



# Gökçetepe Formasyonu (Zonguldak) Kilitaşlarının Eksenel Şişme Gerilmelerinin Belirlenmesi

*Determination of Axial Swelling Stresses of Claystones in Gökçetepe Formation (Zonguldak)*

Mehmet Erdiñ Bilir<sup>1</sup>, Savaş Sürül<sup>2</sup>, Hülya Keskin Çıtıroğlu<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup>Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (AFAD), Karabük, Türkiye

<sup>3</sup>Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı (YİKOB), Aydın, Türkiye

## Öz

Kilitaş, marn, çamurtaş ve şeylde esas kil minerali montmorillonit (simektit) olduğunda su içeriğinin artmasıyla çimentolaşma kuvvetleri yenilerek hacim artışı veya hacim artışının engellenmesi durumunda şişme gerilmesi meydana gelir. Şişen zeminlerin deprem, taşkın, kasırga ve fırtınaların tümünün birleşiminden daha fazla zarar vermesi hasar etkisinin büyüklüğünü akılda canlandırmak için yeterli olmalıdır. Bu hasarların önüne geçilebilmesi için kilitaşları ve kil içeren birimlerin bulunduğu bölgelerin belirlenmesi ve yapılaşma olmadan önce şişen birimlerin şişme miktarlarının bulunması ve buna göre önlemlerin alınması gereklidir. Bu çalışmada, Zonguldak ve yakın çevresinde geniş yayılım sunan Gökçetepe Formasyonu kilitaşlarının eksenel şişme gerilmeleri belirlenmiş ve mineralojik analiz sonuçlarına (XRD) göre şişmeyi oluşturan mineralin çoğunlukla simektit olduğu bulunmuştur. Çalışılan formasyonda şişmenin yapılar zarar oluşturmaması için önerilerde bulunulmuştur. Arazide yoğunluk değişken olduğu için kil örnekleri kullanarak değişik yoğunluktaki örnekler hazırlanarak yoğunluğun şişme üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gerilme, Kilitaş, Simektit, Şişme, XRD

## Abstract

Claystone, marl, mudstone and shale which contain the essential mineral of montmorillonite (smectite) are increase in volume due to defeated their cemented forces when they contact water. If increase in volume are blocked the swelling stress occurs. It is enough to revive in mind that swelling soils damage more than combination of earthquake, flood, hurricane and the storm. Swelling rocks and soils damage the buildings around them because of swelling to prevent those damages, it is necessary to determine the regions where there are swelling soils and rocks; to find swelling amount of them and to take precautions accordingly. Because of this, in this study the axial swelling stress results are determined on Gökçetepe Formation claystones that give wide expansive in Zonguldak and its surrounding. Smectite minerals that cause swelling are found at the mineralogical analysis experiments on claystones. Some suggestions were given to prevent the damages of swelling on buildings in investigated formation. Effect of density on swelling is explained preparing clay samples for various density because of variable density in the area.

**Keywords:** Stress, Claystone, Smectite, Swelling, XRD

## 1. Giriş

Kaya kütlelerinin jeolojik ve jeoteknik değerlendirmesi, inşaa edilecek mühendislik yapılarının güvenli olarak ekonomik ölçülerde yapılabirliği açısından önemlidir. Arazi çalışmaları ve laboratuvarında yapılan deneylerle kayaçların amaca göre mühendislik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmelidir. Tortul

kökenli kayaçlar olan kilitaşları da, temel olma durumunda mineralojik bileşim, su ile temasta davranış ve dayanım özellikleri açısından ayrıntılı çalışma gerektirmektedir. Suyla karşılaştıklarında killer gösterdikleri hacim değişimi nedeni ile üstteki hafif yapılara ve kazı desteklerine hasar verir (Akçalı ve Arman 2006). Kilitaşlarında ve kil içeren zeminlerde şişme davranışına daha sık rastlanmaktadır. Montmorillonit ve anhidrit gibi mineralleri bünyelerinde barındıran kayaçlar ve zeminler su ile buluştuklarında şişme olayı gerçekleşmektedir. Şişme sonucunda meydana gelen hacim artışı nedeniyle şişen kayaç ve zemin üzerinde/içinde

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: keskinhc@yahoo.com

bulunan yapılarda maddi zararlar meydana gelebilmektedir. Chen (1988) şişen zeminlerin neden olduğu hasarın deprem yangın, sel ve kasırga gibi doğal afetlerin verdiği hasardan daha pahalı olduğunu bildirmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Zonguldak yöresinin doğu ve batı bölgesinde yayılım gösteren Gökçetepe Formasyonu içerisinde yer alan kilitaşlarının aksel şişme gerilmesinin belirlenmesidir. Bunun için örneklerin yoğunluk, su içeriği, tek aksel şişme deneyleri ve mineralojik analiz sonuçları bulunmuş ve arazide yoğunluk değişken olduğu için kil örnekleri kullanarak değişik yoğunluktaki örnekler hazırlanarak yoğunluğun şişme üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Zonguldak ili Göbü Beldesinin batısından başlayarak Kandilli Beldesinin güney kısımlarına kadar Karadeniz sahili boyunca uzanan Gökçetepe Formasyonu içinde yer almaktadır. Çalışılan formasyon Zonguldak ilinin doğu ve batı kısmında olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Doğu kısmında bulunan çalışma alanı Göbü ile Kilimli beldesi arasında; Batıda ise Cemaller'den başlayarak Kandilli'ye kadar devam eden alanda yer almaktadır (Şekil 1).

Gökçetepe Formasyonu ilk kez Yergök vd. (1987) tarafından tanımlanmış olup, Köseağzı-Cemaller arasında ve Göbü civarında mostra vermektedir. Gökçetepe Formasyonu üzerinde yerleşim alanları yer almaktadır. Yerleşim alanının Cemaller bölümü Şekil 2'de görülmektedir.

Birim haki, gri, kızıl renkli kumtaşı, silttaşı, kilitaş, mikrokonglomera ardalanmasından meydana gelmektedir. Birim içinde tüf, tüfit, ve marn gibi ara katkılar mevcuttur. Formasyonun tabaka kalınlıkları, killi seviyelerde 20-40 cm arasında, kumtaşlarında ise 20-100 cm arasında değişmektedir. Birim, altta Cemaller formasyonunu uyumsuz olarak örtmektedir ve üste Başköy formasyonu ile uyumludur (Şekil 3). Gökçetepe Formasyonu'nun killi seviyelerinden derlenen fosil örneklerine göre yaşı, Turoniyen olup kalınlığı Kdz. Ereğli- Zonguldak dolayında 200 m olmasına karşın Göbü ve Çakraz'ın doğusunda 500 m civarındadır (Şekil 4) (Yergök vd. 1987).

Zonguldak ili genel olarak ılıman bir iklime sahiptir. Genelinde Karadeniz iklimi görülmekte olup her mevsim yağışlıdır. 30 yıllık verilere göre ortalama sıcaklık 13.6 °C, yıllık ortalama yağış 1240.9 mm ve ortalama bağıl nem oranı %68'dir (ZCSİM 2004). İklim kil içeren zeminler açısından önemlidir. Suyla temas eden killi birimler özellikle



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

havanın kurak ve sıcak olduğu yerlerde büzülmeyle kolaylıkla tanınabilmektedirler. Gökçetepe Formasyonun buldukları ortamlarda kuruma çatlakları gözlenmiştir (Şekil 5). Ayrıca şişme gösteren killi zeminler diğer killi zeminlere göre daha açık renkli, parlak ve yağlı denebilecek bir görünüme sahiptir.

## 2.2. Örnek Alımı

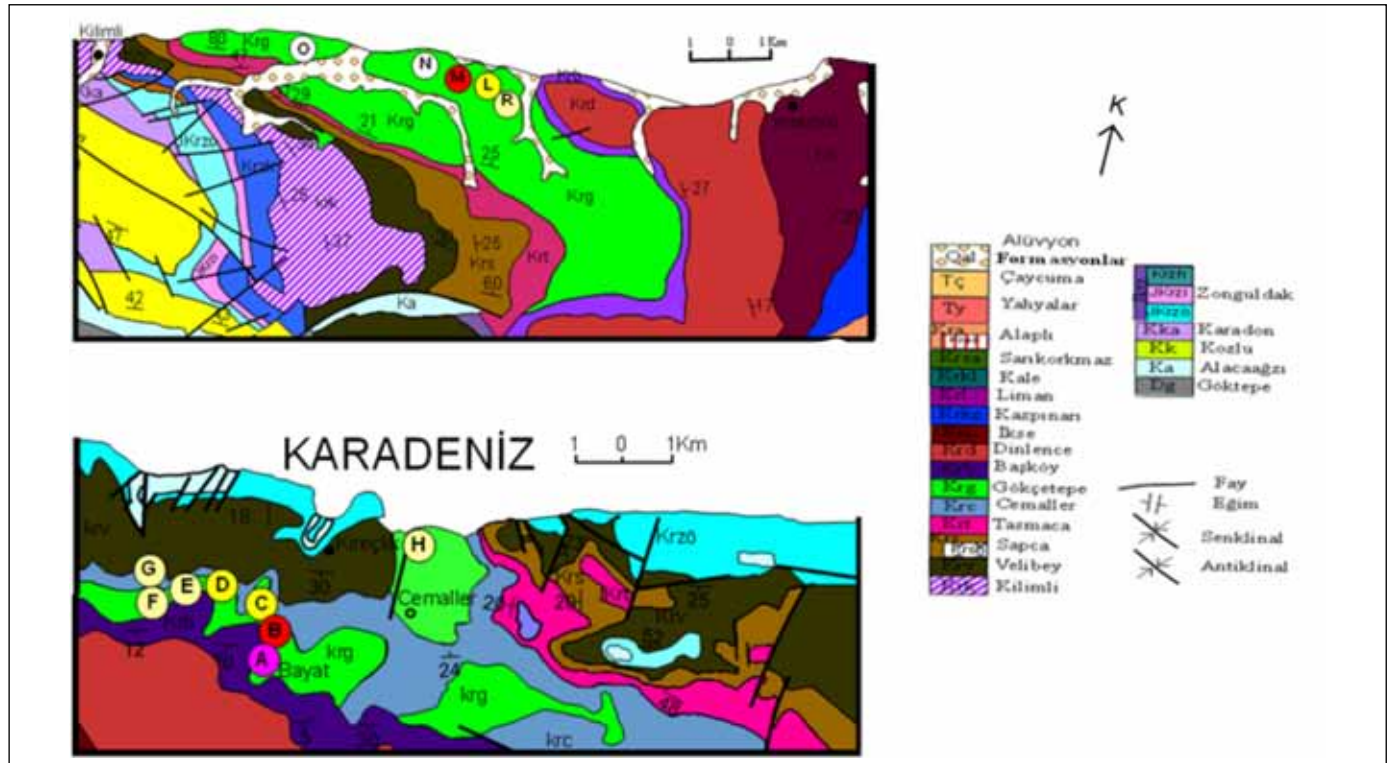
Gökçetepe Formasyonu Zonguldak ilinin doğusunda ve batısında olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Batı



Şekil 2. Gökçetepe formasyonu'nda yerleşim alanlarının bir bölümü (Cemaller Köyü).



Şekil 3. Gökçetepe formasyonu ile cemaller formasyonunun sınırı.



Şekil 4. Çalışma alanı doğu ve batı bölgeleri jeolojik yapısı (Yergök vd. 1987) ve örnek alım (A-R) yerleri.

bölümünden 8 adet, doğu bölümünden ise 5 adet (Şekil 4) olmak üzere toplam 13 adet örnek alınmıştır. Gökçetepe Formasyonunda kiltaşlarının kalınlıkları her yerde aynı olmayıp yer yer 5 cm'ye kadar düşebilmektedir (Şekil 6).



Şekil 5. Muslu yöresinde büzülmeyle oluşmuş kuruma çatlakları.



Şekil 6. Gökçetepe Formasyonu'ndan bir görünüş (Cebeci Mahallesi, Bayat).

Bu nedenle kiltaş tabakaları arasından parçalanmış şekilde örnek alımı yapılabilmektedir. Bu örneklerin yoğunluk, su içeriği, tek eksenli şişme deneyleri ve mineralojik analizleri gerçekleştirilmiş ve değerlendirilmiştir.

Yağışlar ve nemli hava sayesinde bitki örtüsü geniş yer kaplamaktadır ve buna bağlı olarak arazide ancak belli noktalarda mostra veren yüzeylere rastlamak mümkündür. Bu da örnek alımını zorlaştırmaktadır. Örnek alımı daha çok yol kenarlarında şev yüzeyleri, açıklıklar ve binalar için açılan kazı alanlarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

### 2.3. Laboratuvar Çalışmaları

#### 2.3.1. Tek Eksenli Şişme Gerilmesi

Çalışma alanındaki kiltaşlarından yararlanılarak değişik yoğunluklara sahip örselenmiş örneklerin eksenel şişme basınçlarının değişiminin incelendiği çalışmada, kiltaş örnekleri öğütüldükten sonra 105°C'de 24 saat etüvde kurutulmuş ve Yeşil (1991) tarafından geliştirilen örnek hazırlama aparatında sıkıştırılarak değişik yoğunluklara sahip 54 mm çaplı yaklaşık 20 mm yüksekliğinde silindirik örnekler hazırlanmıştır (Şekil 8).

Şişme davranışının belirlenmesinde kullanılacak deney yöntemleri ile ilgili olarak biri standart diğeri öneri olmak üzere iki önemli yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi Uluslararası Kaya Mekanikliği Birliği (ISRM) (International Society of Rock Mechanics) Şişen Kayaçlar Komisyonu tarafından kayaçlar için önerilen deney yöntemleridir. İkincisi ise, zeminler için bir standart haline gelmiş olan Amerikan Malzeme ve Test Derneği (ASTM) (American Society for Testing and Material), (1998) D4546 nolu Standart'tır. Ancak her iki çalışmada tek boyutlu şişme davranışının belirlenmesine yöneliktir.



Şekil 7. Toprak altından kazılarak örnek alınan kiltaşları.

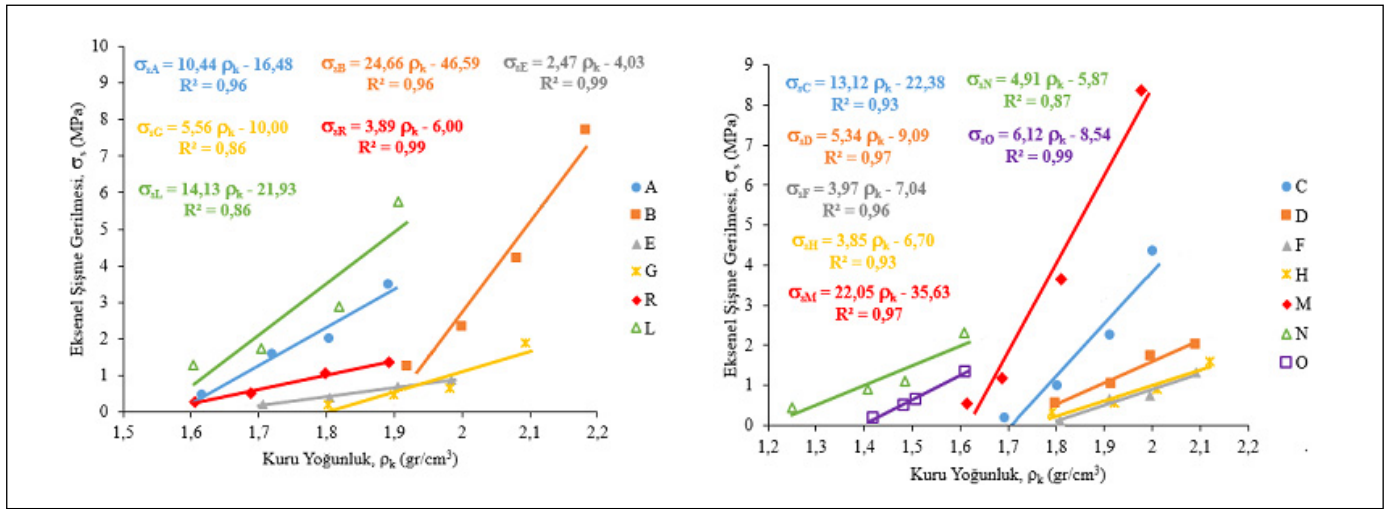


Araştırma Merkezi'nde tüm kayaç ve kil boyutu incelemeleri olmak üzere iki kısımda yapılmıştır. Analiz örnekleri şişme deneyi yapılmış numuneler arasından seçilmiş olup A, B, C, D, E, F, G, H ve R örnekleri için yoğunluğu en yüksek

olanlar ve L, M, N, O örnekleri için gerçek yoğunlukta olanlar dikkate alınmıştır. Örneklerin  $2\theta = 0-50^\circ$  aralığında çekilen XRD tüm kayaç ve kil fraksiyonu sonuçları ve kırınım eğrileri Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Şişme deney sonuçları.

Örnek adı	Kuru yoğunluk ( $\rho_k$ ) gr/cm <sup>3</sup>	Eksenel şişme gerilmesi $\sigma_s$ (MPa)	Örnek adı	Kuru yoğunluk ( $\rho_k$ ) gr/cm <sup>3</sup>	Eksenel şişme gerilmesi $\sigma_s$ (MPa)	Örnek adı	Kuru yoğunluk ( $\rho_k$ ) gr/cm <sup>3</sup>	Eksenel şişme gerilmesi $\sigma_s$ (MPa)
A	1.62	0.45	F	1.81	0.12	L	1.60	1.27
	1.72	1.57		1.91	0.66		1.70	1.75
	1.81	1.99		2.00	0.76		1.82	2.90
	1.89	3.48		2.09	1.32		1.91	5.76
B	1.92	1.25	G	1.80	0.20	M	1.61	0.55
	2.00	2.33		1.90	0.48		1.69	1.19
	2.08	4.19		1.98	0.65		1.81	3.64
	2.18	7.70		2.09	1.88		1.98	8.38
C	1.69	0.18	H	1.79	0.32	N	1.25	0.46
	1.80	0.98		1.92	0.55		1.41	0.91
	1.91	2.23		2.01	0.92		1.49	1.10
	2.00	4.35		2.12	1.60		1.61	2.31
D	1.80	0.54	R	1.61	0.28	O	1.42	0.19
	1.92	1.03		1.69	0.50		1.48	0.50
	2.00	1.72		1.80	1.05		1.51	0.65
	2.09	2.02		1.89	1.35		1.61	1.35
E	1.71	0.22						
	1.80	0.38						
	1.91	0.69						
	1.99	0.89						



**Şekil 10.** Eksenel şişme gerilmesi ve kuru yoğunluk arasındaki ilişki.

**Çizelge 2.** Örneklerin deney öncesi, deney sonrası su içerikleri ile su içeriği farkı.

Örnek adı	Kuru yoğunluk ( $\rho_k$ ) gr/cm <sup>3</sup>	Deney öncesi su içeriği (%)	Deney sonrası su içeriği (%)	Su içeriği farkı (%)	Ortalama su içeriği farkı (%)
A <sub>1</sub>	1.892	0.56	19.34	18.78	21.63
A <sub>2</sub>	1.805	0.49	22.2	21.71	
A <sub>3</sub>	1.72	0.26	24.31	18.13	
A <sub>4</sub>	1.617	0.18	27.08	27.9	
B <sub>1</sub>	2.183	0.54	17.5	16.96	19.25
B <sub>2</sub>	2.081	0.16	20.6	20.44	
B <sub>3</sub>	2	0.18	20.53	20.35	
B <sub>4</sub>	1.92	0.52	19.76	19.24	
C <sub>1</sub>	2.002	1.1	19.3	18.2	21.32
C <sub>2</sub>	1.912	0.12	22.93	18,36	
C <sub>3</sub>	1.803	0	22.84	22.84	
C <sub>4</sub>	1.7	0.78	26.66	25.88	
D <sub>1</sub>	2.091	0	18.48	18.48	20.185
D <sub>2</sub>	1.998	0	18.63	18.63	
D <sub>3</sub>	1.915	0	18.6	18.6	
D <sub>4</sub>	1.8	0.06	25.09	25.03	
E <sub>1</sub>	1.985	0.68	20.17	19.49	23.56
E <sub>2</sub>	1.905	0.51	25.17	24.66	
E <sub>3</sub>	1.8049	0	23.49	23.49	
E <sub>4</sub>	1.706	0.19	26.77	26.58	
F <sub>1</sub>	2.092	0.15	18.13	17.98	19.52
F <sub>2</sub>	1.995	0.02	18.56	18.54	
F <sub>3</sub>	1.91	0	19.84	19.84	
F <sub>4</sub>	1.808	0.19	21.91	21.72	
G <sub>1</sub>	2.0936	0.46	17	16.54	20.14
G <sub>2</sub>	1.982	0.67	20.65	19.98	
G <sub>3</sub>	1.9	0.74	21.09	20.35	
G <sub>4</sub>	1.802	0.79	24.47	23.68	
H <sub>1</sub>	2.12	0.19	17.48	17.29	19.46
H <sub>2</sub>	2.01	0.03	16.75	16.72	
H <sub>3</sub>	1.92	0.08	19.18	19.1	
H <sub>4</sub>	1.79	0	24.74	24.74	
R <sub>4</sub>	1.605	0.17	27.63	27.46	23.91
R <sub>3</sub>	1.689	0	24.87	24.87	
R <sub>2</sub>	1.799	0.37	23.54	22.87	
R <sub>1</sub>	1.892	0.5	20.94	20.44	

Çizelge 2. Devam

Örnek adı	Kuru yoğunluk ( $\rho_k$ ) gr/cm <sup>3</sup>	Deney öncesi su içeriği (%)	Deney sonrası su içeriği (%)	Su içeriği farkı (%)	Ortalama su içeriği farkı (%)
L <sub>3</sub>	1.604	0	31.58	31.58	30.55
L <sub>2</sub>	1.7042	0.13	34.39	34.26	
L <sub>1</sub>	1.818	0,26	26.01	25.75	
L(gerçek)	1.9057	0.1	30.71	30.61	
M <sub>3</sub>	1.614	0.08	28.6	28.52	24.79
M <sub>2</sub>	1.687	0.55	28.55	28	
M <sub>1</sub>	1.816	0.52	22.23	21.71	
M(gerçek)	1.977	0.21	21.12	20.91	
N(gerçek)	1.249	0.04	47.27	47.23	39.28
N <sub>3</sub>	1.407	1.34	40.91	39.57	
N <sub>2</sub>	1.485	0	36.24	36.24	
N <sub>1</sub>	1.608	0.02	34.09	34.07	
O <sub>3</sub>	1.419	0	36.85	36.85	33.98
O(gerçek)	1.483	0	35.97	35.97	
O <sub>2</sub>	1.508	0.27	31.82	31.55	
O <sub>1</sub>	1.611	0.29	31.82	31.53	

### 3. Bulgular

#### 3.1. Şişme Gerilmesinin Etkisi

Şişme davranışının özel ilgi ve bilgi gerektiren bir konu olmasının sebebi, şişen minerallerin zemin ve kayaların içinde bulunabilmesi ve yer kabuğunun da zemin ve kayalardan oluşması nedeniyle dünyadaki tüm ülkelerde bu davranışın görülebilme ihtimalidir. Bu davranışın sebep olduğu problemler can kaybına yol açmasa da az ya da çok yapısal hasarlara ve önemli maddi kayıplara neden olurlar. Şekil 13'de çeşitli ülkelerde araştırmacılar tarafından rapor edilen özellikle hafif yapılardaki şişme problemleri görülmektedir. Şişme problemleri tek katlı ev, az katlı bina, karayolu, demiryolu, havaalanı, şev, kanal, kaldırım, istinat ve bahçe duvarları, boru hatları gibi yerüstü yapılarının yanında tünel, galeri, tabanyolu, desandri, sondaj kuyusu, yeraltı depoları, kaya mezarları gibi yeraltı yapılarında da yaşanmaktadır. Şekil 14'de tek katlı bir yapıda temel, duvar, kapı ve pencerelerde meydana gelen az, orta ve ciddi derecedeki çatlaklar görülmektedir. Nemin merkezden kenarlara doğru hareketi ile içbükey döşeme şekli olurken, kenardan merkeze doğru nem hareketi dışbükey döşeme şekli meydana getirmektedir.

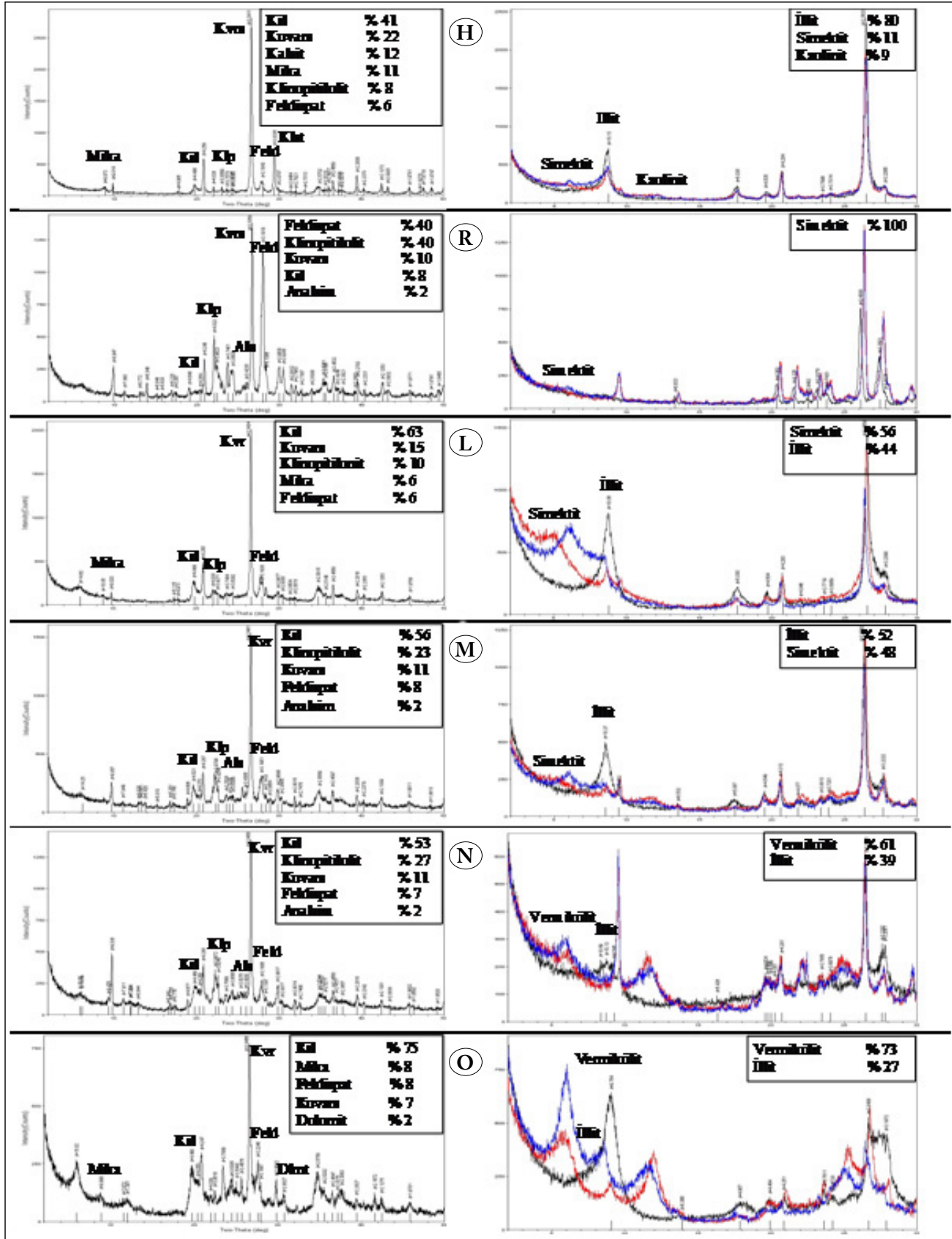
Şişme problemlerinin nedeni, az katlı hafif yapılar ile yol ve kanal kaplamalarının zemine veya kayaca uyguladığı

gerilmelerden daha büyük ve ters yönde oluşan şişme gerilmeleridir. Holt vd. (2015) 1000 kPa'lık şişme gerilmesinin 40-50 m kalınlığında bir dolguya eşdeğer olduğunu ve karşılaştırma yapılabilmesi açısından sıradan bir yapıda her katın 10 kPa mertebesinde gerilme uyguladığını belirtmektedir.

Zonguldak ilinde geniş bir yayılım sunan ve şişmeye duyarlı simektit, illit, kaolinit, C-V (klorit-vermikülit), klorit ve vermikülit minerallerini içeren Gökçetepe Formasyonu'ndan alınan 13 kilitaşı örneği üzerinde dört farklı yoğunlukta 52 adet maksimum şişme gerilmelerinin ölçüldüğü deneyler gerçekleştirilmiştir. Maksimum şişme gerilmesi hiç şişmeye izin verilmediği durumdaki gerilme değerini ifade etmektedir. Tüm örnekler içinde en düşük ve en yüksek yoğunluk sırasıyla 1.25 (N) ve 2.18 (G) gr/cm<sup>3</sup>'tür. En düşük ve en yüksek maksimum şişme gerilmeleri ise sırasıyla 0.19 (O) ve 8.98 (G) MPa'dır. Her örneğin en yüksek yoğunlukları dikkate alındığında, ölçülmüş olan maksimum şişme gerilmesi E örneği (0.89 MPa) hariç 1.30 MPa'ın, üç örnekte (L, G ve M) ise 5 MPa'ın üzerindedir. NBG (1985) ve NBG (2000) 0.1 MPa'ın altındaki şişme gerilmelerini düşük, 0.1–0.3 MPa aralığını orta, 0.3–0.75 MPa aralığını yüksek ve 0.75 MPa'dan büyük şişme gerilmelerini ise çok yüksek olarak tanımlar (Mao vd. 2011). Bu yaklaşıma göre elde edilen değerler kilitaşlarının oldukça







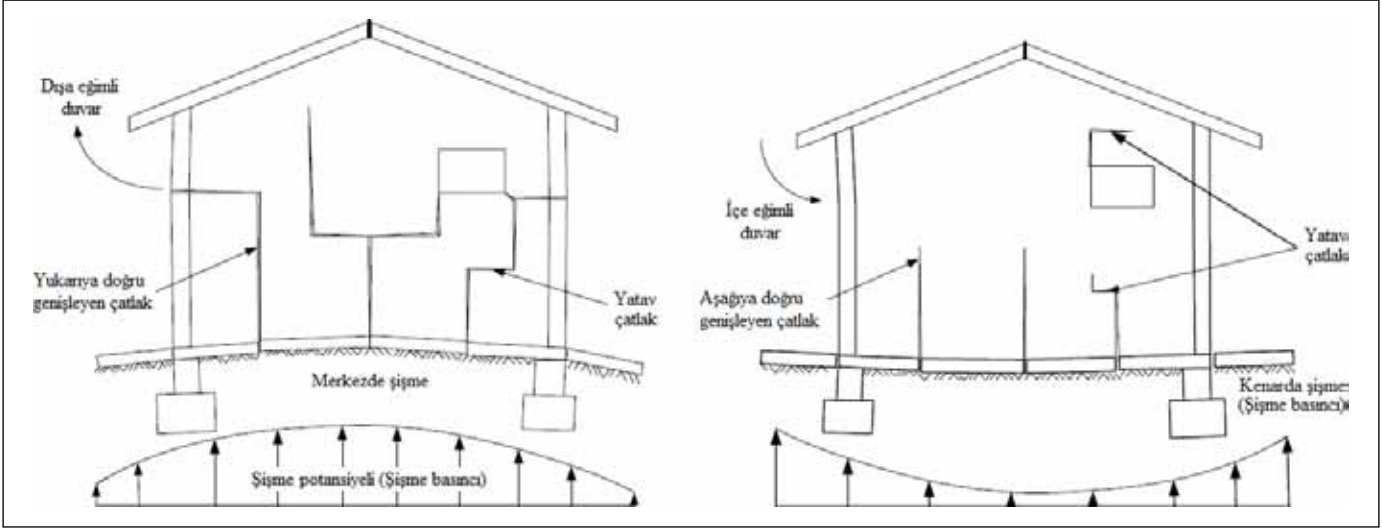
Şekil 12. Örneklerin (H-O) XRD analizine göre tüm kayaç ve kil fraksiyonu sonuçları.

yüksek şişme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, Coduto (2011) laboratuvarındaki zemin veya kayacın suya doygun olmasına karşın arazideki şişen zemin ve kayaların suya erişiminin sınırlı olabileceği, yerindeki zemin veya kayacın örselenmemiş olmasına karşın laboratuvarında örselenmiş numunelerin kullanılması gibi faktörler nedeniyle genelde laboratuvarında elde edilen değerlerin arazideki gerçek değerlere oranla yüksek olduğunu belirtmektedir.

Maksimum şişme gerilme değeri yapıda hiç deformasyon olması istenmediğinde kullanılacak veri olup, bu verinin çok yüksek değerler olması durumunda oluşturulacak karşı gerilmelerin maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle bir miktar deformasyona izin vererek şişme gerilmelerinin düşürülmesi yoluna gidilebilir. Bu veri maksimum şişme gerilmesinin saptandığı deneyin sonlandırılmayıp, örnek üzerindeki maksimum gerilmenin istenilen seviyeye kadar



**Şekil 13.** Çeşitli ülkelerde zemin ve kayalardaki hafif yapılarda oluşan şişme problemleri.



Şekil 14. Zemin ve kayalardaki hafif yapılarda oluşan şişme problemleri (Lucian 2006).

düşürülerek ve düşürüldüğü seviyede yük kontrolü yapılarak o seviyedeki maksimum şişme birim deformasyonunun elde edilmesi şeklinde belirlenir. Şişen birimler üzerinde şişme davranışına en duyarlı olan yapılar sığ derinliklerde yer alan temellerdir.

### 3.2. Şişen Minerallerin Etkisi

Örneklerin tüm kayaç mineralojisinde kil, klinoptilolit, feldispat, kuvars, analsim, mika, kalsit, dolomit olmak üzere 8 farklı mineralden en az 4 tanesi (B), en fazla 7 tanesi (C ve D) ve büyük çoğunluğunda 5 tanesinin bir arada bulunduğu belirlenmiştir. Örneklerin tamamında kil, feldispat ve kuvars mineralleri mevcuttur. A örneği haricindeki diğer tüm örneklerde başlıca mineral kil olup, kilin egemen olduğu örneklerdeki kil oranı %40 (F) ile 75 (O) arasında değişmektedir. Kil fraksiyonlarının analizinde ise simektit, illit, kaolinit, C-V (klorit-vermikülit), klorit ve vermikülit minerallerine rastlanmıştır. Bu minerallerden en az biri (R) ve en çok 4 tanesinin bir arada olduğu saptanmıştır. E, N ve O örneklerinin dışında tüm örneklerde simektit mineraline rastlanmış olup, simektit oranı %11 ile 100 arasında yer almıştır. R örneğinin dışındaki tüm örneklerde illit mevcut olup, 8 örnekte (B, C, D, E, F, G, H, M) egemen mineraldir. N ve O örnekleri vermikülit ve illit mineralleri içermekte olup, egemen mineral vermikülitir. İllitin egemen olduğu E örneğinde illite kaolinit ve klorit eşlik etmektedir.

Simektit tek bir mineral için kullanılan terim olmayıp, gerçekte bir grubu ifade etmektedir. Simektit grubu kil mineralleri tetrahedran-oktahedran-tetrahedran (TOT) şeklinde birim katmana sahiptir. Birim katmanların birbirine paralel üst üste istiflenmesiyle kil parçacıkları oluşur. En önemli

özellikleri, suyun bu parçacıklar arasında kolaylıkla girmesi ve mühendislik yapılarına zarar verecek şekilde önemli şişme davranışı sergilemesidir. Bu grubun en yaygın minerali montmorillonit olup, diğerleri beidellit, nontronit ve saponittir. Montmorillonite benzer birim katmanı olan illit, kolayca yer değiştirmeyen potasyum iyonu nedeniyle sınırlı bir hacim artışına izin verir. TO şeklinde birim katmanı olan kaolinit ise, parçacıkları bir arada tutan kuvvetli hidrojen bağları yüzünden şişmeyen kil mineralidir. Vermikülit, montmorillonit gibi TOT birim katmanına sahiptir ancak montmorillonit kadar şişme yeteneği yoktur (Pusch 2012; Özüdoğru ve Babür 2001). Lew (2010) Cuiaba/Brezilya'daki özellikle hafif yapılarda yapısal hasarların çok yaygın olduğunu ve bunun simektit ve vermikülit içeren şişen zeminler nedeniyle meydana geldiğini rapor etmektedir.

### 3.3. Şişme Davranışında Suyun Etkisi

Şişme davranışının meydana gelmesinden birinci derecede sorumlu olan suyun zemin ve kayalar içindeki artışı iki şekilde gerçekleşir. Birincisi, yeraltı su seviyesindeki değişimler ile yağmur suyu ve dere, nehir ve göllerdeki suların sızması gibi doğal süreçlerden dolaydır. İkincisi ise, yeşil alan sulaması, boru hatları ve kanalizasyonlardaki sızıntılar, bitki örtüsündeki değişimler, drenaj gibi insan aktiviteleridir.

Suyun, şişen zemin veya kayaç içine nüfuz edebilmesi için aynı zamanda ortamda gerilme rahatlamasının olması gereklidir. Bir başka ifadeyle, kayaç ve zemin üzerindeki yükün kalkması geçirgenliğin artmasına, gözenekler arasındaki bağlantıların açılmasına dolayısıyla suyun zemin ve kayacın bünyesine kolaylıkla girmesine ve daha çok şişen mineraller ile temas etmesine neden olmaktadır. Gerilme rahatlaması

yeraltında oluşturulan açıklıklar, yerüstünde yapılan cevher üretimi, şev ve kanal inşası, bina temelleri için yapılan kazılar ve heyelanlar gibi olaylar sonucunda meydana gelir.

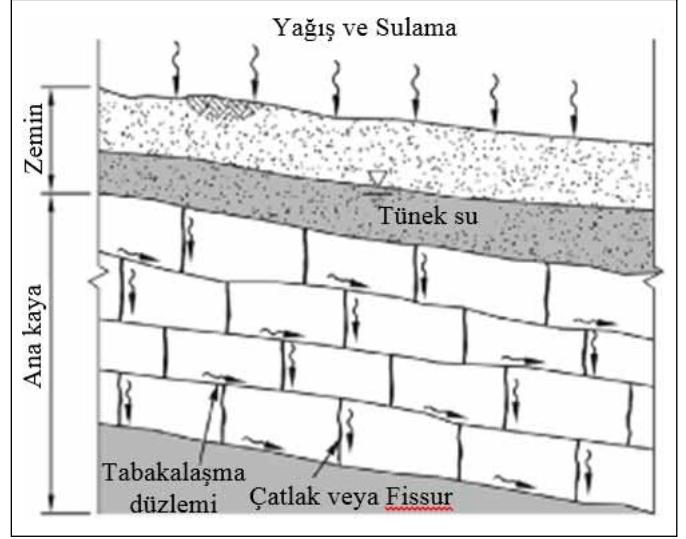
Ana kaya içindeki su hareketi ise öncelikle kaya kütlesi içindeki süreksizlikler tarafından kontrol edilir (Nelson vd. 2015). Kayaçlar içindeki en yaygın süreksizlikler tabakalanma düzlemleri ve eklemelerdir. Tabakalanma düzlemleri kumtaşı, silttaşı ve kiltası gibi tüm tortul kayaçların karakteristik bir özelliğidir. Gerilme etkisiyle kayacın kırılma yüzeylerinde meydana gelen açıklıklar çatlaklar olarak tanımlanmakta olup, eklem, fay ve fissürleri içerirler. Şekil 15 yeraltı suyunun tabakalaşma düzlemleri ve çatlaklar boyunca hareketini betimlemektedir. Ana kaya, üzerini kaplayan zemine göre daha az geçirgendir. Zemin yüzeyinden aşağıya süzülen su ana kaya üzerinde genellikle tünek su tablasını oluşturur. Su, tabakalaşma düzlemleri ve çatlaklar boyunca tünek su tablasından ana kayaya geçmeye ve yayılmaya devam eder. Şişme, suyun bu hareketi sırasında, ortamda şişen minerallerin mevcut olması durumunda gerçekleşir.

Şişme deneylerinde, örneklerin en yüksek şişme gerilmelerini elde edebilmek için deney başlangıcında örneklerin su içeriklerinin mümkün olduğunca düşük olması gerekir. Bunu yapmak için silindirik örnekler etüvde kurutulduğunda, örneklerde büzülme çatlakları, hacim azalması ve dağılma meydana gelmektedir. Bu nedenle, örselenmemiş örnekler üzerinde bunun sağlanabilmesi mümkün değildir. Ancak, kurutma-öğütme-sıkıştırma işlemlerinden geçmiş örselenmiş örneklerin kullanılması ile örneklerin su içeriğinin mümkün olduğunca düşük olması sağlanabilmektedir.

Deney öncesi örneklerin su içerikleri %0 (tamamen kuru olduğu durum) ile %1.34 aralığındadır. Maksimum şişme gerilmelerine ulaştığı yani deney sonundaki su içerikleri ise %16.75 ile %47.27 arasında değişmektedir. Ortalama su içerikleri farkı ise %19.25 ile %39.28 arasında bulunmaktadır. Bu değerler, örneğin yatay ve düşey yönde hareketine hiç izin verilmemesine rağmen örnek içine suyun nüfuz ettiğini ve şişen mineralleri etkileyerek maksimum şişme gerilmesine neden olduğunu göstermektedir. Killi ortamlarda suyun varlığıyla birlikte balçık haline gelmiş zemin, mısır patlağı şeklindeki doku ve kuru ortamlarda bal peteği şeklindeki kuruma çatlakları arazide şişen mineralleri tanımanın belirtileridir.

### 3.4. Şişme Davranışına Karşı Alınabilecek Önlemler

Şişen zemin ve kayaçlara karşı alınabilecek önlemler üç başlık altında incelenebilir. Karayolu, demiryolu, havaalanı, boru hatları, su veya drenaj kanalı, kaldırımlar gibi uzun-



Şekil 15. Suyun çatlaklar ve tabakalaşma düzlemleri boyunca hareketi (Nelson vd. 2015).

luğu genişliğine göre daha fazla olan mühendislik yapıları ve bu yapılara göre daha az alan içeren bina ve müstakil ev temelleri ile istinat ve bahçe duvarlarının şişme davranışının etkilerinden koruması gerekmektedir. Bunun için birinci ve kesin çözüm yöntemi güzergah veya proje alanı yerinin değiştirilmesidir. Birinci yöntemin uygulanmasının mümkün olmadığı durumlarda uygulanabilecek ikinci yöntem ise suyun şişen mineraller ile temasının kesilmesini ya da azaltılmasını içeren drenaj yöntemidir. Su ortamda yoksa şişme davranışı meydana gelmez. Bu özelliği, şişme davranışını tehlikeli kılar. Çünkü ortam kuru olduğunda, proje aşamasında şişen mineral varlığı belirlenmemişse ancak ortama su gelmesinden sonra şişme davranışı belirlemeye başlar. Dolayısıyla, tasarımda şişme davranışı göz önünde bulundurulmadığından alınan önlemlerin maliyeti çok yüksek boyutlara ulaşabileceği gibi bir süre sonra tekrarlanma olasılığı da yüksek olur.

Yatay ve düşey nem bariyerleri, yatay ve düşey sondaj delikleri, toplayıcı dren boruları, su geçirmez yalıtım malzemeleri (membran), oluk, hendek, menfez ve kanallar temel sistemleri etrafındaki yüzey veya yeraltı sularının birikmesinde ve temelden uzaklaştırılmasında kullanılan drenaj tasarım bileşenleridir (Şekil 16). Özellikle az katlı yapı temellerinde yağmur, kar gibi yüzeysel suların yapı çevresinde birikmesini önlemek ve hemen temelden uzaklaşmasını sağlamak amacıyla sızdırmaz bir çatı drenaj sistemi ve yapı etrafına eğim verilmesi, suyun şişen zemin ve kayaçlarla temasın kesilmesinde önemli bir rol oynar (Noe vd. 2007). Sondaj delikleri veya kuyularından pompalar ile



**Şekil 16.** Yüzeysel suların yapı temelinden uzaklaştırılması (Jochim 1987, Noe vd. 2007'den).

suyun arındırılması ise yeraltı su seviyesinin düşürülmesinde etkin bir yöntemdir.

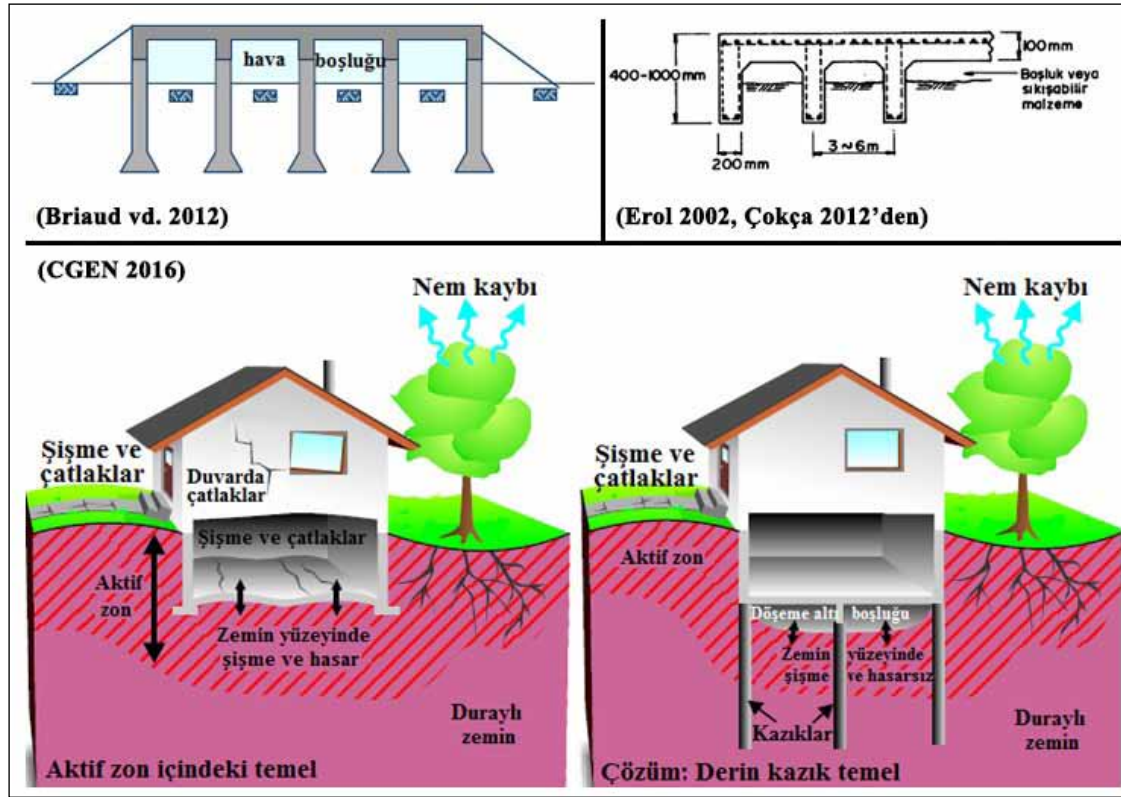
Ön ıslatma yöntemi ise drenaj yönteminin tersine yapının inşasından önce ortamın suya doyurularak önceden şişme deformasyonlarının oluşması ve inşa sonrasında yapıya etkiyecek gerilmelerin azaltılması esasına dayanır. Ancak, temel altında yüksek su içeriği mevsimsel dalgalanmalar nedeniyle sürdürülemezse ilave oturma-şişme davranışı ile karşılaşılabilir. Bu yöntemi uygularken dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir nokta da temelin suya doymuş ortamda bulunması nedeniyle donatının korozyona uğrayabilme ihtimalidir. Bu durumda, korozyon inhibitörlerinin kullanılması veya katodik koruma gibi ilave önlemler alınabilir (Aköz ve Çakır 2014).

Son yöntem ise ilk iki yöntemin yetersiz kaldığı durumlarda şişme deformasyonu ve gerilmelerini karşılayabilecek temel sisteminin tasarlanmasıdır (Şekil 17). Tasarımda, şişme deneylerinden elde edilen eksenel şişme gerilmesi ve eksenel şişme deformasyonuna ihtiyaç duyulur. Yapının temelinin şişen zemin veya kayaç üzerinde olması ve zayıf drenaj koşulları söz konusu ise temel altındaki zemin veya kayaçın şişmesi temel tarafından engelleneceğinden şişme gerilmeleri oluşacaktır. Yapı ve temeli bu şişme gerilmelerini karşılayabilecek bir karşı yük oluşturmalıdır. Çok katlı binalarda yapının ağırlığı bu karşı yükü sağladığından

çoğunlukla şişme problemleri ile karşılaşılmaz. Ancak az katlı yapılarda önemli hasarlar oluşabileceğinden bir miktar şişmeye izin veren yani yapıya esneklik kazandıran yüzer plakalar kullanılabilir. Plakaları temellerden ayrı dökmek ve plak ile duvar arasındaki kayacı kavrama sayesinde şişme meydana geldiğinde plaka düşey yönde hareket edebilmektedir (Coduto 2011). Ancak yüzer plakalar şişme davranışının düşük olduğu zemin ve kayaçlar için geçerli bir çözümdür. Daha yüksek şişme potansiyeline sahip zemin ve kayaçlarda radye ve kazıklı temeller uygun bir çözümdür. Bir bütün olarak hareket edecek kadar katı ve güçlü olan donatılandırılmış radye temeller kirişlerin şeklinden dolayı petek plaklar olarak da bilinir. Plak altında boş alanlar sağlamak için bu plaklar katlanabilir mukavva kalıpları kullanılarak dökülür. Böylece şişme için bir alan sağlanır. Aktif zon içerisinden geçerek şişmeyen sağlam zemine oturan kazık temel veya 30 cm'ye kadar şişme deformasyonlarına izin veren ayak temellere mesnetlenmiş yükseltilmiş plaklar (döşemeler) diğer seçenekleri oluşturmaktadır. Şişen ortama kireç enjekte edilmesi karayolları, havaalanı, tenis sahası gibi yerlerde uygulanmakla birlikte temellerde de ilave bir önlem olarak kullanılabilir.

#### 4. Sonuçlar

Mühendislik yapısının inşası ve tamamlanmasından çok sonra meydana gelen duraysızlık problemlerinin nedenleri



Şekil 17. Temel sistemleri ile şişme davranışına karşı önlemler.

incelendiğinde, proje başlangıcında yapılması gereken ön ve detay araştırmaların eksik yapılmasından kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni bilgisizlik, yetersizlik, maliyetten kaçma gibi pek çok etken olabilir. Proje alanındaki belirsizliklerin tam anlamıyla ortaya konulduğu durumlarda bile şişme davranışı tanımlanmamış olabilir. Tüm bunların sebebi, şişme davranışının ve yarattığı sorunların birçok teknik eleman tarafından farkında olunmamasıdır. Şişme zamana bağlı olarak yavaş yavaş gelişerek kendini hemen belli etmeyen sinsi bir davranış olmakla birlikte ortamın kuru olması durumunda ise hacim artışı meydana gelmemektedir. Bu durumlar şişme davranışından haberdar olmayan bir teknik elemanın daha sonraki zorlu süreçlerde büyük bir çaba sarf etmesini gerektirecektir.

Bu düşünceler ışığında Gökçetepe formasyonu kilttaşlarının şişme davranışına sahip olduğu hem şişme gerilmesinin belirlendiği deneyler hem de mineralojik analizler ile ortaya çıkarılmıştır. Bu durum yapılaşmaya açık olan bu alanda gerçekleştirilecek projelerin ön değerlendirme aşamasında teknik elemanlara kılavuzluk edebilecek katkı sağlanmıştır. Çalışma da geniş bir alandaki belirli sayıda sadece kilttaşları gözönüne alındığından proje alanındaki zemin ve değişik kayalardan alınacak örnekler üzerinde şişme gerilmesi-şişme deformasyonu davranışını ortaya koyan kapsamlı

deneylerin detay araştırma aşamasında yapılması yerinde olacaktır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma BEÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca 2012-17-14-01 kod nolu proje olarak desteklenmiştir. Yazarlar verdikleri destek için BEÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine teşekkür ederler.

## 6. Kaynaklar

- Akçalı, E., Arman, H. 2006.** Baraj dolgularında kullanılan doğal malzemenin seçim kriterleri ve limit aşımının doğuracağı tehlikeler. *SAÜ Fen Bilim. Enst. Derg.*, 10 (2): 16-23.
- Aköz, F., Çakır, Ö. 2014.** Betonarme korozyon. *Hazır Beton Derg.*, 124: 70-85.
- ASTM 1998.** Standart Test Method, For One-Dimensional Swell Or Settlement Potential Of Cohesive Soils. Annual Book of ASTM Standarts, Section 4 Construction, 04.08; Soil and Rock (I): D420-D 4914: 663-669.
- Bilir, ME. 2001.** Bazı deney parametrelerinin yapay örneklerin üç eksenli şişme davranışına etkilerinin araştırılması. *Doktora Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 135 s.
- Bilir, ME. 2010.** Şişen zeminler ve uzaktan algılama. *5. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Zonguldak, s. 381-392.

- Bilir, ME., Sari, YD., Müftüoğlu, YV., Dönmez, S. 2012.** Clay content effects on triaxial swelling characteristics of clay-bearing samples. *EEST Part A: Ener. Sci. Res.*, 29: 837-850.
- Briaud, JL., Abdelmalak, R., Zhang, X. 2012.** Design of stiffened slabs-on-grade on shrink-swell soils. *CIGMAT-2012 Conference & Exhibition*, p. 1-22.
- CGEN 2016.** Geoscape-S. Saskatchewan, Geoscience for Prairie Communities, Heaves and Cracks, Canadian Geoscience Education Network, <http://www.cgenarchive.org/saskatchewan-s-cracks.html>
- Chen, FH. 1988.** Foundation Expansive Soils. Second edition. New York, Elsevier, Scientific Publishing Company, 280 pp.
- Coduto, DP. 2011.** Temel Tasarımı, İlkeler ve Uygulamalar. Çevirenler: Mollamehmetoğlu, M. ve Kayabalı, K., Gazi Kitabevi, 816 s.
- Çokca, E. 2012.** Şişen killer. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 14. Ulusal Kongresi*, [http://sempozyum.sdu.edu.tr/zm14/docs/pdf/er/prof\\_dr\\_erdal\\_cokca.pdf](http://sempozyum.sdu.edu.tr/zm14/docs/pdf/er/prof_dr_erdal_cokca.pdf)
- Holtz, RD., Kovacs, WD., Sheahan, TC. 2015.** Geoteknik Mühendisliğine Giriş. İkinci basımdan çeviri (Çeviri editörü A. Erken), Nobel Akademik Yayıncılık, 855 s.
- Houmadi, Y., Mamoune, SDA., Belakhdar, K. 2009.** Swelling and geotechnical cartography of Saida soils. *JJCE* 3(1): 32-40.
- Ismail, HAH., Badry, MM. 2013.** Lime chemical stabilization of expansive deposits exposed at El-Kawther Quarter, Sohag Region, Egypt. *Geoscienc.*, 3(3): 89-98.
- ISRM 2007.** The Complete ISRM Suggested Methods For Rock Characterization, Testing And Monitoring: 1974-2006. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Commission on testing methods. International Society of Rock Mechanics. Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628 p.
- Jochim, CL. 1987.** Home landscaping and maintance on swelling soils. *Colorado Geol. Sur.*, 14: 1-31.
- Jones, LD., Jefferson, I. 2012.** Expansive soils. In: Burland, J., (ed.) ICE manual of geotechnical engineering. Geotechnical engineering principles, problematic soils and site investigation. London, UK, ICE Publishing, 1: 413-441.
- Lew, B. 2010.** Structure damage due to expansive soils: A case study. *EJGE*, 15: 1317-1324.
- Lucian, C. 2006.** Geotechnical aspects of buildings on expansive soils in Kibaha, Tanzania: Preliminary study. *Licentiate Thesis*, Royal Institute of Technology Department of Civil Engineering Division of Soil and Rock Mechanics, Stockholm, Sweden, 130 pp.
- Mao, D., Nilsen, B., Dahl, F. 2011.** Laboratory testing of swelling gouge from weakness zone-principle and recent update. *The 45th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*, American Rock Mechanics Association ARMA 11-152 San Francisco.
- NBG 1985.** Handbook in Engineering Geology-Rock. Norwegian Group for Rock Mechanics, Trondheim, Norway, 140 pp.
- NBG 2000.** Engineering Geology and Rock Engineering. Handbook No. 2. Norwegian Group for Rock Mechanics, Oslo, Norway, 192 pp.
- Nelson, JD., Chao, KC., Chao, GK., Overton, DD., Nelson, EJ. 2015.** Foundation Engineering For Expansive Soils. John Wiley&Sons. Inc., Hoboken, New Jersey, 385 pp.
- Nilsen, B., Ballou, BJ. 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*, p. 155-165.
- Noe, DC., Jochim, CL., Rogers, WP. 2007.** A guide to swelling soil for Colorado homebuyers and homeowners. *Colorado Geol. Sur.*, 43: 1-52.
- Özudoğru, S., Babür, E. 2001.** Jeotermal akışkan üretim ve re-enjeksiyon kuyuları. *Jeotermal Enerji Semineri*, s. 35-124.
- Pusch, R. 2012.** Environmental Soil Properties and Behaviour, Swelling Clays. Chapter 4. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC: p. 133-161.
- Sürül, S. 2013.** Gökçetepe Formasyonu (Zonguldak) kıltaşlarının şişme özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, 197 s.
- Tang, AM., Cui, YJ., Trinh, VN., Szerman, Y., Marchadier, G. 2009.** Analysis of the railway heave induced by soil swelling at a site in southern France. *Eng. Geol.*, 106: 68-77.
- Yenes, M., Nespereira, J., Blanco, JA., Sua' rez, M., Monterrubio, S., Iglesias, C. 2012.** Shallow foundations on expansive soils: a case study of the El Viso Geotechnical Unit, Salamanca, Spain. *Bull Eng Geol Environ.*, 71: 51-59.
- Yergök, AF., Ünal, A., İplikçi, Ü., Karabalık, N., Keskin, İ., Mengi, H., Umut, M., Armağan, F., Erdoğan, K., Kaymakçı, H., Çetinkaya, A. 1987.** Batı Karadeniz Bölgesi Jeolojisi. MTA Rapor No:8273, Ankara, 237 s.
- Yeşil, MM. 1991.** Determination of Three Dimensional Swelling Characteristics of Clay Bearing Rocks. *A Doctor of Philosophy Thesis in Mining Engineering*, METU, Ankara, 109 p.
- ZCSİM 2004.** Zonguldak İl Çevre Durum Raporu. Zonguldak Valiliği, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, 276 s.