

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TKİ BURSA-ORHANELİ LİNYİT İŞLETMESİ'NDEKİ KAYAÇLARIN ŞİŞME**  
**DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ERMAN AYDINGÜN**

**NİSAN 2019**

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TKİ BURSA-ORHANELİ LİNYİT İŞLETMESİ'NDEKİ KAYAÇLARIN ŞİŞME  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Erman AYDINGÜN**

**DANIŞMAN: Doç. Dr. M. Erdiñ BİLİR**

**ZONGULDAK**

**Nisan 2019**

**KABUL:**

Erman AYDINGÜN tarafından hazırlanan “TKİ Bursa-Orhaneli Linyit İşletmesi’ndeki Kayaçların Şişme Davranışının İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.  
22/04/2019

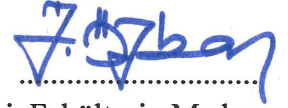
**Danışman:** Doç. Dr. M. Erdinç BİLİR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü




**Üye** : Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü



**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Gürkan BACAĞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü



**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

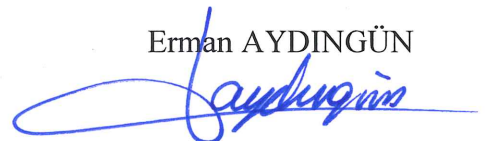
.../.../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Erman AYDINGÜN



## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **TKİ BURSA-ORHANELİ LİNYİT İŞLETMESİ'NDEKİ KAYAÇLARIN ŞİŞME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Erman AYDINGÜN**

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Erdiñ BİLİR**

**Nisan 2019, 119 sayfa**

Dünya maden üretimin büyük çoğunluğunun yapıldığı açık işletme yöntemi delme-patlatma, cevher ve örtü kazısı, yükleme ve taşıma gibi temel faaliyetleri kapsar. Bu faaliyetler yüzeyden aşağıya doğru oluşturulan basamaklar ile sürdürülür. Ocakta zemin ve/veya kayaçlardan oluşan yanal yüzeyler eğimli devasa bir çukur oluşturur. Madencilik faaliyetlerinin güvenli bir şekilde yürütülmesi şev olarak tanımlanan yanal yüzeylerin duraylı olmasına bağlıdır. Zemin ve/veya kayacın dayanımı, süreksizlikler, yeraltısuyu, şev geometrisi ve kazı tekniği gibi faktörlere bağlı olarak gelişen şev duraysızlıkları üretimin akması, can ve mal kaybı gibi olumsuz sonuçlara yol açtığından açık işletme madenciliğinin en önemli problemidir.

Açık işletmelerde örtü tabakasını oluşturan zemin ve kayaçların dayanımını azaltan bir tehlike daha vardır. Bu tehdit, montnorillonit ve/veya anhidrit içeren şişen zemin ve kayaçlardır. Su ile temas ettiklerinde zamana bağlı olarak hacimleri artar. Açık işletmelerde yenilmelere,

## ÖZET (devam ediyor)

tünellerde betonun çatlamasına ve göçmesine, galeri ve tabanyollarında taban kabarmasına, sondaj kuyularında takım sıkışmasına neden olurlar.

Özellikle, açık işletmelerinde karşılaşılan şişme problemlerini rapor eden araştırma sayısı çok azdır. Tez konusu, şişen zemin ve kayaç içeren bir kömür açık işletmesini ele alması açısından önemlidir.

Arazi çalışması, laboratuvar tek ve üç eksenli şişme deneyleri ve mineralojik analizleri içeren tez çalışmasının amacı, TKİ Bursa-Orhaneli Linyit İşletmesi zemin ve kayaçlarının şişme davranışlarının belirlenmesidir.

**Anahtar Kelimeler:** Şişme, şev, kayma, gerilme, deformasyon, kayaç, zemin, kil, simektit, montmorillonit.

**Bilim Kodu:** 607.01.03

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF SWELLING BEHAVIOR OF ROCKS IN TKİ BURSA- ORHANELİ OPEN-PIT LIGNITE ENTERPRISE**

**Erman AYDINGÜN**

**Zonguldak Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mining Engineering**

**Thesis Advisor: Assoc Prof. Dr. M. Erdiñ BİLİR**

**April 2019, 119 pages**

The open-pit mining method, in which the majority of the world mining production is carried out, includes basic operations such as drilling-blasting, ore and overburden excavation, loading and haulage. These operations maintained with the benches formed from the surface downwards. In the mine, the lateral surfaces of the soils and / or rocks form an inclined huge pit. Safe execution of mining activities depends on the stability of the lateral surfaces defined as slope. Slope instabilities due to factors such as strength of soil and / or rock, discontinuities, groundwater, slope geometry and excavation technique are the most important problem of open-pit because of the disruptions in production, loss of life and property.

There is another danger in open-pit mines that decreases the strength of the soils and rocks forming the overburden. This threat is swelling soils and rocks containing montmorillonite and / or anhydride. When they come into contact with water, their volume increases

## **ABSTRACT (continued)**

depending on time. They cause failures in open-pit mines, cracking and collapse of the concrete in the tunnels, floor heave in galleries and gateroads, and team jams in boreholes.

However, the number of studies reporting swelling problems in open-pit mine is very few. The thesis subject is important in terms of handling an open pit coal mine with swelling soil and rock.

The aim of the thesis study, which includes field work, uniaxial and triaxial swelling tests and mineralogical analysis, is to determine the swelling behavior of TKİ Bursa-Orhaneli Open-Pit Lignite Enterprise Orhaneli Lignite Plant soils and rocks.

**Keywords:** Swelling, slope, slide, stress, strain, rock, soil, clay, smectite, montmorillonite.

**Science Code:** 607.01.03



## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezimin oluşumunda ve çalışmama başladığım ilk günden itibaren desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Doç. Dr. M. Erdiñ BİLİR'e, kıymetli hocalarım Prof. Dr. Melih GENİŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Gürkan BACAK'a, Tez savunma sınavında Jüri üyemiz olan, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. İhsan ÖZKAN'a, arazi çalışmaları ve mineralojik analizlerin yapılması için sağladığı proje desteğinden dolayı Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Araştırma Fonu'na, tez çalışmamız ile ilgili hocalarımla birlikte yaptığımız teknik gezi kapsamında her türlü imkanlarını sunan TKİ Bursa Linyit İşletmeleri Müdürlüğü yetkililerine ve çalışanlarına, bu tez aşaması da dahil hayatımın tüm evrelerinde her zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen anne ve babama, çalışmalarımın her aşamasında varlığı ile destek olan canım eşime ve son olarak da varlığı ve sağlığı ile moral bulduğum canım oğlum Alptuğ'a teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xix
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 AÇIK İŞLETME ŞEV DURAYSIZLIK VAKALARI .....	5
2.1 AFŞİN ELBİSTAN LİNYİT AÇIK İŞLETMESİ.....	7
2.2 GÖYNÜK LİNYİT AÇIK İŞLETMESİ .....	9
2.3 TELLNES İLMENİT AÇIK İŞLETMESİ .....	11
2.4 TAŞÖNÜ KİREÇTAŞI OCAĞI .....	11
2.5 ILGIN LİNYİT AÇIK İŞLETMESİ.....	13
2.6 BİNGHAM CANYON BAKIR AÇIK İŞLETMESİ .....	14
2.7 CHUQUİCAMATA BAKIR MADENİ.....	16
BÖLÜM 3 GÜMÜŞPİNAR SEKTÖRÜ A5 PANOSU ŞEV KAYMASI .....	19
3.1 İNCELEME SAHASININ JEOLJİSİ.....	19
3.1.1 Önceki Çalışmalar .....	19
3.2 BÖLGESEL JEOLJİ.....	20

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.3 ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ .....	22
3.3.1 Orhaneli Kömür Havzasının Jeolojisi .....	22
3.3.2 Stratigrafi .....	23
3.3.2.1 Neojen Öncesi Kayaçlar .....	23
3.3.2.2 Neojen Yaşlı Kayaçlar .....	27
3.3.2.3 Neojen Sonrası Kayaçlar .....	30
3.3.3 Volkanizma .....	30
3.3.4 Yapısal Jeoloji.....	30
3.3.4.1 Faylar.....	30
3.3.4.2 Kıvrımlar .....	32
3.3.4.3 Kömür Damarları .....	32
3.4 ÇALIŞMA SAHASININ TANITIMI .....	33
3.5 İŞLETMEDE MEYDANA GELEN ŞEV DURAYSIZLIĞININ İNCELENMESİ.....	34
BÖLÜM 4 ŞİŞME DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ.....	41
4.1 ÖRNEK HAZIRLAMA .....	41
4.2 TEK VE ÜÇ EKSENLİ ŞİŞME DENEYLERİ.....	43
4.3 ŞİŞME DAVRANIŞI .....	47
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	57
BİBLİYOGRAFYA .....	61
EK AÇIKLAMALAR A .....	63
ÖZGEÇMİŞ .....	119

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Afşin Elbistan Çöllolar sahasında meydana gelen kaymalar .....	8
Şekil 2.2	Açık işletmeye komşu olan Himmetoğlu Köyü'nde meydana gelen kayma .....	10
Şekil 2.3	Ana nakliyat yolunun üst tarafında kayma yenilmesi .....	12
Şekil 2.4	Ekim 2005, Mart ve Ekim 2006 tarihlerinde Taşönü ocağında gelişen düzlemsel yenilmeler.....	12
Şekil 2.5	TKİ Ilgın açık işletmesi Doğu şevi ve sondaj ölçüm kuyuları kesitleri .....	13
Şekil 2.6	Bingham Canyon açık işletmesi şev yenilmesi (a, b), öngörülen (küçük) ve gerçekleşen (büyük) kayma (c), kayan malzeme altında kalan halatlı kollu ekskavatör ve kamyonlar.....	14
Şekil 2.7	Chuquicamata madeni doğu şevlerinde 18 Şubat 1969'de oluşan kayma anı .....	17
Şekil 2.8	Chuquicamata bakır işletmesinin şev kayması sonrası görünümü.....	17
Şekil 3.1	Türkiye ve çevresinin ana neotektonik bölgeleri ve ilişkili yapıları. ....	21
Şekil 3.2	İnceleme alanının içinde yer aldığı bölgeye ait jeoloji haritası.....	21
Şekil 3.3	Bursa-Orhaneli Havzası stratigrafik kesiti (ölçeksiz). ....	22
Şekil 3.4	İnceleme sahası güney kesimindeki litolojik birimlerden genel görünüm.....	24
Şekil 3.5	Kireçtaşlarından (mermerleşmiş, kristalize) yakın görünüm. ....	24
Şekil 3.6	Gümüşpınar Sektörü güney kesimi jeoloji haritası (Yeşil birim; Serpantinit, Kahverengi; Marn, tüfit, kıltaşı, linyit aralanması, Sarı; Tüf-Tüfit, Mavi; Kristalize Kireçtaşı).....	25
Şekil 3.7	Gümüşpınar Sektörü güney kesimi jeoloji haritası A-A', B-B', C-C', D-D' ve E-E' jeolojik enine kesitleri.....	26
Şekil 3.8	İnceleme alanı Gümüşpınar güney kesimi linyit, marn, kıltaşı, üst kesimlerde tüfid içeren sedimanter birim. ....	28
Şekil 3.9	İnceleme alanı Gümüşpınar güney kesimi linyit, marn, kıltaşı, üst kesimlerde tüfid içeren sedimanter birim içinde killi ince seviyeler (yeşil-mavimsi yeşil renkli). ....	28
Şekil 3.10	İnceleme alanı Gümüşpınar güney kesimi linyit, marn, kıltaşı, üst kesimlerde tüfid içeren sedimanter birim içinde killi ince seviyelerden yakın görünüm (yeşil-mavimsi yeşil renkli).....	29
Şekil 3.11	İnceleme alanı Gümüşpınar güney kesimi linyit işletilen seviyelerdeki panolar..	29
Şekil 3.12	Muhtemel fay zonu a, b (işletme sahası içi, kömürlü Neojen birimde). ....	31
Şekil 3.13	Kireçtaşı ve Serpantinitler arasında muhtemel fay hattı. ....	32
Şekil 3.14	TKİ Bursa Orhaneli Linyitleri açık işletmesi yer bulduru haritası.....	33
Şekil 3.15	2011 - 2012 aylarına göre tüvenan kömür üretim ve dekapaj faaliyetleri.....	34
Şekil 3.16	Şev kaymasının meydana geldiği A-5 panosunun 16.09.2011'deki (a) ve 16.11.2011'deki görünümü (b).....	35

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.17	İnceleme sahası Gümüşpınar Güney kesimi jeoloji haritası. .... 36
Şekil 3.18	İnceleme sahası Gümüşpınar Güney kesimi C-C' hattı jeolojik enine kesiti..... 36
Şekil 3.19	A-5 panosunun 24.12.2011 ve 05.06.2013 tarihleri arasındaki görünüşleri. .... 38
Şekil 3.20	05.06.2013 tarihinde yapılan arazi çalışmasında tespit edilmiş kayma düzlemleri ve kil bantları..... 39
Şekil 3.21	Köy yolundaki heyelan bölgesi. .... 40
Şekil 4.1	Örnek hazırlama aparatının a) parçaları ve b)uygulama aşamaları. .... 42
Şekil 4.2	Üç eksenli şişme deney seti..... 44
Şekil 4.3	Tek (A) ve üç (B) eksenli şişme hücresinin kurulum aşamaları (a-f). .... 45
Şekil 4.4	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki..... 48
Şekil 4.5	Kiltaşı 2 (CS2) örneğinin tek eksenli gerilme durumunda eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki. .... 48
Şekil 4.6	Kiltaşı 3 (CS3) örneğinin eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki..... 49
Şekil 4.7	Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki..... 49
Şekil 4.8	Marn (M) örneğinin eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki..... 50
Şekil A.1	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi. .... 63
Şekil A.2	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 3 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. .... 63
Şekil A.3	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. .... 64
Şekil A.4	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. .... 64
Şekil A.5	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 65
Şekil A.6	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 65
Şekil A.7	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi..... 66
Şekil A.8	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.76 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.. 66
Şekil A.9	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.. 67
Şekil A.10	Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 1 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi..... 67

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil A.11 Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. 68	
Şekil A.12 Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. . 68	
Şekil A.13 Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 2 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi..... 69	
Şekil A.14 Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. . 69	
Şekil A.15 Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. 70	
Şekil B.1 Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi..... 71	
Şekil B.2 Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 4 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 71	
Şekil B.3 Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 72	
Şekil B.4 Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 72	
Şekil B.5 Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 73	
Şekil B.6 Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 73	
Şekil C.1 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi..... 75	
Şekil C.2 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 75	
Şekil C.3 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 76	
Şekil C.4 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 76	
Şekil C.5 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..... 77	
Şekil C.6 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi..... 77	
Şekil C.7 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. . 78	
Şekil C.8 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. . 78	

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil C.9 Kiltaşı 3 (CS3) örneğinin 1 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.....	79
Şekil C.10 Kiltaşı 3 (CS3) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..	79
Şekil C.11 Kiltaşı 3 (CS3) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..	80
Şekil C.12 Kiltaşı 3 (CS3) örneğinin 2 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.....	80
Şekil C.13 Kiltaşı 3 (CS3) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 3 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..	81
Şekil C.14 Kiltaşı 3 (CS3) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..	81
Şekil D.1 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.....	83
Şekil D.2 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.....	83
Şekil D.3 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.....	84
Şekil D.4 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.....	84
Şekil D.5 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.....	85
Şekil D.6 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.....	85
Şekil D.7 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.....	86
Şekil D.8 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 1 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.....	86
Şekil D.9 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..	87
Şekil D.10 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..	87
Şekil D.11 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 2 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.....	88
Şekil D.12 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi..	88



## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil D.13 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. .	89
Şekil E.1 Marn (M) örneğinin sabit hacimde aksenal şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi. ....	91
Şekil E.2 Marn (M) örneğinin 2 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. ....	91
Şekil E.3 Marn (M) örneğinin 0.5 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. ....	92
Şekil E.4 Marn (M) örneğinin 0.25 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. ....	92
Şekil E.5 Marn (M) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta aksenal şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi. ....	93
Şekil E.6 Marn (M) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 1 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. ....	93
Şekil E.7 Marn (M) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. .	94
Şekil E.8 Marn (M) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.25 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. .	94
Şekil E.9 Marn (M) örneğinin 1 MPa yanal basınçta aksenal şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi. ....	95
Şekil E.10 Marn (M) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 1 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. ....	95
Şekil E.11 Marn (M) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. ....	96
Şekil E.12 Marn (M) örneğinin 2 MPa yanal basınçta aksenal şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi. ....	96
Şekil E.13 Marn (M) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1.52 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. .	97
Şekil E.14 Marn (M) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1.13 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi. .	97
Şekil F.1 Tek aksenal şişme deneyindeki CS1 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	99
Şekil F.2 Tek aksenal şişme deneyindeki CS1 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	99
Şekil F.3 0.5 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ..	100
Şekil F.4 0.5 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	100
Şekil F.5 1 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	101

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil F.6	1 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	101
Şekil F.7	2 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	102
Şekil F.8	2 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	102
Şekil F.9	Tek eksenli şişme deneyindeki CS2 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	103
Şekil F.10	Tek eksenli şişme deneyindeki CS2 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	103
Şekil F.11	Tek eksenli şişme deneyindeki CS2 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	104
Şekil F.12	Tek eksenli şişme deneyindeki CS2 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	104
Şekil F.13	0.5 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ..	105
Şekil F.14	0.5 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	105
Şekil F.16	1 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	106
Şekil F.17	2 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.....	107
Şekil F.18	2 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	107
Şekil F.19	Tek eksenli şişme deneyindeki CLS örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	108
Şekil F.20	Tek eksenli şişme deneyindeki CLS örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	108
Şekil F.21	0.5 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ..	109
Şekil F.22	0.5 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	109
Şekil F.23	1 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	110
Şekil F.24	1 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	110
Şekil F.25	2 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	111
Şekil F.26	2 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	111
Şekil F.27	Tek eksenli şişme deneyindeki M örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	112
Şekil F.28	Tek eksenli şişme deneyindeki M örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	112
Şekil F.29	0.5 MPa yanal basınçtaki M örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.....	113

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil F.30 0.5 MPa yanal basınçtaki M örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	113
Şekil F.32 1 MPa yanal basınçtaki M örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	114
Şekil F.33 2 MPa yanal basınçtaki M örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	115
Şekil F.34 2 MPa yanal basınçtaki M örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	115
Şekil F.35 Tek eksenli şişme deneyindeki EAKDUK örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	116
Şekil F.36 Tek eksenli şişme deneyindeki EAKDUK örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	116
Şekil F.37 Tek eksenli şişme deneyindeki EAYKB örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	117
Şekil F.38 Tek eksenli şişme deneyindeki EAKDUK örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	117
Şekil A.39 Tek eksenli şişme deneyindeki EAYG örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı. ....	118
Şekil A.40 Tek eksenli şişme deneyindeki EAYG örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı. ....	118



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 Tek ve üç eksenli şişme deneyleri için hazırlanan örneklerin fiziksel özellikleri boyut ve ağırlık değerleri. ....	43
Çizelge 4.2 Tek ve üç eksenli şişme deneyler deney sonuçları. ....	47
Çizelge 4.3 Mineralojik analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.4 Şişme bağıntıları. ....	52





## EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

Sayfa

EK A:	Kiltaşı 1 (CS1) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri .....	63
EK B:	Kiltaşı 2 (CS2) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri .....	71
EK C:	Kiltaşı 3 (CS3) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri .....	75
EK D:	Killi Kireçtaşı (CLS) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri ..	83
EK E:	Marn (M) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri .....	91
EK F:	Kiltaşı 1 (CS1), Kiltaşı 2 (CS2), Kiltaşı 3 (CS3), Killi Kireçtaşı (CLS) Ve Marn (M) Örneklerinin Tüm Kayaç Ve Kil Fraksiyonları X-Işınları Difraktogramları. ....	99





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\epsilon_{\sigma}$	: Eksenel Şişme Birim Deformasyonu
$\sigma_{\sigma}$	: Eksenel Şişme Gerilmesi
$\sigma_3$	: Yanal Basınç

### KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Standart Test Metodu
BLİ	: Bursa Linyitleri İşletmesi
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği
JMO	: Jeoloji Mühendisleri Odası
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
XRD	: X-ışınları Kırınım Yöntemi
ZBEÜ	: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
FBE	: Fen Bilimleri Enstitüsü



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İnsanoğlunun var oluşundan beri süregelen madencilik, ülkelerin ekonomik ve teknolojik kalkınmalarında katma değeri en yüksek sektörlerden birisidir. Uzay teknolojisinden bilişime, inşaattan ulaşıma, sağlıktan kişisel bakıma kadar yaşamın her alanında, madenlerin girdi hammaddeleri olarak kullanılması nedeniyle madenciliğin izleri görülür. Ancak, madenlerin yerkabuğundan çıkartılması zorlu, riskli, yüksek maliyetli, sabır ve emek gerektiren madencilik faaliyetlerini gerektirir.

Bakır, demir, çinko, krom, nikel alüminyum gibi metaller; bor, kil, tuz, kuvars, kalsit, feldspat, kalker gibi endüstriyel mineraller ve taşkömürü, linyit gibi fosil yakıtlardan oluşan işletilebilir maden yatağı veya cevherleşmenin üzerindeki örtü tabakasının kalınlığı, işletme yönteminin belirlenmesindeki en önemli ölçüttür. Yerüstü (açık işletme) veya yeraltı (kapalı) madenciliği olmak üzere iki şekilde olabilen bu yöntemlerin birbirine göre üstünlükleri bulunmaktadır. 20. yy kadar yeraltı madenciliğinin daha yaygın olduğu görülürken, kesintisiz olarak kazı yapabilen yüksek kapasiteli iş makineleri ve ayrıca nakliyat sistemlerindeki gelişmeler açık işletme yöntemleri ile inilebilecek derinlikleri arttırmıştır. Yeraltı işletmeciliğinde yerine getirilmesi zorunlu olan tahkimat, havalandırma aydınlatma gibi temel faaliyetlere gerek duyulmaması, yüksek verimlilik, seçici kazı imkânı, emniyetli çalışma ortamı gibi üstünlükler açık işletme madenciliği için öne çıkarken, iklim koşullarından etkilenmeyi, çevreye ve ekolojiye daha az zarar yeraltı madenciliğinin artı yönleri olarak sıralanabilir.

Açık ocak işletmeciliği, maden yatağının mostra vermesi veya yeryüzüne yakın olması durumunda tercih edilen, örtü ve cevher kazısı, delme-patlatma ve/veya ripperleme ile gevşetme, yükleme, taşıma, iç veya dış döküm gibi işlemlerin dragline, döner kepçeli ekskavatör, halatlı kollu veya hidrolik ekskavatör, skreyper, dozer, ağır kamyon gibi yüksek kapasiteli iş makineleri ile gerçekleştirildiği bir üretim yöntemidir. Dilimli (strip mining),

paralele kademeli (terrace mining) ve konik ukur Őekilli olarak adlandırılan açık işletme yöntemlerinin temel çalışma felsefesi yüzeyden derine doğru basamaklar oluŐturarak örtü tabakasının kaldırılması ve maden yatağına ulaŐılması Őeklinindedir.

Türkiye madenciliğinin nder kuruluŐlarından bir olan Türkiye Kömür işletmeleri Kurumu (TKİ) dragline, halatlı kollu ve hidrolik ekskavatör, delici, ağır kamyon vd.'lerinden oluşan zengin makine parkı sayesinde açık işletme madenciliğini en st düzeyde uygulayan kurumdur. Dünya madenciliğinde önemli bir yeri olan döner kepçeli ekskavatörler Afşin Elbistan Linyit Havzasında 1973 yılından beri baŐarı ile kullanılmaktadır. Dünya bor rezervinin %73'ne sahip olan Eti Maden; Kırka (EskiŐehir), Bigadiç (Balıkesir), Kestelek (Bursa) ve Emet'de (Kütahya) bulunan yataklarını açık işletme yöntemi ile üretmektedir. UŐak'ta bulunan KıŐladađ Altın Madeni, Sivas Divriği Demir işletmesi, Sivas Kangal Kömür işletmesi, Küre (Kastamonu) ve Murgul (Artvin) Bakır işletmeleri Türkiye'deki açık ocak madenciliğinin uygulandığı önemli iŐletmelerdir.

Büyük veya küçük tüm açık işletmelerde faydalı minerale veya cevhere ulaşmak için yapılan kazı sonrasında sahanın her iki yanında meydana gelen eğimli yüzeyler işletme çukurunu oluşturur. Bu eğimli yüzeylerde; belirli bir yüksekliği, genişliği ve eğimi olan basamaklar oluŐturularak birden fazla basamağın ve genel bir Şev açısına sahip Şev sistemi oluŐturulur. Böylece basamakların kendi kendini tutabilmeleri ve dolayısıyla Şev duraylığının üretim ve kazı faaliyetleri süresince güvenli bir Şekilde oluŐturulması amaçlanır. Şevlerin duraylılığı üzerinde jeoloji, yeraltısuyu, dayanım, topoğrafya, ocak derinliği, patlatma gibi etmenler önemli rol oynar. Ancak, Şevlerde duraysızlığa neden olan bir etmen daha vardır ki, bu da zemin, kayaç veya geçiş kayacında meydana gelen Şişme davranıŐıdır.

Montmorillonit ve anhidrit gibi Şişen mineraller içeren kayaç ve zeminler, bünyelerine su alarak zamana bağlı olarak deformasyon ve/veya basınç oluŐtururlar. Tnel, galeri, tabanyolu ve sondaj kuyusu gibi yeraltı açıklıklarına ve bina, temel, Şev, istinat duvarı, karayolu ve sulama kanalı gibi yerüstü mühendislik yapılarına tahmin edilemeyecek boyutlarda zarar verirler. Zemin ve kayaçlardaki Şişme davranışı ile ilgili olarak pek çok araştırma olmasına rağmen, mühendisler Şişen birimlerle karŐılaŐtıktan sonra Şişme davranışının farkına varmaktadırlar. Bu durum, Şişen zemin ve kayaçların yol açacağı problemlere karşı önlem alınmasında geç kalınmasına ve önlemler alınsa bile baŐarısız olunmasına neden olmaktadır.

Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) şişen kayaçlar konusundaki farkındalığı arttırmak amacıyla bir komisyon oluşturmuştur. Bu komisyon kil içeren kayaçlar için tek eksenli şişme deney yöntemler ile ilgili önerilerde bulunmuştur. Ancak birçok araştırmacı bu deneylerin üç eksenli olarak yapılması gerektiği yönünde görüşler bildirmişlerdir.

Tez çalışmasında, açık işletmede meydana gelen şev duraysızlığı ile şişme davranışı arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Bu kapsamda, çalışmanın başladığı sırada TKİ üretim birimlerinden biri olan Bursa Linyitleri İşletmesi'nde (BLİ) meydana gelen şev kayması incelenmiş ve ocaktan alınan örneklerin şişme davranışlarının belirlenmesi ve şişen birimlerin duraysızlıktaki etkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, örnekler üzerinde tek ve üç eksenli şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mineralojik analizlerle şişen minerallerin tipi ve yüzdeleri tespit edilerek şişme verileri desteklenmiştir.



## BÖLÜM 2

### AÇIK İŞLETME ŞEV DURAYSIZLIK VAKALARI

Açık işletme tasarımı; üretim yöntemi ve makine-ekipman seçimi ile şevlerin, döküm alanlarının, yolların, delme-patlatmanın tasarlanması gibi temel aşamalardan oluşur. Şev tasarımı, seçilen üretim yöntemindeki basamak geometrisinin ortaya konduğu ikinci adımdır. En az yankayaç kazısına paralel olarak en yüksek cevher üretiminin ekonomik ve güvenli olarak gerçekleştirilmesi ve sürdürülmesi, biri yatay diğeri eğimli iki yüzeyin birleşmesiyle oluşturulmuş olan basamakların ayakta kalabilmesine bağlıdır. Arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinden elde edilen jeoteknik veriler ve seçilen basamak genişliği, yüksekliği ve eğimine bağlı olarak ortaya çıkan genel şev açısı gibi şev parametreleri ışığında basamak ve şevlerin duraylılık analizi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen güvenlik katsayısı 1'in altında ise şev duraysızlığına, 1'in üstünde ise şev duraylılığına işaret eder. Güvenlik katsayısı kısa süreli şevler için 1.3 uzun süreli şevler için 1.5 olmalıdır.

Basamak geometrisindeki küçük değişiklikler genel şev açısının artmasına veya azalmasına neden olarak işletme maliyetini etkiler. Açının artması cevhere ulaşmak için yapılması gereken örtü kazı miktarını azaltırken aynı zamanda kayma riskini arttırarak çalışanların ve makine-ekipmanın güvenliğine tehlikeye sokar.

Şev stabilitesi problemleri ile karşılaşmayan açık işletme neredeyse yoktur. Birçok açık ocak işletme süresi boyunca birden fazla şev yenilmesi ile karşı karşıya kalmıştır. Özellikle metalik cevherlerin üretiminin yapıldığı konik çukur şeklindeki açık işletmelerde oldukça büyük derinliklere ulaşılmış olması açık ocak şevlerinin tasarımını daha da önemli hale getirmiştir. Kaya ve zeminin mekanik özellikleri, jeolojik koşullar, yüzey ve yeraltı suları, kazı tekniği şev duraylılığını denetleyen faktörler olup, bunların şev duraysızlığına etkileri işletmeden işletmeye farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar şevin tamamen kaya birimlerinden, tamamen zeminden, kuru olduğunda kayaç gibi suya kısmen veya tamamen doygun olduğunda zemin gibi davranan geçiş kayacından veya bunların kombinasyonlarından oluşması durumundan;

fay, tabaklaşma düzlemleri, eklem takımı gibi süreksizliklerin tek başına veya bir arada bulunması durumundan; suyun şeve yüzeyden veya yeraltından ulaşması durumundan, kazı işleminde delme patlatmanın uygulanması veya uygulanmaması durumundan kaynaklanır. Sıralanan bu durumların kombinasyonları düşünüldüğünde yorumlanması zaten karmaşık olan kayma mekanizması daha da zor bir hale gelmektedir.

Açık işletmelerde şev kaymalarının tetikleyen ve yetersiz bilgi nedeniyle çoğunlukla mühendisler tarafından dikkate alınmayan çok önemli bir etken daha vardır. Bu da şişen zemin ve kayaçlardır. Su ile temas ettiklerinde hacimleri artan bu jeolojik malzemeler aslında sadece açık işletmeler için bir tehdit değildir. Çünkü zemin ve kayaçlara şişme özelliğini kazandıran montmorillonit, anhidrit ve kireçli şeyllerdeki sülfürlü bazı minerallerdir. Bu mineralleri içeren zemin ve kayaçlar içinde veya üstünde inşa edilen bütün mühendislik yapıları şişme davranışı etkilerine maruz kalırlar. Bu etkinin şiddeti, yapıların tasarımında şişme davranışının dikkate alınıp alınmadığı ile doğru orantılıdır. Şişme davranışı, zemin etütlerinde veya ön incelemelerde belirlenmesi veya toplanması gereken veriler arasında olmadığından ya inşa aşamasında ya da yapının hizmete girmesinden sonra şişme problemleri ile karşı karşıya kalınca şişme olgusundan haberdar olunmaktadır. Şişmeye karşı önlem alınsa da problemin belirli aralıklarla tekrarlanmasıyla kalıcı çözüm için geç kalındığı ve aslında yapının şişen ortama göre en başta tasarlanması gerektiğinin farkına varılmaktadır. Bu duruma en iyi örnek yeraltı kömür işletmelerinin şişen birimler içinde açılan taban yolları gösterilebilir. Taban yolları kömürü takip ederek açıldığından genelde taban taşı kil veya kiltaşdır. Normal şartlarda, kesit daralmasının sık karşılaşıldığı tabanyollarında suyunda etkisiyle daha da çabuk şişerek tabanı kabaran bu açıklıklarda orijinal kesite dönmek için sık sık tarama yapılır. Böylece suya doymuş olan şişen killi kısım kaldırılır. Ancak, suya doymamış killi tabanın açığa çıkmasıyla bir süre sonra taban tekrar şişer ve tekrar tarama yapılır. Bu süre bazı işletmelerde 1 haftadır. Birçok işletmede ucuz olması nedeniyle pasif bir önlem olan tarama tercih edilmektedir.

Aşağıda açık işletmelerde karşılaşılan şev duraysızlık vakalarından örnekler verilmektedir. Bunların çoğunda şişen zemin ve kayaçların varlığından söz edilmekle birlikte, şişme davranışı şev duraysızlığı ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilendirilmektedir. Diğer örnekler ise şev duraysızlıklarının gelişimi ve açık işletmelerde neden olduğu problemler, kaymaya karşı alınabilecek önlemler gibi konulara değinmektedir.



## 2.1 AFŞİN ELBİSTAN LİNYİT AÇIK İŞLETMESİ

Düşük kalori değerine rağmen yüksek rezerve sahip Afşin Elbistan linyitleri, açık işletme madenciliğinin uygulandığı diğer önemli havzalardan birisidir (Akbulut vd 2008). Kömür havzası; A (Kışlaköy), B (Çöllolar), C (Afşin), D (Kuşkayası), E (Çobanbey) ve F sektörleri olmak üzere 6 sektöre ayrılmıştır. Havza alttan üste doğru; taban kili, linyit, gidya, mavi kil ve lehim olarak isimlendirilen birimlerden oluşur. Linyit kalınlığı 40-80 m arasında, örtü tabakası kalınlığı 80-110 m arasındadır. Kışlaköy açık işletmesinde, linyit horizonu havza ortasında yataya yakın, havza kenarında 5-20° arasında eğime sahiptir. Çökeller de genel olarak yatay veya yataya yakın tabakalıdır. Doğu şevlerinde (havza kenarında), faylanmanın da etkisiyle tabakaların eğimi artmakta ve 2-40° arasında değişir. Havza ortasına (havza kenarından batıya doğru) gidildikçe tabaka eğimleri 2-5° arasında seyrederek. En üstteki basamağın örtü tabakası lehim biriminden oluşmakta ve bir bölümü yüklenici firma tarafından işletilerek delme-patlatma ile gevşetilmekte ve ekskavatör ile kazılan gevşetilmiş örtü tabakası kamyonlarla iç döküm sahasına taşınmaktadır. Kazı kapasitesi 3000 m<sup>3</sup>/saat olan ve bulunduğu noktanın 30 m üstünde ve 4 m altında kazı yapabilme yeteneğine sahip döner kepçeli 6 ekskavatör, her birinin yüksekliği 20 m olan 6 basamakta kömür ve örtü tabakasını kazmaktadır. Örtü tabakasının iç döküm sahasına ve linyitin stok sahasına taşınması 1800 mm genişliğinde ve 5,2 m/sn hızla hareket eden bant konveyörlerle yapılmaktadır. İç döküm sahasında da 5 adet 5600 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli dökücüler bulunmaktadır.

Ulusay vd. (1986) 1984 yılı temmuz ayında Kışlaköy Sektörünün Kuzeybatı şevinde oluşan kayma nedeniyle araştırma gerçekleştirmişlerdir. Linyitin altındaki ve üstündeki birimler zemin karakterindedir. Gidya birimi içinde, sürekli gözlemlenmeyen plastik, organik madde içeriği fazla olan, 10 – 30 cm kalınlıkta siyah renkli bir kil bantı mevcuttur. Gidya, siyah kil ve taban kilinin su içeriklerinin diğer birimlere oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kil türü ile ilişkili olan likit limit değeri % 50'nin üzerinde olması halinde zeminin montmorillonit türü kil içerdiği görüşüne dayanarak taban kili, marn ve mavi kilin montmorillonit içerebileceği tahmin edilmiştir. Kuzeybatı şevindeki basamakların üzerinde bantlı konveyör ve tahrik bantlarının olması sebebiyle kritik şevler olarak kabul edilmiş ve 1,4 güvenlik katsayısı esas alınmıştır. Zayıf taban kilinin tüm şevin duraylığında önemli bir faktör olduğu kanısına varılarak kayma yüzeyleri bu zayıf yüzeyden geçen 6 şev profilinin analizi yapılmıştır. Bu profillerden biri (W2) en kritik kesit olarak belirlenerek, bu kesite göre ilk iki basamakta 50'şer m tarama yapılması ve bu basamakların geriye alınması öngörülmüştür.

Akbulut vd (2008) Kışlaköy açık işletmesinde doğu ve batı kalıcı şevlerinin duraylılığını jeoteknik çalışmalar, sondajlar ve laboratuvar deneylerine dayanarak incelemiştir. Linyit horizonu arasında yer alan siyah renkli yüksek plastisiteli kil bantlarının şevlerin stabilitesini kontrol eden en kritik birim olduğu belirlenmiştir. Lehim içinde basamak yüksekliği batı kalıcı şevi için 20 m ve batı kalıcı şevi için 15 m basamak açısı her iki şev için 35°; gri gıdya birimi için basamak yüksekliği ve açısı 24 m ve 40°; linyit doğu panosu için basamak yüksekliği 26-28 m, basamak açısı 32°; linyit batı panosu için basamak yüksekliği ve açısı 24 m ve 35° değerleri bulunmuştur. Yeraltısuyu seviyesi batı panosunda 35 m, doğu panosunda ise 30 m olarak ölçülmüştür. Buna bağlı olarak güvenlik katsayısının (F) 1.3 olması koşulunda; genel şev açısı yaklaşık 10° lik eğimle açılmalısı önerilmiştir. Araştırmada, sahada yer alan killi birimlerin içerdiği kil minerallerinin türleri ve yüksek şişme potansiyeline sahip kil mineralinin varlığının belirlenebilmesi amacıyla X-Işını Kırınımı Analizi yapıldığı ve bu amaçla lehim, gri gıdya, siyah kil ve taban kilinden toplam 9 adet örnek alındığı belirtilmesine rağmen sonuçlar kısmında buna değinilmemiştir. Ekler bölümünde verilen analiz sonuçların da sadece mineral tipinin belirlendiği, bu minerallerin yüzde değerlerinin tespit edilmediği ve biri hariç tüm örneklerde simektitin mevcut olduğu görülmektedir.

Çöllolar açık işletmesinin Batı şevinde 6 Şubat 2011 tarihinde; Doğu şevinde ise 10 Şubat 2011 tarihinde Şekil 2.1’de görülen iki kayma meydana gelmiştir (TMMOB JMO 2011).



**Şekil 2.1** Afşin Elbistan Çöllolar sahasında meydana gelen kaymalar (URL-1 2019).

50 milyon m<sup>3</sup>'den fazla malzemenin yerdeğiştirdiği Doğu Şevindeki kayma 140 m yüksekliğindeki yaklaşık 1150 m uzunluğunda 550 m genişliğinde bir alanda gelişmiştir. İlk kaymada 1, ikinci kaymada 10 işçi kayan malzeme altında kalmıştır. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından olayın incelenmesi için kurulan komisyon, büyük bir olasılıkla kömür horizonu içerisinde aktif-pasif kama türü kaymanın geliştiğini, hemen arkasından n tarafının boşalması nedeniyle üstte yer alan zemin özelliği taşıyan gidya ve lehim biriminde dairesel kayma olduğunu, kayan malzemenin bünyesinde çok fazla miktarda su barındırdığını ve malzemenin suyla birlikte hareket ederek çok geniş bir alana yayıldığını düşündüklerini rapor etmiştir.

Ural ve Yüksel (2006) Kışlaköy açık işletmesinde örtü tabakasını oluşturan birimlerin mineralojik özelliklerini XRD analizleri ile ortaya koymuştur. Alüvyon, marn, mavi kil, gidya ve taban kilinde sırasıyla % 17.31, % 18.73, % 22.32, % 28.09 ve % 17.73 kil minerali mevcut olduğunu tespit etmiştir. Detay kil analizinde ise yüksek Şişme özelliği gösteren montmorillonit minerali en fazla taban kilinde (% 77.96) en az marn (% 0,49) bulunmuştur. Mavi kilde % 37.87, alüvyonda % 24.68 ve gidyada % 4.42 montmorillonit belirlenmiştir.

Bilir vd. (2013) mavi kil örnekleri üzerinde yaptığı üç eksenli Şişme deneyleri sonucunda Şişme gerilmesini ( $\sigma_s$ ) yanal basınca ( $\sigma_3$ ) ve Şişme birim deformasyonuna ( $\epsilon_s$ ) bağlı olarak hesaplayan aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\sigma_s = 0.55 \sigma_3 - 0.28 \epsilon_s + 1.18 \quad r^2 = 0.97 \quad (2.1)$$

Farklı yanal basınçlarda elde edilen Şişme gerilmeleri 1.21 – 2.41 MPa arasında değişirken, Şişme birim deformasyonu % 1.66 – 3.69 arasında değişmiştir. Örneklerin tüm kayaa analizinde kil mineraline (% 57) kalsit (% 17) ve kuvarsın (% 4) eşlik ettiği görülmüştür. Detay kil analizinde ise simektit % 52, kaolinit % 31 ve illit % 17 olarak bulunmuştur.

## 2.2 GÖYNÜK LİNYİT AÇIK İŞLETMESİ

Göynük'n (Bolu) 30 km güneyinde Himmetoğlu Formasyonu içinde bulunan linyit kömürü önceleri TKİ tarafından, 2006 yılından sonra Aksa Enerji tarafından açık işletme yöntemi ile üretilmektedir. 120 -250 m arasında değişen kalınlığa sahip Himmetoğlu Formasyonunda tabaka eğimleri yatay ve yataya (0-20°) yakındır (Şener 1993, Geze 2007). Geze (2007) st

Miyosen yaşlı Himmetoğlu Formasyonunun aşağıdan yukarıya doğru çakıltaşı-kumtaşı-yeşil renkli kil, linyit, bitümlü şeyl-linyit ardalanması ve bitümlü şeyl-tüf-silttaşı ardalanması şeklinde sıralandığını belirtmektedir.

Yaşanan şev yenilmeleri nedeniyle sahaya yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Kulaksız (1989) ocak planlanması ve şev duraylılığına ilişkin hiç veri kullanılmadan işletmeye doğrudan geçilmesi sonucunda ocak sahasının heyelanlarla kaplandığını belirtmektedir. şener (1993) işletmede heyelanların meydana geldiğini vurgulayarak, linyitin tabanındaki yeşil kilin plastik özelliğe sahip olduğunu, su ile temasta aşırı derecede şiştiğini ve işletme aşamasında önemli güçlükler çıkardığına işaret etmektedir. Ekmekçi ve Erdoğan (1998) açık işletme sahasındaki yeraltısuyu koşullarının şev duraylılığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Himmetoğlu Formasyonunu belirli oranlarda su taşıyabilen, ancak taşıdığı suyu yavaş iletebilen “akitard” niteliğinde bir birim olarak tanımlamışlardır.

12 Aralık 2017’de açık işletmeye komşu olan Himmetoğlu Köyü’nde 1 evin kullanılmamaz hale geldiği, 4 evin de ağır hasarlı olduğu şekil 2.2’de görölen büyük bir kayma meydana gelmiştir (URL-2 2019).



**şekil 2.2** Açık işletmeye komşu olan Himmetoğlu Köyü’nde meydana gelen kayma (URL-2 2019).

Bilir et al. (2013) kömür damarının tabanında mevcut olan yeşil kil örnekleri üzerinde üç eksenli şişme deneyleri gerçekleştirmiştir. Yeşil kilin şişme gerilmesini ( $\sigma_\sigma$ ) yanal basınca ( $\sigma_3$ ) ve şişme birim deformasyonuna ( $\epsilon_\sigma$ ) bağlı olarak hesaplayan aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\sigma_s = 1.30 \sigma_3 - 0.27 \varepsilon_s + 0.68 \quad r^2 = 0.97 \quad (2.2)$$

Farklı yanal basınçlarda elde edilen şişme gerilmeleri 1.37 – 3.35 MPa arasında değişirken, şişme birim deformasyonu % 3 – 6,62 arasında değişmiştir. Örneklerin tüm kayaç analizinde kil mineraline (% 90) kalsit (% 5), kuvars (% 3) ve feldspatın (% 2) eşlik ettiği görülmüştür. Kil fraksiyonu analizinde ise simektit % 75, kaolinit % 16 ve illit % 9 olarak bulunmuştur.

### 2.3 TELLNES İLMENİT AÇIK İŞLETMESİ

Norveç'in güneybatısındaki Egersund ili içinde bulunan Tellnes açık işletmesi 1960 yılından beri ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ) cevheri üretmektedir (Nilsen and Ballou 2006). Toplam basamak yüksekliğinin 150 metreyi bulduğu ocakta, eklem ve faylar gibi ana süreksizlikler bazı noktalarda düzlemsel ve kama tipi yenilme şeklinde lokal duraysızlık problemlerine yol açmıştır. Bu problemlerin çoğu şiddetli yağmur fırtınaları ve tekrarlanan donma/çözünme periyodları sırasında yaşanmıştır. Duraysızlık problemlerinin yaşanmasındaki en önemli faktör eklemleri dolduran simektit, illit, kalsit ve klorit içeren dolgu malzemesidir. 1997 yılında çok şiddetli bir yağmur süreci esnasında ana nakliyat yolunun hemen üstünde yaklaşık 5000 tonluk kama tipi şev kayması meydana gelmiştir. Yenilme kil mineralleri ile dolu olan düzensiz yönlenmiş eklemlerden kaynaklanmıştır. Şekil 2.3'de yaşanan şev kaymasının sonucunda oluşan yığının basamakları kapladığı gözlemlenmektedir. Simektitte % 230 olarak ölçülen serbest şişme birim deformasyonu, yüksek şişme kapasitesini ve kaymaya karşı düşük sürtünme direncini işaret etmektedir. Bu, kayma riskini daha da arttırmaktadır.

### 2.4 TAŞÖNÜ KİREÇTAŞI OCAĞI

Trabzon Çimento Fabrikası'nda kullanılan hammaddenin % 80'ini karşılayan Taşönü (Araklı) Kireçtaşı Ocağı'nda 2005-2006 arasında farklı tarihlerde 3 ayrı düzlemsel kayma gelişmiştir (Şekil 2.4). Ceryan vd. (2009) patlayıcı madde ile kazı ve yoğun yağışın yenilmelerde tetikleyici rol oynadığını, şevin eğimli ve yüksek olmasının ve eğimli killi seviyelerin varlığının kaymayı kolaylaştırdığını belirtmektedir. Kayma sonucunda bir bina ve cami yıkılmış, ocaktaki üretim büyük ölçüde azalmıştır. Kaymadan sorumlu olduğu düşünülen 15-110 cm kalınlığındaki killi seviyeler kırmızı tüflerin ayrışması ile meydana gelmiştir. XRD analizine göre H1 nolu örneklerde montmorillonitin %95, illitin %5 oranında olduğu, H2 nolu örneklerde ise montmorillonitin %85, illitin %15 oranında olduğu tespit edilmiştir.





**Şekil 2.3** Ana nakliyat yolunun üst tarafında kayma yenilmesi (Nilsen and Ballou 2006).



**Şekil 2.4** Ekim 2005, Mart ve Ekim 2006 tarihlerinde Taşönü ocağında gelişen düzlemsel yenilmeler (Ceryan vd. 2009).

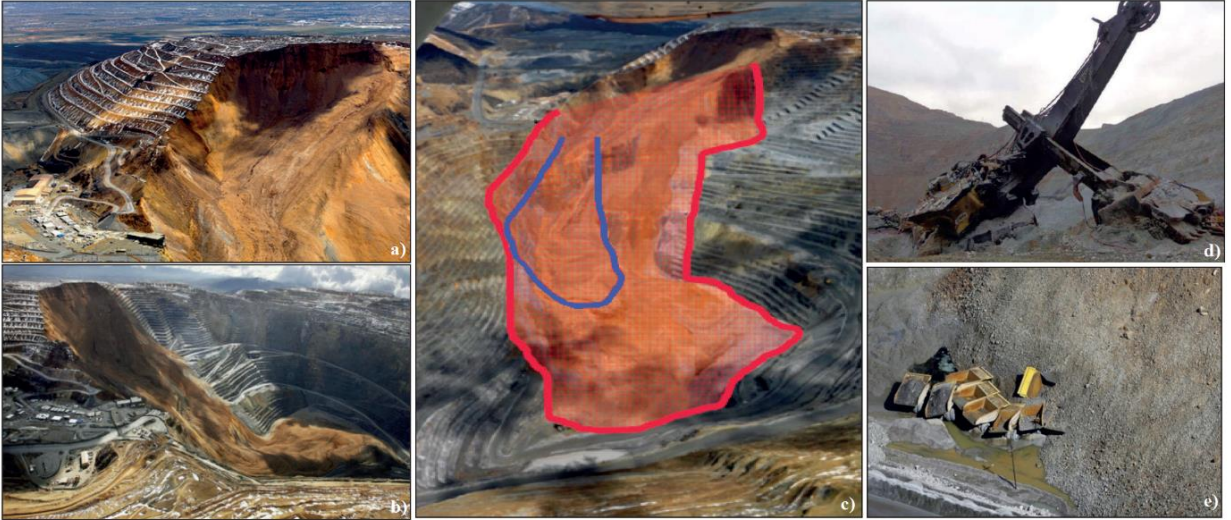
Şişme potansiyeline göre yapılan sınıflandırmaya göre H1 örnekleri “orta-yüksek”, H2 örnekleri “yüksek-çok yüksek” şişme potansiyeline sahiptir. Plastisite indeksi ve likit limite göre yapılan değerlendirmede H1 ve H2 örnekleri CH grubu, TS1500’e göre yapılan sınıflandırmada ise H1 örnekleri “kumlu yağlı kil”, H2 örnekleri “yağlı kil ve az kum” – “yağlı kil” olarak tanımlanmıştır. Kayma düzlemlerinden alınan örneklerin drenajsız



## 2.6 BINGHAM CANYON BAKIR AÇIK İŞLETMESİ

1906 yılından beri işletilmekte olan Bingham Canyon madeni (Salt Lake City'nin güney batısı, Utah, ABD) dip ve tepe noktaları arasındaki düşey mesafenin 1.2 km'ye ulaşması nedeniyle dünyanın en derin açık işletmesidir (Rio Tinto 2009). 4.4 km'ye varan genişliği sebebiyle de uzaydan bile fark edilebilmektedir. İşletmede her yıl 55 milyon ton bakır cevheri ve 120 milyon ton örtü tabakası kazılmaktadır. Makine parkında en büyüğü 56 m<sup>3</sup> olan 11 adet elektrikli ekskavatör (shovel) ve 1 adet hidrolik ekskavatör bulunmaktadır. Nakliyat ise yük taşıma kapasiteleri 255 ile 320 ton arasında değişen 70 adet ağır kamyon ile gerçekleştirilmektedir. Kamyon filosu, günde 21 km/saat'lik ortalama hızla toplam 16 bin km'den fazla yol kat etmektedir. Kule uzunluğu 23 – 30 m arasında değişen 8 adet delici ile günde 17 m'ye varan 200 adet delik delinebilmektedir.

Yıldız (2017) Bingham Canyon açık işletmesinde Nisan 2013'de ard arda iki kaymanın peş peşe geliştiği büyük bir şev yenilmesini bildirmektedir (Şekil 2.6). İşletmede kaza öncesinde basamakların olabildiğince dik durması ve bu durumda kaymasını önlemek ile görevli bir teknik ekip oluşturulmuştur. Ekip, işletmenin kuzeydoğu bölgesinde olası bir kayma riski belirlediğinden;



**Şekil 2.6** Bingham Canyon açık işletmesi şev yenilmesi (a, b), öngörülen (küçük) ve gerçekleşen (büyük) kayma (c), kayan malzeme altında kalan halatlı kollu ekskavatör ve kamyonlar.



- İşçilerin bu konuda bilinçlendirilmesi,
- Vardiya sorumlularının ocağı sürekli olarak gözlemlemesi ve bunu raporlandırması,
- Sondaj kuyularında geophone denilen algılayıcılarla mikro sismik izleme yapılarak formasyonlardaki kırılma ve kayma nedeniyle oluşan gürültü büyüklüklerinin ölçülmesi,
- Robotik teodolit ve ekstansometreler kullanarak basamak üzerindeki çok sayıdaki noktanın gözlenmesi ve kayıt altına alınması,
- Çatlaklarda hareket olup olmadığının sürekli olarak ekstansometreler ile ölçülmesi,
- Sondaj deliklerine indirilmiş reflektörler (Time Domain Reflectometry, TDR) ile kuyu çeperlerindeki hareket miktarı ve bu hareketin derinliği ölçülmesi,
- Alarm verme özelliği olan zemin propları ve basamak duyarlılığı radarlarıyla (Ground Probe-Slope Stability Radars) 4-10 dakika aralıklarla basamakların taranarak kısa ve uzun dönem aralıklarında basamakta ortaya çıkan hareket ve değişikliklerin tespit edilmesi,
- IBIS radar sistemi ile kayma riski olan bölgelerin 6-8 dakika süreyle sürekli taranması, coğrafik bilgi sistemi yardımı ile işletme ile ilgili verilerin çok hızlı bir şekilde görsel grafikler haline getirilmesi,
- İçinde önlemlerin belirtildiği yeşil, sarı ve (en riski seviye olan) oranj renkli günlük raporların hazırlanması

gibi kapsamlı bir önlem programı uygulamıştır. Bu doğrultuda sahadaki halatlı kollu ekskavatörleri besleyen elektrik hattının yeri değiştirilmiş, ocak içindeki haberleşme kulesi olası kayma bölgesinin dışına çıkarılmıştır. Olay günü (10 Nisan 2013) sabah saatlerinde ocağın üst kesiminde günlük hareketin 1 mm'den 5 mm'ye çıktığı belirlenmiş ve yayınlanan oranj raporuna dayanarak işletme tabanındaki çalışma durdurulmuştur. Aynı gün saat 23:00 civarında ilk kayma 160 km/s hızla 5.1 büyüklüğünde, ikinci kayma ise 110 km/s hızla 4.9 büyüklüğünde depreme eşdeğer bir sarsıntı yaratmıştır. İki kayma ile akan 160 milyon ton malzeme ocak içine çığ gibi akmıştır. Ocak tabanının ancak %10'unun etkileneceği ve olası kaymada oldukça geniş olan ana nakliyat yolunun kayan malzemeyi durduracağı varsayımıyla

bazı makinalar ocağın tabanında bırakılmıştır. Ancak ana nakliyat yolu kayan malzemeyi durduramadığı gibi yol da kaymıştır. Sonuçta kayan malzeme ocak tabanının % 95'ini kaplamış, tabanda bırakılan 13 kamyon, 3 ekskavatör ve 3 delme makinası kayan yığın altında kalmıştır. İşletmede mevcut işletme tabanının 300 metre altında yüksek tenörlü bakır ve altın rezervleri tespit edilmiş olup, ileriye dönük olarak bu rezervlerin yeraltı işletme yöntemiyle üretilmesini planlanmaktadır.

## **2.7 CHUQUICAMATA BAKIR MADENİ**

Şili de bulunan Chuquicamata bakır madeni dünyadaki en büyük açık işletmelerden birisidir. 18 Şubat 1969 tarihinde işletmenin doğu şevlerinde bir kayma meydana gelmiştir (Hoek and Bray 1977). Bu duraysızlık örneği şişme davranışı ile ilişkili değildir. Bu örneğin amacı, eldeki verilerin ne şekilde kullanılması gerektiği ortaya konularak, mühendislik öngörüsü ile verilen kararların, kaymanın oluşturacağı hasarların azaltılmasında ne denli etkin olacağını göstermesidir.

Gerilme çatlakları şevde ilk kez Ağustos 1966'da görülerek basit bir kontrol sistemi kurulmuştur. Hareketler çok küçük olduğundan kontrol sisteminin çalıştırılması daha sonra durdurulmuştur. 20 Kasım 1967'de Richter ölçeğinde beş kuvvetindeki bir deprem görünürde hareketin tekrar başlamasına neden olmuştur. Tesadüfen Chuquicamata madeni, yıllık yağış oranının çok düşük olduğu bir çöl bölgesinde olduğundan yeraltı sularının kaymada bir etken olamayacağı sonucuna rahatlıkla varılabilmektedir.

Şevde hareketin olduğu anlaşıldığı Haziran 1968'de, yerdeğiştirme kontrol sistemi yeniden çalıştırılmaya başlamıştır. Kontrol sistemi esasında basit olup; gerilme çatlakları ölçümleri, mesafe ölçümleri ve bazı ekstensometre ölçümlerinden oluşmuştur. Bunun haricinde üç kanal kısa devre sismograf bölgeye kurulmuştur.

Şevi dengede tutabilmek için Ağustos 1968'de yük boşaltma işlemi başlatılmıştır. İlk olarak 4.5 milyon ton malzeme şevin üst yüzeyinden aşağı doğru sıyrılmıştır. Her ne kadar kayma sonucu ocak tabanına yığılan malzemenin miktarı, bu sıyırma programı sonucunda azalmışsa da program kaymanın önlenmesinde fazla etkin olamamıştır.

1968 yılının sonlarına doğru büyük bir şev kaymasının artık kaçınılmaz olduğu ve bu nedenle nakliye yollarının değiştirilerek, konsantratör için gereksinilecek cevherin stok edilmesi açısından önlemler alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Toplam olarak 12 milyon ton malzemenin yerdeğiştirdiği kayma 18 Şubat günü saat 18.58'de meydana gelmiştir 19 Şubat'ta 65 saatlik geçici kapamadan sonra üretim yeniden başlamıştır. Bu süre boyunca, daha önce stoklanan cevher, konsantratörün hiç durmadan çalışması için yeterli olmuştur.



**Şekil 2.7** Chuquicamata madeni doğu şevlerinde 18 Şubat 1969'de oluşan kayma anı (Hoek and Bray 1977).



**Şekil 2.8** Chuquicamata bakır işletmesinin şev kayması sonrası görünümü (Hoek and Bray 1977).



## BÖLÜM 3

### GÜMÜŞPINAR SEKTÖRÜ A5 PANOSU ŞEV KAYMASI

Şev kaymalarının gözlemlendiği işletmelerden biri olan TKİ Bursa Linyitleri Açık İşletmesi ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra şev kaymasının gelişimi ile ilgili bilgiler bu bölümde sunulmuştur.

#### 3.1 İNCELEME SAHASININ JEOLJİSİ

##### 3.1.1 Önceki Çalışmalar

Gümüşpınar (Orhaneli) açık ocak işletmesi ve yakın çevresini kapsayan ilk detaylı çalışma Günelay (1974) tarafından gerçekleştirilmiştir. Günelay (1974) palinolojik etüd çalışmasında inceleme alanındaki kömür damarının yaşını Alt-Orta Miyosen olarak belirtmektedir.

Takip eden dönemde Memikoğlu (1976), yaptığı çalışmada bölgedeki KD-GB uzanımlı kıvrımların bulunduğunu belirtmiştir. Ayrıca ana fay doğrultularının D-B ve KD-GB uzanımlı olduğunu ve bu fayların tüflerle örtülü olduğunu vurgulamıştır.

Bölgede havza çökellerinin stratigrafisi, yapısal jeoloji, hidrojeoloji ve açık ocak heyelanlarını konu alan çalışma Kulaksız vd. (1991) tarafından yapılmıştır. Kulaksız vd. (1991) havzanın batısında gerçekleştirdiği çalışmasında, eksen uzanımı KD-GB olan bir senklinalin önemini işaret etmekte ve doğrultuları KB-GD, K-G ve D-B arasında değişen çok sayıda ters ve normal fayın varlığını belirtmektedir. Bu faylardan K-G doğrultulu olanların havza oluşumunu denetlediğini belirtmiş ve heyelanların sebebi olarak şişme özelliğindeki killerin, fayların ve yeraltı suyunun varlığını vurgulamıştır.

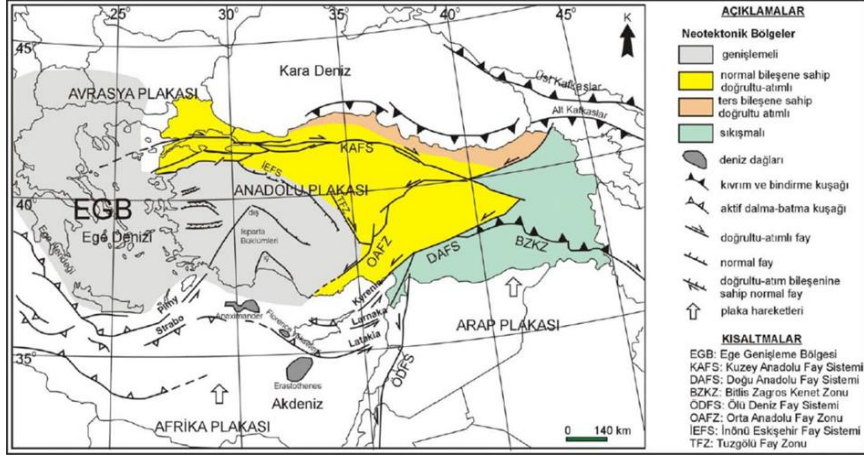
Ergüder vd. (2005) ise kömür havzasının doğu kenarında yürüttükleri çalışmalarında, Kulaksız vd. (1991) tarafından tanımlanan faylara ek olarak on adet yeni fay tanımlamışlar ve fayların çoğunlukla GD doğru yüksek açılı faylar olduğunu belirtmişlerdir.

Karpuz vd. (2006) başlıklı çalışmalarında, bölgedeki fay düzlemleri üzerinde ilk defa fay-kayma verilerinin analizini gerçekleştirmişler ve bölgedeki fayların, doğrultusu K-G, KD-GB ve D-B arasında değişen genişleme rejimi ürünü olduklarını ortaya koymuşlardır. Ayrıca ana fayların, kömür içeren istifi tabandan tavana kadar kestiğini, toplam atım miktarının 0.3 m ile 36 m arasında olduğunu ve bu fayların tekil kırıklar olmayıp bir fay zonu şeklinde verev atımlı normal fay karakterinde olduklarını vurgulamışlardır.

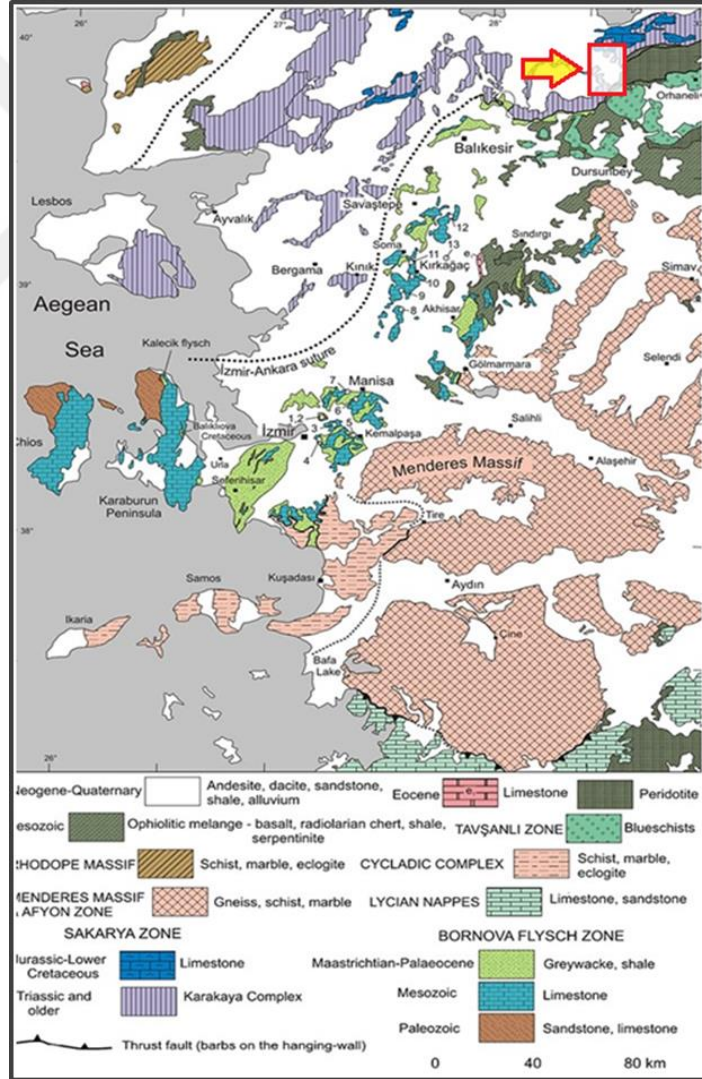
### 3.2 BÖLGESEL JEOLJİ

Anadolu'da Neotektonik dönem, Afrika-Arap ile Avrasya plakalarının çarpışması süreciyle başlamıştır. Afrika plakası kuzeye doğru 10 mm/yıl, Arap plakası ise aynı yönde 25 mm/yıl hızla hareket etmektedir (DeMets vd. 1990, 1994, Oral vd. 1995, Barka ve Reilinger 1997, Reilinger vd. 1997, Bozkurt 2001'den). İki plaka arasındaki bu hız farkı Ölüdeniz Fayı tarafından kontrol edilmektedir. Bitlis Kenet Kuşağı boyunca çarpışan ve kuzeye hareketi Avrasya plakası tarafından engellenen Anadolu plakası Doğu Anadolu Fay Sistemi (sol yanal) ve Kuzey Anadolu Fay Sistemi (sağ yanal) üzerinden batıya doğru kaçmaya başlamıştır. Doğuda bu hareketin Orta Miyosen sonlarında başladığı, batıda ise Geç Pliyosen-Kuvaterner zamanlarında gerçekleştiği araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Bu dinamik süreç Anadolu'da dört farklı gerilme ve buna bağlı deformasyon tipinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bunlar Doğu Anadolu (sıkışmalı-daralmalı), Kuzey Anadolu (makaslamalı-sıkışmalı), Orta Anadolu (makaslamalı-genişlemeli-geçiş) ve Batı Anadolu (genişlemeli) bölgeleridir. Bu bölgeler birbirlerinden ana fay kuşaklarıyla ayrılmaktadır. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Sistemleri Doğu Anadolu bölgesini Kuzey ve Orta Anadolu bölgelerinden ayırırken, İEFS, Tuz Gölü Fay Zonu ve Orta Anadolu Fay Sistemi Batı Anadolu ile Orta Anadolu bölgelerinin sınırını oluşturmaktadır. Anadolu Levhasının tektonik gelişimine ait basitleştirilmiş Neotektonik haritası Şekil 3.1'de, İnceleme alanının (BLİ işletme sahası) içerisinde yer aldığı Batı Anadolu'nun Genel Jeolojik Haritası ise Şekil 3.2'de verilmiştir.

Gümüşpınar kömür havzası yukarıda sözü edilen Ege Genişleme Bölgesi ile Orta Anadolu Bölgesi'nin sınırında kalmaktadır ve her iki sisteminde özelliklerini taşımaktadır. İnceleme alanında tespit edilen faylar üzerinde yapılan arazi incelemeleri ve fay-kayma verilerinin analizi bölgeyi etkileyen iki farklı tektonik rejime işaret etmektedir.



**Şekil 3.1** Türkiye ve çevresinin ana neotektonik bölgeleri ve ilişkili yapıları (Woodside vd. 2002, Koçyiğit ve Özacar 2003, Zitter vd. 2005, Çiftçi 2007'den, Özçelik vd. 2013'den).


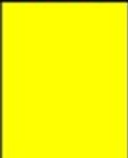


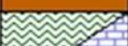



**Şekil 3.2** İnceleme alanının içinde yer aldığı bölgeye ait jeolojî haritası (Konak 2002 değışt., Aral 2012).



### 3.3 ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Gümüşpınar kömür havzası Bursa iline bağlı Orhaneli ilçesinin yaklaşık 25 km batısında yer alan ve uzun eksenli K-G doğrultusunda olan fay kontrollü bir çöküntü alanıdır. Gümüşpınar açık ocak işletmesi bu havza içinde KKD-GGB doğrultusunda olup, doğu kenarındaki kömürün alımı devam etmektedir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan temel kayalar, İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Zonu boyunca tipik olarak gözlenen Mesozoyik ofiyolitik birimleri ve Jura-Kretase yaşlı mermerlerdir. Bu birimlerin üzerinde yer yer uyumsuz, yer yer de faylı dokanakla Miyosen yaşlı kömür içeren birimler bulunmaktadır. Alt seviyelerinde killi ve kömürlü olan Miyosen örtü kayaları üst seviyelerde tuf-kumtaşı-kiltaşı ardalanması ile temsil olur. Bölgedeki en genç birimler güncel alüvyon olup, çoğunlukla dere yataklarında ve topoğrafik olarak en düşük kotlarda gözlenmektedir (Şekil 3.3), (Karpuz vd. 2006).

Yaş	Kalınlık (m)	Kayatürü	Açıklama
NEOJEN	35		VOLKANİK TÜF VE TÜFİTLER Sarı-beyaz, oldukça sert, bol gözenekli, andezitik ve dasitik
	35		KUMTAŞI VE KONLOMERA ARDAŞIĞI Koyu yeşil-sarımsı, çok sert, konglomera kötü boydanmalı, emelden türeme çakıllı, kumtaşı iyi boydanmalı, çapraz katmanlanmalı, yer yer linyit oluşumlu, arasra tufit katkılı
	30		MARN Sarı-bej, kalın katmanlanmalı, sert, yer yer fosilli, yer yer kireçtaşı katkılı
	10		LİNYİT Kahve rengi-siyah, sert, yer yer killi
	5		TABAN KİLİ-KUMTAŞI-KONGLOMERA Yeşil-sarı, killi
Mesozoyik			SERPANTİN-MERMER Serpantin yeşil, bozuşmuş, mermer beyaz renkli

Şekil 3.3 Bursa-Orhaneli Havzası stratigrafik kesiti (ölçeksiz).

#### 3.3.1 Orhaneli Kömür Havzasının Jeolojisi

Havzadaki detay jeolojik etütler 1961 - 1975 yılları arasında MTA Enstitüsü elemanları tarafından yapılmıştır. 1979 - 1984 yıllarında BLİ Müessese Müdürlüğüne havzada 96 adet araştırma ve geliştirme sondajı yapılmıştır.



Gümüşpınar ve Sağırlar sektörlerinde tek damar oluşumu gözlenirken Çivili sektöründe bazı sondajlarda tek damar, bazı sondajlarda ise birkaç damara rastlanmaktadır. Ortalama damar kalınlığı Gümüşpınar sektöründe 7.05 m, Sağırlar sektöründe ise 3.36 m, Çivili sektöründe ise 3.36 m civarındadır. Katman eğimleri Gümüşpınar ve Sağırlar sektörlerinde  $6^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  arasında değişmektedir. Çivili sektöründe ise  $7^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  arasındadır. Faylar basamak faylar şeklinde gelişmiş olup atımları 10 - 50 m arasında değişir. Fay eğimleri  $55^{\circ}$  -  $65^{\circ}$  arasındadır. Havzadaki Neojen yaşlı kayaçlar altta yer alan metamorfik şistler, mermer ve ofiyolitik kayaçların üzerine otururlar. Neojen birimleri altta çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı-kıltaşı seviyelerinin ardalanması şeklindedir. Yukarıya doğru ise önce linyit damarları içeren marn ve daha üstte ise kumtaşı-çakıltaşı tekrarlanması gözlenir, istifin en üstünde ise tüfler ve tüfitler bulunur. Çeşitli özellikteki bu volkanik birimlerle lav akıntıları (bazalt, andezit, dasit) sahada geniş yayılım gösterirler. Katman eğimleri  $5-21^{\circ}$  arasında değişir. Havzada KB-GD doğrultulu basamak (listrik özellikli eğim atımlı normal) faylar mevcuttur.

### 3.3.2 Stratigrafi

Bölgesel olarak inceleme alanının temelinde Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile serpantinleşmiş ofiyolitik kayaçlar bulunmaktadır (Şekil 3.3). Yerel olarak bunların üzerine diskordansla (uyumsuzluk ile) Senozoik yaşlı kömür oluşumunun da içinde bulunduğu kırıntılı çökeller gelmektedir. Daha genç oluşuklar olarak alüvyonlar, teras çakılları ve yamaç molozları gözlenir. Buradaki kayaçlar, Senozoik zamanına ait Neojen devri dikkate alındığında yaş sırasına göre üç bölümde incelenebilir.

- ✓ Neojen Öncesi Kayaçlar
- ✓ Neojen Yaşlı Kayaçlar
- ✓ Neojen Sonrası Kayaçlar

#### 3.3.2.1 Neojen Öncesi Kayaçlar

##### **Mermer, Rekrystalize Kireçtaşı**

Bölgede ve inceleme alanında geniş yayılıma sahiptir. En iyi gözlendiği yer Dikmen Sırtı ve Dikmen Tepesi'dir. Genelde yörenin yükseltilerini oluşturur. Kireçtaşı, genellikle gri renkli, sert, nadir erime boşluklu, çok az belirgin tabakalanmalı yer yer rekrystalize, yer yer şistli

bazen de beyaz renkli mermer görünümündedir. Bu birimin Mesozoyik (Jura, Kretase) yaşı olduğu kabul edilmektedir (Şekil 3.4, Şekil 3.5).



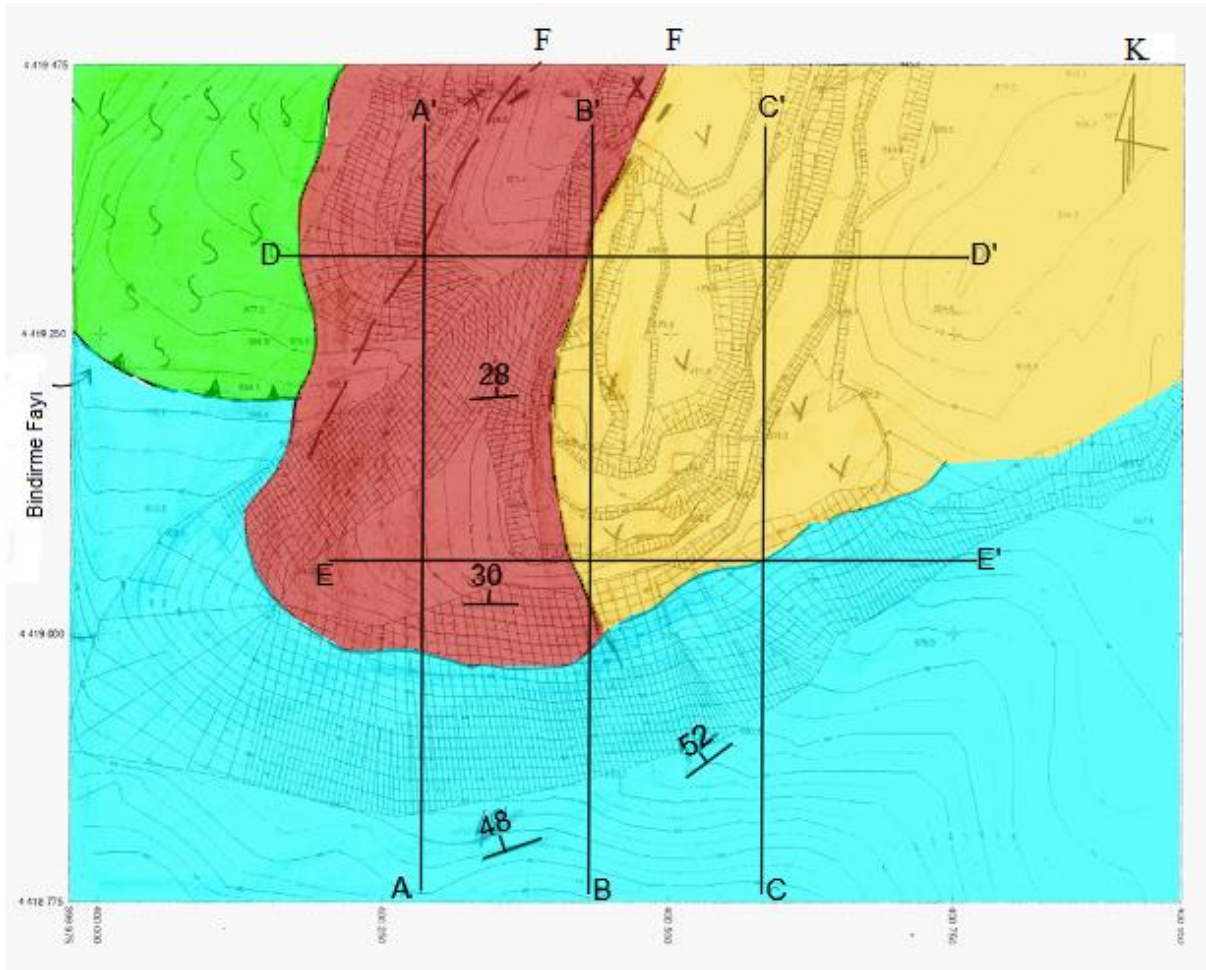
**Şekil 3.4** İnceleme sahası güney kesimindeki litolojik birimlerden genel görünüm.



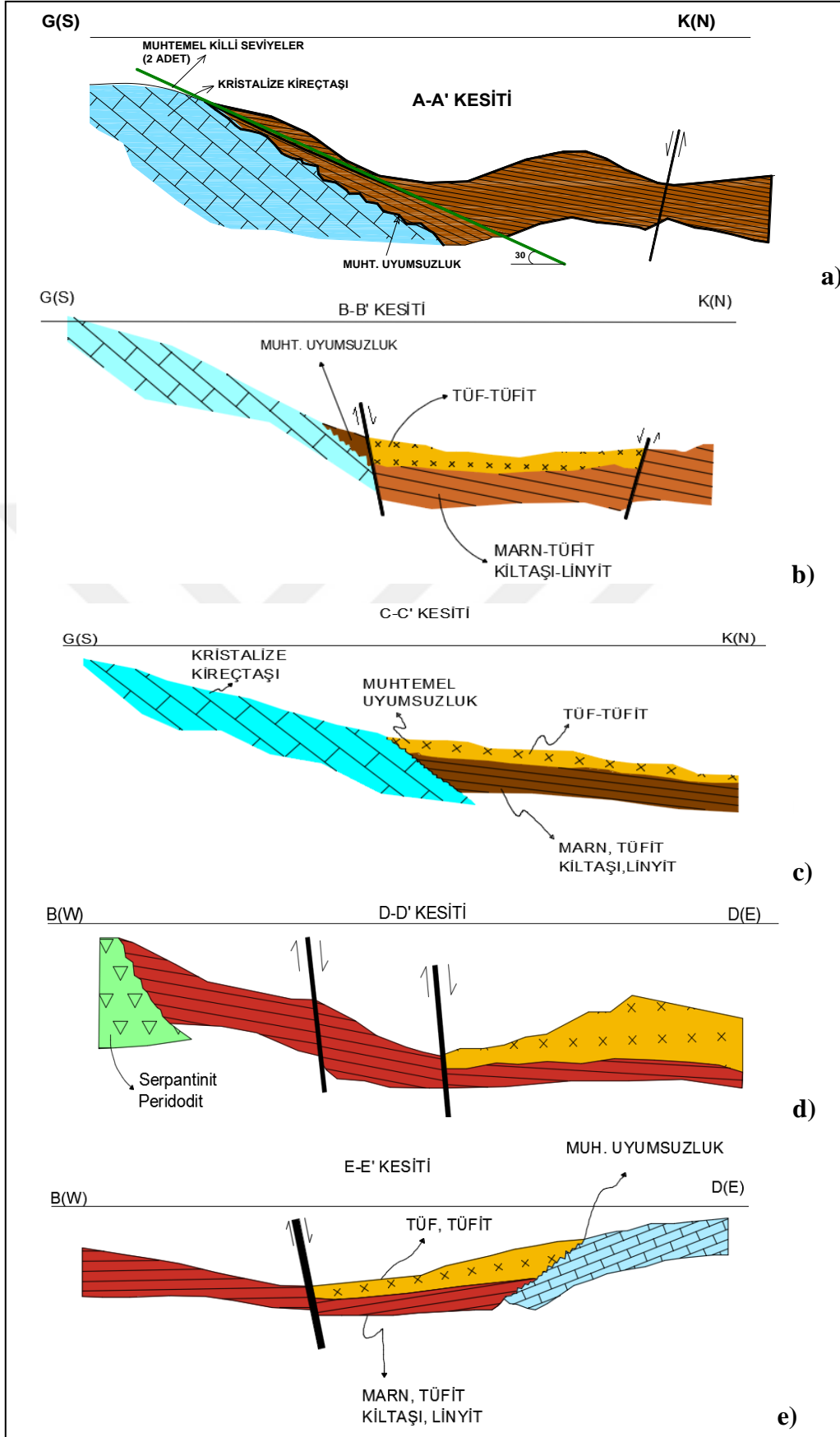
**Şekil 3.5** Kireçtaşlarından (mermerleşmiş, kristalize) yakın görünüm.

## Ofiyolitik Kayaçlar (Serpantinit)

Orhaneli kömürlü Gümüşpınar sektörünün batı ve kuzeybatısında, ruhsat alanının kuzeyinde Yurtyeri Sırtı ve Yurt Deresi'nde yüzeyleir. Tamamen serpantinleşmiş ultra bazik kayalardan (Serpantinit) oluşmuş birim yeşil renkli, kırılğan ve ezik görünümlüdür. Sahanın batı ve güney kesimlerinde özellikle heyelanlı bölgeleri oluşturmaktadır. Kireçtaşı ile dokanakları faylıdır (Şekil 3.4, Şekil 3.6, Şekil 3.7). Bütün Kuzeybatı Anadolu'da olduğu gibi Ofiyolitlerin yerleşimi için Üst Kretase yaşı verilmektedir.



**Şekil 3.6** Gümüşpınar Sektörü güney kesimi jeoloji haritası (Yeşil birim; Serpantinit, **Kahverengi**; Marn, tüfit, kıltaşı, linyit ardalması, **Sarı**; Tüf-Tüfit, Mavi; Kristalize Kireçtaşı)



Şekil 3.7 Güneşpınar Sektörü güney kesimi jeoloji haritası A-A', B-B', C-C', D-D' ve E-E' jeolojik enine kesitleri.



### 3.3.2.2 Neojen Yaşlı Kayaçlar

İnceleme alanında yüksek tepeler arasındaki düzlüklerde geniş yayılıma sahip Neojen, göl fasiyesinde oluşmuş çökeller ile temsil edilmektedir. Bunlar, altta kaba kırıntılı konglomeratik sedimanter kayaçlar (taban formasyonu), üstte kömürlü ince kırıntılı sedimanter kayaçlar ile en üstteki volkano - sedimanter kayaçlar (tüfit, tuf) olarak sıralanmaktadır (Şekil 3.3, Şekil 3.4).

#### **Konglomera, Kıltaşı**

Konglomera ve kil, linyit oluşumunun tabanında yer alır ve temel kayaçları (kristalize kireçtaşı-ofiyolit) üzerinde diskordanslıdır (Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.7). Taban formasyonu niteliğindeki bu birimin alt kesimleri konglomeratik olup, esas olarak killi kumlu gevşek çimentolu hamur içinde kireçtaşı ve serpantin çakıllarından ibarettir. Formasyon daha üste doğru killi kumtaşlarına ve nihayet kömür tabanında tamamen kile (kıltaşı seviyeleri) dönüşür. Gerek yüzey etütleri, gerekse sondajlardan sağlanan verilerle bu taban biriminin kalınlığının 2–20 metre arasında değiştiği anlaşılmıştır. Havza kenarlarında nispetin az kalınlık sunan bu oluşum havza ortalarında maksimum kalınlığa erişmektedir.

#### **Linyit, Marn, Tüfit**

İstiflenmenin noksansız olduğu bölümlerde taban formasyonu üzerinde linyit damarları yer alır (Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.7). Orhaneli Bölgesi'nde çoğunlukla tek bir linyit damarına rastlanmaktadır. İnceleme alanında da yapılan sondaj çalışmaları bunun böyle olduğunu göstermektedir. Daha güneydeki Çivili Bölgesi'nde kalın bir yatay seviye içinde çok sayıda linyit damarcığından söz edilmektedir. Ruhsat alanındaki kömür damarı kalınlıkları 2.25 metre – 7.00 metre arasında değişim göstermekte beraber ortalama kalınlığın 5.50 metre civarında olduğu anlaşılmaktadır. Linyit damarının tavanında yer alan kayaçlar ise (örtü kayaçları) genel olarak marn ve tüfitlerden oluşmaktadır (Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11). Bu kayaçlar arasında yer alan yanal ve düşey geçişli kumtaşı, kıltaşı, kumlu kıltaşı ara tabakaları bulunmaktadır (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9). Tüfit daha çok örtü formasyonunun üst bölümlerini temsil eder ve andezitik ile dasitik volkan küllerinin göl ortamında çökmesi ile oluşmuştur. Formasyonun yaşı Miyosen (Alt Neojen) olarak

bilinmektedir. Örtü kayaçlarının kalınlıkları inceleme alanında 65 metre - 177 metre arasında değişim göstermektedir.



**Şekil 3.8** İnceleme alanı Gümüşpınar güney kesimi linyit, marn, kıltaşı, üst kesimlerde tüfid içeren sedimanter birim.



**Şekil 3.9** İnceleme alanı Gümüşpınar güney kesimi linyit, marn, kıltaşı, üst kesimlerde tüfid içeren sedimanter birim içinde killi ince seviyeler (yeşil-mavimsi yeşil renkli).





**Şekil 3.10** İnceleme alanı Gümüşpınar güney kesimi linyit, marn, kıltaşı, üst kesimlerde tüfid içeren sedimanter birim içinde killi ince seviyelerden yakın görünüm (yeşil-mavimsi yeşil renkli).



**Şekil 3.11** İnceleme alanı Gümüşpınar güney kesimi linyit işletilen seviyelerdeki panolar.

### 3.3.2.3 Neojen Sonrası Kayaçlar

İnceleme alanının çok büyük kesimi yüksek tepeleri kapsadığından, küçük dereler içindeki, kalınlığı çok az, tutturulmamış (ayrık) serpantinit, kireçtaşı, tuf, marn, kumtaşı, marndan oluşan kum ve çakıl boyutunda malzeme içeren akarsu sedimanları yayılım sunmaktadır.

### 3.3.3 Volkanizma

İnceleme alanında örtü kayaçları kapsamındaki tüfitlerin oluşumu bölgede Neojen boyunca aktivitesini sürdürmüş olan bir volkanizmayı işaret etmektedir. İnceleme alanı dışında özellikle Çivilı Bölgesi'nde gözlenen başlıca bazalt, dasit ve andezitten oluşan lav akıntıları yayılım sunmaktadır.

### 3.3.4 Yapısal Jeoloji

Orhaneli Linyit Bölgesi eksen doğrultulan KD-GB olan başlıca iki ayrı havzadan oluşmaktadır. 6725 no'lu ruhsat alanı, Gümüşpınar' dan Yenidanişment yönüne doğru devam eden ana havzanın Gümüşpınar Sektörü ortasında ve Dünder Köyü yakınında yer almaktadır. Alanının hemen bütününde yüzeylenen Mesozoyik yaşlı kireçtaşı (temel), KD yönlü antiklinal yapısı nedeniyle Dünder Köyü güneyinde, mevcut kömür havzasını daraltmakta ve iki parçaya ayırabilmektedir. Temel kayacın yapısal özelliği nedeniyle ortaya çıkan bu temel yükseltisi bu kesimlerde linyit oluşumunu olumsuz etkilemiş ancak gerek linyit damarının gerekse örtü kayaçlarının havza gidişine uygun olarak oluşan tabaka eğim ve doğrultularında doğal olarak ufak terslenmeler dışında herhangi bir değişiklik meydana getirmemiştir. Linyit damarlarının oluşumu havzaya uygun olarak çoğunlukla KD-GB'dır. Damar eğimleri 6° - 10° arasında değişmektedir. Eğim istikametleri genel olarak havza ortasına doğrudur.

#### 3.3.4.1 Faylar

Temeli oluşturan metamorfik kristalize kireçtaşında KD-GB, KB-GD gidişli faylar mevcuttur. İnceleme alanının güney kesiminde kayma yüzeyi kenarında tektonik bir hat şeklinde muhtemel fay zonu (Şekil 3.12 a,b, Şekil 3.13) ve serpantinitler ile kireçtaşları arasında muhtemel bir bindirme zonu (düşük açılı ters fay; bindirme fayı) izlenmiştir (Şekil 3.13). Ofiyolitik kayaçlar ile kireçtaşının dokanakları da çoğunlukla faylıdır. Neojen yaşlı



formasyonlarda gözlenen faylar genellikle önemsiz, atımları en fazla 3 – 4 m'yi geçmeyen faylardır ancak Gümüşpınar sektörünün kuzey bölümünde atımları 25–35 m'ye varan faylar rapor edilmiştir.

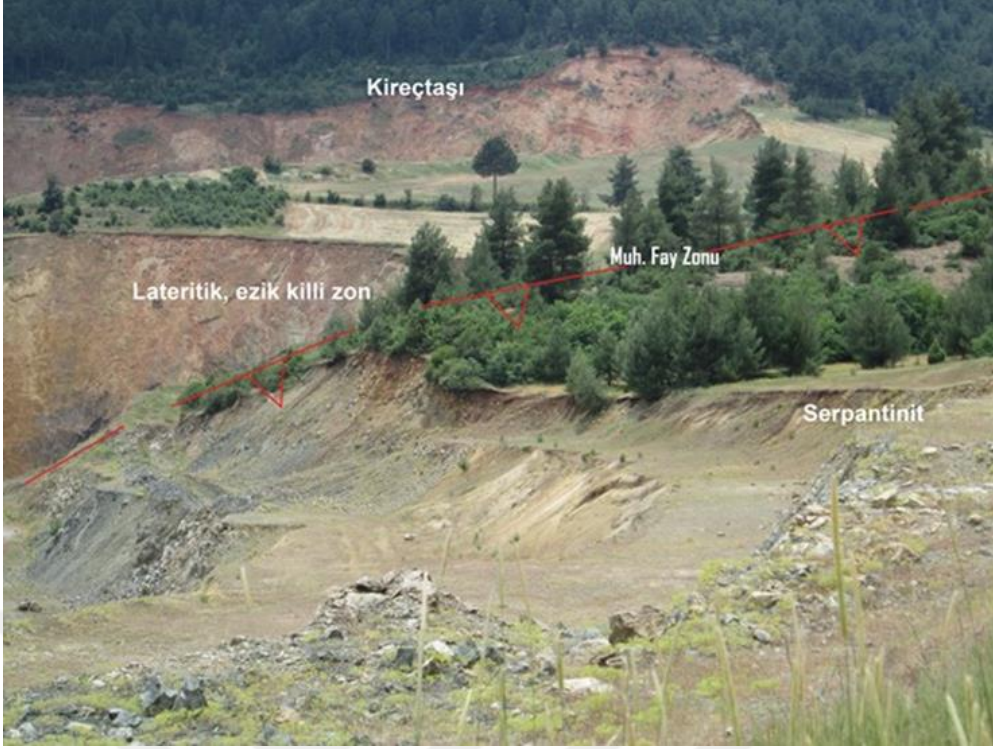


a)



b)

Şekil 3.12 Muhtemel fay zonu a, b (işletme sahası içi, kömürlü Neojen birimde).



Şekil 3.13 Kireçtaşı ve Serpantinler arasında muhtemel fay hattı.

### 3.3.4.2 Kıvrımlar

Temeli oluşturan kireçtaşı kıvrımlı bir yapı göstermektedir. 6725 No'lu sahanın ruhsat alanı içindeki kireçtaşının KD gidişli ve KD'ya dalımlı antiklinal yapısı belirgindir. Genel olarak neojen çökelleri ve dolayısıyla linyit oluşumu KD-GB doğrultuludur. Kömürleşme, havzanın taban topoğrafyasma bağlı olarak hafif ondülasyonlar şeklinde yapısal bir karakter göstermektedir.

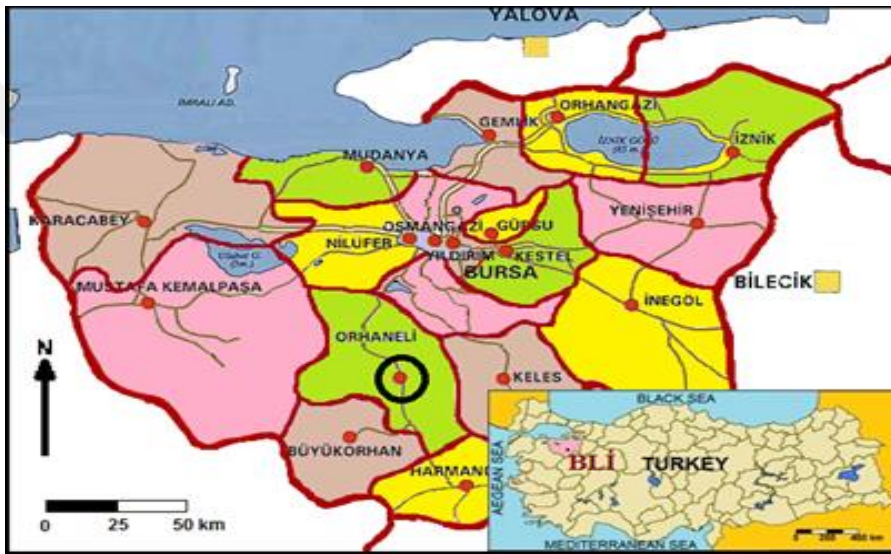
### 3.3.4.3 Kömür Damarları

Orhaneli kömürleri, içinde bulunan çökellere göre limnik (gösel) bir yataklanıma şekli gösterir. Kömür damarı orijinal halde sert, koyu kahve renkli, mat görünümlüdür. Dış görünüşü ile Dupargue sınıflanmasında bayağı linyitler, Francis sınıflanmasında ise siyah linyitler sınıfına girer. Makroskopik olarak seçilen yabancı maddeler, az miktarda Mollusk (fossil) kavkuları ve bazı düzeylerde konsantre pirit tanecikleridir. Damar, tavan kesiminde daha temiz tabanda ise daha killidir. Özgül ağırlığı 1.4 ton/m<sup>3</sup> civarındadır.



### 3.4 ÇALIŞMA SAHASININ TANITIMI

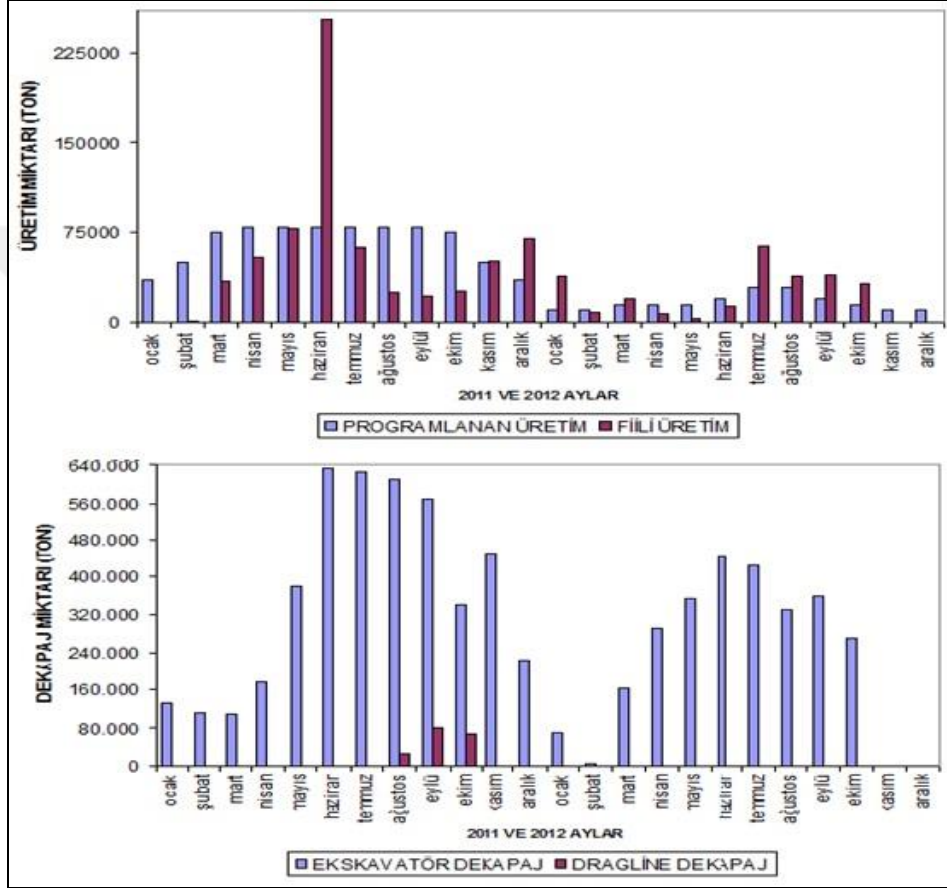
Açık işletme, Bursa ili Orhaneli ilçesi Gümüşpınar Köyü'nde bulunmaktadır. Gümüşpınar köyü, Orhaneli'ye 25 km, Bursa'ya 83 km uzaklıktadır (Şekil 3.14). TKİ Bursa Linyit İşletmesi (BLİ) tarafından üretilen kömür 1x210 MW gücündeki Orhaneli Termik Santrali'ne verilmekte küçük bir kısmı da iç piyasada kullanılmaktadır. Orhaneli Kömür Havzası Gümüşpınar, Sağırlar ve Çivili olmak üzere kömür içeren üç sektörden oluşmaktadır. Ortalama damar kalınlığı Gümüşpınar bölümünde 6,7 m, Sağırlar bölümünde 4,1 m ve Çivili bölümünde ise 2,7 m olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.14 TKİ Bursa Orhaneli Linyitleri açık işletmesi yer bulduru haritası.

Günümüzde, sadece Gümüşpınar sektöründe faaliyetin sürdüğü TKİ Bursa Orhaneli Linyitleri Açık İşletmesi'nde linyit kömürü üretimi dekapaj ve kömür kazı-nakliye olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilen açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Kömür damarının üzerindeki örtü tabakası uygun nitelikte patlayıcı madde ile patlatılarak gevşetilmekte ve daha sonra 7,6 – 11,5 m<sup>3</sup> kepçe kapasiteli ekskavatörlerle kazılarak 77 ton'luk hafriyat kamyonlarına yüklenmekte ve bu kamyonlar vasıtasıyla taşınarak döküm sahasına dökülmektedir (BLİ, 2012). Örtü tabakası, ekskavatör - kamyon sistemiyle belirli bir kalınlığa kadar indirildikten sonra, kömür damarı üzerinde kalan bölüm dragline ile alınıp yandaki kömürü alınmış sahaya aktarılmaktadır. Bu amaçla dekapajda; 1 adet 25 m<sup>3</sup> kepçe kapasiteli dragline ile 4 adet 7,6 m<sup>3</sup> ve 2 adet 11,5 m<sup>3</sup> kepçe kapasiteli ekskavatör ve ayrıca 32 adet 77 ton taşıma kapasiteli hafriyat kamyonlarından yararlanılmaktadır. İşletmenin 2011 - 2012 aylarına göre tüvenan kömür üretim ve dekapaj

faaliyetleri incelendiğinde bazı aylar haricinde programlanan tüvenan kömür üretim miktarına fiili olarak ulaşamamış ve 2011 yılındaki tüvenan kömür üretim ve dekapaj faaliyetleri de 2012 yılına göre düşüş göstermiştir (Şekil 3.15). Bu düşüşte, zeminin Dragline'nın çalışma koşullarına uygun olmaması nedeniyle Dragline'nın sadece 2011 Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında çalışma yapmış olması ve özellikle kış aylarında yağışların etkisi ile ekskavatörlerin zemine batması nedeniyle örtükazı faaliyetlerini yerine getirememesi etkili olmuştur.



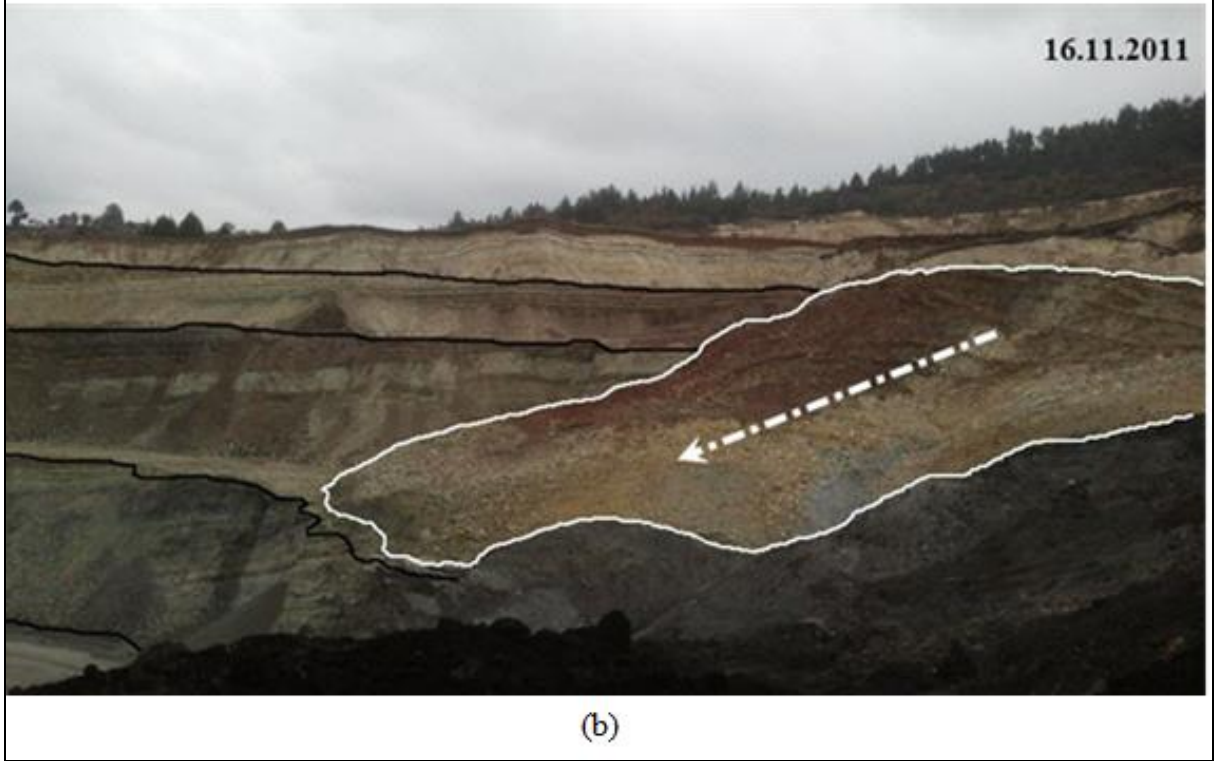
Şekil 3.15 2011 - 2012 aylarına göre tüvenan kömür üretim ve dekapaj faaliyetleri.

### 3.5 İŞLETMEDE MEYDANA GELEN ŞEV DURAYSIZLIĞININ İNCELENMESİ

A-5 panosunda 2011 Aralık ayında yağışlar sonrasında büyük bir şev kayması meydana gelmiştir. Söz konusu şev yenilmesinin olduğu bölgede işletme, sadece ekskavatörlerle olağan örtü kazı faaliyetlerini sürdürmüştür. Şev kayması oluşmadan önce Eylül 2011'de tespit edilen şevin genel durumu Şekil 3.16.a'da verilmiştir. Aralık 2011'de meydana gelen şiddetli yağışlar sonrasında şevlerde düzlemsel tip kayma duraysızlığı oluşmuş ve Şekil 3.16.b'de görüldüğü gibi büyük miktarda örtü yığını kaymıştır.



(a)

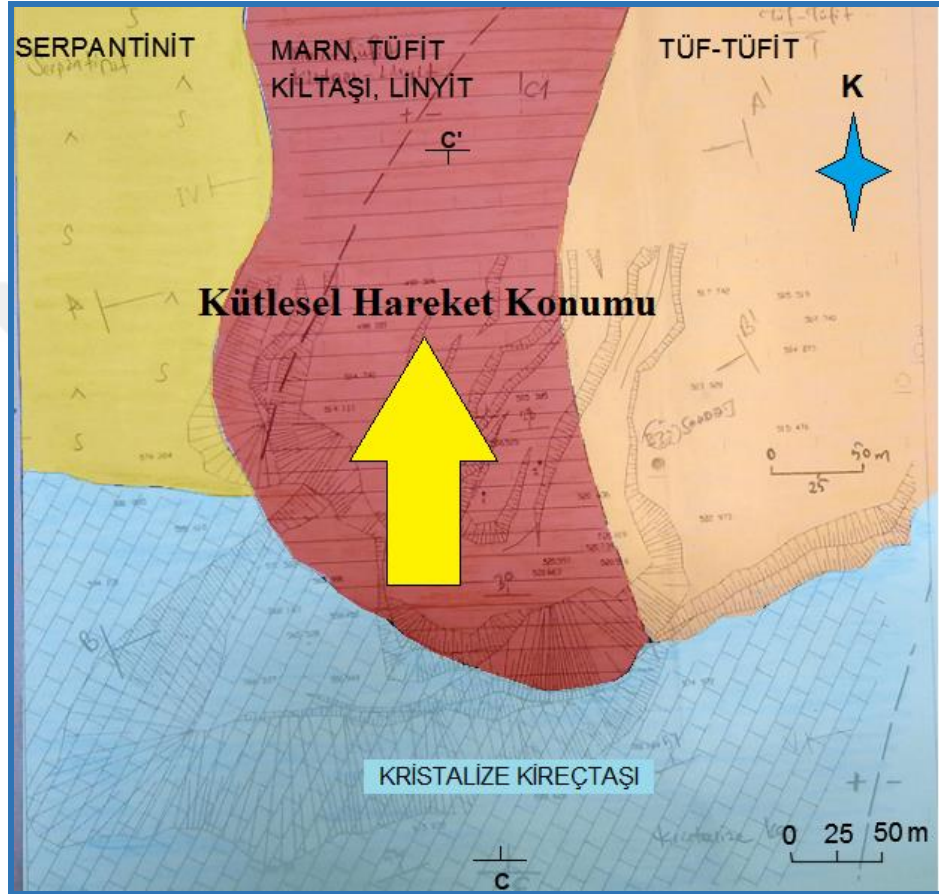


(b)

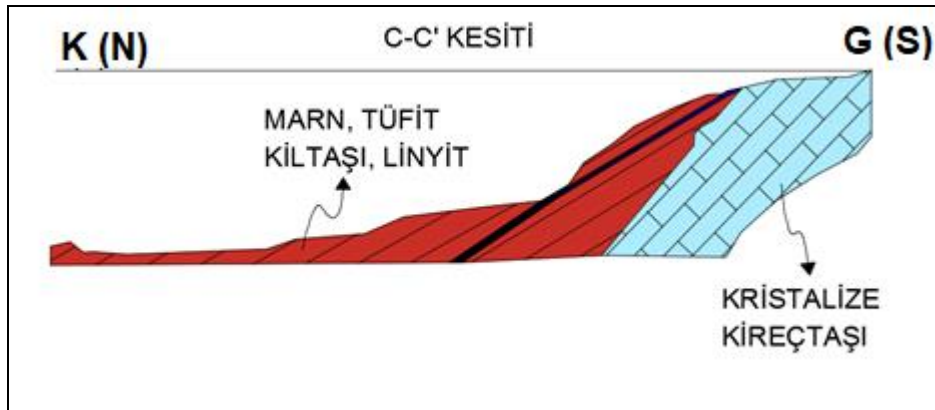
Şekil 3.16 Şev kaymasının meydana geldiği A-5 panosunun 16.09.2011'deki (a) ve 16.11.2011'deki görünümü (b).



Şekil 3.17’de de görüleceği üzere inceleme sahasında yaklaşık G-K yönünde (Güneyden Kuzeye doğru) üstte yer alan marn, tuf, kıltaşı, linyit içeren sedimanter tabakalı birimlerde birbirleriyle 2 m’lik ara ile, iki farklı seviyede, yeşil renkli killi kaygan katman üzerinde kayma yüzeyi mevcut olup, kütleli kayma hareketinin bu yüzeylerin üzerinde gelişim sunduğu saha incelemeleri sırasında belirlenmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.17 İnceleme sahası Gümüşpınar Güney kesimi jeoloji haritası.

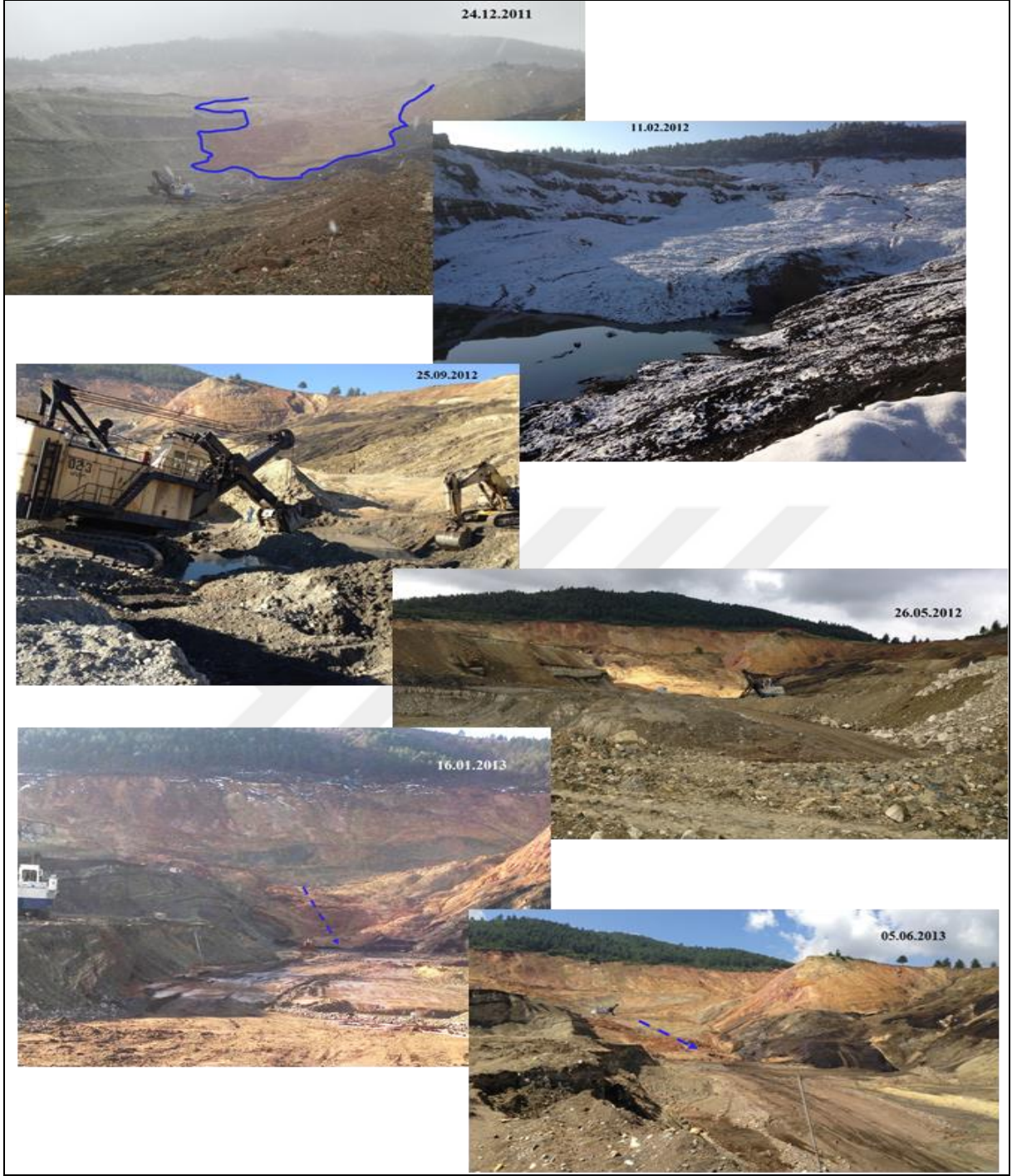


Şekil 3.18 İnceleme sahası Gümüşpınar Güney kesimi C-C' hattı jeolojik enine kesiti.

Kayma sonrasında işletmede örtü kazı faaliyetleri durmuş ve yığının kaldırılması için yapılan çalışmalar çok yavaş ilerlemiştir. Bunun başlıca nedenleri, iş makinalarının balçık haline dönüşmüş zemine batması ve kayan yığının kendi içinde süreç içinde kaymaya devam etmesidir. Şev kaymasının 24.12.2011 ve 05.06.2013 tarihleri arasındaki durumu Şekil 3.19'da gösterilmektedir. 25.09.2012 tarihli görüntüde elektrikli ekskavatörün zemine batması ve onu kurtarmaya gelen hidrolik ekskavatörün zemini kazdıka açılan boşluğun suyla dolduğu görülmektedir. 05.06.2013 tarihinde yapılan arazi incelemesinde şev kayması olayından 19 ay geçmiş olmasına rağmen yığın kaldırma çalışmaları devam etmiştir (Şekil 3.19).

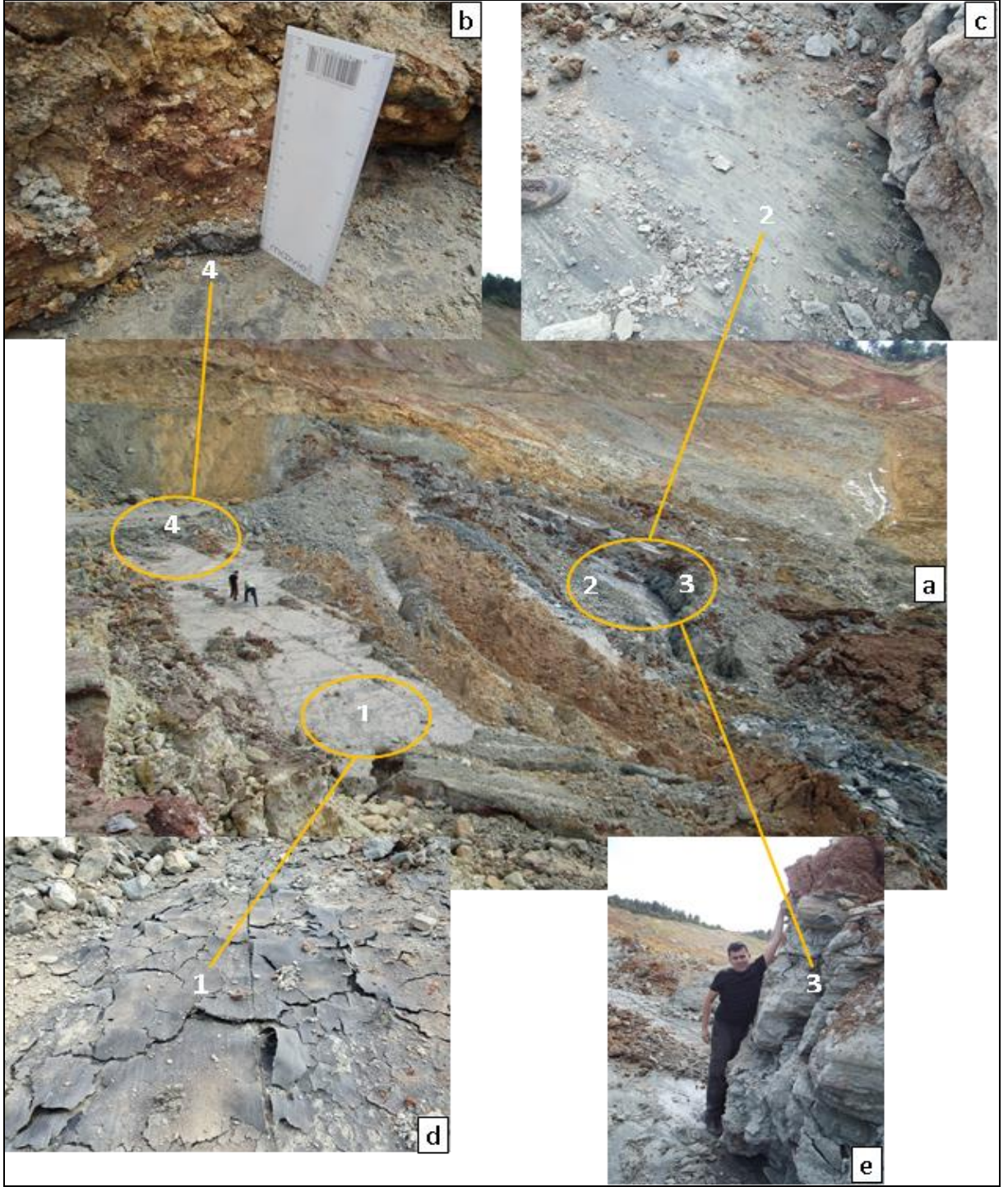
Arazide yapılan gözlem ve incelemeler sırasında Şekil 3.20 a'da 1 ve 2 numara ile gösterilen iki adet düzlemsel kayma tespit edilmiştir. 1 nolu kayma düzleminin üzerinde 2 cm kalınlığında kil bandının varlığı belirlenmiştir (Şekil 3.20 b). Şekil 3.20 d'de 1 nolu kayma düzlemi üzerinde görülen bu kil tabakası, nemini kaybetmeye başladığında sertleşerek, bünyesinde büzülme çatlakları oluşturmuştur. İnceleme yapılan tarihten bir gün sonra meydana gelen şiddetli yağış ardından büzülme çatlaklarının kapandığı ve kilin büyük bir kısmının eğim yönünde yıkanarak süreksizlik yüzeyinden aktığı görülmüştür. Şekil 3.20 a ve c'de görülen 2 nolu kayma düzlemi, 1 nolu kayma düzleminin daha alt kotunda bulunmaktadır. 2 nolu kayma düzlemi yüzeyi üzerinde yapılan çalışmalar sırasında kayma yüzeyinin pürüzsüz olmasından dolayı oldukça kaygan hale geldiği gözlemlenmiştir. 2 nolu düzlemin üzerinde bulunan ve kaymanın gerçekleştiği bloğun kalınlığı ortalama 2,10 m'dir.

Yukarıda bahsedilen şev kaymalarına ilave olarak işletme sınırları içinden geçen köy yolunda 2012 Nisan ve 2013 Ocak aylarında iki kez şev duraysızlığı meydana gelmiştir. Bu bölgede düşük dayanıma sahip kaymaya yatkın killi siltli ve tüflü formasyonlar su içeriğinin artmasına bağlı olarak dairesel kaymanın oluştuğu tahmin edilmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.19 A-5 panosunun 24.12.2011 ve 05.06.2013 tarihleri arasındaki görünümü.





Şekil 3.20 05.06.2013 tarihinde yapılan arazi çalışmasında tespit edilmiş kayma düzlemleri ve kil bantları.



**Şekil 3.21** Köy yolundaki heyelan bölgesi.

## BÖLÜM 4

### ŞİŞME DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

Şişen ortamlarda oluşturulacak mühendislik yapılarının tasarımında şişme gerilmesi ve şişme birim deformasyonu olmak üzere iki veri kullanılır. Bu veriler çoğunlukla laboratuvarda yapılan tek eksenli şişme deneyi ile belirlenir. Ancak birçok araştırmacı bu deneylerin üç eksenli olarak yapılması gerektiğini bildirmektedir. Aşağıda, Bursa Linyitleri İşletmesi'nde tespit edilmiş olan şişen kayaçların davranışlarını belirlemek amacıyla yapılan örnek hazırlama, tek ve üç eksenli şişme deneyleri ve mineralojik analizler anlatılmaktadır.

#### 4.1 ÖRNEK HAZIRLAMA

İşletmede, şişme davranışı gösterebileceği düşünülen 10 noktadan şişme deneyleri için örnek alınmıştır. Ön deneyler sonucunda 5 örnekte önemli şişme davranışının olduğu belirlenmiştir. Bunlar; Kıltaşı 1 (CS1), Kıltaşı 2 (CS2), Kıltaşı 3 (CS3), Killi Kireçtaşı (CLS) ve Marn (M) örnekleridir. Diğer örneklerde çok az veya hiç şişme davranışı görülmemiştir.

Şişen kayaçların dayanımlarının düşük olması, karot alımı sırasında suyun kullanılamaması gibi nedenlerle silindirik karot örnekleri çoğunlukla kırılmakta, dağılmakta veya süreksizlik düzlemlerinden ayrılmaktadır. İstenilen boyutta örselenmemiş bir numune hazırlamak mümkün olmamaktadır. Bu durumda örnekler öğütüldükten sonra bir kalıp içinde sıkıştırılarak hazırlandığından örnekler örselenmektedir.

Doğal su içeriğindeki örneklerin şişme parametreleri daha düşük çıkmaktadır. Çünkü şişme davranışının büyük bir bölümü tamamlanmıştır. Örneklerin şişme parametrelerinin tam olarak belirlenmesi ancak deneylerde kuru örneklerin kullanılması ile mümkündür.

Açık işletmeden alınan örneklerden karot alınmadığı için sıkıştırılarak hazırlanmış örselenmiş örnekler üzerinde şişme deneyleri yapılmıştır. Bunun için öncelikle örnekler

etüvde kurutulmuş ve sonra kuru yoğunluğu belirlenmiştir. Daha sonra öğütülen malzeme aynı kuru yoğunluğu verecek şekilde aşağıda anlatılan özel bir aparat kullanılarak hazırlanmıştır.

Aynı kuru yoğunlukta bir numune hazırlayabilmek için numunenin kalınlığı ve aparatın içine konulacak malzeme miktarının belirlenmesi gereklidir. ISRM (1979) ve ISRM (1989) numune kalınlığı ve çapı hakkında önerilerde bulunmuştur. ISRM (1989) şişme deneylerinde kullanılacak örnek çapının 50-100 mm arasında, kalınlığının da 20-30 mm arasında daha uygun olduğunu önermiştir. ISRM'e (1979) göre ise kalınlık en az 15 mm veya maksimum tane çapının 10 katı (hangisi büyükse) olmalı ve çap, kalınlığın 2.5 katından az olmamalıdır. Karotiyer ve örnek hazırlama aparatının çapı (D) 54 mm'dir. Örnek yüksekliği de ISRM (1989) tarafından önerilen 20 mm değeri seçildiğinde çap/yükseklik oranı (D/H) 2.7 olarak saptanmıştır. D/H oranı saptandıktan sonra aparat içine konulacak malzeme hesaplanabilmektedir. Marn (M) örneğinin kuru yoğunluğu  $1.56 \text{ gr/cm}^3$  bulunmuştur. D/H oranı 2.7 olacak şekilde silindirik bir karot numunesi hazırlanabilmesi için aparatın içine 71,38 gr öğütülmüş malzeme konulması gerekmektedir.

Yeşil (1991) tarafından geliştirilen örnek hazırlama aparatı, çelikten yapılmış olup; dört parçadan oluşan iç silindir, iç silindiri tutan dış silindir, piston kılavuzluk eden üst silindir ve bir pistondan oluşur. Örnek hazırlama aparatının parçaları ve uygulama aşamaları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Tek ve üç eksenli şişme deneyleri için hazırlanan silindirik 5 adet örneklerinin fiziksel özellikleri Çizelge 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1 Örnek hazırlama aparatının a) parçaları ve b) uygulama aşamaları.



**Çizelge 4.1** Tek ve üç eksenli şişme deneyleri için hazırlanan örneklerin fiziksel özellikleri boyut ve ağırlık değerleri.

Örnek	$\sigma_3$	m (gr)	h (mm)	d (gr/cm <sup>3</sup> )	D (mm)	D/H	w <sub>i</sub> (%)	w <sub>s</sub> (%)	w <sub>d</sub> (%)
Kiltaş 1 (CS1)	0,0	80,07	19,97	1,75	54	2,70	1,72	34,48	32,76
	0,5	80,28	20,2	1,74	54	2,67	6,88	35,96	29,08
	1,0	80,45	20,18	1,74	54	2,68	7,61	36,54	28,93
	2,0	80,14	20,05	1,75	54	2,69	6,99	32,08	25,09
Kiltaş 2 (CS2)	0,0	90,4	21	1,88	54	2,57	6,01	38,25	32,24
	0,0	71,16	20,03	1,55	54	2,70	2,27	50,48	48,21
Kiltaş 3 (CS3)	0,5	71,33	20,07	1,55	54	2,69	1,6	48,27	46,67
	1,0	71,15	19,95	1,56	54	2,71	2,27	42,77	40,5
	2,0	71,05	20	1,55	54	2,70	2,65	42,92	40,27
Killi Kireçtaşı (CLS)	0,0	94,26	19,79	2,08	54	2,73	0,03	19,04	19,01
	0,5	95,12	20,2	2,05	54	2,67	0,95	18,7	17,75
	1,0	96,11	20,42	2,06	54	2,64	1,1	17,09	15,99
	2,0	95,15	19,9	2,09	54	2,71	1,43	16,9	15,47
Marm (M)	0,0	71,07	19,83	1,57	54	2,72	6,44	37,14	30,7
	0,5	70,99	19,91	1,56	54	2,71	11,97	40,94	28,97
	1,0	71,31	19,9	1,56	54	2,71	12,71	37,03	24,32
	2,0	71,38	20	1,56	54	2,70	12,24	37,98	25,74

**dk:** Kuru yoğunluk, **H:** Örnek yüksekliği, **m:** Ağırlık, **D:** Çap, **w<sub>i</sub>:** İlk su içeriği

## 4.2 TEK VE ÜÇ EKSENLİ ŞİŞME DENEYLERİ

Şişme deneylerin kullanılan deney seti 5 adet bilgisayar kontrollü üç eksenli şişme düzeneğinden meydana gelmektedir (Şekil 4.2). Bilgisayar kontrollü üç eksenli şişme düzeneği ise ana gövde, yanal basınç ünitesi ve veri toplama ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Üç eksenli şişme düzeneği, şişme hücresinde yanal basıncı sağlayan elemanların yerine çelik halka kullanılarak tek eksenli şişme düzeneği haline dönüştürülebilmektedir.

Tek eksenli şişme deney yönteminin amacı, yanal yöndeki hareketi kısıtlanmış örneğin, önce Yerdeğiştirme Kontrol Programını uygulayarak eksenel şişme gerilmesini bulmak daha sonra örnek üzerindeki yükü belirli oranlarda düşürüldüğü Yük Kontrol Programını birkaç kez kullanarak eksenel şişme birim deformasyonlarını belirlemektir.

Üç eksenli şişme deney yönteminin amacı, örneğe yanal basınç uyguladıktan sonra önce Yerdeğiştirme Kontrol Programını uygulayarak eksenel şişme gerilmesini bulmak, daha sonra

örnek üzerindeki yükün belirli oranlarda düşürüldüğü Yük Kontrol Programını birkaç kez kullanarak aksel şişme birim deformasyonlarını belirlemektir.



Şekil 4.2 Üç eksenli şişme deney seti.

Tek ve üç eksenli şişme deney yöntemi aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır (Bilir vd. 2008, Bilir 2011).

- ❖ Tek eksenli şişme deneyi için şişme hücresi Şekil 4.3 a'da görüldüğü gibi üç eksenli şişme deneyi için Şekil 4.3 b'de görüldüğü gibi kurulur.
- ❖ Şişme hücresi su kabına, su kabı düzenekteki piston üzerine yerleştirilir ve yük hücresi ile şişme hücresinin teması sağlanır. Üç eksenli şişme deneyi yapılacak örneğe yanıl basınç uygulanır. Dijital yer değiştirme ölçer sıfırlanır.
- ❖ Yerdeğiştirme Kontrol Programı açılarak "Çalıştır" tuşuna basılır. "Form 1" adlı pencereye haberleşme birimi ve arayüz kartı ile ilgili port numaraları, yük ve şişme verilerinin kaç dakika ara ile kaydedileceği, motorun çalışması için onay kutusunun işaretlenmesi gibi bilgiler girilir (Bu pencere deney süresi boyunca açık kalarak deneyle ilgili verilerin takip edilmesini sağlamaktadır). Penceredeki "Başla" tuşuna basıldığında Yerdeğiştirme Kontrol Aşaması başlar.

- ❖ 50 mikron'a kadar örneğin şişmesine izin verilir. Şişme miktarı her 50 mikron'u geçtiğinde program motorun ileriye doğru çalışmasını sağlayarak örneğin üzerine yük uygular ve örnekteki şişme miktarı 50 mikron'un altına düşer. Bir süre sonra örnek şişmeye tekrar başlar ve şişme miktarı tekrar 50 mikron'a çıkar. Program tekrar motora sinyal göndererek yük uygulanmasını sağlar. Bu döngü, şişme miktarındaki değişim 50 mikron'un altında kaldığı (sabit değerler elde edildiği) ana kadar devam eder. Sonuçta Yerdeğiştirme Kontrol Aşamasında maksimum şişme yükü elde edilir.



Şekil 4.3 Tek (A) ve üç (B) eksenli şişme hücresinin kurulum aşamaları (a-f).

- ❖ Yerdeğiştirme Kontrol Programı durdurulur ve Yük Kontrol Programı açılarak “Çalıştır” tuşuna basılır. Açılan pencerede port numaraları, veri kaydetme aralığı, (Yerdeğiştirme Kontrol Aşamasında elde edilen) maksimum yük gibi bilgiler girilir.
- ❖ Maksimum yükün girilmesiyle Yük Kontrol Programı yükü hangi seviyeye kadar indireceğini hesaplar. “İndirgenmiş yük” olarak adlandırılan bu yük genellikle maksimum yükün yarısıdır. “Başla” tuşuna basıldığında motor geriye doğru çalışmaya başlayarak örnek üzerindeki yükü kaldırır ve indirgenmiş yük seviyesinin hemen altında durur. Örnek üzerindeki yükün yarısı kalktığından örnek şişmeye başlar. Program artık indirgenmiş yük seviyesinin aşılmadığını kontrol eder. Örnek şişmeye çalıştıkça yük artar ve bir süre sonra indirgenmiş yükün üzerine çıkar. Motor tekrar çalışarak yükü indirgenmiş yükün altına indirir ve bu sırada şişme oluşur. Bu döngü yük, indirgenmiş yükün altında kalıncaya kadar devam eder. Sonuçta belli bir indirgenmiş yük seviyesindeki maksimum şişme miktarı bulunur ve program durdurulur.
- ❖ Yük Kontrol Programı istenildiği kadar çalıştırılarak aksel şişme gerilmelerine karşılık gelen şişme birim deformasyonları bulunur. Yük Kontrol Programı, her çalıştırıldığında bir önceki aşamadaki yük değeri, maksimum şişme yükü olarak programa girilir ve indirgenmiş yük seviyeleri hesaplanır. Genel olarak Yük Kontrol Programının üç veya dört kez çalıştırılması yeterlidir.

Programlardan elde edilen aksel şişme yükü (N) ve aksel şişme yerdeğiştirmesi (h) değerleri sırası ile Eşitlik 1 ve Eşitlik 2’de yerlerine konularak aksel şişme gerilmesi ( $\sigma_s$ ) ve aksel şişme birim deformasyonu ( $\varepsilon_s$ ) hesaplanır.

$$\sigma_s = \frac{N}{A} \quad (4.1)$$

$$\varepsilon_s = \frac{h}{H} \quad (4.2)$$

Burada;

N : ölçülen aksel şişme yükü (MN),

A : örneğin alanı (m<sup>2</sup>),

h : ölçülen aksel şişme yerdeğiştirmesi ( $\mu\text{m}$ ), H : örneğin ilk kalınlığı( $\mu\text{m}$ )’dır.



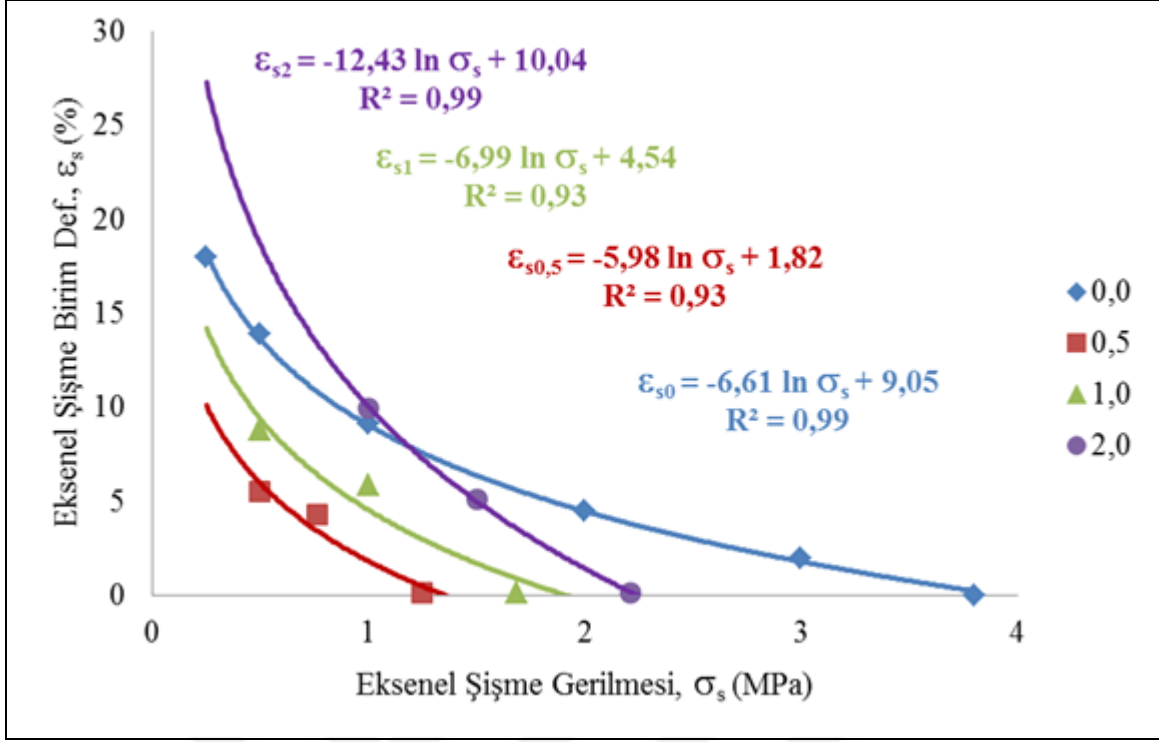
### 4.3 ŞİŞME DAVRANIŞI

TKİ Bursa-Orhaneli Linyit İşletmesi A – 5 Panosu’ndan alınan Kıltaşı 1 (CS1), Kıltaşı 2 (CS2), Kıltaşı 3 (CS3), Killi Kireçtaşı (CLS) ve Marn (M) örnekleri üzerinde gerçekleştirilen tek ve üç eksenli şişme deneyleri sonucunda şişme gerilmeleri ve şişme birim deformasyonların zamana bağlı değişimleri EK A-E’de, maksimum şişme gerilmesi ( $\sigma_s$ ) ve maksimum şişme birim deformasyonu ( $\epsilon_s$ ) değerleri Çizelge 4.2’de verilmektedir. Bu verilerden yola çıkılarak kayaçların tek ve üç eksenli şişme davranışlarının elde edildiği ilişkiler Şekil 4.4 - Şekil 4.8’de sunulmaktadır. Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin sadece tek eksenli şişme deneyi yapılabilmıştır. Üç eksenli şişme deneyleri için yeterli miktarda numune kalmamıştır. İşletmeden yeniden numune alınmak istenmiş olmasına karşın sahada da örnek bulunamamıştır.

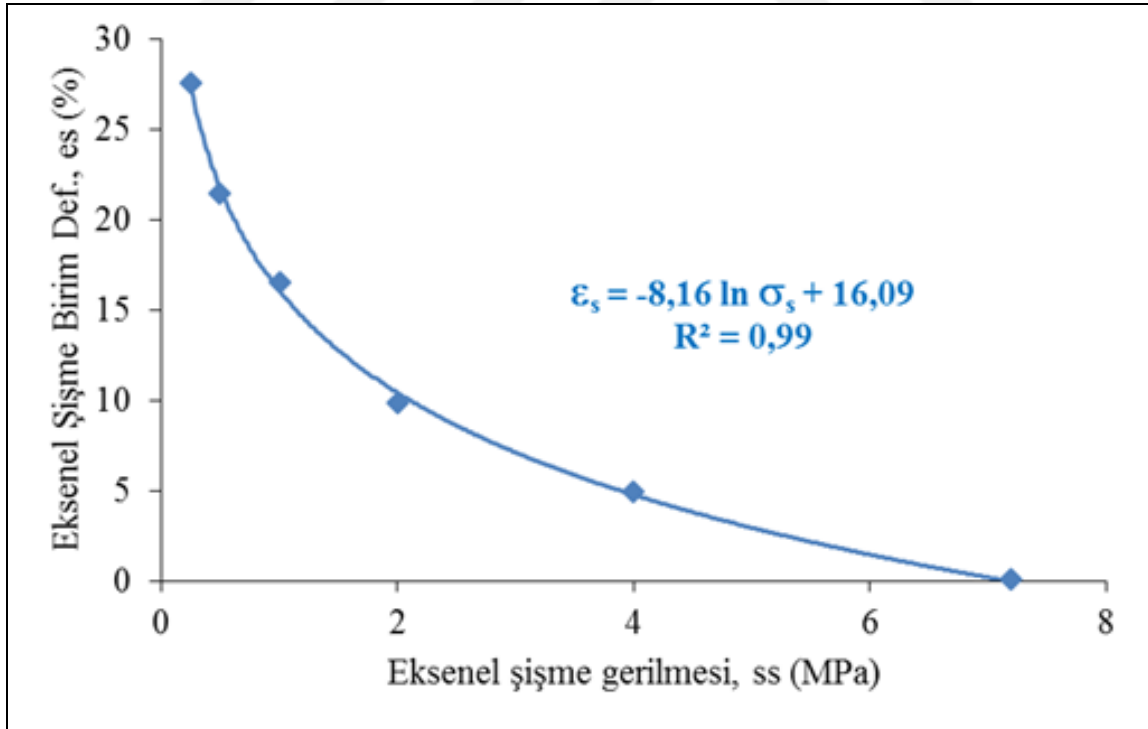
**Çizelge 4.2** Tek ve üç eksenli şişme deneyler deney sonuçları.

$\sigma_3$ (MPa)	Kıltaşı 1 (CS1)			Kıltaşı 2 (CS2)		Kıltaşı 3 (CS3)		Killi Kireçtaşı (CLS)		Marn (M)	
	$\sigma_s$ (MPa)	$\epsilon_s$ (%)		$\sigma_s$ (MPa)	$\epsilon_s$ (%)	$\sigma_s$ (MPa)	$\epsilon_s$ (%)	$\sigma_s$ (MPa)	$\epsilon_s$ (%)	$\sigma_s$ (MPa)	$\epsilon_s$ (%)
0,0	3,80	0,00		7,19	0,10	3,33	0,20	1,32	0,15	3,00	0,15
	3,00	1,95		4	4,95	2,00	7,84	1,00	0,45	2,00	1,61
	2,00	4,46		2	9,83	1,00	11,53	0,50	1,36	0,50	4,49
	1,00	9,11		1	16,52	0,50	16,28	0,25	2,43	0,25	5,52
	0,50	13,87		0,5	21,48	0,25	21,82				
	0,25	17,98		0,25	27,55						
0,5	1,25	0,10				2,06	0,15	1,34	0,15	1,30	0,15
	0,76	4,31				1,00	4,83	0,50	2,08	1,00	1,26
	0,50	5,50				0,50	7,67	0,25	3,69	0,50	2,31
										0,25	3,42
1,0	1,68	0,15				2,52	0,10	2,74	0,15	1,45	0,15
	1,00	5,85				2,00	2,33	1,00	2,60	1,00	1,71
	0,50	8,82				1,00	9,85	0,50	4,70	0,50	3,12
2,0	2,21	0,10				3,56	0,20	3,59	0,10	1,82	0,20
	1,50	5,14				3,00	1,90	2,00	1,76	1,52	0,95
	1,00	9,98				2,00	6,10	1,00	4,67	1,13	1,90

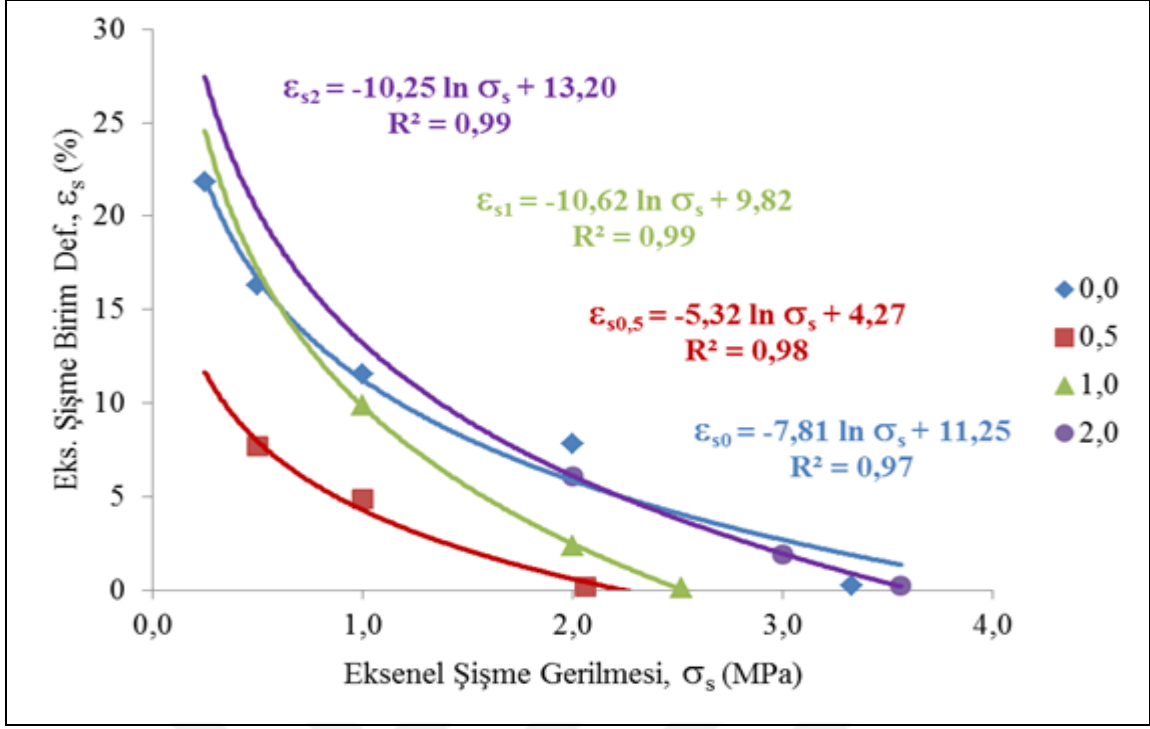
Şişme deneyleri sonunda örneklerin tüm kayaç mineralojik bileşimleri ve kil mineral türlerini saptayabilmek amacıyla, XRD çözümlenmeleri yaptırılmıştır. XRD çözümlenmeleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde Rigaku D/max 2200/PC+ model X ışınları difraktometresinde, standart XRD analizlerinde numuneler Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihazlar ile 2-50<sup>0</sup> derece arasında analiz gerçekleştirilmiştir.



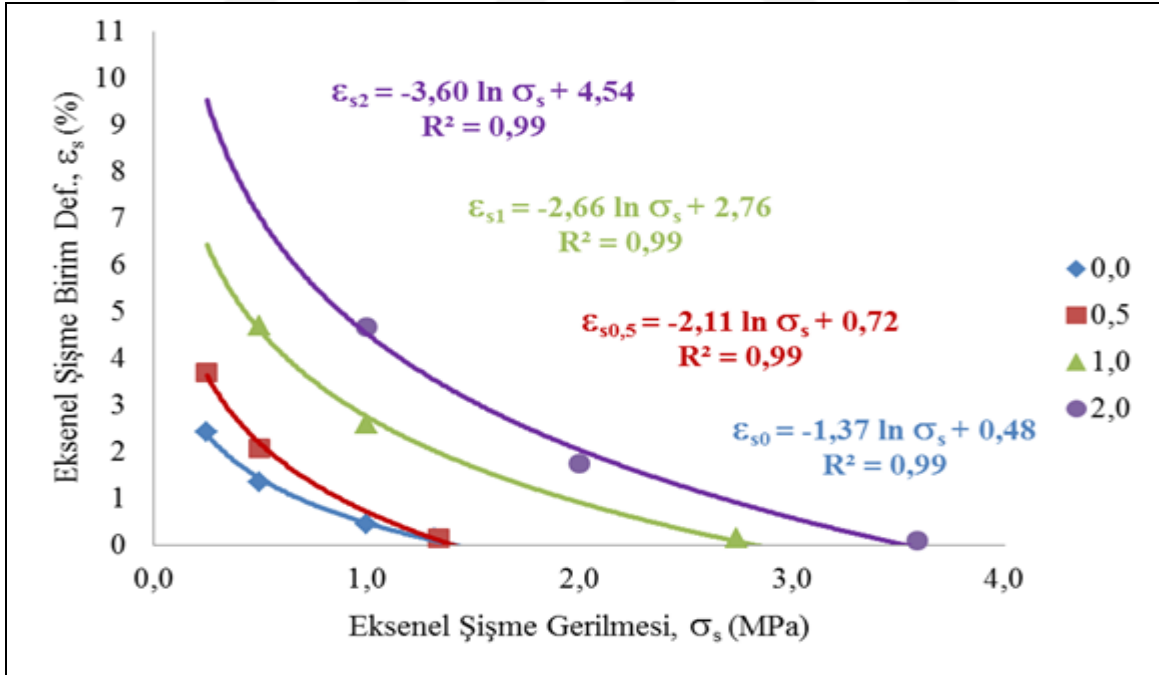
Şekil 4.4 Kiltası 1 (CS1) örneğinin eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki.



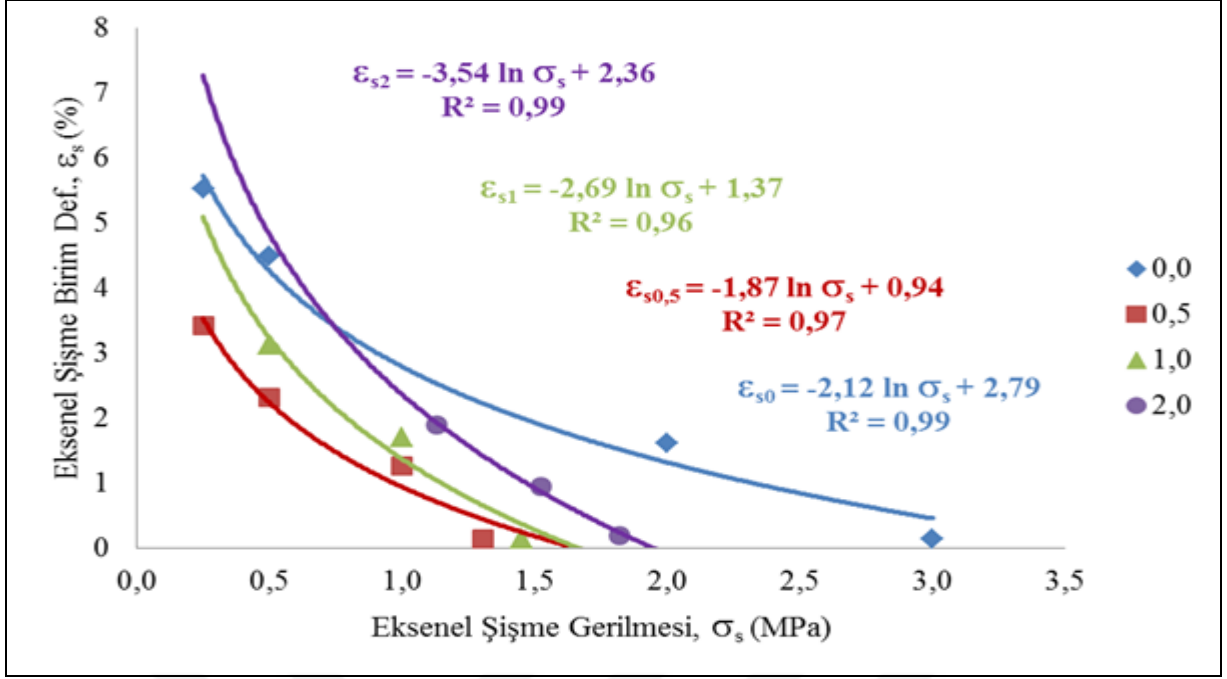
Şekil 4.5 Kiltası 2 (CS2) örneğinin tek eksenli gerilme durumunda eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki.



Şekil 4.6 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki.



Şekil 4.7 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki.



**Şekil 4.8** Marn (M) örneğinin eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme birim deformasyonu arasındaki ilişki.

Ayrıca standart XRD analizleri ile tanımlanmaları mümkün olmayan kil grubu mineralleri için zenginleştirme işlemi uygulanarak XRD detay kil analizleri (kil fraksiyonu) yapılmıştır. Bu yöntemde standart analiz sonrası zenginleştirilen numuneler Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihazlar ile 2-30° arasında normal, etilen glikollü olarak analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen difraktogramlar, ASTM (1972), kartotekslerinden yararlanılarak çözümlenmiş ve örneklerde tüm kayaç mineral içeriği ve türü belirlenmiştir. Ana mineralleri; kuvars feldspat, mika (silikatlar), kalsit-dolomit-aragonit (karbonatlar) ve kil minerallerinden (simektit, illit, kaolinit, klorit) oluşturmaktadır. Belirlenen minerallerin yarı nicel yüzdeleri Gündoğdu (1982), tarafından geliştirilen yöntemle hesaplanmıştır. XRD analizlerinden elde edilen mineralojik bileşim oranları Çizelge 4.3'de, XRD grafikleri ise EK F'de verilmektedir.

Excel programında "DOT" fonksiyonu kullanarak Kıltaşı 2 (CS2) hariç Kıltaşı 1 (CS1), Kıltaşı 3 (CS3), Killi Kireçtaşı (CLS) ve Marn (M) örneklerinin regresyon analizi yapılmış ve şişme bağıntıları elde edilmiştir. Çizelge 4.4'de her bir örnek için tek eksenli şişme bağıntısı (1 – 4 No'lu bağıntılar), her bir örnek için üç eksenli şişme bağıntısı (5 – 8 No'lu bağıntılar), her bir örnek için tek eksenli verilerden üç eksenli şişme verilerinin elde edildiği bağıntılar (9 – 16 No'lu bağıntılar) ve 4 örnek bir arada değerlendirildiğinde genel bağıntı (17 No'lu bağıntı) olmak üzere

4 grup bağıntı bulunmaktadır. 1 –4 No’lu tek eksenli şişme bağıntıları Çizelge 4.2’de yanal basıncın sıfır ( $\sigma_3 = 0$ ) olduğu verilere tek değişkenli regresyon analizi verilmiştir.

**Çizelge 4.3** Mineralojik analiz sonuçları.

Örnek	Deney Türü	Tüm Kayaç (%)							Kil Fraksiyonu (%)			
		Kil	Mika	Feldspat	Kalsit	Kuvars	Dolomit	Aragonit	Simektit	İllit	Kaolinit	Klorit
Kiltaşı 1 (CS1)	Tek	73	8	6	7	5	1		70	10	20	
	YB 0.5	77	7	2	6	6	2		65	13	10	12
	YB 1	77	7	3	6	5	2		63	13	12	12
	YB 2	78	7	3	5	5	2		65	14	11	10
Kiltaşı 2 (CS2)	Tek	87	6	2	1	4			71	6	23	
Kiltaşı 3 (CS3)	Tek	81		4	2	5	1	7	91	4	5	
	YB 0.5	81		4	2	5	1	7	92	4	4	
	YB 1	80		6	1	5	1	7	91	5	4	
	YB 2	80		5	1	5	1	8	90	5	5	
Killi Kireçtaşı (CLS)	Tek	18			71	1		10	91	7	2	
	YB 0.5	24			64	2		10	88	8	4	
	YB 1	18			70	1		11	90	7	3	
	YB 2	17			70	2		11	89	8	3	
Marn (M)	Tek	64	8	12	10	5	1		90	8	2	
	YB 0.5	68	4	9	11	5	3		89	8	3	
	YB 1	60	8	15	11	5	1		93	7		
	YB 2	69	6	9	9	5	2		86	10	4	
Köy Heyalını EOYKB	Tek	69		3	5	23			25	57	18	
Köy Heyalını EOKDUK	Tek	90				3		7	87	5	8	
Köy Heyalını EOYG	Tek	98				2			92	4	4	

Çizelge 4.4’de örneklerin Şişen Malzeme İçeriği ( $\text{Ş}_i$ , %) de bulunmaktadır. Şişen malzeme içeriği, Çizelge 4.3’de bulunan kil fraksiyonundaki simektit (%) ile tüm kayadaki kil içeriğinin (%) çarpımına eşittir.

Çizelge 4.4 Şişme bağıntıları.

Örnek	Şişen Malzeme İçeriği (Ş <sub>i</sub> )	Tek Eksenli Şişme Bağıntısı	Üç Eksenli Şişme Bağıntısı	Tek Eksenli Verilerden Üç Eksenli Verilerin Elde Edildiği Bağıntılar
CS1	σ <sub>3</sub> = 0.5 MPa için 50.05 σ <sub>3</sub> = 1.0 MPa için 48.51 σ <sub>3</sub> = 2.0 MPa için 50.70	(1) ε <sub>s0</sub> = - 6.61 Ln (σ <sub>s0</sub> ) + 9.05 r <sup>2</sup> = 0.99	(5) s = 0.62 σ <sub>3</sub> - 0.13 ε <sub>s</sub> + 0.99 r <sup>2</sup> = 0.98	(9) ε <sub>s</sub> = 4.41 σ <sub>3</sub> + 1.15 ε <sub>0</sub> - 10.98 r <sup>2</sup> = 0.86
				(10) σ <sub>s</sub> = 0.05 σ <sub>3</sub> - 0.15 ε <sub>0</sub> + 2.46 r <sup>2</sup> = 0.94
CS3	σ <sub>3</sub> = 0.5 MPa için 74.52 σ <sub>3</sub> = 1.0 MPa için 72.80 σ <sub>3</sub> = 2.0 MPa için 72.00	(2) ε <sub>s0</sub> = - 7.81 Ln (σ <sub>s0</sub> ) + 11.25 r <sup>2</sup> = 0.97	(6) s = 0.90 σ <sub>3</sub> - 0.19 ε <sub>s</sub> + 1.59 r <sup>2</sup> = 0.97	(11) ε <sub>s</sub> = 4.46 σ <sub>3</sub> + 0.94 ε <sub>0</sub> - 8.18 r <sup>2</sup> = 0.89
				(12) σ <sub>s</sub> = 0.05 σ <sub>3</sub> - 0.18 ε <sub>0</sub> + 3.19 r <sup>2</sup> = 0.97
CLS	σ <sub>3</sub> = 0.5 MPa için 21.12 σ <sub>3</sub> = 1.0 MPa için 16.20 σ <sub>3</sub> = 2.0 MPa için 15.13	(3) s <sub>0</sub> = - 1.37 Ln (σ <sub>s0</sub> ) + 0.48 r <sup>2</sup> = 0.99	(7) σ <sub>s</sub> = 1.00 σ <sub>3</sub> - 0.46 ε <sub>s</sub> + 1.28 r <sup>2</sup> = 0.90	(13) ε <sub>s</sub> = 2.69 σ <sub>3</sub> + 1.72 ε <sub>0</sub> - 1.24 r <sup>2</sup> = 0.92
				(14) σ <sub>s</sub> = -0.05 σ <sub>3</sub> - 0.52 ε <sub>0</sub> + 1.37 r <sup>2</sup> = 0.93
M	σ <sub>3</sub> = 0.5 MPa için 60.52 σ <sub>3</sub> = 1.0 MPa için 55.80 σ <sub>3</sub> = 2.0 MPa için 59.34	(4) s <sub>0</sub> = - 2.12 Ln (σ <sub>s0</sub> ) + 2.79 r <sup>2</sup> = 0.99	(8) s = 0.31 σ <sub>3</sub> - 0.34 ε <sub>s</sub> + 1.22 r <sup>2</sup> = 0.99	(15) ε <sub>s</sub> = 0.67 σ <sub>3</sub> + 1.01 ε <sub>0</sub> - 2.27 r <sup>2</sup> = 0.93
				(16) σ <sub>s</sub> = 0.08 σ <sub>3</sub> - 0.35 ε <sub>0</sub> + 2.00 r <sup>2</sup> = 0.96
TÜM ÖRNEKLER İÇİN GENEL BAĞINTI (17) ε <sub>s</sub> = - 0.07 Ş <sub>i</sub> + 2.21 σ <sub>3</sub> + 0.70 ε <sub>0</sub> - 0.78 r <sup>2</sup> = 0.68				
ε <sub>s0</sub> : Tek eksenli şişme gerilmesi, σ <sub>s0</sub> : Tek eksenli şişme birim deformasyonu, Ş <sub>i</sub> : Tüm kayaçta şişen malzeme yüzdesi				
ε <sub>s</sub> : Belli bir yanal basınçta üç eksenli şişme gerilmesi, σ <sub>s0</sub> : Belli bir yanal basınçta üç eksenli şişme şişme birim deformasyonu				

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bursa'nın Orhaneli ilçesine yaklaşık 6 km uzaklıkta bulunan Gümüşpınar mevkiinde TKİ Bursa Linyit İşletmesi Açık İşletmesi A-5 panosunda yaşanan şev yenilmesi sonrasında 10 ayrı noktadan örnek alınmış ve yapılan ön deneyler sonucunda 5 örnekte şişme davranışı belirlenmiştir. Kiltaşı 1 (CS1), Kiltaşı 2 (CS2), Kiltaşı 3 (CS3), Killi Kireçtaşı (CLS) ve Marn (M) örneklerinin şişme deneyleri sonuçları aşağıda sıralanmıştır.

202 gün süren Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin, maksimum aksenal şişme gerilmesi 3,80 MPa ve maksimum aksenal şişme birim deformasyonu % 17,98 olup, deney sonundaki su içeriği değişimlerinin ortalaması % 28,97'dir.

112 gün süren Kiltaşı 2 (CS2) örneğinin, maksimum aksenal şişme gerilmesi 7,19 MPa ve maksimum aksenal şişme birim deformasyonu % 27,55 olup, deney sonundaki su içeriği değişimi % 32,24'dür.

90 gün süren Kiltaşı 3 (CS3) örneğinin, maksimum aksenal şişme gerilmesi 3,56 MPa ve maksimum aksenal şişme birim deformasyonu % 21,82 olup, deney sonundaki su içeriği değişimlerinin ortalaması % 43,91'dir.

112 gün süren Killi Kireçtaşı (CLS) örneğinin, maksimum aksenal şişme gerilmesi 3,59 MPa ve maksimum aksenal şişme birim deformasyonu % 4,67 olup, deney sonundaki su içeriği değişimlerinin ortalaması % 17,06'dır.

99 gün süren Marn (M) örneğinin, maksimum aksenal şişme gerilmesi 3,00 MPa ve maksimum aksenal şişme birim deformasyonu % 5,52 olup, deney sonundaki su içeriği değişimlerinin ortalaması % 27,43'dür.

Deneyler sonucunda 17 adet bağıntı türetilmiştir. 1 – 4 No'lu bağıntılar her bir örnek için tek eksenli şişme bağıntısını, 5 – 8 No'lu bağıntılar her bir örnek için üç eksenli şişme bağıntısını, 9 – 16 No'lu bağıntılar her bir örnek için tek eksenli verilerden üç eksenli şişme verilerinin elde edildiği bağıntıları ve 17 No'lu bağıntı ise tüm örneklerin birlikte değerlendirildiği genel bağıntıyı vermektedir. İlişki katsayısı yüksek olan 9 – 16 No'lu bağıntılar ile tek eksenli şişme verilerinden yararlanarak üç eksenli şişme verileri hesaplanabilir. Diğer bağıntılara göre daha düşük ilişki katsayısı olan 17 No'lu bağıntı ile sadece üç eksenli şişme birim deformasyonu tahmin edilmekte olup, bu bağıntı ön fikir edinmek amacıyla kullanılmalıdır. 17 No'lu bağıntının kullanılabilmesi için mineralojik analiz yapılarak şişen malzeme içeriğinin saptanması ve yanal basınç değerinin bilinmesi gereklidir. 5 – 17 No'lu bağıntılar yanal basıncın 2 MPa olduğu değere kadar geçerlidir.

Tek ve üç eksenli şişme deney sonuçları beş kayacın da yüksek şişme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Örneklerin tümünde kil minerali oranının fazla olması ve bu mineralin de simektit grubu kil minerali olması şişme deney sonuçlarını desteklemektedir. A-5 panosunun yakınlarındaki Koz deresi, kış aylarındaki şiddetli yağışlar kayaçların şişmesi için gerekli su kaynaklarıdır. İşletmede suyun yeraltına sızmasına imkân veren çok sayıda fay, çatlak, eklem ve tabakalaşma düzlemi mevcuttur. Bunlara ilave olarak örtünün gevşetilmesi için yapılan patlatma ve sarsıntılar yeni çatlak ve süreksizlik düzlemlerinin oluşması için ortam hazırlamaktadır. Örtünün kaldırılması işlemi kömüre ulaşmak için işletmenin ana görevlerinden biri olmakla beraber şev duraylılığı açısından olumsuz bir faktör olarak görülmektedir. Örtünün kazılması ile kayaç ve zemin üzerindeki yük azalmakta ve ortamda bir gerilme rahatlaması oluşmaktadır. Bu durum, suyun şişen birimlerin içine daha kolay nüfuz etmesine yardımcı olmaktadır. İşletmede meydana gelen şev kaymalarında, yüksek potansiyeline sahip kayaçların şevdeki kaydırıcı kuvvetleri arttırdığı ve kaymayı tetiklediği düşünülmektedir.

Yağışın çok olduğu zamanlarda ocağın tabanında su birikintileri ve gölcükler oluşmaktadır. Bu suyu ocaktan uzaklaştırmak için yapılan drenaj yetersizdir. Basamak ve şevlerdeki yüzey sularını uzaklaştırmak için hiçbir çalışma yoktur.

Yerin (2005) yaptığı çalışmada Gümüşpınar sektörü için görünür rezervin 33 milyon ton olduğunu ve 2005 yılına kadar bu rezervin 12,6 milyon tonunun üretildiğini ve kalan 20,4 milyon ton rezervin 14 yılda üretilebileceğini belirtmiştir. Önlem alınmadığı takdirde şişen



kayaçlar ve düşük dayanımlı kayaç ve zeminlerin hakim olduğu işletmede ve çevresinde şev stabilitesi problemlerin yaşanacağı çok açıktır.

Örneklerin su içeriği % 15,57 ile 48,21 arasında değişmektedir. Bu değerler, örneklerin suya karşı çok hassas olduğunu göstermektedir. Ocaktaki düşük dayanıma sahip kayaçlar ve killi zeminlerdeki su içeriğinin artması, boşluk suyu basıncının artmasına, şev malzemesi kohezyonunun azalmasına neden olduğu tahmin edilmektedir.

Şev açısının düşürülmesi, kaya saplamalarının kullanılması, su drenajı gibi uygulamalar ile açık işletmelerde şevlerin duraylılığı sağlanabilmektedir. Şev açısının düşürülmesi kayma yüzeyleri üzerindeki kesme gerilmeleri azaltılmasına ve dolayısıyla emniyet katsayısının artmasını sağlamakla birlikte örtükazı oranının artmasına dolayısıyla üretim maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Kaya saplamaları, deformasyon eğilimi fazla olan zayıf tabakaları daha sağlam tabakalara bağlayarak birlikte çalışmalarını sağlamak, meydana gelecek çekme ve kesme gerilmelerini azaltmak amacıyla kullanılırlar. Ancak ocakta üretime paralel olarak basamakların kısa bir süre sonra kazılarak ötelenmesi gerektiğinden kaya saplaması uygulaması pratik bir yaklaşım değildir.

Yukardaki görüşler doğrultusunda, işletme için en uygun yöntemin etkin bir su drenajı olduğu görüşü hakim olmuştur. Suyun drene edilmesi diğer yöntemlere oranla daha ucuz olduğundan şevlerin iyileştirilmesinde en çok kullanım alanı bulan tekniktir. Drenaj ile zemindeki boşluk suyu basıncını azaltılarak efektif gerilme ve kesme dayanımını arttırmak mümkündür. Ayrıca çatlaklardaki su basıncından ileri gelen kaydırıcı kuvvetleri azaltılarak denge için gerekli kesme gerilmesi azaltılır. Şişen kayaçların su ile teması önleneceğinden şişme potansiyelinin ya ortadan kaldırılması ya da büyük oranda azaltılması sağlanacaktır. Ocakta etkin bir su drenajı, gerilme çatlaklarına yüzey sularının girmesini önleyen kanalların yapılması, sondajlarla yeraltı su seviyesinin düşürülmesi, yeraltı drenaj galerilerinin açılması, derin kotlarda su birikmesine izin vermeyecek şekilde suyun pompalarla uzaklaştırılması ve çok gerekirse basamakların üzerini su geçirmez brandalarla örterek yapılabilir.

Hiçbir yöntemin kaymayı önlemesi bakımından etkili olmayacağı kanısına varıldığında, dengesi bozulmuş bulunan şevin kısmen veya tamamen kaymaya terkedilmesinden başka bir alternatif kalmayabilir. Ancak, yaklaşık kayma tarihinin daha önceden tespit edilmesi gerek emniyet, gerekse ekonomik yönden çok faydalıdır.



## KAYNAKLAR

- Akbulut A, Aksoy T, Ölmez T, Çağlan D, Onak A, Çam İ, Sezer S, Çevik M, Çalışkan V, Yurtseven N ve Sülükçü S** (2008) Afşin – Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi 2. Kısım I. Bölüm Şev Stabilitesi Çalışması, *MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı Jeoteknik Araştırmalar Koordinatörlüğü*, Ankara, 310 s.
- Barka A A and Reilinger R** (1997) Active tectonics of the Mediterranean region: deduced from GPS, *Neotectonic and Seismic Data. Annali di Geophys. XI*: 587-610.
- Bilir M E, Sari Y D, Ozarslan A, Genis M and Sel I** (2013) Determination of the relationship between uniaxial and triaxial swelling equations for clay bearing rocks, *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 72: 565-577.
- Bozkurt E** (2001) Neotectonics of Turkey. *Geodinamica Acta*, 14: 3-30.
- Ceryan N, Kesimal A ve Aydın A** (2009) Trabzon-Taşönü Malzeme Ocağındaki Killerin Mühendislik Özellikleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Denizli, 15 (3): 447-456.
- Çiftçi B** (2007) Geological Evolution of the Gediz Graben, SW Turkey: Temporal and Spatial Variation of the Graben. ODTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, *Doktora Tezi*, 290 s.
- DeMets C, Gordon R G, Argus D F and Stein S** (1990) Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 102:425-478.
- DeMets C, Gordon R G Argus D F and Stein S** (1994) Effects of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Lett.*, 21: 2191-2194.
- Ekmekçi M ve Erdoğan S** (1998) Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Yeraltısuyu Seviyesindeki Düşümün Kestirilmesi, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 20: 1-15.
- Esenlik S Karayigit A I Bulut Y Querol X Alastuey A & Font O** (2006) Element behavior during combustion in coal-fired Orhaneli power plant, Bursa-Turkey. *Geologica Acta* 4 (4): 439-449.
- Geze Y** (2007) Miyosen Himmetoğlu Formasyonu Organik Kayaçlarının (Göynük-Bolu) Organik Jeokimyasal Yönden İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 91 s.
- Günalay M E** (1974) Bursa İli-Orhaneli İlçesi-Yenidanişment Köyü Civarında Bulunan Maden Kömürü Sahası İşletme Projesi, *MTA Rapor*, 5271: 43.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gündoğdu M N** (1982) Neojen Yaşlı Bigadiç Sedimanter Baseninin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Beytepe, Ankara, 386 s.
- Hoek E and Bray J W** (1991) Kaya Şev Stabilitesi, (Çev. Paşamehmetoğlu A G, Özgenoğlu A, Karpuz C), TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 357 s.
- ISRM** (1979) Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, 16(2): 141-156.
- ISRM** (1989) Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, 26(5): 415-426.
- Karpuz C, Koçyiğit A, Tutluoğlu L, Düzgün Ş, Koçal A, Erdem E ve Alkılıçgil Ç** (2006) Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu TKİ, *Orhaneli İşletmesi Açık Ocakları Panolarında Şev Tasarımı ve Dragline Çalışma sisteminin Belirlenmesi Projesi*, Proje kod no: 05-03-05-2-00-13
- Koçyiğit A and Özacar A** (2003) Extensional neotectonic regime through the NE edge of the outer Isparta angle, *SW Turkey: new field and seismic data. Turkish Journal of Earth Sciences*, 12: 67-90.
- Kulaksız S** (1989) BLİ Himmetoğlu Açık Ocak Şev Analizi, *Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi*, 121-135.
- Memikoğlu O** (1976) Bursa-Orhaneli Kömür Yatağı Fizibilite Araştırması, *Cilt 1-Jeoloji. MTA Rapor*, no: 7112.
- Mih M** (2011) TKİ-GLİ-İlgın Linyit İşletmesi ÇG-1 Panosunda İnklinometre ve Manyetik Oturma Kolon Ölçer Cihazları ile Şev Duraysızlığının İzlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 138 s.
- Nilsen B and Ballou B J** (2006) Stability problems and rock support at the Tellnes open pit mine, Norway. *The South African Institute of Mining and Metallurgy International Symposium on Stability of Rocks Slopes*, 155-165.
- Oral M B, Reilinger R E, Toksöz M N, Kong R W, Barka A A, Kınık İ and Lenk O** (1995) Global Positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean, *EOS Transac.*, 76 (9).

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Özcelik Y, Dirik K, Cengiz K, Özsayın E ve Yılmazkaya E** (2013) TKİ-GLİ müessesesine bağlı bursa linyitleri işletme müdürlüğüne ait gümüşpınar, sağırlar ve çivili sektörlerindeki kömür sahalarının optimum değerlendirilme koşullarının belirlenmesi ve üretim faaliyetleri halen devam eden gümüşpınar sektöründeki şev stabilitesi problemlerinin çözümüne yönelik çalışmaların yapılması, işletme projesinin revize edilmesi, sağırlar ve çivili sektörlerindeki yer altı rezervlerinin işletilmesine yönelik avan projelerin hazırlanması projesi, 72 s.
- Özkan İ, Mıh M, Kahveci S ve Kaya İ** (2011) TKİ-GLİ-İlgın Açık Ocak Kömür Madeninde Sondaj Kuyuları Yardımıyla Uzun Dönemli Şev Deformasyon Ölçümleri, X. *Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Ankara, 143-151.
- Reilinger R E, McClusky S C, Oral M B, King W, Toksöz M N** (1997) Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabian-Africa-Eurasia plate collision zone., *Journal of Geophysical Research*, 102: 9983-9999.
- Rio Tinto** (2009) Kennecott Utah Copper's Bingham Canyon Mine, *Teacher Guide*, 9 p.
- Şener M** (1993) Neojen yaşlı Himmetoğlu (Göynük - Bolu) Bitümlü Şeyl Sahasının Litostratigrafik ve Tektonik Özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36: 45-56.
- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası** (2011) *Afşin Elbistan Çöllolar Açık Ocağı Heyelenları İnceleme Komisyonu Raporu*, 19 s.
- Ulusay R, Koçak S, Selçuk Ş ve İder M H** (1986) Kışlaköy (Elbistan- K. Maraş) İşletmesi Batı Şevinin Stabilitesi, *I. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Ankara, 467-487.
- Ural S ve Yüksel F** (2006) Kantitatif XRD Tekniği ile Zemin ve Linyit Örneklerinin Mineralojik Analizi, *Türkiye 15. Kömür Kongresi*, Zonguldak, 403-408.
- URL-1** <<http://www.imghaber.com/cezayi-24-taksit-yaptilar-3558.html>>, Ziyaret tarihi: 01.04.2019.
- URL-2** <<http://www.m.ensonhaber.com>>, Ziyaret tarihi: 21.03.2019.
- Woodside J M, Mascle J, Zitter T A C, Limonov A F, Ergün M and Volkonskaia A** (2002) Shipboard Scientists Of The Prised II Expeditions. The Florence Rise, the western bend of the Cyprus arc: *Marine Geology*, 185, 177-194.
- Yerin O** (2006) Orhaneli Kömürlerinin Mineralojisi, Petrografisi ve Element İçeriği, Bursa-Türkiye, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 181 s.
- Yeşil M M** (1991) Determination of Three Dimensional Swelling Characteristics of Clay Bearing Rocks, *Ph. D Thesis*, Middle East Technical University, Department of Mining Engineering, Ankara, 109 pp.
- Yıldız N** (2017) Açık İşletmelerde Toprak Kayması, *Madencilik Bülteni*, 120:42-48.

## **KAYNAKLAR (devam ediyor)**

**Zitter T A C, Huguen C, Woodside J M** (2005) Geology of Mud Volcanoes in the Eastern Mediterranean From Combined Sidescan Sonar and Submersible Surveys: Deep-Sea Research I, 52: 457–475.



## BİBLİYOGRAFYA

- Barka A A and Reilinger R** (1997) Active tectonics of the Mediterranean region: deduced from GPS, *Neotectonic and Seismic Data. Annali di Geophys.* XI: 587-610.
- Bozkurt E** (2001) Neotectonics of Turkey. *Geodinamica Acta*, 14: 3-30.
- Çiftçi B** (2007) Geological Evolution of the Gediz Graben, SW Turkey: Temporal and Spatial Variation of the Graben. ODTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, *Doktora Tezi*, 290 s.
- DeMets C, Gordon R G, Argus D F and Stein S** (1990) Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 102:425-478.
- DeMets C, Gordon R G Argus D F and Stein S** (1994) Effects of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Lett.*, 21: 2191-2194.
- Ekmekçi M ve Erdoğan S** (1998) Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Yeraltısuyu Seviyesindeki Düşümün Kestirilmesi, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 20: 1-15.
- Esenlik S Karayigit A I Bulut Y Querol X Alastuey A & Font O** (2006) Element behavior during combustion in coal-fired Orhaneli power plant, Bursa-Turkey. *Geologica Acta* 4 (4): 439-449.
- Geze Y** (2007) Miyosen Himmetoğlu Formasyonu Organik Kayaçlarının (Göynük-Bolu) Organik Jeokimyasal Yönden İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 91 s.
- Günelay M E** (1974) Bursa İli-Orhaneli İlçesi-Yenidanişment Köyü Civarında Bulunan Maden Kömürü Sahası İşletme Projesi, *MTA Rapor*, 5271: 43.
- Karpuz C, Koçyiğit A, Tutluoğlu L, Düzgün Ş, Koçal A, Erdem E ve Alkılıçgil Ç** (2006) Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu TKİ, *Orhaneli İşletmesi Açık Ocakları Panolarında Şev Tasarımı ve Dragline Çalışma sisteminin Belirlenmesi Projesi*, Proje kod no: 05-03-05-2-00-13
- Koçyiğit A and Özacar A** (2003) Extensional neotectonic regime through the NE edge of the outer Isparta angle, SW Turkey: new field and seismic data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12: 67-90.

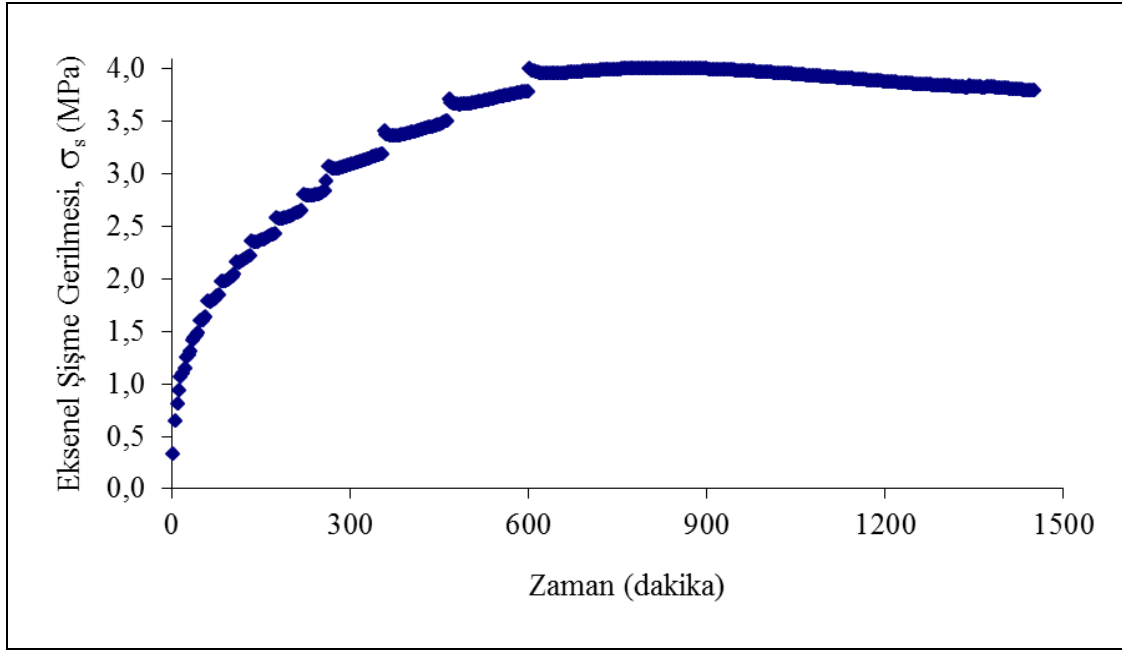


## BİBLİYOGRAFYA (devam ediyor)

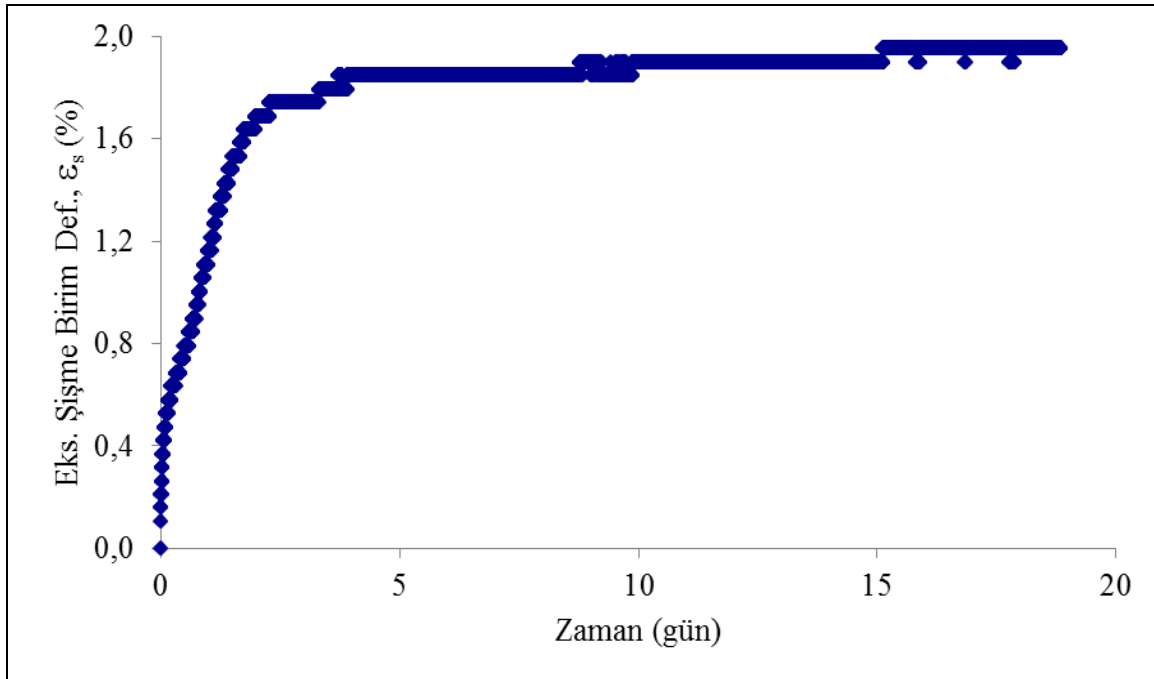
- Memikoğlu O** (1976) Bursa-Orhaneli K m r Yatağı Fizibilite Araştırması, *Cilt 1-Jeoloji. MTA Rapor*, no: 7112.
- Oral M B, Reilinger R E, Toksöz M N, Kong R W, Barka A A, Kınık Å and Lenk O** (1995) Global Positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean, *EOS Transac.*, 76 (9).
- Reilinger R E, McClusky S C, Oral M B, King W, Toksöz M N** (1997) Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabian-Africa-Eurasia plate collision zone., *Journal of Geophysical Research*, 102: 9983-9999.
- Şener M** (1993) Neojen yaşlı Himmetoğlu (Göynük - Bolu) Bit ml  Şeyl Sahasının Litostratigrafik ve Tektonik  zellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36: 45-56.
- Woodside J M, Mascle J, Zitter T A C, Limonov A F, Erg n M and Volkonskaia A** (2002) Shipboard Scientists Of The Prised II Expedition. The Florence Rise, *the western bend of the Cyprus arc: Marine Geology*, 185, 177-194.
- Zitter T A C, Huguen C, Woodside J M** (2005) Geology of Mud Volcanoes in the Eastern Mediterranean From Combined Sidescan Sonar and Submersible Surveys: Deep-Sea Research I, 52: 457-475.

## EK AÇIKLAMALAR A

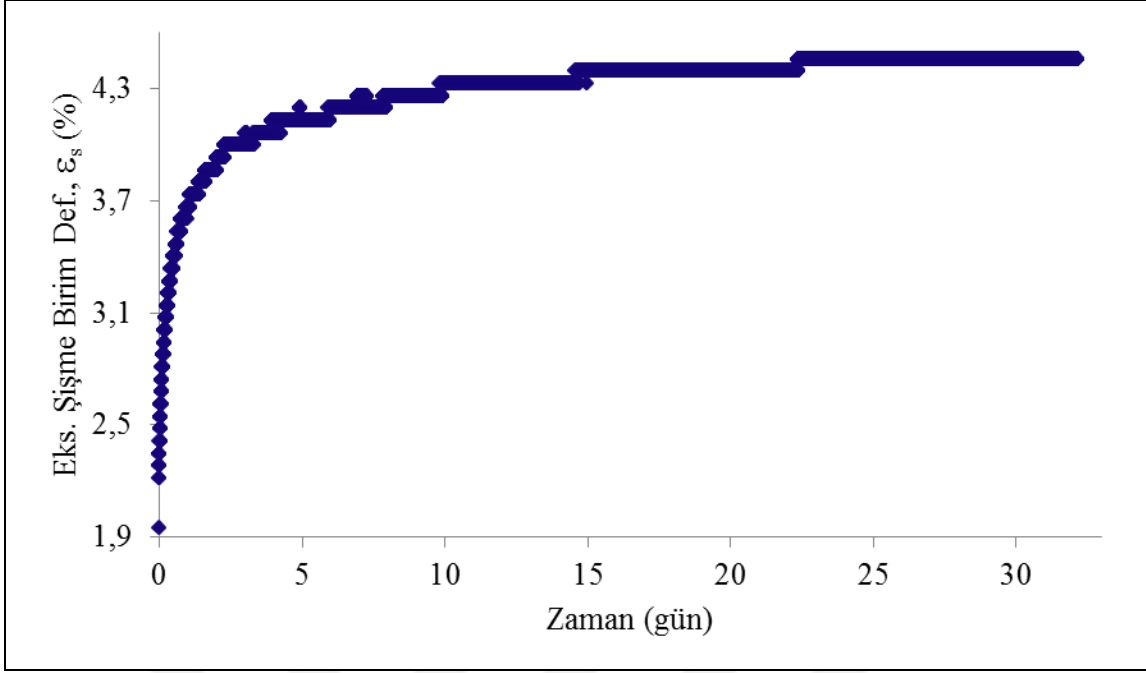
### EK A: Kıltaşı 1 (CS1) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri



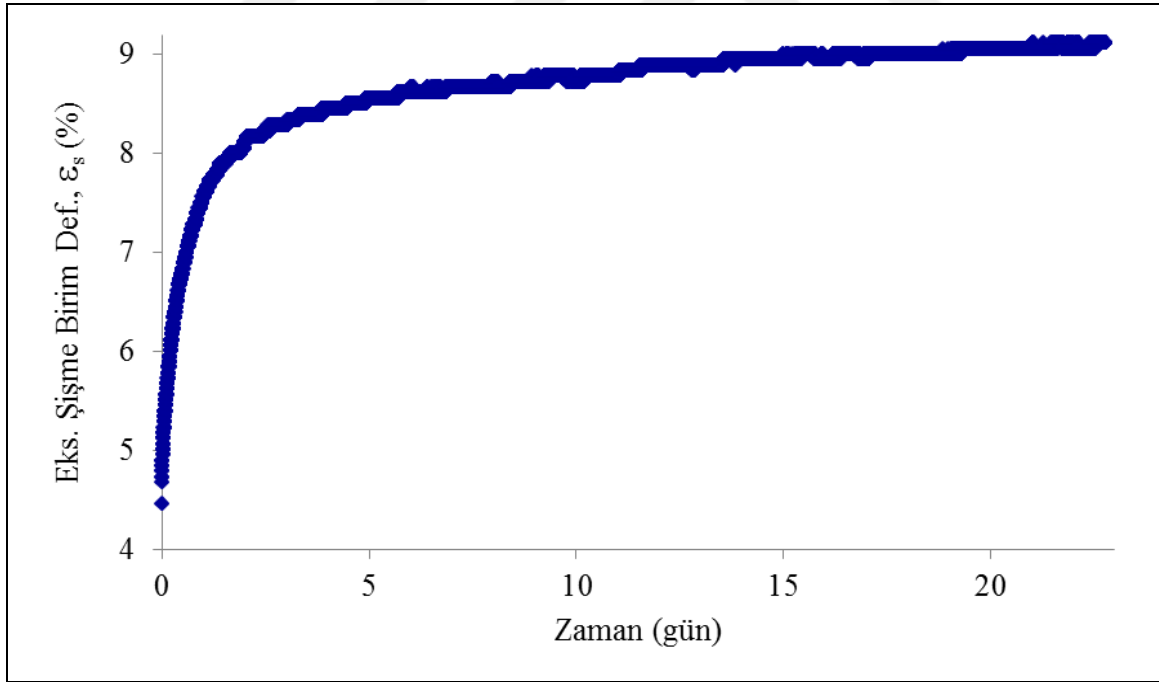
Şekil A.1 Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



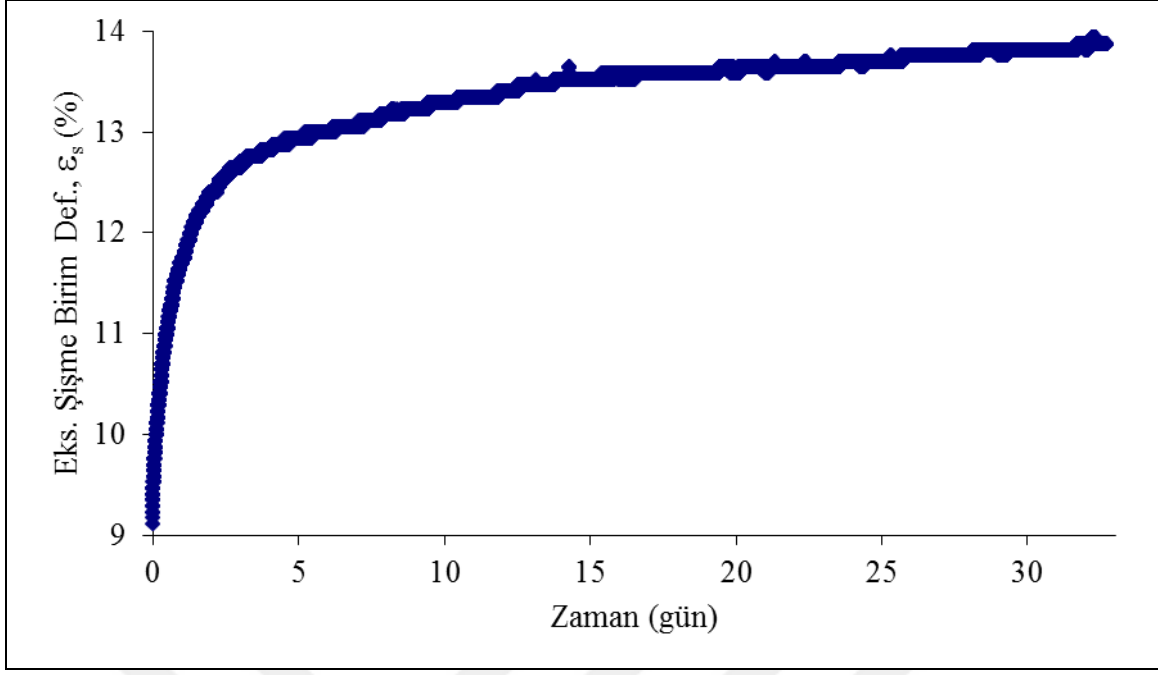
Şekil A.2 Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 3 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



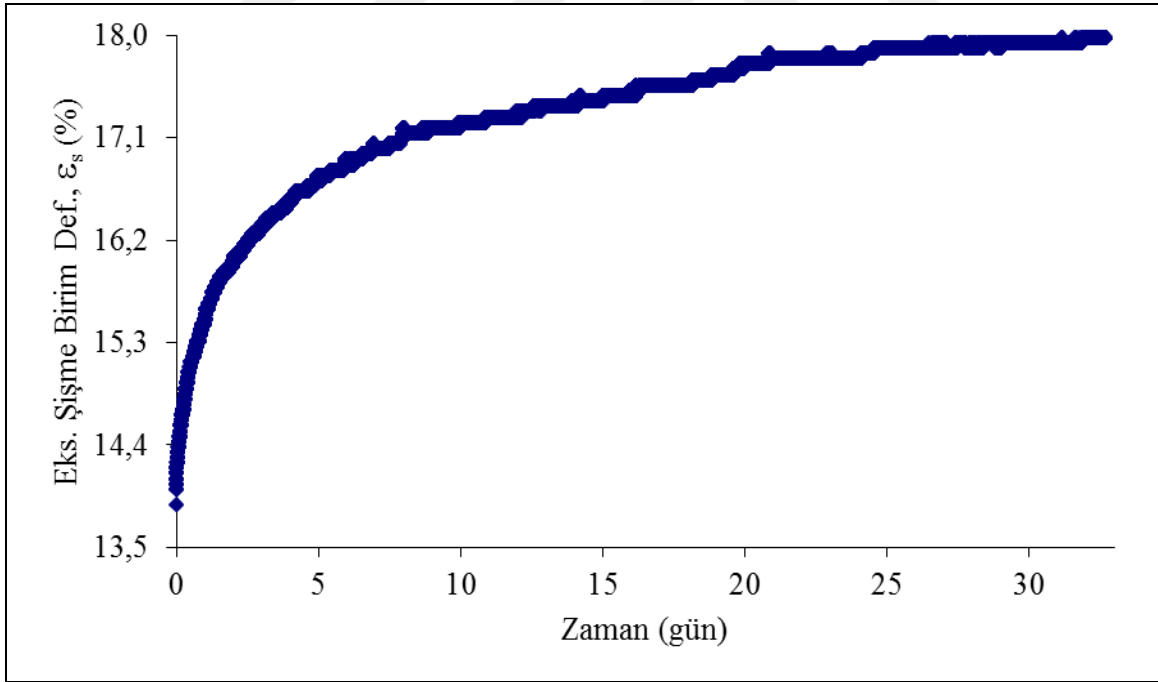
**Şekil A.3** Kilitaşı 1 (CS1) örneğinin 2 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



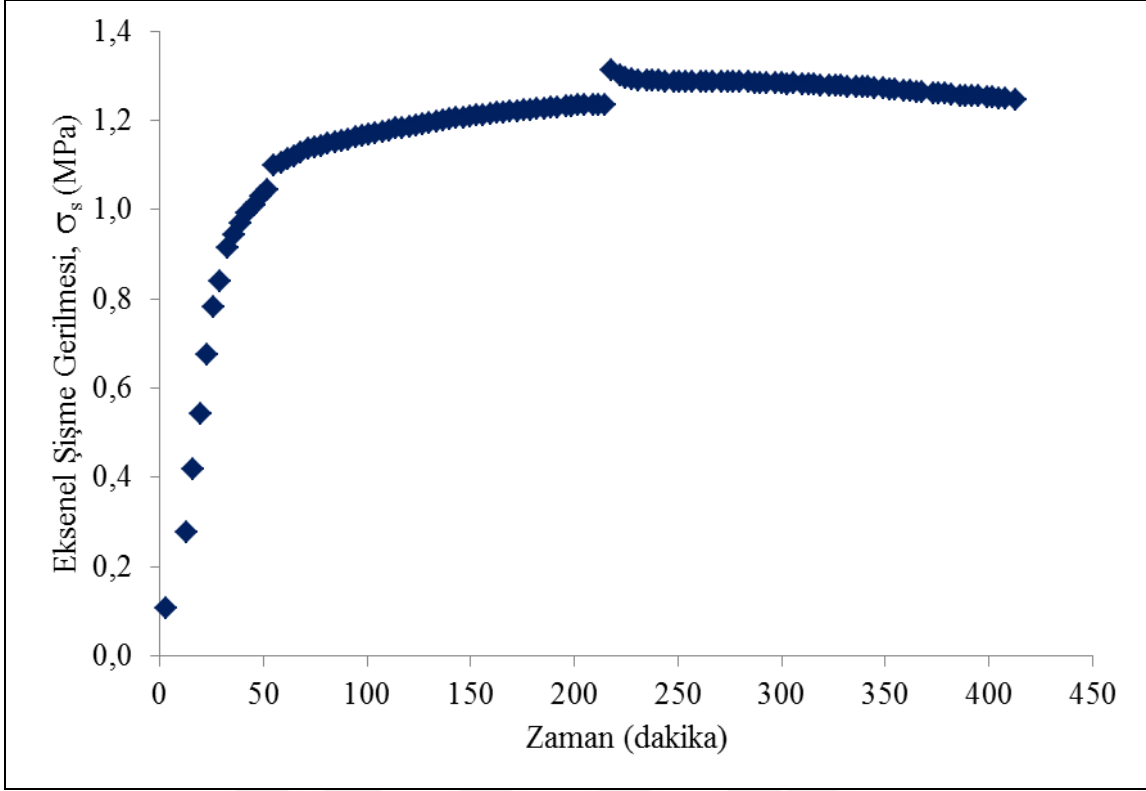
**Şekil A.4** Kilitaşı 1 (CS1) örneğinin 1 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



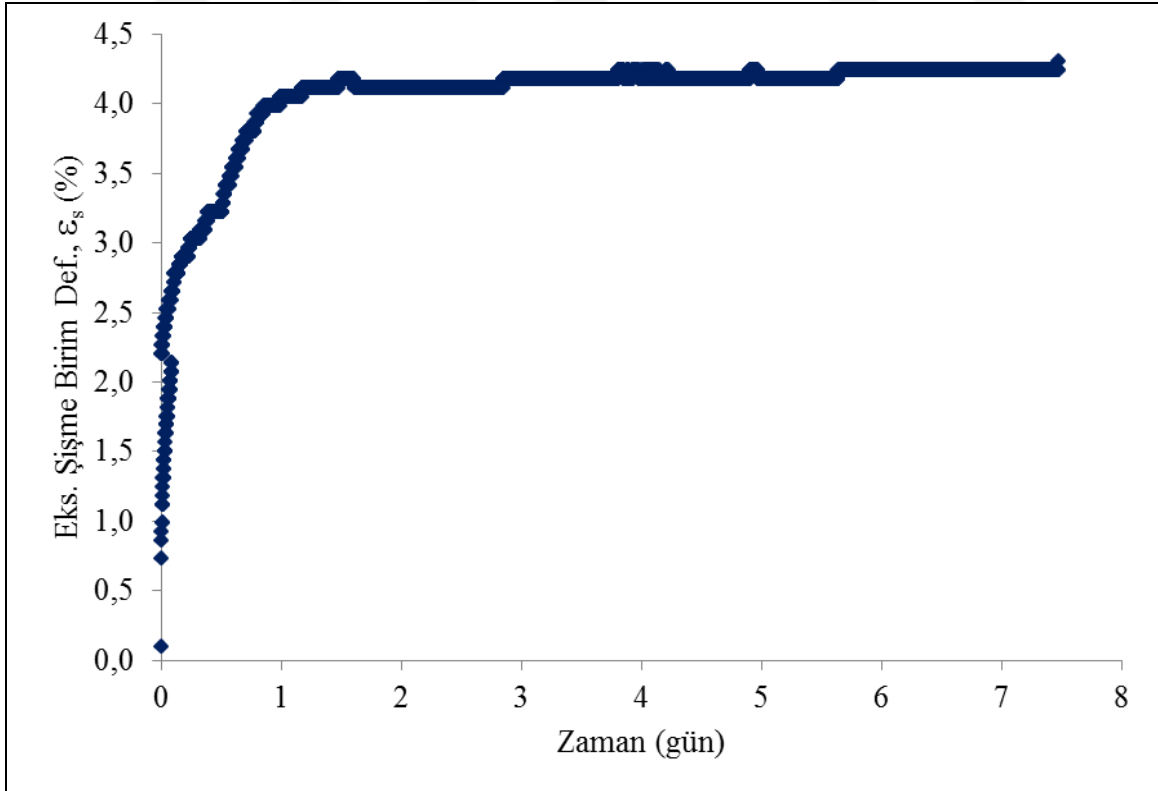
**Şekil A.5** Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.5 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



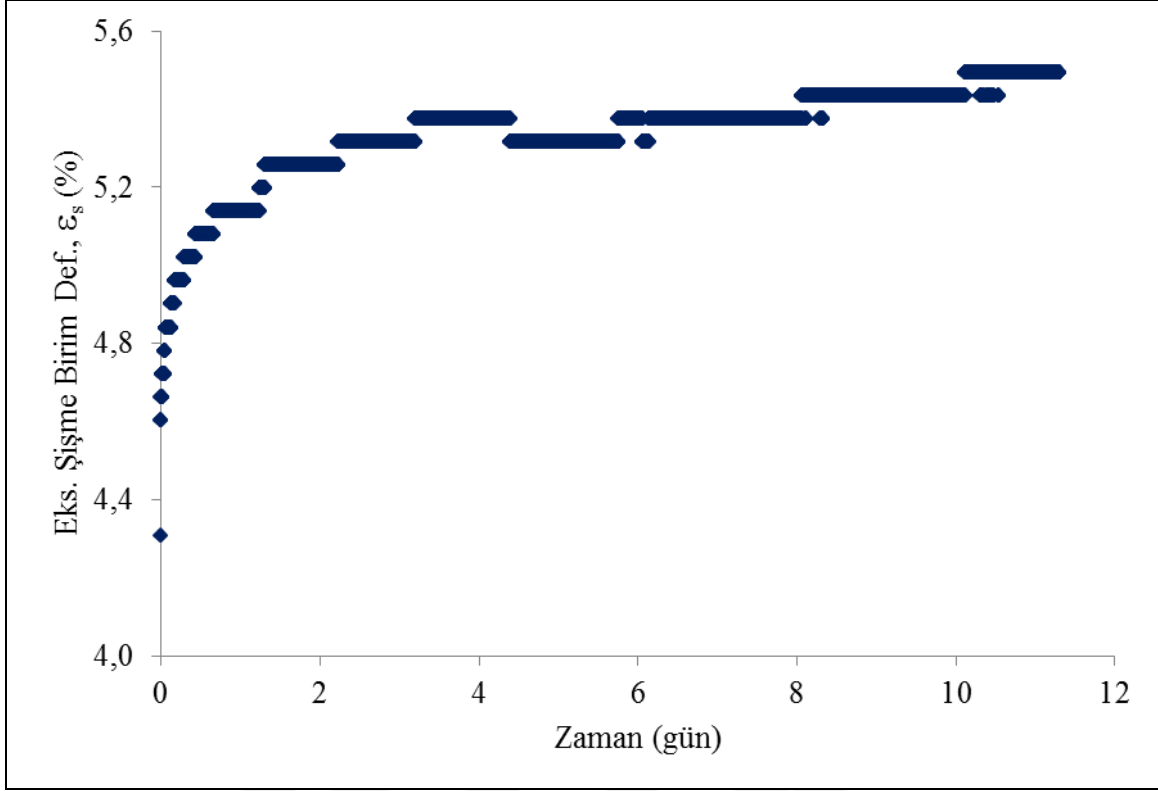
**Şekil A.6** Kiltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.25 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



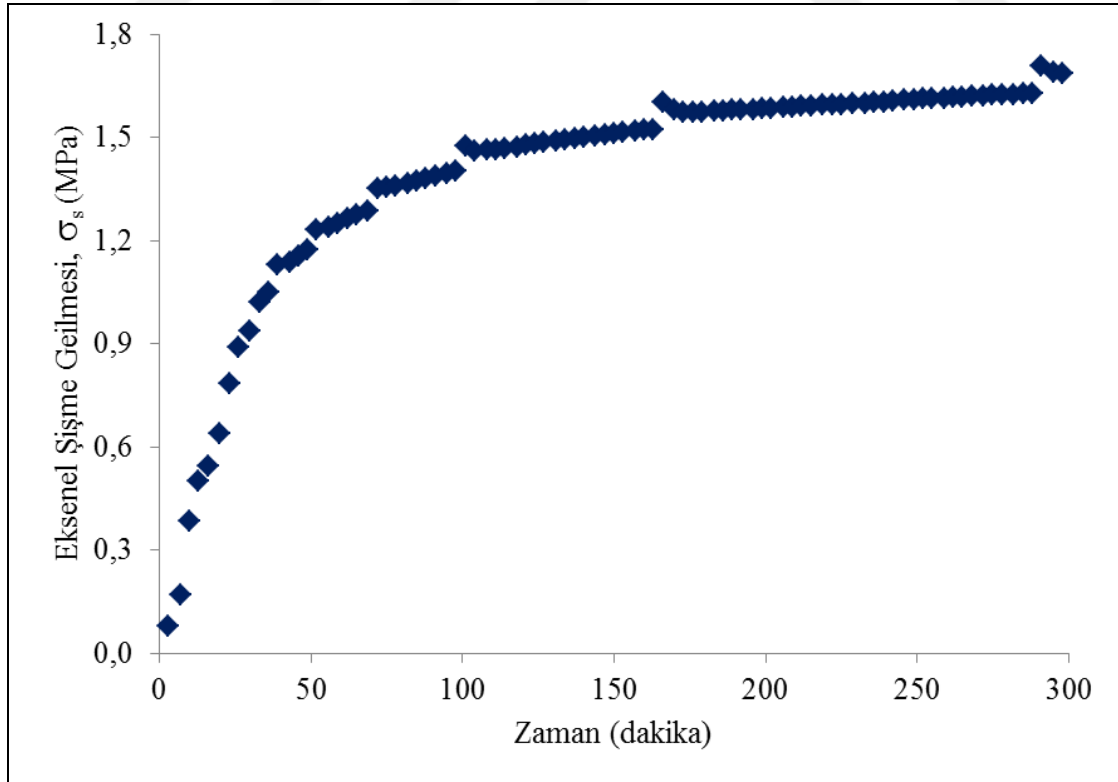
**Şekil A.7** Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta aksel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



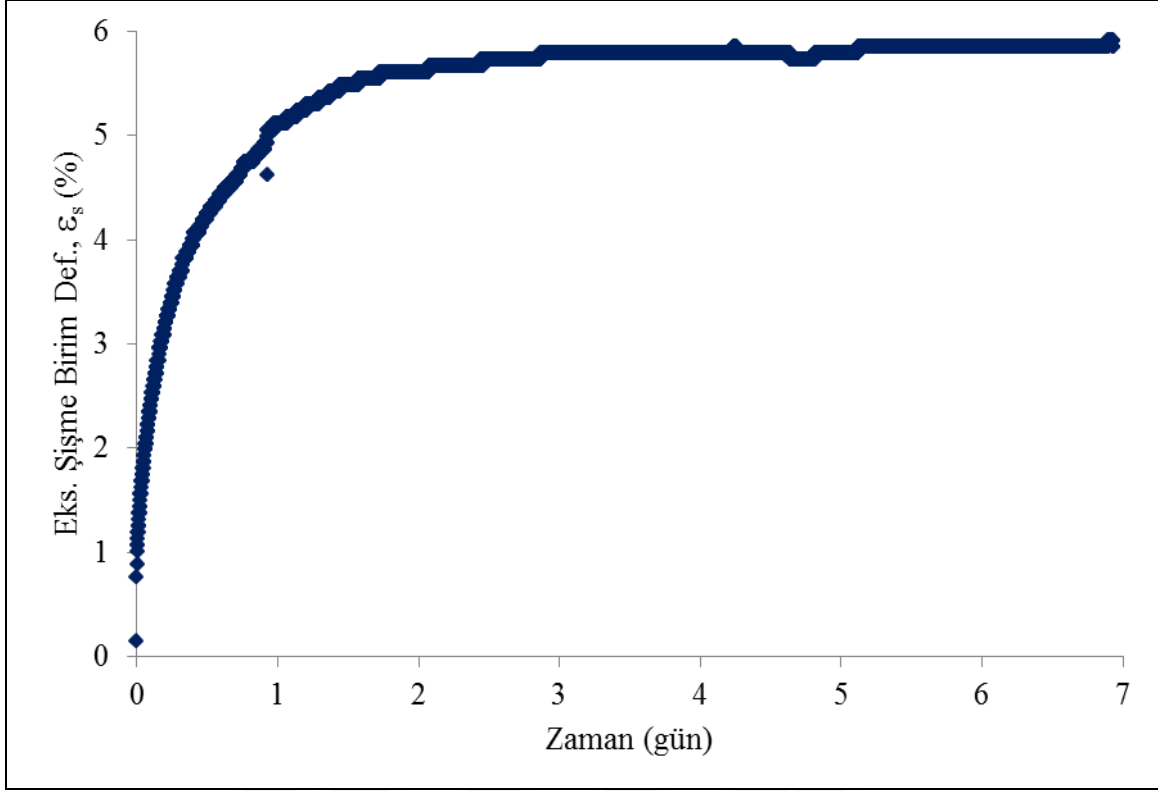
**Şekil A.8** Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.76 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



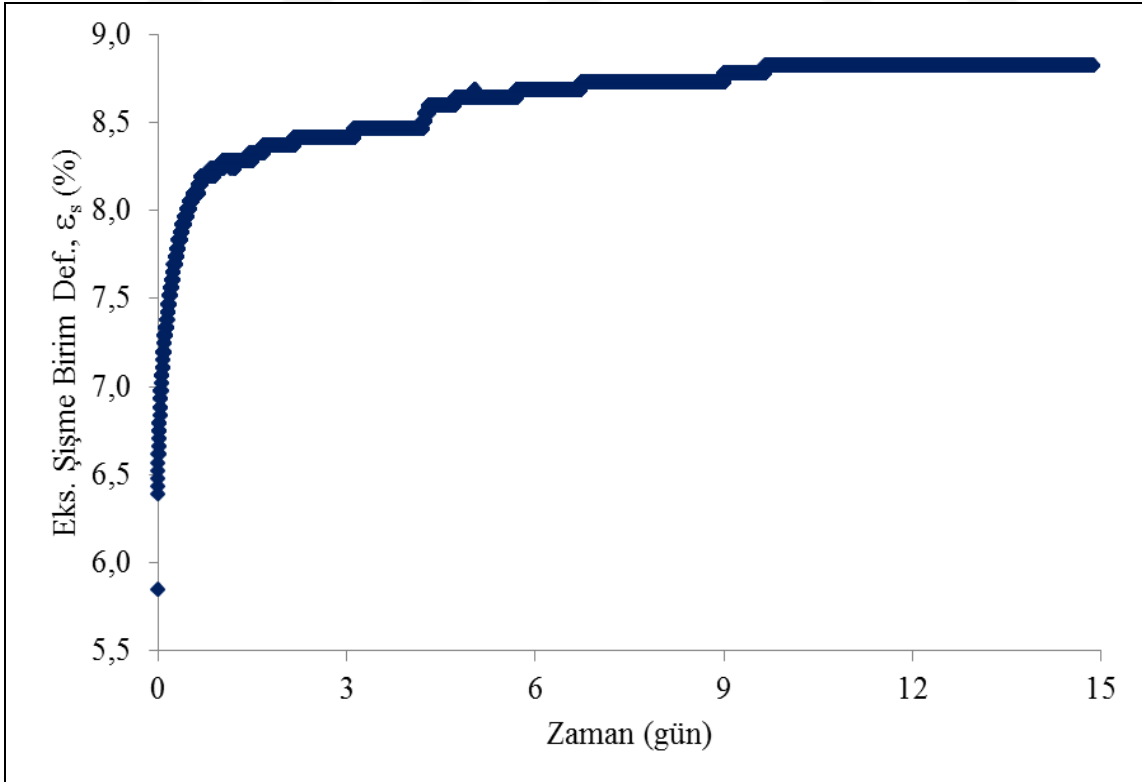
**Şekil A.9** Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



**Şekil A.10** Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 1 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.

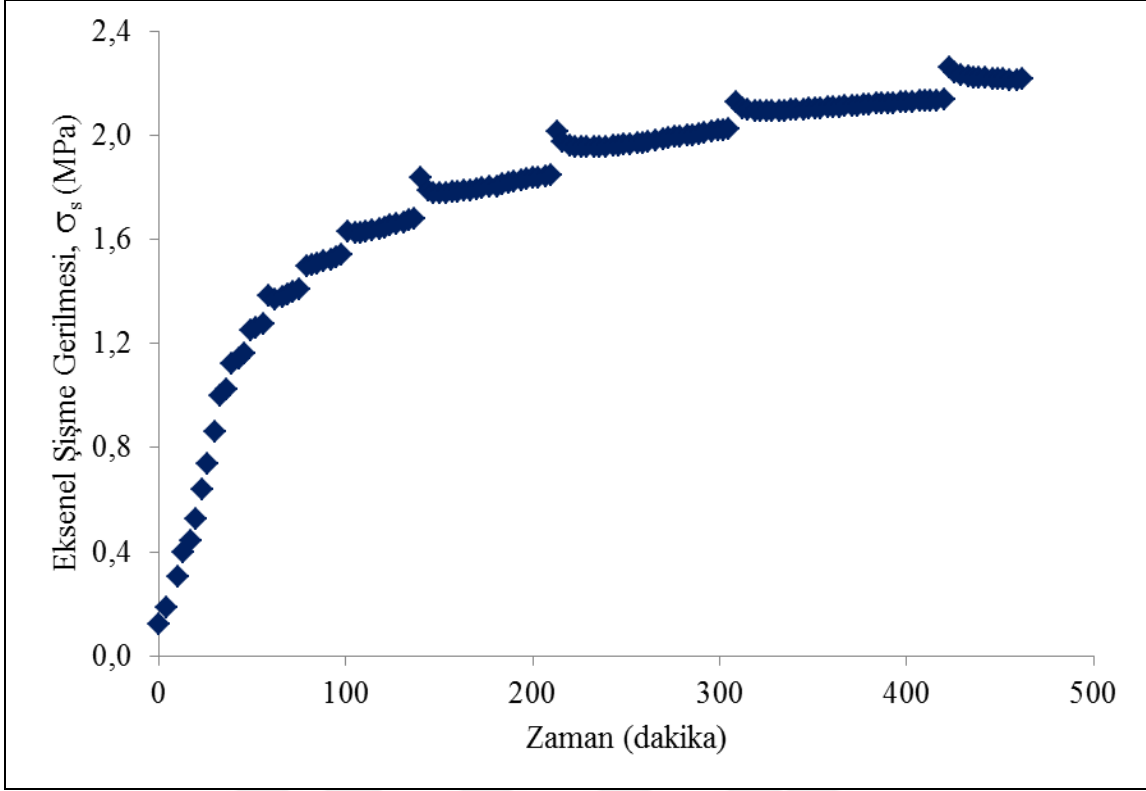


**Şekil A.11** Kilitaşı 1 (CS1) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 1 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

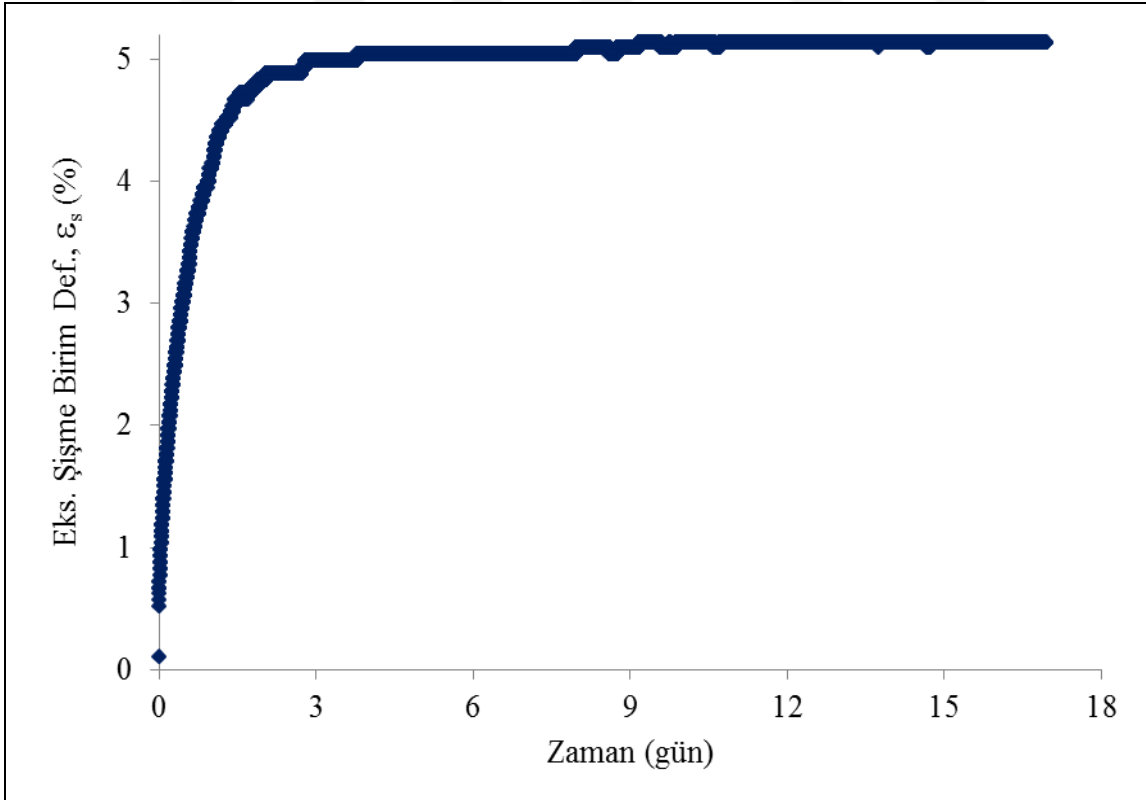


**Şekil A.12** Kilitaşı 1 (CS1) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

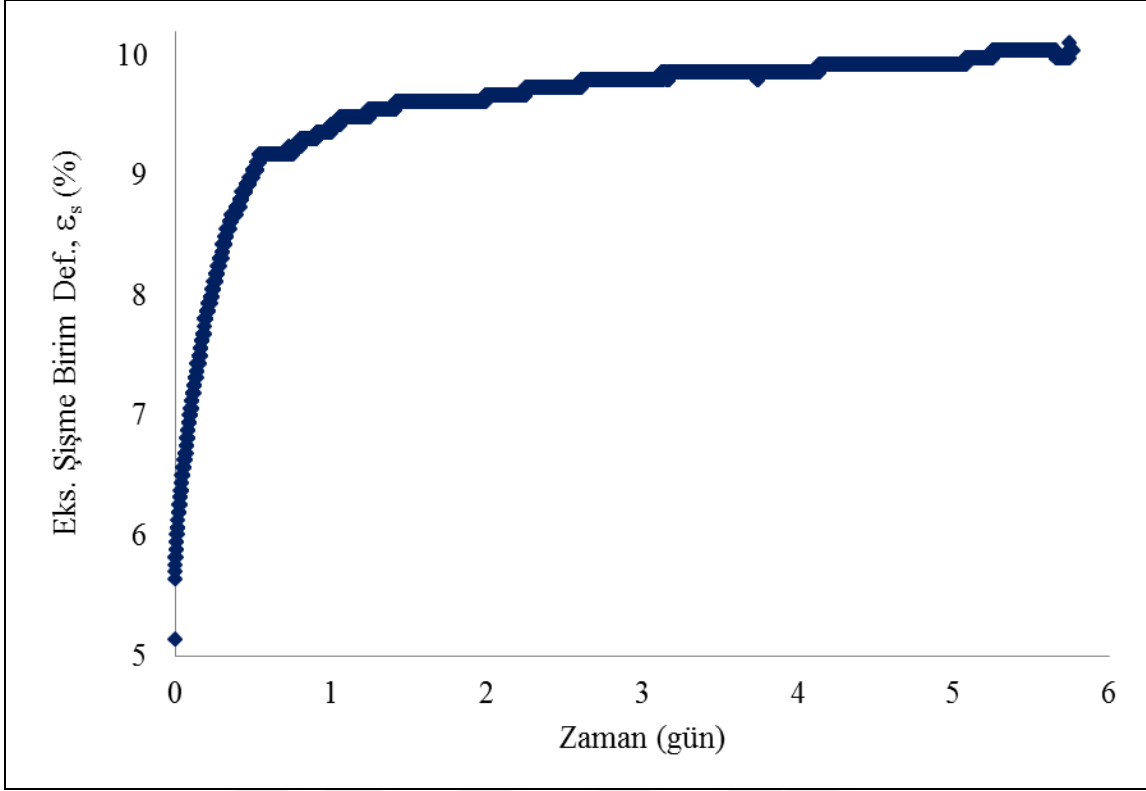




Şekil A.13 Kilitaşı 1 (CS1) örneğinin 2 MPa yanıl basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değışimi.

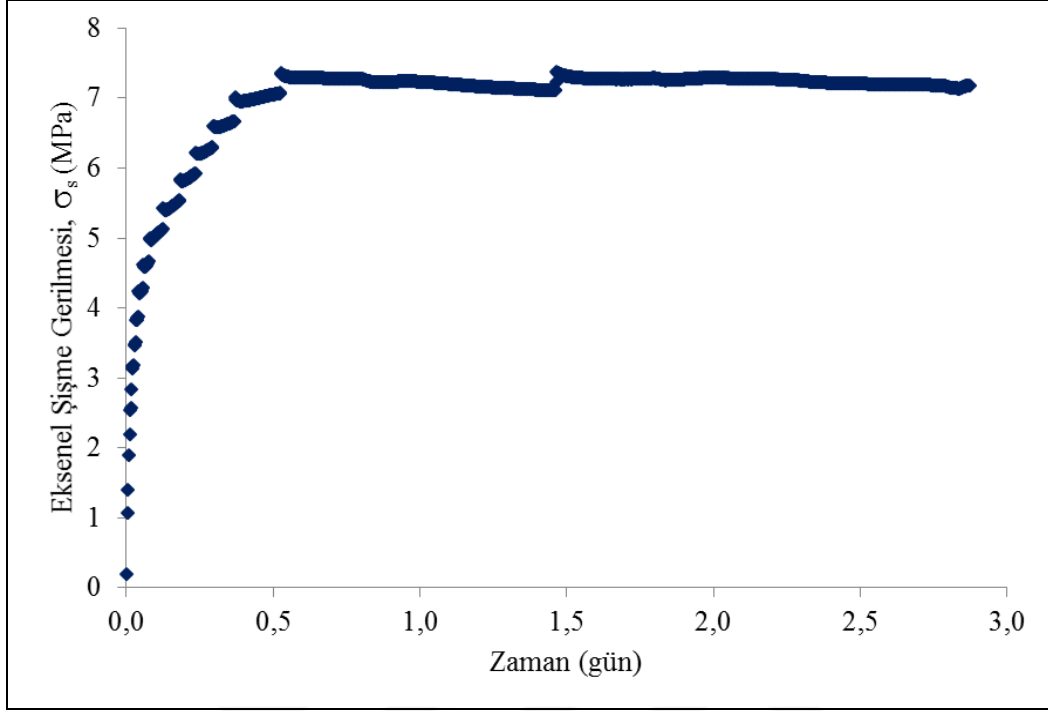


Şekil A.14 Kilitaşı 1 (CS1) örneğinin 2 MPa yanıl basınçta ve 1.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformatiyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değışimi.

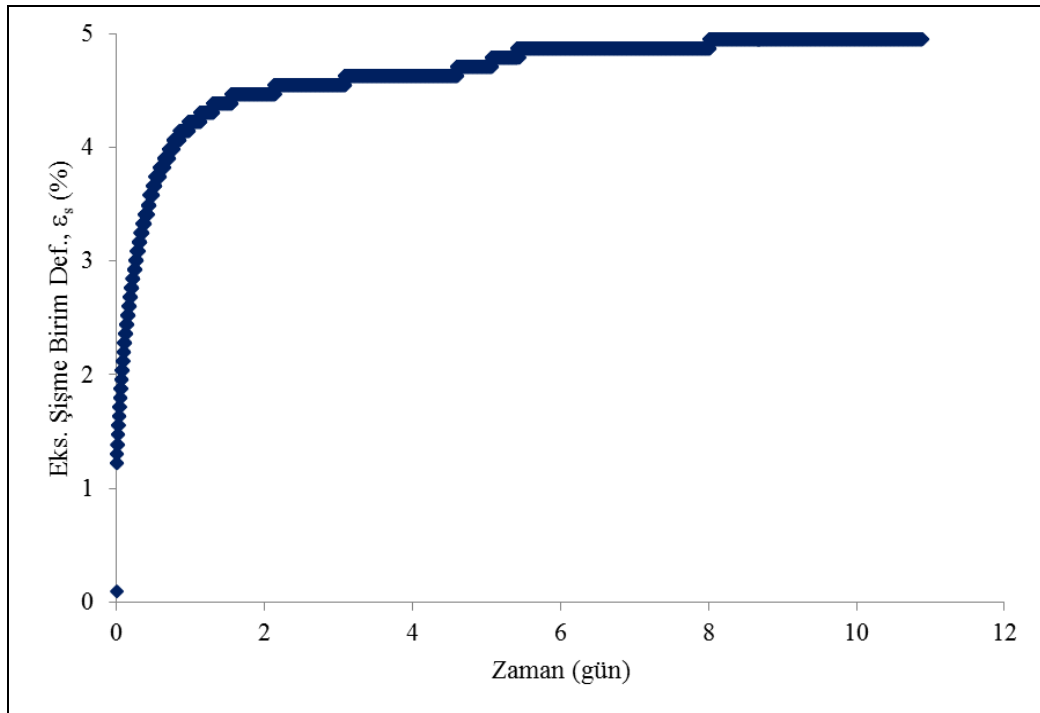


**Şekil A.15** Kıltaşı 1 (CS1) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

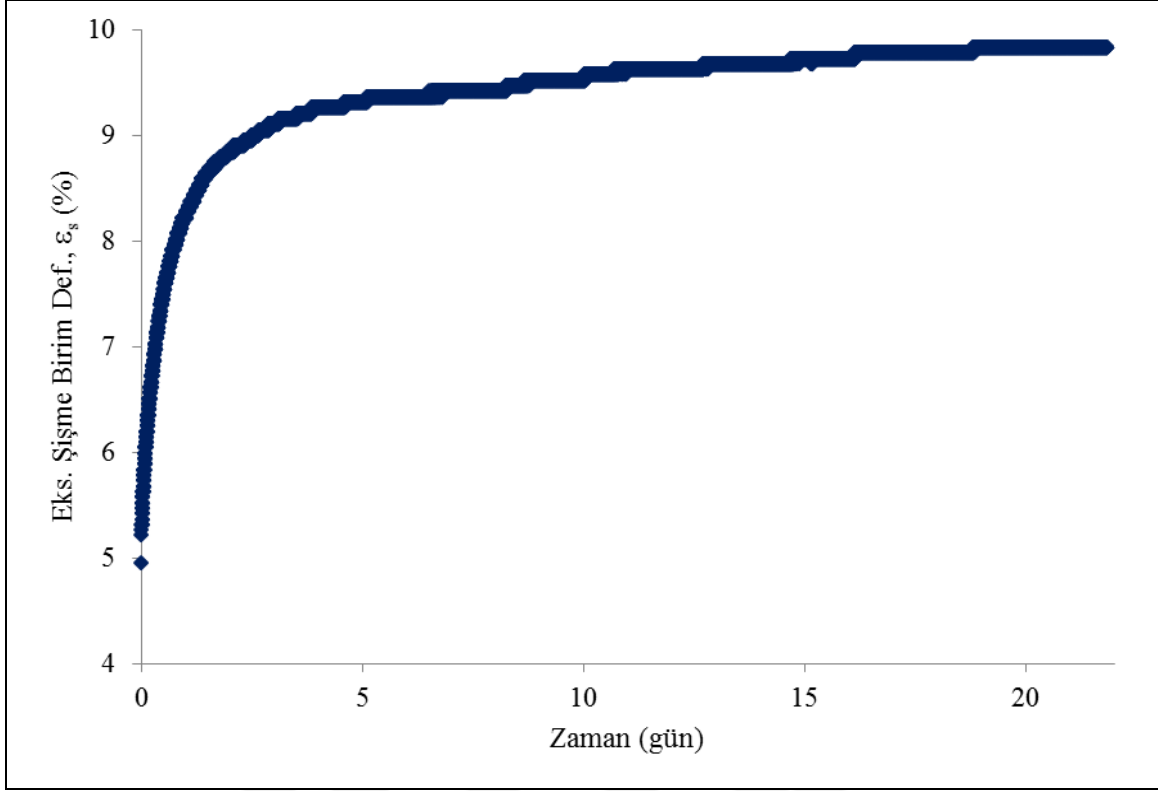
**EK B: Kıltaşı 2 (CS2) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri**



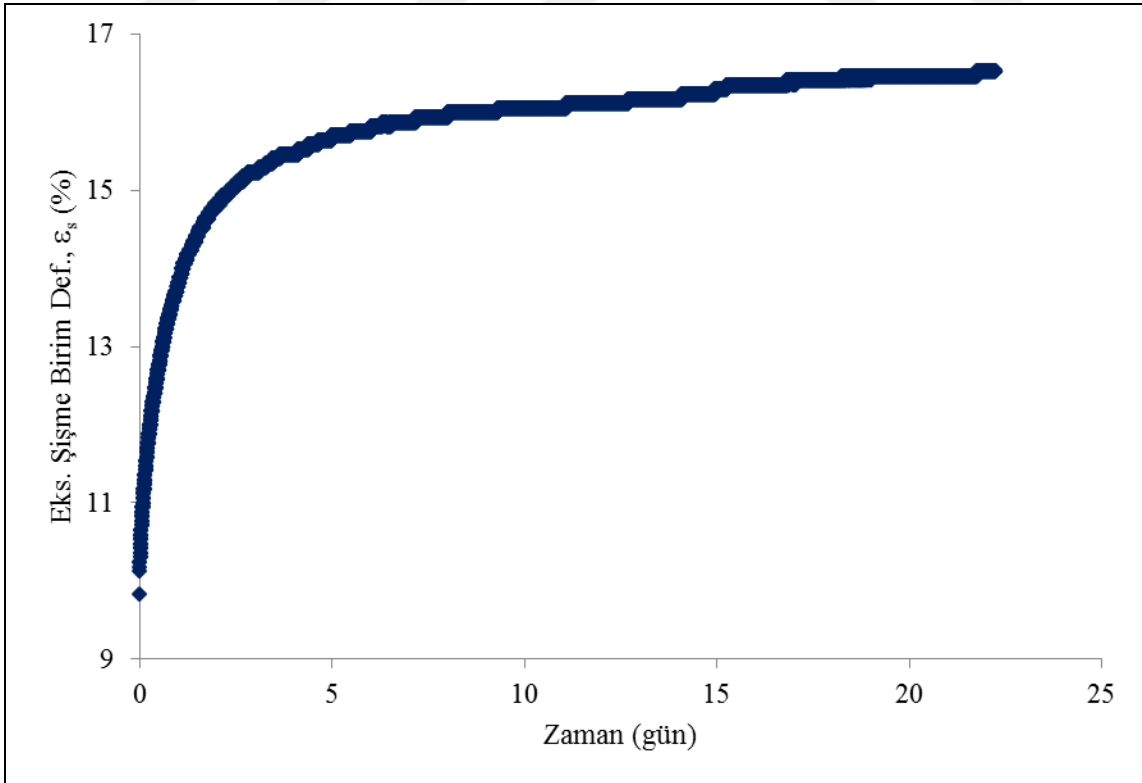
**Şekil B.1** Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



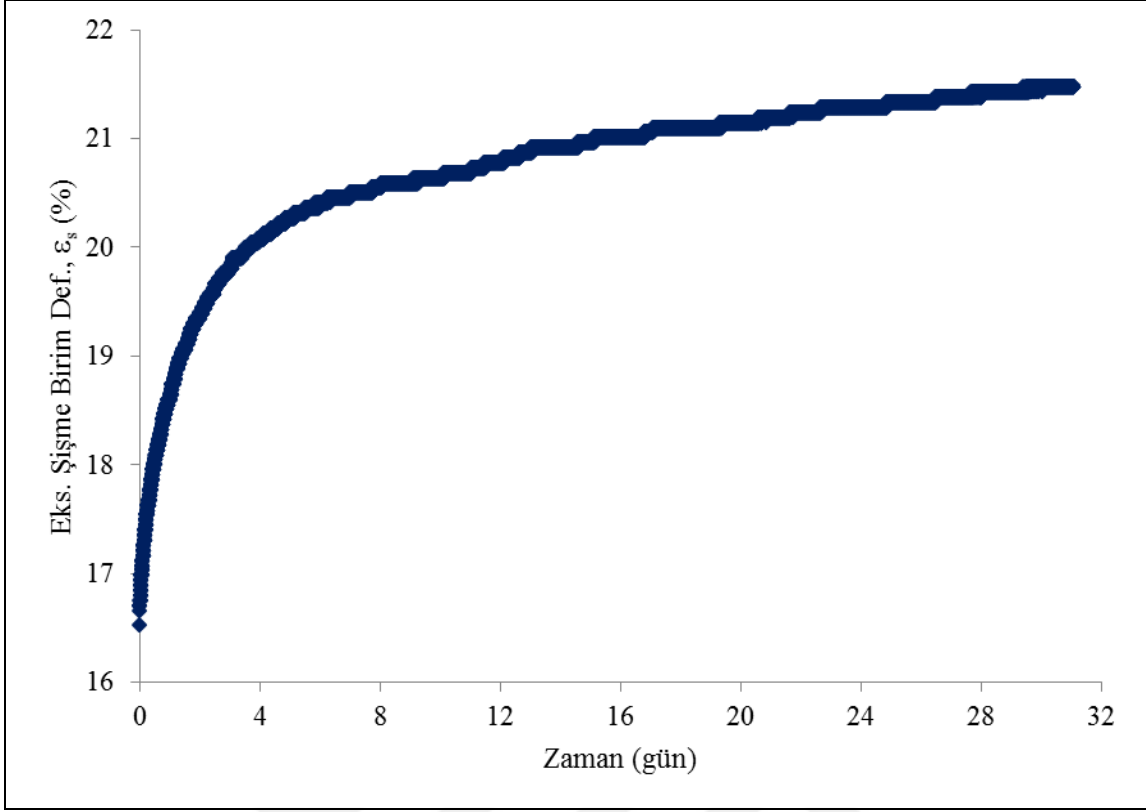
**Şekil B.2** Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 4 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



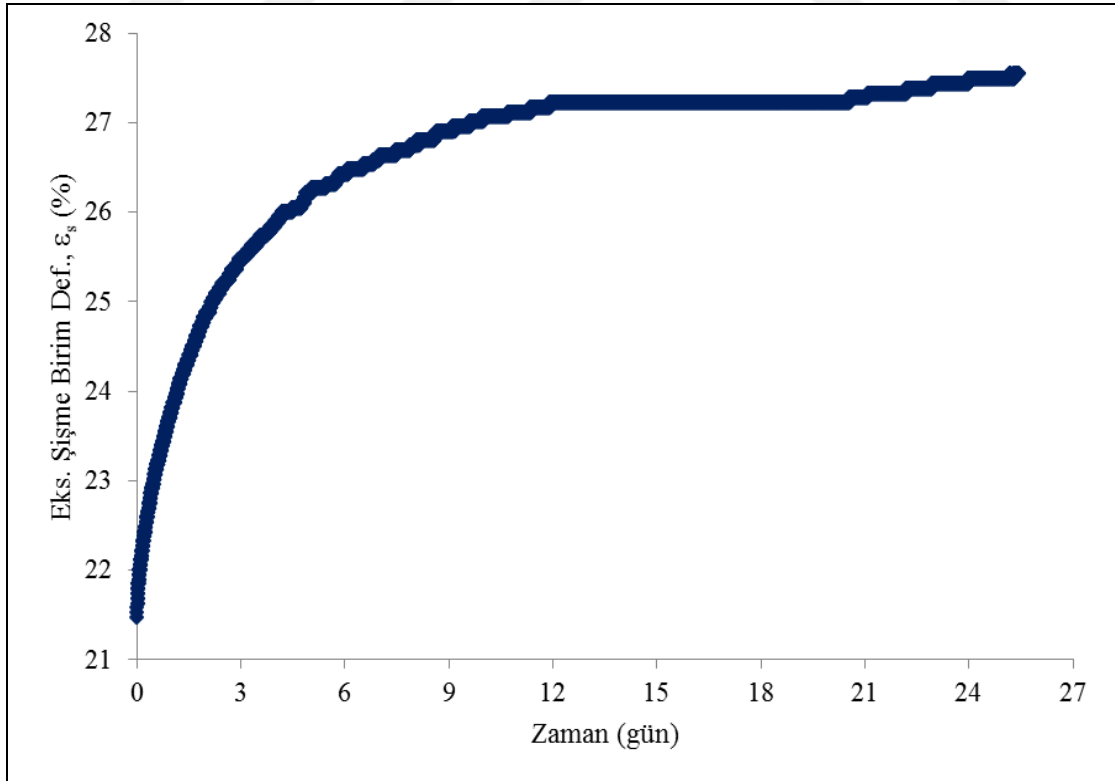
**Şekil B.3** Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 2 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



**Şekil B.4** Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 1 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



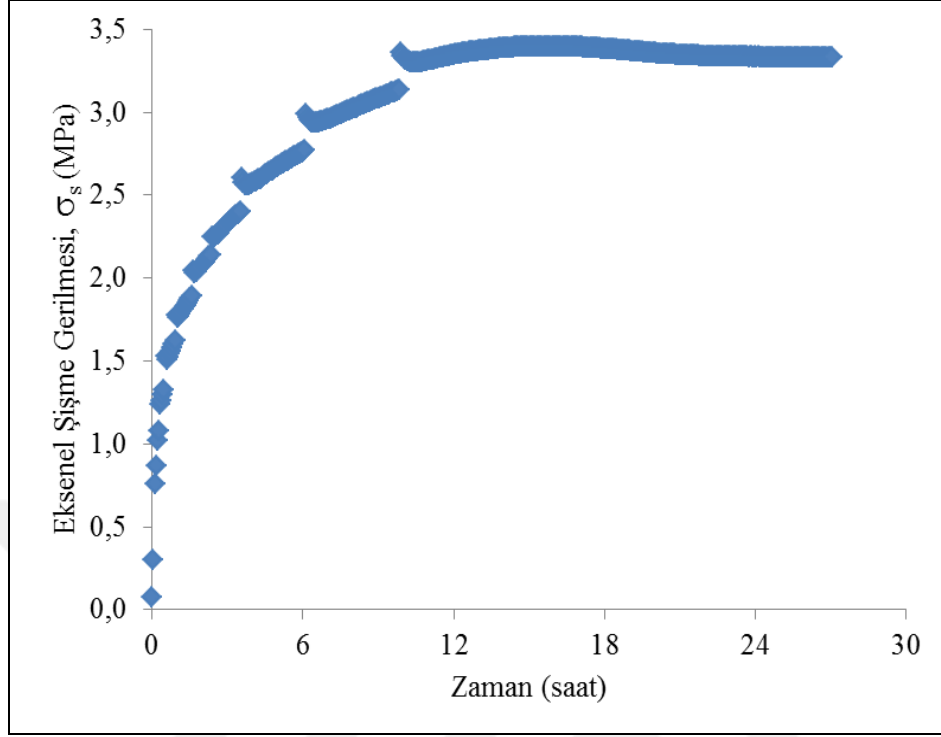
**Şekil B.5** Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 0.5 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



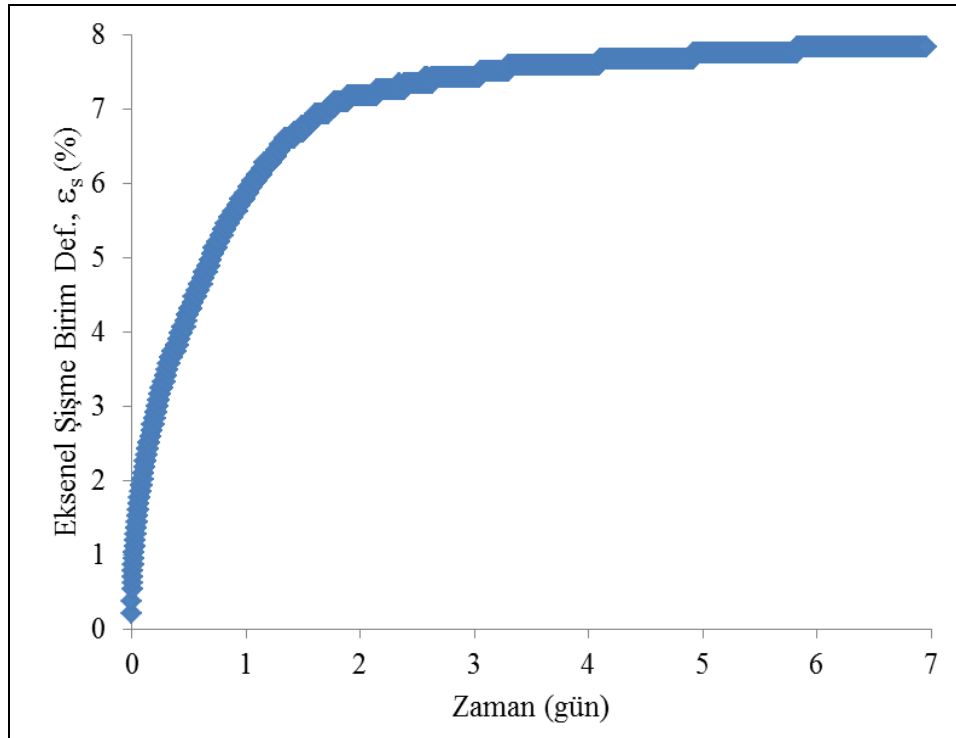
**Şekil B.6** Kıltaşı 2 (CS2) örneğinin 0.25 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



**EK C: Kıltaşı 3 (CS3) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri**

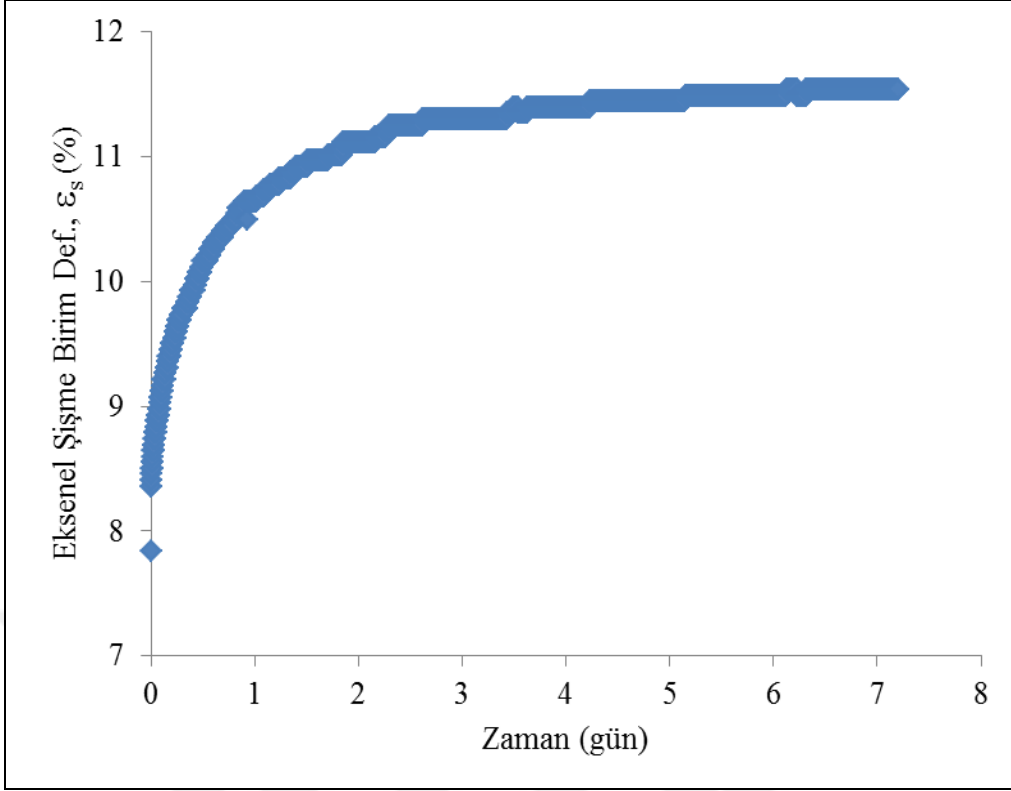


**Şekil C.1** Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.

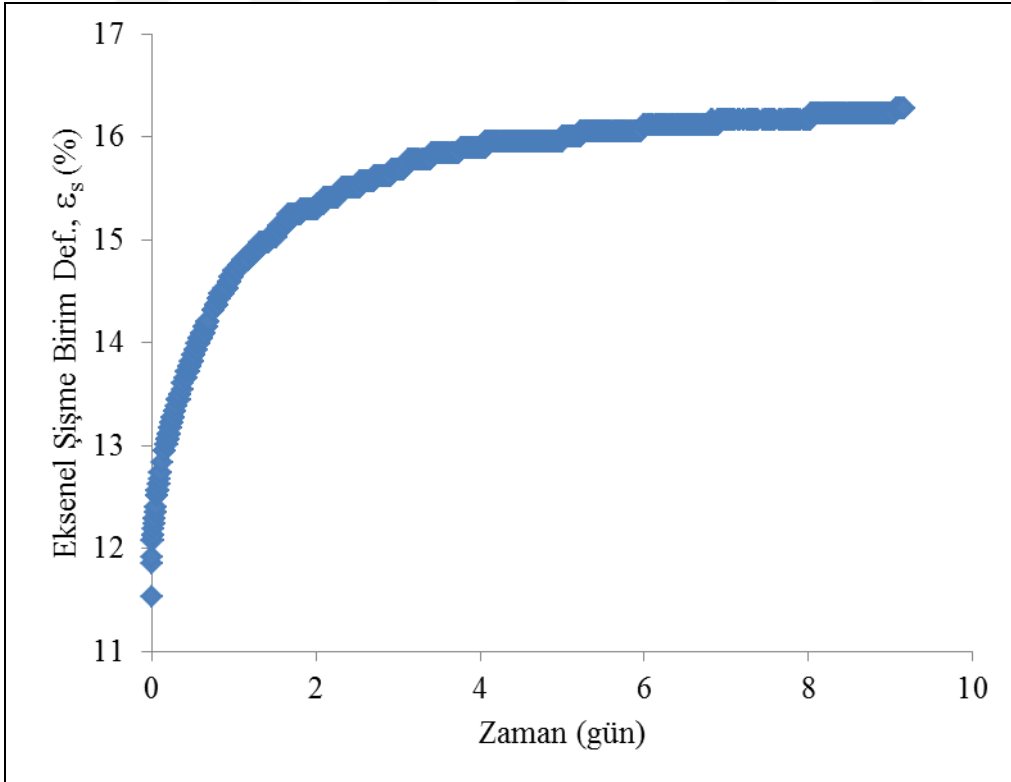


**Şekil C.2** Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

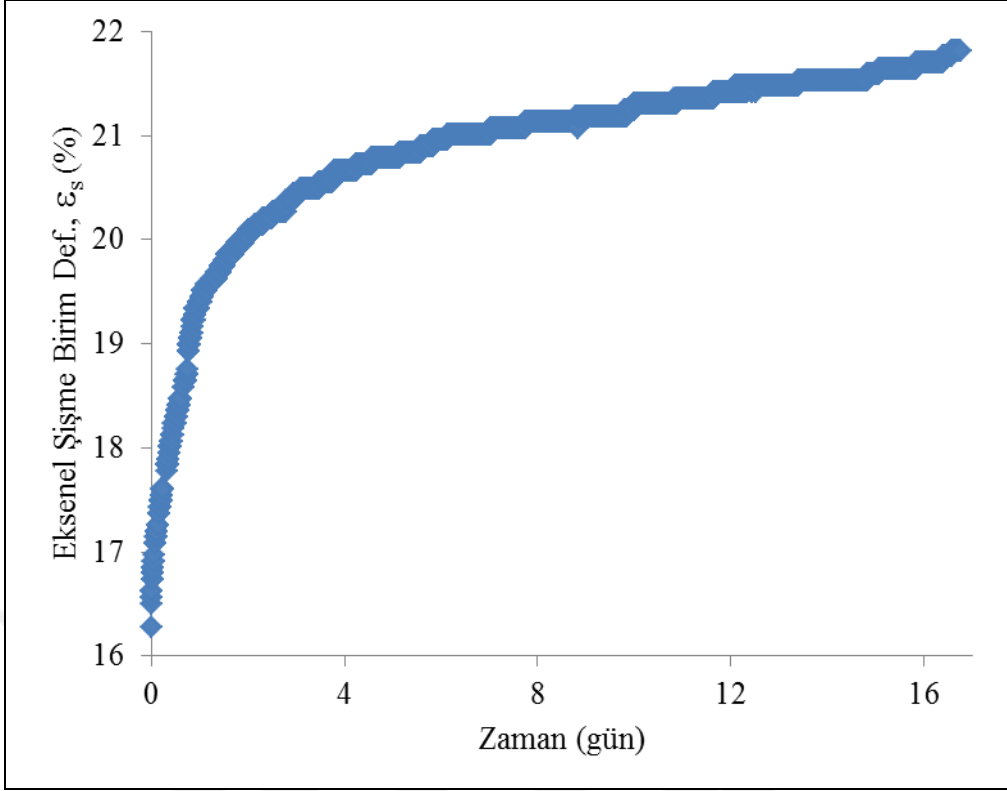




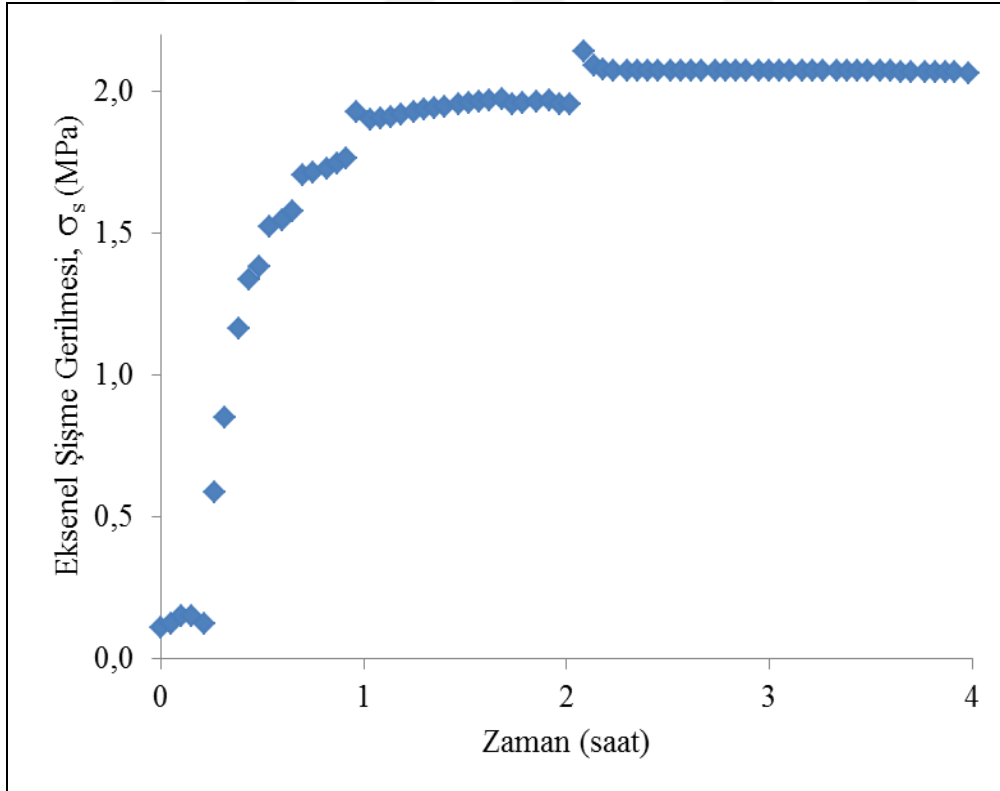
**Şekil C.3** Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



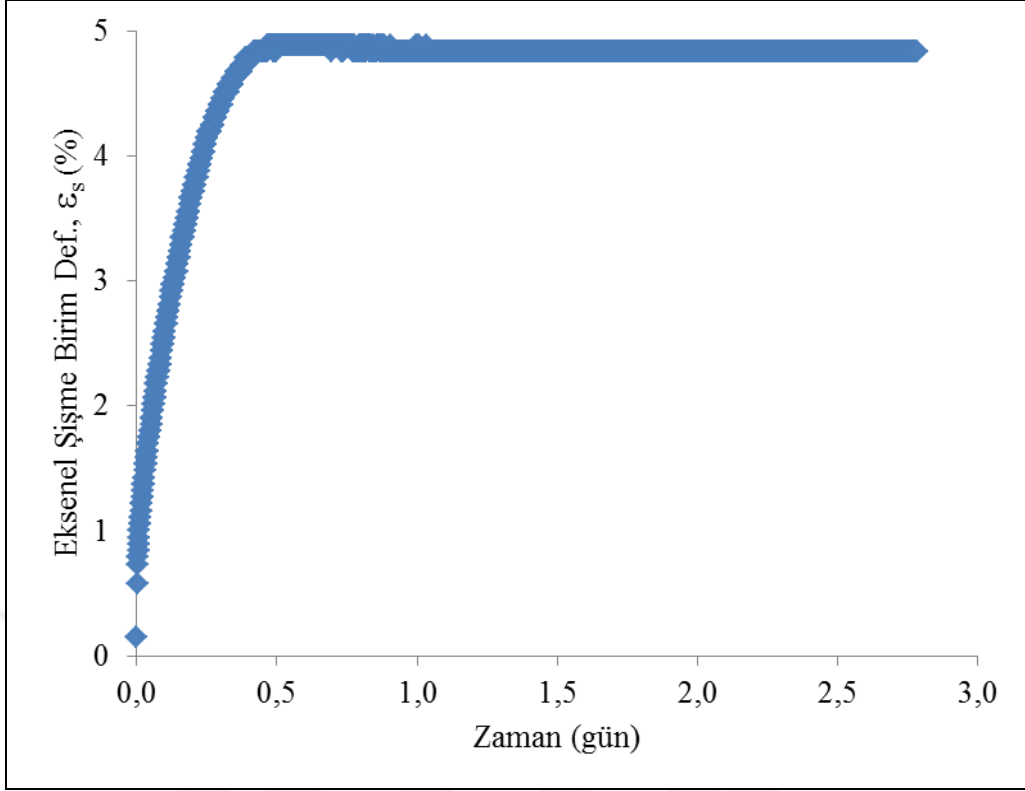
**Şekil C.4** Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



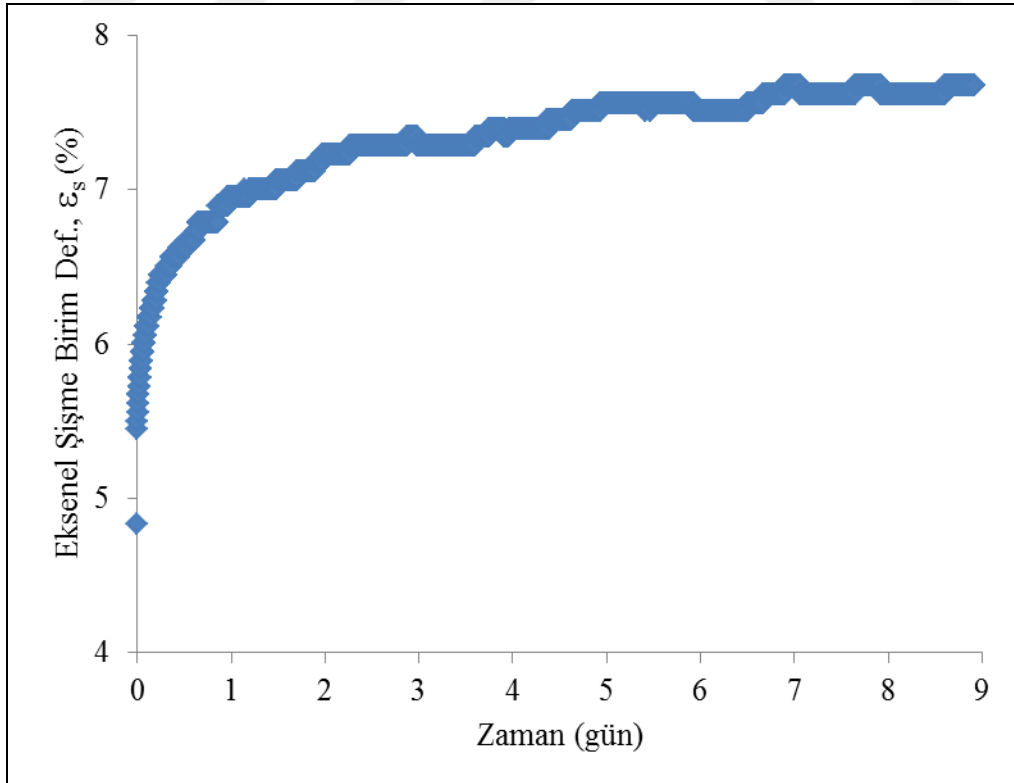
**Şekil C.5** Kilitaşı 3 (CS3) örneğinin 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



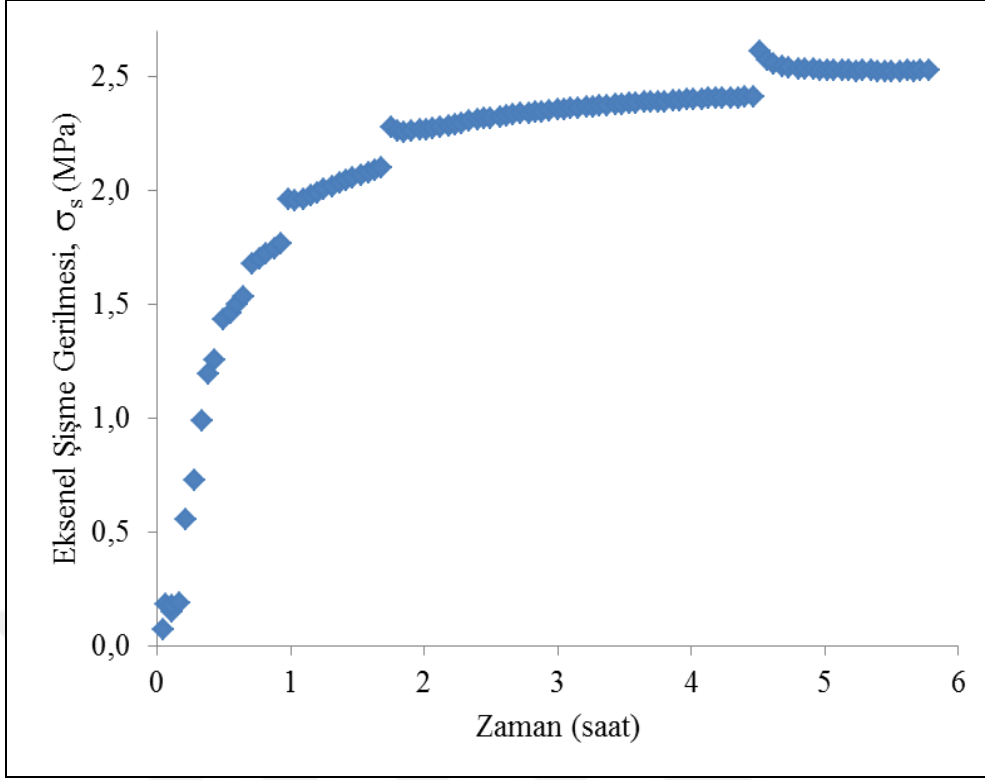
**Şekil C.6** Kilitaşı 3 (CS3) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



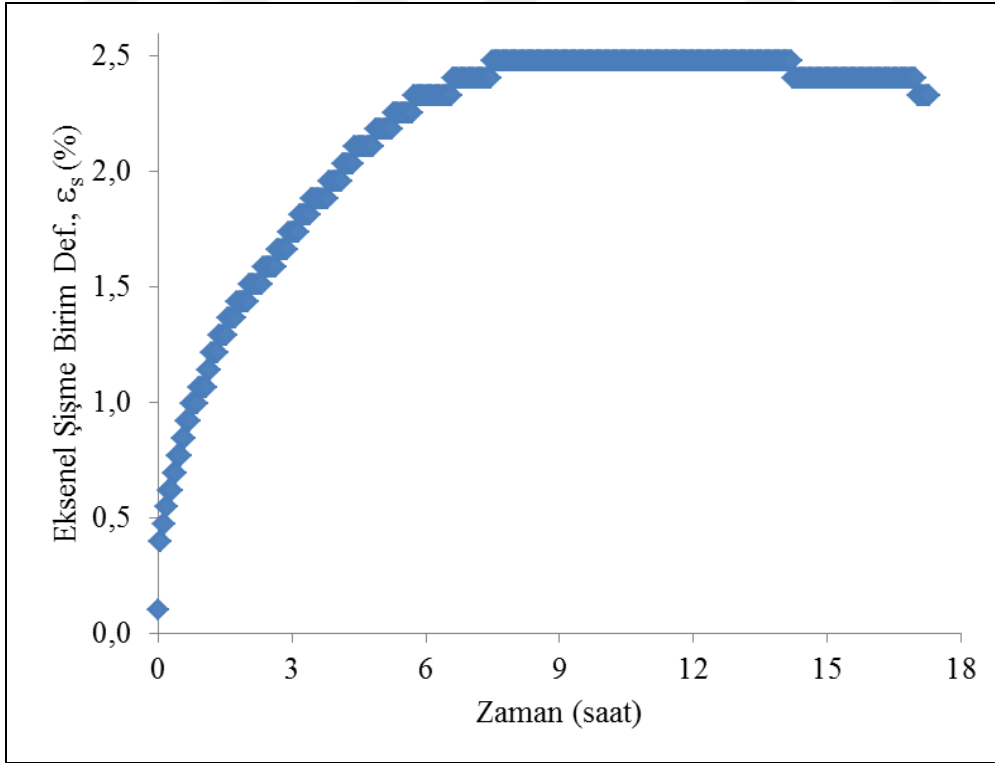
Şekil C.7 Kilitaşı 3 (CS3) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değışimi.



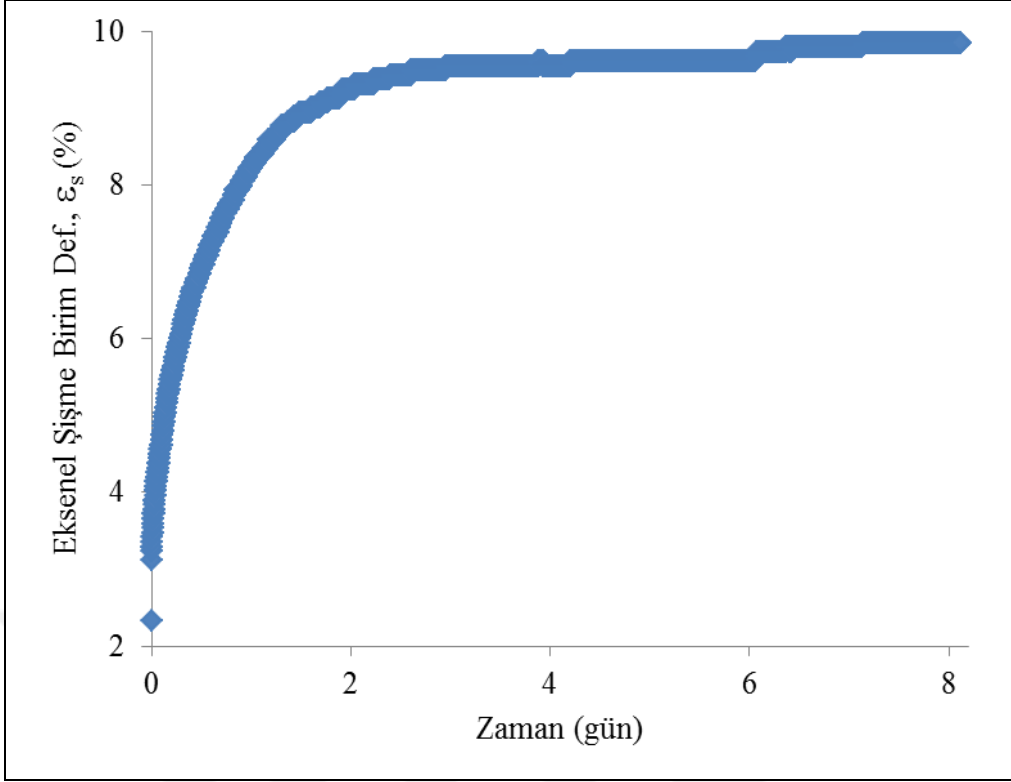
Şekil C.8 Kilitaşı 3 (CS3) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değışimi.



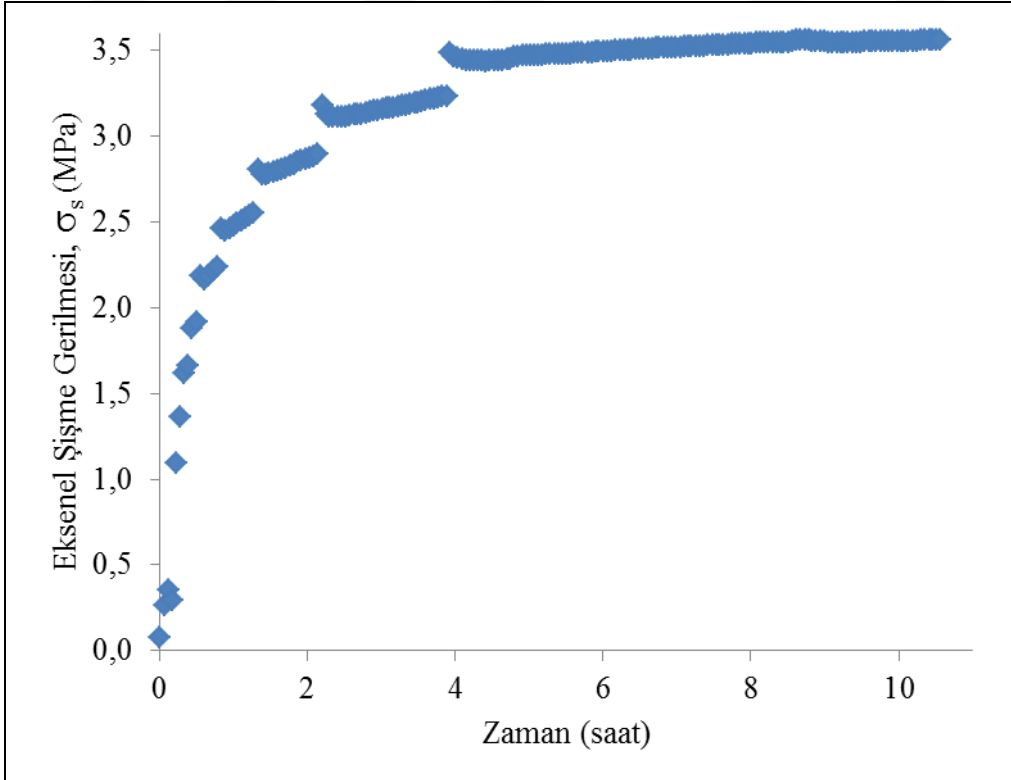
Şekil C.9 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 1 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



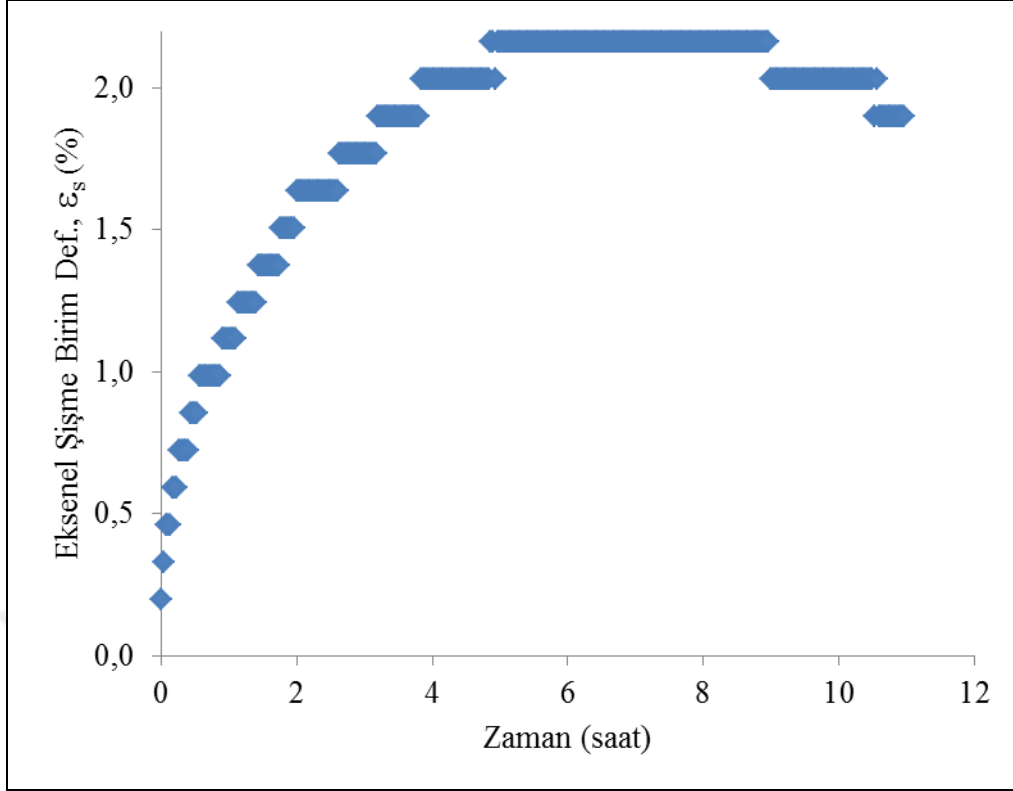
Şekil C.10 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



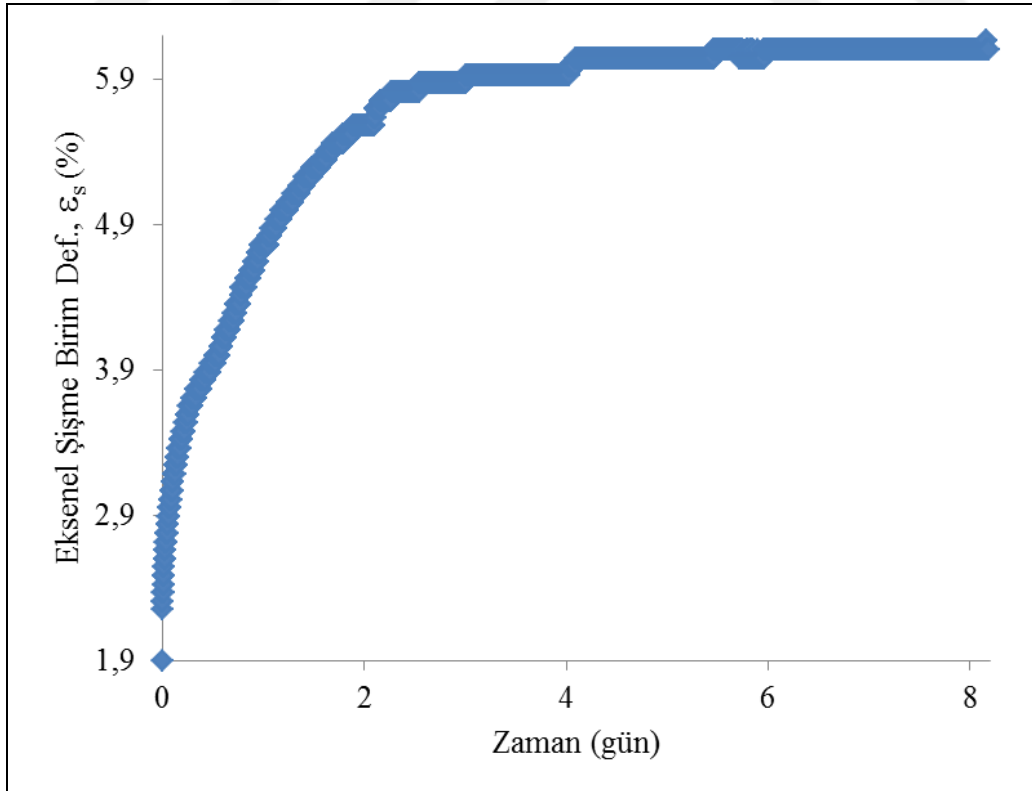
Şekil C.11 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



Şekil C.12 Kıltaşı 3 (CS3) örneğinin 2 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



**Şekil C.13** Kilitaşı 3 (CS3) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 3 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformatiyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

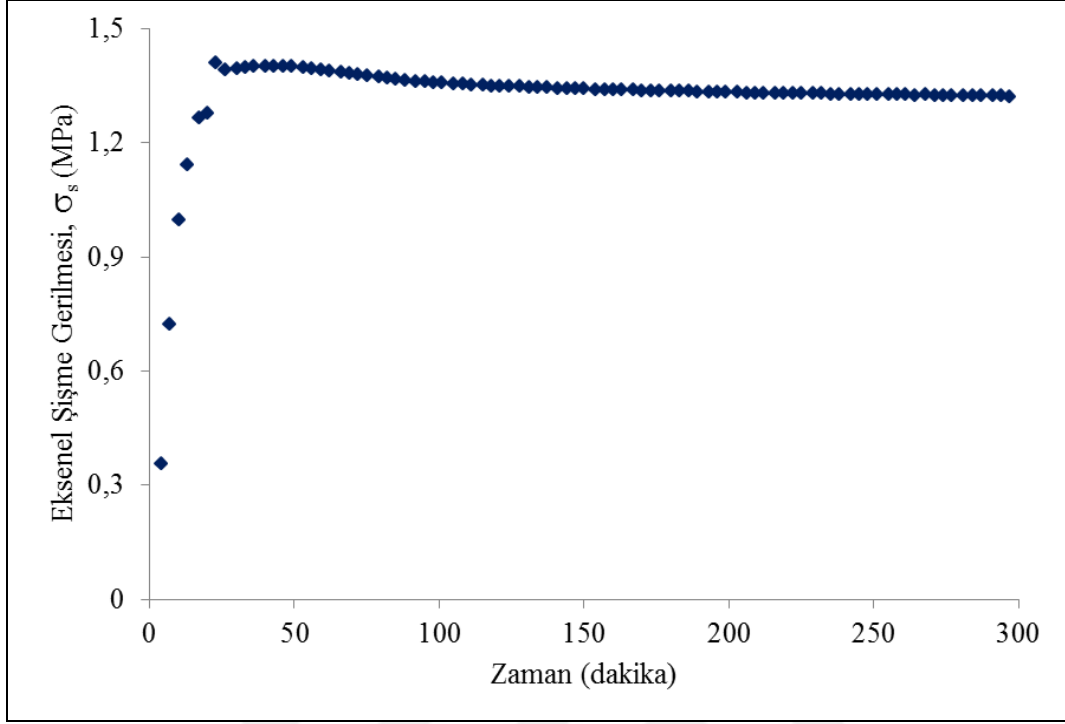


**Şekil C.14** Kilitaşı 3 (CS3) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformatiyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

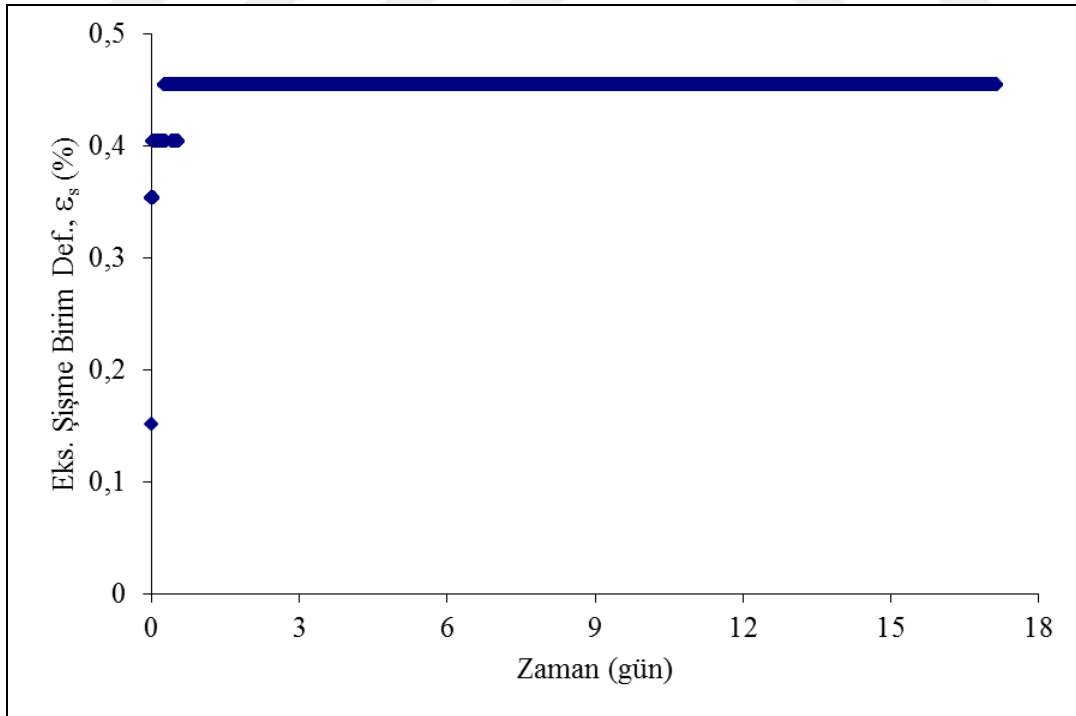




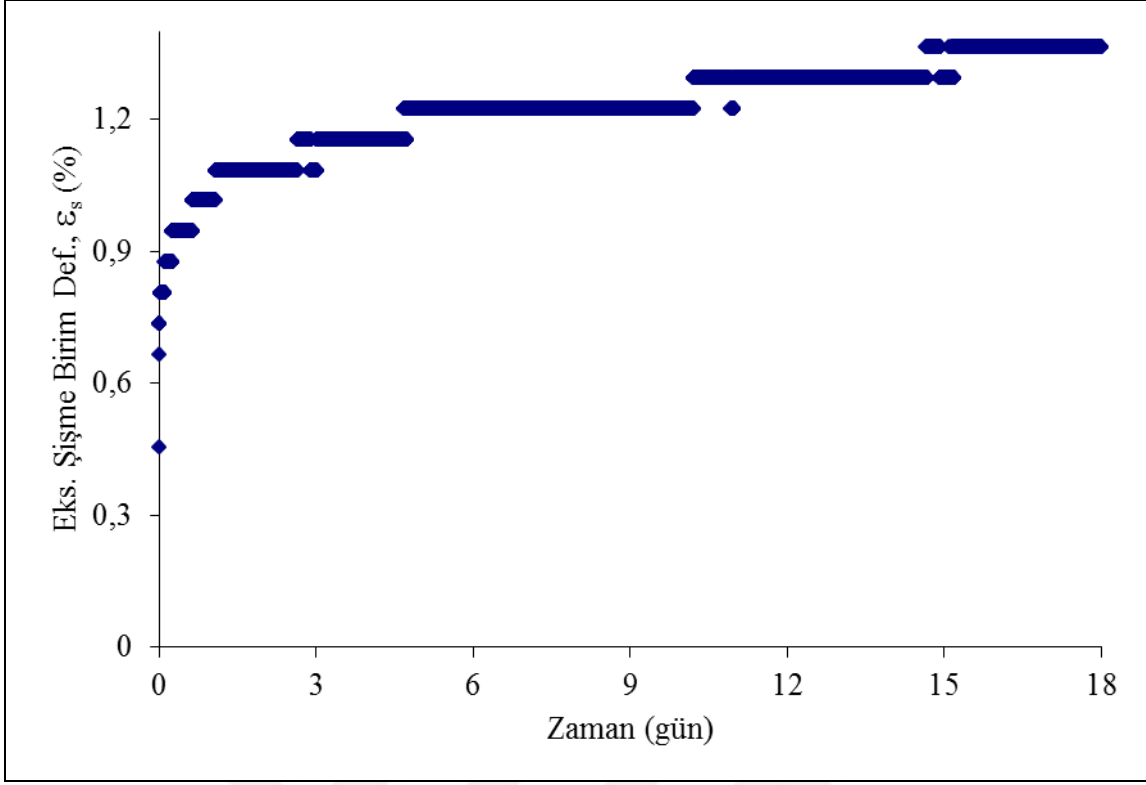
**EK D: Killi Kireçtaşı (CLS) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri**



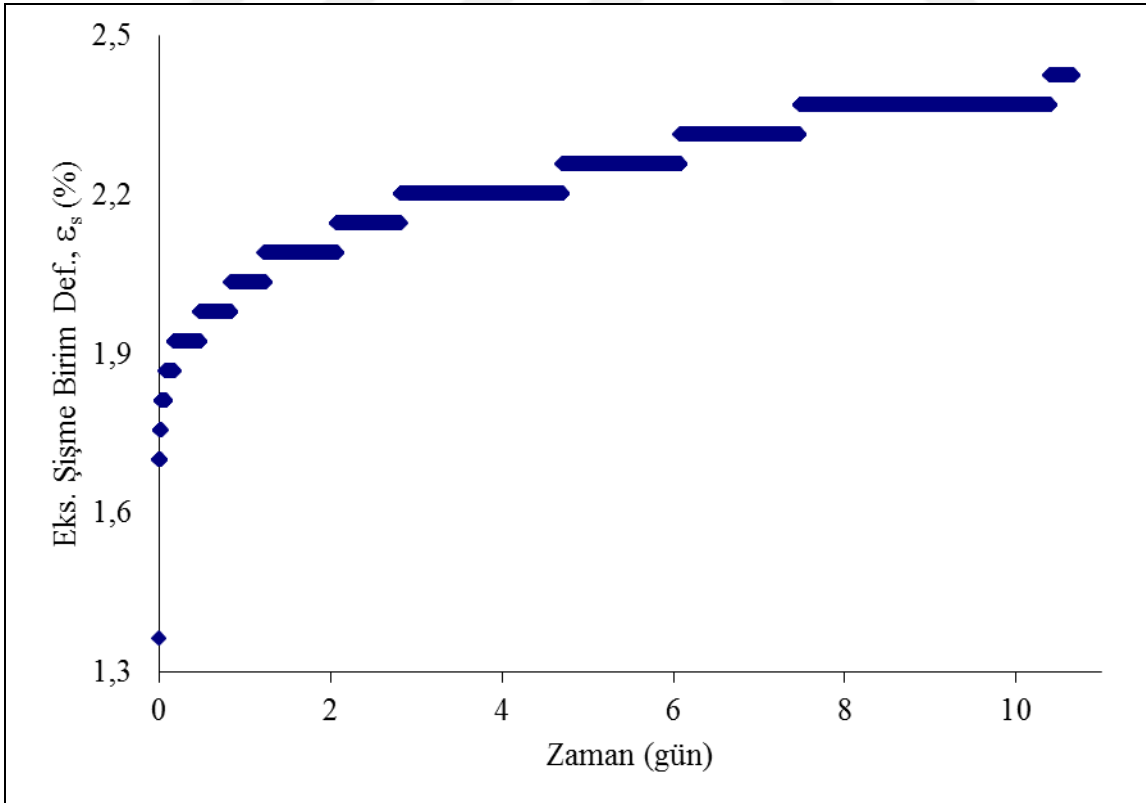
**Şekil D.1** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



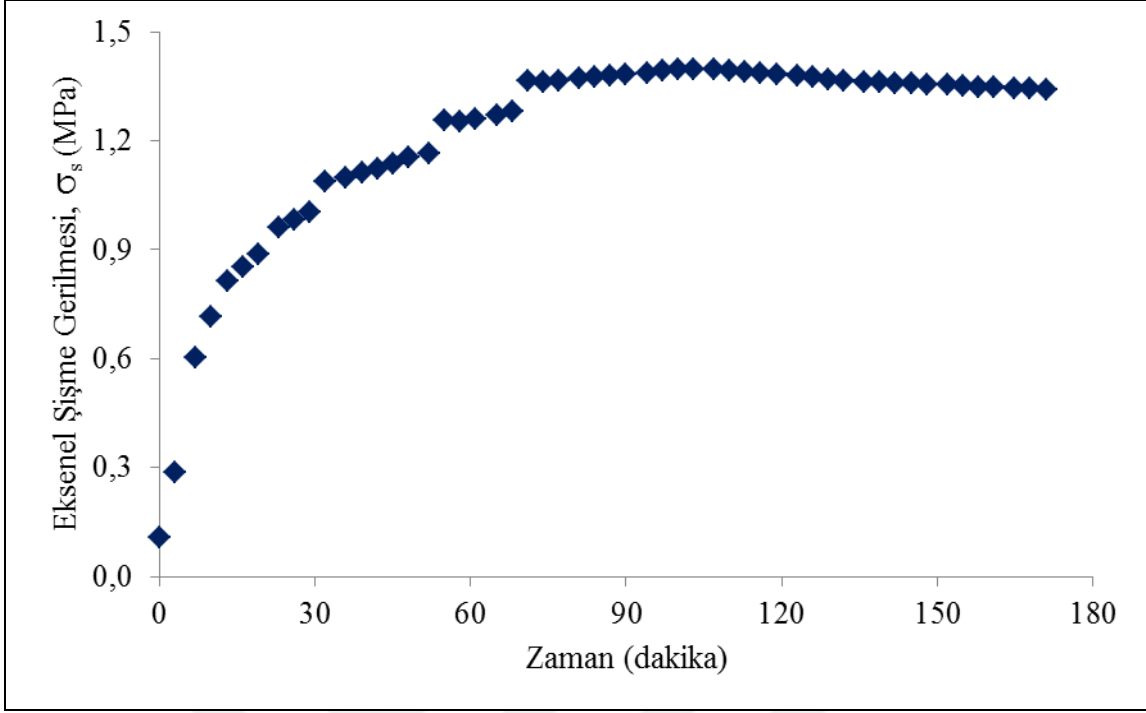
**Şekil D.2** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



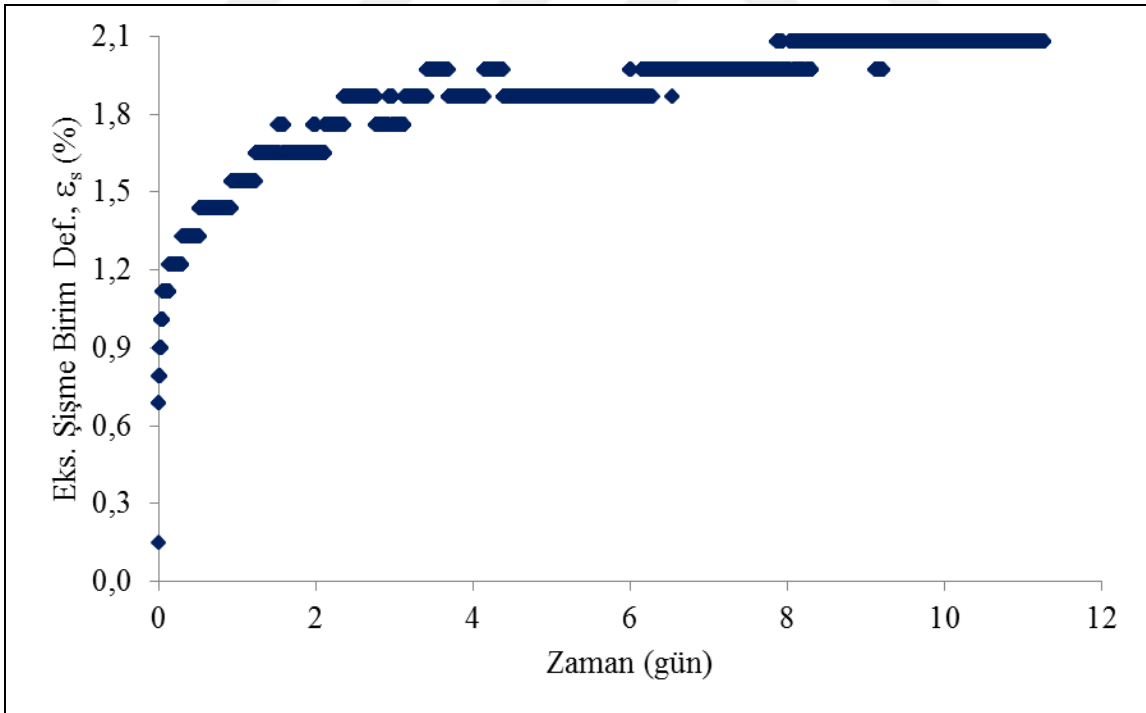
**Şekil D.3** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.5 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



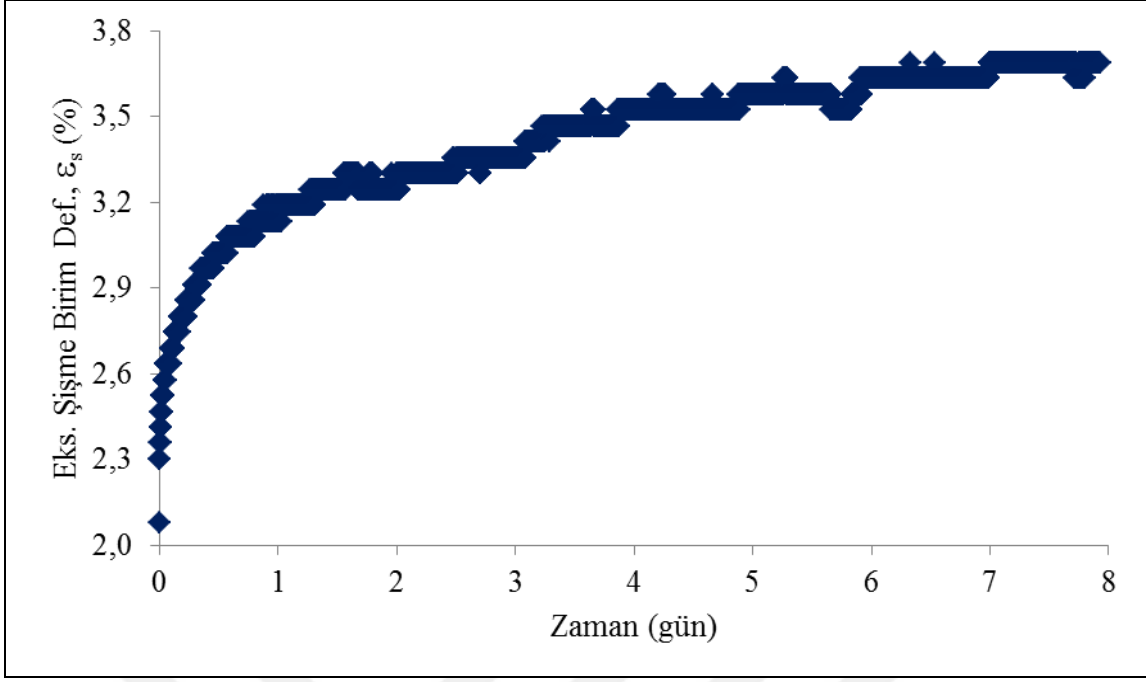
**Şekil D.4** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.25 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



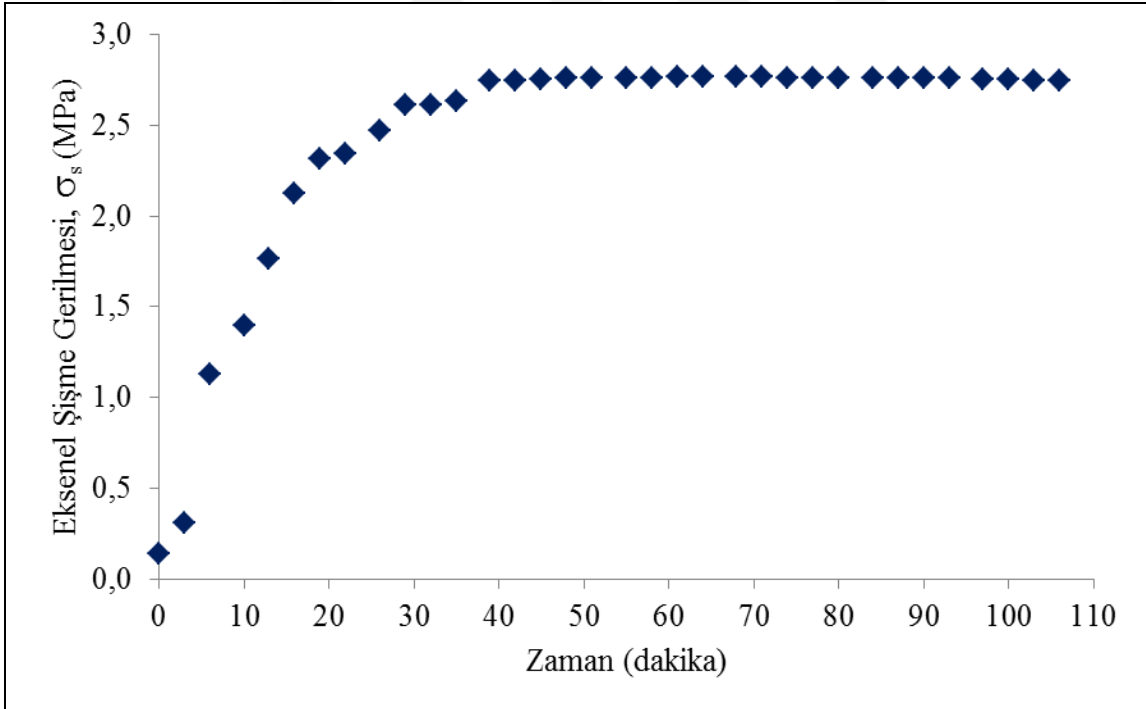
**Şekil D.5** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta aksel şışme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



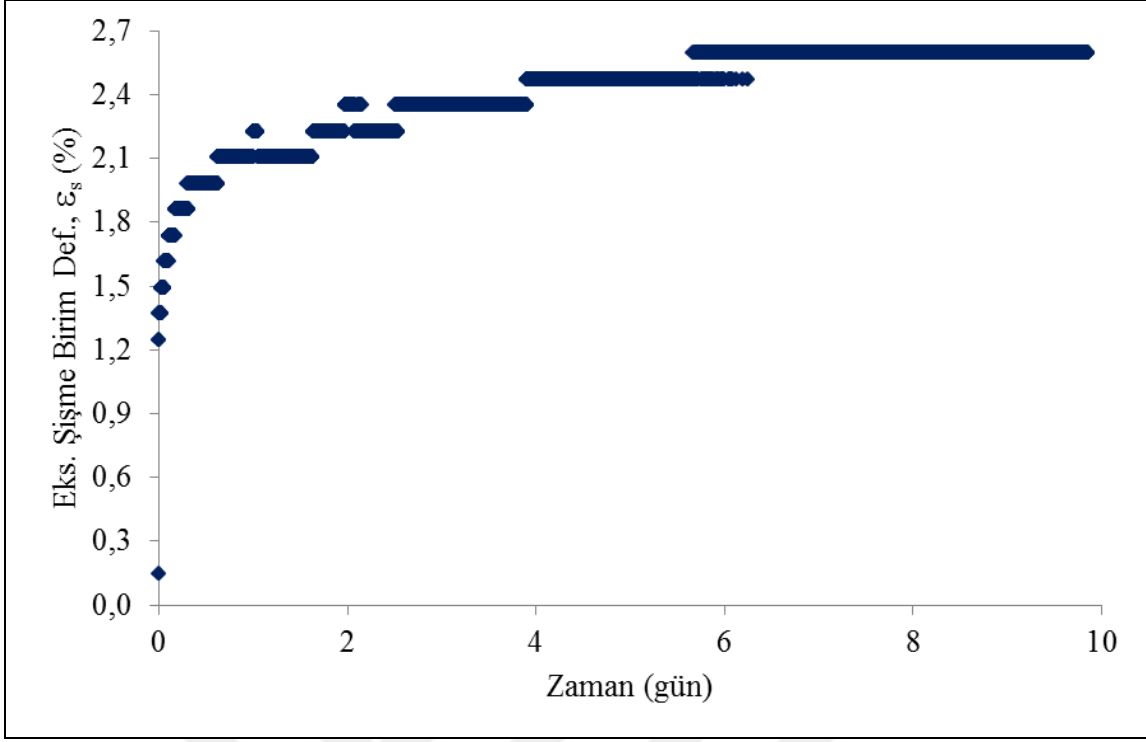
**Şekil D.6** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa aksel şışme gerilmesi altında aksel şışme birim deformatsiyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



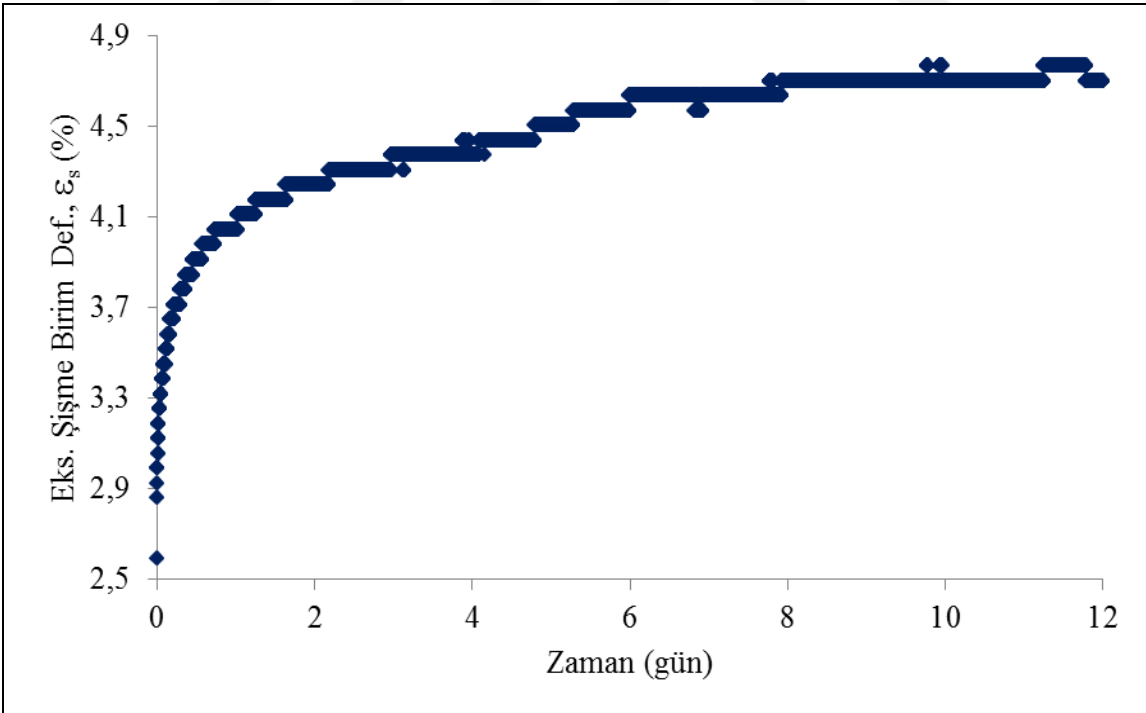
**Şekil D.7** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.25 MPa aksel gerilmesinde aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



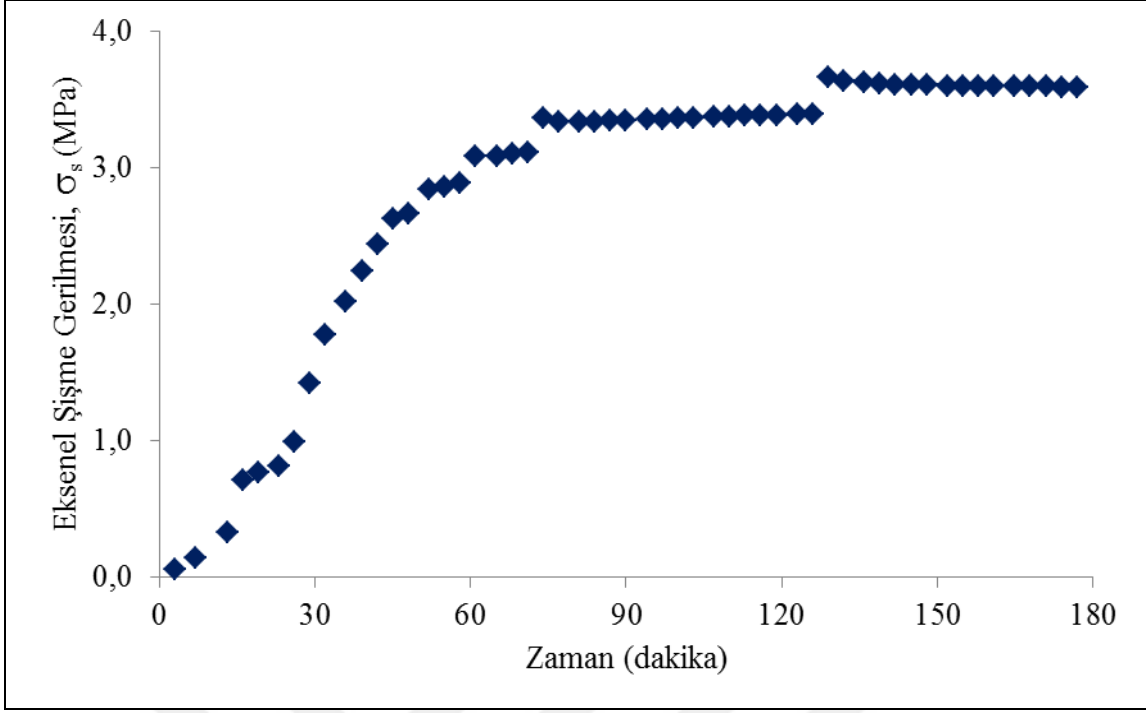
**Şekil D.8** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 1 MPa yanal basınçta aksel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



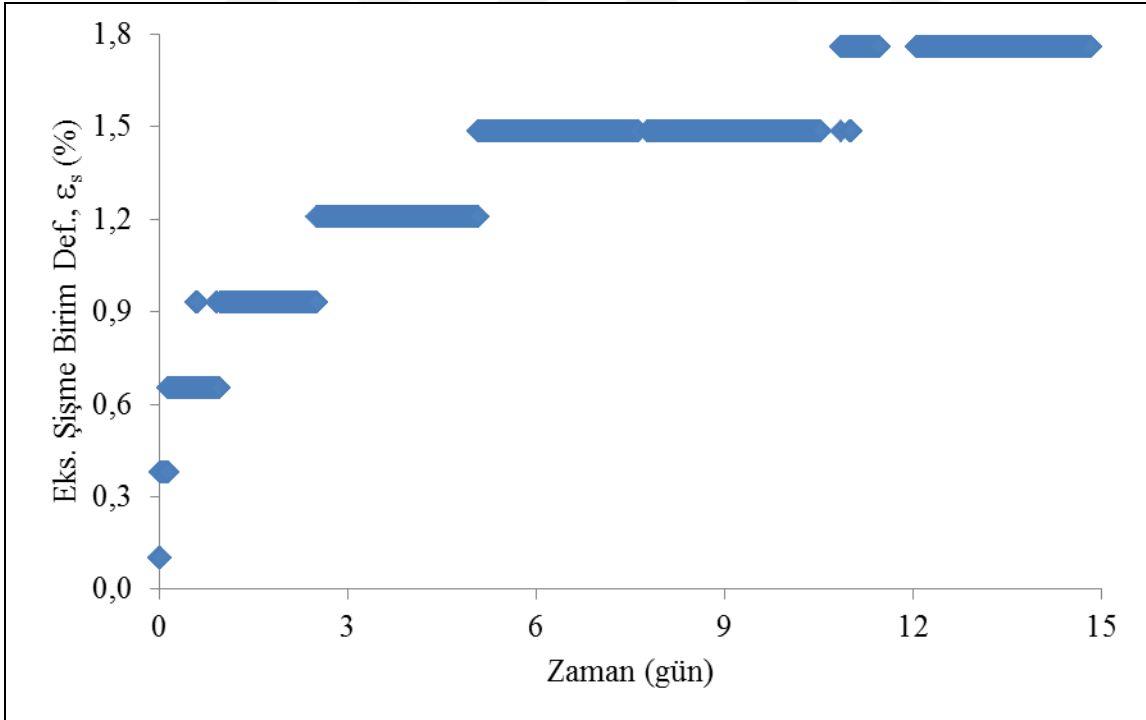
Şekil D.9 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



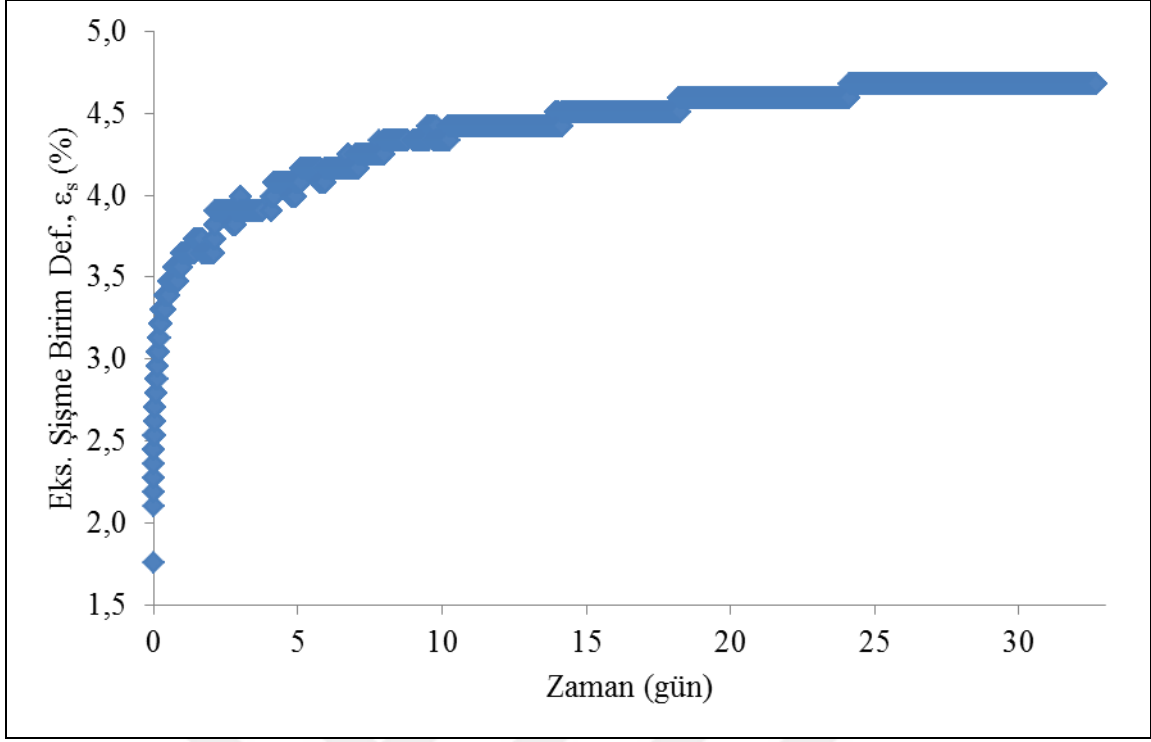
Şekil D.10 Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



**Şekil D.11** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 2 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



**Şekil D.12** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

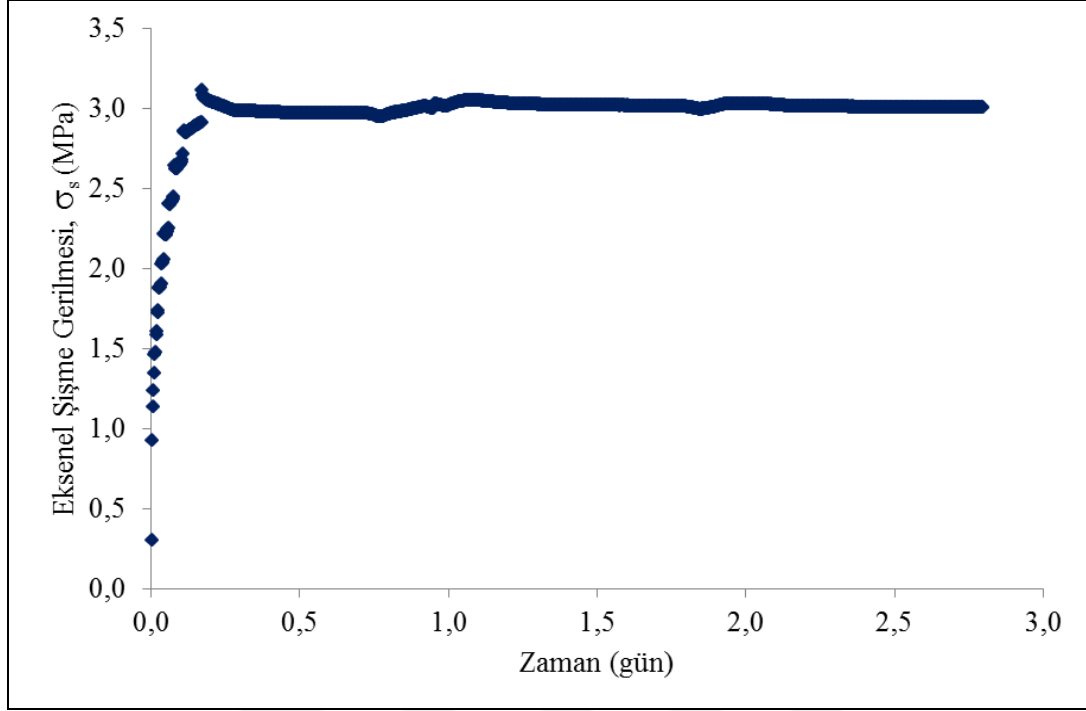


**Şekil D.13** Killi kireçtaşı (CLS) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

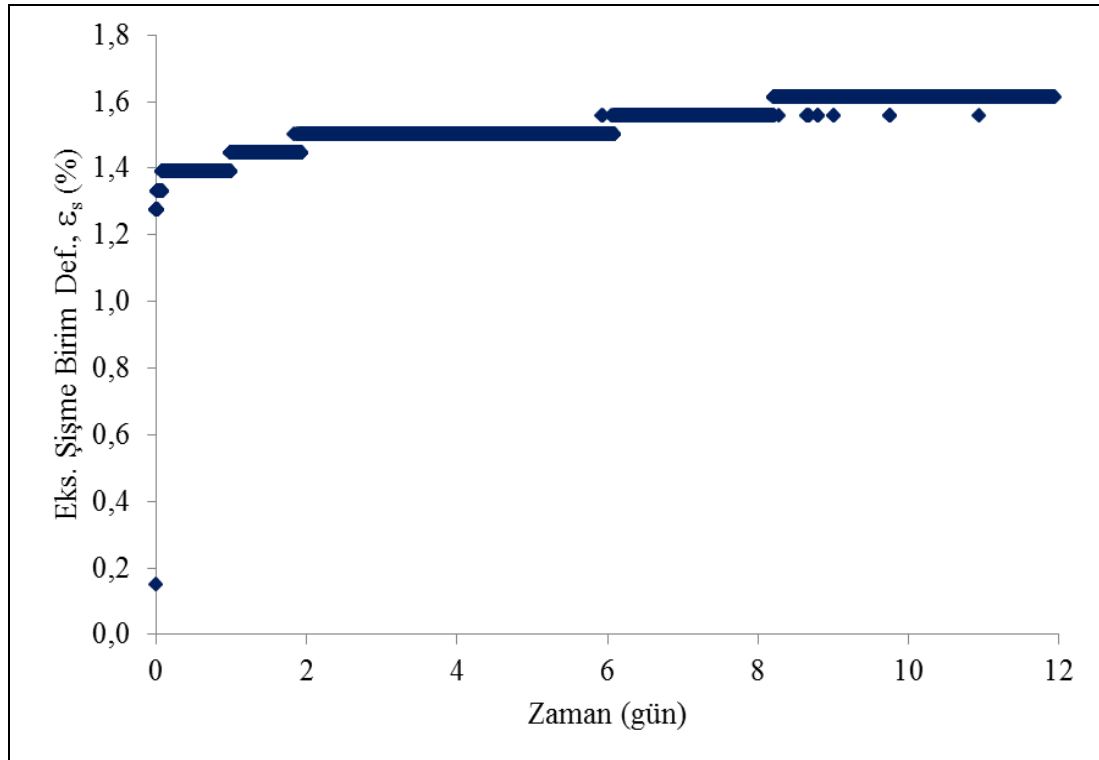




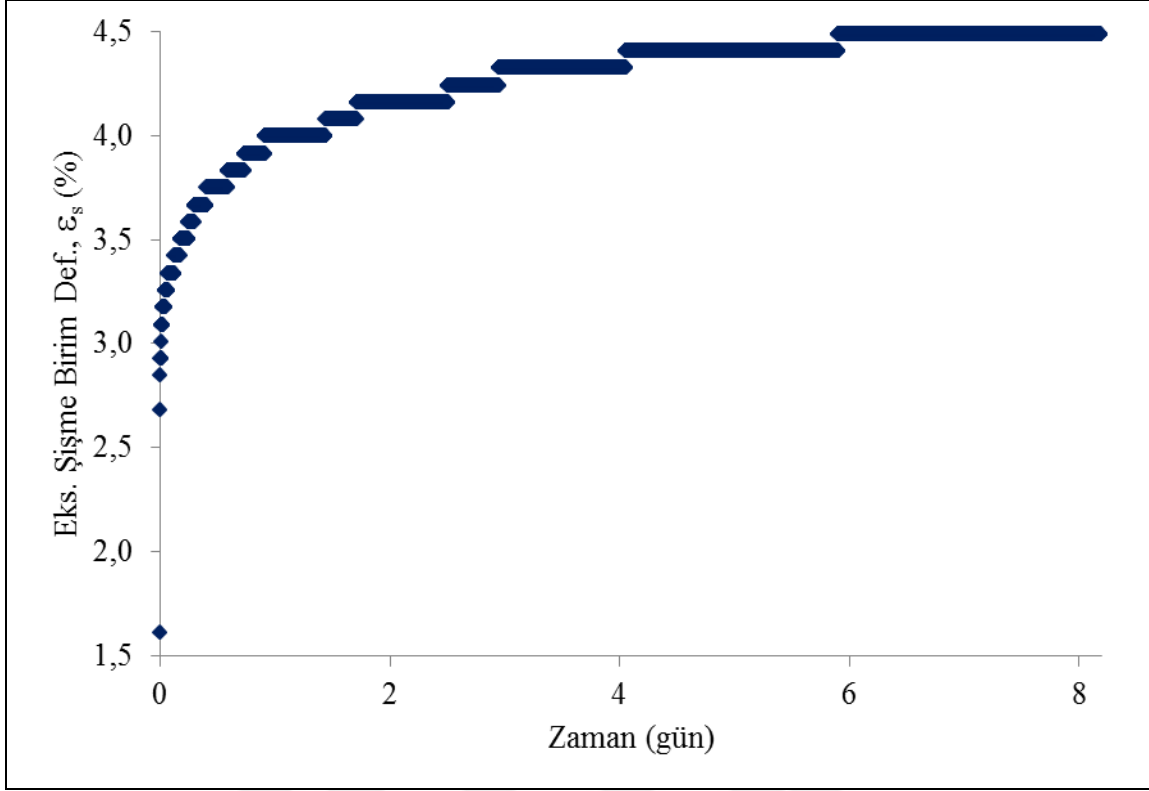
**EKE: Marn (M) Örneğinin Tek Ve Üç Eksenli Şişme Deneyleri Sonucunda Şişme Gerilmeleri Ve Şişme Birim Deformasyonların Zamana Bağlı Değişimleri**



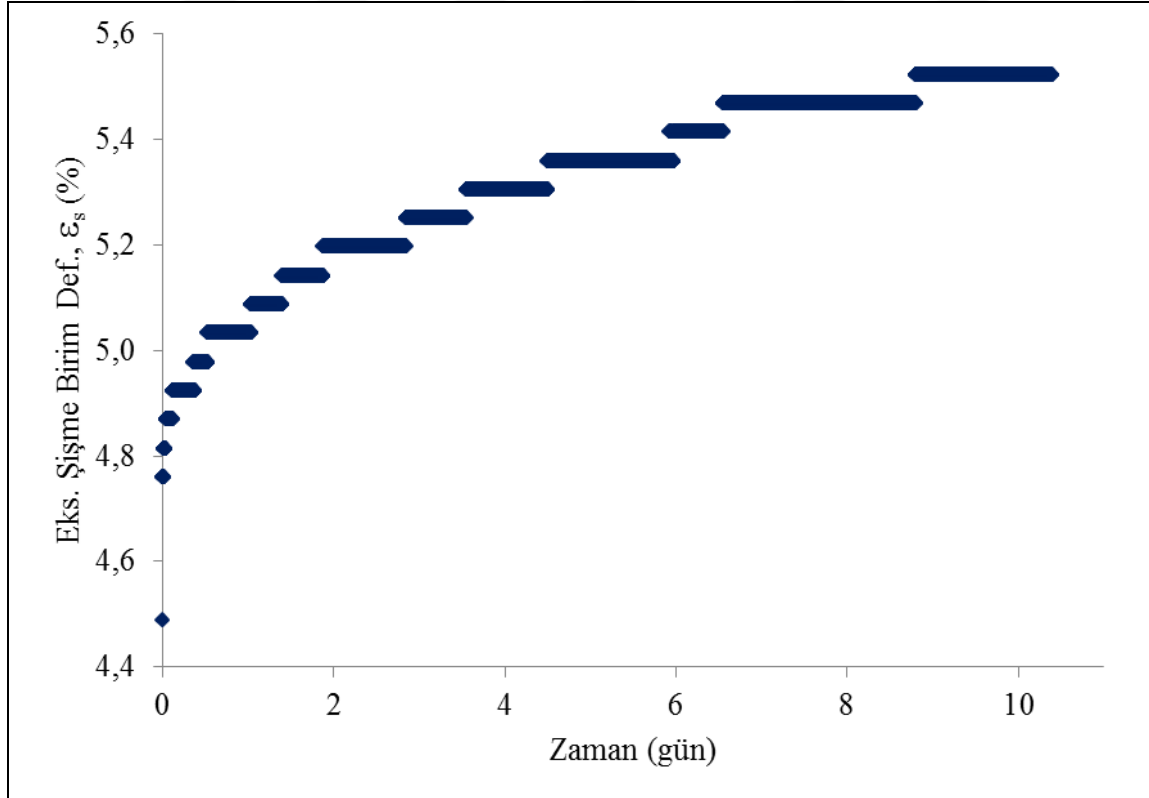
**Şekil E.1** Marn (M) örneğinin sabit hacimde eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



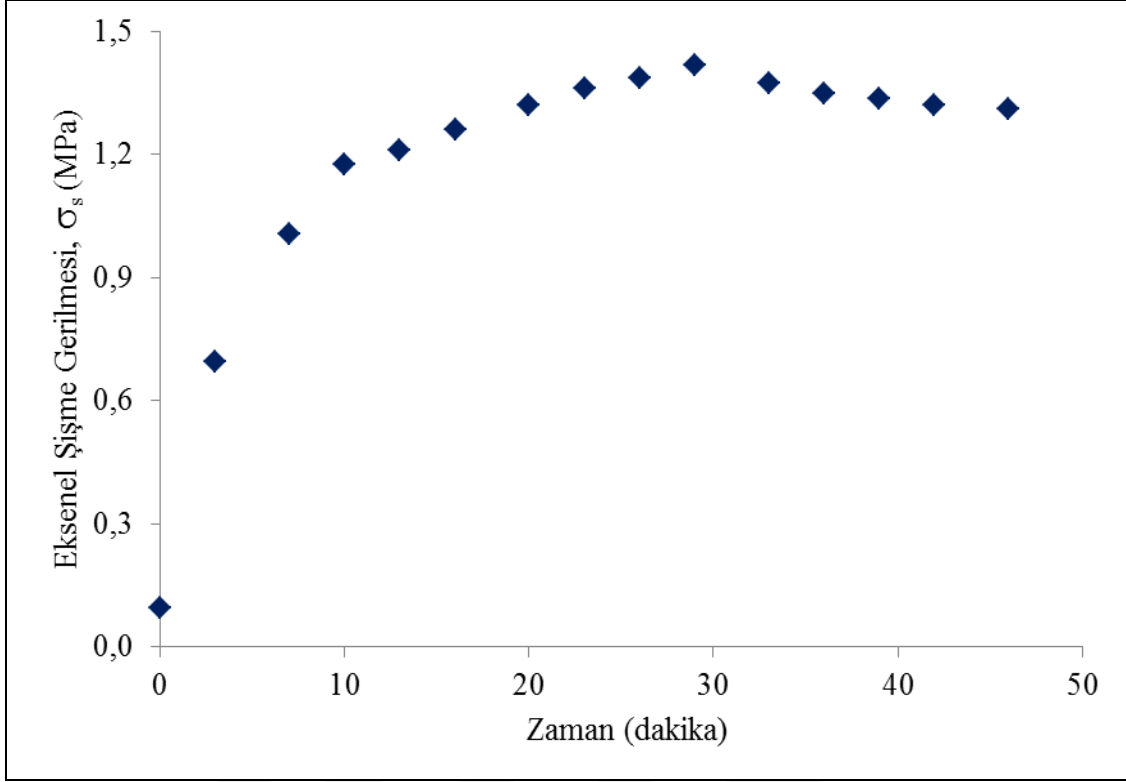
**Şekil E.2** Marn (M) örneğinin 2 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi



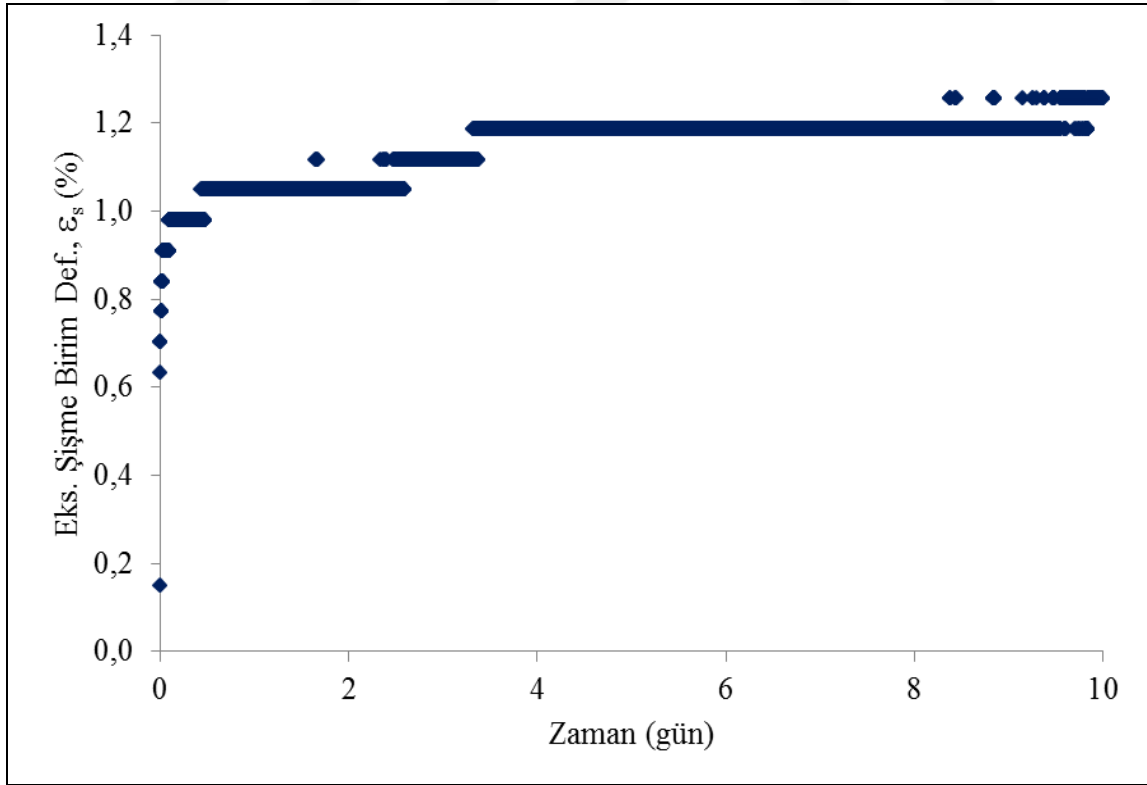
**Şekil E.3** Marn (M) örneğinin 0.5 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



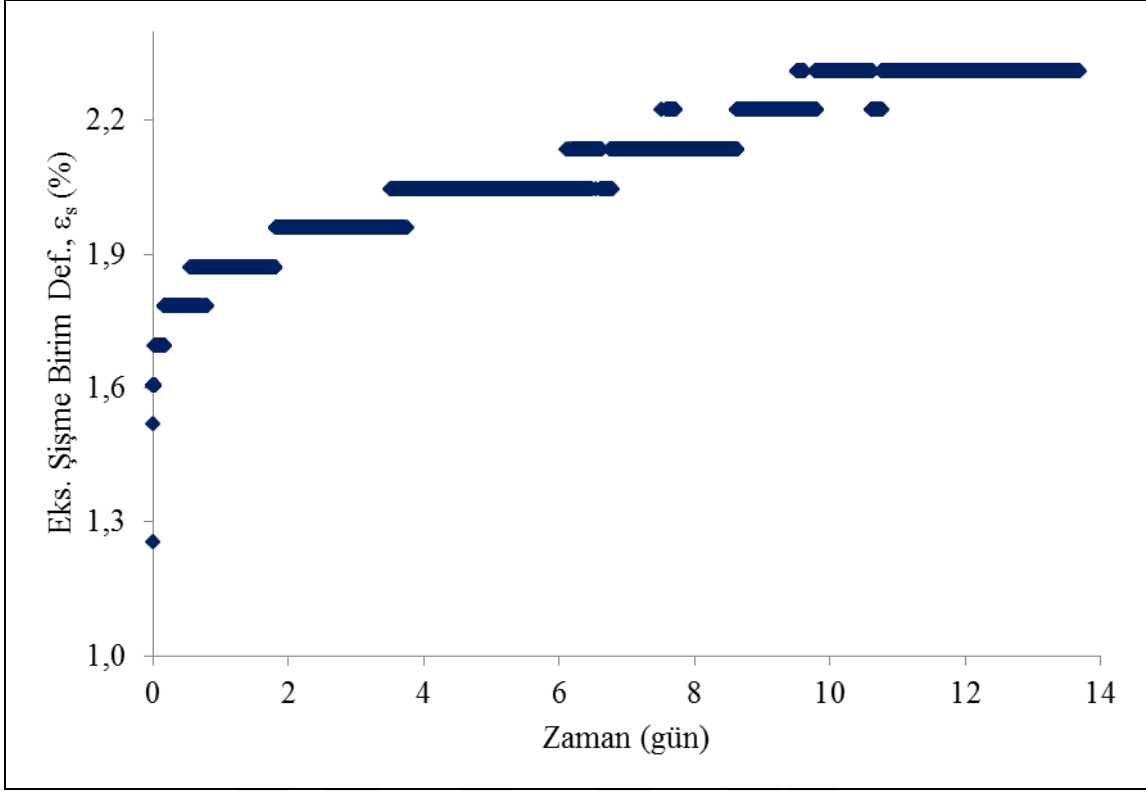
**Şekil E.4** Marn (M) örneğinin 0.25 MPa aksel şişme gerilmesi altında aksel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



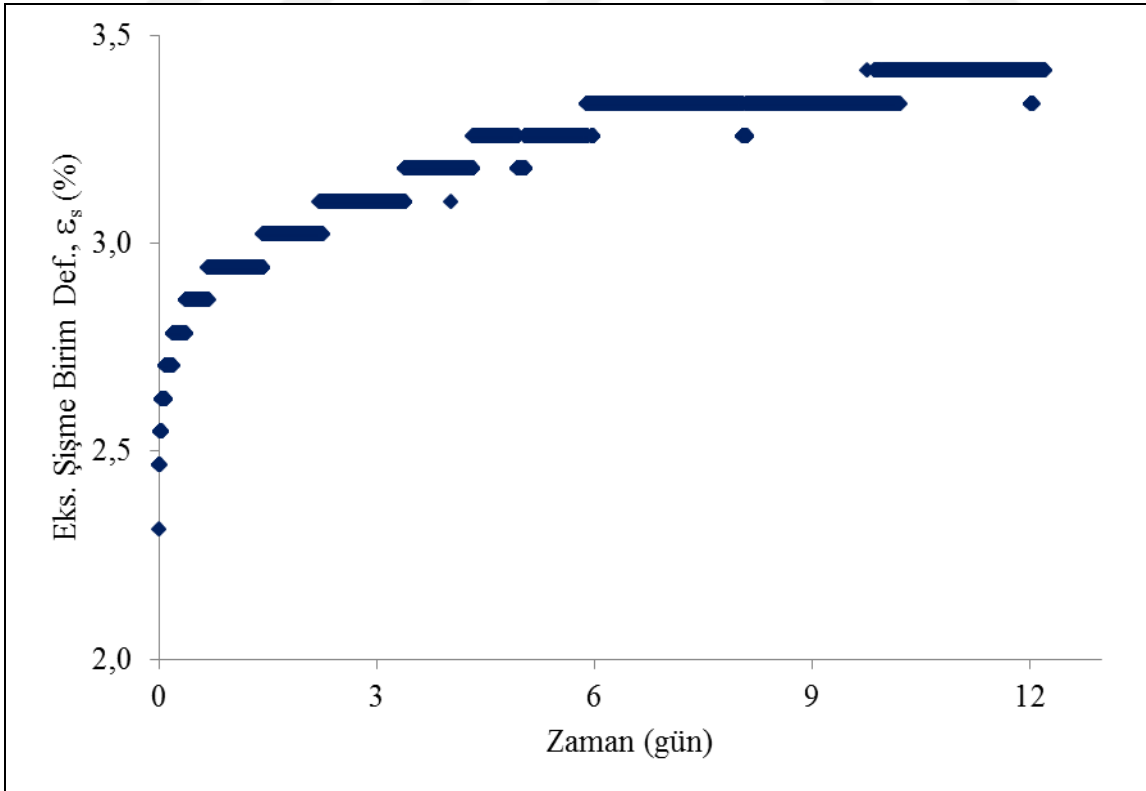
**Şekil E.5** Marn (M) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta aksenal şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



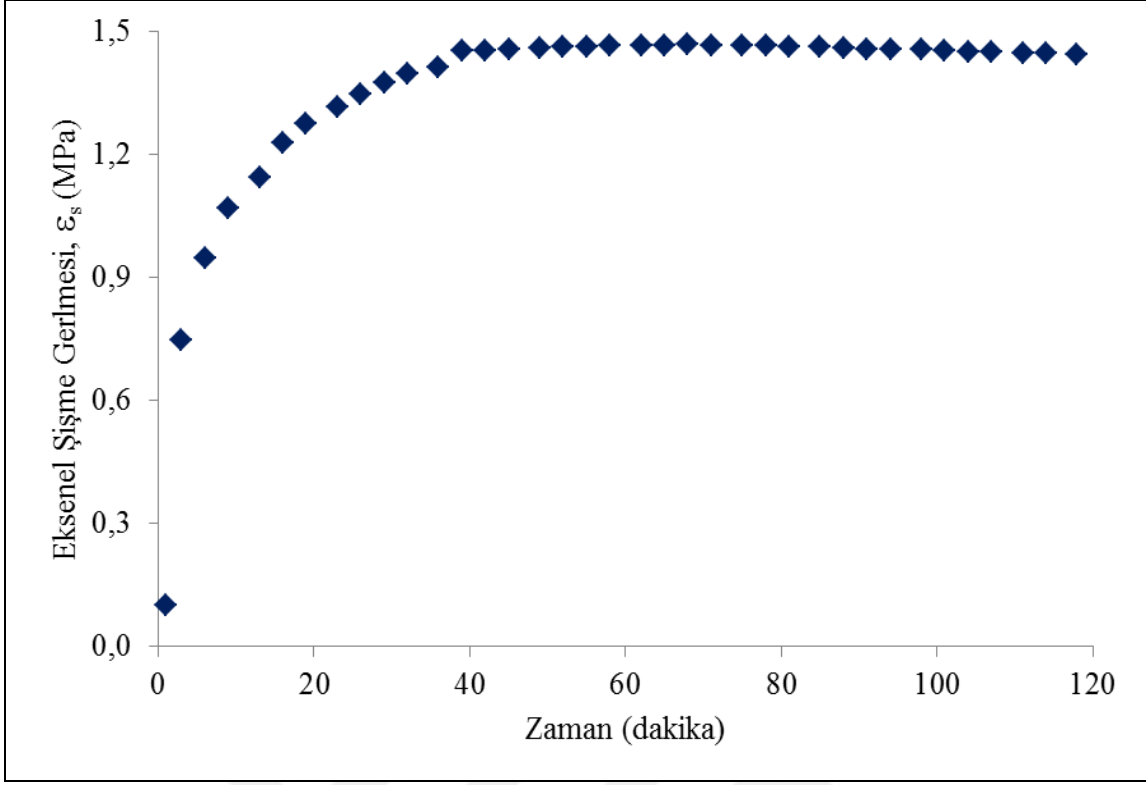
**Şekil E.6** Marn (M) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 1 MPa aksenal şişme gerilmesi altında aksenal şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



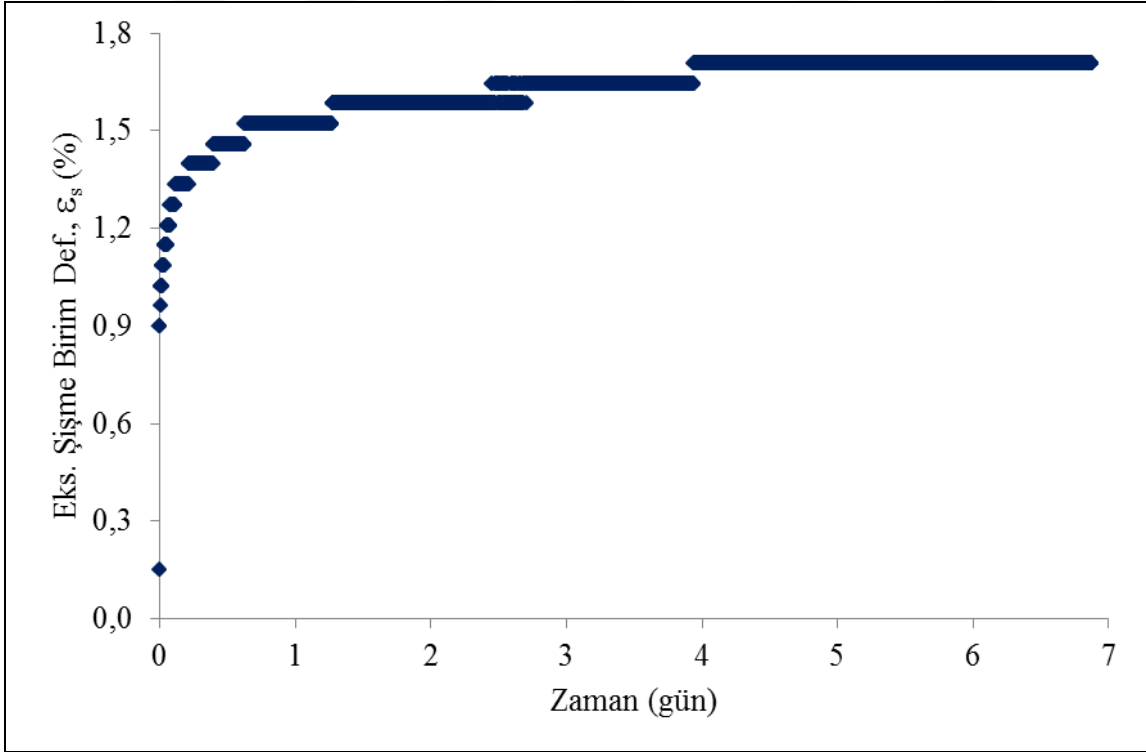
Şekil E.7 Marn (M) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



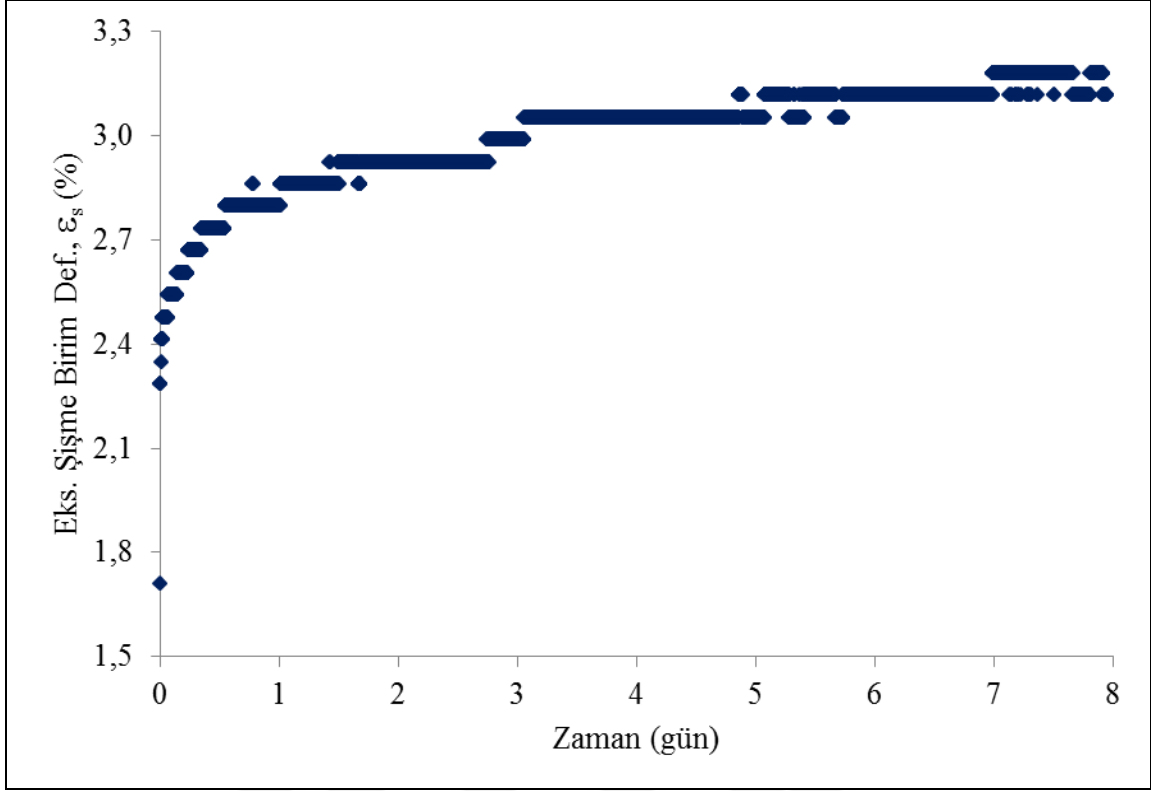
Şekil E.8 Marn (M) örneğinin 0.5 MPa yanal basınçta ve 0.25 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



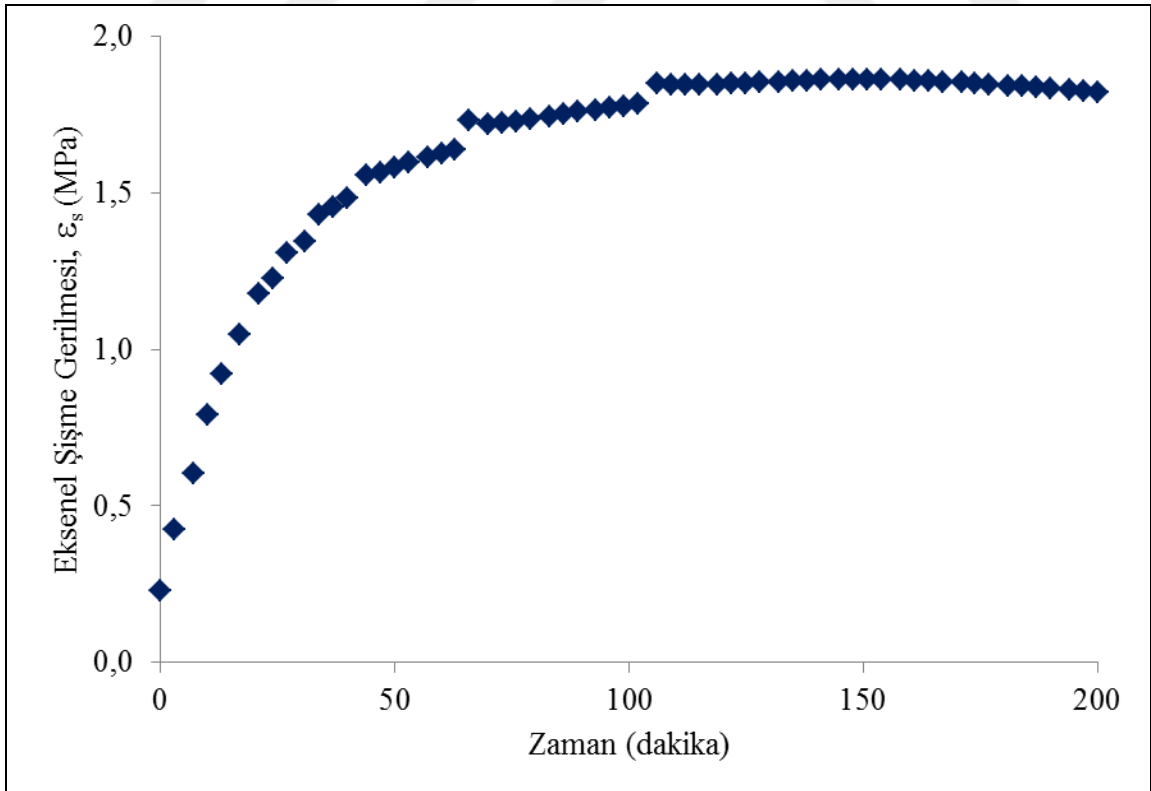
Şekil E.9 Marn (M) örneğinin 1 MPa yanal basınçta aksel şışme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



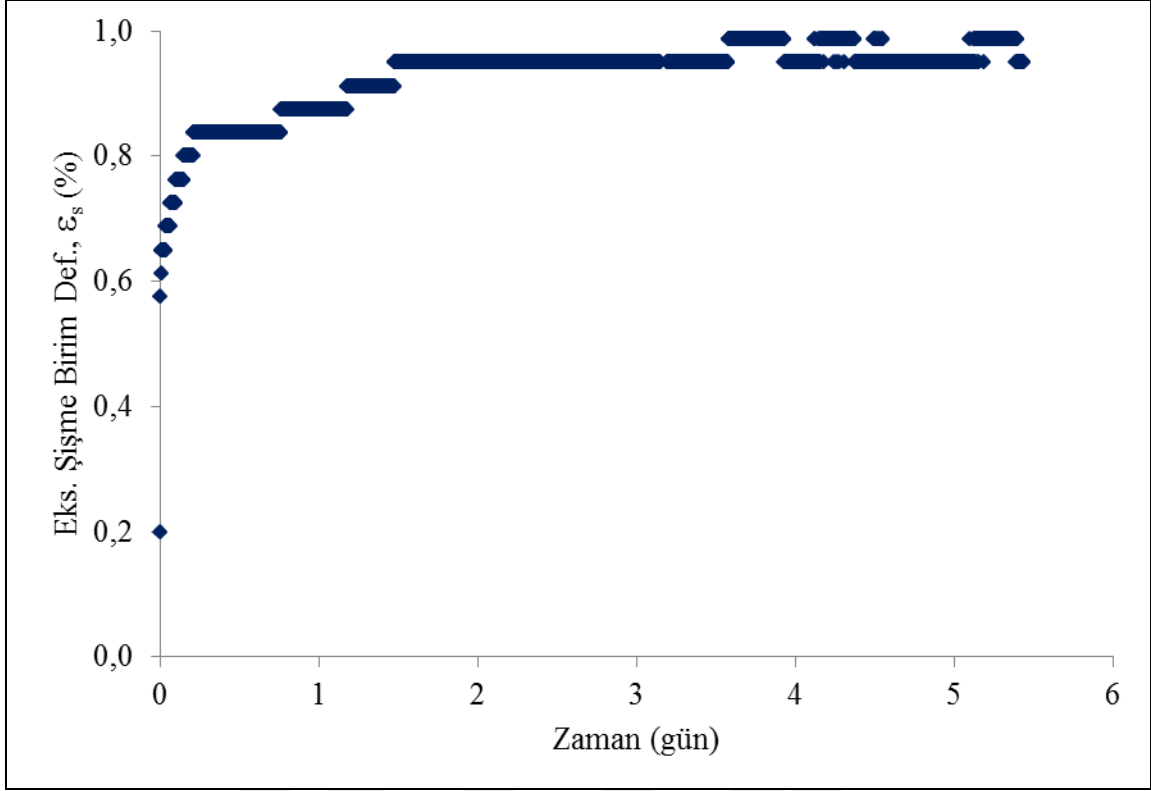
Şekil E.10 Marn (M) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 1 MPa aksel şışme gerilmesi altında aksel şışme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



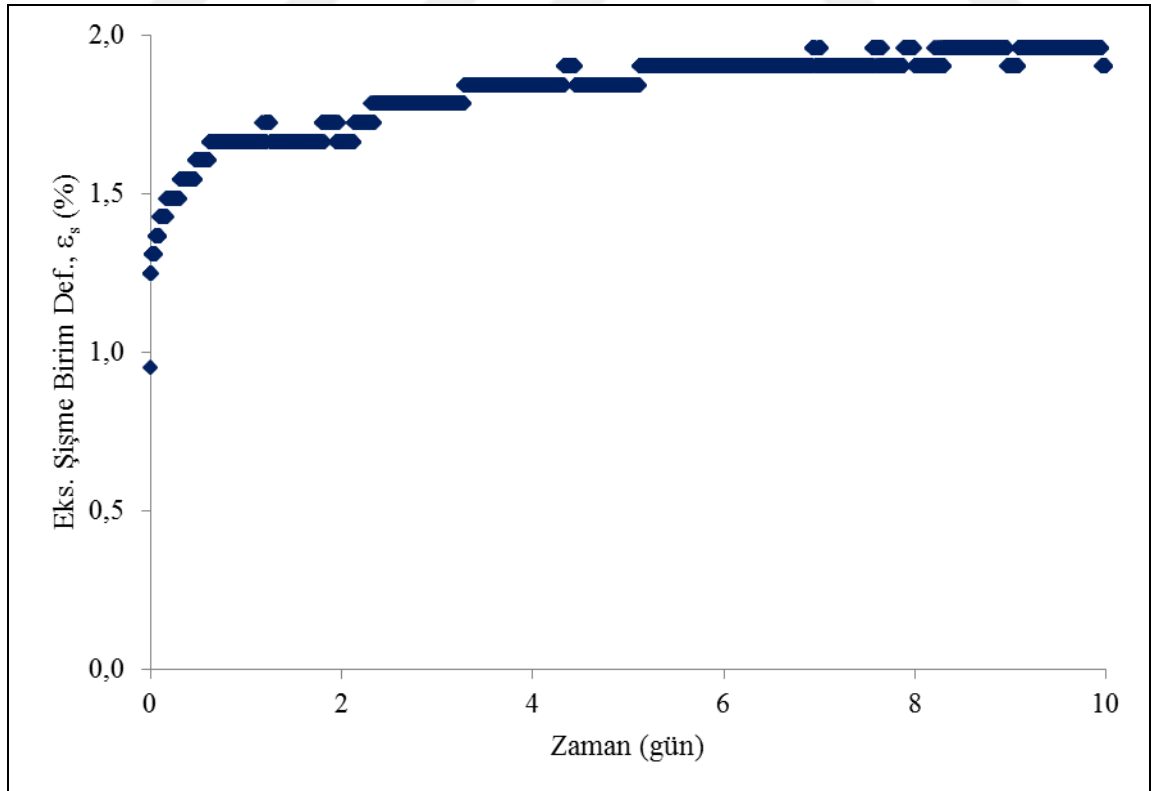
**Şekil E.11** Marn (M) örneğinin 1 MPa yanal basınçta ve 0.5 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.



**Şekil E.12** Marn (M) örneğinin 2 MPa yanal basınçta eksenel şişme gerilmesinin ( $\sigma_s$ ) zamana göre değişimi.



**Şekil E.13** Marn (M) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1.52 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

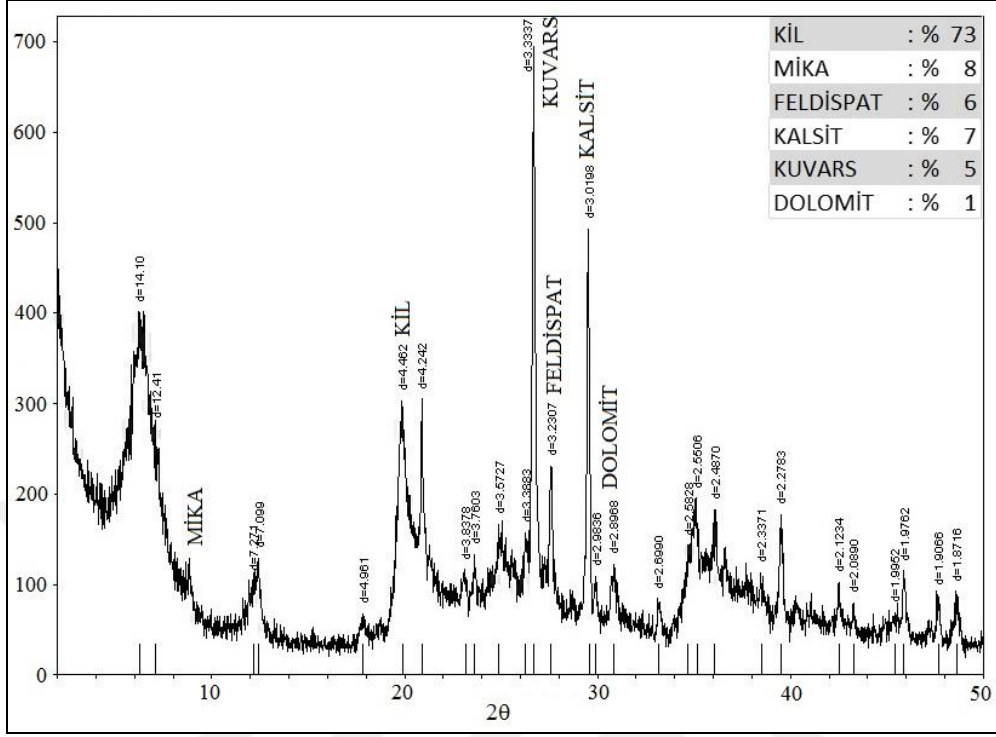


**Şekil E.14** Marn (M) örneğinin 2 MPa yanal basınçta ve 1.13 MPa eksenel şişme gerilmesi altında eksenel şişme birim deformasyonunun ( $\epsilon_s$ ) zamanla değişimi.

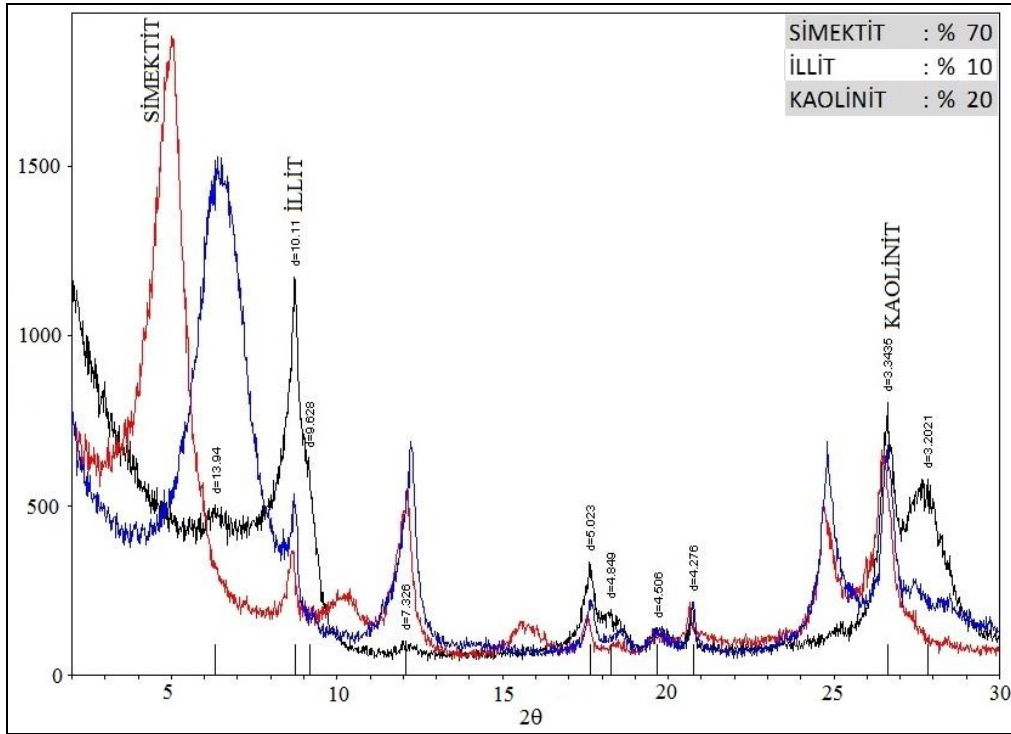




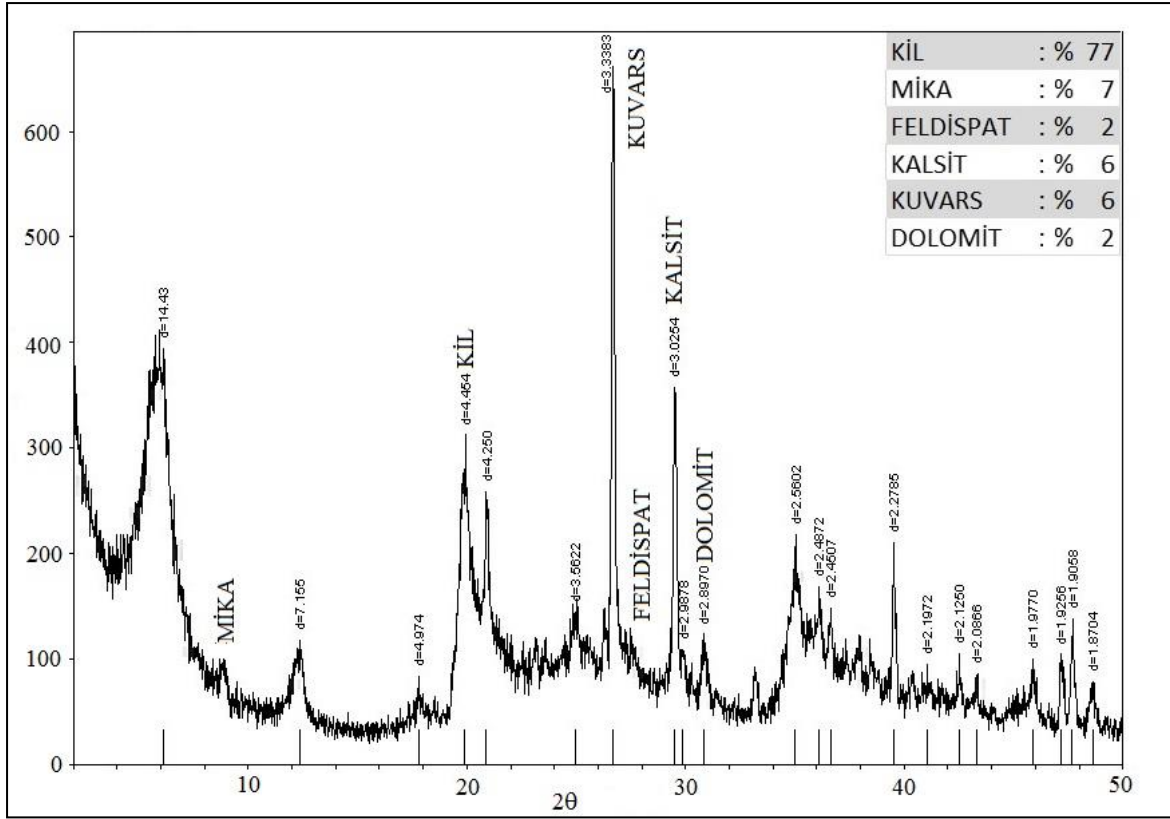
**EK F: Kıltaşı 1 (CS1), Kıltaşı 2 (CS2), Kıltaşı 3 (CS3), Killi Kireçtaşı (CLS) Ve Marn (M) Örneklerinin Tüm Kayaç Ve Kil Fraksiyonları X-Işınları Difraktogramları.**



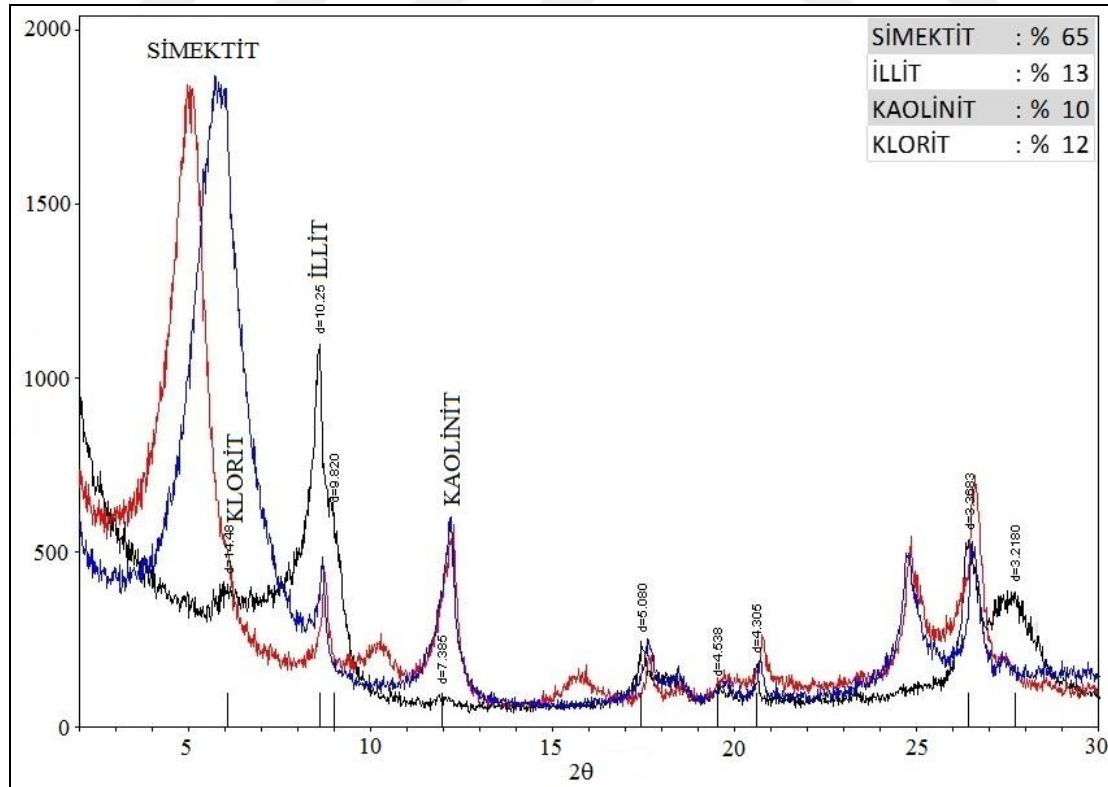
**Şekil F.1** Tek eksenli şişme deneyindeki CS1 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



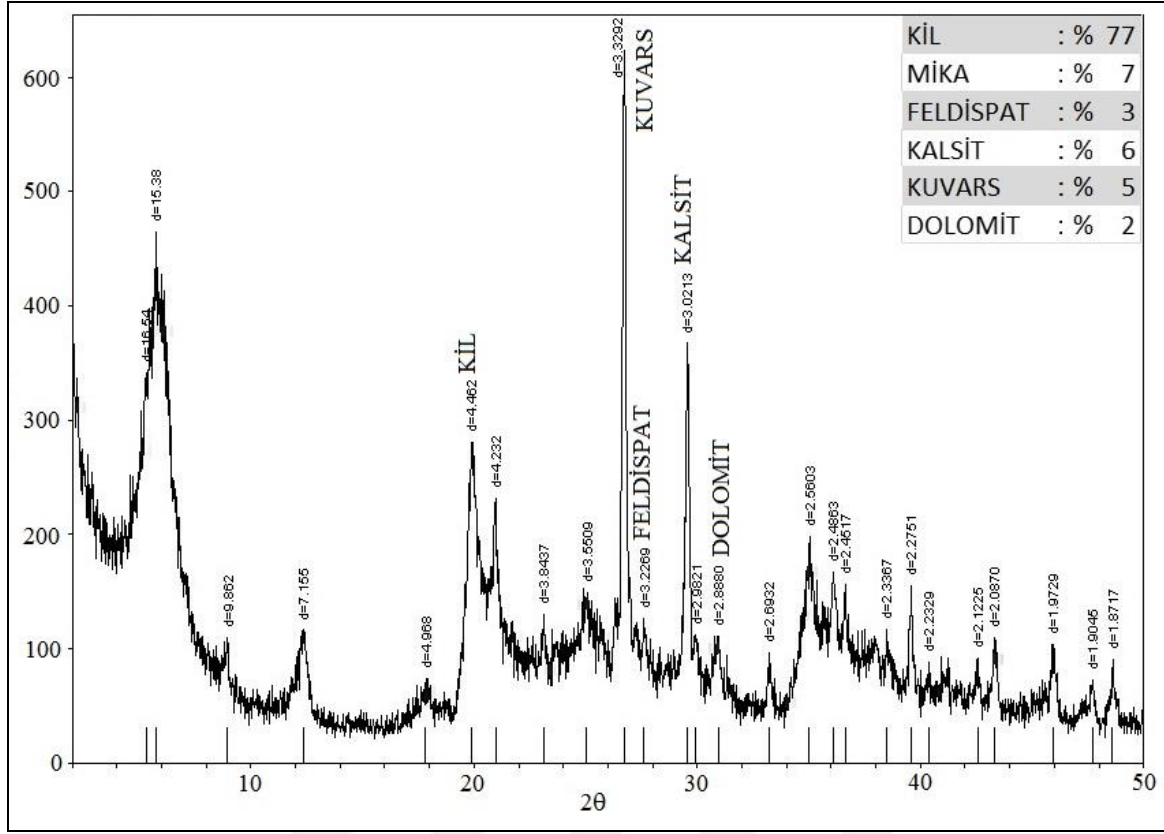
**Şekil F.2** Tek eksenli şişme deneyindeki CS1 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



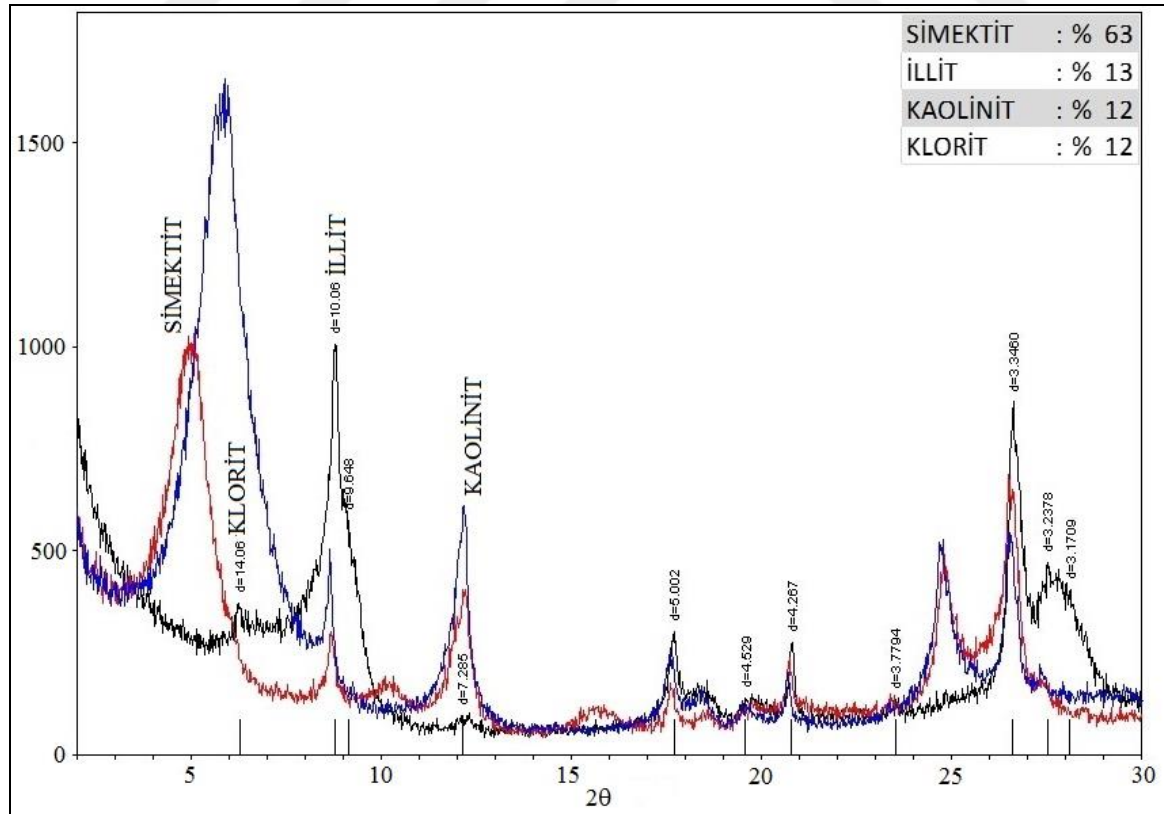
Şekil F.3 0.5 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



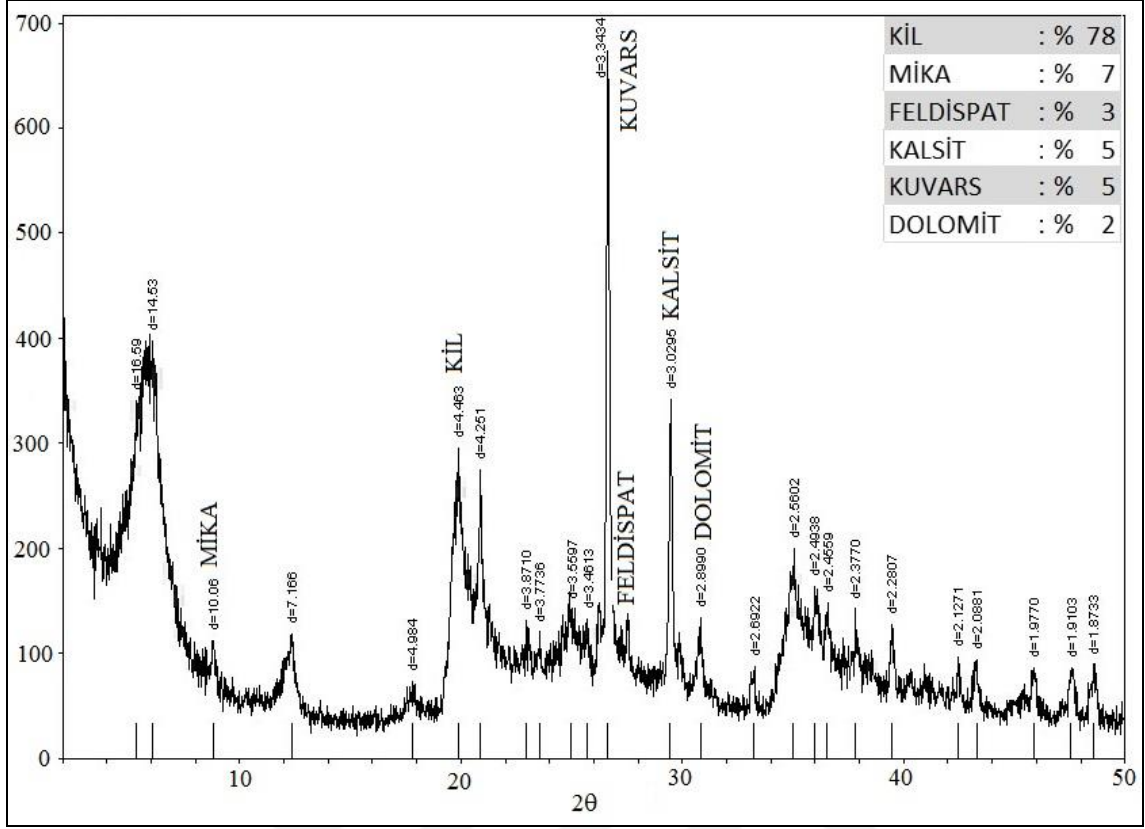
Şekil F.4 0.5 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



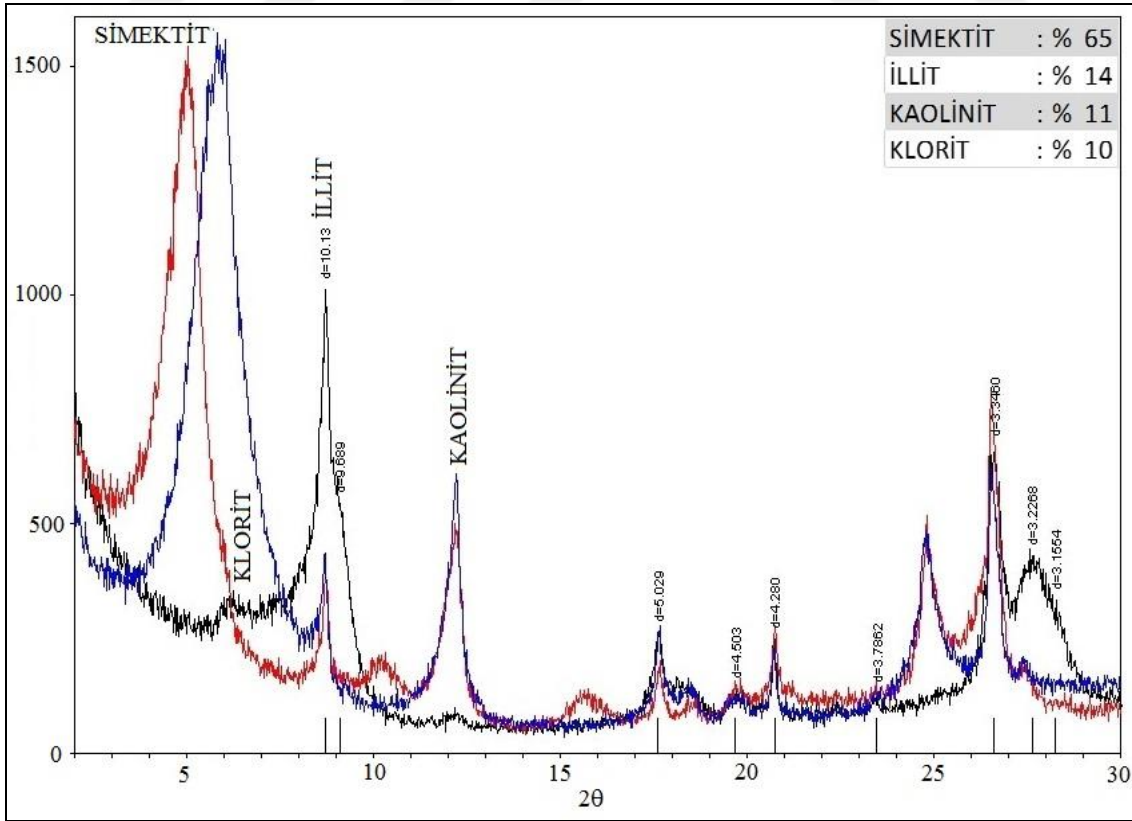
Şekil F.5 1 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



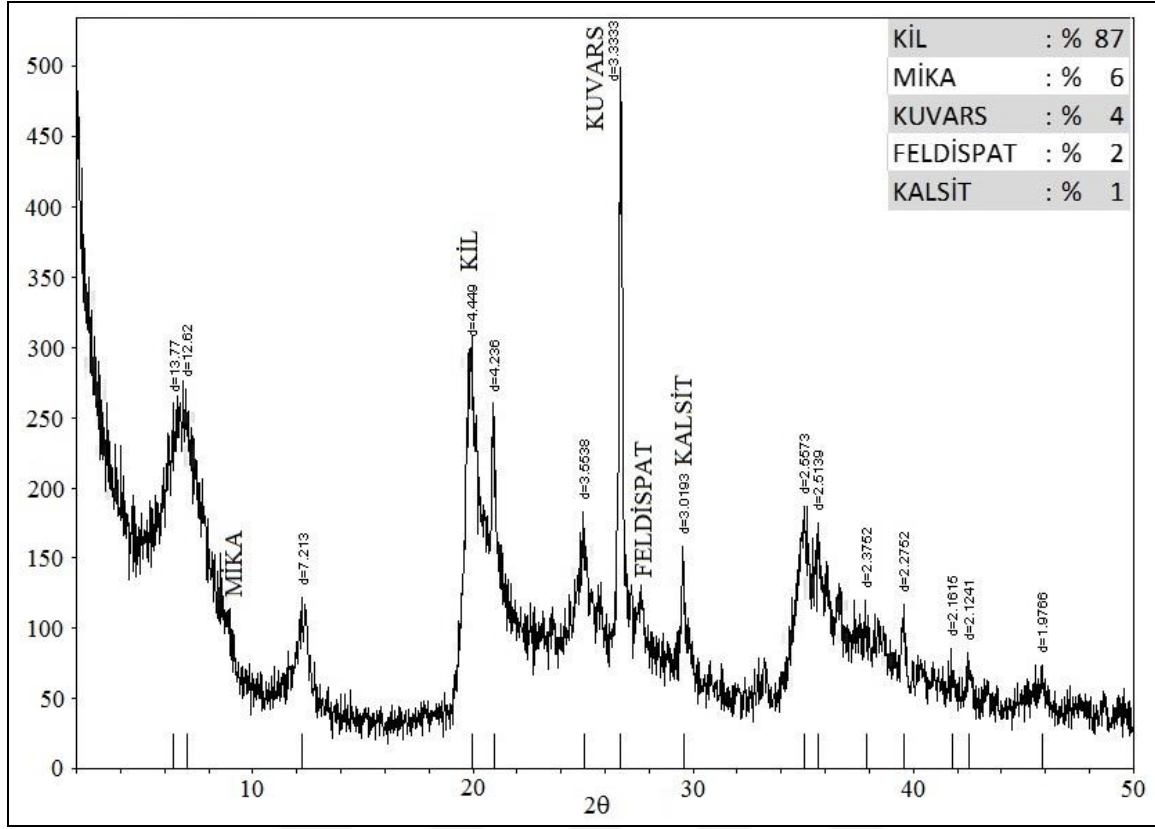
Şekil F.6 1 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



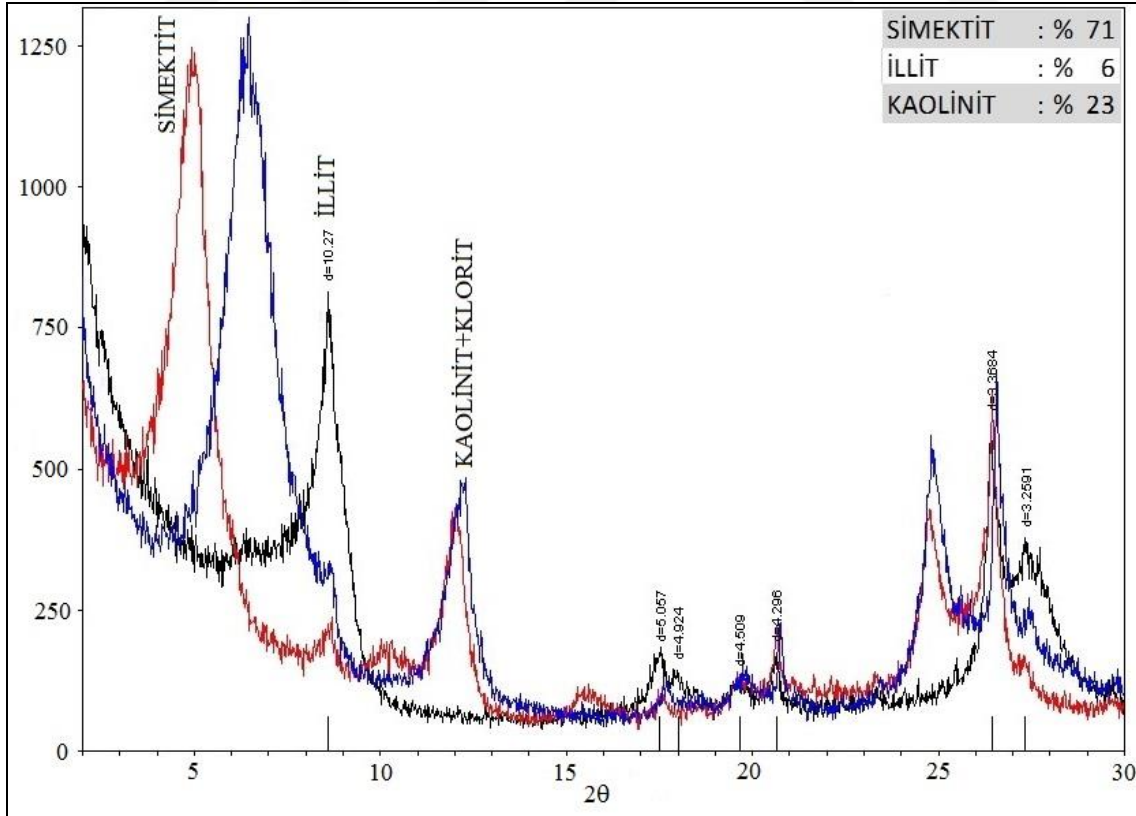
Şekil F.7 2 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



Şekil F.8 2 MPa yanal basınçtaki CS1 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

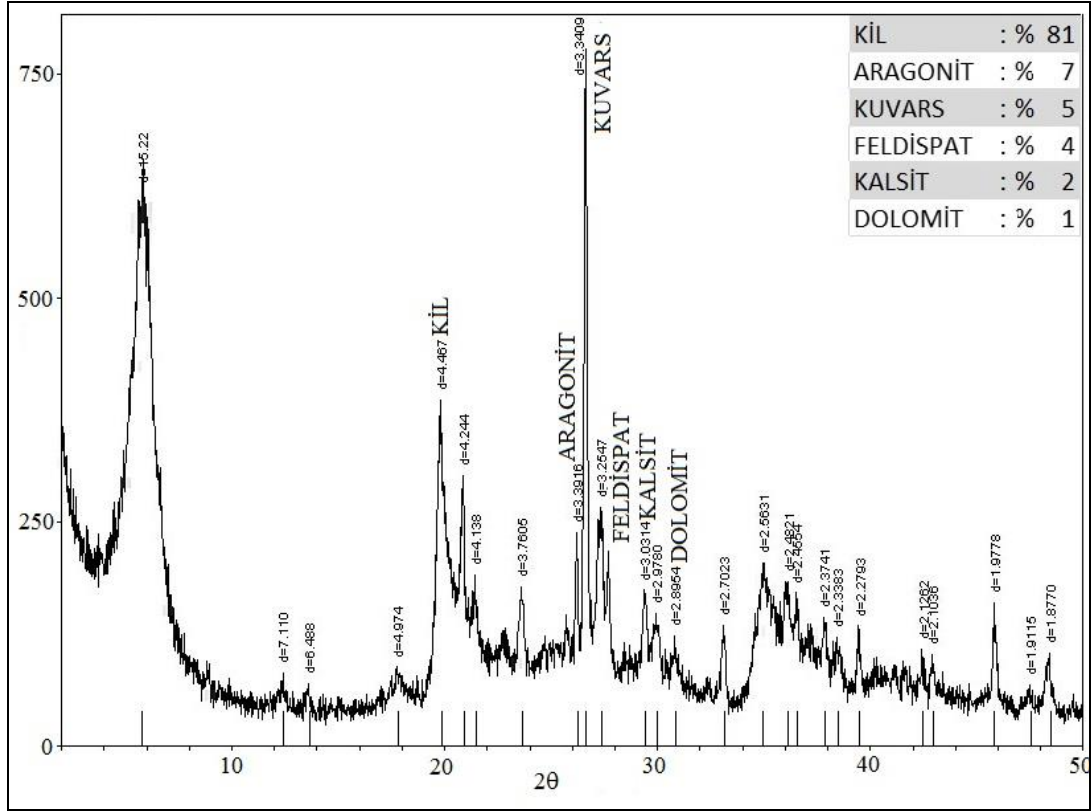


Şekil F.9 Tek eksenli şişme deneyindeki CS2 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.

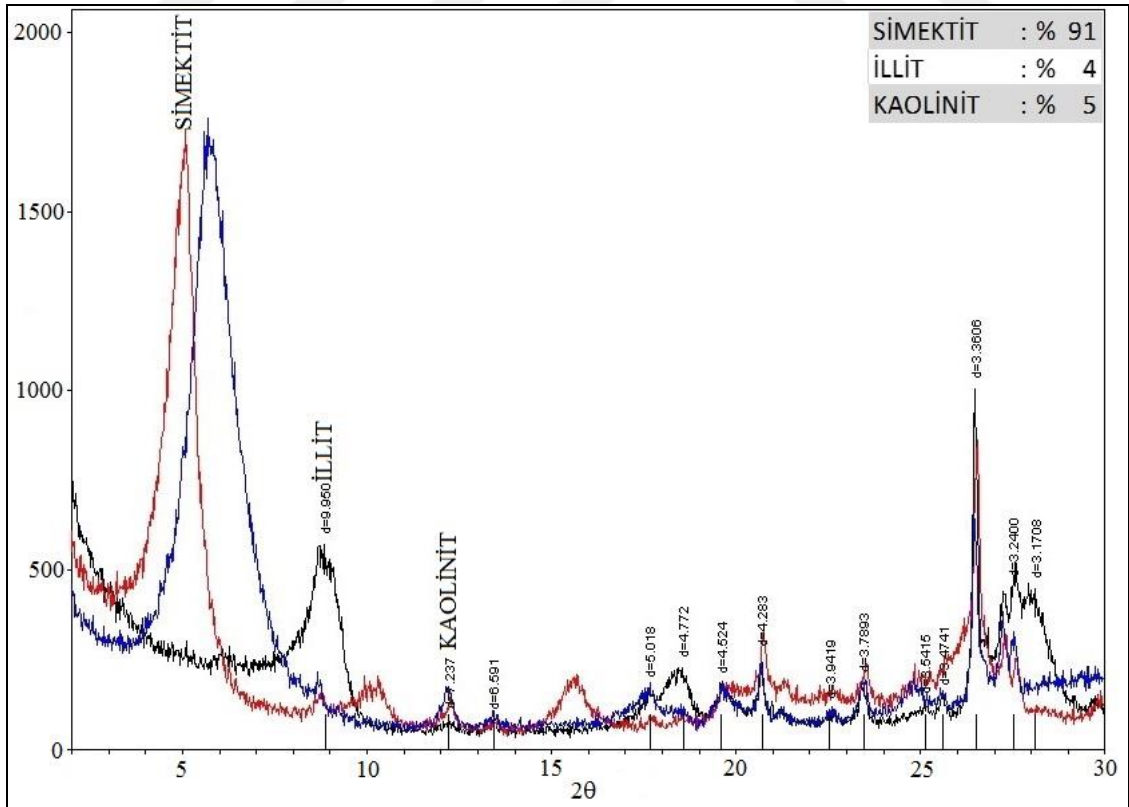


Şekil F.10 Tek eksenli şişme deneyindeki CS2 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

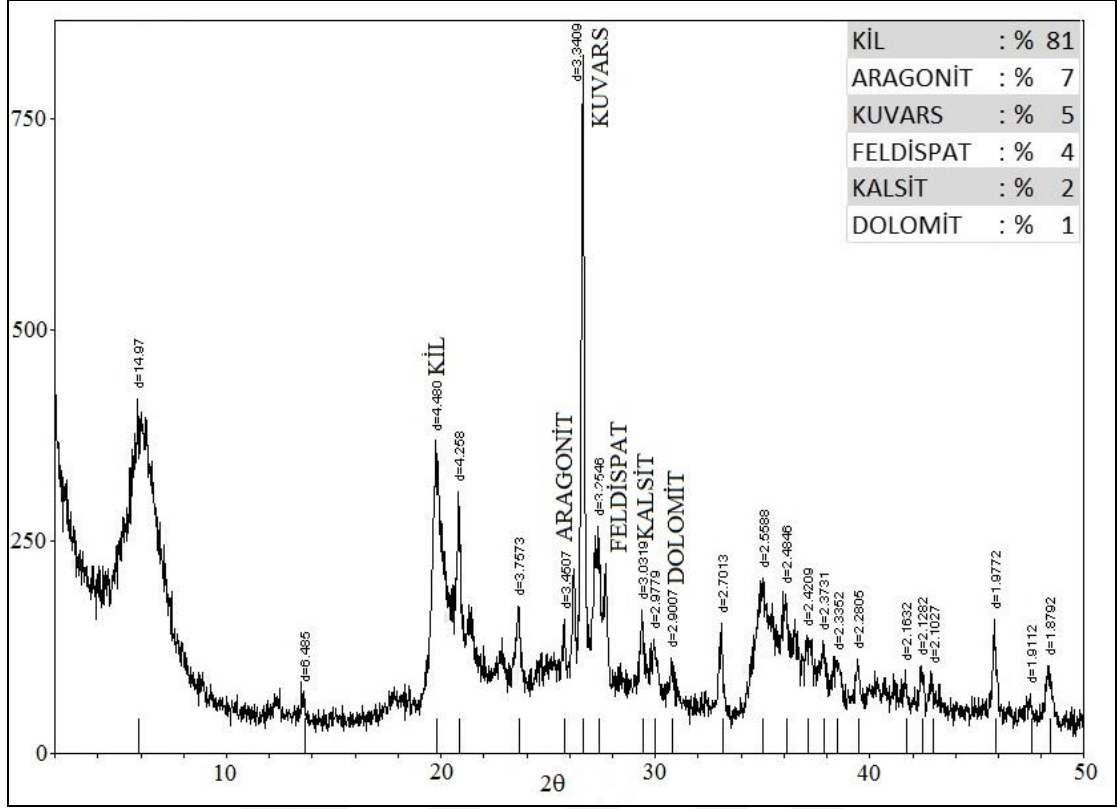




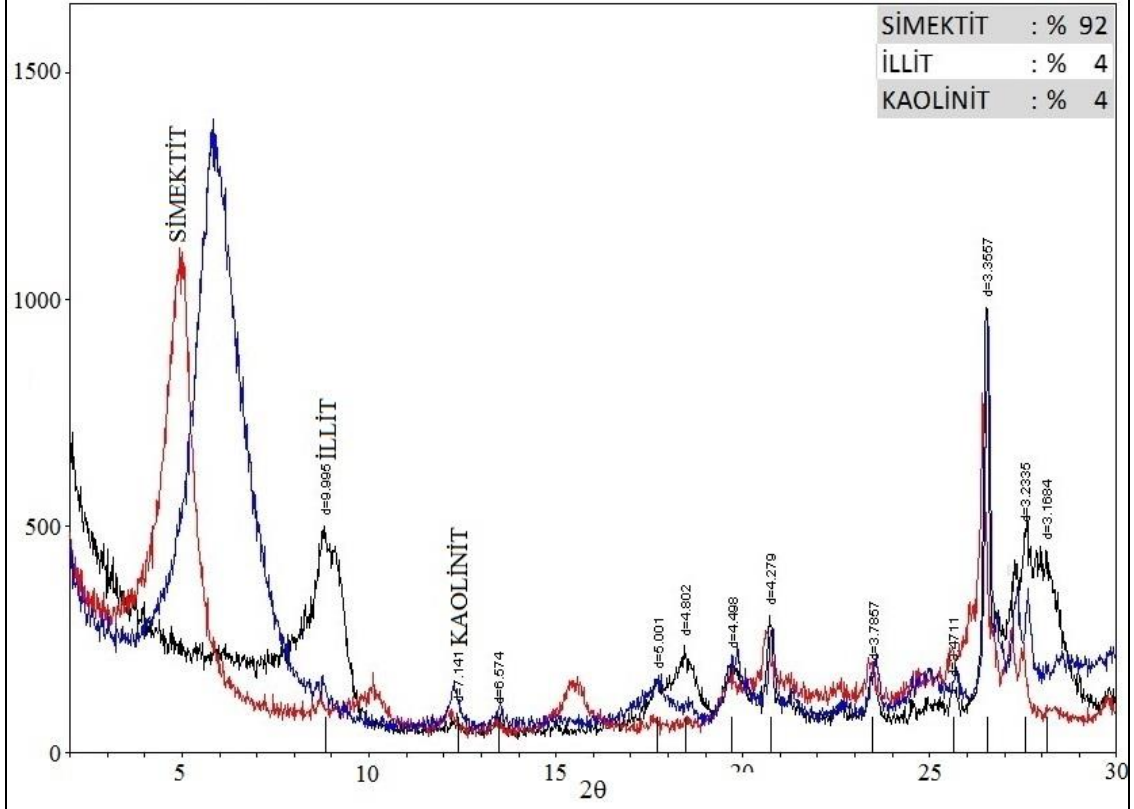
Şekil F.11 Tek eksenli şişme deneyindeki CS2 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



Şekil F.12 Tek eksenli şişme deneyindeki CS2 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

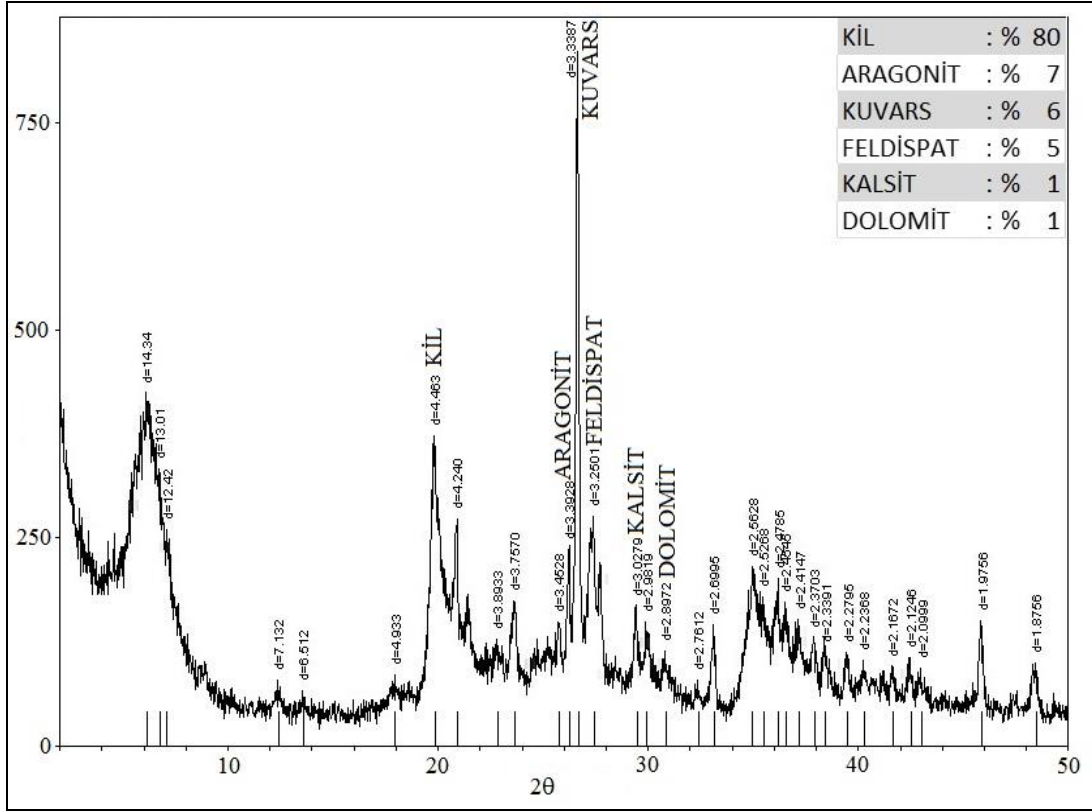


Şekil F.13 0.5 MPa yanıl basınçtaki CS3 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.

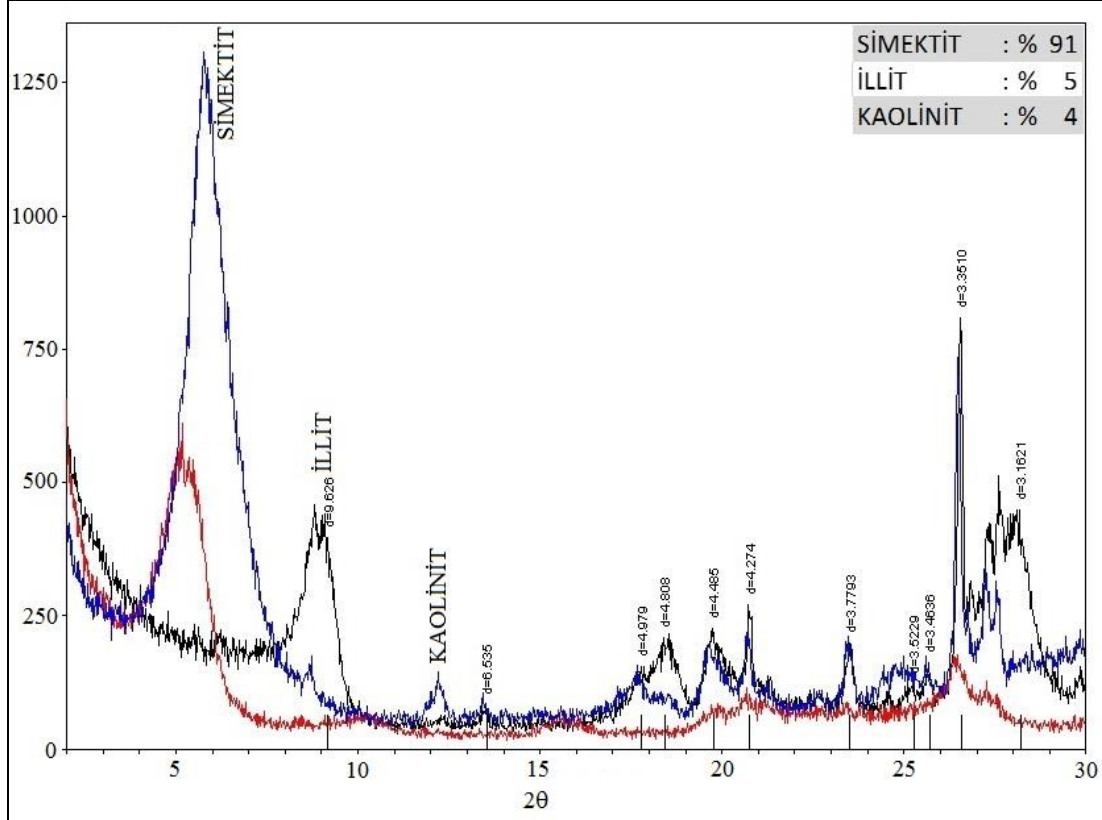


Şekil F.14 0.5 MPa yanıl basınçtaki CS3 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

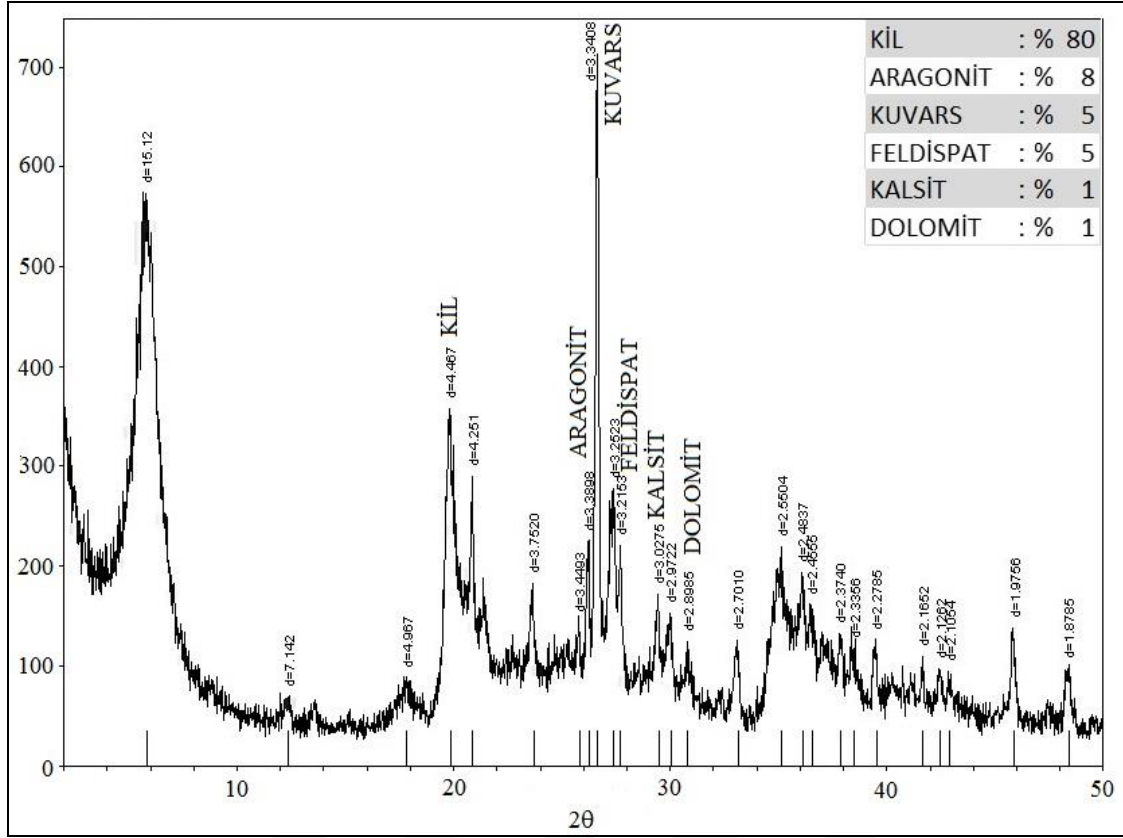




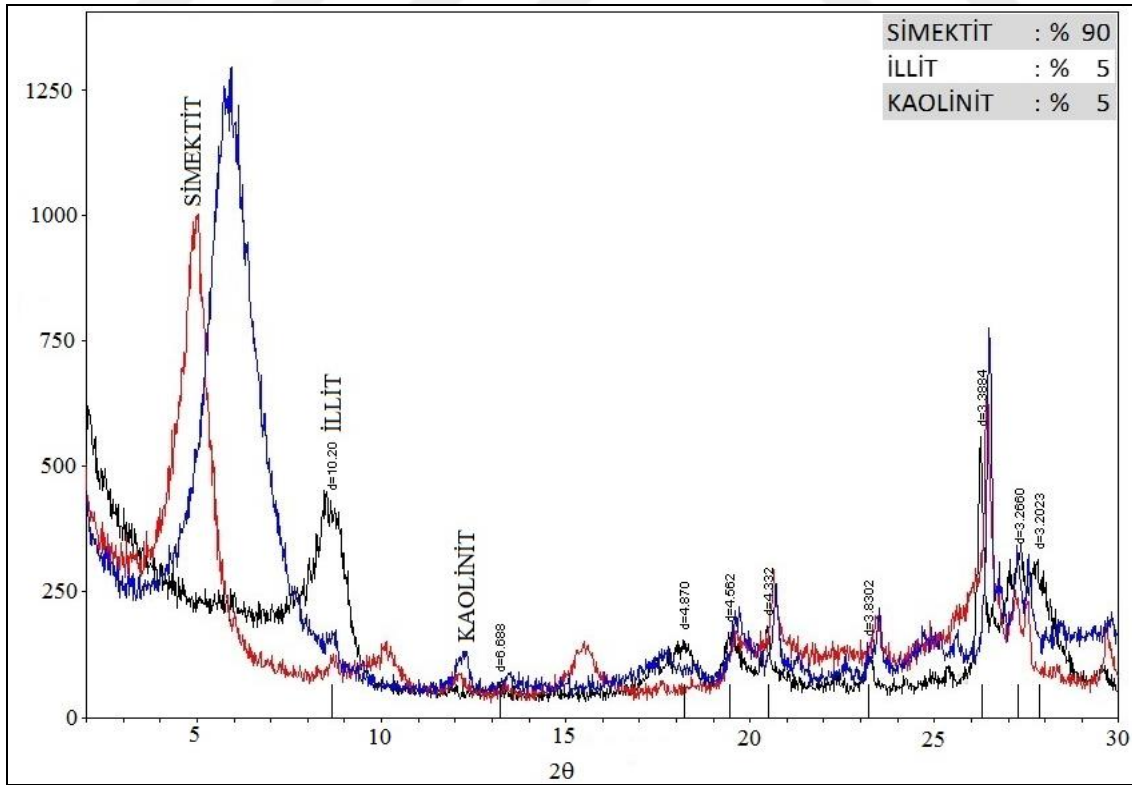
Şekil F.15 1 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



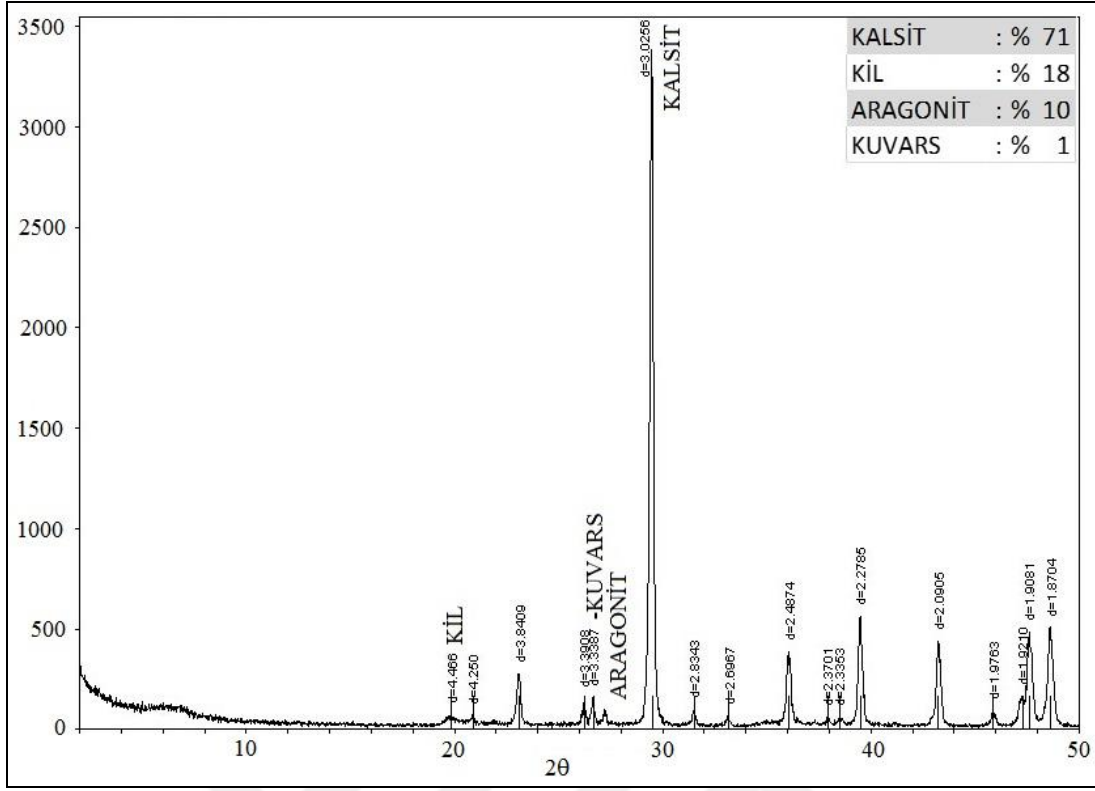
Şekil F.16 1 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



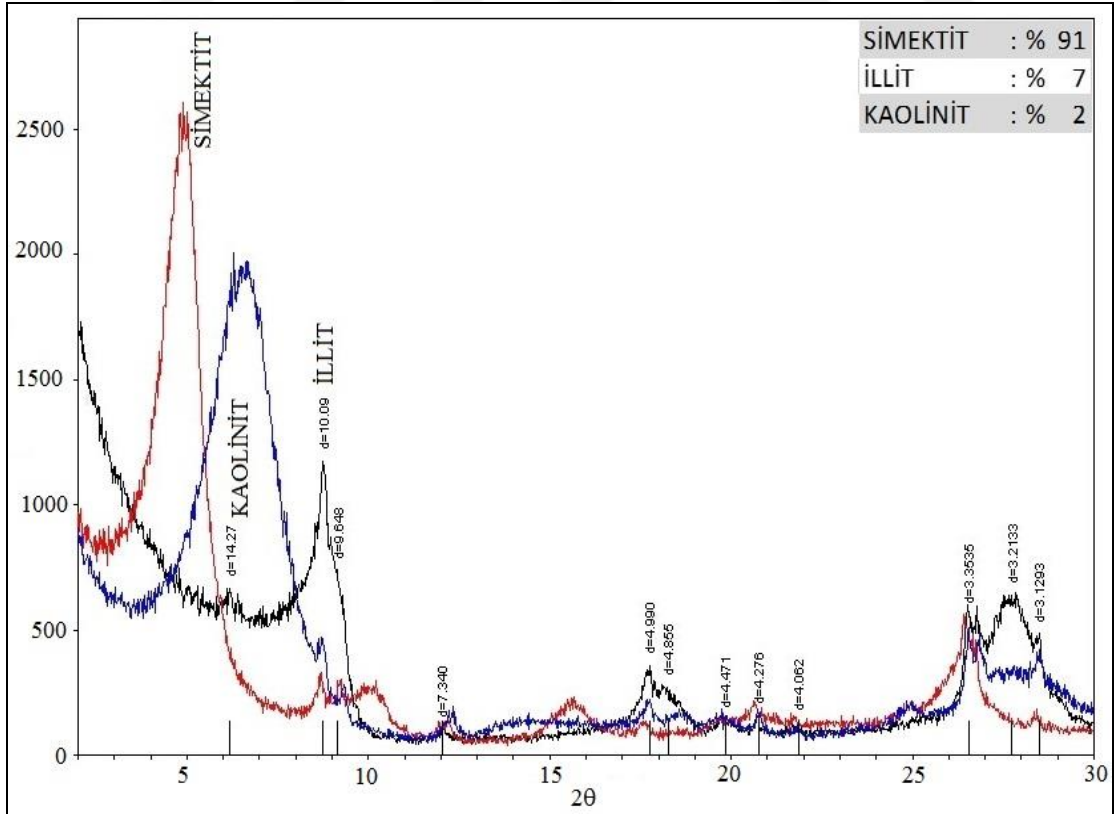
Şekil F.17 2 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



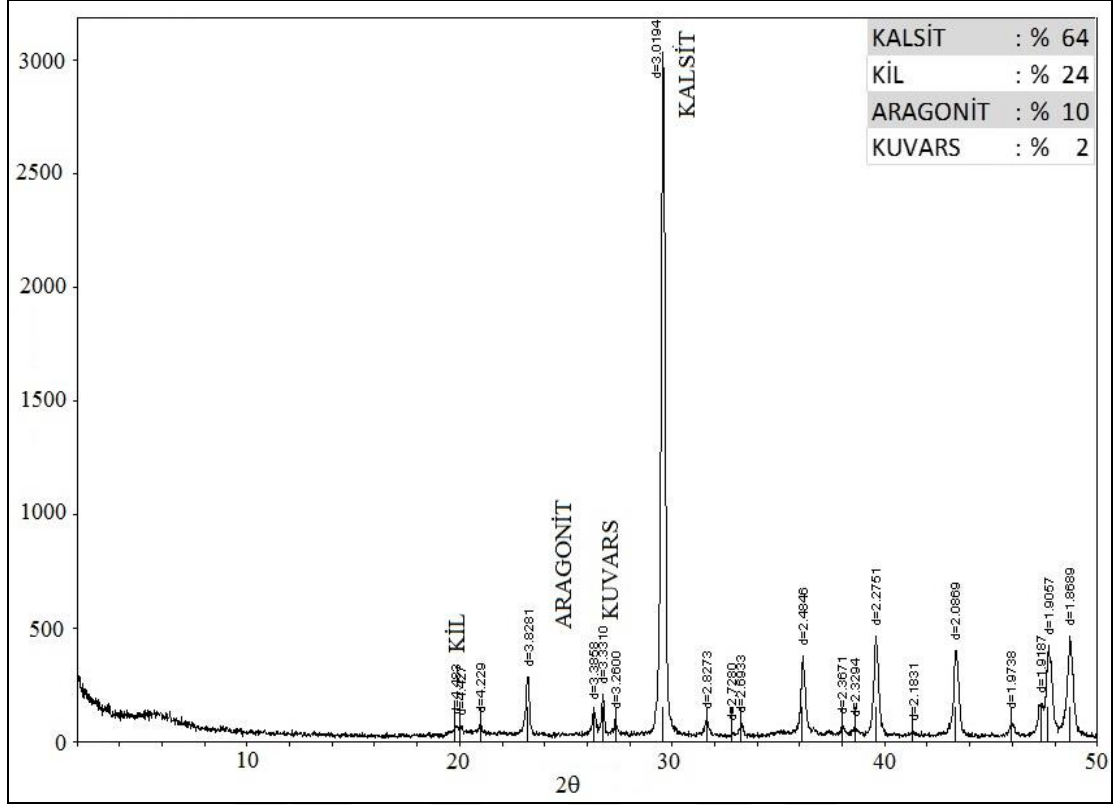
Şekil F.18 2 MPa yanal basınçtaki CS3 örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



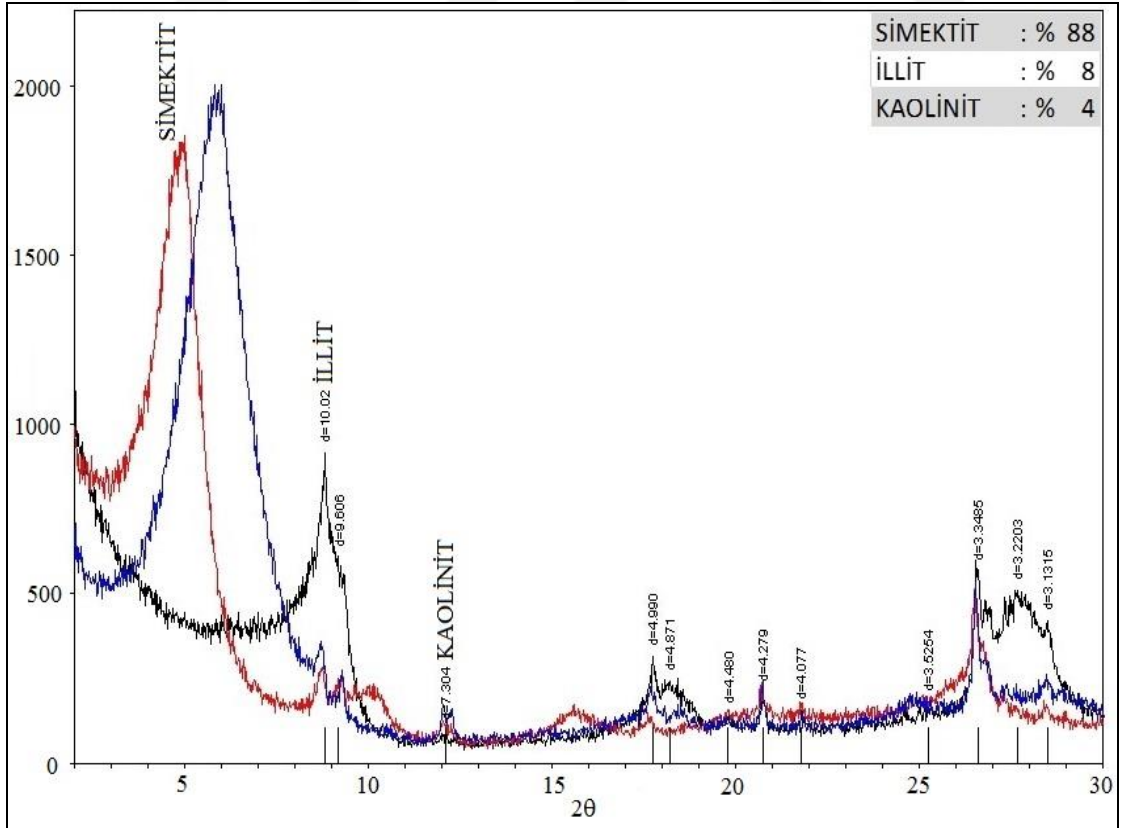
Şekil F.19 Tek eksenli şişme deneyindeki CLS örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



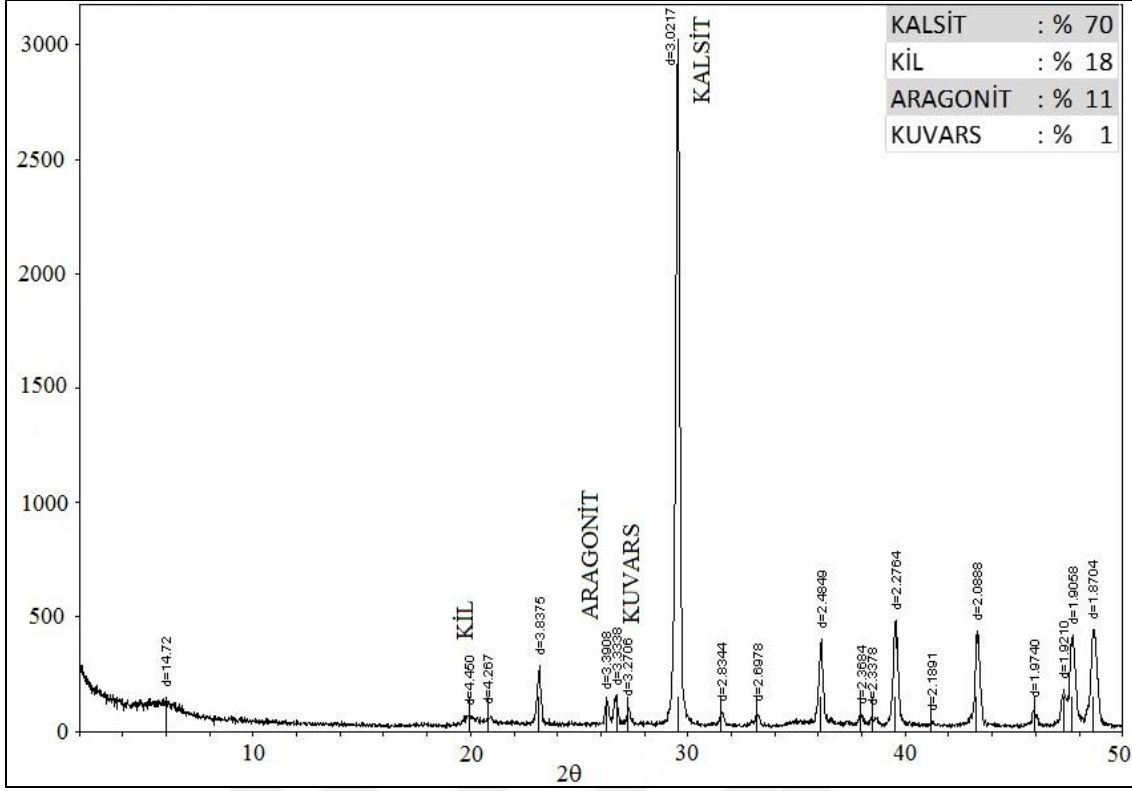
Şekil F.20 Tek eksenli şişme deneyindeki CLS örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



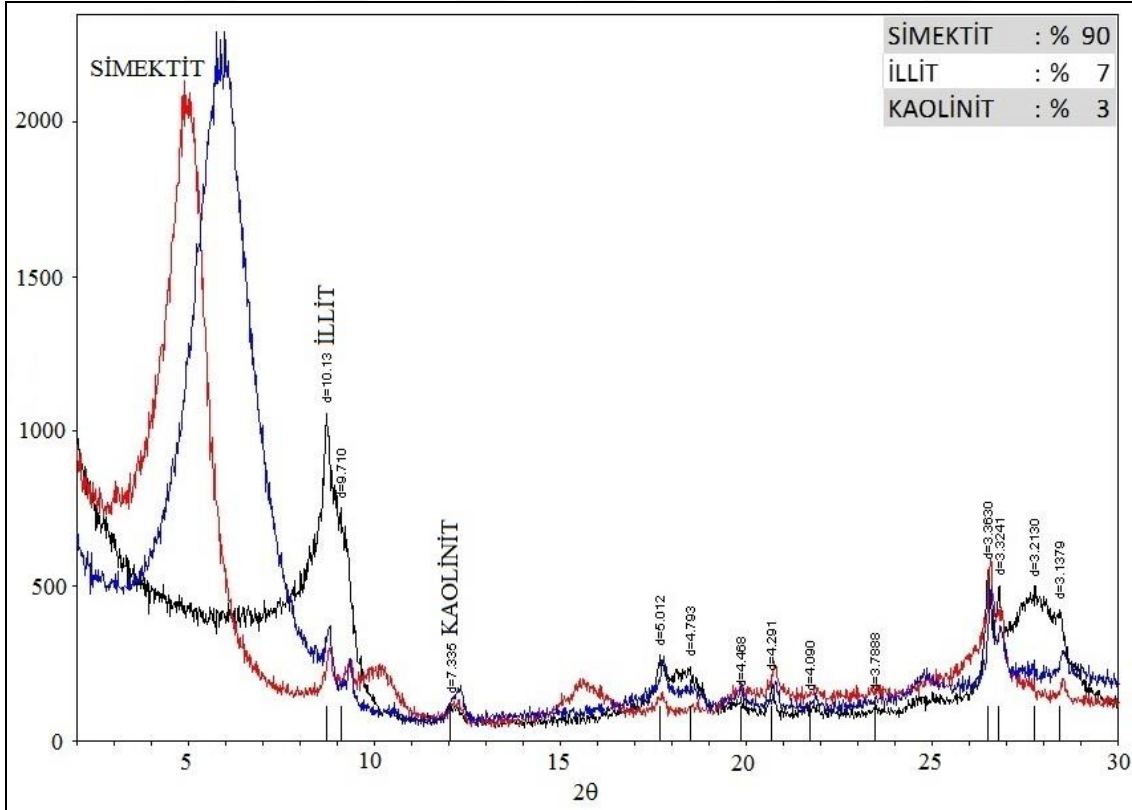
Şekil F.21 0.5 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



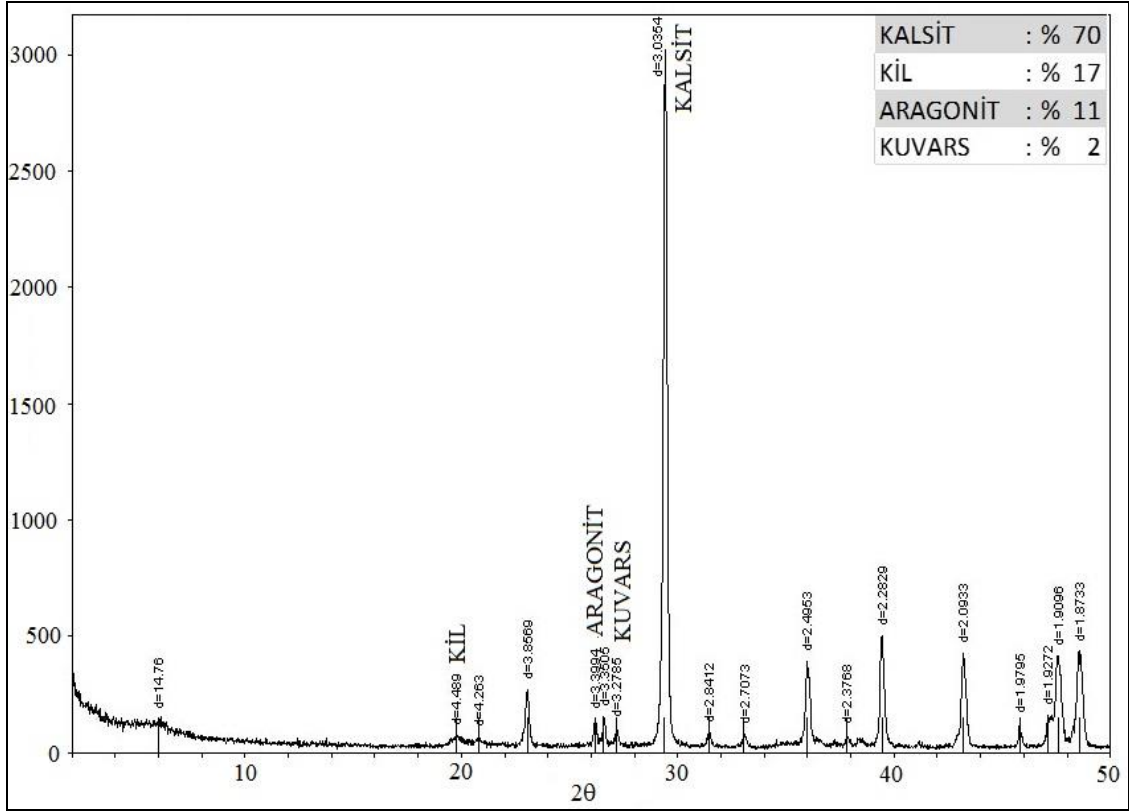
Şekil F.22 0.5 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



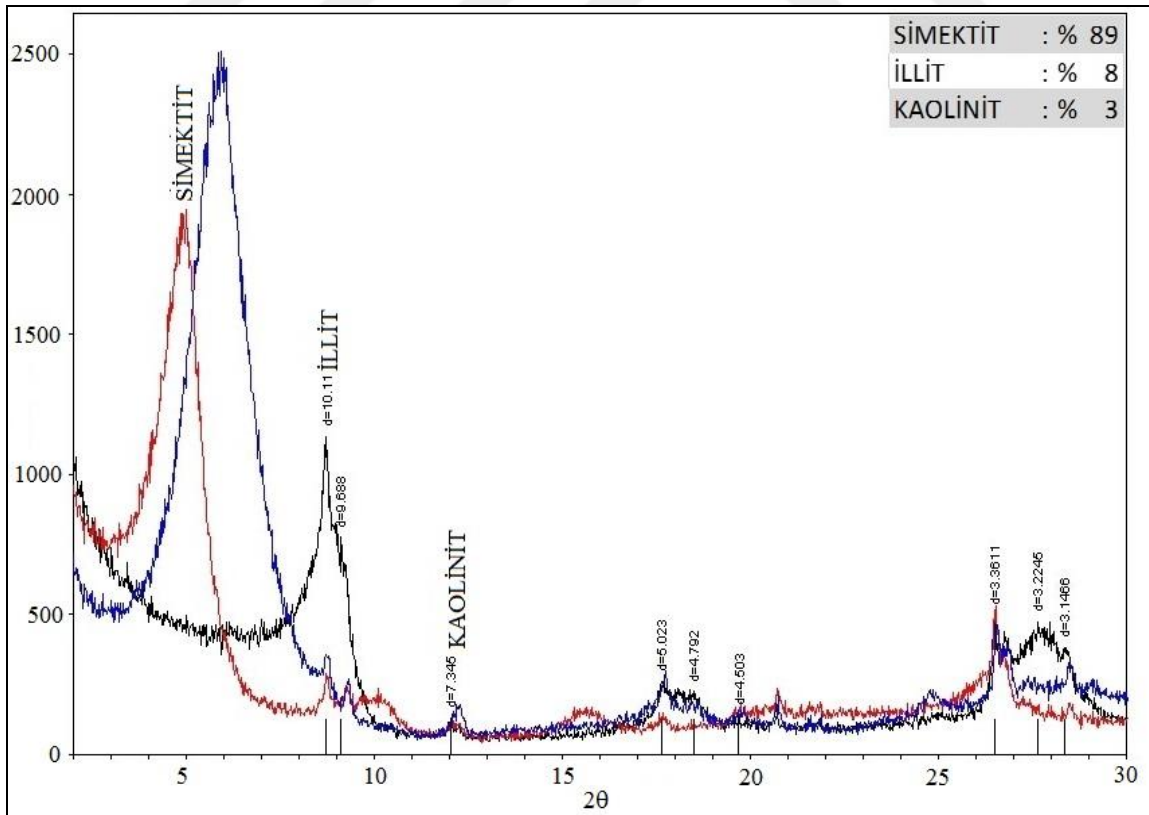
Şekil F.23 1 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



Şekil F.24 1 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

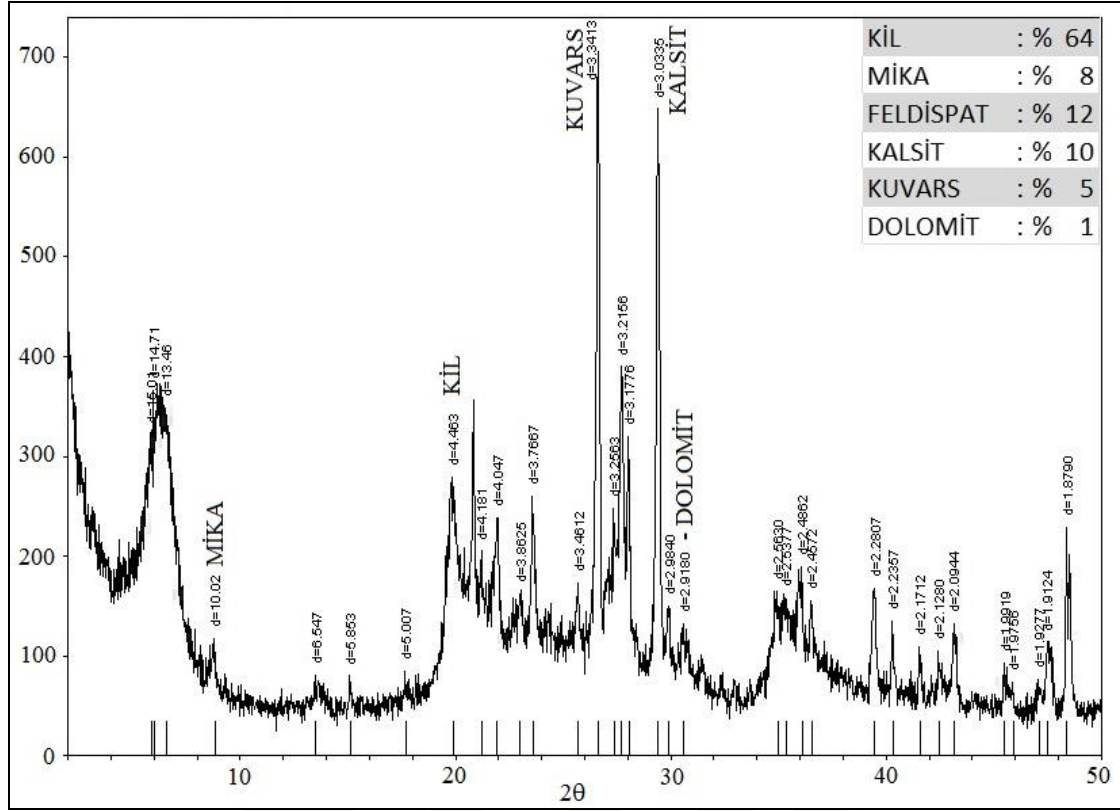


Şekil F.25 2 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.

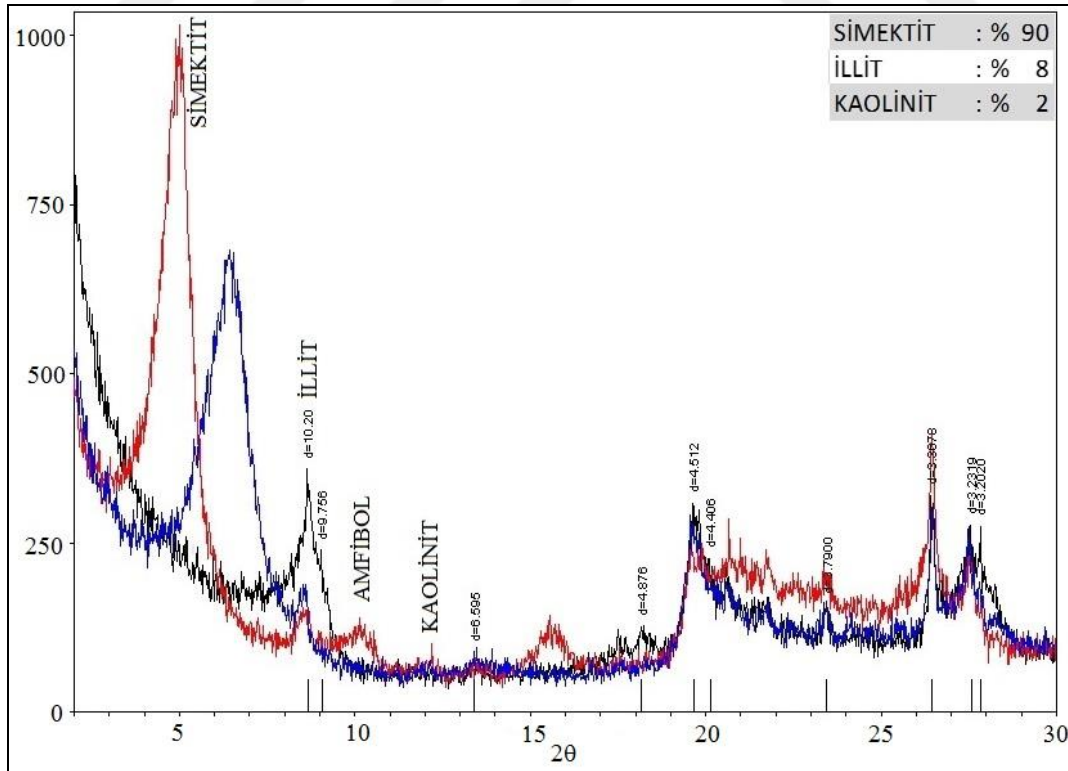


Şekil F.26 2 MPa yanal basınçtaki CLS örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

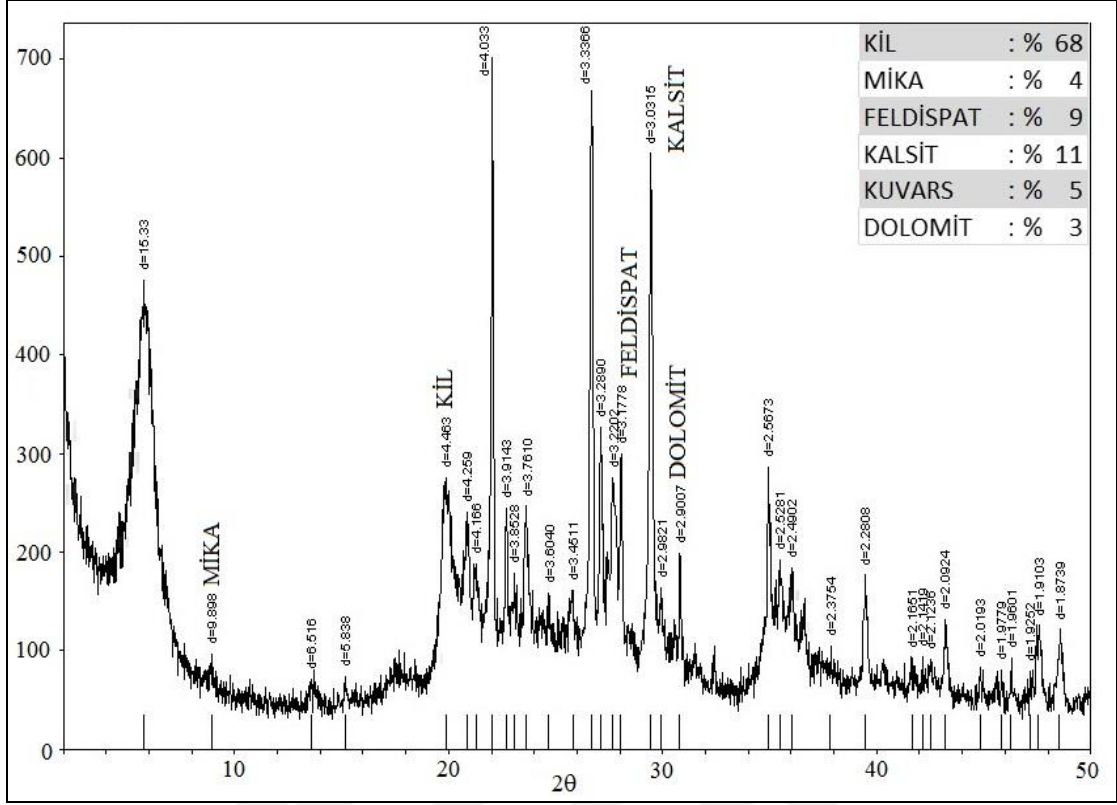




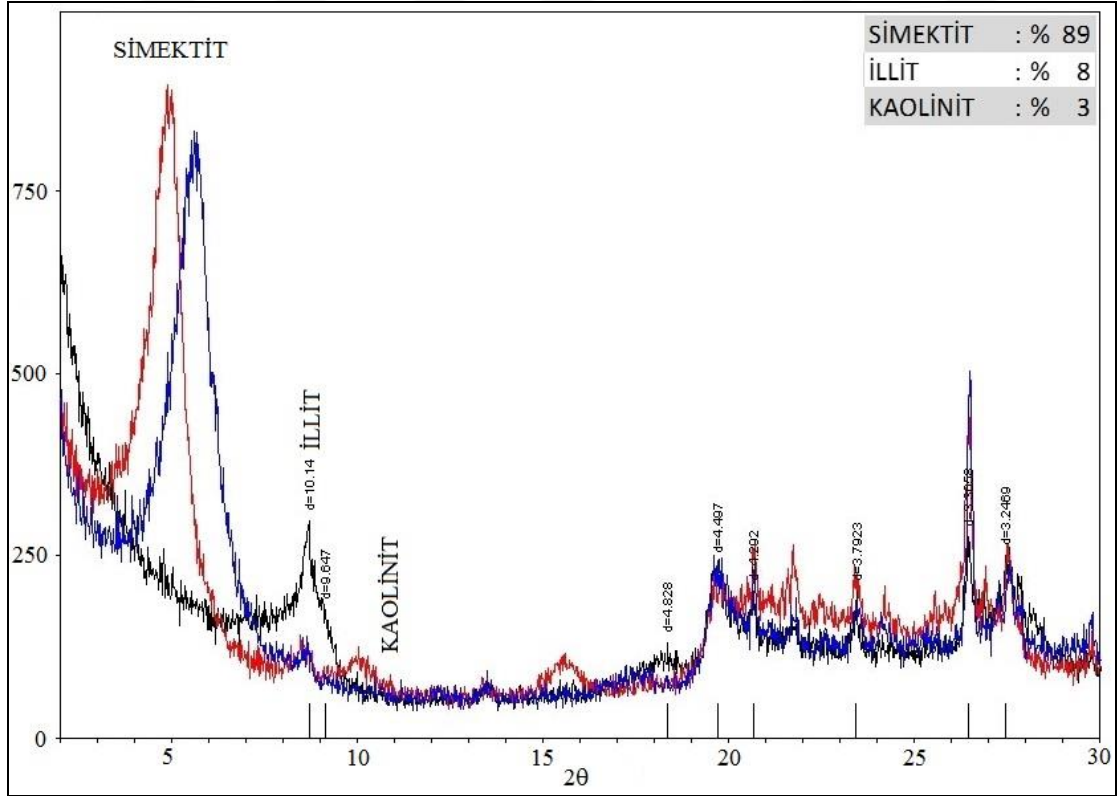
Şekil F.27 Tek eksenli şişme deneyindeki M örneğinin tüm kayaç X-Işınları difraktogramı.



Şekil F.28 Tek eksenli şişme deneyindeki M örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

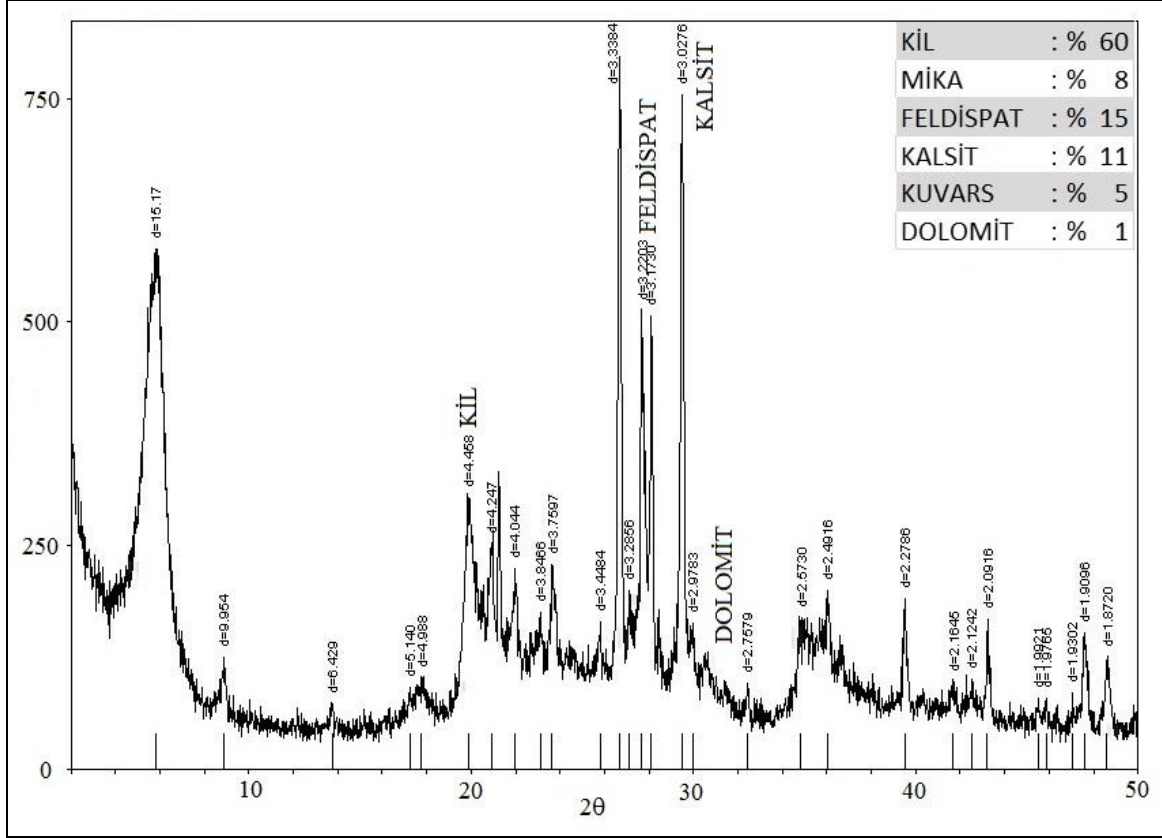


Şekil F.29 0.5 MPa yanal basınçtaki M örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.

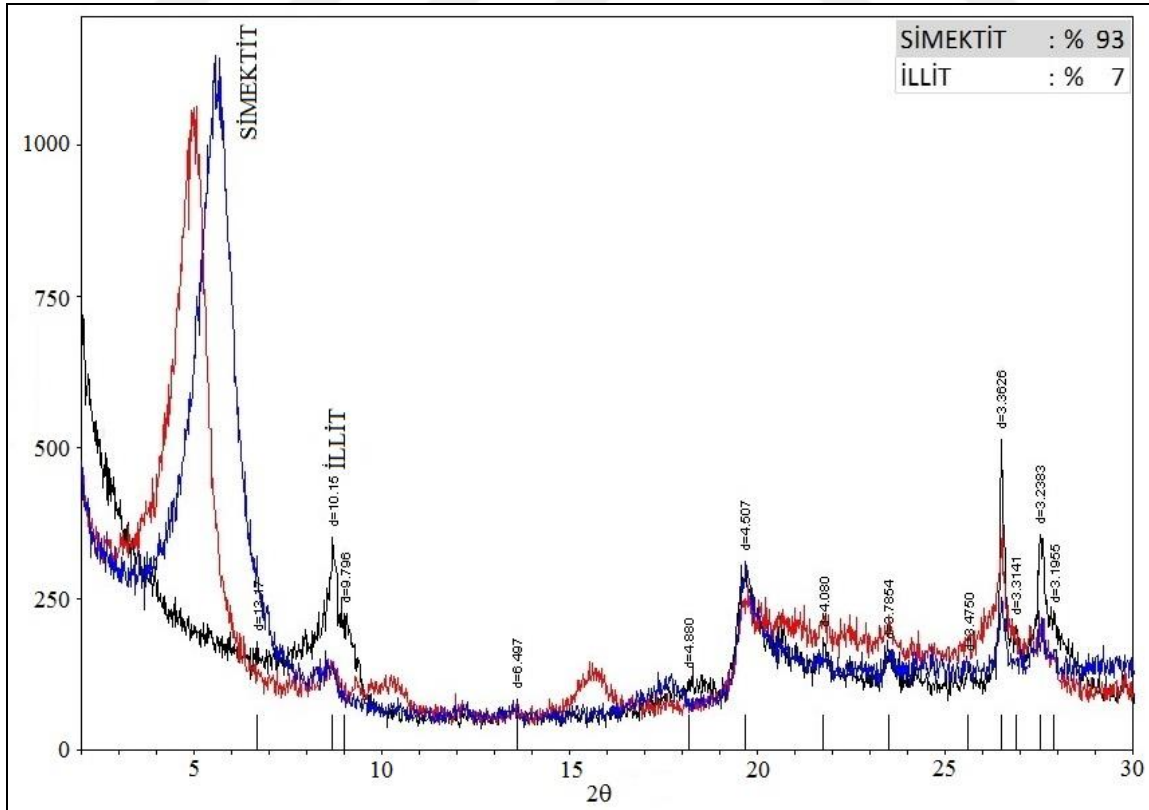


Şekil F.30 0.5 MPa yanal basınçtaki M örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

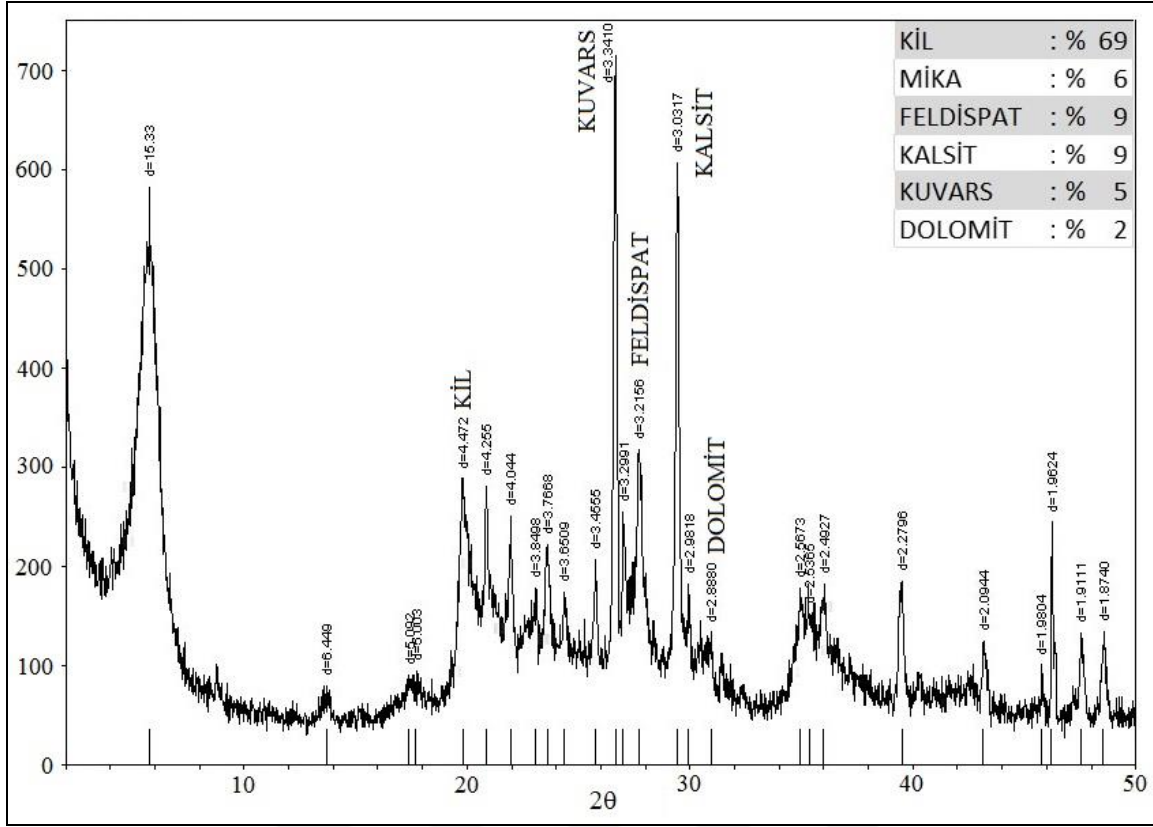




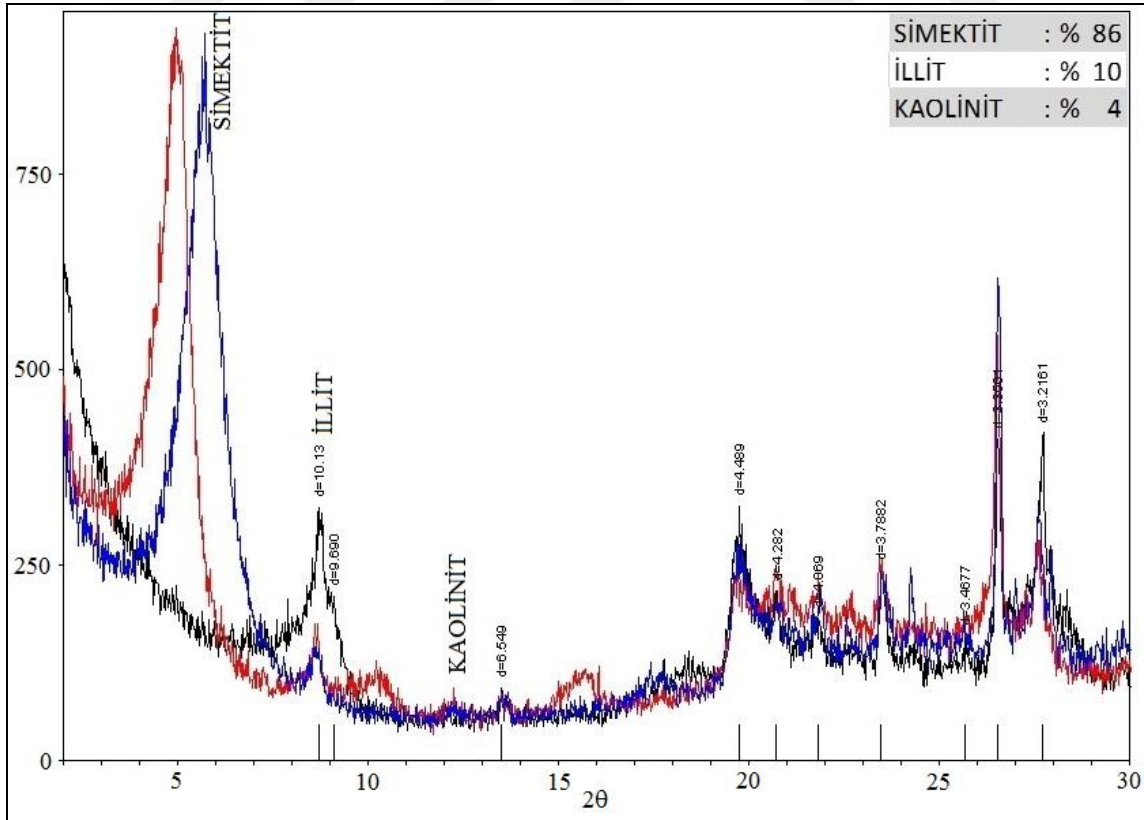
Şekil F.31 1 MPa yanal basınçtaki M örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



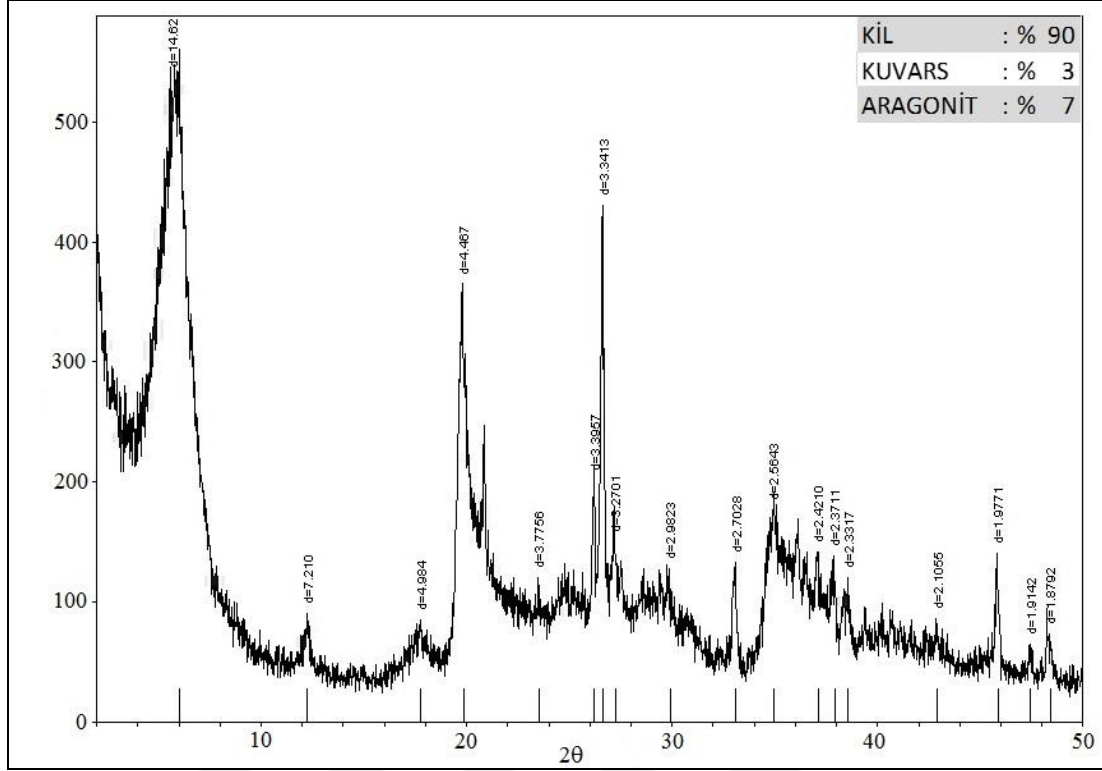
Şekil F.32 1 MPa yanal basınçtaki M örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



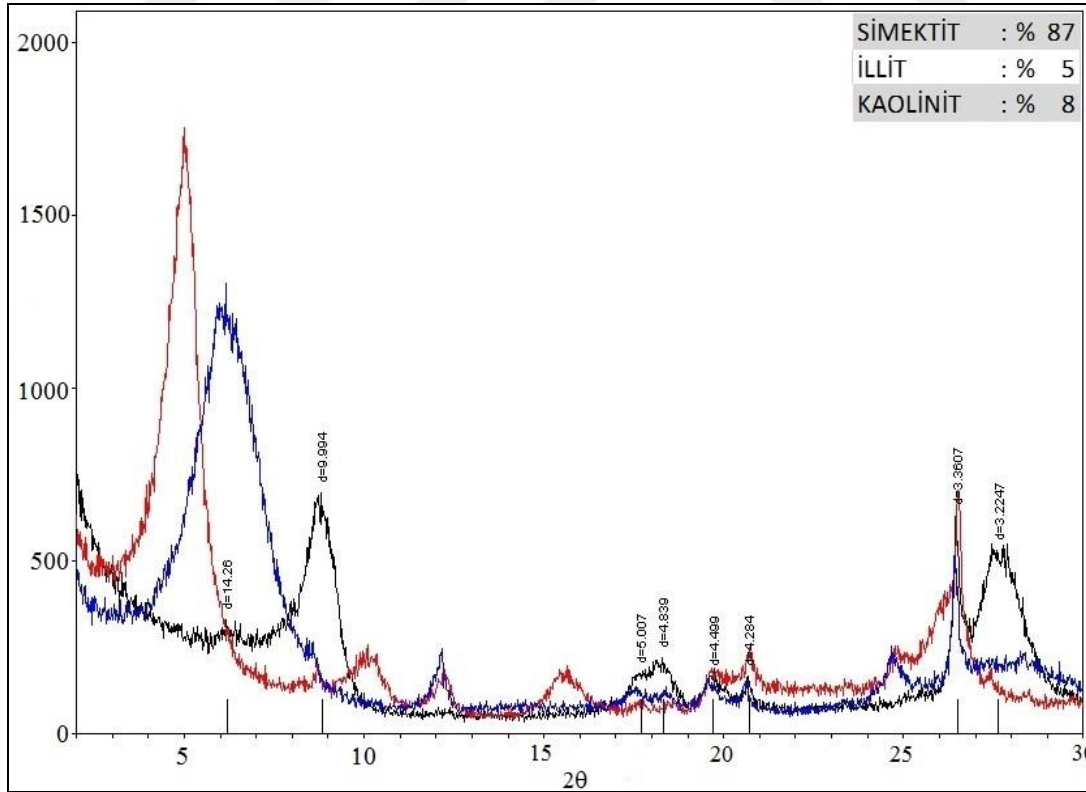
Şekil F.33 2 MPa yanal basınçtaki M örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



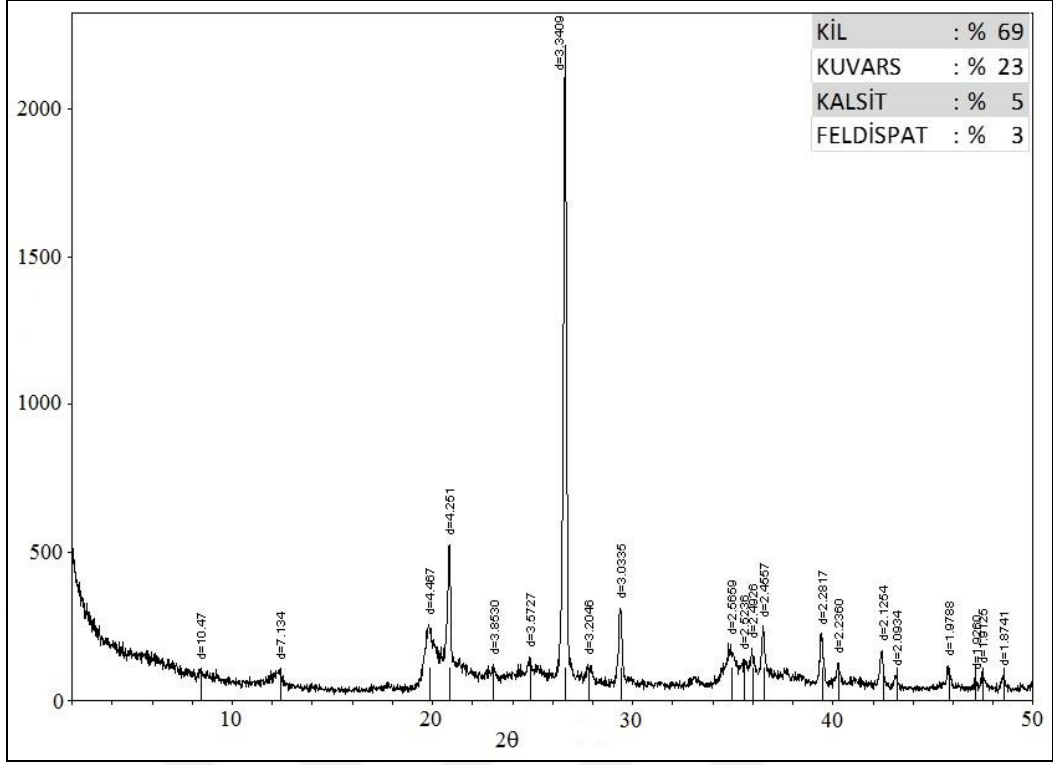
Şekil F.34 2 MPa yanal basınçtaki M örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



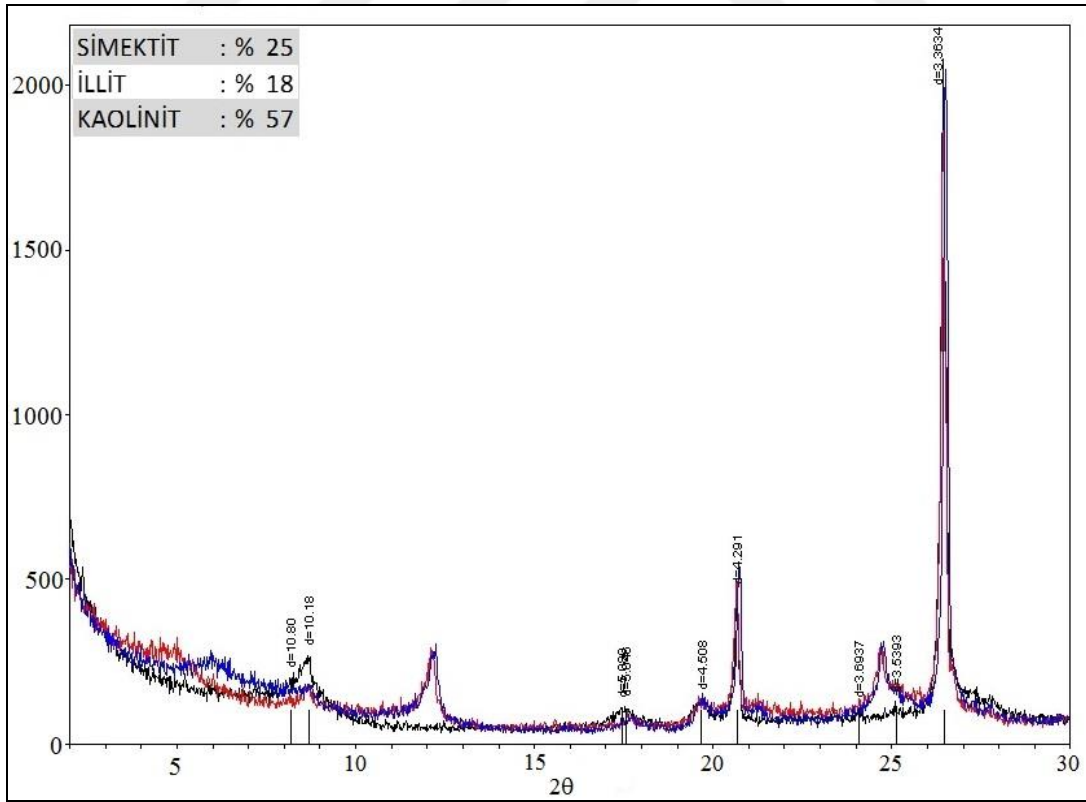
Şekil F.35 Tek eksenli şişme deneyindeki EAKDUK örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



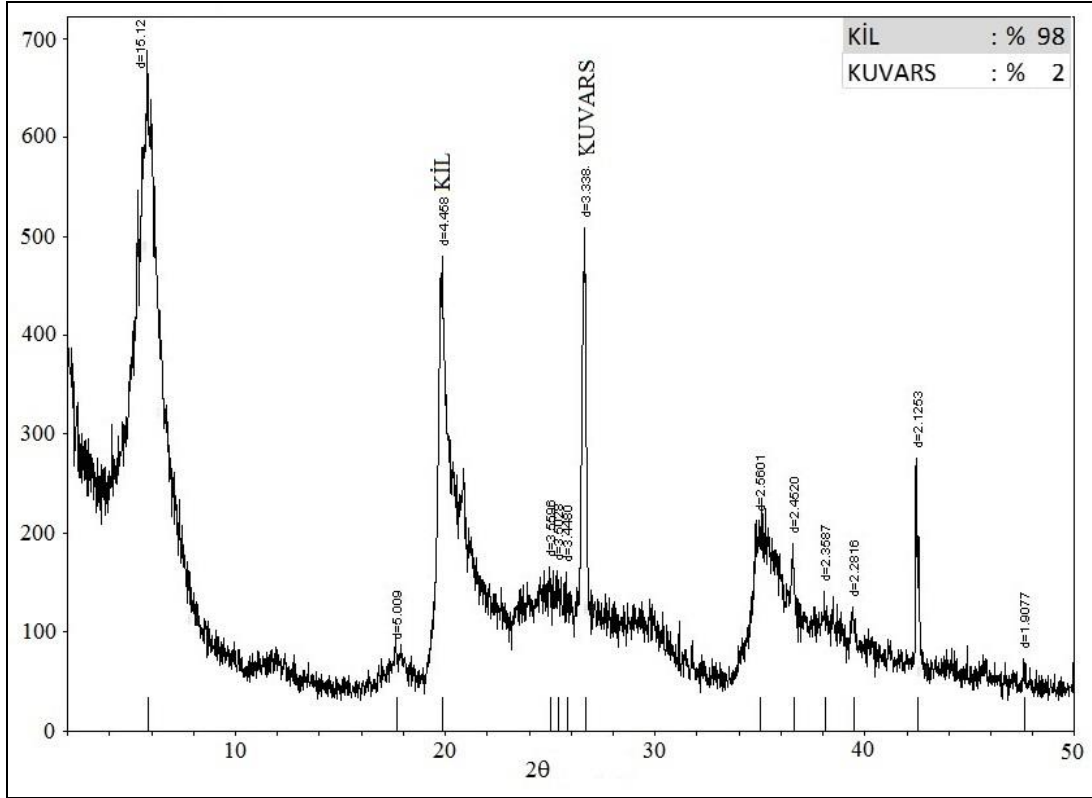
Şekil F.36 Tek eksenli şişme deneyindeki EAKDUK örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



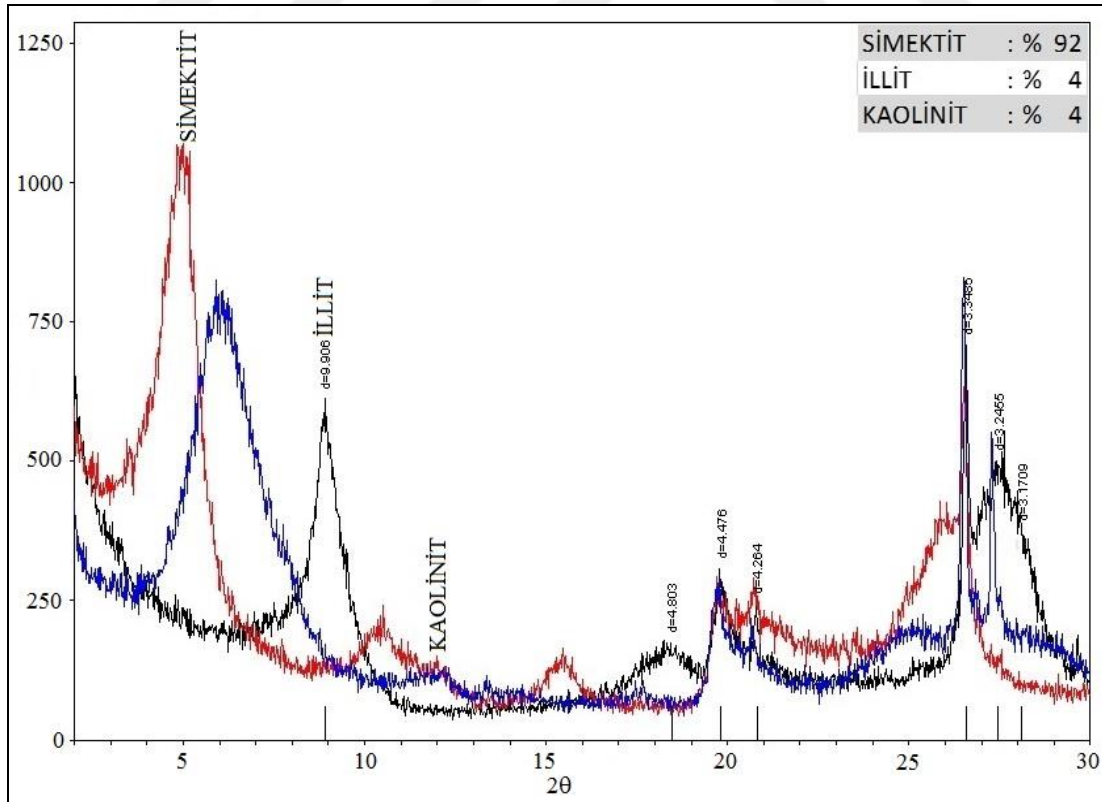
Şekil F.37 Tek eksenli şişme deneyindeki EAYKB örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



Şekil F.38 Tek eksenli şişme deneyindeki EAKDUK örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.



Şekil A.39 Tek eksenli şişme deneyindeki EAYG örneğinin tüm kayaç X-ışınları difraktogramı.



Şekil A.40 Tek eksenli şişme deneyindeki EAYG örneğinin kil fraksiyonlarının X-ışınları difraktogramı.

## ÖZGEÇMİŞ

1979 doğumlu Erman AYDINGÜN liseyi Bursa Erkek Lisesi'nde bitirdikten sonra, Yüksek öğrenimini Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Aynı zamanda A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olan Erman AYDINGÜN evli ve Alptuğ adında bir erkek çocuk babasıdır.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

**Adres** : Beşevler Mah. Yıldırım Cad. No:283/C-1 Nilüfer-BURSA

**Tel** : (+90) 530 212 32 93

**E-posta** : [ermanaydingun@hotmail.com](mailto:ermanaydingun@hotmail.com)