

## Sarıgöl Fay Zonu Boyunca Meydana Gelen Deformasyonların Nedenleri Üzerine Bir Araştırma

*An Investigation on the Causes of Deformations Formed Along the Sarıgöl Fault Zone*

**M. Yalçın KOCA, Hasan SÖZBİLİR, Bora UZEL**

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR*

Geliş (received) : 10 Mayıs (May) 2011

Düzeltilme (revised) : 05 Temmuz (July) 2011

Kabul (accepted) : 06 Temmuz (July) 2011

### ÖZ

Bu çalışmada, Sarıgöl Fay Zonu boyunca gözlenen yüzey deformasyonları incelenmiştir. Sarıgöl kasabası, Gediz Grabeni'nin güneydoğu ucunda yer alır. Çalışma alanında yüzlek veren birimler, alttan üste doğru, Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayalar, Pliyo–Pleistosen yaşlı Asartepe formasyonu ve Holosen yaşlı alüvyonlardır. Asartepe formasyonu zayıf çimentolanmış kırıntılı kayalardan oluşmaktadır ve metamorfik kayaları uyumsuzlukla örtmektedir. Haritalanan faylar, Sarıgöl alanını üç bloğa ayırır. Sarıgöl yerleşim alanını kat eden faylardan biri (Sarıgöl Fayı) kanallarda, asfalt yolda ve evlerin duvarlarında deformasyonlara neden olmuştur. 2000 yılında Sarıgöl Fayı'nın yüzey deformasyonu boyunca meydana gelen düşey yer değiştirme miktarları 20 – 45 cm olarak ölçülmüştür. 2010 yılında aynı hatta ölçülen yer değiştirme miktarları 1.00 – 1.25 m'dir. Çalışmada, on yıllık dönem içinde meydana gelmiş olan 60 – 85 cm'lik ilave oturmaların nedenleri araştırılmıştır. Listrik-normal büyüme fayı olarak tanımlanan Sarıgöl Fayı'nın düşen bloğu üzerinde gelişen fay cebinde, zemin tabakaları fayın konveks şekilli aynasına doğru eğimlidir. Bu cepte, yüzeyden itibaren 9.0 – 11.5 m derinliğinde, geçirimsiz özellikte, CH-tipi killer ve bu kil seviyesinin üzerinde de silt ve kum tabakaları yer almaktadır. Fayın aynası ve geçirimsiz kil tabakası üzerinde yer alan üçgende, aşırı yağışlar sonrasında yüzey suları birikmektedir. Listrik faya doğru eğim kazanmış kumlu zeminlerin yağışlar sonrasında su ve eğimin etkisi ile borulararak fay açıklığından kaçtığı tahmin edilmektedir. Açıklık oluşumu, konveks fay yüzeyinde düşen fay bloğunun dönme hareketiyle açıklanmıştır. Diğer taraftan, su seviyesi düşümü her metrede yaklaşık 1 ton/m<sup>2</sup>'lik fazladan bir gerilme oluşturmuş ve normal konsolide olmuş killi zeminler yeniden konsolidasyona uğramıştır. 2000 – 2010 yılları arası kuraklık problemi ve aşırı su çekimine bağlı olarak yeraltı seviyesinin düşümüyle gelişen alansal oturmalar (sübsidans) ve sismik aktiviteyle fay bölgesi boyunca meydana gelen düşey yer değiştirmeler, bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gediz grabeni, Güncel deformasyon, Listrik normal fay, Mühendislik jeolojisi, Sarıgöl.

**ABSTRACT**

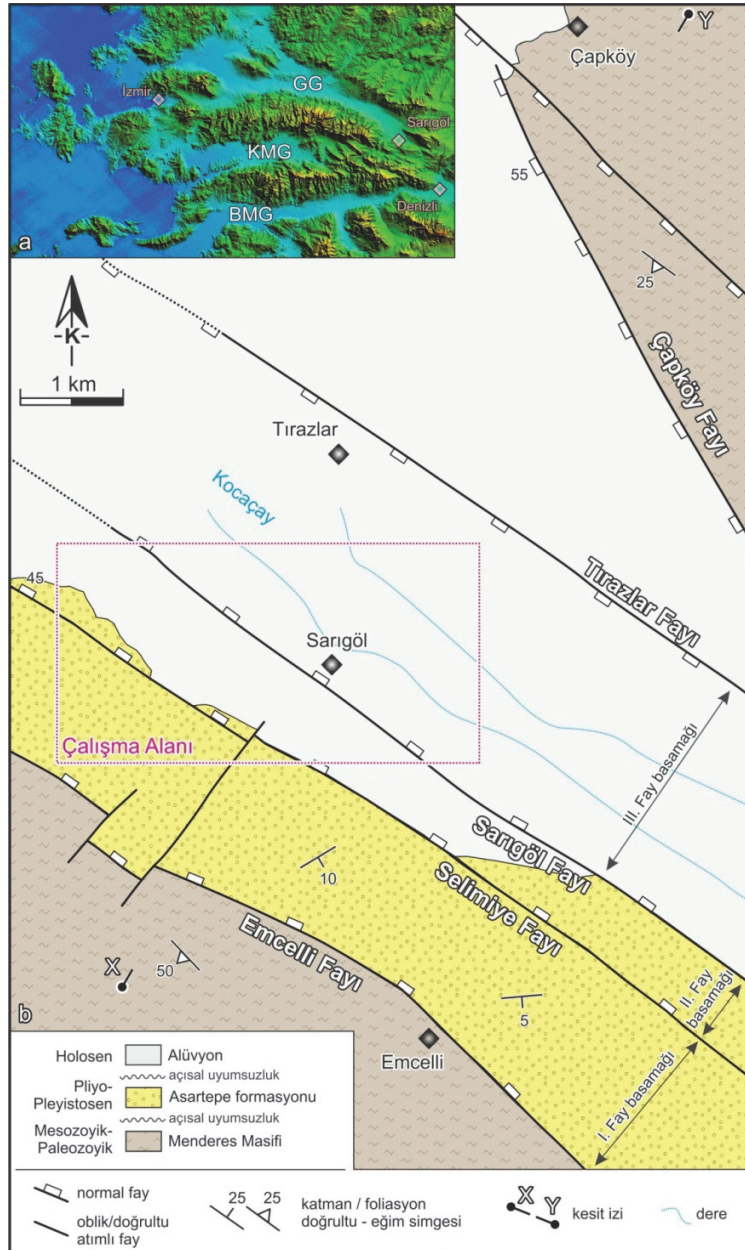
*In this study, causes of surface deformations observed along the Sarigöl fault zone have been investigated. Sarigöl Town is located at the southeastern end of the Gediz Graben. The rocks exposed in the study area, from bottom to top, are metamorphic rocks of Menderes Massif, Plio-Pleistocene aged Asartepe formation and Holocene alluvium. The Asartepe formation is made up of weakly cemented clastic rocks and unconformably overlies the metamorphic rocks. The mapped faults divide the Sarigöl area into 3 different blocks. One of the fault passing throughout Sarigöl municipality exhibits current deformational patterns on irrigational channels, asphalt roads and cracks on the walls of several houses. The amount of vertical displacement of surface rupture along the fault is about 20-45 cm in the year of 2000. On the other hand, the amount of displacement measured on the same profile in 2010 is 1.00 – 1.25 m. In this study causes for the additional vertical displacements of 60 – 85 cm which occurred in ten years were investigated in detail. Sarigöl fault is defined as “Listric normal growth fault” in this study. Soil beds in the hanging wall fault pocket are sloped towards the concave-up fault surface. In this pocket, an impermeable CH-type clay level at a depth of 9.0 - 11.5 m from the ground surface is located, and this level is overlaid by the silty and sandy soil beds. Surface water are accumulated in the area of triangular shape which is located on the clay level in front of the fault plane. It is estimated that sandy soils, which back-tilted toward listric fault, have been eroded from the open space of fault by the piping under the effect of water and back-tilting after the raining. Formation of the open space in the fault is explained by the rotational movement on the hanging wall of the fault. In addition, subsidence developed on the hanging wall of the fault due to the problem caused by decrease of the water level and drought in the years between 2000 and 2010 were computed. An extra load of 1.0 t/m<sup>2</sup> per meter of the decreasing water level was formed and the normally consolidated soil layers were overconsolidated. Amount of vertical displacement on the surface ruptures along the Sarigöl fault depending on both seismic activity in the region and overconsolidation was investigated in detail.*

**Key Words:** *Gediz graben, Recent deformation, Listric normal fault, Engineering geology, Sarigöl.*

**GİRİŞ**

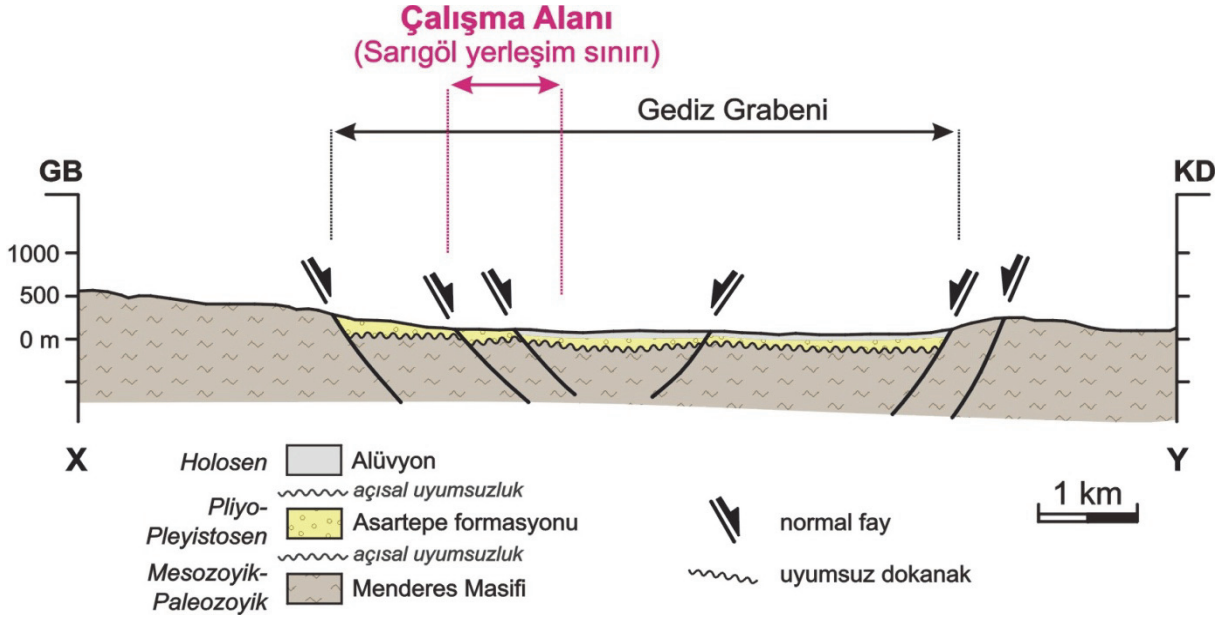
Gediz Grabeni'nin doğusunda yer alan Sarigöl kasabası, güneyden Emcelli, Selimiye ve Sarigöl fayları, kuzeyden ise Tırazlar ve Çapköy fayları ile sınırlanmış bir alan üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1). Sarigöl Fay Zonu'nu oluşturan bu faylardan birçoğu aktiftir ve yüzey deformasyonları kasaba sınırları içinde açıkça gözlenebilmektedir.

En güneyde, kuzeybatı – güneydoğu uzanımlı ve Asartepe formasyonu ile Menderes Masifi'ne ait kayaçlar arasındaki dokanağı temsil eden Emcelli Fayı, birinci fay basamağının güney sınırını oluştururken; ikinci fay basamağını güneyden Selimiye Fayı, kuzeyden ise Sarigöl Fayı sınırlar. Sarigöl yerleşim alanının kuzeydoğusundaki üçüncü fay basamağı, Sarigöl ve Tırazlar fayları arasında Gediz Grabeni'nin devamı şeklindeki graben içinde yer almaktadır (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1. (a) Çalışma alanının Batı Anadolu Grabenleri içerisindeki yeri (GG: Gediz Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, BMG: Büyük Menderes Grabeni), (b) Sarıgöl yöresinde gelişmiş graben fayları ve bu fayların oluşturduğu I, II ve III- numaralı fay basamakları (Koca vd., 2000).

Figure 1. (a) Location of study area in West Anatolian Grabens GG: Gediz Graben, KMG: Küçük Menderes Graben, BMG: Büyük Menderes Graben). (b) Graben faults in the Sarıgöl settlement area and I<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, and 3<sup>rd</sup> fault steps formed by their faults (Koca vd., 2000).



Şekil 2. Çalışma alanından geçen enine jeolojik kesit (kesit hattı için Şekil 1'e bakınız).

Figure 2. Geological cross-section of study area (see Figure 1 for location of the cross section).

Grabenin her iki kanadındaki faylara bağlı olarak deformasyonlar tarihsel dönem içerisinde süregelmiştir (Temiz vd., 1998). Sarıgöl ilçesindeki konutlarda gelişen deformasyonlar (yüzey deformasyonları ve bina hasarları), 06.08.1996 tarihinde etüt edilerek 26.08.1996 tarihli jeolojik etüt raporu Afet İşleri Genel Müdürlüğü (AİGM) tarafından düzenlenmiştir (Şekiller 3–5). Raporda, bir konutta ağır, çok sayıda konutta değişik hasarlar ve bahçe duvarlarında yıkılma şeklinde deformasyonların geliştiği belirtilerek olayın genel hayatı etkilemediği ifade edilmiştir. Belediye sınırları içerisinde yer alan alanlar 16 – 17.04.2008 tarihlerinde de etüt edilmiş ve 22.04.2008 tarihli jeolojik etüt raporu aynı kurum tarafından düzenlenmiştir. Raporda, beldede meydana gelen olayların tektonik kripi özelliği taşıdığı, yapı ve zemin deformasyonlarının 7269 sayılı yasa

kapsamında değerlendirilebilecek bir afet niteliğinde olduğu belirtilmiştir. Raporda kullanılan “tektonik kripi” terimi, depreme bağlı olarak gelişen kütle hareketini vurgulamaktadır.

Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı tarafından düzenlenen raporda, bölgedeki hendek ve yüzey araştırmaları sonucunda Sarıgöl Fayı üzerinde kripi türü (sismik aktiviteye bağlı olmaksızın) bir hareketin geliştiği sonucuna ulaşıldığı belirtilmiştir. Sarıgöl ilçesi, merkez mahallelerinde, AİGM tarafından yürütülen jeolojik çalışmaların sonucu olarak 14.08.2008 tarihli jeolojik etüt raporu hazırlanmıştır. Etüt raporunda, 94 binanın (85 konut, 9 iş yeri) “tektonik kripi” afetine maruz olduğu ve nakli gerektiği belirtilmiştir. Bu raporda tektonik kripi tanımı, depreme bağlı olarak gelişen kütle hareketi anlamında kullanılmamıştır.





Şekil 3. Sarıgöl Fayı boyunca gözlenen yüzey deformasyonları.

*Figure 3. Surface deformations observed along the Sarıgöl fault.*



Şekil 4. Sarıgöl Fayı'nın düşen bloğu üzerinde yer alan ağır hasarlı beton bir binanın görünümü.

*Figure 4. A view of the heavily damaged concrete building located on the hanging wall of the Sarıgöl fault.*

22.04.2008 ve 14.08.2008 tarihlerinde hazırlanan jeolojik etüt raporlarında, Sarıgöl Fayı boyunca meydana gelen hareketler farklı şekillerde tanımlanmışlardır. 22.04.2008 tarihli raporda “tektonik krip” olayı depreme bağlı, sismik bir etki sonucu oluşan afet olarak

tanımlanırken, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı teknik elemanlarınca hazırlanan 14.08.2008 tarihli raporda ise güncel deformasyonlar fay üzerinde sismik aktiviteye bağlı olmaksızın meydana gelmiş krip olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5. Yoğun yağışların olduğu dönemlerde, fayın düşen bloğu üzerinde borulanma nedeni ile meydana gelen çukur.

Figure 5. In the periods of heavy rains, the vertical hole occurred in the hanging wall of the fault due to piping.

Sarıgöl Fay Zonu ile ilgili AİGM tarafından hazırlanan 18.08.2008 tarihli raporda fay zonu “Afete Maruz Bölge” kararı alınmıştır. Yüze deformasyonlarından dolayı hasar görmüş 94 binayı içerecek şekilde bu zon “Yerleşime Uygun Olmayan Alan” olarak önceki çalışmalarda belirlenmiştir. Özel şahıs ve kurumlar tarafından yaptırılan iki önemli çalışma bu saha için mevcuttur. 2000 yılı ağustos ayında, Koca vd. (2000) tarafından, Sarıgöl ilçesi yerleşim alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi ve ilçenin yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmesini hedefleyen “Manisa İli, Sarıgöl İlçesi Yerleşim Alanına Ait Jeoteknik Etüt Raporu” adlı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, 25 farklı noktada derinlikleri 10 – 28 m arasında değişen karotlu zemin sondajları yaptırılmış, yerinde (in-situ) ve laboratuvarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak statik ve dinamik şartlarda mevcut zeminler üzerindeki yapılaşmaların güvenlik sınırları belirlenmiştir (Koca ve Kıncal, 2001).

İlçede gözlenen fayların etki alanları, yapılaşmaların güvenlik sınırları, işyeri ve konutlarda sismik aktiviteye bağlı gelişen yüzey deformasyonları ve yeraltı durumu dikkate alınarak inceleme alanı yerleşime uygunluk açısından sınıflandırılmıştır.

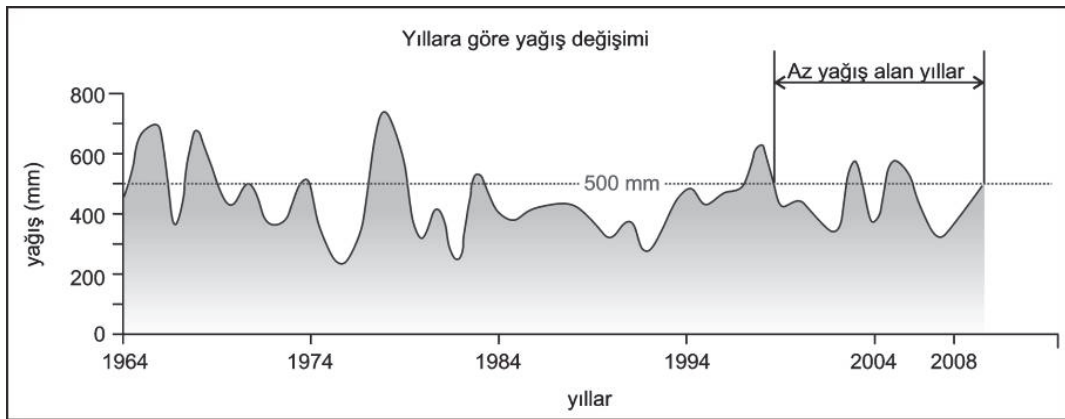
2010 yılı haziran ayında, özel şahıslar tarafından, Sarıgöl ilçesindeki güncel yüzey deformasyonlarını kapsayan ve Sarıgöl Fayı boyunca uzanan alanın, Emcelli Fayı'nın güneybatıda kalan kısmının ve yeni yerleşim alanının “İmar Planı ve Revizyonuna Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etüt Raporu” hazırlanmıştır. Bu raporda, 18.08.2008 tarihinde AİGM tarafından onaylanarak afete maruz bölge ilan edilen, Sarıgöl Belediyesi İmar Planı sınırları içerisinde yer alan yüzey deformasyonlarını kapsayacak şekilde tampon bölge oluşturulan 4.23 hektarlık alanın, yeniden yerleşime uygunluk değerlendirilmesi yapılmış ve tampon bölge genişliği belirlenmiştir.

2000 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi tarafından yapılan araştırmalar (Koca vd., 2000) Sarıgöl Fayı boyunca oluşan deformasyon yapıları üzerindeki düşey yer değiştirme miktarının 20 – 45 cm kadar olduğunu göstermiştir. Aynı hatta 2010 yılı itibarıyla ölçülen yer değiştirme miktarları 1.00 – 1.25 m'dir. 2000 yılındaki yer değiştirme miktarının dikkate alınması durumunda; 60 – 85 cm'lik ilave düşey yer değiştirmelerin 10 yıllık bir dönemde oluştuğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, fay bölgesi üzerindeki mülklerin sahipleri ile yapılan görüşmelerde bu kişiler; yoğun yağışların olduğu dönemlerde “yer altından gürültülü sesler geliyor” şeklinde ifadelerde bulunmuşlardır. Yoğun yağışların olduğu dönemlerde, fayın düşen bloğu üzerinde, 3 - 4 noktada ve derinliği 2 – 3 metreyi bulan düşey çukurlar oluşmuştur (Şekil 5). Sel sularının saatlerce fay hattı

üzerindeki bu çukurluklara aktığı yöresel yayın organlarında belirtilmiştir (Sarıgöl Gazetesi, 2010). Bu durum yöre halkı tarafından “sel sularını fay yuttu” şeklinde ifade edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Sarıgöl kasabası içinden geçen Sarıgöl Fay Zonu boyunca gözlenen yüzey deformasyonlarının nedenlerinin belirlenmesi için aşağıda sıralanan çalışmalar yapılmıştır:

a) Sarıgöl'de yıllık toplam yağış ve sıcaklık ortalamaları değerlendirilmiştir. Buna göre, 1964 ve 2010 yılları arasındaki yağış değişimi Şekil 6'da ve sıcaklık değişimi ise Şekil 7'de görülmektedir. 1996 ile 2004 yılları arasında önemli bir kuraklığın yaşandığı, aynı dönemde yağışların da oldukça azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Yıllara göre yıllık toplam yağışın değişimi.

Figure 6. The variation of annual precipitation according to the years.

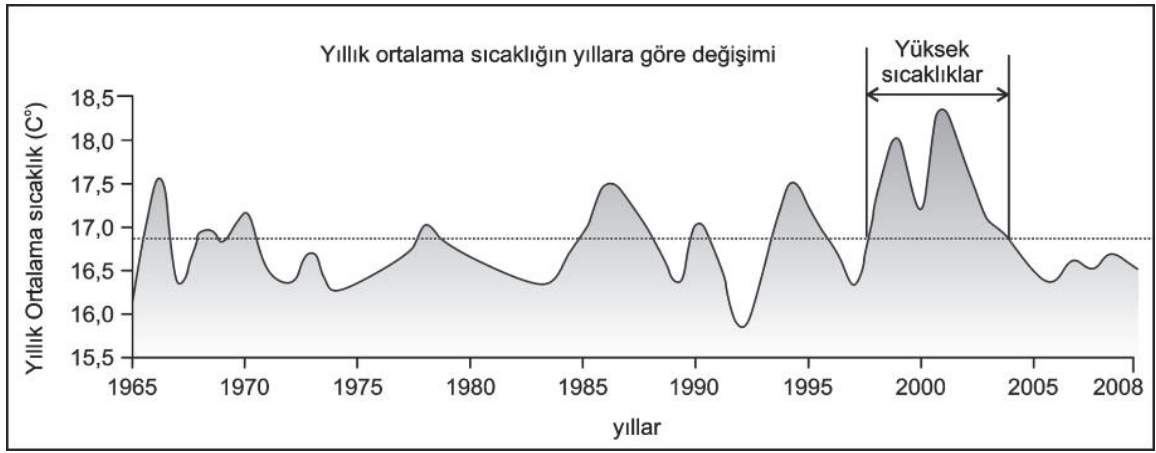
b) Yeraltı su seviyesinin düşüşüne bağlı olarak kil katmanlarında on yıllık dönemde meydana gelen aşırı konsolidasyon olayı ve sonucunda oluşan alansal oturmalar hesaplanmıştır.

c) Yüzeyden itibaren 3.5 m derinlikte, iki silt tabakası (ML) arasında yer alan, kalınlığı 2 m olan kumlarda (SP) borulanma sorununun oluşabileceğinin tespiti yapılmış ve bu sorun “fay cebi” adı verilen jeoteknik modelle çözülmüştür. Yoğun yağışların olduğu dönemlerde fay cebinin

bir tünük akifer gibi çalıştığı ve borulanma olayının bu mekanizmayla bağlantılı olduğu açıklanmıştır.

**d)** Sarıgöl Fayı'nın düşen bloğu üzerinde meydana gelen toplam yer değiştirme miktarı yukarıdaki olaylarla ve sismik aktiviteye bağlı gelişen hareketlerle ilişkilendirilerek açıklanmıştır. Ayrıca, Dokuz Eylül Üniversitesi tarafından 2000 yılında yapılan sondajlara ait

kütükler (loglar) ile laboratuvar deney sonuçları (Koca vd., 2000) bu çalışmada dikkate alınmış ve jeolojik kesitler yeniden yorumlanarak on yıllık süreç içinde gelişen olaylara yeni bir bakış açısı getirilmiştir. Bu kapsamda, Sarıgöl Fayı'nın tanımı yeniden yapılmış ve fayın düşen bloğu üzerinde gerek sismik aktiviteye gerekse yeraltı suyu düşümlerine bağlı olarak meydana gelen alansal oturmalar "fay cebi" modeli ile açıklanmıştır.



Şekil 7. Yıllara göre yıllık ortalama sıcaklığın değişimi.

Figure 7. The variation of annual mean temperature according to the years.

## YÖNTEM

Değişik nedenlerle su düzeylerinin düşmesi durumunda, efektif gerilme toplam gerilmeye yaklaşacak şekilde büyüyerek konsolidasyona neden olur. Su seviyesinin on yıl içinde yaklaşık 20 metre düşmesi, zemin katmanlarının ağırlıklarının artmasına neden olmuş ve iki farklı derinlikte yer alan killi zemin seviyelerini aşırı konsolidasyona uğratmıştır. Yeraltı su seviyesi düşümüne bağlı olarak killi zeminlerin oturma miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda, Koca vd. (2000) tarafından yapılan

konsolidasyon deneylerinin sonuçları kullanılmıştır. Oturma miktarlarıyla, fayın düşen bloğu üzerinde, on yıllık dönemde gerçekleşen ek düşey yer değiştirme miktarları karşılaştırılmıştır. İlave düşey yer değiştirmelerin, sadece hesaplanan oturma değerleriyle karşılanıp karşılanmayacağı veya ne kadarının karşılandığı belirlenmiştir. Sarıgöl Fayı'nın düşen bloğu üzerinde 9 – 11 m derinlikte, geçirimsiz kil katmanı üzerinde yer alan, üçgen şekilli ve kısa kenarı fay düzlemine



yaslanmış bir fay cebinin oluştuğu, bu cebin yoğun yağışlar sonrasında yüzey suları ile belli bir doygunluğa eriştiği varsayılmıştır.

Bu çalışmada, siltli ve kumlu siltli zeminlerin statik elastisite modülü, düzeltilmiş SPT-N<sub>30</sub>' değerleri kullanılarak Bowles (1998) tarafından önerilen aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$E_s = 300 (SPT-N'_{30} + 6) \quad (1)$$

Kayma modülünün ( $G_s$ ) hesaplanmasında ise, Tokimatsu (1988) tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$G_s = \frac{E_s}{2(1 + \nu)} \quad (2)$$

burada “ $\nu$ ” Poisson oranıdır ve siltli zeminler için bu çalışmada 0.30 olarak alınmıştır. Killerde bu değer 0.30 – 0.45 arasında değişmektedir (Wroth ve Wood, 1978).

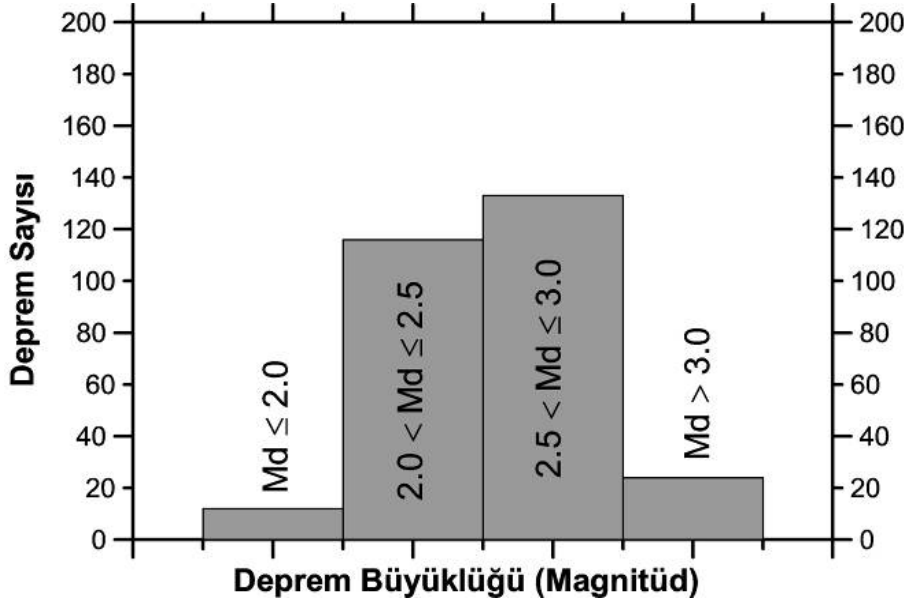
SK-11 sondajının 13.0 ve 13.7 metreleri arasından (I numaralı kil katmanı) Shellby tüpü kullanılarak konsolidasyon deneyi için örselenmemiş zemin örneği alınmıştır. Örnek, deney halkasının içerisine mümkün olduğunca örselenmeden yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan konsolidasyon aleti, ASTM D 2435-96 standartlarına göre imal edilmiş, belirli yükler altında zeminde meydana gelen düşey yer değiştirmeleri ölçen, zeminin sıkışma indisi ( $C_c$ ), sıkışma sayısı ( $a_v$ ) ve hacimsel sıkışma katsayısı ( $m_v$ ) gibi parametreleri belirlemede kullanılan bir cihazdır. Konsolidasyon deney aleti 5 cm çapında, 2 cm yüksekliğinde deney halkası, üst

ve alt kısımlarına konulan poroz taşlar ve konsolidasyon hücresinden oluşmaktadır.

## DEPREM ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sarıgöl ve yöresinde yer alan faylar kuzeydoğuya doğru eğimlidirler. Fayların doğrultuları genellikle vadiye paraleldir. Vadiye paralel çok sayıda fayla grabenin tabanı kademeli olarak çökmüştür. Bu faylar güneybatıdan kuzeydoğuya doğru (grabenin ortasına) doğru gençleşirler. 1881'den 2011 yılına kadar Gediz Grabeni üzerinde 40'tan fazla hasar verici deprem ( $M_w > 5.5$ ) meydana gelmiştir (Koeri, 2011). Bunlardan en bilineni 1969 Alaşehir depremidir. 6.5 büyüklüğündeki deprem 30 km uzaklıktaki Sarıgöl ilçesinde de etkili olmuştur. Arpat ve Bingöl (1970) fayın yüzey deformasyonları üzerinde 3 – 13 cm düşey atım ölçmüşlerdir. 01.03.2000 ve 01.04.2011 tarihleri arasında Sarıgöl yöresinde hasar verici deprem olmamasına karşın 285 adet mikro deprem kaydedilmiştir (Koeri, 2011). Bu depremlerin büyük bir bölümü son beş yılda meydana gelmiştir. Depremlerin büyüklüklerine göre dağılımları Şekil 8'de verilmiştir.

Bu depremlerin 228 tanesi Alaşehir–Sarıgöl–Buldun arasında uzanan normal faylar boyunca meydana gelmiştir. Sarıgöl'de son on yıl içerisindeki en büyük depremin büyüklüğü 3.7 olup 14.7.2009 tarihinde meydana gelmiştir. Bu depremlerin odak derinlikleri 3 – 16 km arasında değişmektedir. Şekil 9'daki sismotektonik harita üzerinde 11 yıllık dönem içinde meydana gelmiş depremlerin dış merkezleri ile mevcut graben faylarının konumları arasındaki ilişkiler görülmektedir.



Şekil 8. Sarıgöl ve yakın yöresinde (Enlem: 38–38.5, Boylam: 28.5–29) 01.03.2000 ve 01.04.2011 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin frekans dağılımı.

Figure 8. Histogram of the frequency distribution of earthquakes occurred in the Sarıgöl and it's vicinity between 01.03.2000 and 01.04.2011.

Sismotektonik aktivitenin en yoğun olduğu bölge Sarıgöl Fayı'nın güneydoğusudur (Şekil 9). I, II ve III numaralı fay basamakları üzerinde (Emcelli, Selimiye ve Sarıgöl faylarını kapsayan alan) ve Sarıgöl yerleşim alanı sınırları içinde (fayın yerleşim alanı içerisindeki uzunluğu 3 km'dir) meydana gelen deprem sayısı 64 olarak belirlenmiştir.  $1.7 < M_w < 3.7$  arasında büyüklüğe sahip, dış merkezleri Sarıgöl Fay Zonu üzerinde yer alan küçük depremlerin, hangi faydan kaynaklandığı bilinmemektedir.

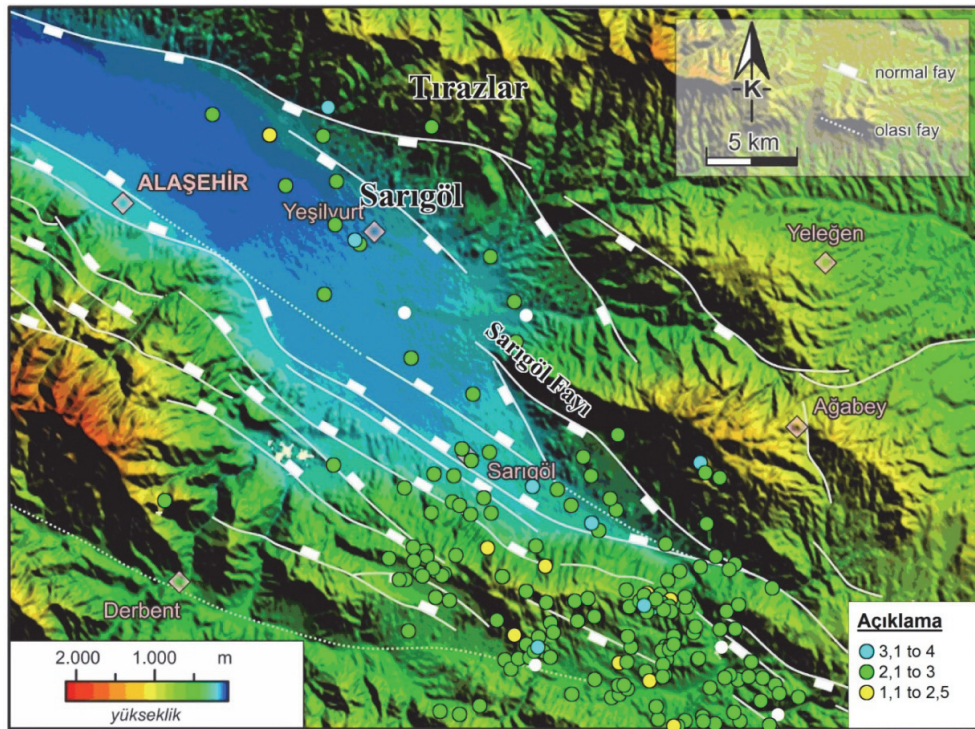
## MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Asarteppe formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen Kuvaterner yaşlı alüvyonların kalınlığı Sarıgöl ve yöresinde 0 – 40 metre arasında değişmektedir (Şekil 1). Alüvyon

kalınlığı, graben tabanının ortasına doğru artarak 40 metreye ulaşmaktadır. Birime ait litolojik veriler 25 noktada açılmış sondajlara ait loglardan elde edilmiştir (Şekil 10). Sondajlardan elde edilen zemin profilleri değerlendirildiğinde; Sarıgöl ve Emcelli fay zonları arasında kalan alanda zemin grubunun, genellikle düşük plastisiteli siltlerden (ML) oluştuğu anlaşılmaktadır (Şekil 10). Sarıgöl Fayı'nın kuzeyinde kalan alanlardaki baskın zemin grupları killi-siltli kumlardır. Sarıgöl yerleşim alanının zemini genel hatlarıyla derine doğru belli başlı dört farklı seviyeden oluşmaktadır (Şekil 11). Sarıgöl Fayı'nın düşen bloğu üzerinde yer alan zemin profilinin 9.0 – 11.5 metre derinlikten sonraki kesiminde siltlerle ardalanmalı plastik kil zonlarının (II ve IV numaralı zemin katmanları) varlığı dikkat çekmektedir (Şekil 11). Sarıgöl Fayı'nın taban

bloğunda yer alan zeminlerin penetrasyon dirençleri, tavan bloğundakilere (düşen blok) göre daha yüksek değerlerdedir. SK-19'da yüzeyden 0 – 2 m derinlikte yer alan nispeten düşük penetrasyon dirençlerine sahip (SPT-

$N_{30}'=13$ ) zon hariç, tüm zemin seviyelerinde SPT- $N'_{30}$  değerleri 38 – 50 aralığında elde edilmiştir.

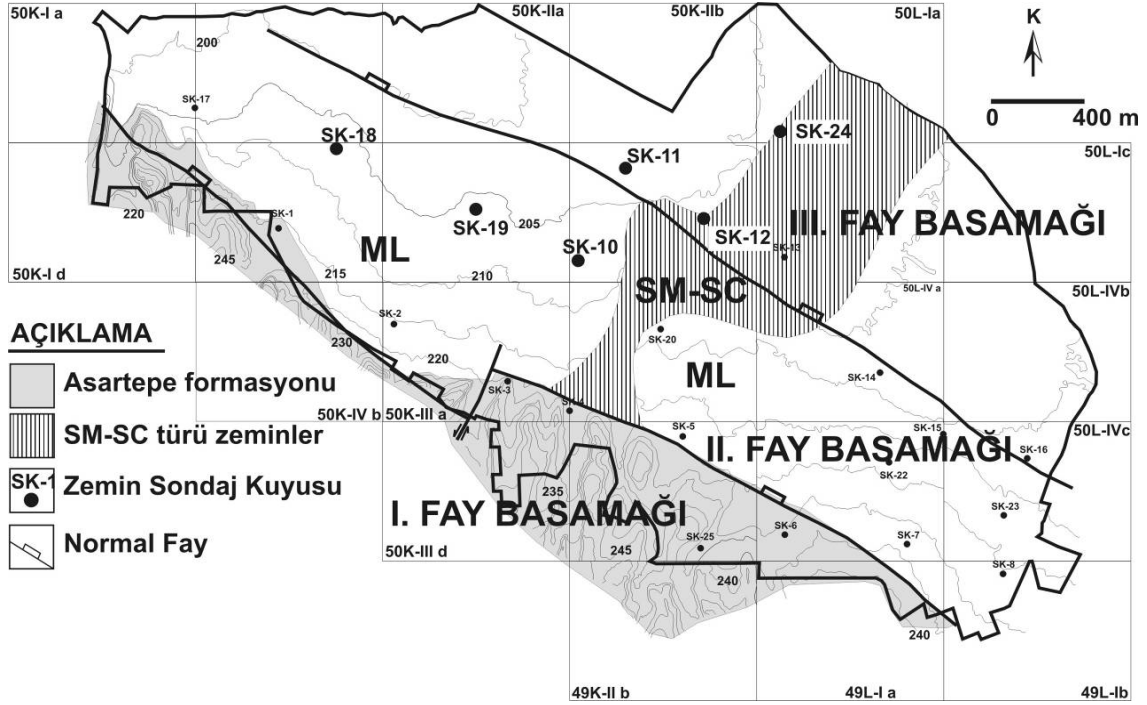


Şekil 9. 2000–2011 yılları arasında meydana gelmiş küçük depremlerin dış merkezlerinin Sarıgöl fay zonu boyunca dağılımları ([www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr) verileri kullanılmıştır).

Figure 9. Epicenter distribution of the small earthquakes occurred in the Sarıgöl fault zone between the years 2000 and 2011 (data used from [www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr)).

Sarıgöl Fayı'nın düşen bloğu üzerinde açılmış olan SK-11, SK-12 ve SK-24 numaralı sondajlara ait zemin profillerine bakıldığında; SK-11'den SK-12'ye doğru zemin profilinin en üst kesiminde, SK-11'de 3.5 m kalınlıkta ve yanal yönde devamsız "yumuşak siltler" yer almaktadır. Yumuşak siltlerin jeoteknik özelliklerine bakıldığında ( $Dr = \%30$ ,  $\gamma_n = 17.1$   $kN/m^3$ ,  $\omega_n = 0.26$ ,  $\phi = 27^\circ$ ,  $Es = 42$   $kg/cm^2$ ,  $Gs =$

$16$   $kg/cm^2$ ); bu tür zeminlerin gözenekli, düşük yoğunluklu, kayma dayanımı düşük, sıkışabilir zeminler olduğu anlaşılmaktadır. Yumuşak siltler 2 m kalınlığa sahip kötü derecelenmiş kumlar (SP) üzerinde yer alırlar ve çok düşük kayma ve deformasyon modülüne sahiptirler ( $Gs=16$   $kg/cm^2$ ,  $Es=42$   $kg/cm^2$ ). Kumlu zemin zonu Sarıgöl Fayı'nın tavan bloğunda faya doğru eğimlidir (Şekil 12).



Şekil 10. Sarıgöl fay zonu üzerindeki baskın zemin tipleri ve önceden açılmış sondajların lokasyonları.

Figure 10. Dominant soil types on the Sarıgöl fault zone and locations of the boreholes drilled beforehand.

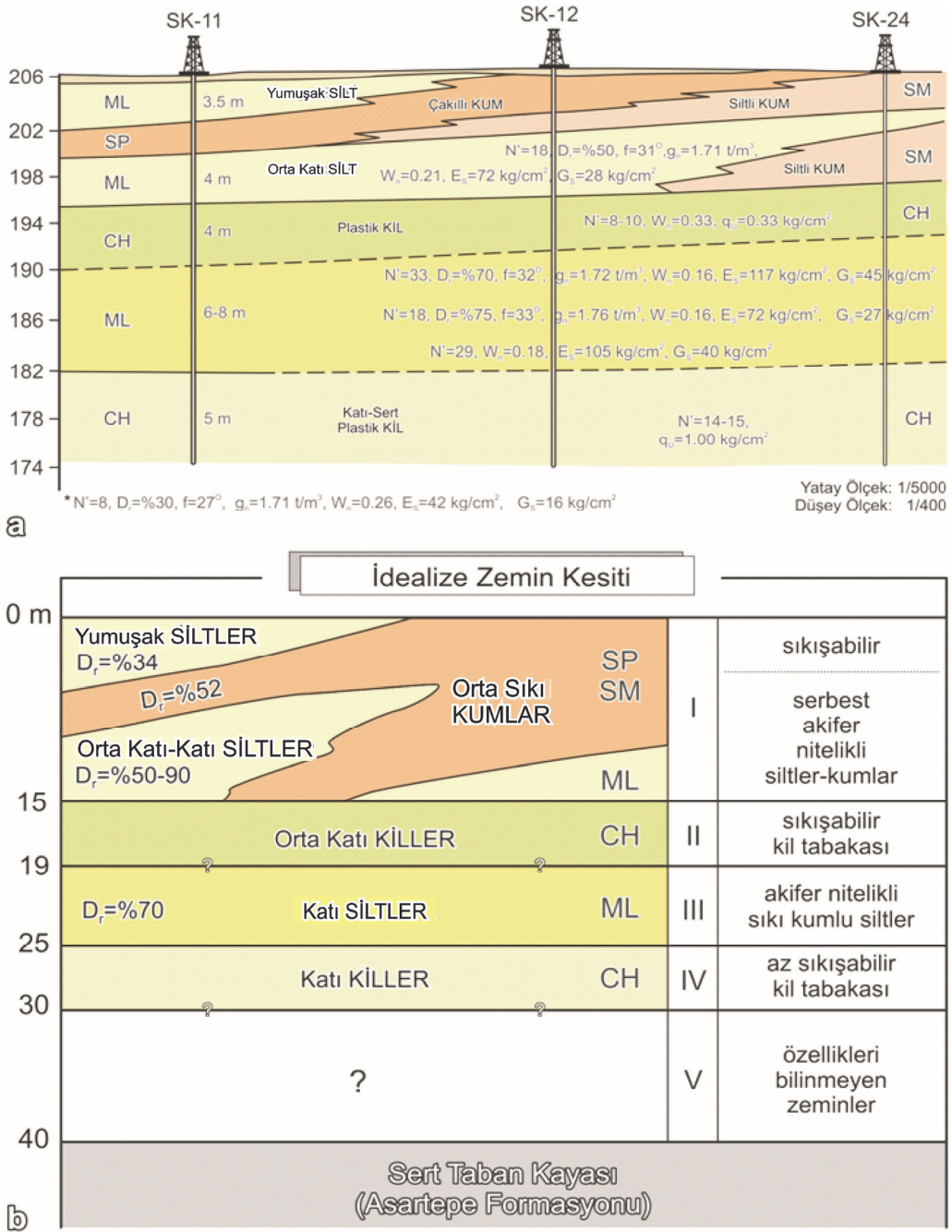
Orta katı killerin üzerinde yer alan siltli zeminler kapilarite etkisiyle yüksek doygunluk derecelerine erişebilir. Toplam 13 metrelik siltli zonun 7.5 metreden sonraki kesimi nispeten daha yüksek kayma modülüne sahip “orta sıkı-sıkı siltlerden ( $G_s=28 \text{ kg/cm}^2$ ,  $E_s=72 \text{ kg/cm}^2$ ) oluşmaktadır (Şekil 11).

II numaralı zonu, düşük penetrasyon direncine sahip ( $SPT-N'_{30} = 8-10$ ), plastik özellikte, yaklaşık sıkışma dayanımı  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  olan CH-türü killeri oluşturur. SK-11 ve SK-24 numaralı sondajlarda 4 metre kalınlıkta kil kesilmiştir. SK-11’de 11.5 metrede, SK-24’te ise 9 metrede kile girilmiştir. Düşük plastisiteli siltler içerisinde yanal yönde kamalanan II

numaralı plastik kil zonu Sarıgöl fayı’nın yükselen bloğu üzerinde yer alan sondajlarda kesilmemiştir (Şekil 12).

III numaralı zonu düşük plastisiteli siltler oluşturur. Genellikle katı zemin özelliğine sahip olan bu zonda ölçülen penetrasyon direnci değerleri  $SPT-N'_{30} = 18 - 33$  arasında, kayma modülü değerleri ise  $27 \text{ kg/cm}^2 < G_s < 46 \text{ kg/cm}^2$  dolaylarındadır. Bu özellikleri nedeniyle, III numaralı zonu oluşturan düşük plastisiteli siltler ya sıkışabilir zemin özelliğine sahip değildir ya da oturmanın büyük bir bölümünü tamamlamış durumdadır.

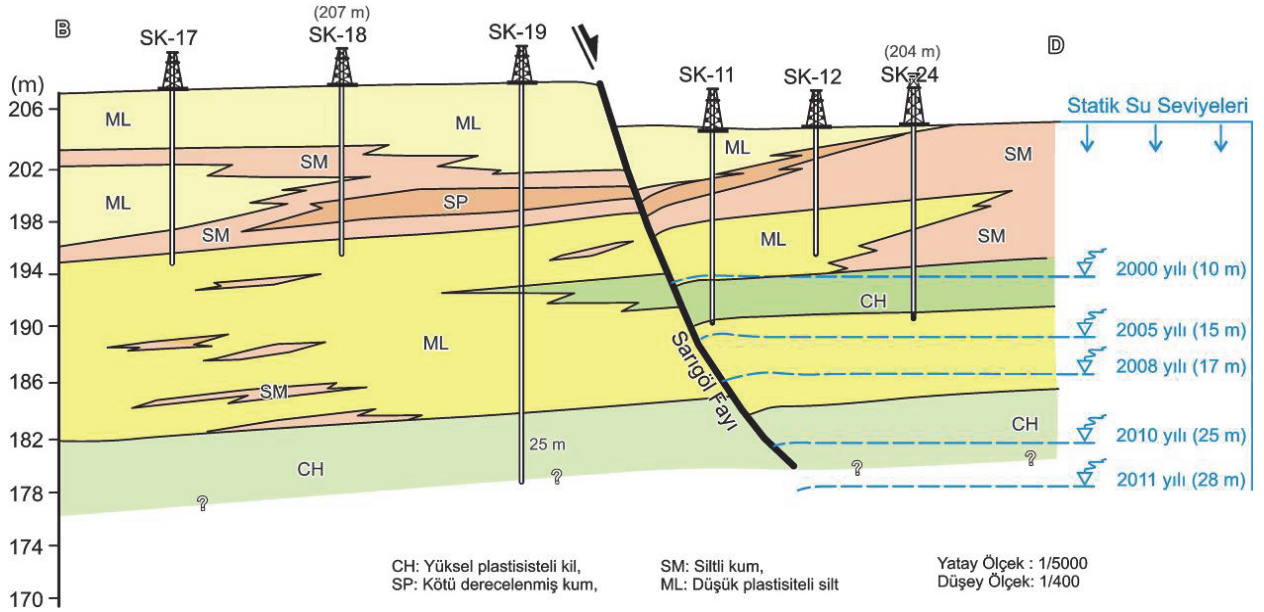




Şekil 11. (a) Sarıgöl Fayı'nın düşen bloğu üzerinde açılmış olan sondaj profilleri, (b) Sondaj profillerden elde edilen zeminlerin jeoteknik özellikleri.

Figure 11. (a) Geotechnical descriptions of the soils drilled in the hanging wall of the Sarıgöl fault, (b) the geotechnical properties of the soils obtained from the drillings.





Şekil 12. Sondaj verilerinden yararlanılarak elde edilen jeoteknik kesit.

Figure 12. Geotechnical cross-section obtained by using the borehole data.

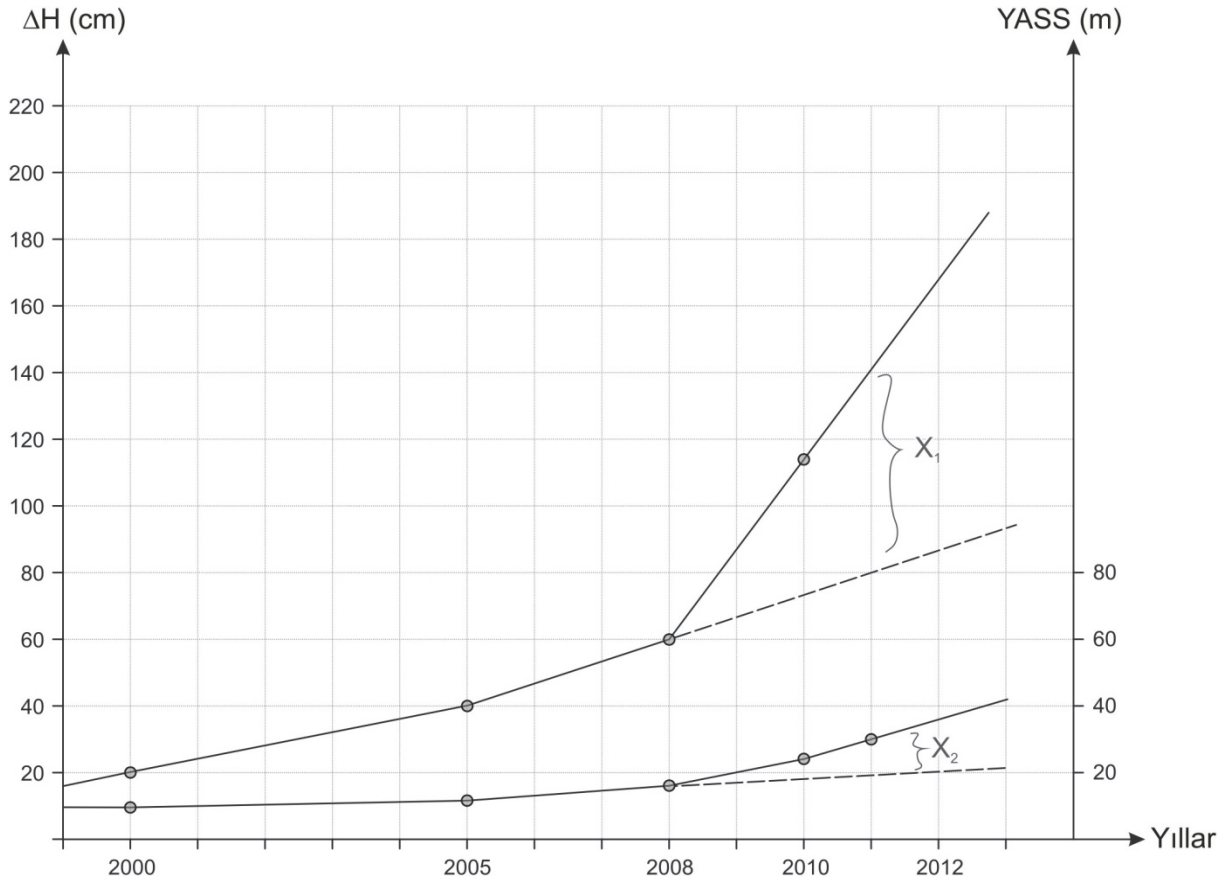
25 – 30 metre arasında yer alan IV numaralı zonu plastik özellikteki katı killer oluşturur. CH-türü bu killerin penetrasyon dirençleri  $SPT-N'_{30} = 14 - 15$  civarında, sıkışma dayanımları ise  $q_U = 1,0 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Bu zon az sıkışabilir kil özelliğindedir.

### ON YILLIK DÖNEM İÇİN MEYDANA GELEN YERALTI SUYU DEĞİŞİMLERİ VE OTURMA MİKTARLARI

On yıllık dönem içindeki yeraltı suyu değişimlerine bakıldığı zaman (Şekil 13), 2008 yılından sonra yeraltı suyu seviyesinde hızlı bir düşüş gözlenir.

Bu durum, bölgede, 2008 yılından sonra meydana gelen kuraklık ve aşırı su çekimi ile açıklanabilir.

Koca vd. (2000) tarafından arazide yapılan gözlemler, Sarıgöl Fayı boyunca oluşan deformasyon yapıları üzerindeki yer değiştirme miktarının 20 – 45 cm kadar olduğunu göstermiştir. Bugün itibariyle ölçülen yer değiştirme miktarları 1.00 – 1.25 m civarındadır (Şekil 13). Bu değerlendirmede, yüzeyde yer alan killi, kumlu siltler (ML) ve iki plastik kil zonu arasında kalan, nispeten yüksek penetrasyon dirençlerine sahip diğer killi, kumlu siltlerin (ML) oturmalarını tamamladığı varsayılmıştır (Şekil 13 ve 14).



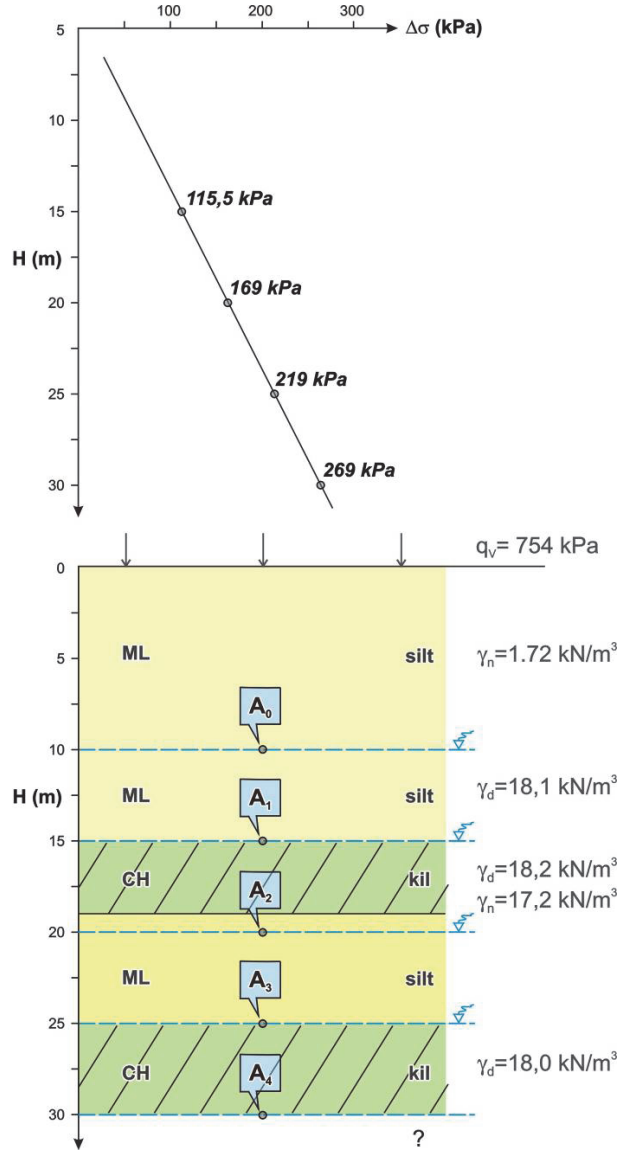
Şekil 13. Yıllara göre meydana gelen oturma miktarları ve yeraltı su seviyesi değişimleri [ $X_1$ : Su seviyesinin düşümü nedeniyle meydana gelen oturmalar (alsansal oturmalar),  $X_2$ : Aşırı kuraklık nedeniyle meydana gelen yeraltı su seviyesindeki düşümler].

Figure 13. The values of settlements and changes of the groundwater levels according to the years [ $X_1$ : Settlements (subsidiences) occurred due to the decrease of the groundwater level.  $X_2$ : The decrease of the groundwater level due to over drought].

### YERALTI SU SEVİYESİ DÜŞÜMLERİNE BAĞLI OLARAK GELİŞEN GERİLME ARTIŞLARI

Sarıgöl yerleşim alanında 3 - 4 katı geçen bina sayısı son derece sınırlıdır. Yapılardan zemine aktarılan düşey uniform yüklerin ortalama olarak  $q_v = 75$  kPa mertebesinde olduğu tahmin edilmiştir ( $q_v = 0,75$  kg/cm<sup>2</sup>). Bu yükler

temel genişlikleri ile orantılı olan alanlarda zemine aktarıldığından, derinlerdeki zemin tabakalarında belli bir gerilme artışı oluşturmalarına rağmen bir konsolidasyona neden olmazlar. Zeminlerin oturmasına neden olan esas etkenler, ya zemin tabakalarındaki yeraltı su seviyesinin ya da bölgede derin bir akiferin piezometrik su seviyesinin düşmesidir (Şekil 13).



Şekil 14. Yeraltı su seviyesinin düşümüne bağlı olarak meydana gelen gerilme artışları.

Figure 14. Stress increments due to the decrease of the groundwater level.

Zeminin herhangi bir noktasındaki toplam gerilme, buraya etkiyen suyun piezometrik su basıncı kadar eksik gerçekleşir. Bu durumda efektif gerilmeler etkili olur ( $s' = s - u$ ). Su seviyesinin bir şekilde düşürülmesi ile efektif

gerilmeler toplam gerilmelere yaklaşarak büyür. Zemin tabakalarının ağırlığının artmasına bağlı olarak efektif birim hacim ağırlığı ( $\gamma'$ ) söz konusudur. Oluşan ek yük, zeminlerin konsolidasyon sürecini hızlandırır. Buna göre:

Su seviyesi 15'inci metrede ise (5 metre düşüm);

$$s_A = 17.1 * 10 + (18.1 - 10) * 5 = 171 + 40.5 = 211.5 \text{ kPa (Şekil 13 ve 14).}$$

$$s_{A1} = 211.5 + 75 = 286.5 \text{ kPa (Su seviyesi 10 metredeyken } A_1 \text{ seviyesindeki gerilme artışı)}$$

$$Ds_{A1} = 286.5 - 171 = \underline{115.5 \text{ kPa}} \text{ (} A_1 \text{ noktasındaki gerilme artışı)}$$

$$s_{A0} = 17.1 * 10 = 171 \text{ kN/m}^2 = \underline{171 \text{ kPa}} \text{ (Şekil 13 ve 14).}$$

$$s_{A2} = 17.1 * 10 + (18.1 - 10) * 5 + 4 * (18 - 10) + (18.2 - 10) * 1$$

$$= 171 + 40.5 + 32 + 8.2 = 251.7 \text{ kPa (Su seviyesi 10 metredeyken } A_2 \text{ noktasındaki gerilme)}$$

Su seviyesi  $A_2$  noktasının altına inmiş olması durumunda;

$$s_{A1} = 17.1 * 15 + 17.2 * 4 + 17.1 * 1 = 256.5 + 68.8 + 17.1 = 342.4 \text{ kPa}$$

$$s_{A1} = 342.4 + 75 = 417.4 \text{ kPa (Şekil 13 ve 14)}$$

$$Ds_{A2} = 417.4 - 251.7 = \underline{165.7 \text{ kPa}} \text{ (} A_2 \text{ noktasındaki gerilme artışı)}$$

$$s_{A3} = 251.7 + (18.1 - 10) * 5 = 251.7 + 40.5 = 292.2 \text{ kPa (Su seviyesi 10 metredeyken } A_3 \text{ noktasındaki gerilme).}$$

Su seviyesi  $A_2$  noktasının altına inmiş olması durumunda;

$$s_{A3} = 342.4 + 18.2 * 5 = 436.6 + 75 = 511.6 \text{ kPa (Şekil 13 ve 14)}$$

$$Ds_{A2} = 511.6 - 292.2 = \underline{219.4 \text{ kPa}} \text{ (} A_3 \text{ noktasındaki gerilme artışı)}$$

$$s_{A3} = 292.2 + (18 - 10) * 5 = 332.2 \text{ kPa}$$

Su seviyesi  $A_3$  noktasının altına inmiş olması durumunda;

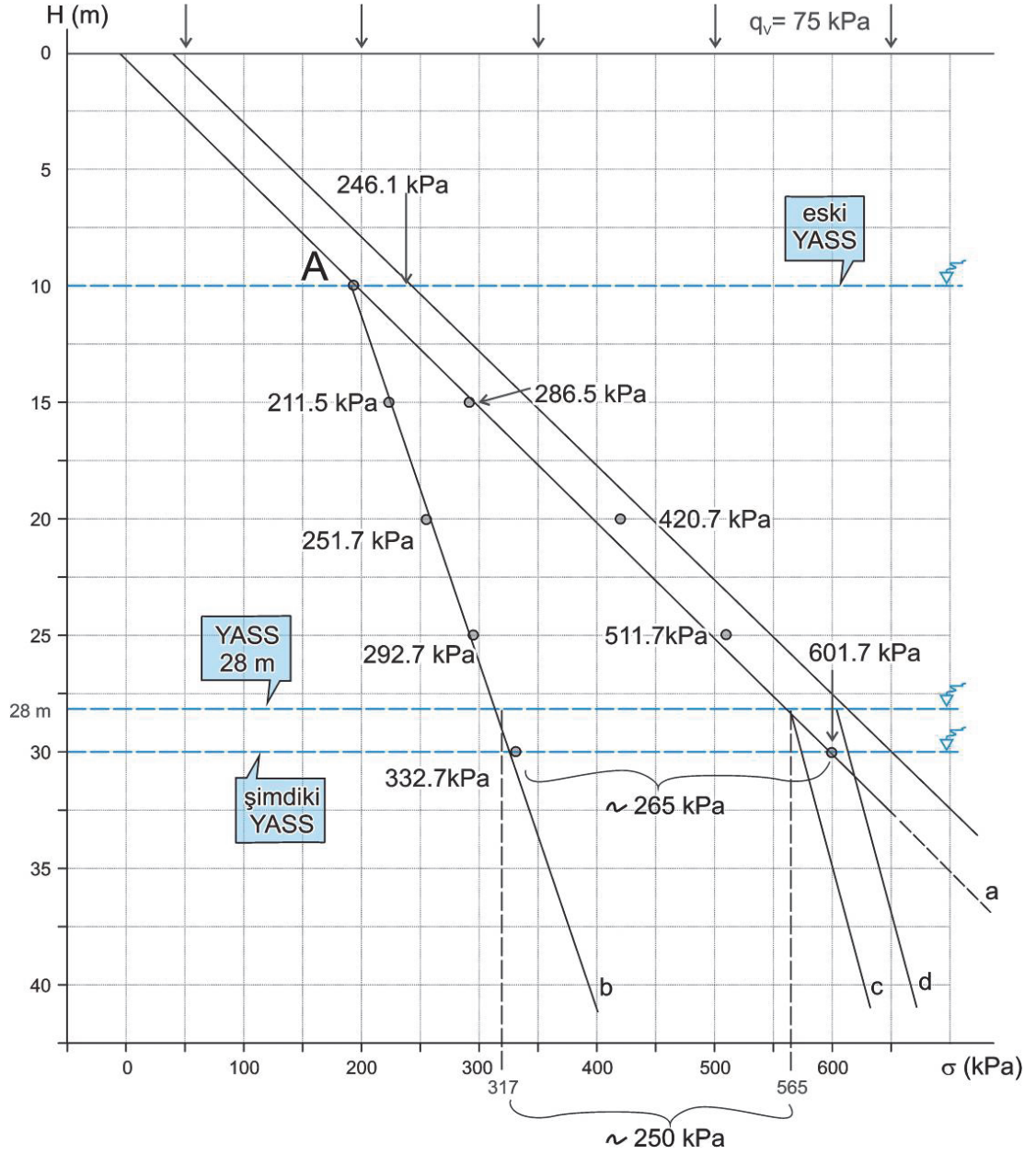
$$s_{A3} = 436.6 + 18 * 5 = 526.6 + 75 = 601.6 \text{ kPa (Şekil 13 ve 14)}$$

$$Ds_{A3} = 601.6 - 332.2 = \underline{269.4 \text{ kPa}} \text{ olarak elde edilir (} A_4 \text{ noktasındaki gerilme artışı).}$$

Toplam gerilmeler, tabakaların kendi ağırlıklarından kaynaklanan, yeraltısuyunun yüzdürücü etkisinin yok varsayıldığı gerilme durumu olarak tanımlanabilir (Şekil 15). Toplam gerilmeler a-çizgisiyle temsil edilirken, b-çizgisi yeraltı su seviyesi (yüzdürücü) 10 metredeyken oluşan aktif gerilmeleri, c- çizgisi 2011-Ocak ayı itibariyle yeraltı su seviyesi 28 metredeyken oluşan aktif gerilmeleri, d-çizgisi üst yapıdan kaynaklanan 75 kPa'lık bir ek yükün sonucunda oluşan son durumu gösterir (Şekil 15). Su seviyesinin 10 ve 30 m seviyelerinde olması durumunda 265 kPa'lık gerilme artışı meydana gelmektedir (Şekil 15).

Piezometrik düzeydeki 20 m'lik düşümlerin oluşturacağı 265 kPa mertebesindeki gerilmeler, yaklaşık olarak 18 - 19 katlı bir yapının zemine

aktaracağı yüklere eşdeğerdir. Bu boyuttaki gerilmelerin de, tüm alanda sıkışabilir zemin kesitinde etkili olacağı açıktır. Sarıgöl esnaf çarşısı ve Yukarı Koçaklılar Caddesi üzerinde yer alan iş yerlerine ait kaldırımlarda yapılan güncel ölçümlerde, düşey yer değiştirme miktarı 1.00 - 1.25 m olarak belirlenmiştir. 2000 yılındaki yer değiştirme miktarının 40 cm olarak kabul edilmesi durumunda; 60 - 85 cm'lik ilave oturmaların [100-40 = 60 cm ve/veya 125-40 = 85 cm] son 10 yıllık süre içinde (2001-2010 yılları arasında) olduğu ortaya çıkmaktadır (Şekil 14). 2000 yılından itibaren aşırı su çekimi, yıllık sıcaklıkların önceki dönemlere göre artması (2004-2008 yılları arasında yıllık yağış miktarı çok düşük gerçekleşmiştir) ve yeraltı su seviyesindeki ani düşümler zemin tabakalarının ağırlıklarının artmasına neden olmuştur.



Şekil 15. Konsolidasyona neden olan farklı derinliklerdeki etkili gerilme artışları: (a) Toplam gerilmeler, (b ve c) Efektif gerilmeler.

Figure 15. Effective stress increments at different depths causing consolidation: (a) Total stresses, (b and c) Effective stresses.



### Sarıgöl Fayı'nın Düşen Bloğu Üzerinde Yeraltı su Seviyesi Düşümlerine Bağlı Gelişen Alansal Oturmalar

Zemin tabakalarının ağırlıklarındaki artışlar, 2010 yılı itibariyle (Yeraltı su Seviyesi (YASS): 30 m) 265 kPa'ya ( $\Delta\sigma = 2-4 \text{ kg/cm}^2$  aralığında) erişmiştir (Şekil 15). Ağırlık artışları zeminde gerilme artışlarına neden olmakta ve bunun sonucunda oturmalar meydana gelmektedir. I ve II numaralı plastik kil zonları (CH) sıkışabilir zemin özelliğinde olduklarından, bu seviyeler su seviyesi düşümlerine koştut olarak konsolidasyona uğramışlardır. Konsolidasyon deneyi sonucunda, hacimsel sıkışma sayısı  $m_v = 0.0189 \text{ cm}^2/\text{kg}$  ve konsolidasyon katsayısı ise  $c_v = 0.305 \text{ cm}^2/\text{dak}$  olarak belirlenmiştir. Konsolidasyon katsayısı ve hacimsel sıkışma sayısı değerleri dikkate alındığında; killer "orta sıkışabilirlikte" ( $0.02 \text{ cm}^2/\text{kg} < m_v < 0.005 \text{ cm}^2/\text{kg}$ ) kohezyonlu zemin olarak sınıflandırılmıştır. CH-I: 4.0 m ve CH-II: 5 m olduğundan, toplam sıkışabilir kil tabakası kalınlığı 9.0 m olarak elde edilir. Gerilme artışı  $\Delta\sigma = 265 \text{ kPa}$  için toplam oturma miktarı Eşitlik 1 gereğince 45 cm olarak hesaplanmıştır.

$$\Delta H_c = H_o \times m_v \times \Delta\sigma \quad (3)$$

$$\Delta H_c = 900 * 0.0189 * 2.65$$

$$\Delta H_c = 45 \text{ cm}$$

Boyutsuz zaman faktörü " $T_v$ " aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$T_v = \frac{c_v \times t}{H_{dr}^2} \quad (4)$$

Burada,  $c_v$  : konsolidasyon katsayısı,  $t$  : başlangıçtan itibaren geçen zaman (sn, dak...vs),  $H_{dr}$ : drenaj yolu uzunluğudur (cm). Drenaj yolu

uzunluğu ( $H_{dr}$ ), kil tabakasının her iki tarafının belirli bir geçirimsizliğe sahip olduğu varsayıldığından, hesaplamalarda " $H/2$ " olarak alınmıştır. Nihai konsolidasyon oturmasına karşılık gelen zaman da Eşitlik 3'ten hesaplanmıştır.

$$t_{90} = \frac{T_{v_{90}}}{c_v} \times H_{dr}^2 \quad (5)$$

burada,  $T_{v_{90}} = 0.848$  olarak, farklı konsolidasyon yüzdelerine karşılık gelen " $T_v$  - Zaman" faktörleri tablosundan (Aytekin, 2000) elde edilmiştir. Böylece, Eşitlik 5'ten

$$t_{90} = \frac{0.848 * 450^2}{0.305} = 563016.4 \text{ dakika}$$

elde edilir. Bu değer, yaklaşık 391 güne (13 aya) karşılık gelmektedir. Yeraltı su seviyesi 30 metreye düştükten sonraki 13 aylık dönemin sonunda, oturmaların % 90'ının tamamlanmış olduğu ortaya çıkmaktadır.

### FAY CEBİ OLUŞUMU VE ÖNEMİ

SK-24'te, 9. metrenin altında kesilen CH-türü killer, SK-11'de 11.5 metreden sonra yer almaktadır (Şekil 13). Bu zon, fay önünde geçirimsiz bir perde görevi yapmakta ve aşırı yağışlar sonrasında üzerinde yer alan zemin katmanlarını suya doymun halde tutabilmektedir. Yüzeyden itibaren, özellikle ilk 5.5 m'lik zonun suya doymun koşullarda meydana getirebileceği mühendislik problemi, yüksek penetrasyon direncine sahip sıkı kumlarda ( $D_r = \%52$ ) su nedeniyle oluşan boşluk suyunun daneler arasında meydana getireceği gevşemeye bağlı borulanmadır (piping). Suya doymun koşullarda, suyun etkisiyle gevşek zemin özelliğine geçen bu zon, SK-11 ile SK-12 arasındaki şerit boyunca (Şekil 13) yüzey deformasyonları oluşturabilecek niteliktedir. Suya doymun hale gelmiş kumlu zonda, karbonat içeriği yüksek zemin

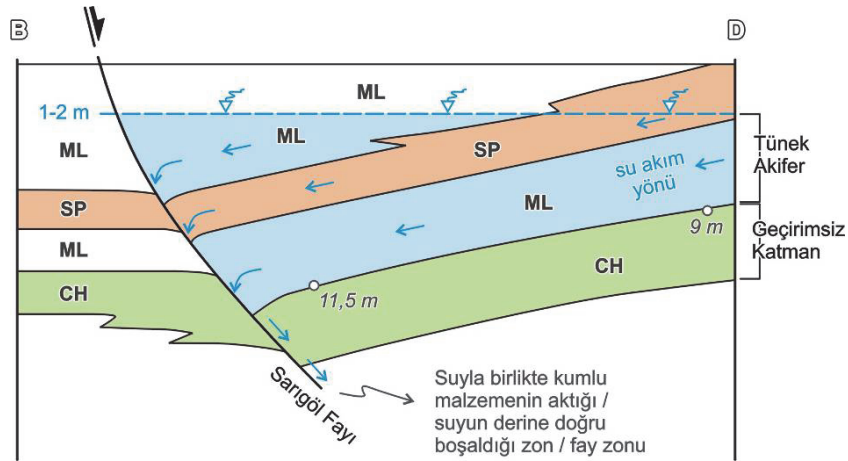
kesitlerinde, erimeye bağlı olarak boşluk oluşumları da gözlenebilecektir.

Fay yüzeyi ile birlikte SK-24'te 9. metrenin altında yeralan CH-plastik kil zonu (I numaralı kil zonu) yandan ve alttan geçirimsiz bir cep oluşturmaktadır (Şekil 16). Zemin katmanlarının eğim yönlerinin fayın aynasına doğru olması, bu cepte suyun birikmesini olanaklı hale getirmektedir. Zemin katmanlarının Şekil 16'daki gibi yerleşimi, özellikle yoğun yağışlar sonrasında yüzeyden itibaren 9 – 10 m kalınlığındaki siltli-kumlu zonu "tünek akifer" şekline dönüştürmektedir. Yoğun yağışlar sırasında zemin belli bir doygunluğa erişmekte, kurak mevsimlerde ise doğal su içeriğinde kalmaktadır. Zemin, suyunu Sarıgöl Fayı'nın iç bükey yüzeyi boyunca kil tabakasının altına boşaltmaktadır. Suyun boşalabileceği tek nokta fay aynası ile kil tabakası arasındaki faylanma etkisi ile oluşmuş örselenmiş zondur (Şekil 16). Yoğun yağışların olduğu dönemlerde, fayın düşen bloğu üzerindeki 3 - 4 noktada oluşan ve derinlikleri 2 – 3 metreyi bulan düşey çukurlar,

suya doymun koşullardaki kumlu zemin tabakasının borulanması sonucu fayın kayma yüzeyi boyunca akmasıyla oluşmaktadır.

Sarıgöl Fayı boyunca, özellikle fayın düşen bloğu üzerinde deformasyonların daha yoğun olarak gözlenmesinin nedenlerinden biri de, yukarıda bahsedilen "cep oluşumunun" gerçekleşmesidir. Zemin katmanlarının faya doğru eğim kazanması ve bu zona doğru eğilerek deforme olması faylanmanın etkisiyledir. Bu nedenle, cep oluşumuna bu çalışmada "fay cebi" adı verilmiştir.

Şekil 16'da, fay cebinde olduğu düşünülen tünek akifer ve yeraltısuyu akım yönleri gösterilmiştir. Zemin tabakalarının eğim yönünden dolayı, suyun hareket yönünün fay aynasına doğru olması ve tünek akiferde biriken suyun konik fay yüzeyi boyunca geçirimsiz kil tabakasının altına doğru ilerlemesi de oluşturulan jeolojik modelde görülmektedir.



Şekil 16. Fay cebinde oluşan tünek akifer ve jeolojik modeli (ölçeksiz).

Figure 16. Perched aquifer formed in the fault pocket and its geological model (not to scale).

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, karotlu zemin sondajlarından elde edilen veriler doğrultusunda, Sarıgöl Fayı listrik normal fay olarak tanımlanmıştır. Sarıgöl – Alaşehir hattında pek çok noktada listrik fay oluşumu gözlenebilmektedir. Önceden de Alaşehir yöresindeki faylar için listrik normal fay tanımı yapılmıştır (Seyitoğlu ve Scott, 1991; Temiz vd. 1998). Bu çalışmada, diğer araştırmacıların öngördüğünden farklı olarak, Sarıgöl Fayı'nın kayma yüzeyi boyunca, fayın eğim yönünde zemin katmanlarının uçlarının döndüğü belirlenmiştir. Fay üzerindeki mikro deprem aktivitesi ( $M_w < 4.0$ ), fay düzlemi üzerinde santimetre mertebesinde hareketin devam ettiğinin göstergesidir.

2010 yılında Sarıgöl Fayı boyunca oluşan deformasyon yapıları üzerinde ölçülen toplam yer değiştirme miktarı 1.00 – 1.25 metredir. 10 yıllık dönemde, belediyenin su kuyularında yapılan ölçümlerde, yeraltı su seviyesinin 10 metreden 30 metreye düştüğü belirlenmiştir. Yeraltı su seviyesinin düşümüne bağlı olarak zemin tabakalarının ağırlıkları artmıştır. 20 metreye ulaşan düşümler, efektif gerilmelerde 265 kPa'ya varan önemli artışlar meydana getirmiştir. Bu ağırlık artışları, iki farklı derinlikte yer alan sıkışabilir zemin katmanlarının aşırı konsolidasyonuna neden olmuş ve toplam 45 cm'ye varan oturmalar meydana gelmiştir. 2000 yılı öncesinde Sarıgöl fayı boyunca meydana gelen 20 – 45 cm'lik yer değiştirmeler de dikkate alındığında, toplam oturma miktarının en fazla 90 cm (45 cm + 45 cm) mertebesinde gerçekleşmesi gerekirdi. 2010 yılında ölçülen oturma miktarı bu değerden 10 – 35 cm (ortalama 22.5 cm) daha fazladır. Beklenenden fazla olarak, ilave 22.5 cm'lik

oturmaların nedeninin; olasılıkla, sismik aktiviteye bağlı olarak Sarıgöl Fayı boyunca meydana gelen, fayın eğiminin ve eğri (konveks) kayma yüzeyinin kontrol ettiği yer değiştirmeler olduğu düşünülebilir. Bu durumun belgelenebilmesi için fay zonu boyunca farklı bloklarda gelişen deformasyonların hassas ölçüm yapabilen aletlerle izlenmesi gerekmektedir.

2000 - 2010 yılları arasında, Sarıgöl ve yöresinde meydana gelen depremlerin sayısı 285'tir. Bunların tamamı  $M_w < 4.0$  büyüklüğündeki küçük depremlerdir. Fayın düşen bloğu üzerinde yer alan yaklaşık 30 m kalınlığındaki zemin tabakalarının ağırlıklarının yeraltı su seviyesinin 20 m düşümüne bağlı olarak 265 kPa mertebesinde bir gerilme artışı (1 metrede yaklaşık 1 ton/m<sup>2</sup>) oluşturması, fay yüzeyi boyunca kayan bloğun rotasyonel hareketini kolaylaştırabileceğini de düşündürmektedir.

Yeraltı su seviyesindeki düşümler nedeniyle, yeni yeraltı su seviyeleri, alanın önemli bir kesiminde, sıkışabilir zemin tabakasının altına inmiş durumdadır. Bu koşulda da efektif gerilmeler toplam gerilmelere yaklaştığından, konsolidasyona neden olan yüklerin artma olasılığı oldukça azalmıştır. Ancak, bu yaklaşım üstte yer alan sıkışabilirliği yüksek (30 m'lik zon içerisinde yer alan kil seviyeleri) zemin tabakaları için geçerlidir.  $t_{90}$  değeri 391 gün ve/veya 13 ay olarak hesaplanmıştır. Yeraltı su seviyesi 30 metreye düştükten sonraki 13 aylık dönemin sonunda, konsolidasyon oturmalarının % 90'ının tamamlanmış olduğu sonucuna varılmıştır. Su seviyesi düşümlerine bağlı olarak zemin kesitinde herhangi bir konsolidasyon oturmasının gerçekleşmeyeceği ve oturmaların, Şubat 2011 itibarıyla tamamlandığı ortaya çıkmaktadır. Grabenin en derin olduğu ve zemin kesiti kalınlığının 40 metreye ulaştığı yer, Sarıgöl ve

Tırazlar fayları arasında, Tırazlar Köyü'ne yakın olan bölgedir. Diğer taraftan, Sarıgöl Fayı'nın düşen bloğuna yakın kesimlerde zemin kesitinin kalınlığı, taban topoğrafyasının eğimine bağlı olarak 33 – 34 m seviyelerindedir (Şekil 1). Su seviyesi düzeyinin daha da düşmesi, altta yer alan 3 – 4 m kalınlığındaki zonda, varsa, sıkışmış kil tabakalarında efektif gerilme artışlarına bağlı kayda değer konsolidasyon oturmaları meydana getirmeyecektir. Derinlere gidildikçe hem jeolojik örtü kalınlığı artmakta hem de Asartepe formasyonu'na ait sert çakıltaşı katmanlarına yaklaşılmaktadır. Bu duruma bağlı olarak, Asartepe formasyonu ile zemin kesitinin tabanı arasında bir killi zemin ara seviyesi varsa da, bu seviye zaten sıkışmasını çok önceden tamamlamış olmalıdır.

Grabenin en derin noktasında (Tırazlar Köyü'ne yakın kesimlerde), 40 m kalınlığındaki alüvyon zemin kesiti içerisindeki son 10 m'lik kesimde (30. ve 40. metreler arası) ara düzey şeklinde sıkışabilir zemin seviyesinin yer alması nedeniyle, muhtemel kil tabakasının kalınlığına bağlı olarak çok düşük mertebelerde (< 20 cm) oturmalar gerçekleşebilir. Sarıgöl yerleşim alanının düşük mertebelerdeki bu oturmalardan etkileneceği düşünülmektedir.

Sarıgöl Fayı'nın yükselen bloğunda yeraltı su seviyesi düşümlerine bağlı olarak kayda değer konsolidasyon oturmaları gerçekleşmemiştir. Fayın yükselen bloğunda yer alan SK-19 sondajında CH-I kil katmanı (4 m) kesilmemiştir. Sondajda sadece katı kil özelliğindeki CH-II kil katmanı kesilmiştir. Ayrıca, Emcelli ve Sarıgöl fayları arasındaki zemin kesiti, Sarıgöl ilçe merkezinde yer alan zemin kesitine göre daha incedir. Zemin yüzeyinden itibaren CH-II kil katmanına SK-19'da 23. metrede girilmiştir. Bu nedenle, yeraltı su seviyesinin 10 metreden 23 metreye düşmesi ağırlık artışlarına neden olmuş fakat, derinlik boyunca kil katmanı olmaması nedeniyle herhangi bir sıkışma gerçekleşmemiştir. SPT-N'<sub>30</sub> değerlerinin 14 - 15

ve tek eksenli sıkışma dayanımının 1.0 kg/cm<sup>2</sup> olması nedeniyle CH-II kilinin kıvamı katıserttir. Bu nedenle, az sıkışabilir kil özelliği göstermektedir.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma Sarıgöl Belediyesi'nin sağladığı maddi katkılarla gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, arazi çalışmaları sırasında sağladığı olanaklar nedeniyle Sarıgöl Belediye Başkanlığı'na teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Arpat, E., Bingöl, E., 1970. Ege Bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler. Maden Tetkik ve Arama Estitüsü Dergisi, 73, 1-9.
- ASTM D 2435-96, 2003. Standart test method for one-dimensional consolidation properties of soils. Annual Book of ASTM Standards: 04.08, West Conshocken, 238–247.
- Aytekin, M., 2000. Deneysel Zemin Mekaniği. Akademi Yayınevi, Trabzon, 264 s.
- Bowles, J. E., 1998. Foundation Analysis and Design (2<sup>nd</sup> edition). McGraw-Hill, New York, 1175 p.
- Koca, M. Y., Kıncal, C., 2001. The geotechnical properties of the Sarıgöl province (Manisa, Turkey). 4<sup>th</sup> International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Isparta, Turkey, 21-25 May, Proceedings, 463–480. <http://www.koeri.boun.edu.tr/> Kandilli Deprem Araştırma ve Gözlem Enstitüsü (KOERI), 2011. Boğaziçi Üniversitesi, Elektronik belge.
- Koca, M. Y., Sözbilir, H., Özer, S. ve Kıncal, C., 2000. Manisa ili Sarıgöl ilçesi yerleşim alanına ait jeolojik etüt raporu. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araştırma Raporu.

- Sarıgöl Gazetesi, 2010. Aylık bağımsız gazete. Sarıgöl, 154-155, s. 9.
- Seyitoğlu, G., Scott, B. C., 1991. Late Cenozoic crustal extension basin formation in West Turkey. Geological Magazine, 128, 155-166.
- Temiz, H., Gürsoy, H., Tatar, O., 1998. Kinematic of late Pliocene-Quaternary normal faulting in the southeastern end of the Gediz Graben, Western Anatolia, Turkey. International Geology Review, 40, 638-646.
- Tokimatsu, K., 1988. Penetration test for dynamic problems. Penetration Testing. ISOPT-1, De Ruyter (Ed.), Balkema, Rotterdam, 117-136.
- Wroth, C. P., Wood, D. M., 1978. The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. Canadian Geotechnical Journal, 15 (2), 137-145.



