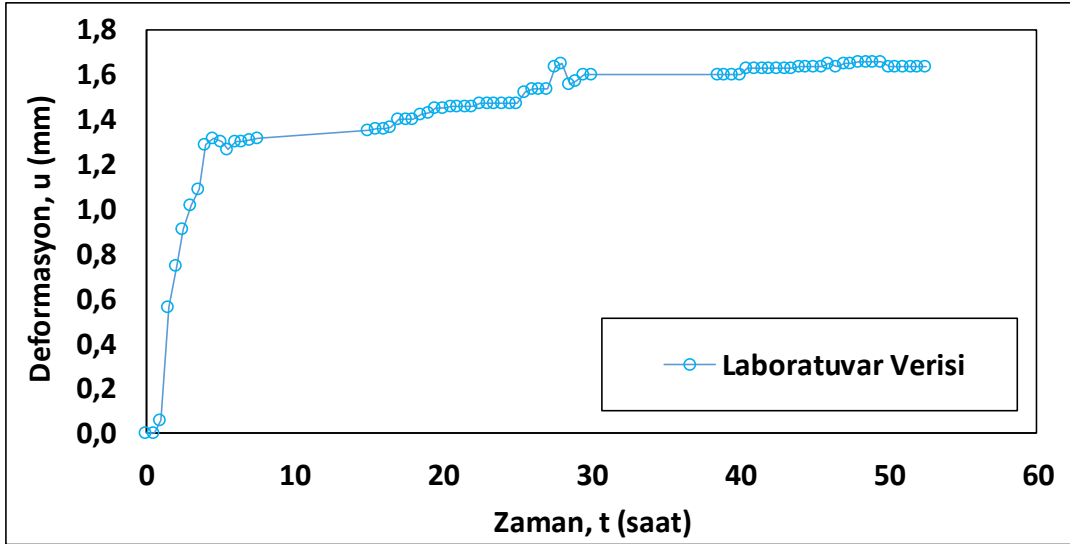
Öğütülmüş malzemeden preslenerek hazırlanan silindir geometriye sahip örneğin boyu (L) 20 mm olduğu göz önüne alınarak mm boyutunda kayıt edilen deformasyon (u) değerleri örnek boyuna (L) oranlanmış ve böylece düşey birim deformasyon ( $\epsilon$ ) değerleri belirlenmiştir. K-2 sınıfındaki örneklerle ait tipik bir zaman-deformasyon davranışı, A6 uzunayak panosundan alınan 2 nolu örnek (A6/2) için Şekil 4.12’de verilmiştir. Sunulan grafikten görüldüğü üzere ilk 15 saatlik süreçte zamana bağlı şişme davranışı artarak devam etmiş ancak 15 inci saatten sonra şişme davranışının sonlandığı anlaşılmaktadır (Şekil 4.13).

K-2 sınıfına giren tüm örneklerin zaman-deformasyon ve zaman-düşey birim deformasyon davranışlarını açıklayan tüm grafikler hazırlanmıştır. Bu davranışların matematiksel olarak modellenmesi için bir seri istatistiksel analizler yapılmıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS V.17 paket programı kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel analizler neticesinde Bölüm 4.5.2.1’de verilen Eşitlik 4.1 ve 4.2 verilen matematiksel modelin K-2 için de hem zaman-deformasyon hem de zaman-düşey birim deformasyon davranışını açıklamakta başarılı olduğu belirlenmiştir. Matematiksel model sonuçları Çizelge 4.14 ve 4.15’de sunulmuştur.

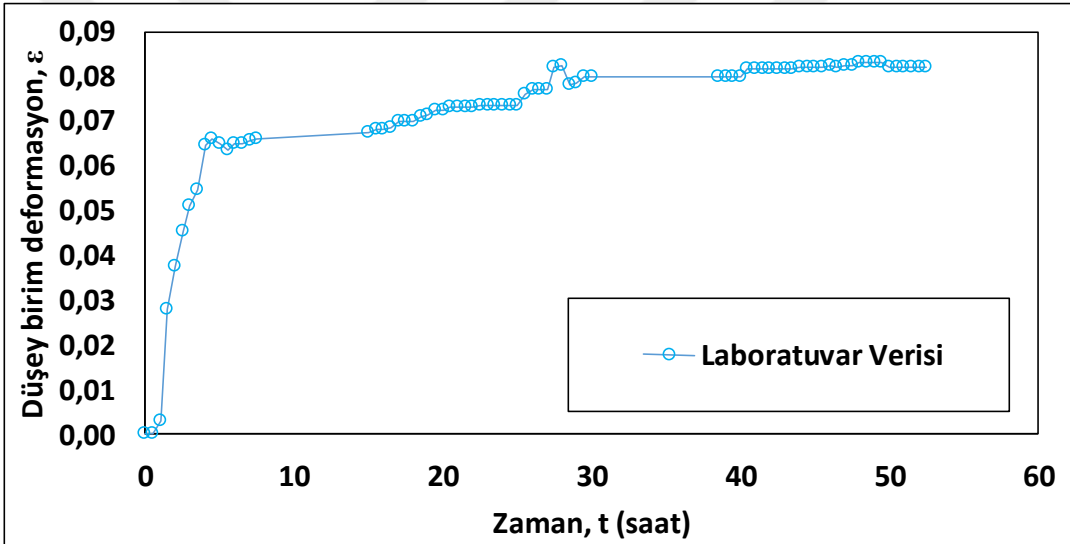
Şişme davranışına ait laboratuvar verisi ve matematiksel model verisi (Eşitlik 4.1) topluca Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16’da sunulmuştur.

K-2 sınıfına giren 11 numune üzerinde gerçekleştirilen şişme deneylerinden elde edilen laboratuvar sonuçlarının topluca sunumu Şekil 4.14’de, gerçekleştirilen istatistiksel analizler sonucu belirlenen model sonuçları Şekil 4.15 de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.16 da sadece model sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.14 de sunulan grafikten ortalama şişme değerinin K-2 sınıfı için 0.98 mm olduğu belirlenirken model sonuçlarına göre ortalama şişme değerinin 0.92 mm olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 4.12. K-2 sınıfındaki örnekler için tipik bir zaman-deformasyon davranışı (A6/2)



Şekil 4.13. K-2 sınıfındaki örnekler için tipik bir zaman-düşey birim deformasyon davranışı (A6/2)

Düşey birim deformasyonuna ait matematiksel model (Eş. 4.2) sonucu ve buna bağlı gerçekleştirilen hız ve ivme analizleri tipik birer örnek olarak A6/2 örneği için hazırlanan grafikler Şekil 4.17'de sunulmuştur. Hız ve ivme grafiklerinden 15. saate kadar şişme sürecinin arttığı daha sonra deformasyon değerlerinin sabitlendiği anlaşılmaktadır. Bu durum EK-3'de verilen tüm K-2 sınıfına giren örnekler için belirlenmiştir. Eşitlik 4.2 kullanılarak ulaşılan tüm sonuçlar topluca Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'e sunulmuştur. Burada K-2 sınıfı için laboratuvar verisine göre ortalama düşey birim deformasyon değeri 0.049 iken model sonuçlarına göre ortalama düşey birim deformasyon değeri 0.043 olduğu tespit edilmiştir.

K-2 sınıfına giren kil malzemelerinin genel olarak ortalama şişme deformasyon değerinin 0.98 mm olduğu 25.92 saat içinde hemen hemen maksimum şişme seviyesine ulaştığı Çizelge 4.14'den anlaşılmaktadır. Benzer şekilde Çizelge 4.15'den ortalama 25.92 saat içerisinde örnek boyunun % 4.3'ü kadar şiştiği anlaşılmaktadır.

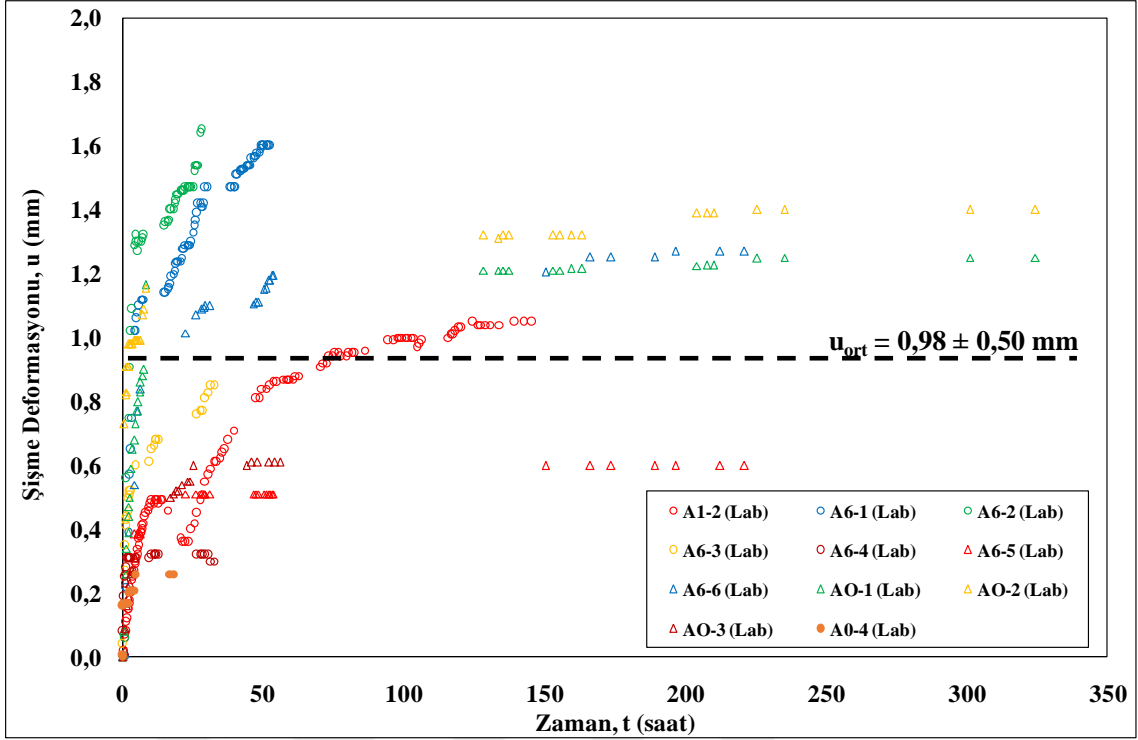
Çap (D) değeri 54 mm, boy (L) değeri 20 mm olan deney örneğinin yüzey alanı ( $A_{LAB}$ ) 22.9 cm<sup>2</sup>, örnek hacmi ( $V_{LAB}$ ) ise 45.80 cm<sup>3</sup> olarak kayıt edilmiştir. Çizelge 4.14'de verilen ortalama şişme değeri ( $u = 0.98$ mm) alan ve hacim değerlerine oranlanarak sırası ile 0.0043 cm/cm<sup>2</sup> ( $u/A_{LAB}$ ) ve 0.0021 cm/cm<sup>3</sup> ( $u/V_{LAB}$ ) olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar maden ocağında şişme potansiyeli olan K-2 sınıfındaki kıltaşı bölgelerinde her bir 1 cm<sup>2</sup>'lik yüzeyin 0.0043 cm veya her bir cm<sup>3</sup>'lük hacmin 0.0021 cm şiştiğini ifade edecektir.

**Çizelge 4.14.** K-2 sınıfına giren örnekler için deformasyon, matematiksel model ve kritik dönüm nokta sonuçları

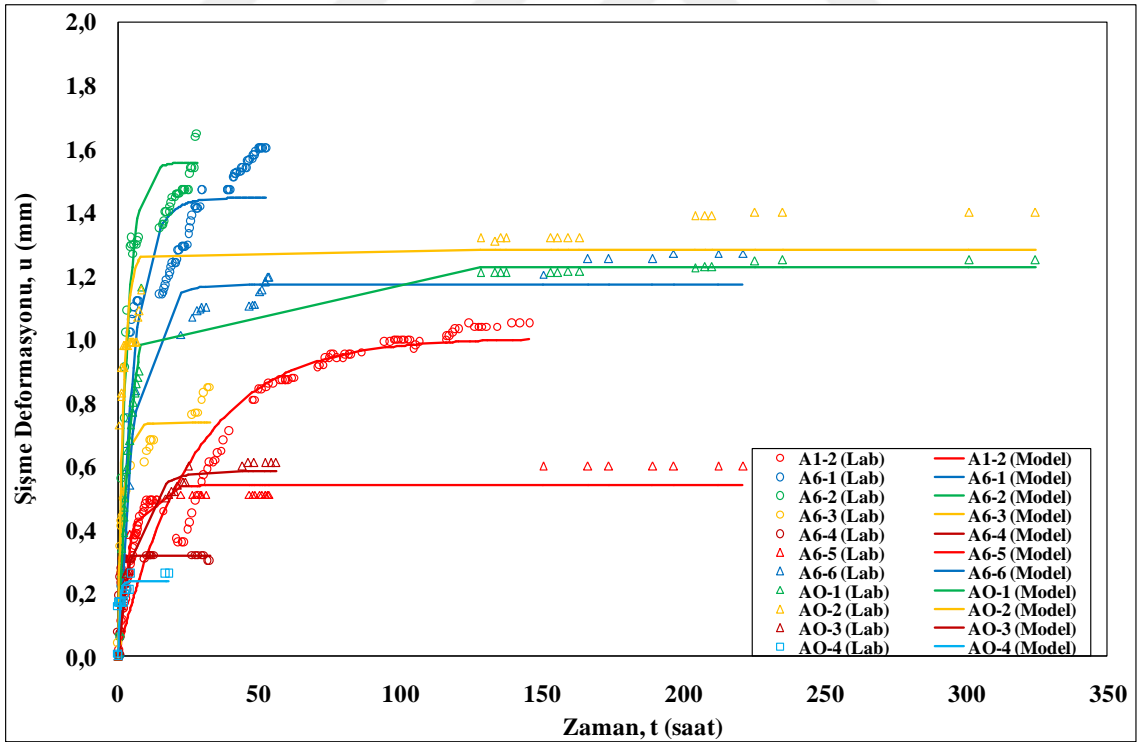
Örneğin alındığı yer	Kıltaşı Kodu	Toplam Deformasyon u (mm)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Kritik Dönüm Noktası	
						t (saat)	u (mm)
A1/2	K-2	1.05	1.004	26.996	0.91	51.00	0.85
A6/1	K-2	1.6	1.446	5.543	0.88	15.00	1.35
A6/2	K-2	1.64	1.558	3.223	0.91	15.00	1.54
A6/3	K-2	0.85	0.736	1.984	0.93	4.5	0.66
A6/4	K-2	0.30	0.316	0.626	0.99	4.5	0.32
A6/5	K-2	0.6	0.539	4.062	0.93	22.30	0.54
A6/6	K-2	1.27	1.172	5.824	0.96	22.30	1.15
AO/1	K-2	1.25	1.228	5.063	0.99	133.40	1.23
AO/2	K-2	1.4	1.282	2.015	0.82	8.15	1.26
AO/3	K-2	0.61	0.583	6.21	0.96	4.5	0.30
AO/4	K-2	0.26	0.236	0.641	0.79	4.5	0.24
Ortalama		0.98				25.92	0.85

**Çizelge 4.15.** K-2 sınıfına giren örnekler için düşey birim deformasyon, matematiksel model ve kritik dönüm nokta sonuçları

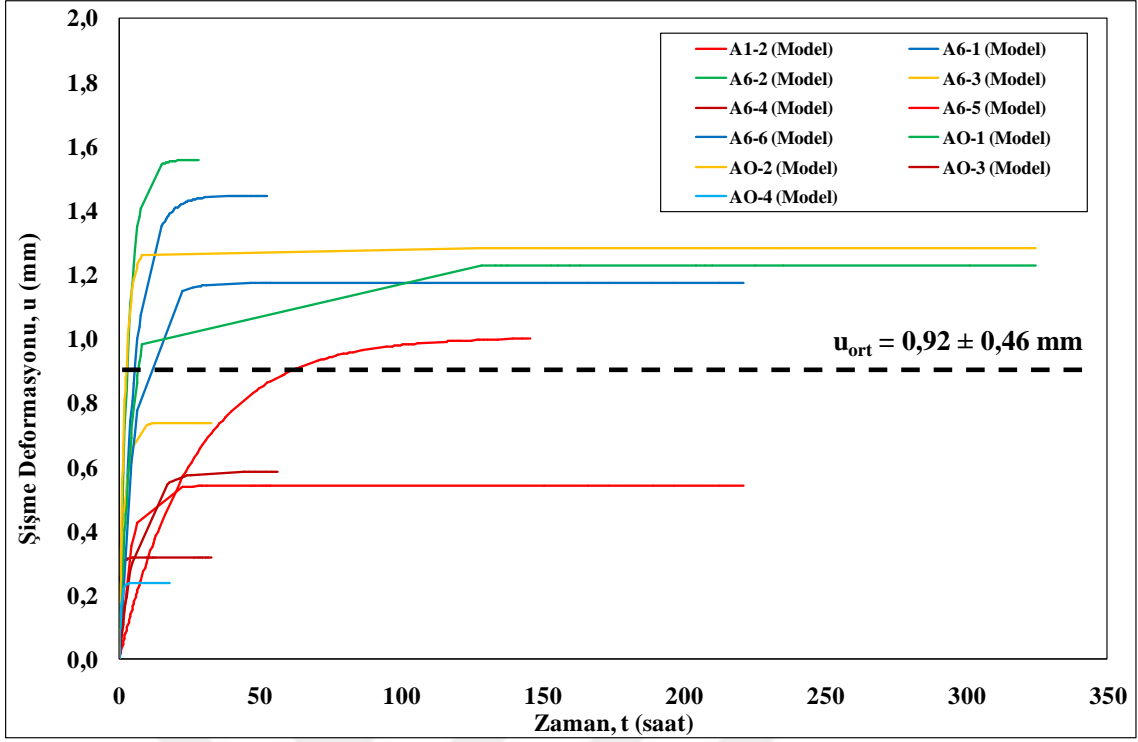
Örneğin alındığı yer	Kıltaşı Kodu	Düşey Birim Deformasyon ε (-)	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	R <sup>2</sup>	Kritik Dönüm Noktası	
						t (saat)	ε (-)
A1/2	K-2	0.050	0.050	29.147	0.90	51.00	0.040
A6/1	K-2	0.080	0.072	5.453	0.88	15.00	0.070
A6/2	K-2	0.082	0.078	3.223	0.91	15.00	0.080
A6/3	K-2	0.043	0.037	1.984	0.93	4.5	0.03
A6/4	K-2	0.015	0.016	0.626	0.99	4.5	0.016
A6/5	K-2	0.03	0.027	4.18	0.932	22.30	0.030
A6/6	K-2	0.064	0.059	5.831	0.931	22.30	0.060
AO/1	K-2	0.063	0.061	5.056	0.99	133.40	0.060
AO/2	K-2	0.070	0.064	2.014	0.82	8.15	0.060
AO/3	K-2	0.031	0.029	6.21	0.96	4.5	0.016
AO/4	K-2	0.013	0.012	0.641	0.79	4.5	0.013
Ortalama		0.049				25.92	0.043



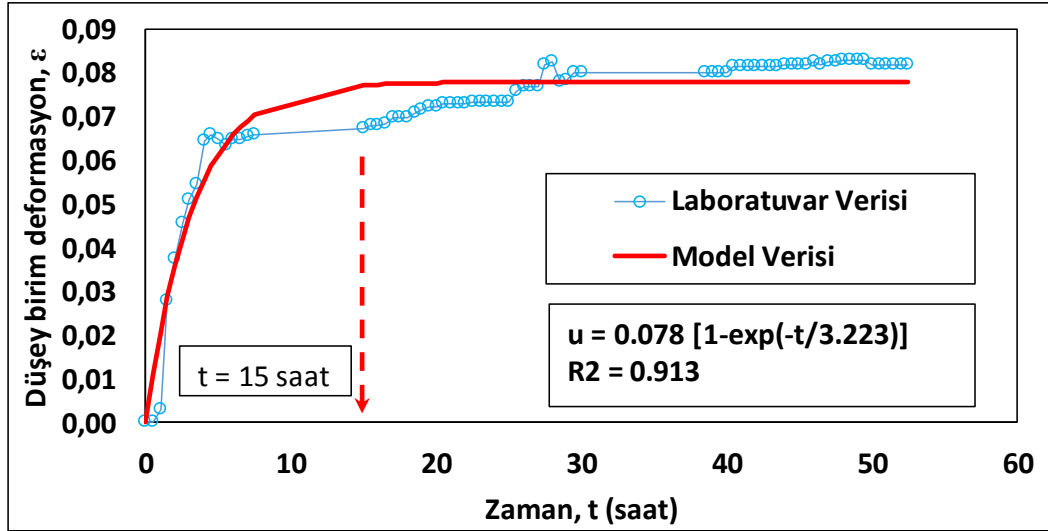
Şekil 4.14. K-2 sınıfına giren numunelerin topluca şişme deney sonuçları



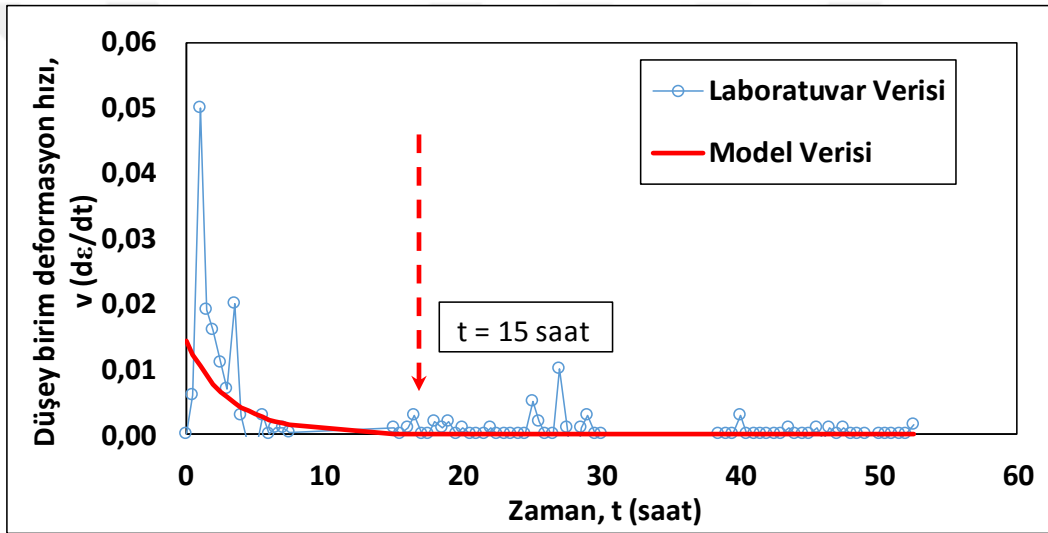
Şekil 4.15. K-2 sınıfına giren numunelerin topluca şişme deney ve model sonuçları



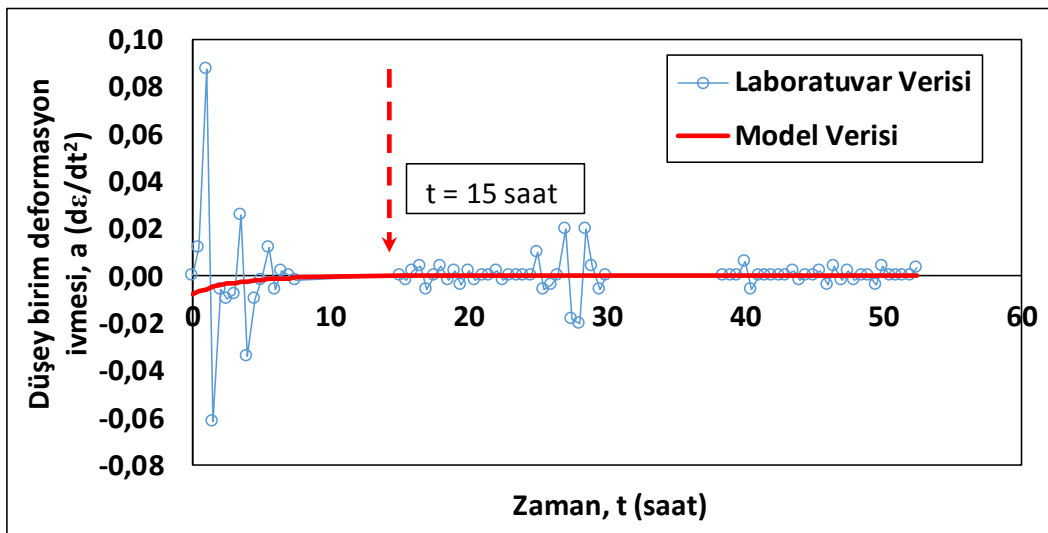
Şekil 4.16. K-2 sınıfına giren numunelerin topluca şişme model sonuçları



a-Zaman-düşey birim deformasyon davranışı

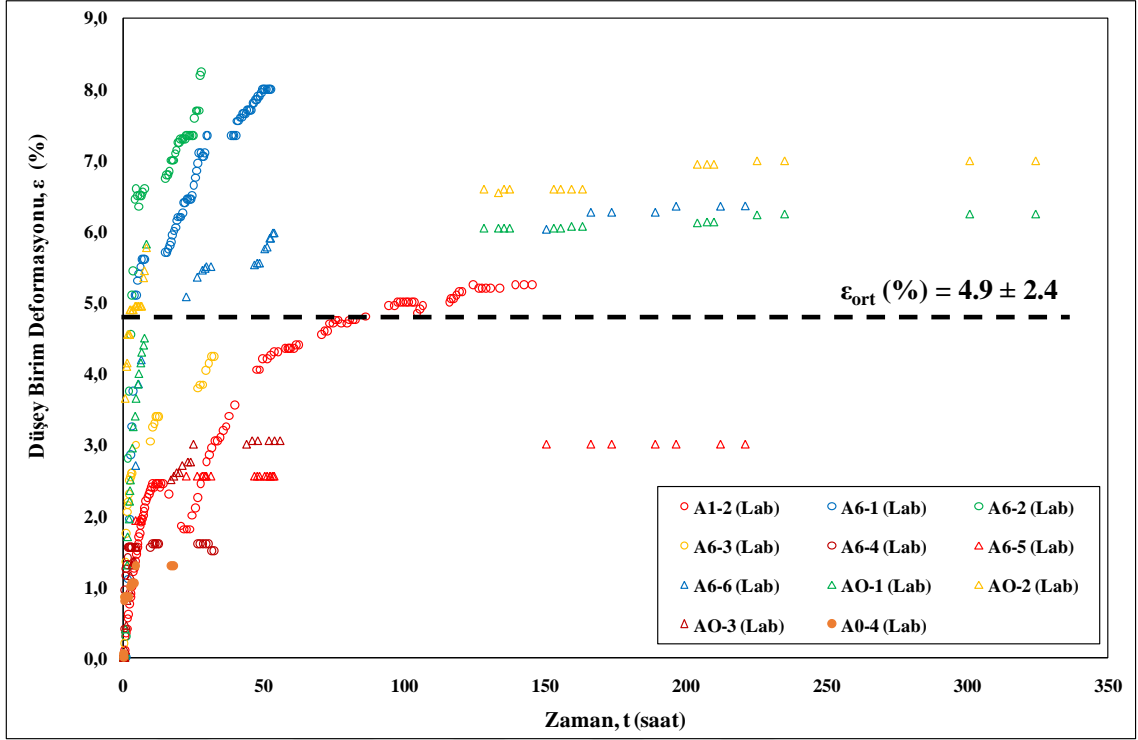


b-Zaman- düşey birim deformasyon hız davranışı

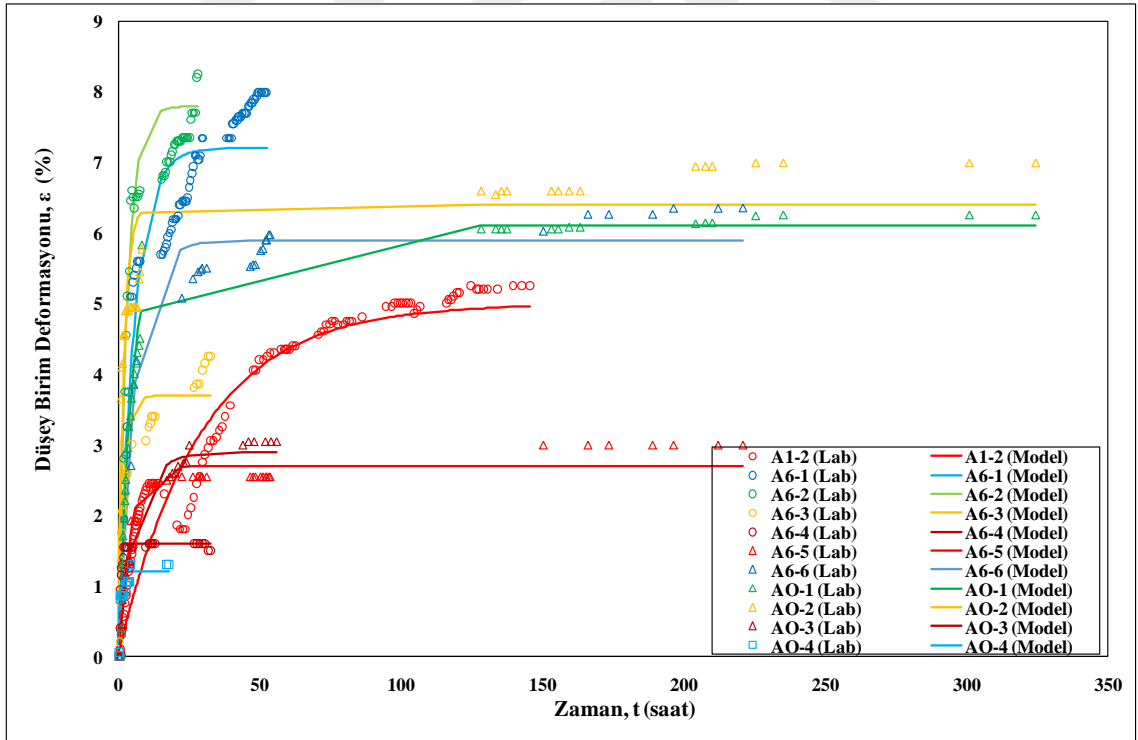


c-Zaman- düşey birim deformasyon ivme davranışı

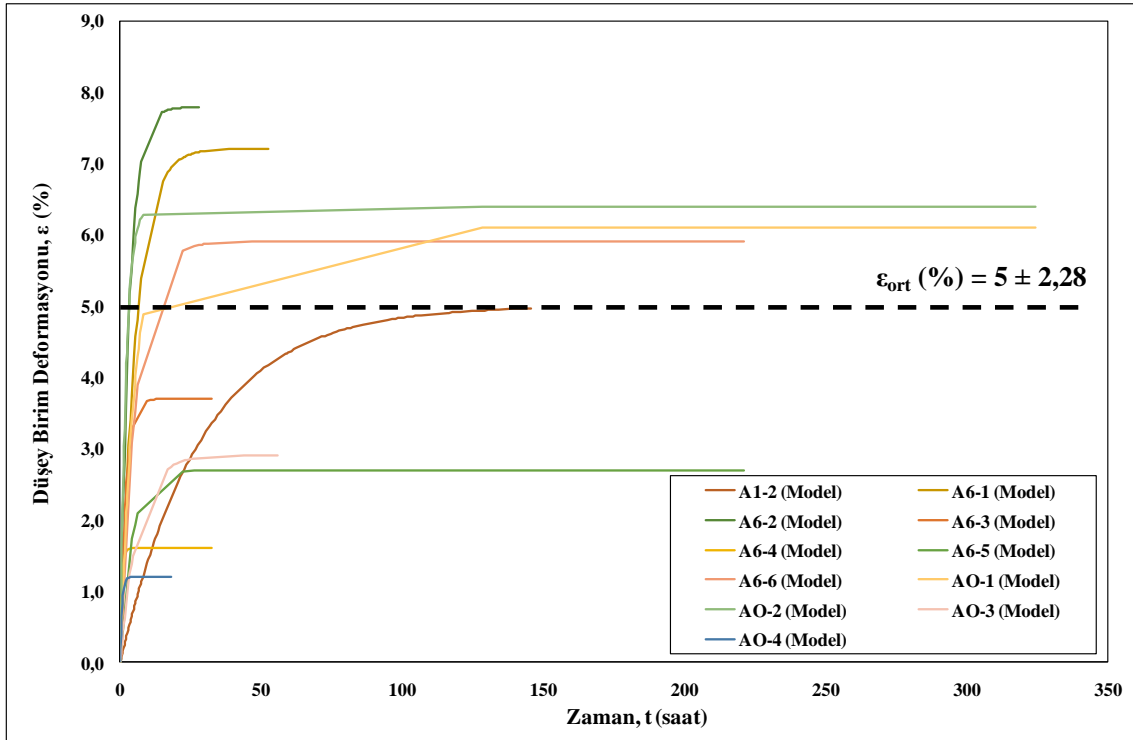
Şekil 4.17. K-2 sınıfa ait tipik bir örnek için düşey birim deformasyona dayalı matematiksel model sonuçları (Örnek: A6/2)



Şekil 4.18. K-2 sınıfına giren numunelerin topluca şişme deney sonuçları



Şekil 4.19. K-2 sınıfına giren numunelerin topluca şişme deney ve model sonuçları



Şekil 4.20. K-2 sınıfına giren numunelerin topluca şişme model sonuçları

K-2 sınıfındaki kiltaşımın uzunayak içerisindeki kazı ve tahkimat dengesini bozacak büyüklükte şişme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum saha gözlemleri ile örtüşmektedir.

#### 4.5.2.3. K-3 sınıfı örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar

Yeraltı maden ocağının A1 ve A2 panolarından temin edilen toplam 2 adet örneğin suda dağılma dayanım sonuçlarından ortalama  $I_{d2} = \% 93.58$  olduğu belirlenerek bu örneklerle K-3 tanımlaması yapılmıştır. Bu tanıma giren 2 örnekten her ikisinde de her hangi bir şişme davranışı görülmemiştir.

#### 4.5.3. Şişme deney sonuçlarına dayalı genel değerlendirme

TKİ Ömerler yeraltı ocağında kömür damarı içinde konumlanan ara kesmeler, tavan ve taban taşıını oluşturan kiltaşım, aslında aynı anda K-1, K-2 ve K-3 sınıfındaki kil taşlarının karışımından oluşmaktadır. Örneğin kömür damarı içinde yaklaşık 25 cm kalınlığında konumlanan A ara kesme içerisine yapılan gözlemde K-1, K-2 ve K-3 sınıfı

kili iç içe girmiş vaziyette görülebilmektedir. Örnekleme yapılırken her sınıf kil ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Ancak XRD sonuçları ve sahadaki gözlemlere dayanarak elde edilen deney sonuçlarının genel bir ortalaması alınmaya çalışılmıştır. Aşağıdaki çizelgede tüm deney sonuçları topluca verilerek ortalama değerleri belirlenmiştir.

K-1, K-2 ve K-3 sınıfına giren kil malzemelerinin genel olarak ortalama şişme deformasyon değerinin 4.04 mm olduğu 33.15 saat içinde hemen hemen maksimum şişme seviyesine ulaştığı Çizelge 4.16'den anlaşılmaktadır. Benzer şekilde Çizelge 4.17'den ortalama 33.15 saat içerisinde örnek boyunun deneysel verilere göre %20'si kadar şiştiği anlaşılmaktadır.

**Çizelge 4.16.** K-1, K-2 ve K-3 sınıfına giren örnekler için genel deformasyon, matematiksel model ve kritik dönüm nokta sonuçları

Örneğin alındığı yer	Kil Kodu	Toplam Deformasyon		Kritik Dönüm Noktası			
		u (mm)	u (mm)	t (saat)	t (saat)	u (mm)	u (mm)
A1/1	K-1	13.45	7.41	20.00	41.1	6.08	6.04
A2/1		4.40		50.00		3.95	
A2/2		8.64		11.25		8.04	
A2/3		7.42		50.00		6.96	
A2/4		5.66		58.00		5.31	
A2/5		5.05		30.00		4.62	
A2/6		8.73		11.25		8.09	
A2/7		9.91		17.50		8.99	
A2/8		6.93		105.50		6.60	
A2/10		3.89		57.50		1.75	
A1/2	K-2	1.05	0.98	51.00	25.92	0.85	0.85
A6/1		1.6		15.00		1.35	
A6/2		1.64		15.00		1.54	
A6/3		0.85		4.5		0.6	
A6/4		0.30		4.5		0.31	
A6/5		0.6		22.30		0.54	
A6/6		1.27		22.30		1.15	
AO/1		1.25		133.40		1.23	
AO/2		1.4		8.15		1.26	
AO/3		0.61		4.5		0.31	
AO/4	0.24	4.5	0.24				
A1/3	K-3	0	0	0	0	0	0
A2/9		0		0		0	
Ortalama		4.04±3.84		33.15±34.33		3.32±3.05	



**Çizelge 4.17.** K-1, K-2 ve K-3 sınıfına giren örnekler için genel düşey birim deformasyon, matematiksel model ve kritik dönüm nokta sonuçları

Örneğin alındığı yer	Kiltaşı Kodu	Düşey Birim Deformasyon		Kritik Dönüm Noktası			
		$\varepsilon$ (-)	$\varepsilon$ (-)	t (saat)	t (saat)	$\varepsilon$ (-)	$\varepsilon$ (-)
A1/1	K-1	0.67	0.37	20.00	41.1	0.30	0.30
A2/1		0.22		50.00		0.20	
A2/2		0.43		11.25		0.40	
A2/3		0.37		50.00		0.35	
A2/4		0.28		58.00		0.26	
A2/5		0.25		30.00		0.23	
A2/6		0.44		11.25		0.40	
A2/7		0.50		17.50		0.45	
A2/8		0.35		105.50		0.33	
A2/10		0.195		57.50		0.09	
A1/2	K-2	0.050	0.049	51.00	25.92	0.04	0.043
A6/1		0.080		15.00		0.07	
A6/2		0.082		15.00		0.08	
A6/3		0.043		4.5		0.03	
A6/4		0.015		4.5		0.016	
A6/5		0.03		22.30		0.03	
A6/6		0.064		22.30		0.06	
AO/1		0.063		133.40		0.06	
AO/2		0.070		8.15		0.06	
AO/3		0.031		4.5		0.016	
AO/4	0.013	4.5	0.013				
A1/3	K-3	0	0	0	0	0	0
A2/9		0		0		0	
Ortalama		0.20±0.19		33.15±34.33		0.17±0.14	

Çap (D) değeri 54 mm, boy (L) değeri 20 mm olan deney örneğinin yüzey alanı ( $A_{LAB}$ ) 22.9 cm<sup>2</sup>, örnek hacmi ( $V_{LAB}$ ) ise 45.80 cm<sup>3</sup> olarak kayıt edilmiştir. Çizelge 4.18’de verilen ortalama şişme değeri ( $u = 4.04$  mm) alan ve hacim değerlerine oranlandığında sırası ile 0.018 cm/cm<sup>2</sup> ( $u/A_{LAB}$ ) ve 0.0088 cm/cm<sup>3</sup> ( $u/V_{LAB}$ ) değerlerine ulaşılabilir. Bu sonuçlar maden ocağında şişme potansiyeli olan kiltaşı bölgelerinde her bir 1 cm<sup>2</sup>’lik yüzeyin 0.018 cm veya her bir cm<sup>3</sup>’lük hacmin 0.0088 cm şiştiğini ifade edecektir.

Maden ocağında karşılaşılan kiltaşının uzun ayak içerisindeki kazı ve tahkimat dengesini bozabilecek şişme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiş ve bu durum saha gözlemleri ile örtüşmüştür.

Şişme deney sonuçları ile bu bölümde verilen Kaya Mekaniği deney sonuçları eşleştirilmeye çalışılmıştır. Sahada genel olarak yapılan nokta yükleme dayanımı ve Schmidt sertlik indeks deneyleri yanında laboratuvarında gerçekleştirilen Kaya Mekaniği

deney sonuçları dikkate alınmıştır. K-1, K-2 ve K-3 sınıfına giren deneysel sonuçların ortalama değerleri alınarak Çizelge 4.18 hazırlanmıştır.

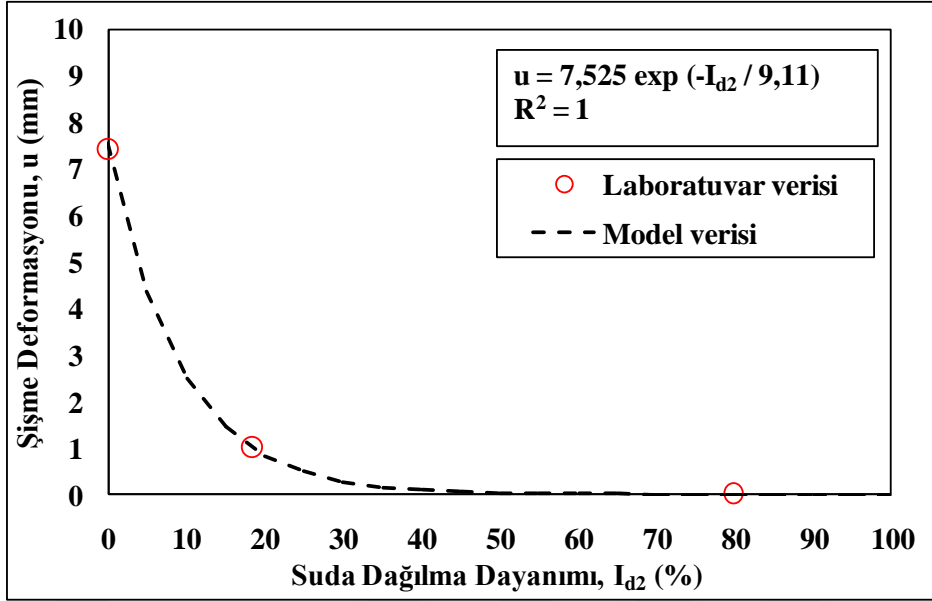
Çizelge 4.18’de belirtilen kaya mekaniği parametreleri arasında ilişkileri belirlemek amacıyla bir seri istatistiksel analiz yapılmıştır. Analizlerde SPSS V17 istatistik programı kullanılmıştır. Elde edilen ilişkileri gösteren grafikler sırası ile Şekil 4.21 - Şekil 4.34’da sunulmuştur. İstatistiksel analizlerden elde edilen matematiksel eşitlikler her bir grafik üzerinde ayrı ayrı verilmiş ayrıca topluca Çizelge 4.19’da sunulmuştur.

**Çizelge 4.18.** Yapılan deneylerin karşılaştırılması

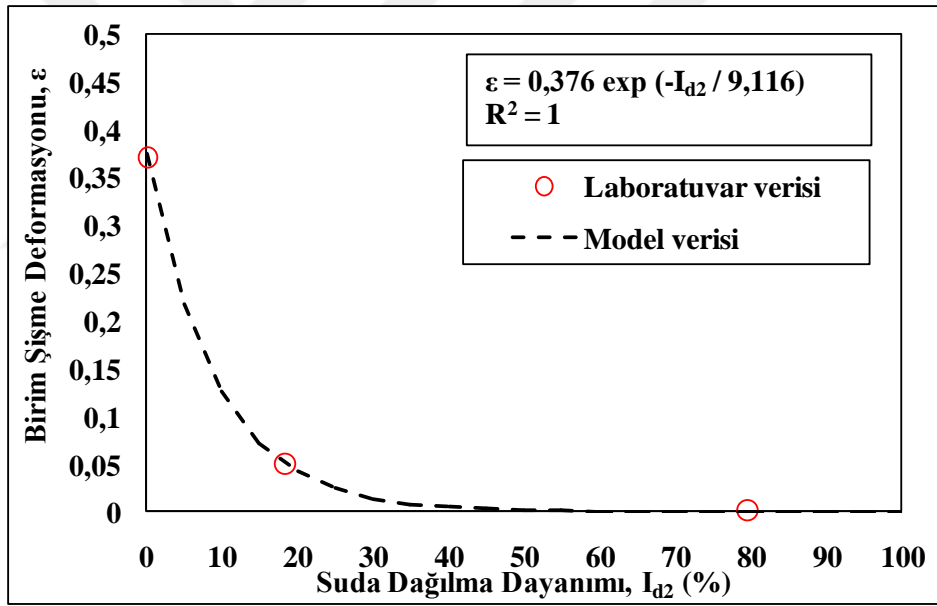
Parametre	Sembol	Birim	K-1	K-2	K-3
Şişme Deformasyonu	u	mm	7.41±2.91	0.98±0.50	0
Birim Şişme Deformasyonu	$\epsilon$	-	0.37±0.15	0.049±0.025	0
Yoğunluk	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	21.7±4	21.9	22.3±2.28
Suda Dağılma Dayanımı	I <sub>d2</sub>	%	0.14±0.09	18.57	93.58±12.81
Nokta Yükleme Dayanımı	I <sub>s(50)</sub>	MPa	0.21	0.85±0.47	1.13±0.45
Tek Eksenli Basma Dayanımı	$\sigma_c$	MPa	0.92*	5.815*	8.465±2.44
Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian)	$\sigma_t$	MPa	-	-	8.61±0.42
Elastik Modulu	E	GPa	-	-	0.386
Poisson Oranı	$\nu$	-	-	-	0.199

\*Bu değerler nokta yükleme deney sonuçlarından görgül yaklaşımlar ile elde edilmiştir.

Şekil 4.21 de görüldüğü üzere suda dağılma dayanım sonuçları ile şişme deformasyonu arasında azalan exporansiyel bir davranış olduğu görülmektedir. Suda dağılma dayanım sonuçları azaldıkça şişme deformasyon değerinin arttığı buna karşın özellikle suda dağılma dayanımı sonucu I<sub>d2</sub> >70 olması durumunda şişme davranışının gözlenmediği anlaşılmaktadır. Benzer davranış suda dağılma dayanımı ile birim şişme deformasyonu arasında da görülmektedir (Şekil 4.22).

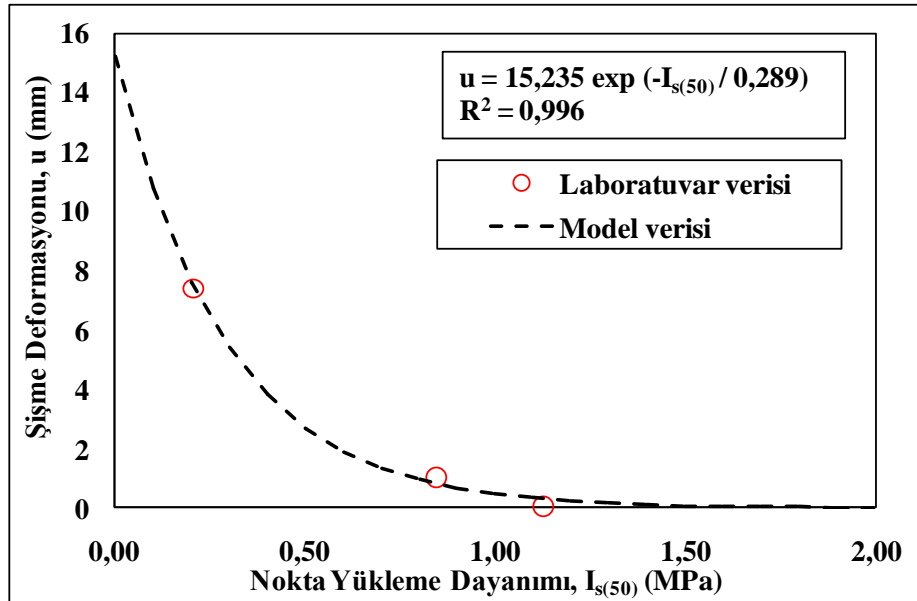


Şekil 4.21. Suda dağılma dayanımı ile şişme deformasyonu arasındaki ilişki

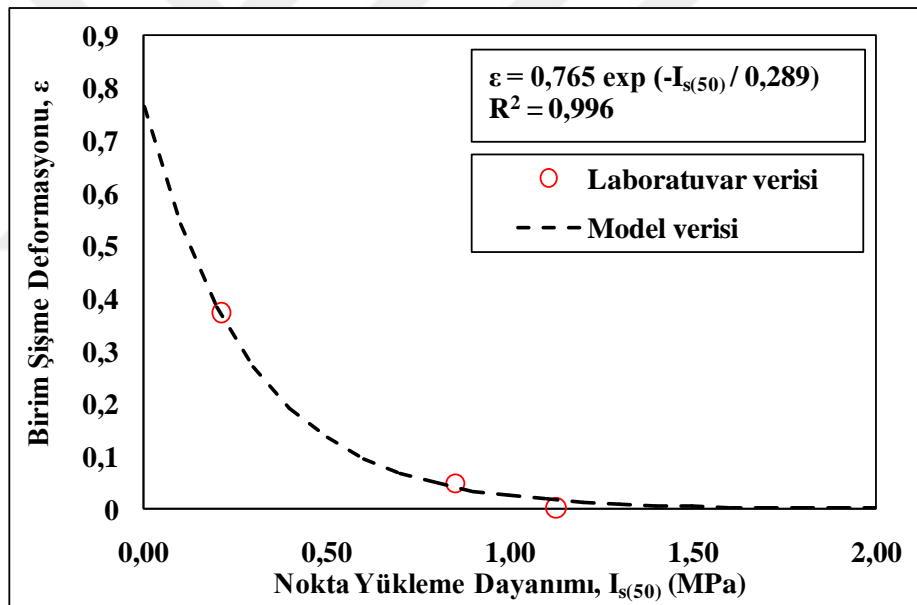


Şekil 4.22. Suda dağılma dayanımı ile birim şişme deformasyonu arasındaki ilişki

Nokta yükleme dayanımı ile şişme deformasyonu arasındaki ilişki Şekil 4.23'da görülmektedir. Nokta yükleme dayanım değerleri yükseldikçe şişme deformasyon davranışının ortadan kalktığı ( $I_{s(50)} > 1.50 \text{MPa}$ ) buna karşın nokta yükleme dayanım değerinin azalmasıyla şişme davranışının hızla arttığı anlaşılmaktadır. Benzer durum nokta yükleme dayanımı ile birim şişme deformasyonu arasında da var olduğu görülmektedir (Şekil 4.24).

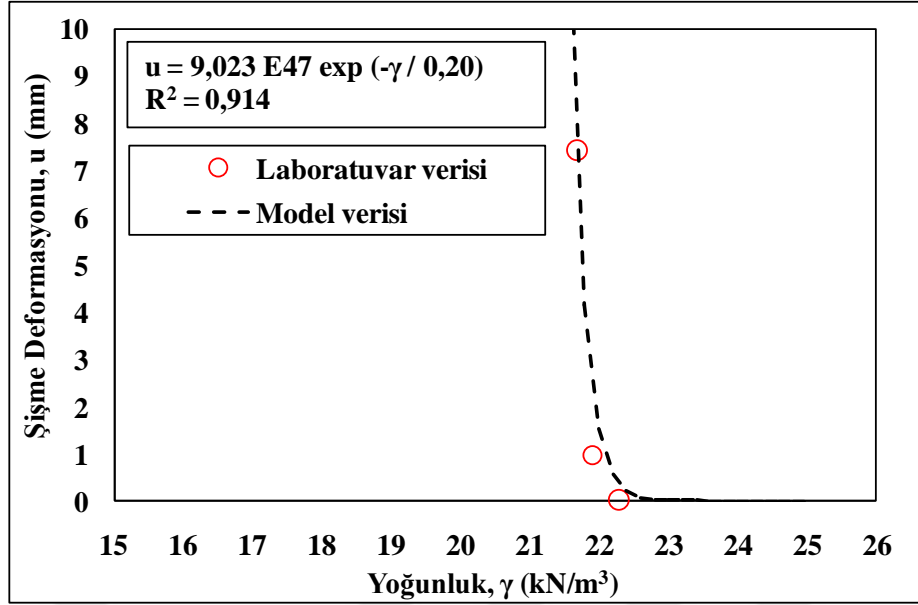


Şekil 4.23. Nokta yükleme dayanımı ile şişme deformasyonu arasındaki ilişki

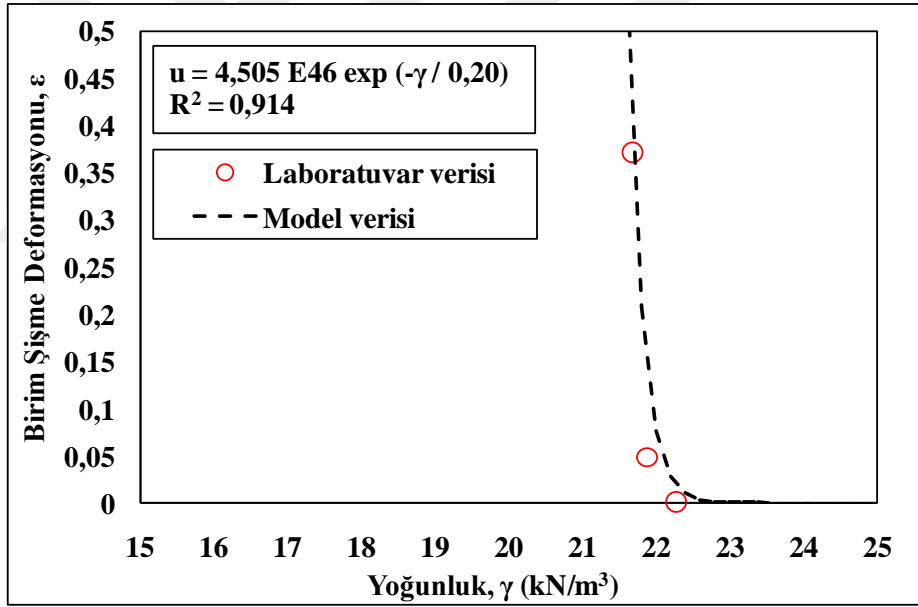


Şekil 4.24. Nokta yükleme dayanımı ile birim şişme deformasyonu arasındaki ilişki

Bu tez kapsamında incelenen kil malzemesinin çok dar bir aralıkta yoğunluk (21.7-22.3 kN/m<sup>3</sup>) değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alınarak bir seri istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk değerleri ile şişme deformasyonu arasındaki ilişki Şekil 4.25'de sunulmuştur. Deformasyon değerlerinin azalması ile hızla şişme deformasyon değerlerinin arttığı anlaşılmaktadır. Benzer durum yoğunluk ile birim şişme deformasyonu arasında da olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.26).

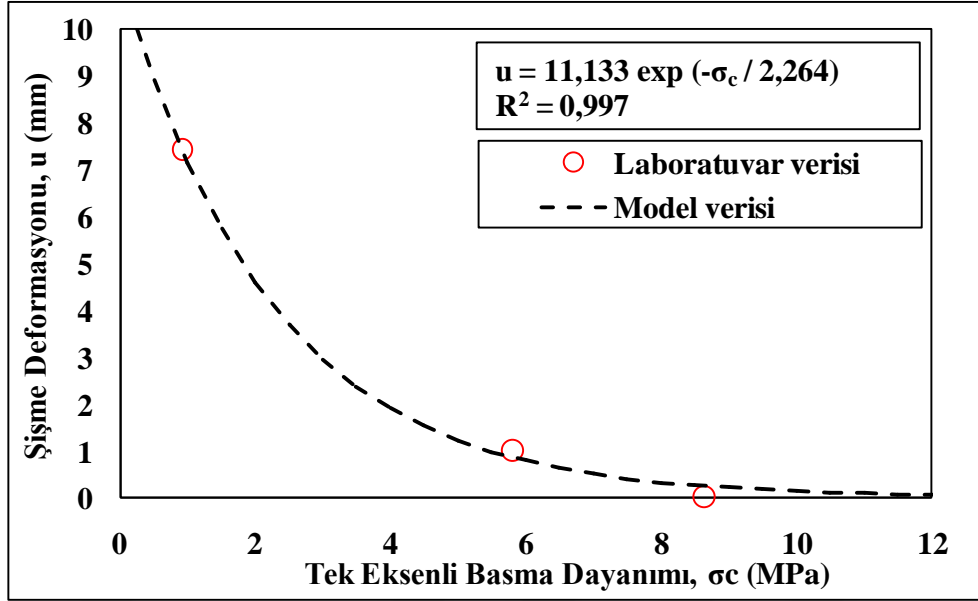


Şekil 4.25. Yoğunluk ile şişme deformasyonu arasındaki ilişki

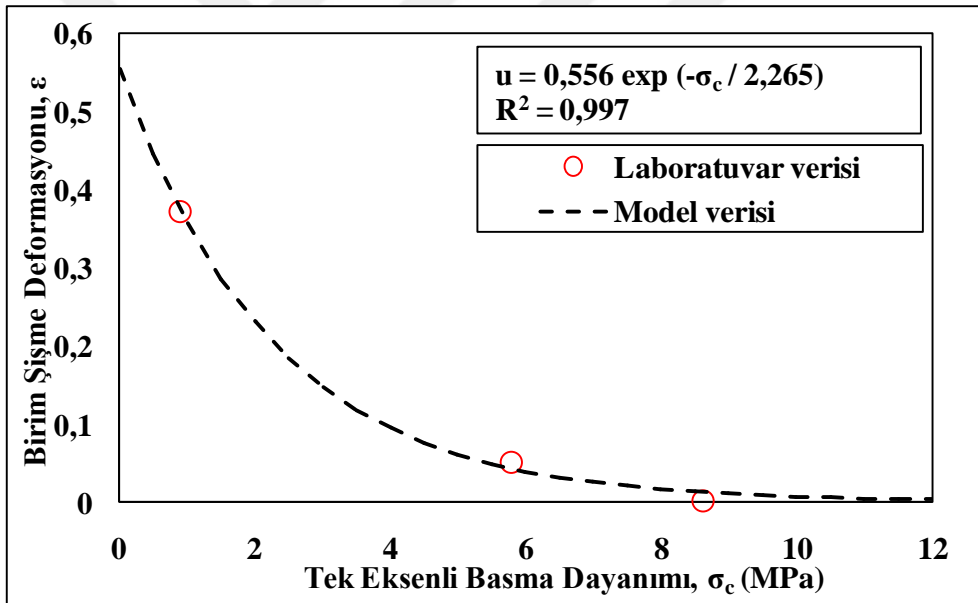


Şekil 4.26. Yoğunluk ile düşey birim deformasyon arasındaki ilişki

Şişme davranışı ile nokta yükleme dayanımı arasında belirlenen ilişkiye benzer bir ilişkinin şişme deformasyonu ile tek eksenli basma dayanımı arasında da söz konusu olduğu görülmektedir. Tek eksenli basma dayanımı değerlerinin artması ile şişme deformasyon değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Tek eksenli basma dayanımı değerinin 10 MPa'dan büyük olduğu durumda şişme karakteristiğinin ortadan kalktığı görülmektedir (Şekil 4.27). Tek eksenli basma dayanımı ve birim şişme deformasyonu arasında da benzer bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.28).



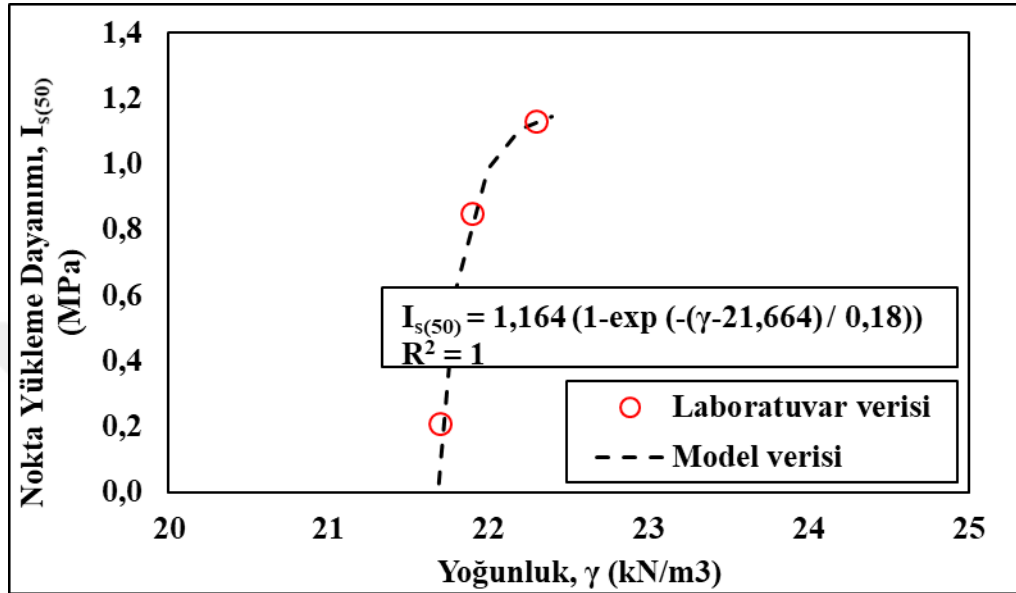
Şekil 4.27. Tek eksenli basma dayanımı ile şişme deformasyonu arasındaki ilişki



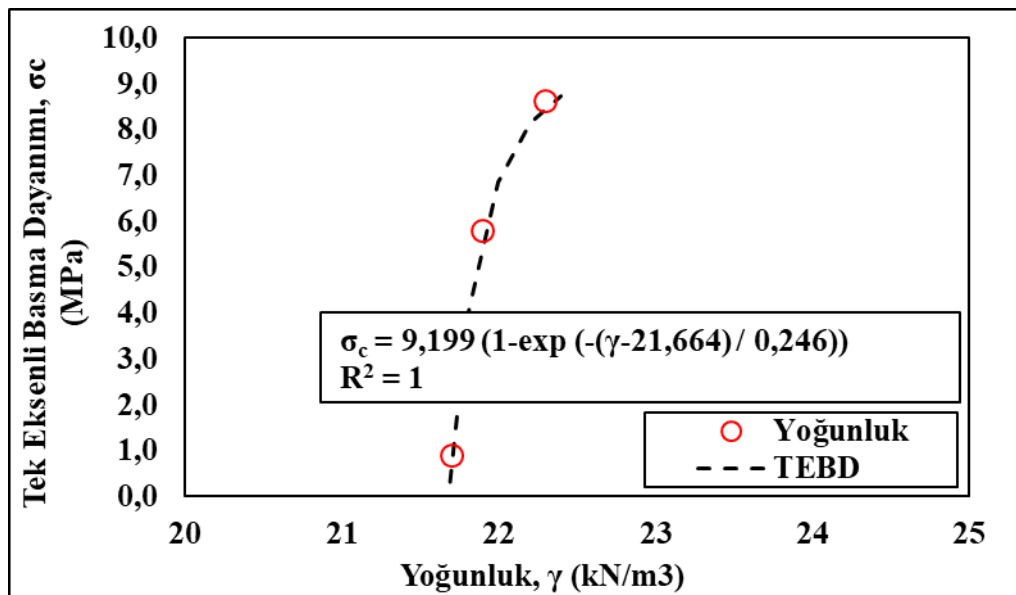
Şekil 4.28. Tek eksenli basma dayanımı ile birim şişme deformasyonu arasındaki ilişki

Şişme deney sonuçlarının mekanik sonuçlarla ilişkileri yanında ayrıca Kaya Mekaniği sonuçlarının birbirleri arasındaki ilişkileri K-1, K-2 ve K-3 sınıfı bazında değerlendirilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.29'da yoğunluk deney sonuçları ile nokta yükleme dayanımı deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışmasında dikkate alınan kil malzemesinin birim hacim ağırlığı 21.7-22.3 kN/m<sup>3</sup> aralığında değişmektedir. Bu dar aralıkta yoğunluk değerlerinin büyümesi ile nokta yükleme dayanım değerlerinin arttığı özellikle 22.5 kN/m<sup>3</sup> den sonra nokta yükleme dayanım değerlerinin 1.2 MPa

seviyesinde sabitlendiği düşünülmektedir (Şekil 4.29). Benzer davranış yoğunluk ile tek eksenli basma dayanımı arasında da görülmektedir (Şekil 4.30). Yoğunluk değerlerinin artması durumunda tek eksenli basma dayanımının 9 MPa seviyesinde sabitlendiği belirlenmiştir.

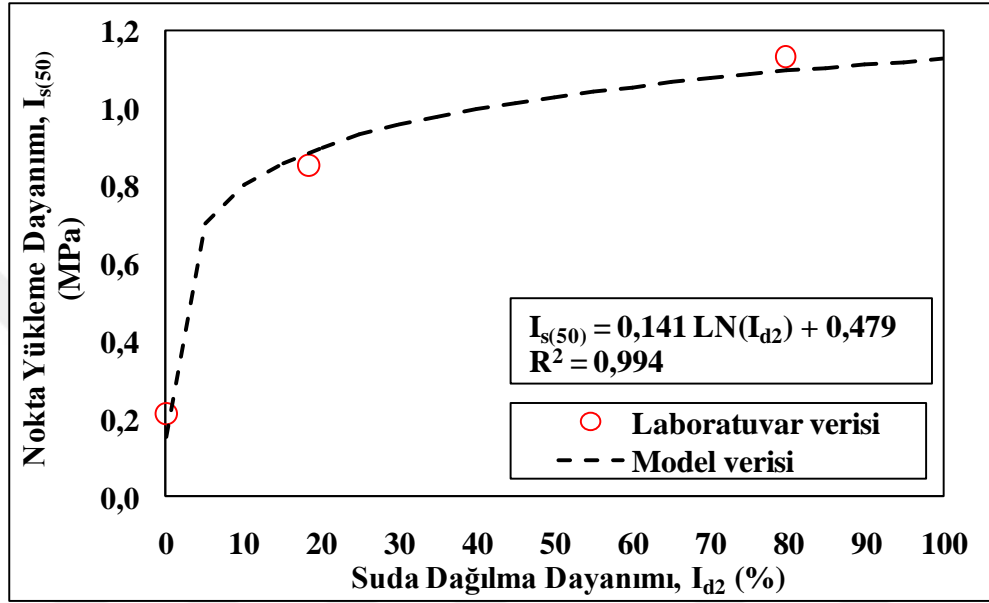


Şekil 4.29. Yoğunluk ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki

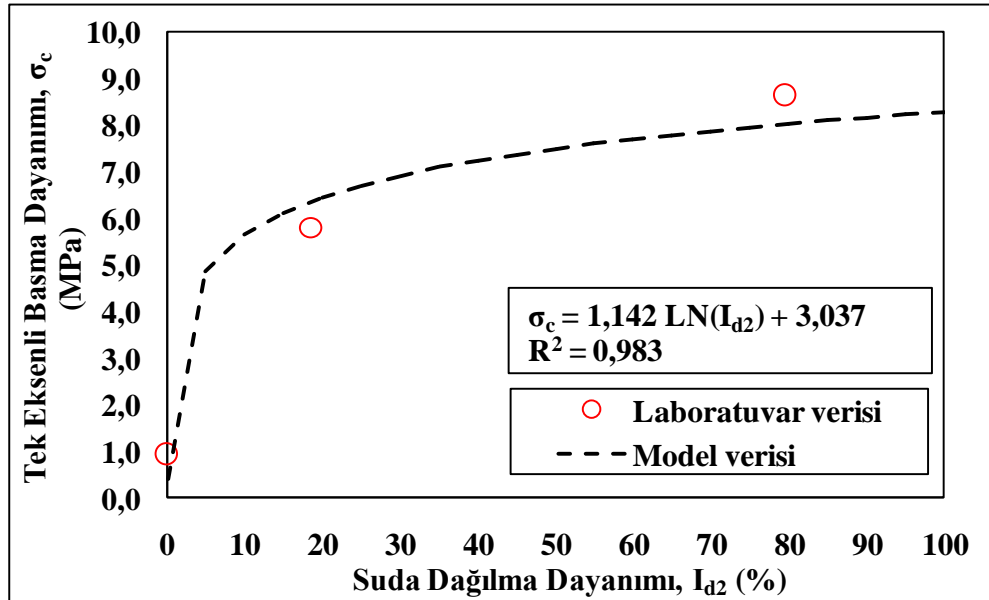


Şekil 4.30. Yoğunluk ile tek eksenli basma dayanımı deneyi arasındaki ilişki

Şekil 4.31’de suda dağılma dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişkiler Şekil 4.32’de ise suda dağılma dayanımı ile tek eksenli basma dayanımı arasındaki ilişkiler verilmiştir. Her iki grafikten görüldüğü üzere suda dağılma dayanımı değerleri artması ile logaritmik karakterde nokta yükleme dayanımı ve tek eksenli basma dayanımı değerlerinin arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.31. Suda dağılma dayanımı ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki



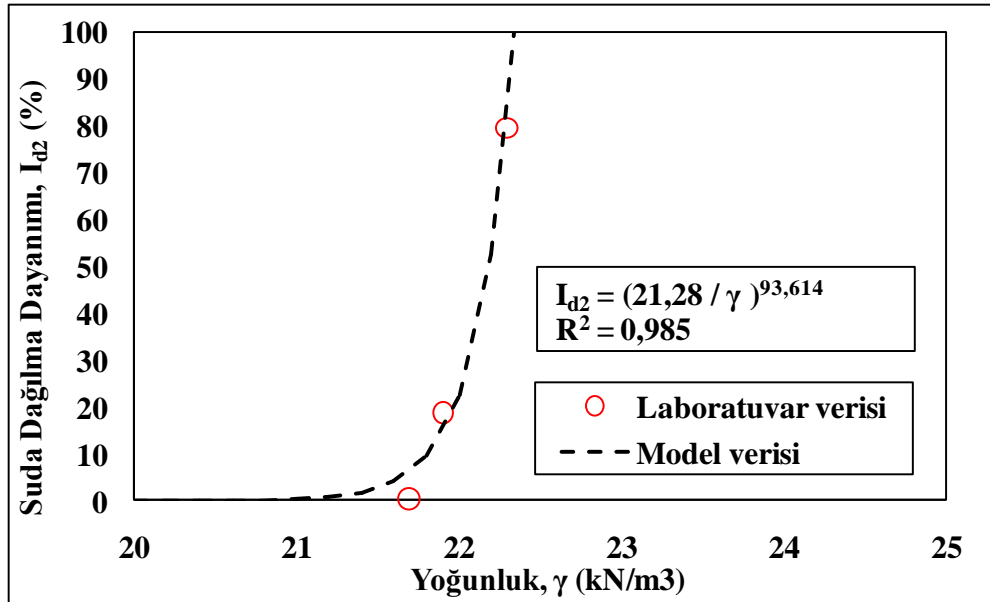
Şekil 4.32. Suda dağılma dayanımı ile tek eksenli basma dayanımı arasındaki ilişki



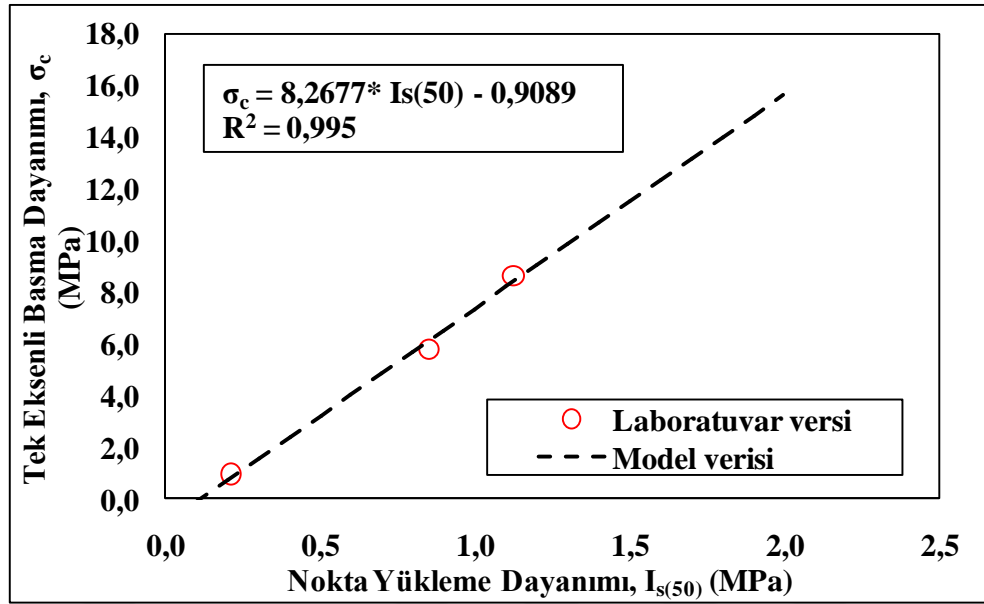
Yoğunluk değerleri ile suda dağılma dayanımı değerleri arasında belirlenen matematiksel ilişki Şekil 4.33’de verilmiştir. Sunulan grafikten görüldüğü üzere dar bir aralıkta olan yoğunluk değerlerinin (21.7-22.30 kN/m<sup>3</sup>) artması ile suda dağılma dayanım değerlerinin arttığı kil malzemesinin daha az suda aşınarak yok olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma da detaylı bir nokta yükleme dayanımı değerleri gerçekleştirilmiş ancak sınırlı sayıda tek eksenli basma dayanımı deneyleri gerçekleştirilebilmiştir. Bunun nedeni kil malzemesinde (ISRM 2007) tarafından önerilen boyutta numunelerin hazırlanamaması olmuştur. Şişme deformasyonlarının gözlenmediği K-3 sınıfına giren kil malzemelerinden alınan bloklardan kare prizma numuneleri hazırlanabilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerden tek eksenli basma dayanımı sonucu 8.465 MPa olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın K-1 ve K-2 kil malzemesine ait nokta yükleme deney sonuçlarından görgül yaklaşımlar kullanılarak dolaylı yoldan tek eksenli basma dayanımı sonuçları belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 4.18). Her iki veri seti kullanılarak Şekil 4.34 hazırlanmıştır. Sunulan bu grafikten görüldüğü üzere her iki deney arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu ortaya konmuştur.

Yukarıda detayları verilen tüm istatistiksel analiz sonuçları topluca Çizelge 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.33. Yoğunluk ile suda dağılma dayanımı arasındaki ilişki



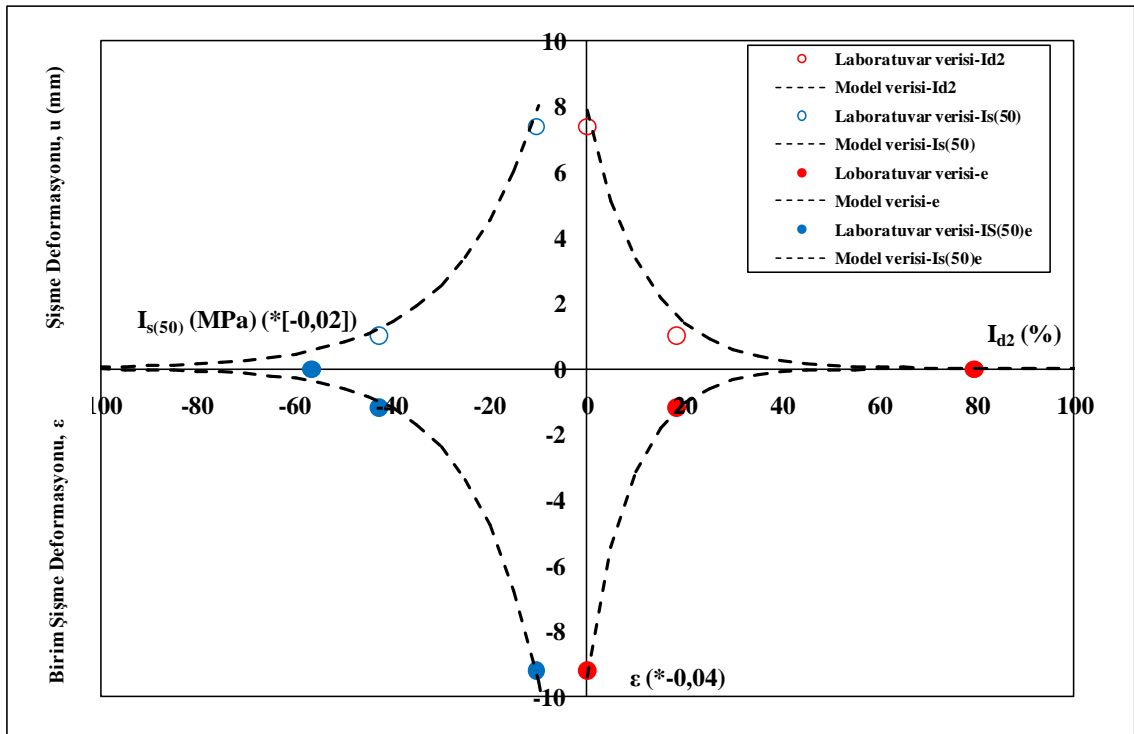
Şekil 4.34. Nokta yükleme dayanımı ile tek eksenli basma dayanımı arasındaki ilişki

Çizelge 4.19. Deneysel ilişkiyi gösteren modeller ve regresyon değerleri

Parametre	Model	R <sup>2</sup>
Suda dağılma dayanımı-Şişme deformasyonu	$u=7.525\exp(-I_{d2}/9.11)$	1
Suda dağılma dayanımı-Birim şişme deformasyonu	$\varepsilon=0.376\exp(-I_{d2}/9.116)$	1
Nokta yükleme dayanımı-Şişme deformasyonu	$u=15.235\exp(I_{s(50)}/0.289)$	0.99
Nokta yükleme dayanımı-Birim şişme deformasyonu	$\varepsilon=0.765\exp(I_{s(50)}/289)$	0.99
Yoğunluk-Şişme deformasyonu	$u=9.023E47\exp(-\gamma/0.20)$	0.91
Yoğunluk-Birim şişme deformasyonu	$u=4.505E46\exp(-\gamma/0.20)$	0.91
Tek eksenli basma dayanımı-Şişme deformasyonu	$u=11.133\exp(-\sigma_c/2.264)$	0.99
Tek eksenli basma dayanımı-Birim şişme deformasyonu	$u=0.556\exp(-\sigma_c/2.265)$	0.99
Yoğunluk-Nokta yükleme dayanımı	$I_{s(50)}=1.164*(1-\exp(-(\gamma-21.664)/0.18))$	1
Yoğunluk-Tek eksenli basma dayanımı	$\sigma_c=9.199*(1-\exp(-(\gamma-21.664)/0.246))$	1
Suda dağılma dayanımı-Nokta yükleme dayanımı	$I_{s(50)}=0.141\ln(I_{d2}+0.479)$	0.99
Suda dağılma dayanımı-Tek eksenli basma dayanımı	$\sigma_c=1.142\ln(I_{d2})+3.037$	0.98
Yoğunluk-Suda dağılma dayanımı	$I_{d2}=(21.28/\gamma)^{93.614}$	0.98
Nokta yükleme dayanımı-Tek eksenli basma dayanımı	$\sigma_c=8.2677 * I_{s(50)} - 0.9089$	0.99

Yukarıda detayları ile verilen Kaya Mekaniği deney sonuçları ve şişme deney sonuçları dikkate alınarak maden ocağında çalışan mühendislerin kolayca karşılaşılabilecekleri şişme problemini önceden tespit edebilmeleri için Şekil 4.35'deki bütünleyici yaklaşım (abak) geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu abakta şişme deformasyonu ve birim şişme deformasyonunu belirlemek için sahada en kolay uygulanabilecek nokta yükleme ve suda dağılma dayanımı deney sonuçları kullanılmıştır. Bu abakın sağ üst bölümünde suda dağılma dayanımı ile şişme deformasyonu, sol üst bölümünde nokta yükleme dayanımı ile şişme deformasyonu, sağ alt bölümünde suda dağılma dayanımı ile birim şişme deformasyonu ve sol alt bölümünde ise nokta yükleme dayanımına

karşılık birim şişme deformasyonu yer almıştır. Saha mühendisi suda dağılma dayanımı sonucunu veya nokta yükleme dayanımı sonucunu kullanarak ne kadarlık bir şişme problemi ile karşılaşacağını önceden belirleyebilecek ve buna göre önlem almaya çalışabilecektir. Örneğin;  $I_{d2}$  değeri %10 olması durumunda şişme deformasyon değeri 3.331 mm düşey birim deformasyon değeri ise 0.126 olacaktır. Benzer şekilde başka bir durum için eğer  $I_{s(50)}$  değeri 0.4 MPa olması durumunda şişme deformasyon değeri 4.52 mm buna karşın birim şişme deformasyon değeri 0.19 olacaktır.



Şekil 4.35. TKİ-GLi-Ömerler yeraltı maden ocağı için suda dağılma, nokta yükleme, birim şişme deformasyonu, şişme deformasyonları arasındaki ilişkiyi gösteren bütünleyici yaklaşım abak

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek lisans tez çalışmaları kapsamında elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar doğrultusunda yapılan öneriler bu bölümde sunulmuştur.

### 5.1. Sonuçlar

TKİ GLİ Ömerler yer altı ocağı kömür damarında mevcut bulunan ara kesmeler, taban taşı ve tavan taşından alınan numuneler ve bu numuneler ile yapılan deneylerin sonuçları aşağıda sırası ile verilmiştir.

i. Laboratuvarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ait sonuçlar;

1. Yoğunluk belirleme deney sonuçları;

- K-1 sınıfına ait A2 panosunu temsilen taban taşı ve ara kesmeden 11 adet yoğunluk belirleme deneyi yapılmıştır. Bu malzemeye ait ortalama yoğunluk değeri  $21.7 \pm 0.40 \text{ kN/m}^3$  bulunmuştur.
- K-2 sınıfına ait A1 panodaki ara kesmeden 1 adet yoğunluk deneyi yapılmıştır. Bu malzemeye ait ortalama yoğunluk  $21.9 \text{ kN/m}^3$  bulunmuştur.
- K-3 sınıfına ait; A1 panodaki ara kesmeden  $24.35 \pm 0.02 \text{ kN/m}^3$ , A6 panodaki taban taşından  $21.0 \pm 0.11 \text{ kN/m}^3$ , açık ocakta üstü açılmış kömür damarını üst kontağı olan tavan taşından  $19.60 \pm 2.7 \text{ kN/m}^3$  sonuçları bulunmuştur. Bu sonuçlara göre ortalama değer  $22.3 \pm 2.44 \text{ kN/m}^3$  olduğu belirlenmiştir.

2. Suda dağılma dayanımı deney sonuçları;

- K-1 sınıfına ait; A1 panodaki ara kesmelerden  $I_{d1} (\%)$  13.22,  $I_{d2} (\%)$  0.04, A2 panodaki ara kesmelerde  $I_{d1} (\%)$  26.80,  $I_{d2} (\%)$  0.23, A2 panosundaki taban taşından  $I_{d1} (\%)$  15.72,  $I_{d2} (\%)$  0.14 sonuçları elde edilmiştir. Birer adet deneyi yapılan ve bu sınıfa giren birimler için ortalama suda dağılma dayanımı  $I_{d2} (\%)$   $0.14 \pm 0.095$  olduğu tespit edilmiştir.
- K-2 sınıfına ait A2 panosundaki ara kesmeden  $I_{d1} (\%)$  değeri 38.57 ve  $I_{d2} (\%)$  değeri 18.57 değerleri elde edilmiştir.
- K-3 sınıfına ait A1 panosundaki ara kesmeden  $I_{d1} (\%)$  değeri  $82.11 \pm 21.96$ ,  $I_{d2} (\%)$  değeri  $78.33 \pm 22.98$ , A6 panosuna ait taban taşından

$I_{d1}$  (%) değeri  $99.92 \pm 0.06$ ,  $I_{d2}$  (%) değeri  $98.55 \pm 0.36$  bulunurken açık ocakta üstü açılmış kömür damarı üst kontağı olan tavan taşından  $I_{d1}$  (%) değeri  $99.37 \pm 0.05$  ve  $I_{d2}$  (%) değeri  $98.89 \pm 0.02$  elde edilmiştir. Buna göre bu sınıfa ait ortalama  $I_{d2}$  (%)  $93.58 \pm 12.81$  olduğu belirlenmiştir.

3. Tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları (K-3 sınıfı için);

- A2 panosundan yapılan toplam 39 adet deney sonucunda ara kesmelerinde ortalama  $6.33 \pm 3.66$  MPa, taban taşında ortalama  $7.71 \pm 1.86$  MPa sonuçlarına ulaşılmıştır.
- A6 panosunda yapılan 20 adet deney sonucunda ortalama  $7.84 \pm 3.69$  MPa sonucuna ulaşılmıştır.
- Açık ocakta üstü açılmış kömür damarı üst kontağı olan tavan taşında yapılan 13 adet deney sonucunda ortalama  $11.98 \pm 5.49$  MPa sonucuna ulaşılmıştır.

Yukarıda verilen sonuçlara göre K-3 sınıfına ait ortalama  $\sigma_c = 8.465 \pm 2.44$  MPa olduğu belirlenmiştir.

4. Dolaylı çekme (Brazilian) deney sonuçları (K-3 sınıfı için);

- A2 panosundaki ara kesmeden yapılan 3 adet deney sonucunda  $8.31 \pm 0.72$  sonucu elde edilmiştir.
- A2 panosundaki taban taşından yapılan 4 adet deney sonucunda  $8.91 \pm 0.41$  sonucu elde edilmiştir.

Yukarıda verilen sonuçlara göre K-3 sınıfına ait ortalama  $\sigma_t = 8.61 \pm 0.42$  MPa olduğu belirlenmiştir.

5. Tek eksenli deformabilite deney sonuçları (K-3 sınıfı için);

- A2 panosundaki ara kesmelerde yapılan 8 adet deney sonucunda ortalama olarak Elastisite modülü  $0.395 \pm 0.225$  GPa, Poisson oranı  $0.186 \pm 0.157$  bulunmuştur.
- A2 panosundaki taban taşında yapılan 8 adet deney sonucunda ortalama olarak Elastisite modülü  $0.529 \pm 0.192$  GPa, Poisson oranı  $0.228 \pm 0.11$  bulunmuştur.
- A6 panosundaki taban taşında yapılan 1 adet deney sonucunda ortalama olarak Elastisite modülü  $0.36$  GPa, Poisson oranı  $0.34$  bulunmuştur.

- Açık ocakta üstü açılmış kömür damarı üst kontağı olan tavan taşında yapılan 2 adet deney sonucunda ortalama olarak  $0.261 \pm 0.56$  GPa, Poisson oranı  $0.041 \pm 0.035$  bulunmuştur.

Yukarıda verilen sonuçlara göre K-3 sınıfına ait ortalama  $E = 0.386 \pm 0.111$  GPa, Poisson oranının  $0.199 \pm 0.124$  olduğu belirlenmiştir.

ii. Sahada gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ait sonuçlar;

1. Schmidt sertlik deneyi sonuçları (N);

- A1 panosunda 4 farklı bölgede deneyler yapılmıştır. SH-1 bölgesinde ara kesmede gerçekleştirilen 5 adet deneyin ortalaması  $29.60 \pm 4.07$ , SH-2 bölgesinde ara kesmede gerçekleştirilen 8 adet deneyin ortalaması  $43.00 \pm 4.90$ , SH-3 bölgesinden ara kesmede gerçekleştirilen 7 adet deneyin ortalaması  $30.43 \pm 2.32$ , SH-4 bölgesinde ara kesmede gerçekleştirilen 5 adet deneyin ortalaması  $30.80 \pm 2.04$ 'dur.
- A6 panosunda tamamı taban taşında olmak üzere 267 deney yapılmıştır. NGA-1 bölgesinde gerçekleştirilen 43 adet deneyin ortalama  $22.8 \pm 0.5$ , NGA-2 bölgesinde gerçekleştirilen 29 adet deneyin ortalaması  $22.68 \pm 1.3$ , KGA-1 bölgesinde gerçekleştirilen 40 adet deneyin ortalaması  $22.85 \pm 1.4$ , KGA-2 bölgesinde gerçekleştirilen 33 adet deneyin ortalaması  $22.26 \pm 1.0$ , NGYY-1 bölgesinde gerçekleştirilen 14 adet deneyin ortalaması  $19.39 \pm 0.9$ , NGYY-2 bölgesinde gerçekleştirilen 11 adet deneyin ortalaması  $18.66 \pm 3.1$ , NGYY-3 bölgesinden gerçekleştirilen 19 adet deneyin ortalaması  $23.21 \pm 1.8$ , NGYY-4 bölgesinden gerçekleştirilen 12 adet deneyin ortalaması  $18.74 \pm 0.5$ , KGY-1 bölgesinde gerçekleştirilen 66 adet deneyin ortalaması  $22.64 \pm 0.3$  olarak bulunmuştur.

Büyük ölçekli arınlarda gerçekleştirilen Schmidt sertlik belirleme deney çalışmalarından elde edilen deney sonuçları K-1, K-2, K-3 sınıflamasına göre ayıklanamamıştır.

2. Nokta yükleme dayanımı deney sonuçları;

- A1 panosunda tamamı ara kesmede olmak üzere toplamda  $114.75 \text{ m}^2$  olan arında toplam 246 adet deney yapılmıştır. Ortalama nokta yükleme dayanım sonucu  $0.823 \pm 0.41$  MPa olarak belirlenmiştir.

- A6 panosunda tamamı taban taşında olmak üzere 112 adet deney yapılmıştır. Ortalama nokta yükleme dayanım sonucu  $0.703 \pm 0.134$  MPa olarak belirlenmiştir.
- Açık ocakta üstü açılmış kömür damarı üst kontağı olan tavan taşında yapılan 40 adet deney sonucu  $2.385 \pm 2.015$  MPa bulunmuştur.

Yukarıda verilen sonuçlar büyük ölçekli arında gerçekleştirilen topluca sonuçları vermektedir. Bu deneyler esnasında bazı numunelerin K-1, K-2, K-3 sınıflaması yapılabilmektedir. Bu sınıflamaya göre ayıklanan deney sonuçları arıca değerlendirilmiştir. Buna göre K-1 sınıfına ait nokta yükleme dayanımı sonucu 0.21 MPa, K-2 sınıfı için  $0.85 \pm 0.47$  MPa ve K-3 sınıfı için nokta yükleme dayanım sonucunun  $1.13 \pm 0.45$  MPa olduğu tespit edilmiştir.

#### iii. XRD analiz sonuçları;

- K-1 sınıfına ait numunelere bağlı analiz sonucuna göre nontronit, kuvars, mikroklin, kaolinit, montmorillonit ve sanidin olduğu belirlenmiştir. Burada şişmeye neden olan temel yapının nontronit ve montmorillonit olduğu dikkat çekmektedir.
- K-2 sınıfına ait numunelere bağlı analiz sonucuna göre kaolinit, nontronit, kuvars ve dolomit olduğu belirlenmiştir. Burada şişmeye neden olan temel yapının nontronit olduğu görülmektedir.
- K-3 sınıfına ait numunelere bağlı analiz sonucuna göre kuvars ve kaolinit olduğu belirlenmiştir. Burada şişmeye neden olabilecek herhangi bir montmorillonit ve nontronitin olmadığı anlaşılmaktadır.

#### iv. Şişme deney sonuçları;

- K-1 sınıfına ait A1 ve A2 panolarından alınan 10 adet numune üzerinde gerçekleştirilen şişme deneylerine göre ortalama şişme deformasyon ( $u$ ) değeri  $7.41 \pm 2.91$  mm, düşey birim deformasyon ( $\epsilon$ ) değeri  $0.37 \pm 0.15$  olduğu belirlenmiştir. Bu şişme değerlerine yaklaşık 41 saat içerisinde ulaşılabileceği tespit edilmiştir.
- K-2 sınıfına ait A1, A6 panoları ve açık ocaktan alınan 11 adet numune üzerinde gerçekleştirilen şişme deneylerine göre ortalama şişme deformasyon ( $u$ ) değeri  $0.98 \pm 0.50$  mm, düşey birim deformasyon ( $\epsilon$ ) değeri  $0.049 \pm 0.025$  olduğu tespit edilmiştir. Bu şişme değerlerine yaklaşık 26 saat içerisinde ulaşılabileceği tespit edilmiştir.

- K-3 sınıfına ait A1 ve A2 panolarından alınan 2 adet numune üzerinde gerçekleştirilen şişme deneylerine göre ortalama şişme deformasyon değerinin sıfır olduğu anlaşılmıştır.

Sahada K-1, K-2, K-3 sınıfına giren killerin gerçekte birbirleri ile girişkenlik göstererek konumlandığı saha gözlemlerinden belirlenmiştir. Bu 3 sınıfa giren tüm şişme deney sonuçları dikkate alınırca ortalama şişme (u) kapasitesinin  $4.04 \pm 3.84$  mm ve düşey birim deformasyon ( $\epsilon$ ) değerinin  $0.20 \pm 0.19$  olduğu belirlenmiştir. Bu şişme değerlerine yaklaşık 34 saat içerisinde ulaşılabacağı tespit edilmiştir.

v. Kaya mekaniği sonuçları ile şişme deney sonuçları arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Bu ilişkiler sırası ile aşağıda verilmiştir.

- Suda dağılma dayanımı ( $I_{d2}$ ) ile şişme deformasyonu (u) arasındaki ilişki belirlenmiş, suda dağılma dayanımı değeri azaldıkça şişme deformasyonu değerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Benzer bir davranışın suda dağılma dayanımı ( $I_{d2}$ ) ile birim şişme deformasyonu ( $\epsilon$ ) arasında da mevcut olduğu belirlenmiştir.
- Nokta yükleme dayanımı ( $I_{s50}$ ) ile şişme deformasyonu (u) arasındaki ilişki tespit edilmiş, nokta yükleme dayanımı azaldıkça şişme deformasyonun arttığı belirlenmiştir. Nokta yükleme dayanımı ( $I_{s50}$ ) ile şişme deformasyonu (u) arasında da benzer bir davranışın olduğu belirlenmiştir.
- Dar bir çalışma aralığında ( $21.7-22.3$  kN/m<sup>3</sup>) söz konusu olan yoğunluk ( $\gamma$ ) ile şişme deformasyonu (u) arasındaki ilişki incelenmiştir. Yoğunluk değeri azalırken şişme davranışının arttığı görülmüştür. Yoğunluk ( $\gamma$ ) ile düşey birim deformasyonu ( $\epsilon$ ) arasındaki ilişkinin benzer bir davranış sergilediği tespit edilmiştir.
- Tek eksenli basma dayanımı ( $\sigma_c$ ) ile şişme deformasyonu (u) arasındaki ilişki incelenmiş, tek eksenli basma dayanımı değeri azaldıkça şişme deformasyonu değerinde artış olduğu belirlenmiştir. Benzer bir davranışın tek eksenli basma dayanımı ( $\sigma_c$ ) ile birim şişme deformasyonu ( $\epsilon$ ) arasında da mevcut olduğu belirlenmiştir.
- Yoğunluk ( $\gamma$ ) ile nokta yükleme dayanımı ( $I_{s50}$ ) arasındaki ilişki belirlenmiştir. Yoğunluk değerinin artması ile nokta yükleme dayanımı



değerinin yoğunluk ile doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Yoğunluk ( $\gamma$ ) ile tek eksenli basma dayanımı ( $\sigma_c$ ) arasındaki ilişkinin  $I_{d2}$  - u arasındaki ilişki ile benzer olduğu anlaşılmıştır.

vi. Kaya mekaniği parametreleri arasında ilişkiler belirlenmiştir. Bu ilişkiler sırası ile aşağıda verilmiştir.

- Suda dağılma dayanımı ( $I_{d2}$ ) ile nokta yükleme dayanımı ( $I_{s50}$ ) arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Suda dağılma dayanımı değeri arttıkça nokta yükleme dayanım değeri de belirli bir noktaya kadar artmakta daha sonra ise suda dağılma dayanım değerindeki artışa karşılık nokta yükleme dayanım değerinde de az da olsa artışın devam ettiği tespit edilmiştir.
- Suda dağılma dayanımı ( $I_{d2}$ ) ile tek eksenli basma dayanımı ( $\sigma_c$ ) arasında doğrusal bir ilişkinin söz konusu olduğu belirlenmiştir. Suda dağılma dayanımı değeri arttıkça tek eksenli basma dayanımı değeri de belli bir noktaya kadar artmakta olduğu daha sonra ise suda dağılma dayanım değerindeki artışa karşılık tek eksenli basma dayanımı değerinde de az da olsa bir artışın devam ettiği belirlenmiştir.
- Çalışmaların yapıldığı bölgedeki numunelere ait yoğunluk ( $\gamma$ ) değerlerinin belirli dar bir aralıkta topladığı ve bu numunelerin yoğunluklarının arttıkça suda dağılma dayanımı ( $I_{d2}$ ) değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir.
- Nokta yükleme dayanımı ( $I_{s50}$ ) ile tek eksenli basma dayanımı ( $\sigma_c$ ) arasında doğrusal bir ilişki olduğu, nokta yükleme değeri arttıkça eksenli basma dayanımı değerinin de arttığı belirlenmiştir.

vii. Bu tez çalışmasından elde edilen kaya mekaniği deneylerinde suda dağılma ( $I_{d2}$ ) ve nokta yükleme indeks dayanımı ( $I_{s50}$ ) deney sonuçları ile şişme deney sonuçları ( $u$  ve  $\epsilon$ ) yardımıyla bir bütünleyici yaklaşım (abak) geliştirilmiştir. TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı işletmesinde çalışan saha mühendisleri, bu bütünleyici yaklaşım ile karşılaştıkları kil ve kiltası malzemesinin suda dağılma dayanımı ( $I_{d2}$ ) veya nokta yükleme indeks dayanımı ( $I_{s50}$ ) sonuçlarından kolayca şişme büyüklüğünü ( $u$ ,  $\epsilon$ ) belirleyebileceklerdir.

## 5.2. Öneriler

TKİ-GLİ-Ömerler yer altı maden ocağında karşılaşılan ara kesmelerin tavan taşının ve taban taşının su ile etkileşimlerinin K-1 sınıf için yüksek K-2 sınıfının orta seviyede iken K-3 sınıfında hiç olmadığı bu tez çalışmasında belirlenmiştir. K-1, K-2 ve K-3 sınıfı olarak tanımlanan kil malzemesinin ara kesme, taban taşı ve taban taşı içerisinde farklı oranlarda karışık olarak yer aldığı bir başka ifade ile kil ve kıltaşı malzemesinin belirli bir homojenlik içermediği tespit edilmiştir. Bu karmaşık yapının su ile etkileşimi neticesinde ortalama şişme deformasyon ( $u$ ) değerinin  $4.04 \pm 3.84$  mm ve düşey birim deformasyon ( $\epsilon$ ) değerinin  $0.20 \pm 0.19$  olduğu dikkat çekmektedir. Sahada yapılan madencilik çalışmaları esnasında kontrol altına alınamayan yeraltı suyunun ciddi problemlere neden olduğu gözlenmektedir. Bu tez çalışmasında kaya mekaniği sonuçları yanında sadece tek eksenli şişme davranışı ( $u$  ve  $\epsilon$ ) belirlenmiştir. Ayrıca üç eksenli şişme davranışlarının belirlenmesi yerinde olacaktır.

Sahada yüzeyden açılan drenaj sondaj kuyuları yardımıyla yeraltı su seviyesinin düşürülmesi aynı zamanda taban yollarında iyi bir su atım sisteminin kurulmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Aksi takdirde örneğin bir metre kalınlığındaki kil tabakası su ile buluşması neticesinde bu kil tabakası ortalama 20 cm ( $100 \text{ cm} * 0.20$ ) seviyesine yaklaşık 34 saat içerisinde şişerek üretim sistemini olumsuz etkileyecektir. Sonuç olarak saha da güçlü ve devamlı bir su drenajının yapılmasının zorunlu olduğu bu tez çalışma sonuçlarına göre önerilmiştir.

## KAYNAKLAR

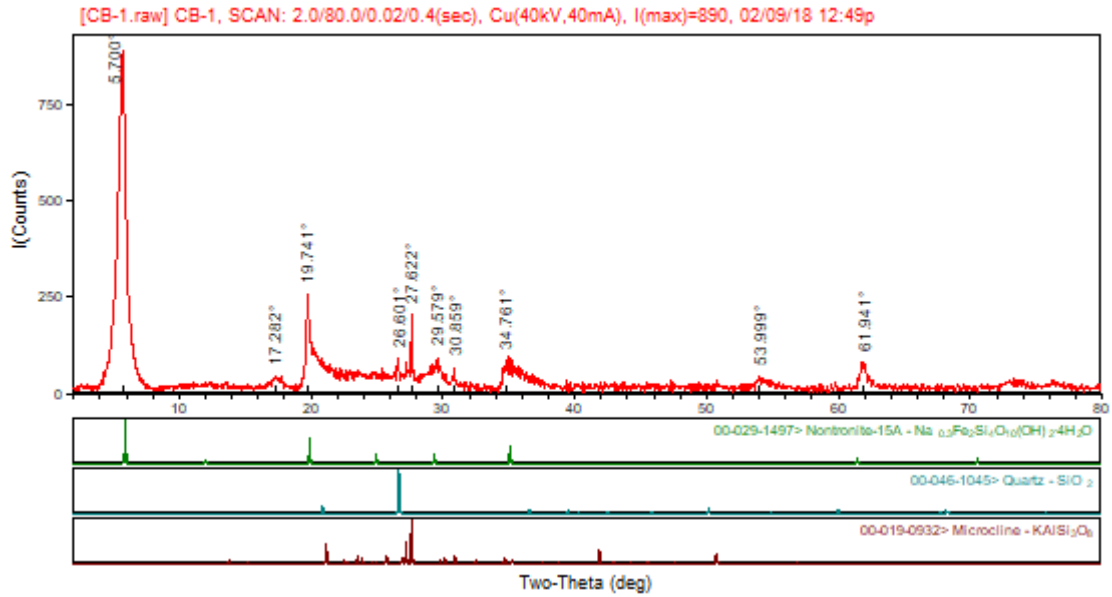
- Anagnostou, G., 1993, A model for swelling rock in tunnelling, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 26 (4), 307-331.
- Anonim, 2016, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Kaya Mekaniği Laboratuvar Föyü, [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/maden\\_4c60b.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/maden_4c60b.pdf) [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2016].
- Anonim, 2017, Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü'nün kuruluşu, <http://www.gli.gov.tr/hakkimizda/kurulus/5> [Ziyaret Tarihi: 14 Aralık 2017].
- Anonim, 2018, Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi verileri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik>. [Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2018].
- Aydın, E., 2019, TKİ-Bursa-Orhaneli Linyit İşletmesindeki Kayaçların Şişme Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Bülent Ecevit Üniversitesi*, Zonguldak, 107.
- Bilir, M. E., 2001, Bazı Deney Parametrelerinin Yapay Örneklerin Üç Eksenli Şişme Davranışına Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi*, Zonguldak, 135.
- Bilir, M. E., Sarı, Y. D., Özarslan, A., Geniş, M. ve Sel, İ., 2013, Determination of the relationship between uniaxial and triaxial swelling equations for clay bearing rocks, *Bulletin of engineering geology and the environment*, 72 (3-4), 565-577.
- Çelik, R., 2005, GLİ Ömerler mekanize ocakta yürüyen tahkimatın taşınmasının geliştirilmesi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*, 144.
- Demiral, A., 2013, Killerin elektrokinetik özellikleri ve flokülasyonu, *ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 78-79.
- Destanoğlu, N., Taşkın, F., Taştepe, M. ve Öğretmen, S., 2000, Ömerler Mekanizasyon Uygulaması, *TKİ, Ankara*.
- Einstein, H., 1996, Tunnelling in difficult ground—swelling behaviour and identification of swelling rocks, *Rock mechanics and rock engineering*, 29 (3), 113-124.
- Fişne, A., 2017, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü Ömerler-A Yeraltı Kömür Ocağı Havalandırma Sisteminin Değerlendirilmesi *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ)*.
- Grim, R., 1962, Applied Clay Mineralogy. McGraw Hill Book Company.
- ISRM, 1983, Characterization of swelling rock.
- ISRM, 1989, Suggested Methods for Laboratory Testing of Argillaceous Swelling Rocks.
- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 415-426.
- Kuşcu, M., 2001, Endüstriyel Kayaç ve Mineraller, Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh, *Mim. Fakültesi Yayını* (10).
- Mesutoğlu M, Özkan, I. 2019 “Büyük Ölçekli Kömür Arınmada Gerçekleştirilen Schmidt Sertlik İndeksi Ve Nokta Yükleme Dayanımı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Yayınlanacak)
- Mollamahmutoğlu, M. Taşkıran, T., 2000, Diyarbakır İli, Kayapınar–Yeniköy-Bağcılar Yöresi Kilinin şişme Potansiyelinin İrdelenmesi, *Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği. Ankara*.
- Nilsen, B., 2011, Cases of instability caused by weakness zones in Norwegian tunnels, *Bulletin of engineering geology and the environment*, 70 (1), 7-13.

- Önalp, A., 1983, Geoteknik Bilgisi Cilt I-II.
- Özkan, İ. ve Bilim, N., 2008, A new approach for applying the in-situ Schmidt hammer test on a coal face, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45 (6), 888-898.
- Özkan, İ., Kaya, M. 2019. “Zayıf Kaya Malzemelerinin Yerinde Dayanımının Belirlenmesinde İndeks Deneylemlerin Kullanımı İle İlgili Bir Yaklaşım” Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi (KONJEST)-Yüksek Lisans- (Yayınlanacak)
- Ranst, V., 1998, Charge characteristics in relation to free iron and organic matter of soils from Bambouto Mountains, Western Cameroon, *European Journal of Soil Science*, 49 (2), 243-252.
- Sarıgül, G., 2018, Terzili ve Ulubey T1 Tünelleri Killerinin Şişme Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak*.
- Scheffer, F. ve Schachtschabel, P., 1970, Lehrbuch der Bodenkunde. 7. Aufl.-F, Enke Verlag, Stuttgart.
- Ünver, E., 2015, Problemlili kil zeminlerin uçucu kül ile iyileştirilmesi, *ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- VanOlphen, H., 1977, An Introduction to Clay Colloidal Chemistry, *New York 16.*, p.
- Vardar, M. ve Fecker, E., 1986, Evaporitli Kayaçlardaki Sorunlu Projelerden Örnekler ve Uygulama İlkeleri. 1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, p.
- Yıldırım, Ü. E., 2009, Şişen Killer ve Tünel Tasarımına Etkisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.

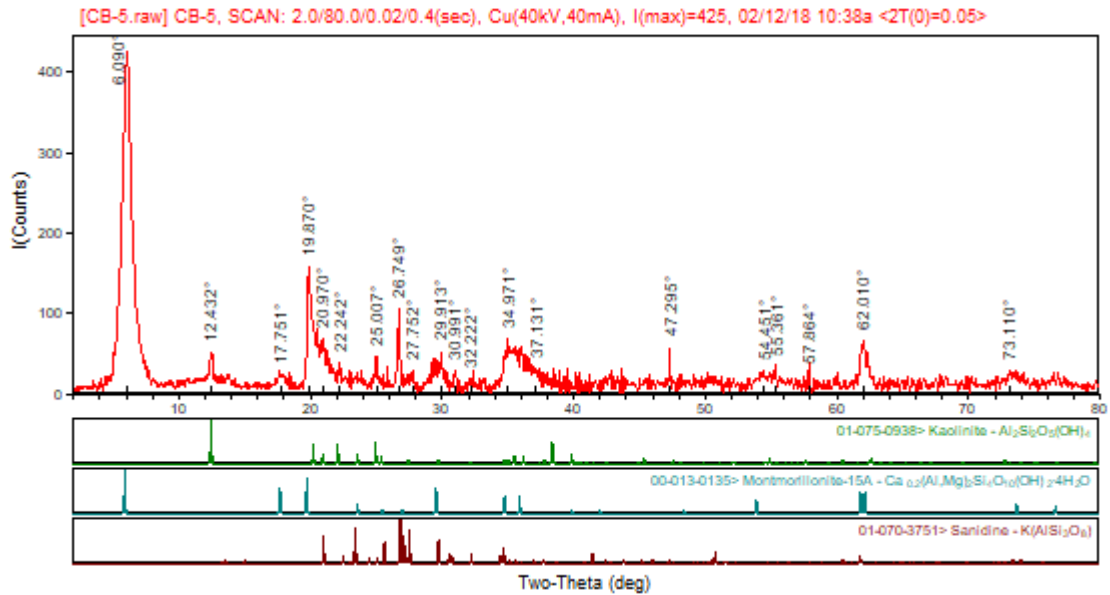
## EKLER

### EK-1 XRD Analizleri

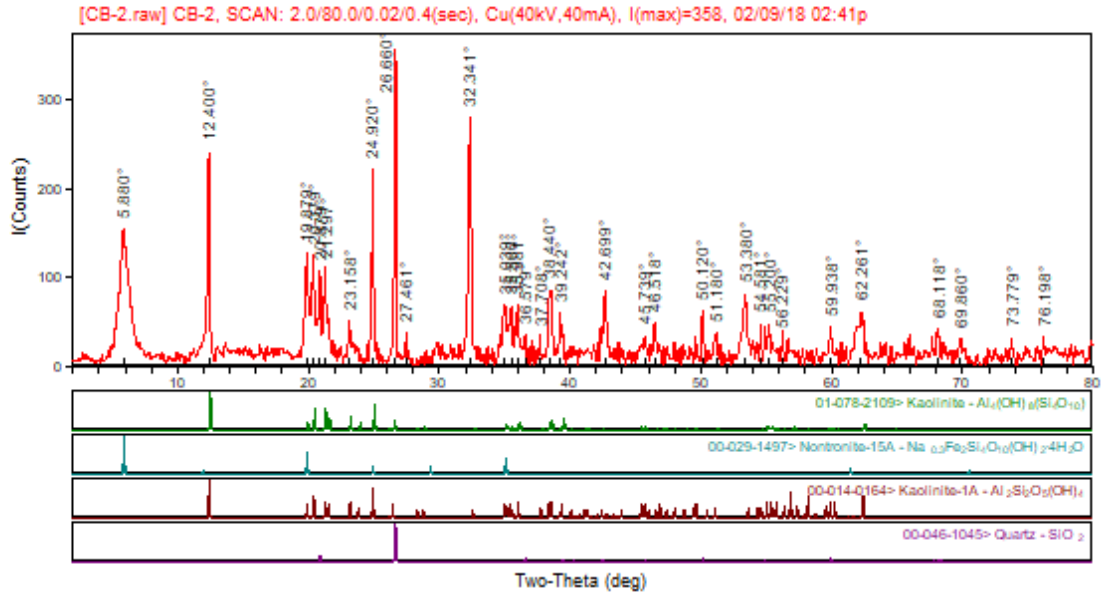
K-1 sınıfına giren XRD sonuçları ;  
A1 Panosuna ait numunenin XRD sonucu



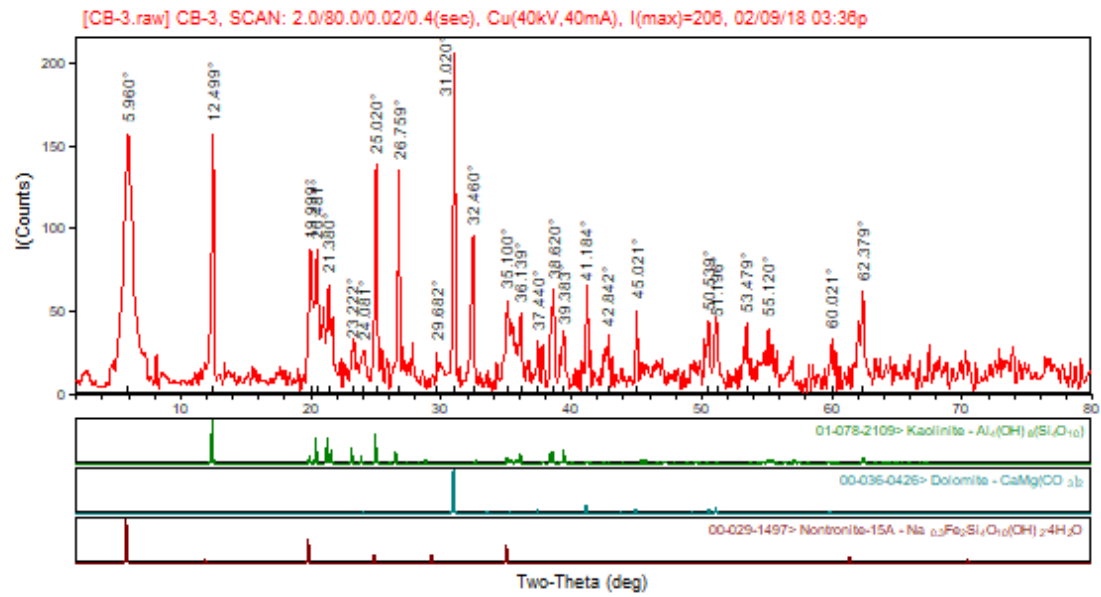
A2 Panosuna ait numunenin XRD sonucu



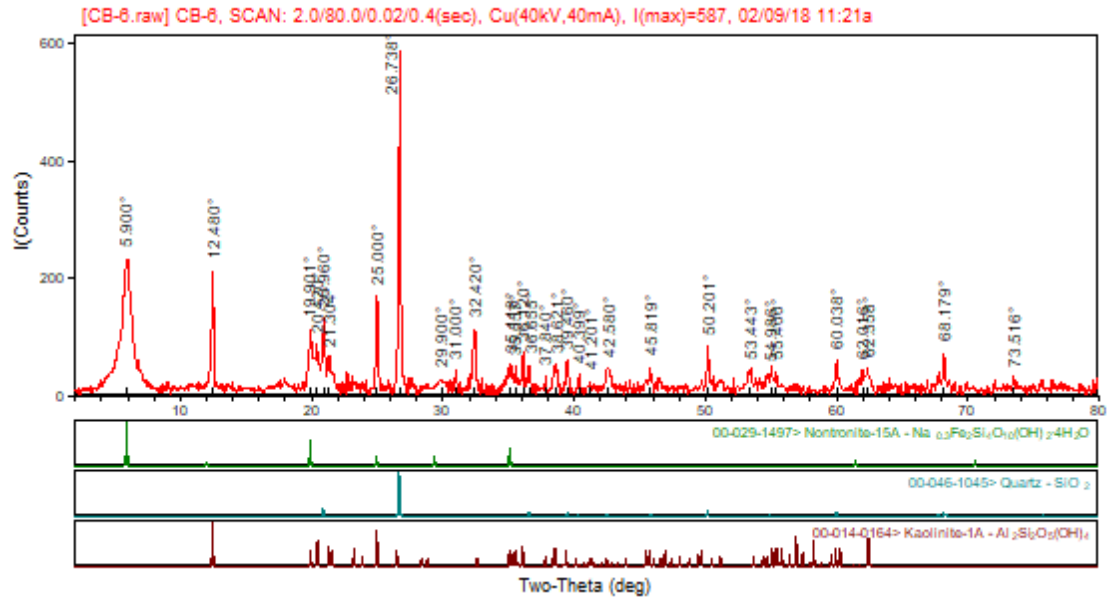
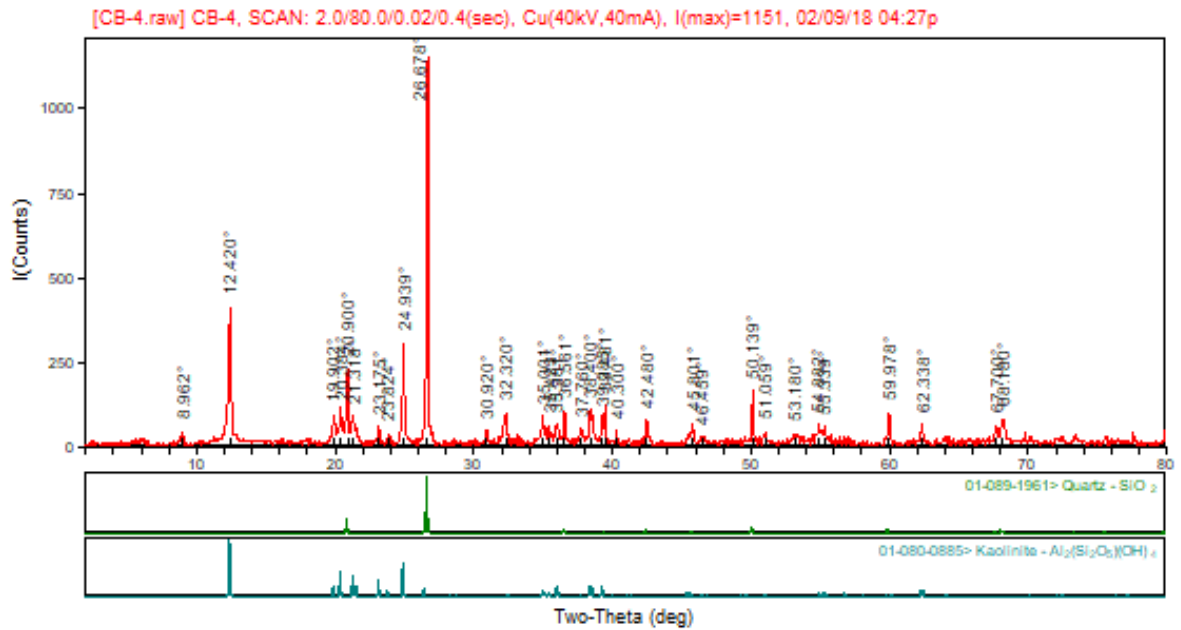
K-2 sınıfına giren XRD sonuçları ;  
A1 Panosuna ait numunenin XRD sonucu



A1 Panosuna ait numunenin XRD sonucu



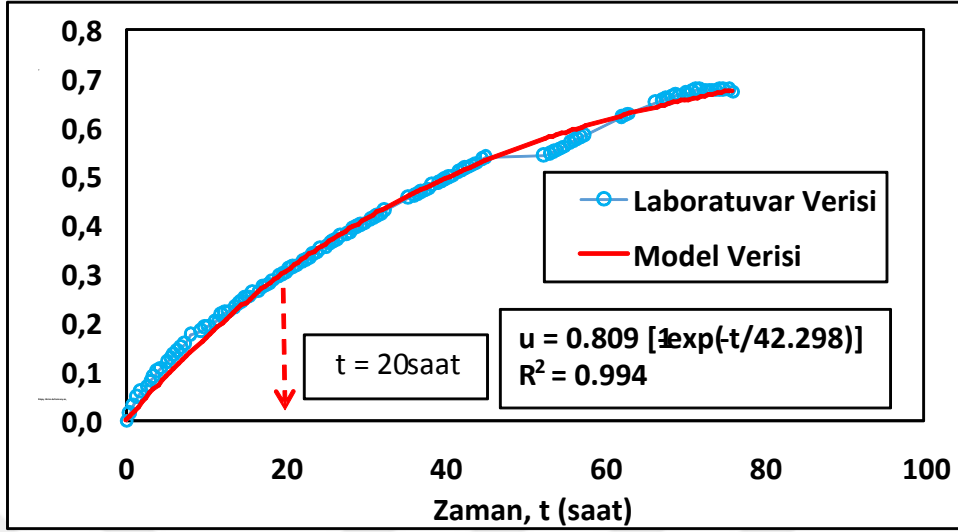
## A2 Panosuna ait numunenin XRD sonucu

K-3 sınıfına giren XRD sonuçları ;  
A1 Panosuna ait numunenin XRD sonucu

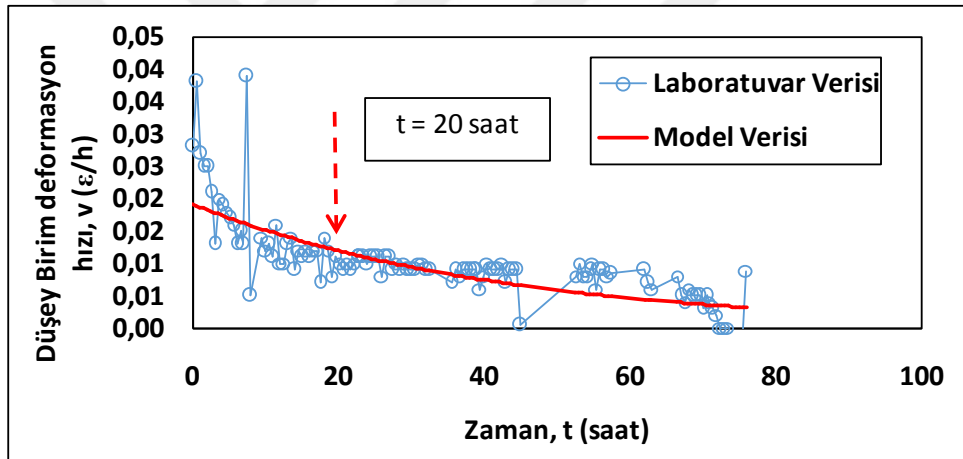
## EK-2 ŞİŞME DENEY SONUÇLARI

K-1 sınıfına ait şişme deney sonuçları;

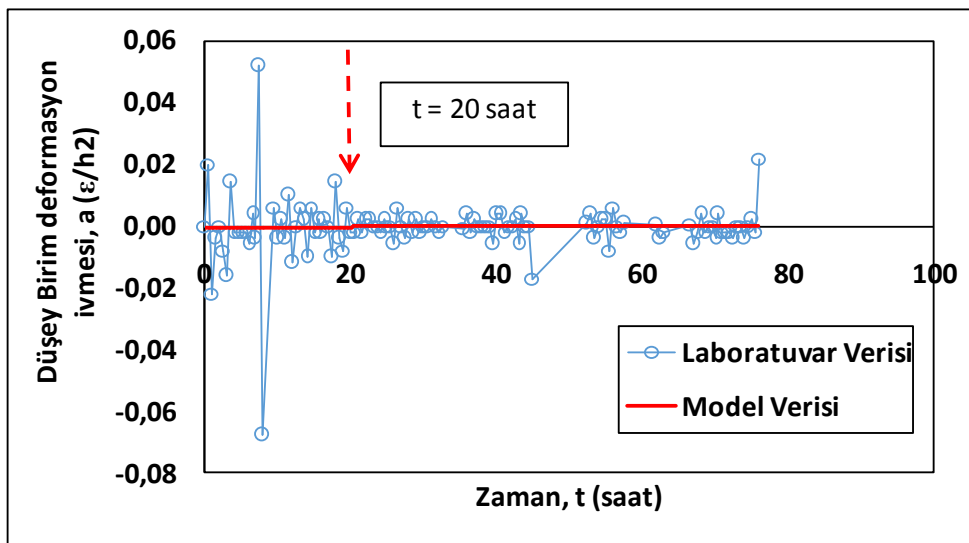
A1 panosu 1 nolu (A1/1) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düsey birim deformasyon davranışı



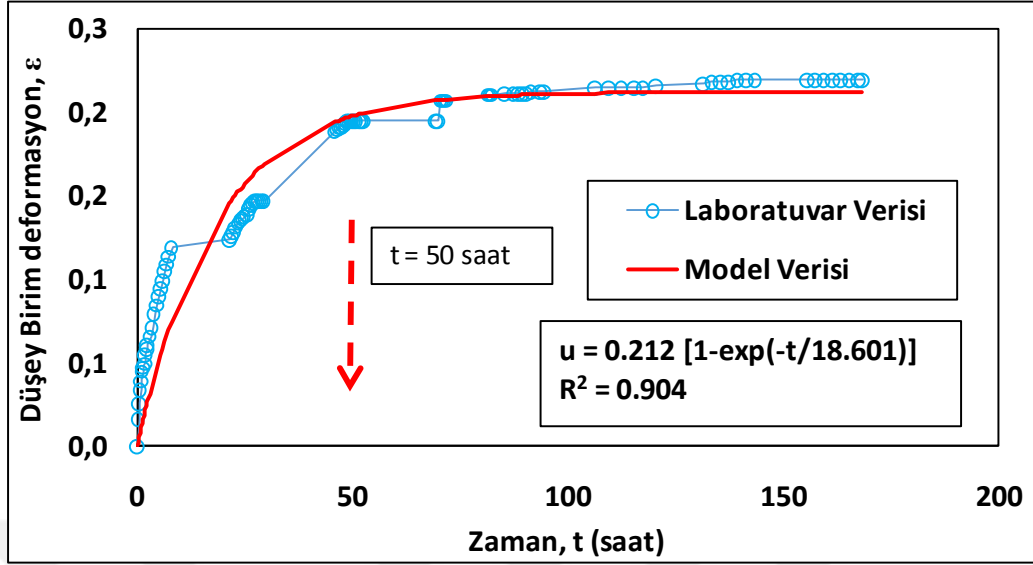
Zaman-Düsey birim deformasyon hızı davranışı



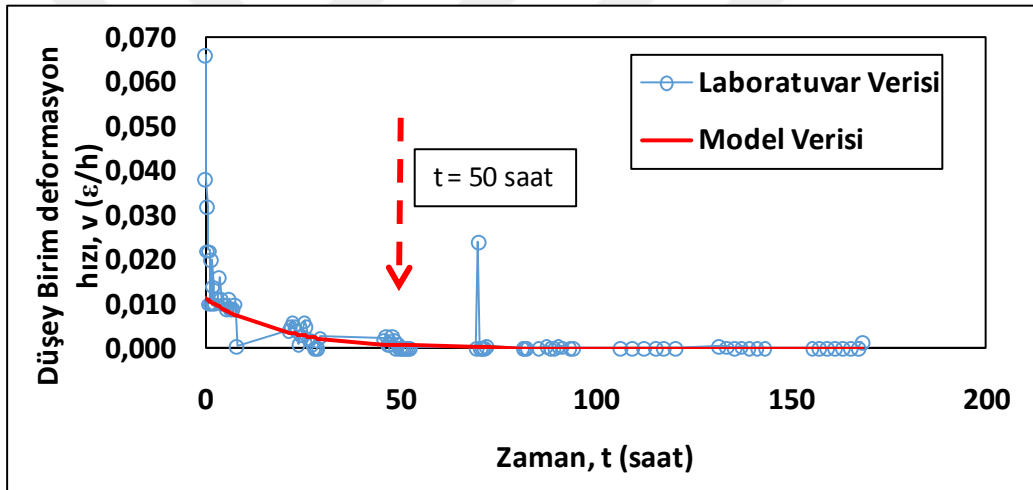
Zaman-Düsey birim deformasyon ivme davranışı



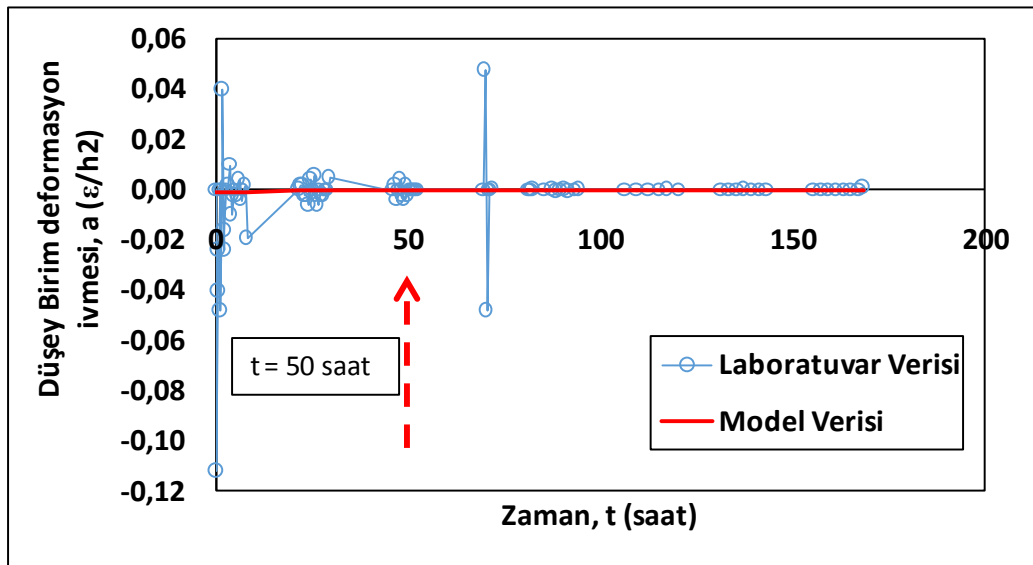
A2 panosu 1 nolu (A2/1) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

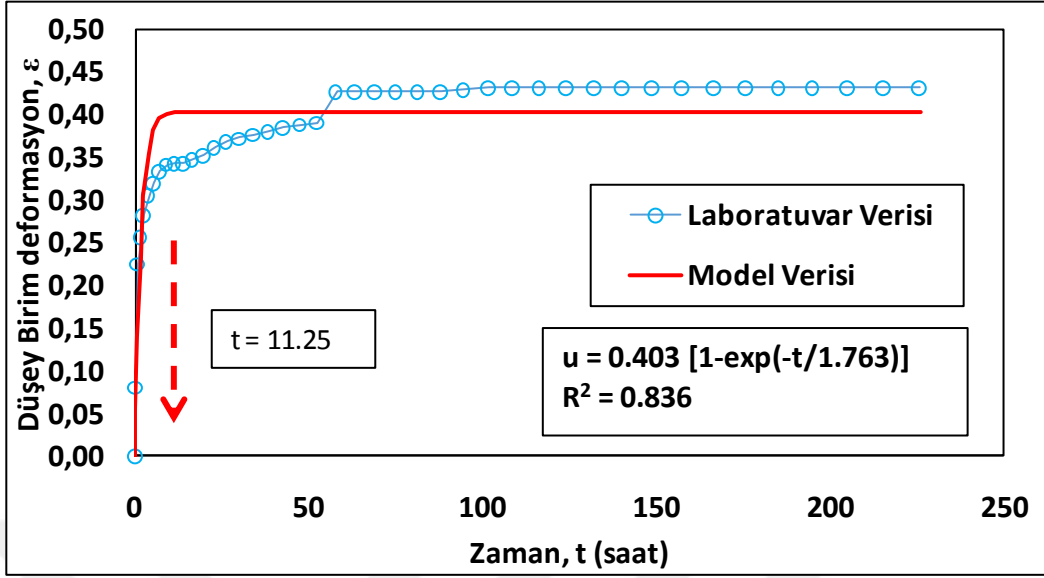


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

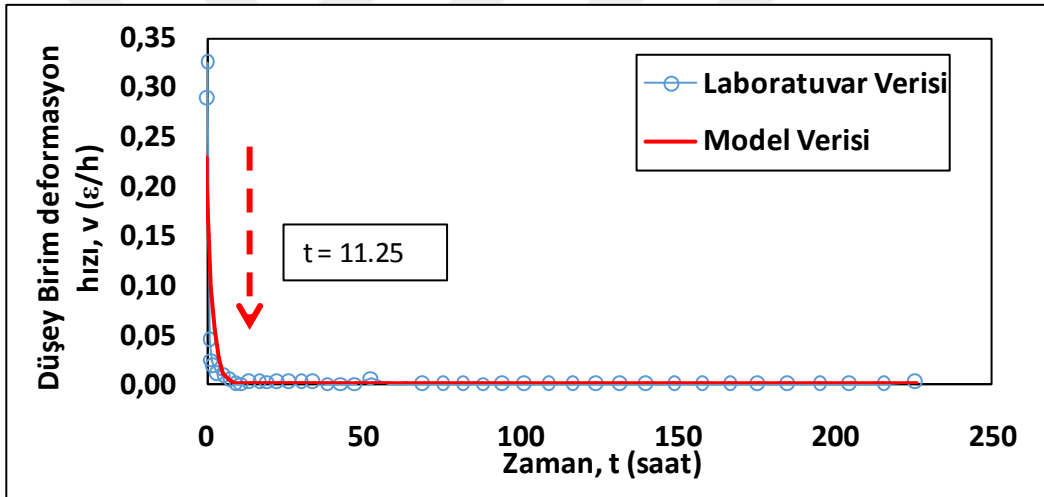


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

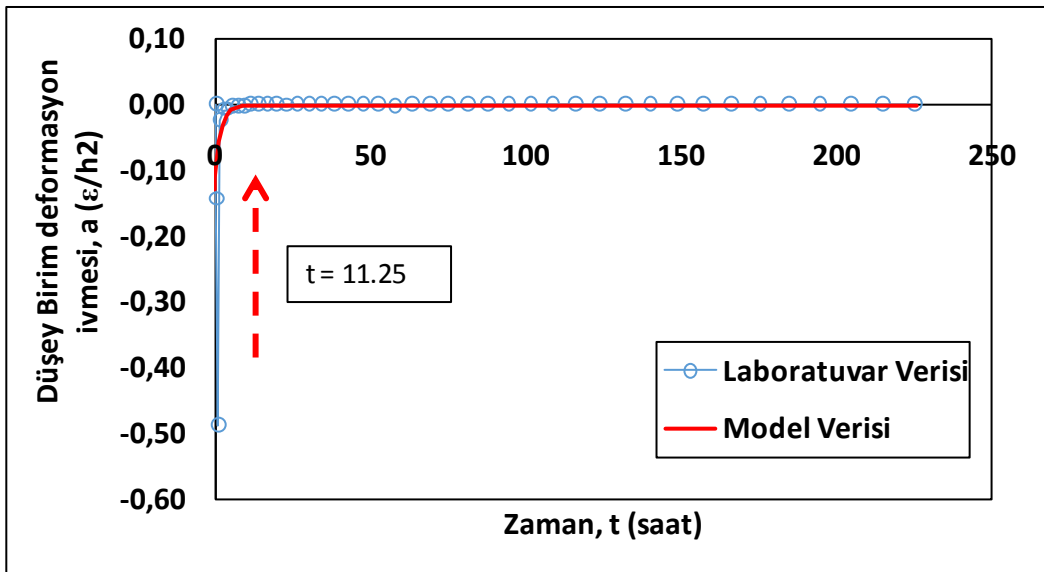
A2 panosu 2 nolu (A2/2) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

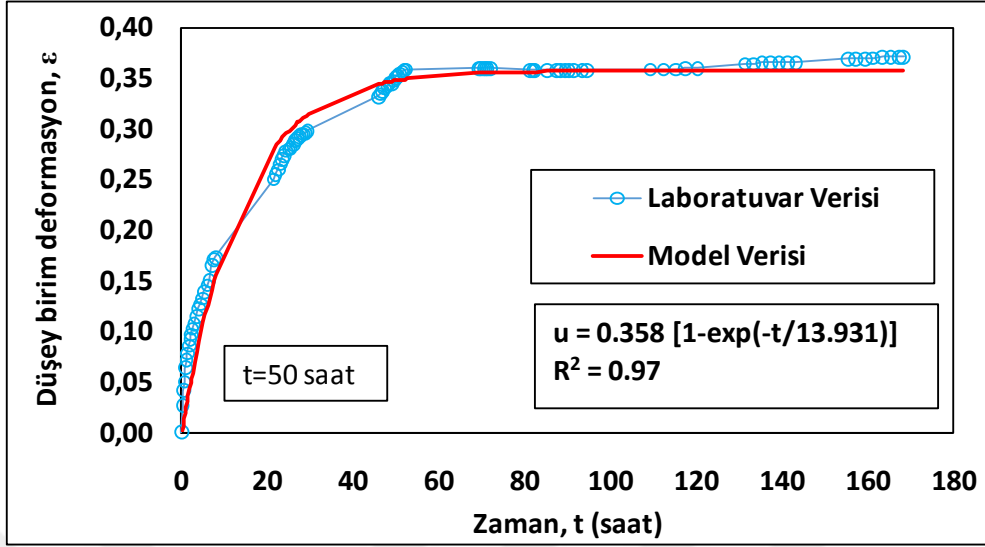


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

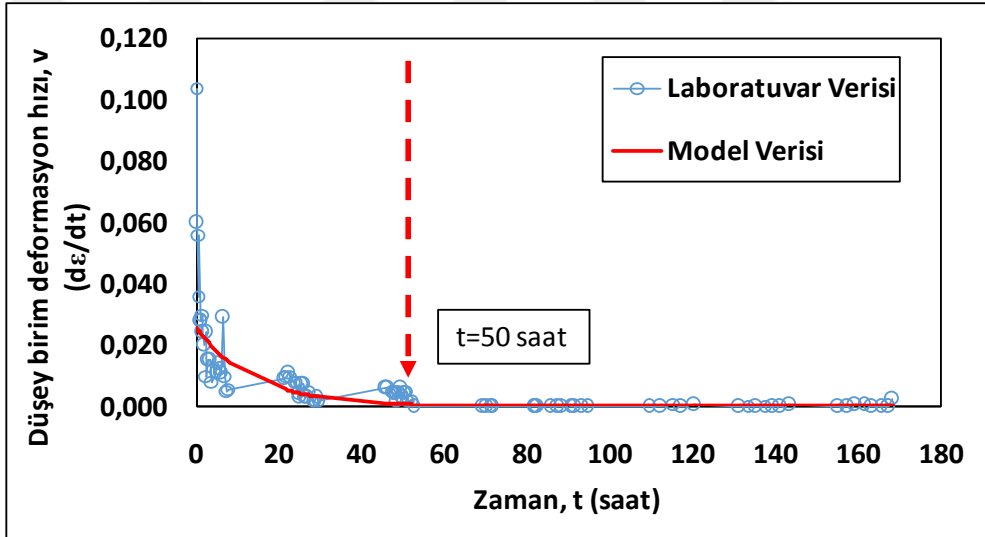


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

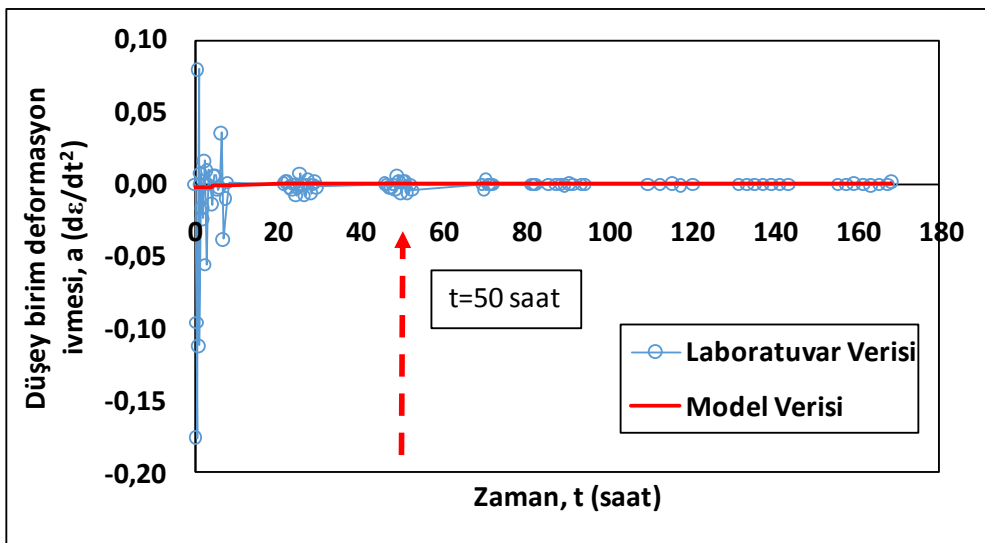
A2 panosu 3 nolu (A2/3) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

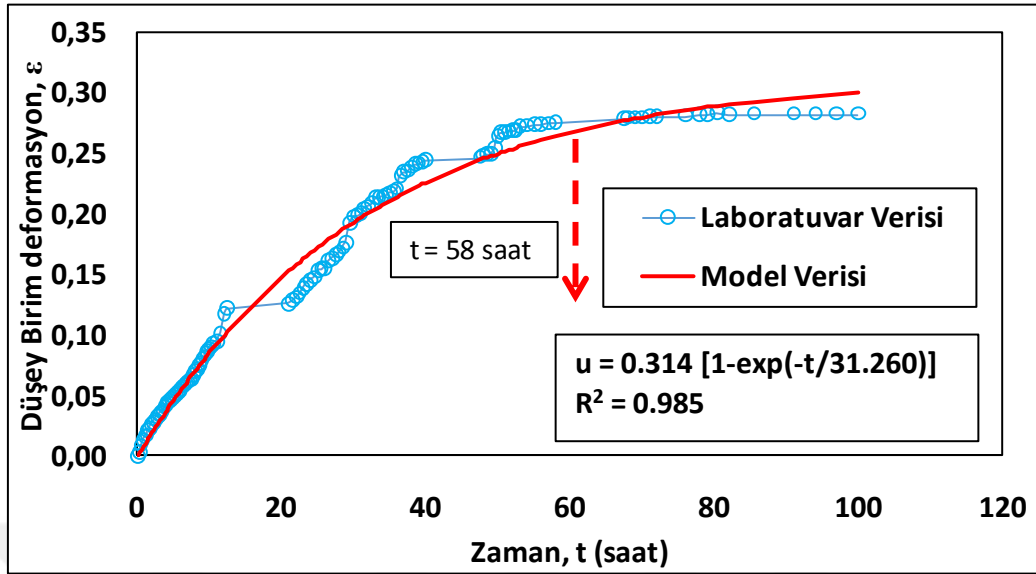


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

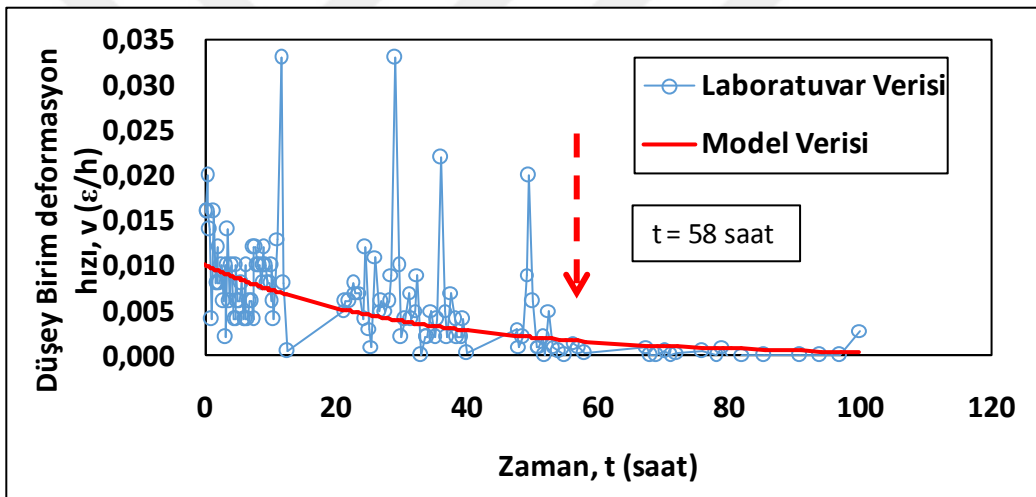


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

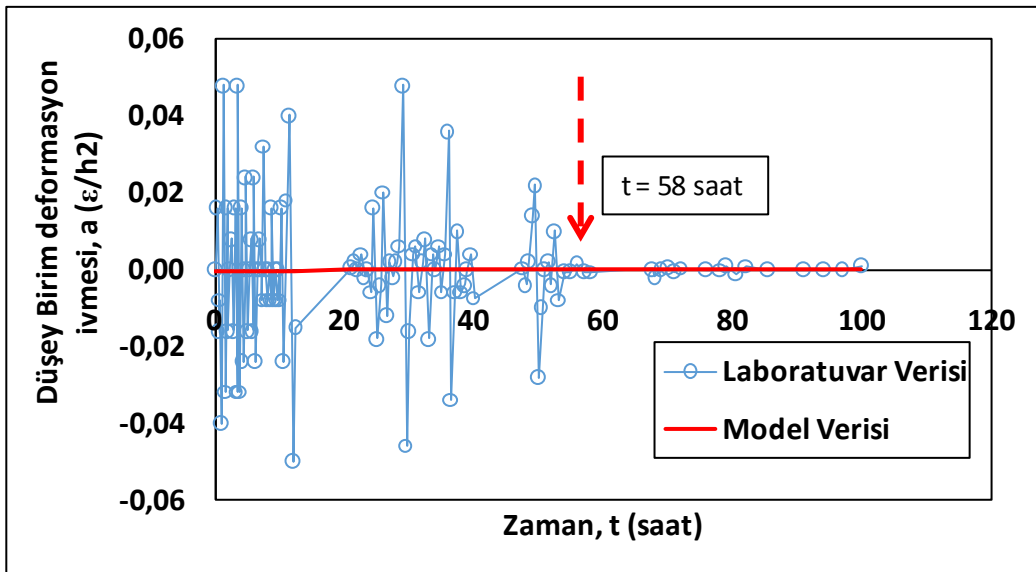
A2 panosu 4 nolu (A2/4) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

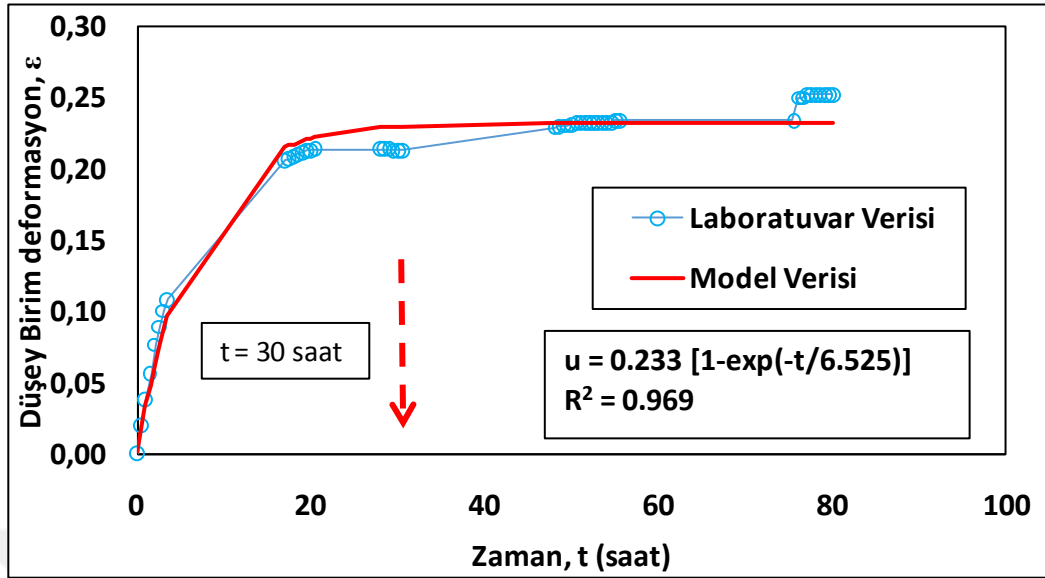


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

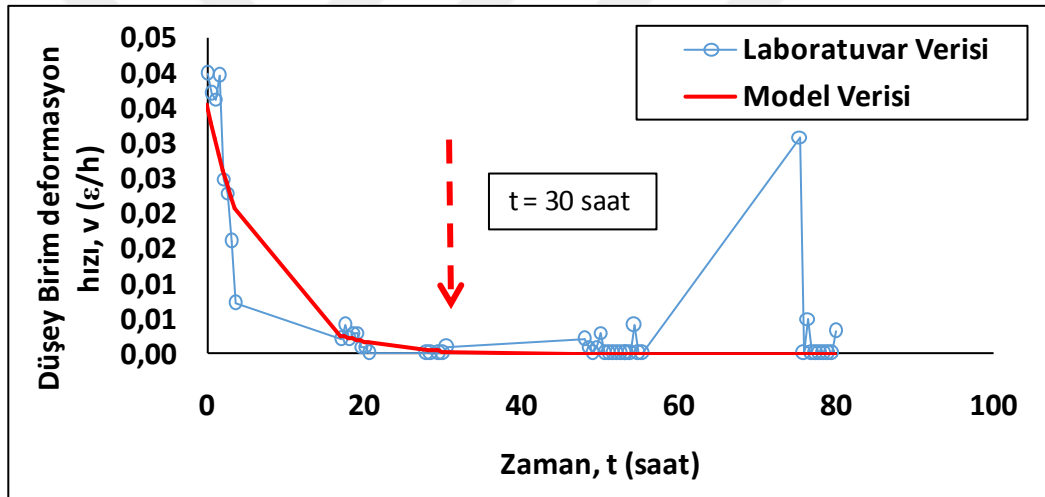


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

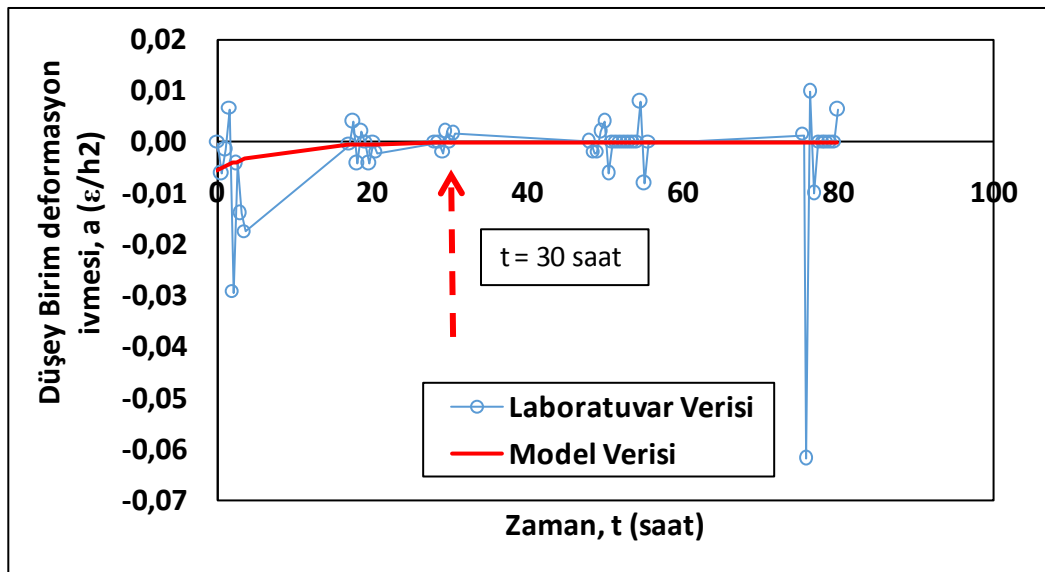
A2 panosu 5 nolu (A2/5) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

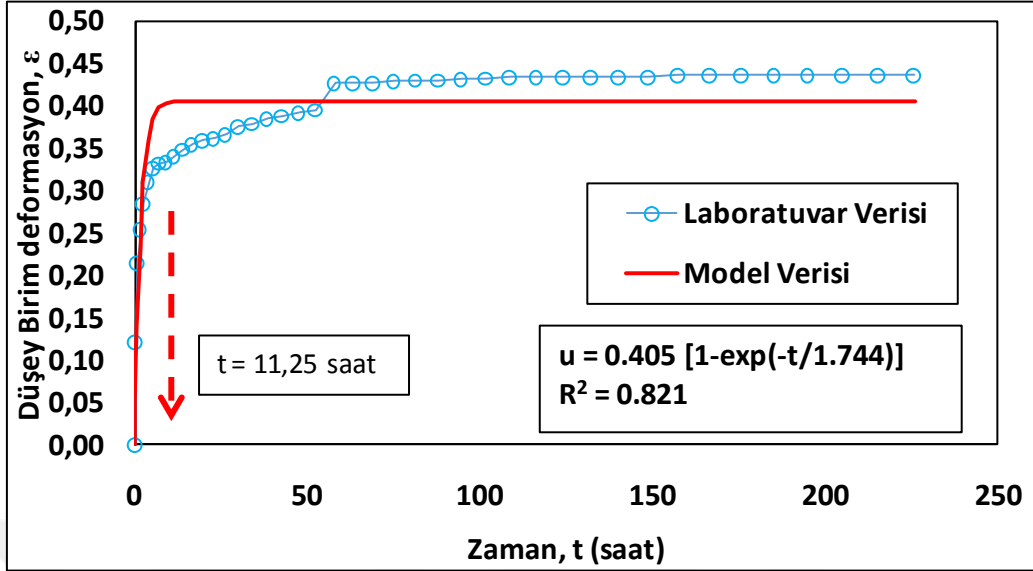


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

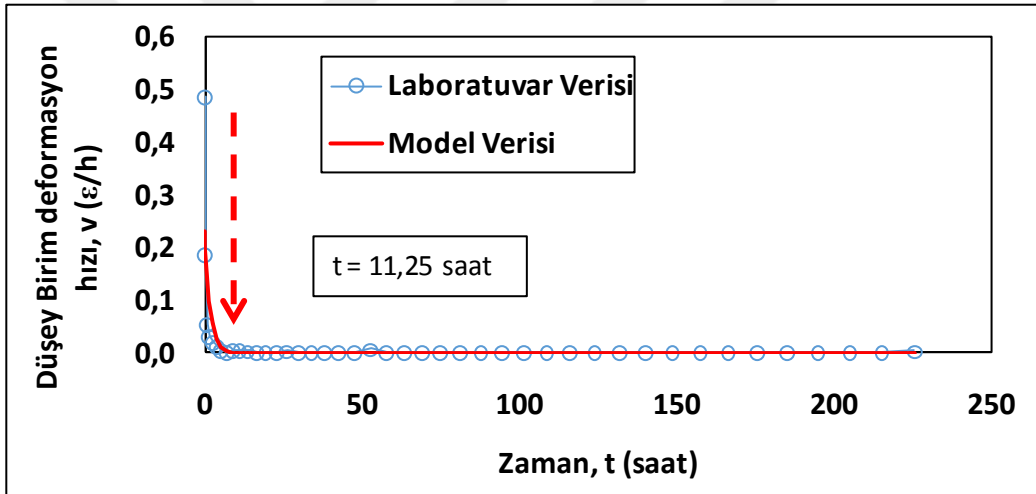


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

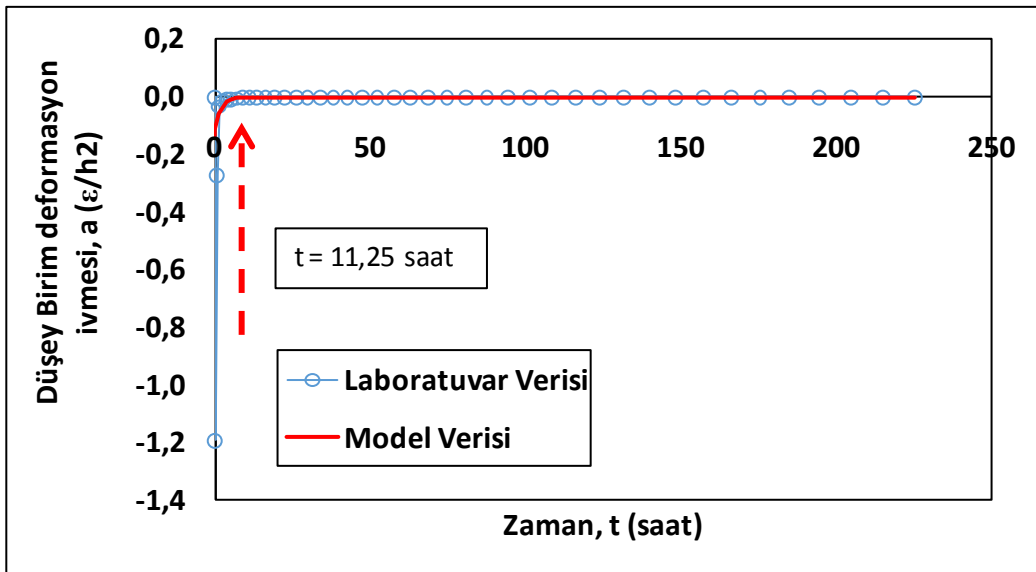
A2 panosu 6 nolu (A2/6) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düsey birim deformasyon davranışı

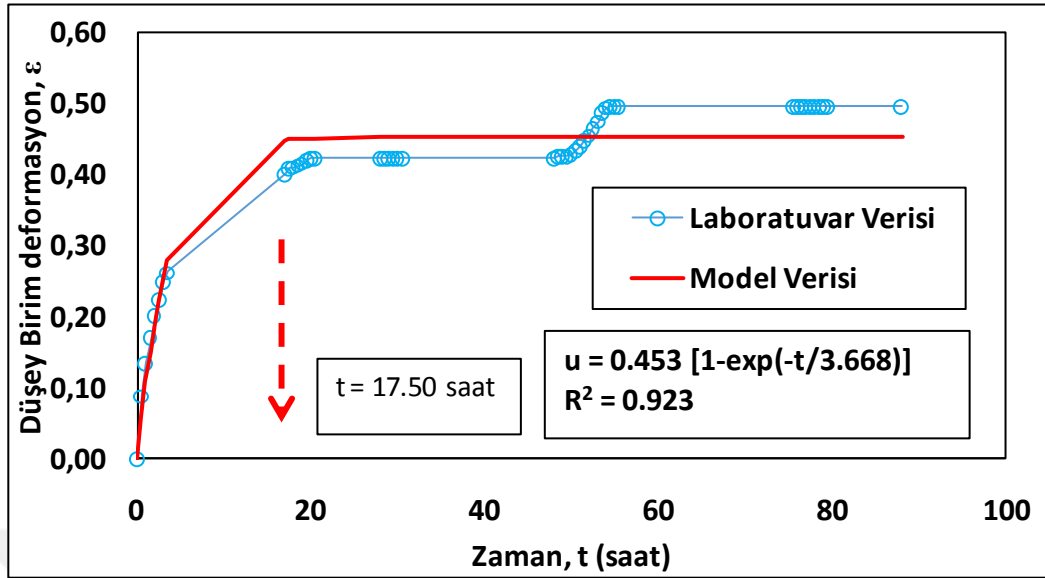


Zaman-Düsey birim deformasyon hız davranışı

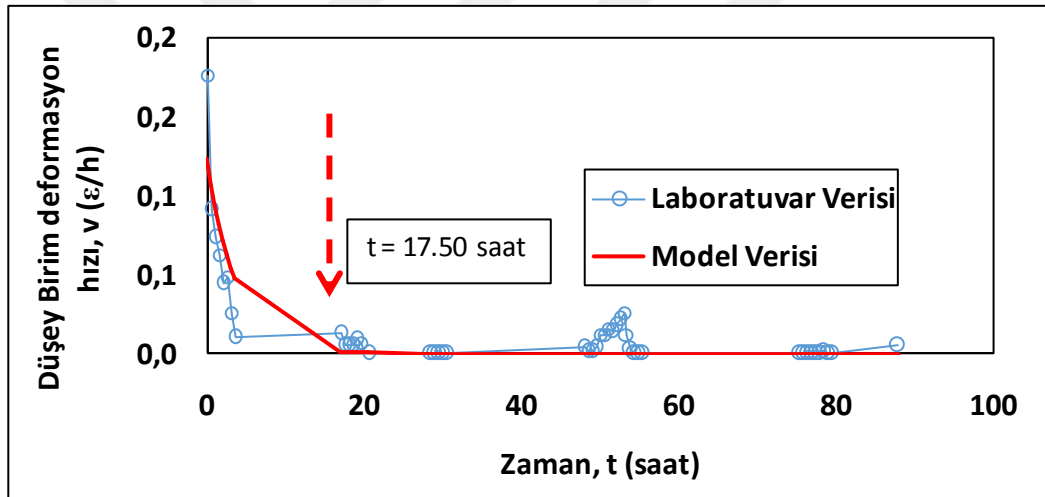


Zaman-Düsey birim deformasyon ivme davranışı

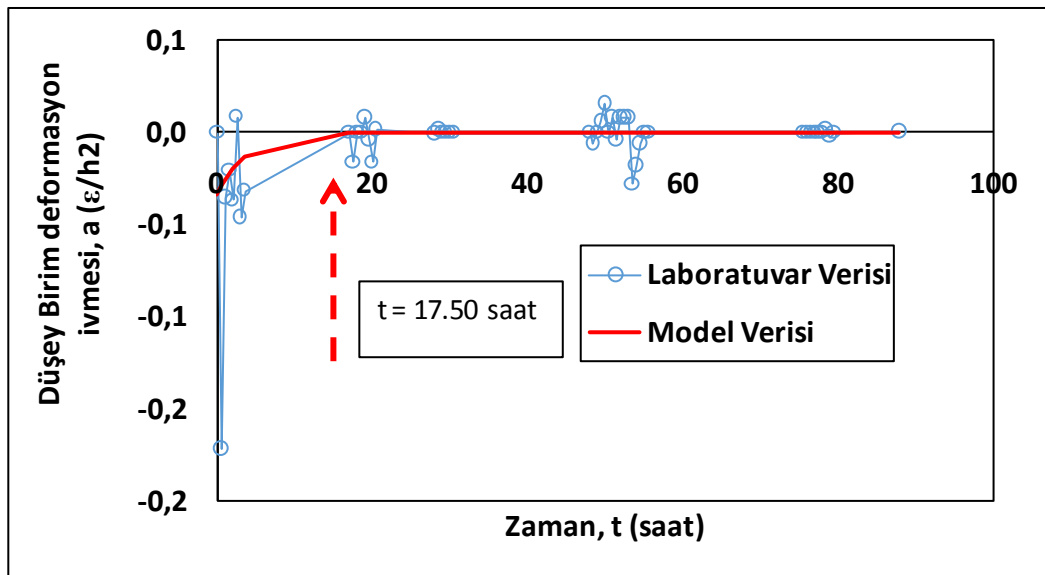
A2 panosu 7 nolu (A2/7) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

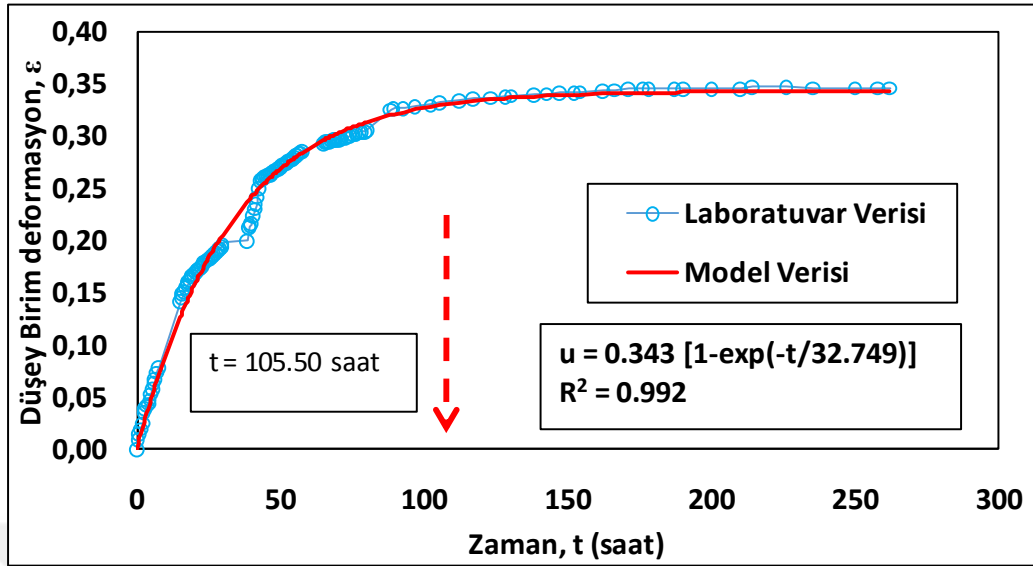


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

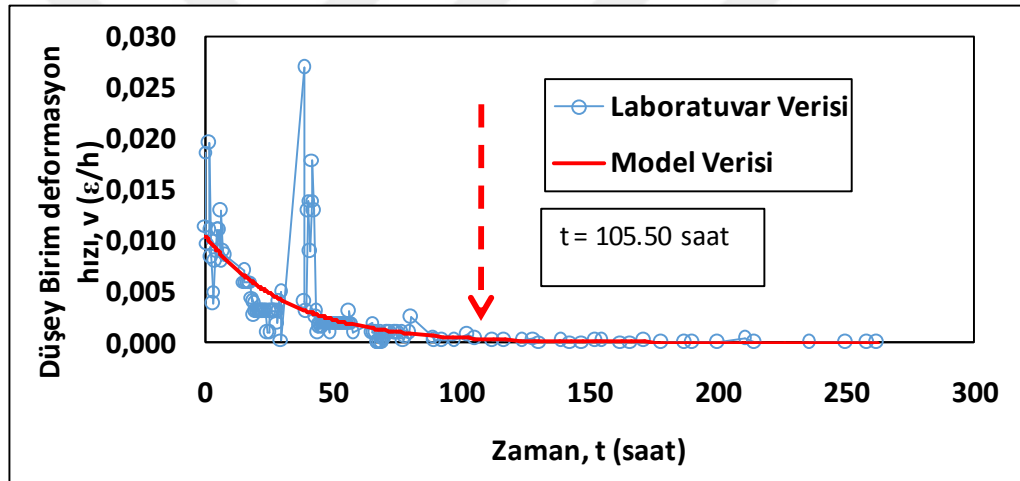


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

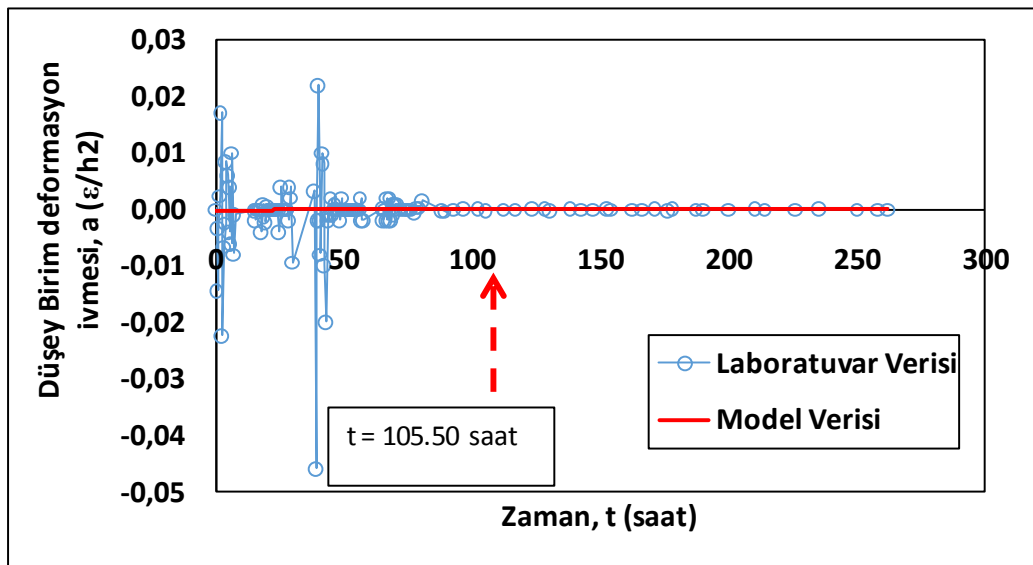
A2 panosu 8 nolu (A2/8) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı



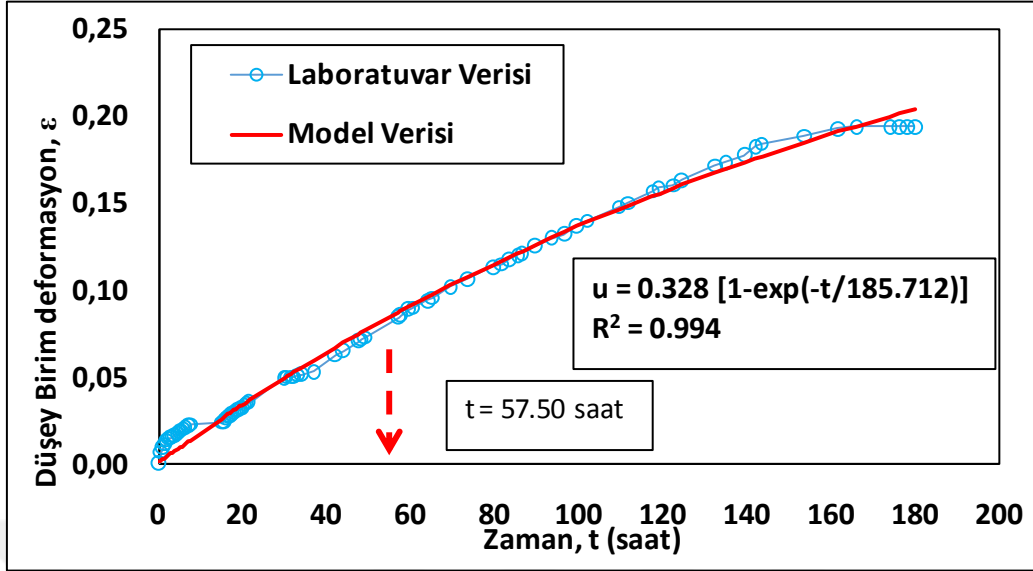
Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı



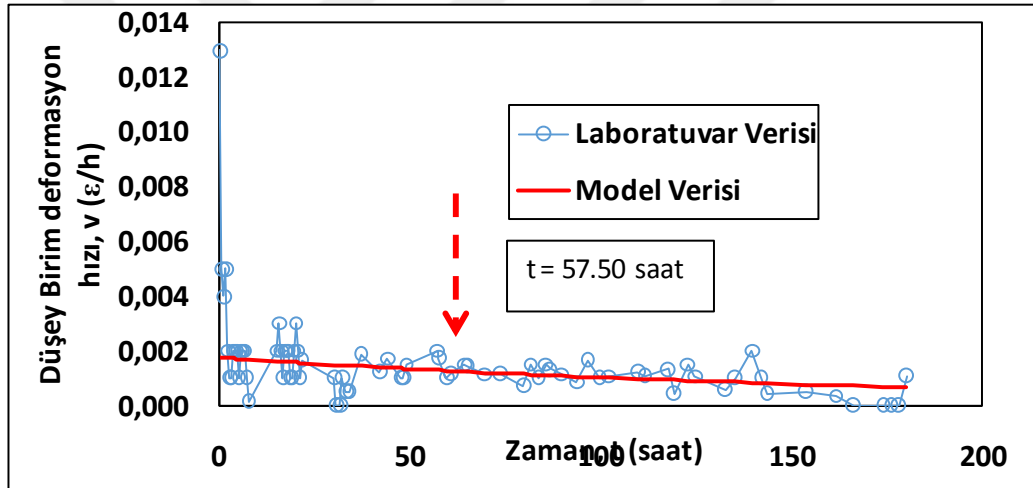
Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı



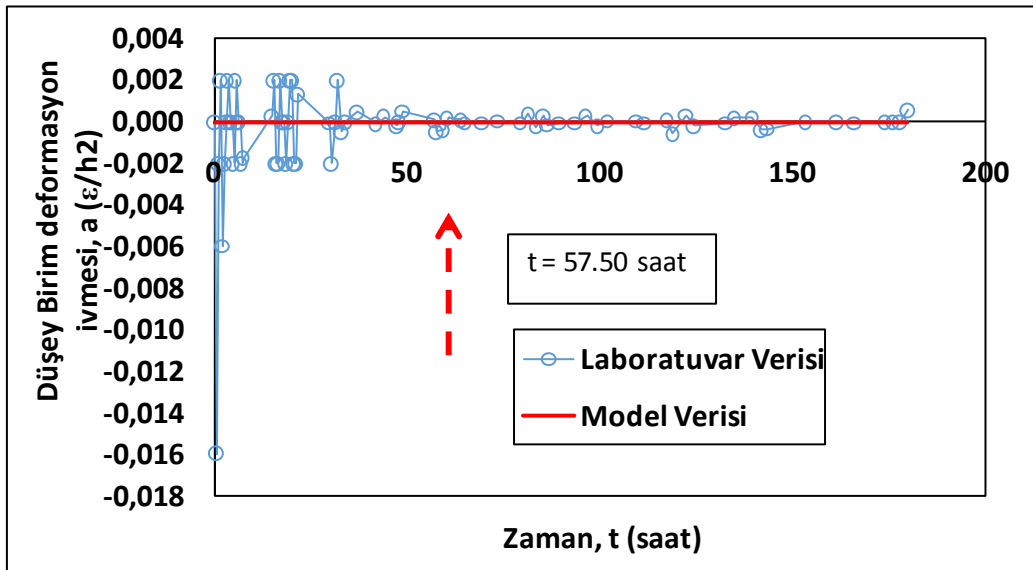
A2 panosu 10 nolu (A2/10) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı



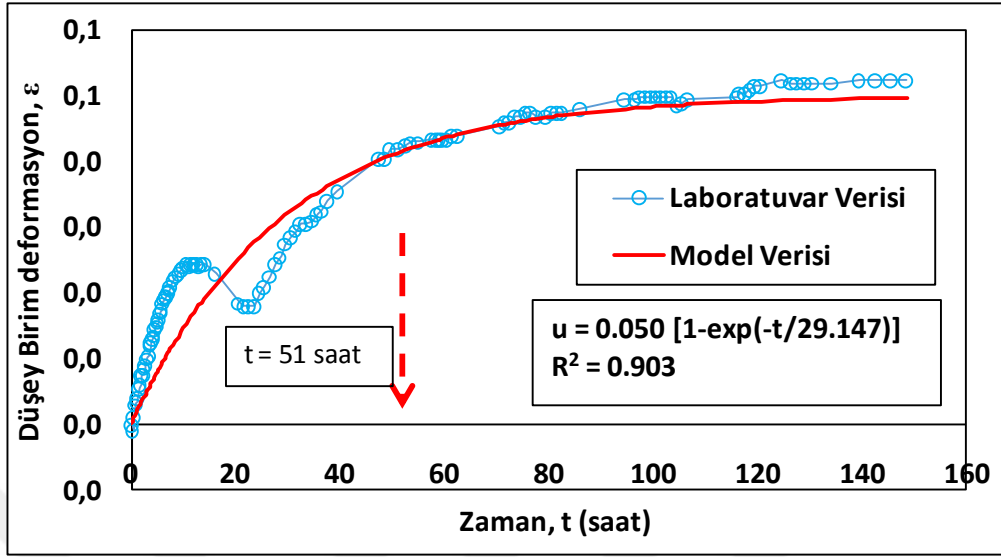
Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı



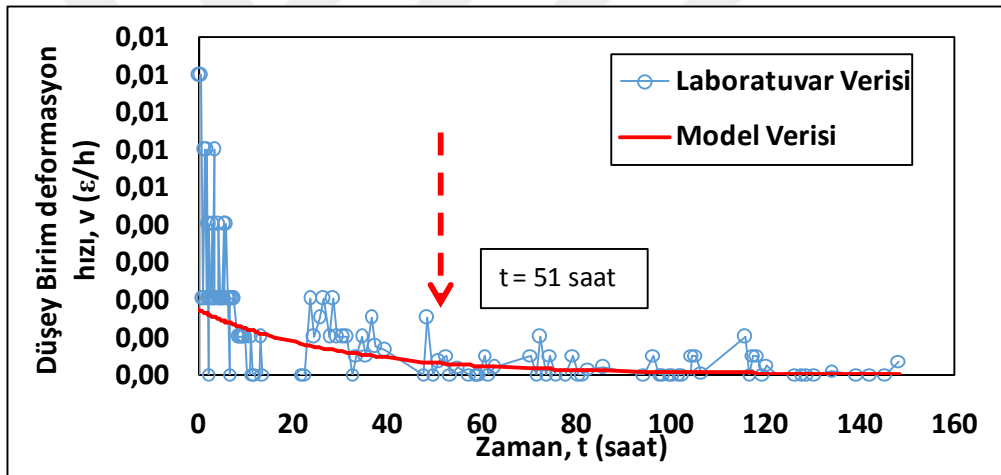
Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

K-2 sınıfına ait şişme deney sonuçları;

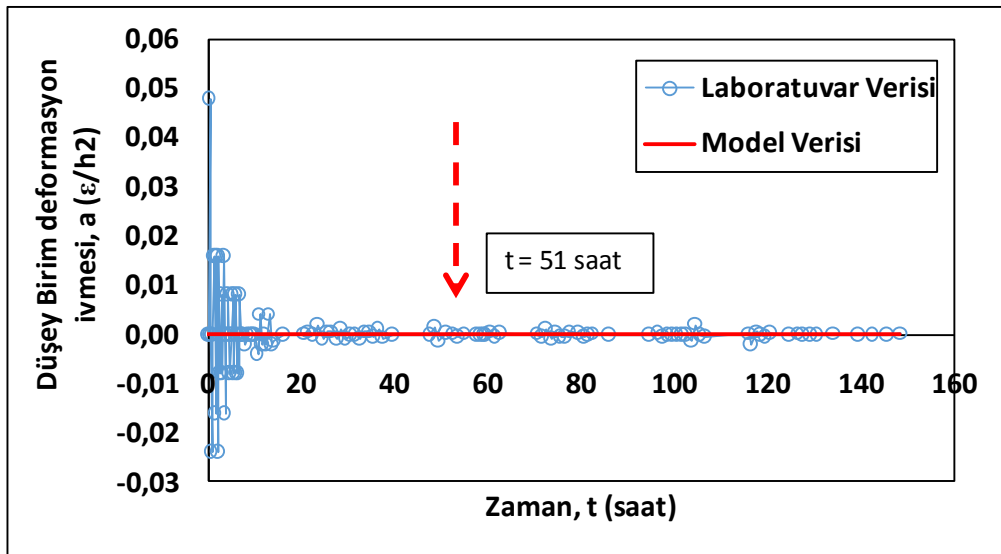
A1 panosu 2 nolu (A1/2) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düsey birim deformasyon davranışı

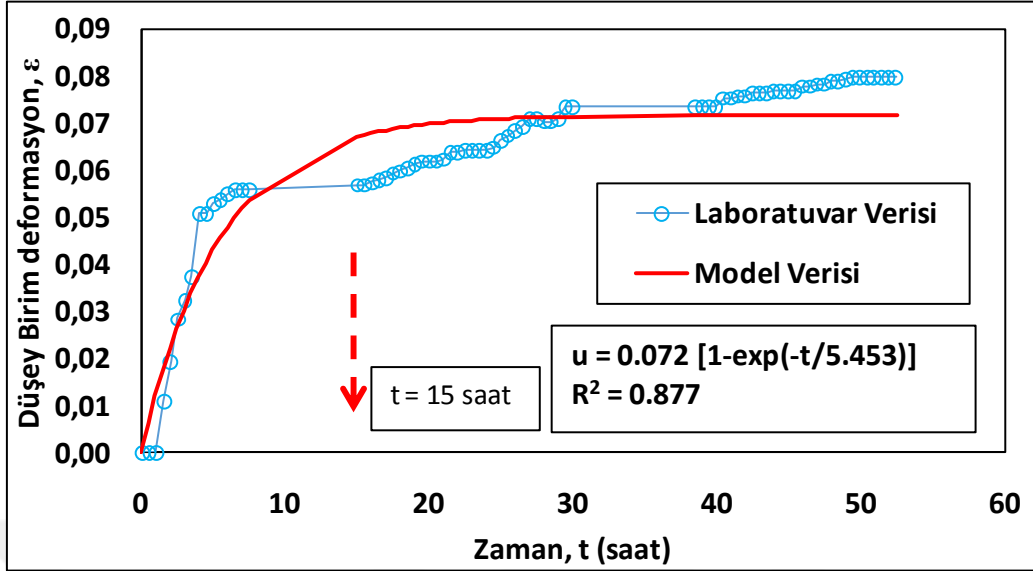


Zaman-Düsey birim deformasyon hızı davranışı

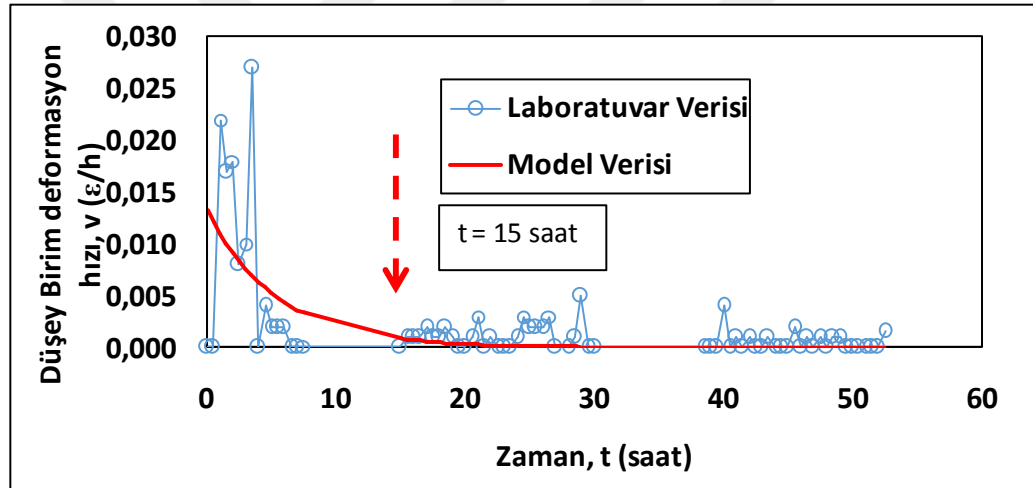


Zaman-Düsey birim deformasyon ivme davranışı

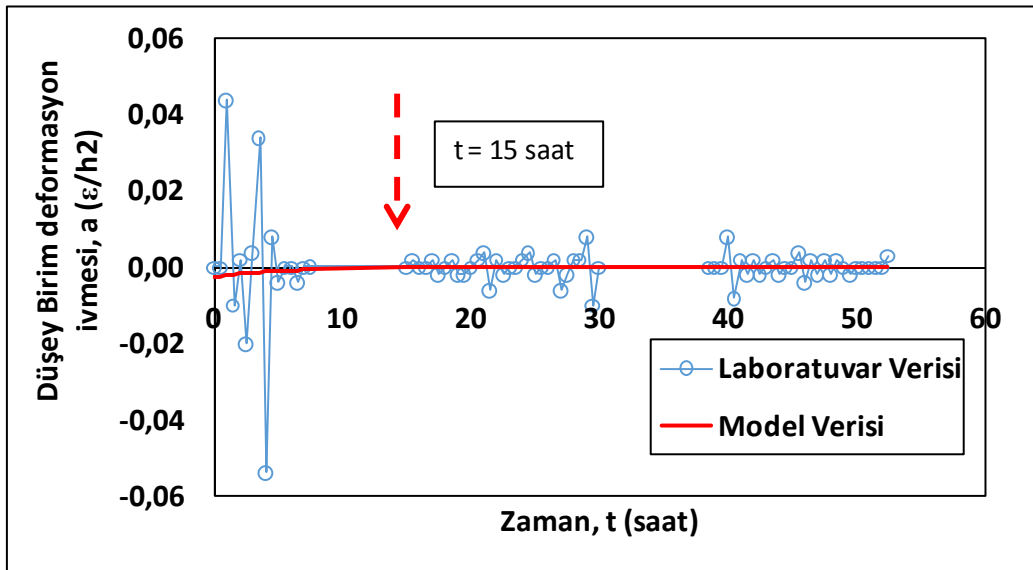
A6 panosu 1 nolu (A6/1) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

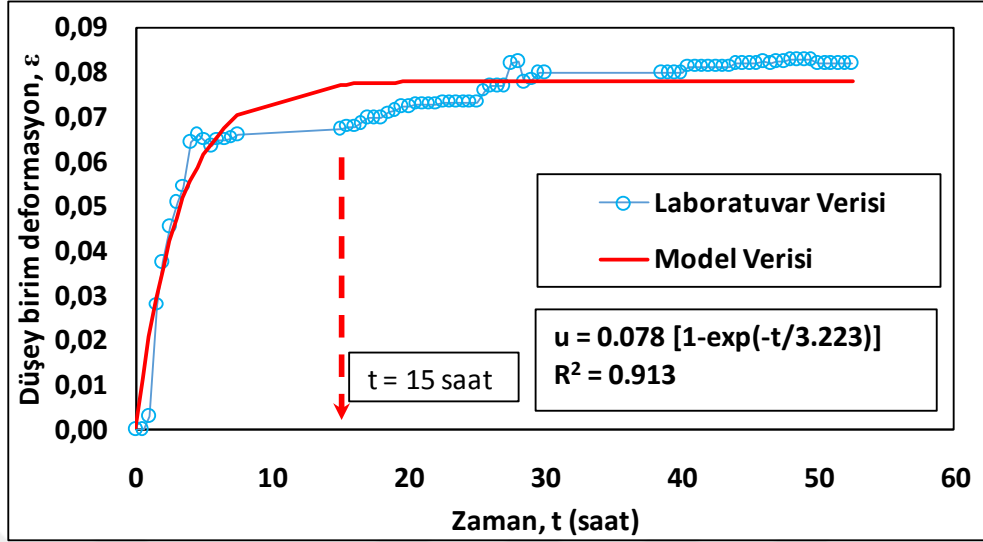


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

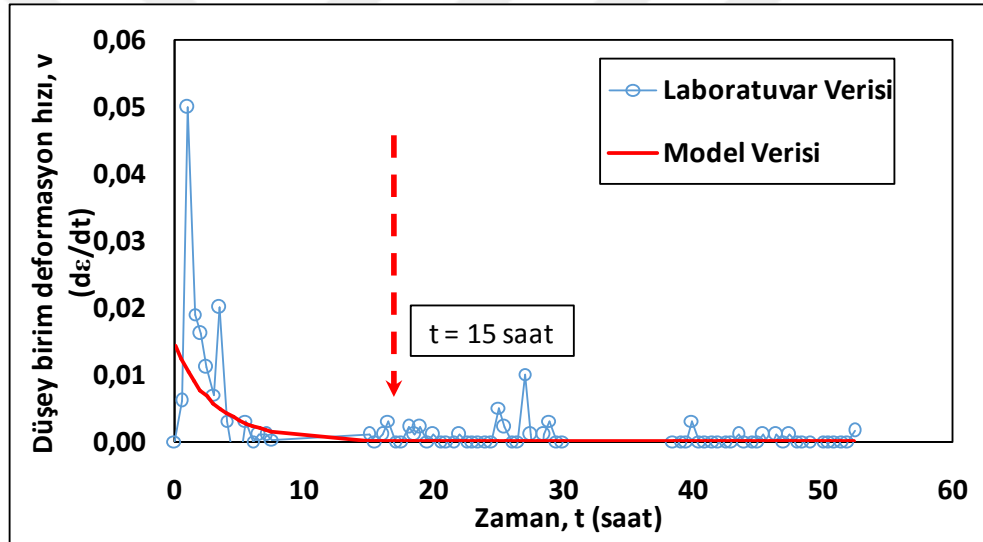


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

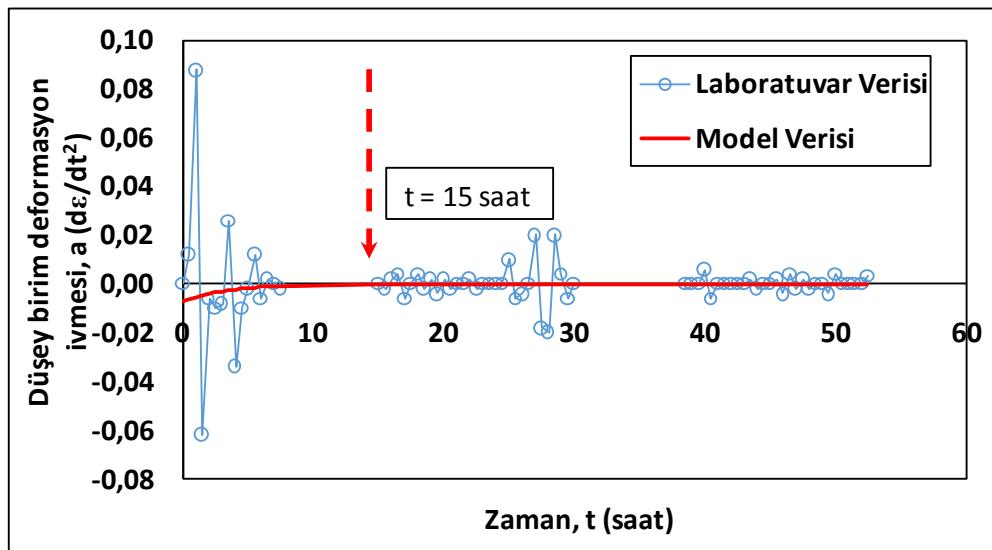
A6 panosu 2 nolu (A6/2) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

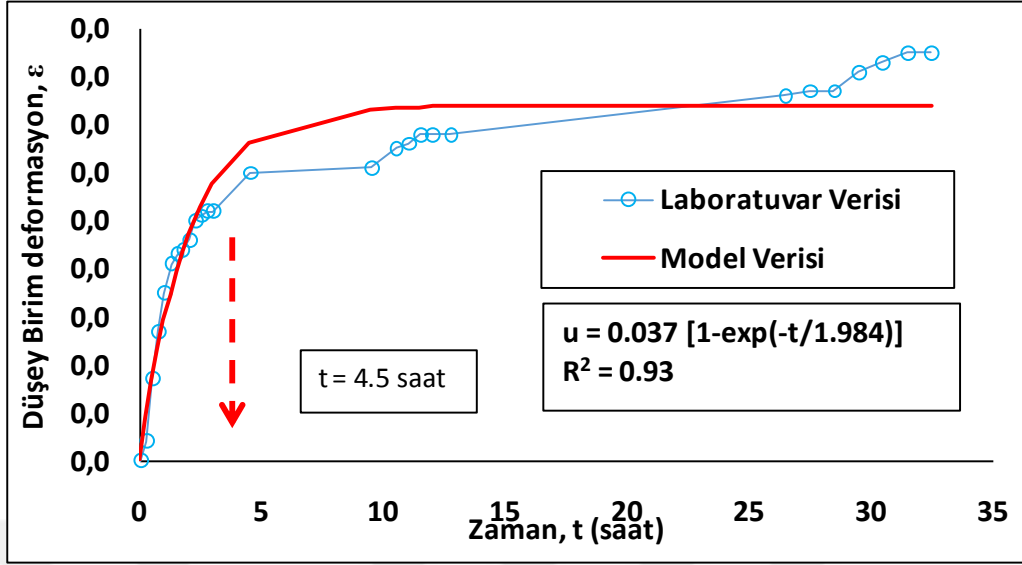


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

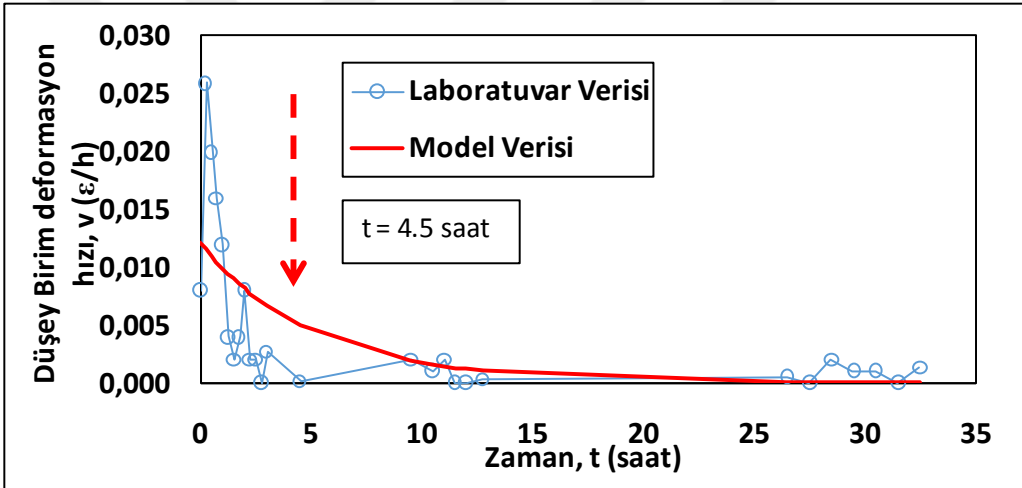


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

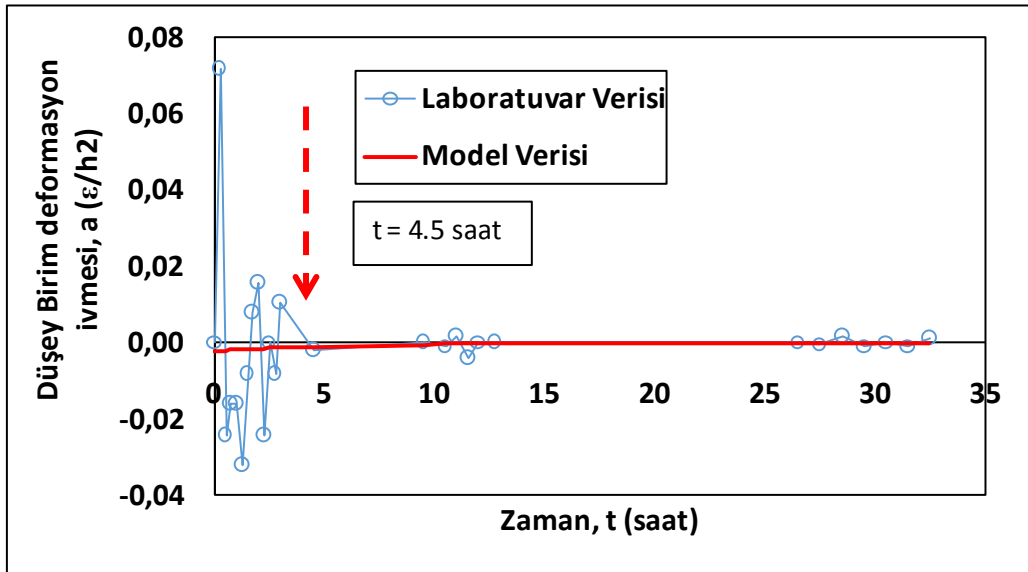
A6 panosu 3 nolu (A6/3) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

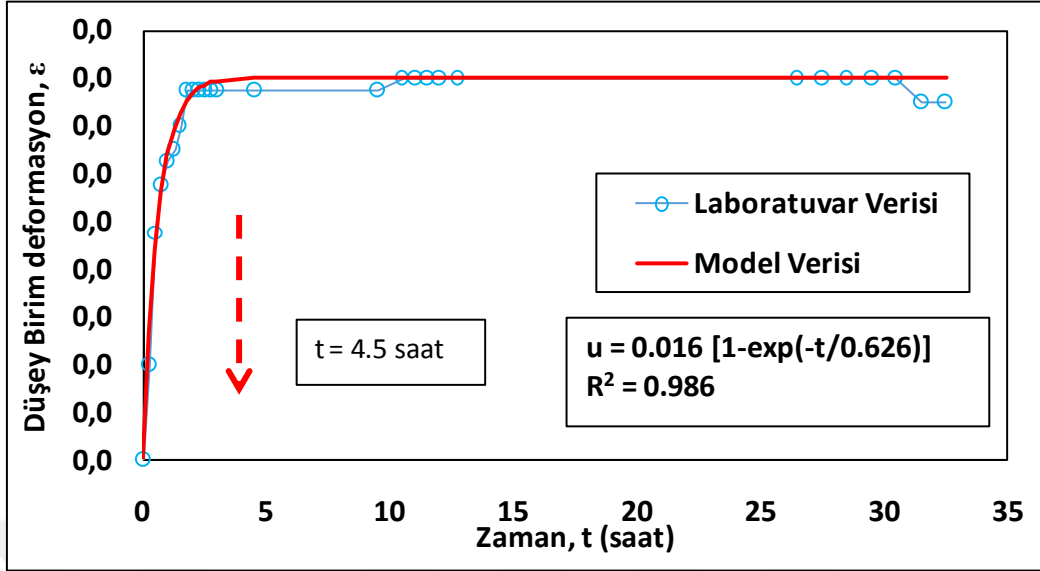


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

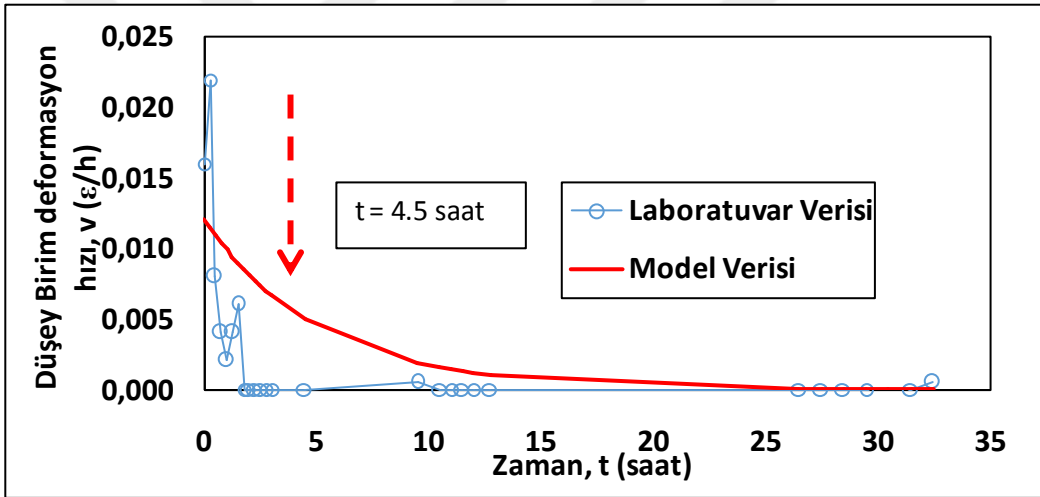


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

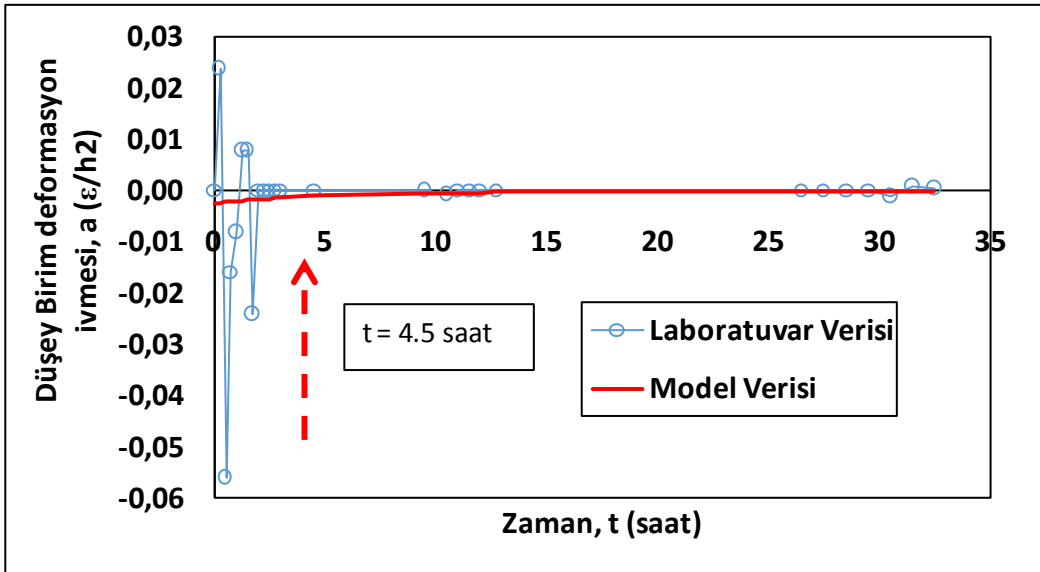
A6 panosu 4 nolu (A6/4) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

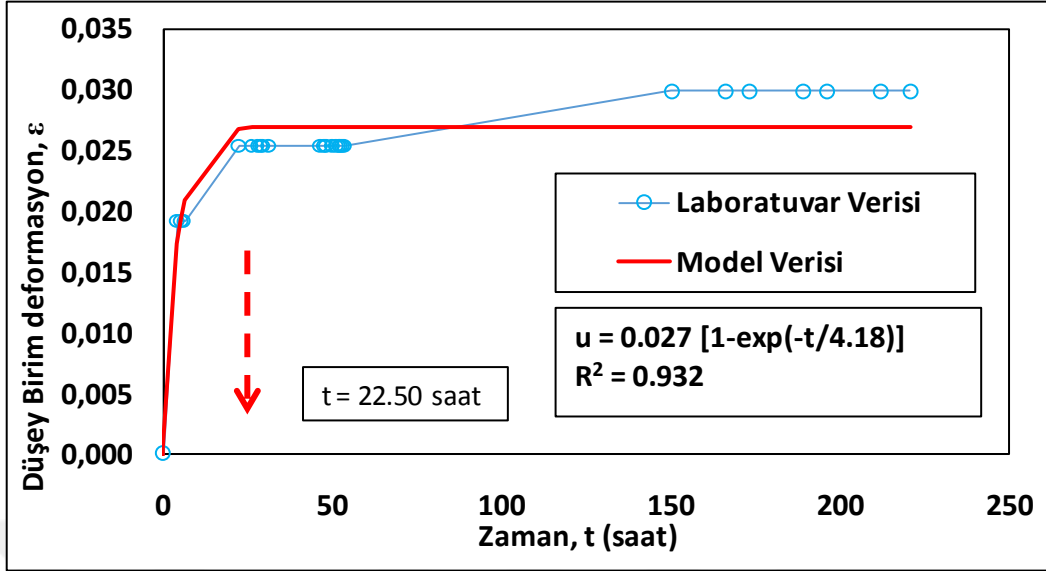


Zaman-Düşey birim deformasyon hız davranışı

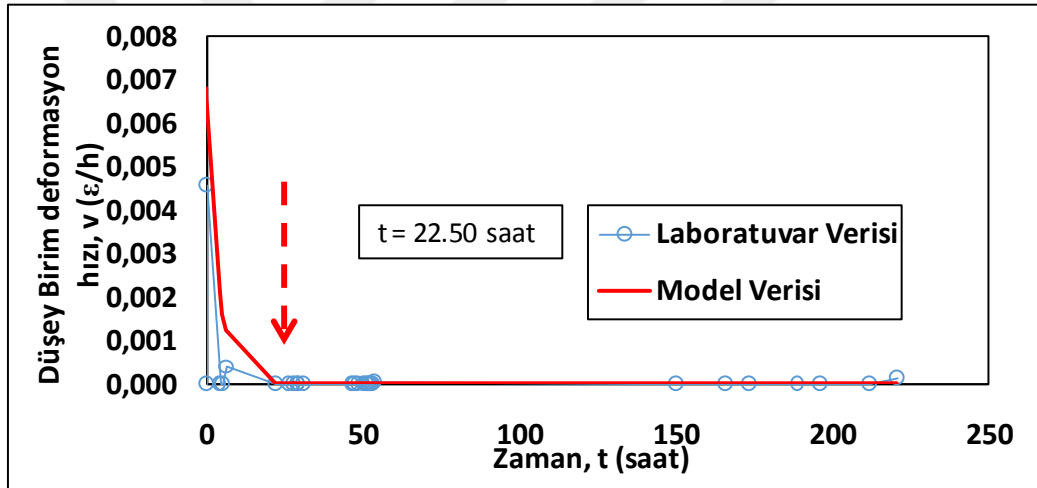


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

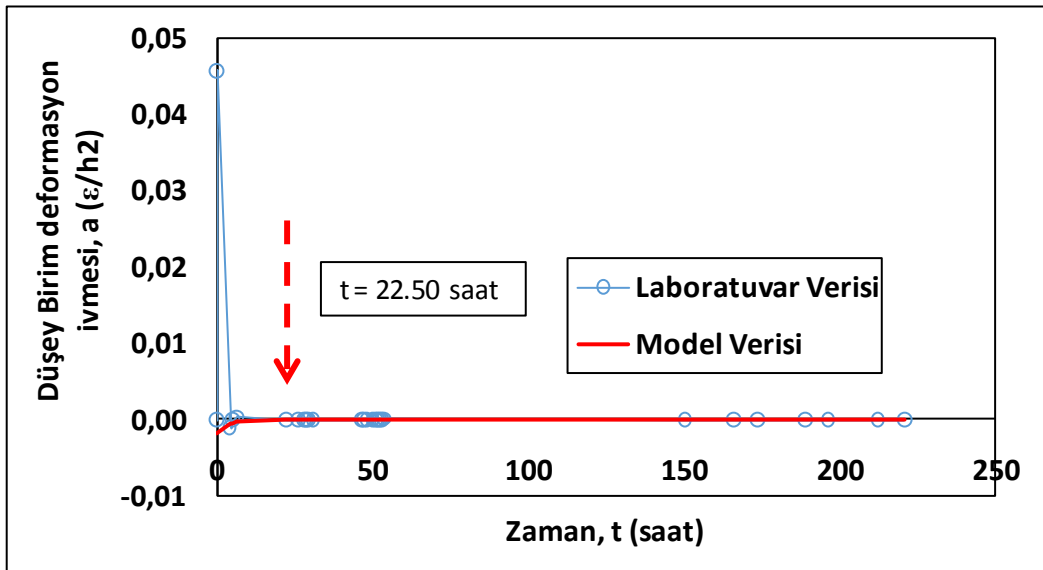
A6 panosu 5 nolu (A6/5) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

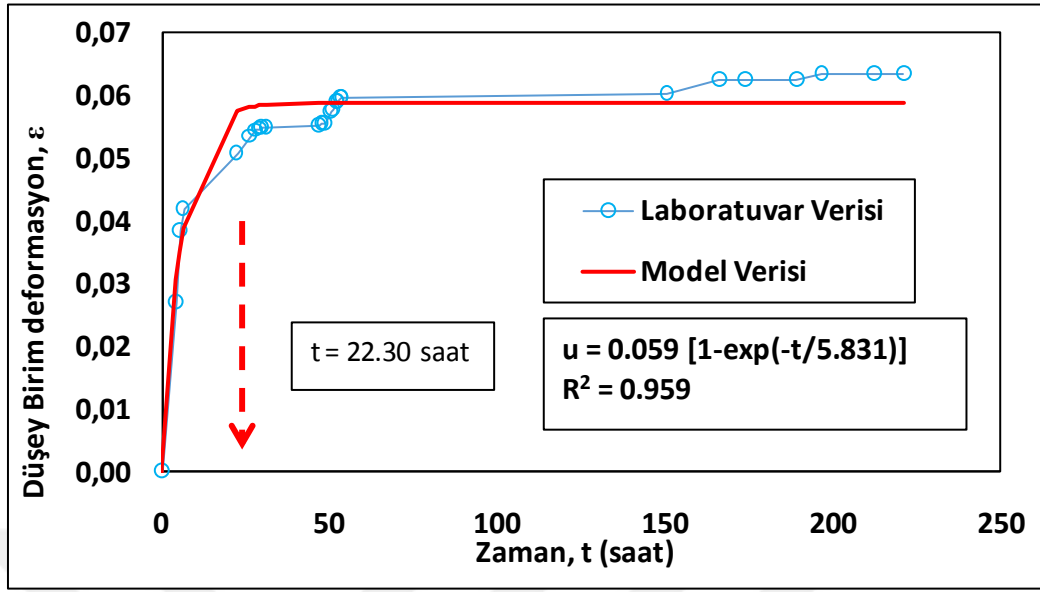


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

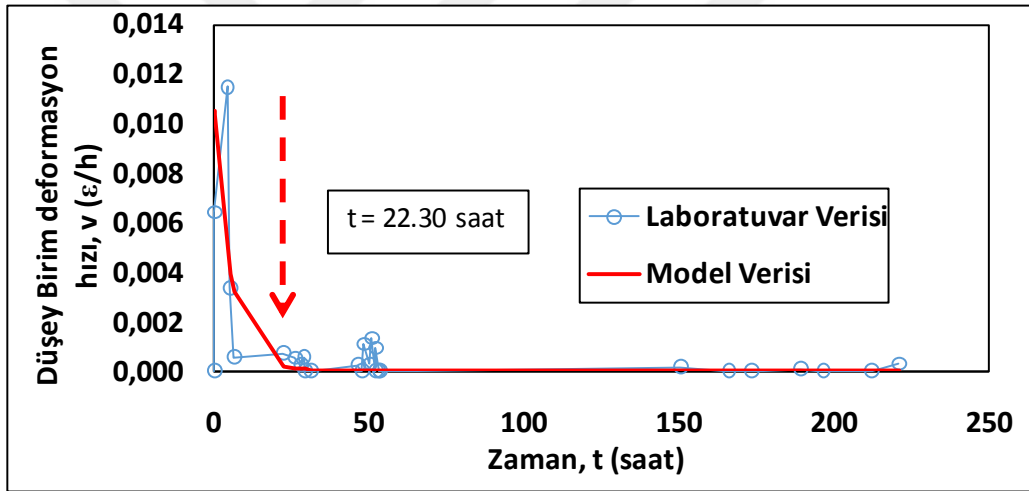


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

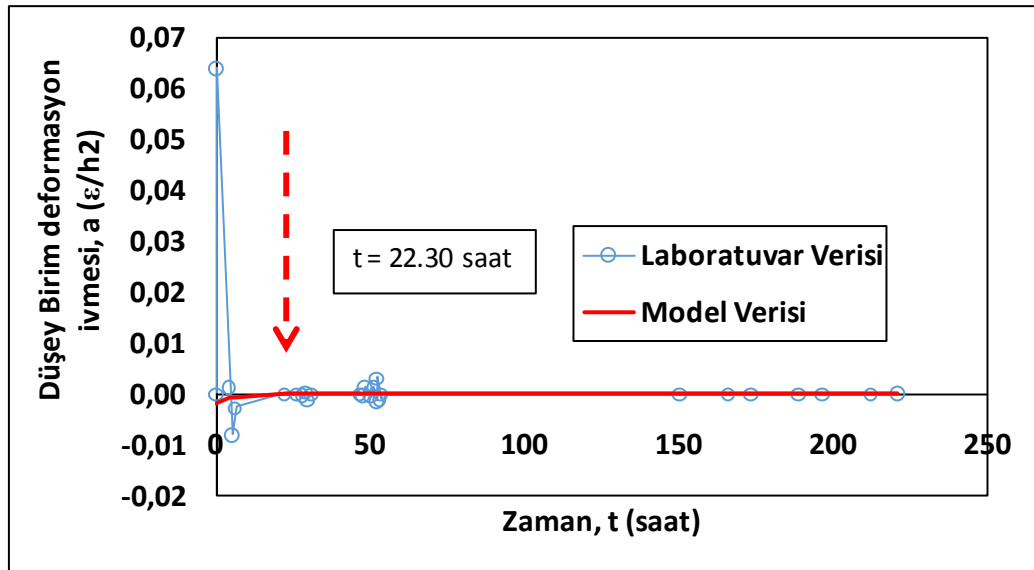
A6 panosu 6 nolu (A6/6) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı



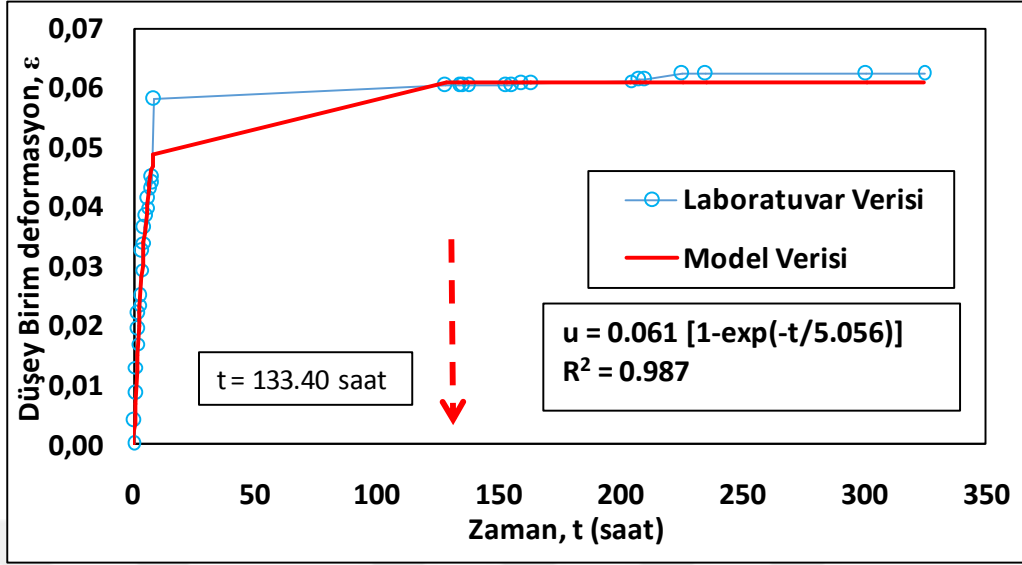
Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı



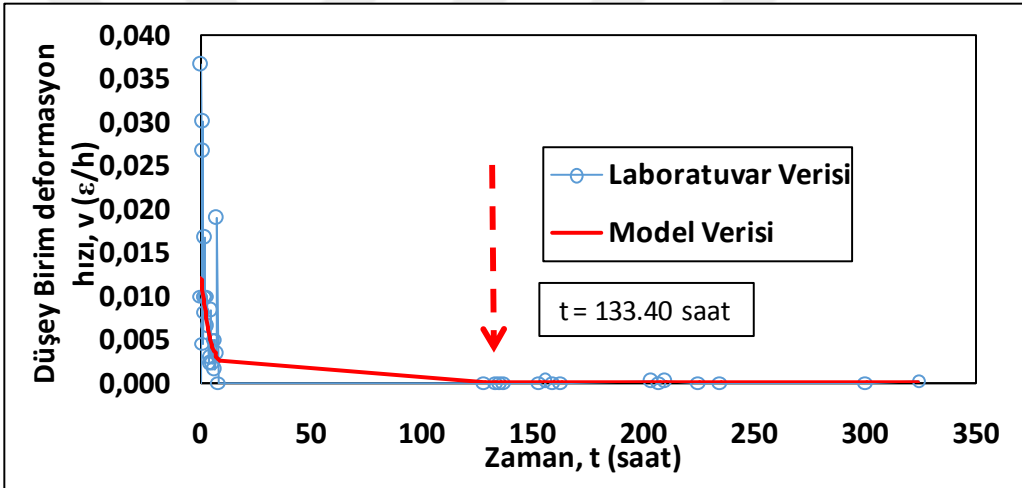
Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı



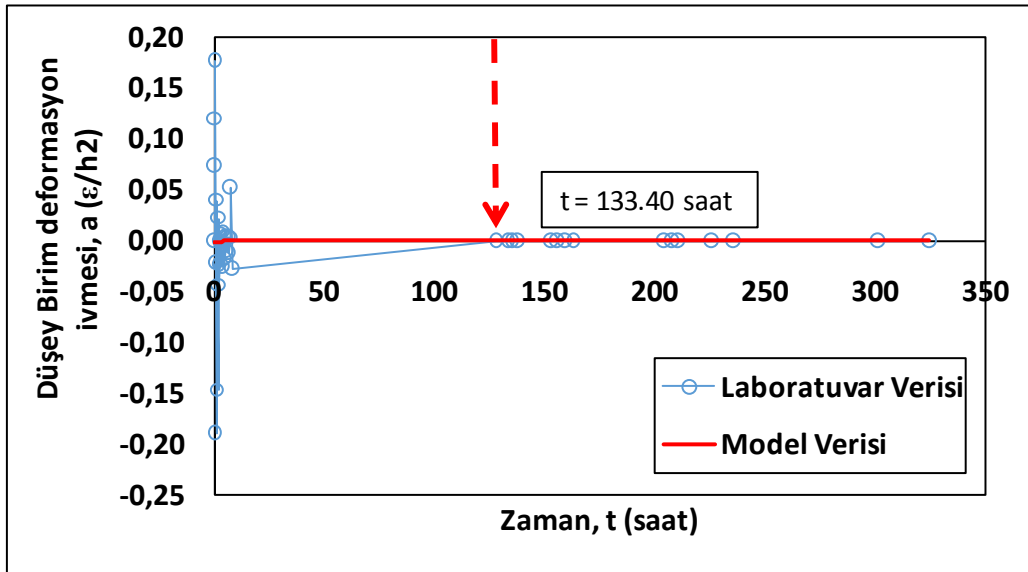
Açık ocak (AO) 1 nolu (AO/1) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

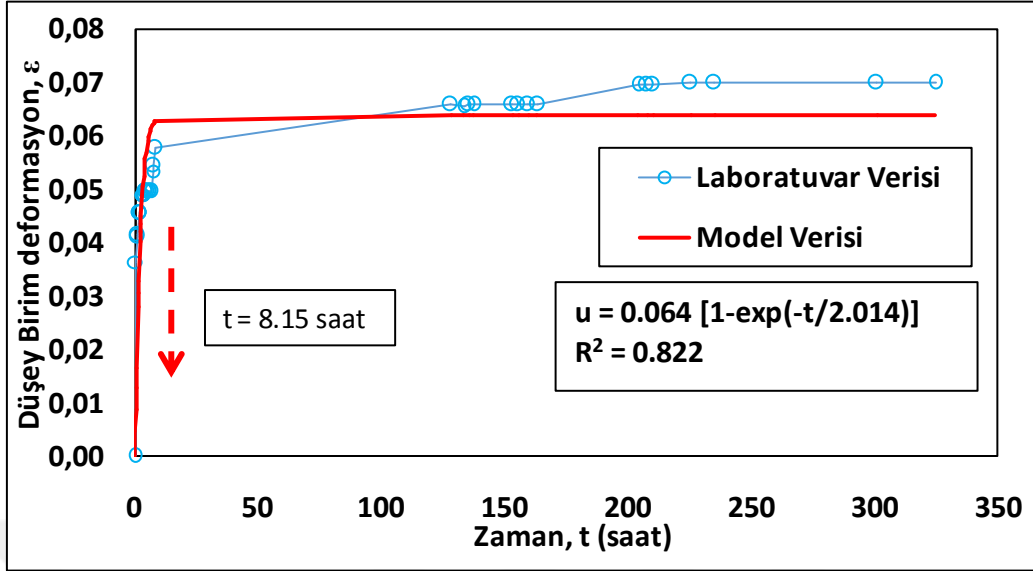


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

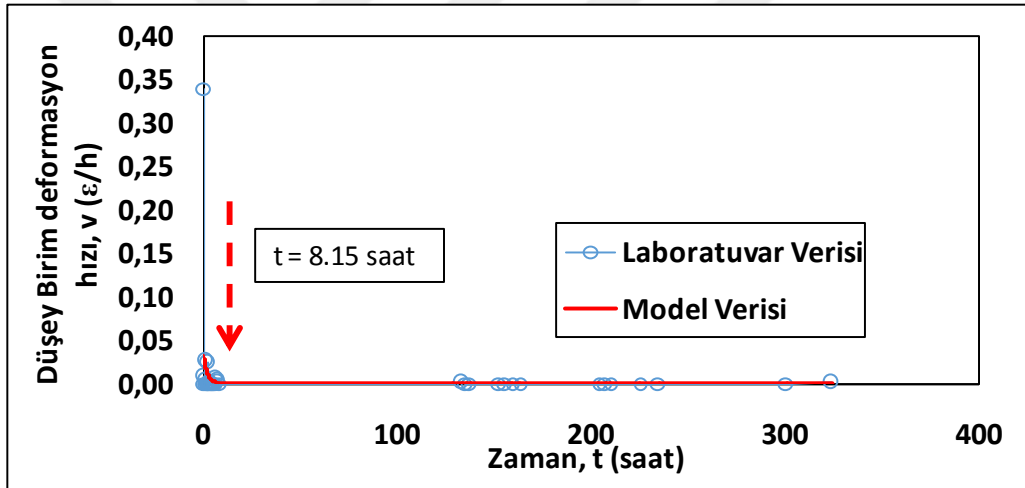


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

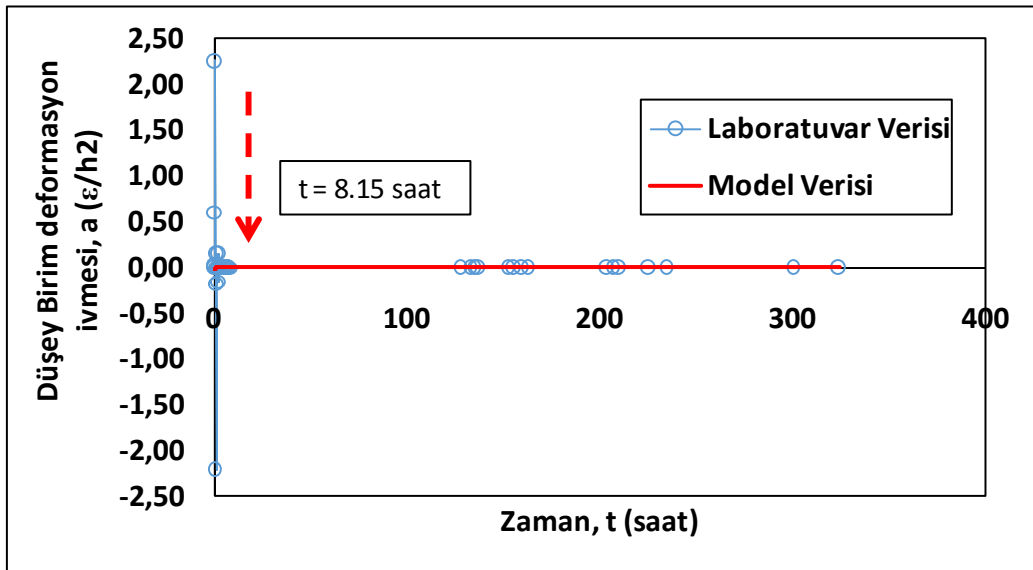
Açık ocak (AO) 2 nolu (AO/2) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

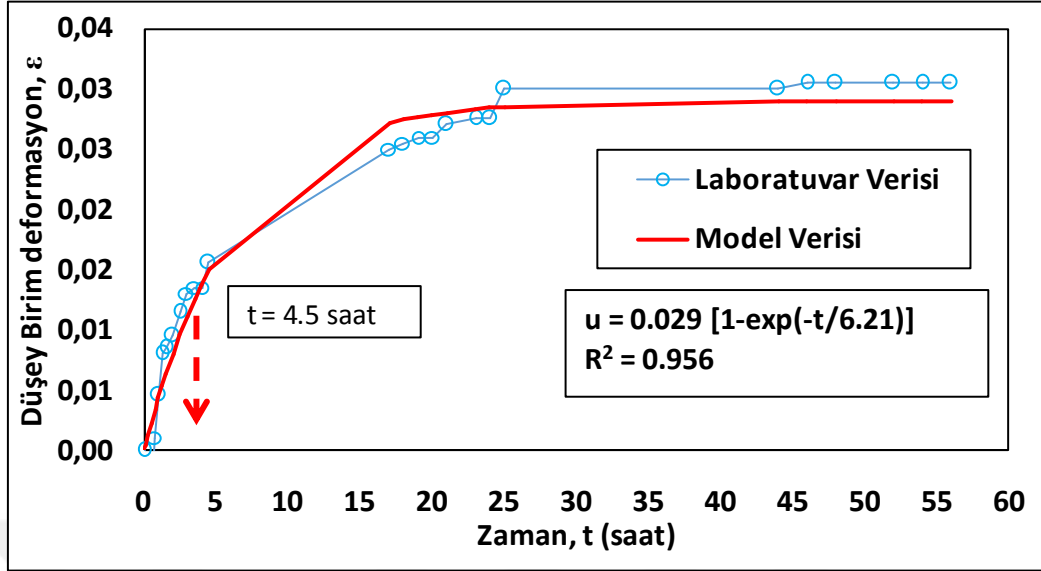


Zaman-Düşey birim deformasyon hızı davranışı

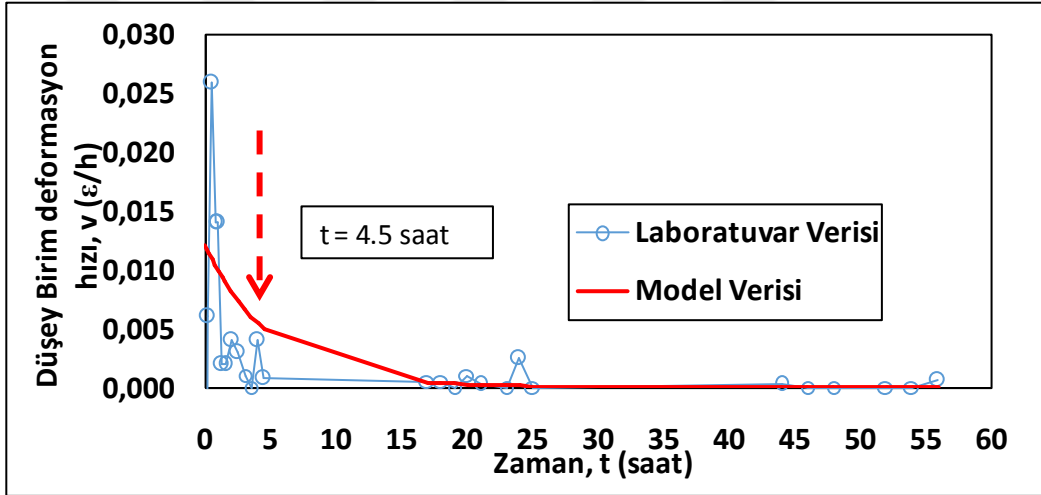


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

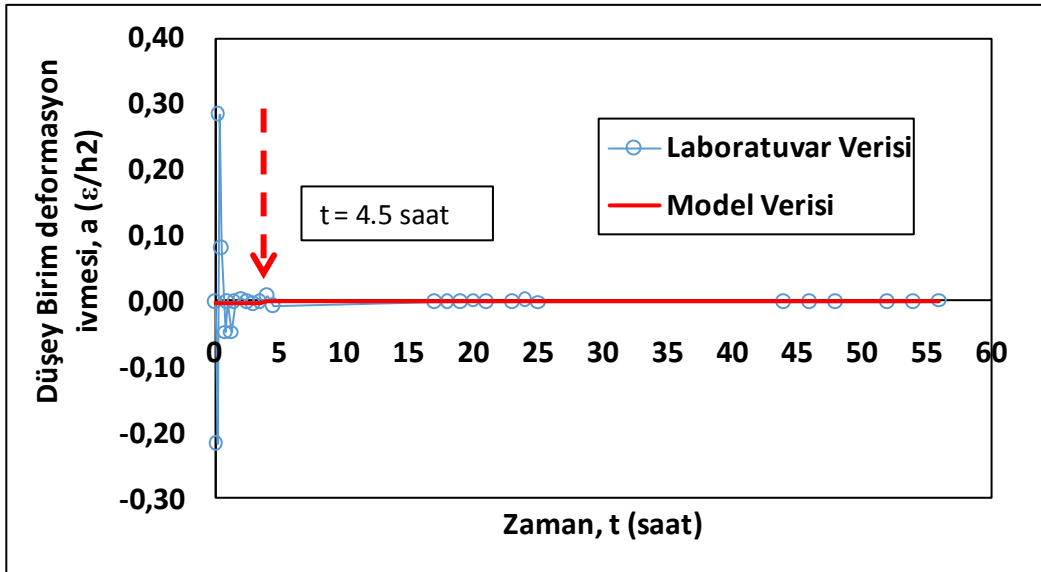
Açık ocak (AO) 3 nolu (AO/3) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düşey birim deformasyon davranışı

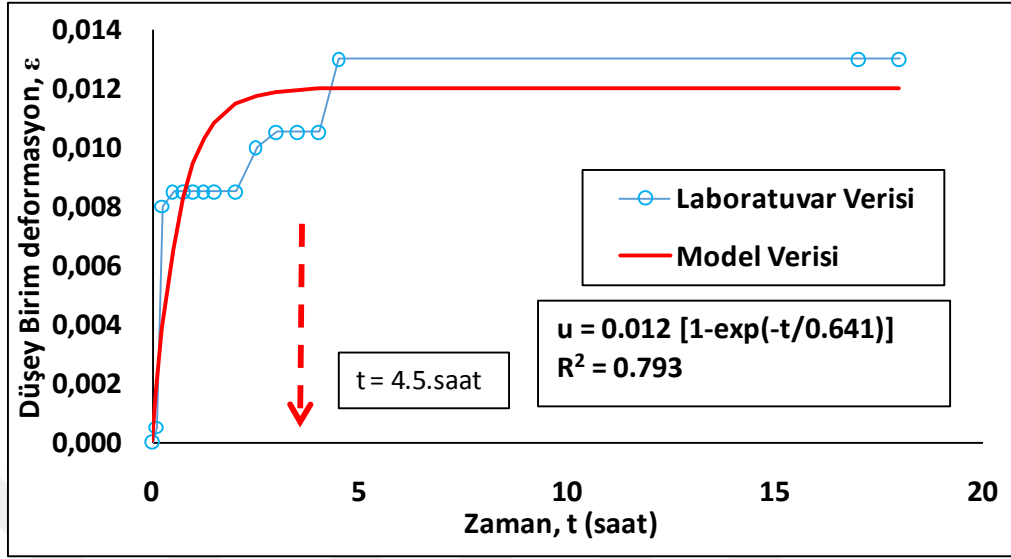


Zaman-Düşey birim deformasyon hız davranışı

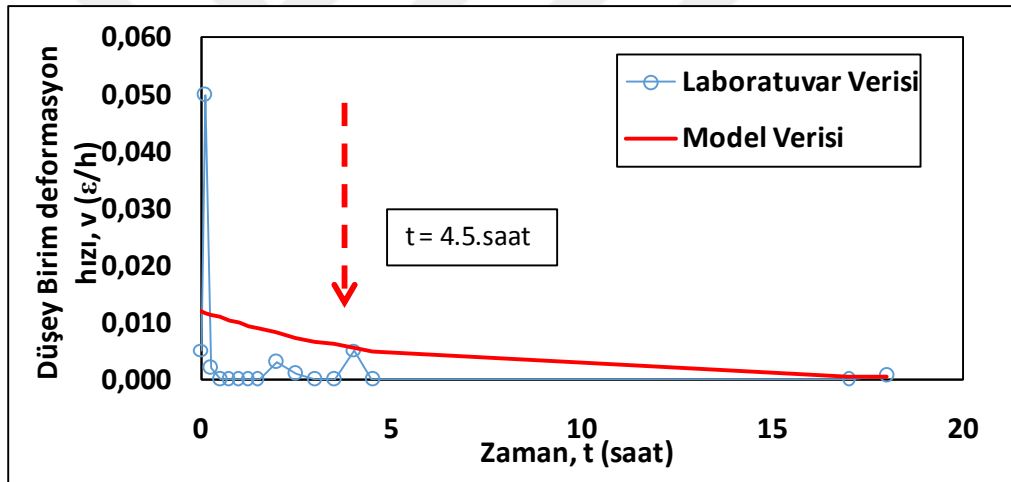


Zaman-Düşey birim deformasyon ivme davranışı

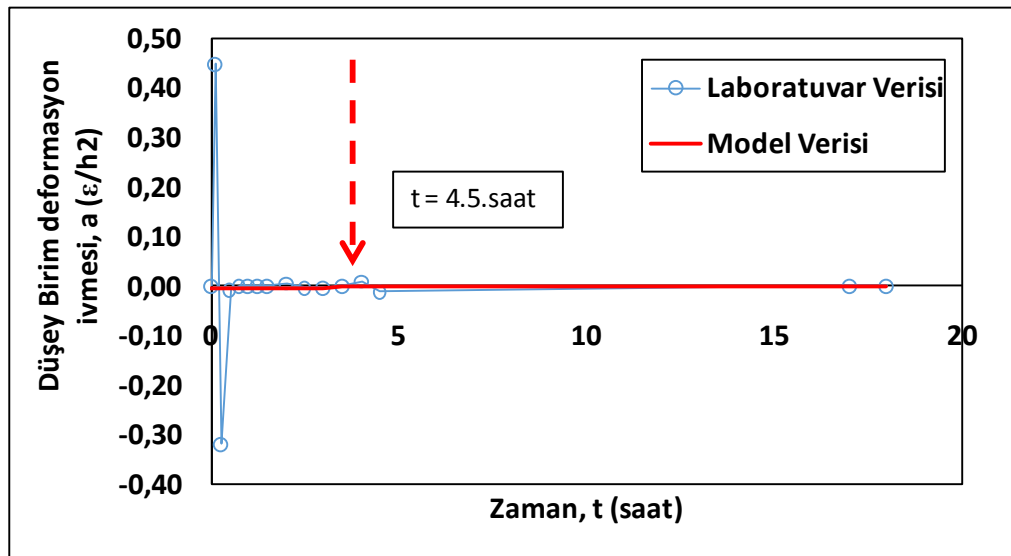
Açık ocak (AO) nolu (AO/4) numuneye ait şişme deney sonucu



Zaman-Düsey birim deformasyon davranışı



Zaman-Düsey birim deformasyon hızı davranışı



Zaman-Düsey birim deformasyon ivme davranışı

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Meriç KAYA  
**Uyruğu** : TC  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : MUĞLA 1990  
**Telefon** : 05534486554  
**Faks** :  
**E-Posta** : [kayameric@hotmail.com](mailto:kayameric@hotmail.com)

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Hulusi Uçaçelik Anadolu Lisesi	Ödemiş	İZMİR	2007
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Maden Mühendisliği		2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi( Tezli Yüksek Lisans)			Okuyor
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi İSG ( Tezsiz Yüksek Lisans)			2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015	Aytaş Akın Mermer	Maden Mühendisi
2015-2016	Varollar Mermer	Maden Mühendisi
2016-2017	Dost Madencilik	Maden Mühendisi
2017-2018	Dülger Mermer	Maden Mühendisi
2018-2018	Onur Mermer	Maden Mühendisi
2018-2019	Öznur Madencilik	Maden Mühendisi

### UZMANLIK ALANI

Maden Galerilerinde Taban Taşının Şişme Davranışı-1  
 Yeraltı maden ocaklarında topuk tasarımı-2  
 Kaya kütle ve malzeme özelliklerinin jeostatistiksel yaklaşımlar ile üç boyutlu modellenmesi

### YABANCI DİLLER

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR

Özkan, İ., Kaya, M. 2019. “Zayıf Kaya Malzemelerinin Yerinde Dayanımının Belirlenmesinde İndeks Deneylerin Kullanımı İle İlgili Bir Yaklaşım” Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi (KONJEST)-Yüksek Lisans-(Yayınlanacak)