

Demirçevre-Sadıkbey (Afyonkarahisar) Arasındaki Yerleşim Alanının Jeolojik-Jeoteknik Özellikleri

Halil İbrahim ACAR¹, Ahmet YILDIZ², Mahmut MUTLUTÜRK³ *

¹Afyonkarahisar Belediyesi, Afyonkarahisar.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta.

*Sorumlu yazar e-posta: acarjeoloji@gmail.com

e-posta: acarjeoloji@gmail.com

e-posta: acarjeoloji@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3526-6717>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3526-6717>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3526-6717>

Geliş Tarihi: 02.08.2021

Kabul Tarihi: 23.12.2021

Öz

Deprem açısından risk taşıyan bölgelerde yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duyulması, mühendislik açısından detaylı çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir. Depremsellik açısından risk taşıyan bir bölge olan Afyonkarahisar İli Demirçevre-Sadıkbey arasında kalan alanda da yeni yerleşim planlanmaktadır. Bu alanın mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi de bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. İnceleme alanının temelinde Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfikleri yer almaktadır. Metamorfikleri Orta-Üst Miyosen yaşlı Ömer-Gecek formasyonu uyumsuzlukla örtmektedir. Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar en üstte yer almaktadır. Bölgenin mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi için toplam derinliği 500 m olan 30 sondaj yapılmış, sondajların değişik seviyelerinde standart penetrasyon testi (SPT) uygulanmış, sondaj numuneleri üzerinde Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'nin ilgili standartlarına uygun olarak laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bölgenin depremselliği ve risk analizi yapılarak çalışma alanı sıvılaşma açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen veriler yardımı ile çalışma alanı yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler

Yerleşime uygunluk;
Sıvılaşma; Jeoteknik;
Deprem

Geological-Geotechnical Characteristics of the Settlement Area Between Demirçevre-Sadıkbey (Afyonkarahisar)

Abstract

The need for new residential areas in areas at risk for earthquakes requires detailed engineering studies. A new settlement is also planned in the area between Demirçevre and Sadıkbey in Afyonkarahisar, which is a risky region in terms of seismicity. Examination of this area in terms of engineering geology is also the subject of this study. At the base of the study area, Paleozoic aged Afyon Metamorphics are located. The metamorphics are unconformably overlain by the Middle-Upper Miocene aged Ömer-Gecek formation. Quaternary travertine and alluviums are at the top. In order to evaluate the region in terms of engineering geology, 30 drillings with a total depth of 500 m were made, standard penetration test (SPT) was applied at different levels of the drillings, laboratory tests were carried out on the drilling samples in accordance with the relevant standards of the Turkish Standards Institute (TSE). The seismicity of the region and the risk analysis were made and the study area was evaluated in terms of liquefaction. As a result, the study area was evaluated in terms of suitability for settlement with the help of the data obtained.

Keywords

Settlement suitability;
Liquefaction;
Geotechnics;
Earthquake

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Aktif tektonik açıdan kritik bir bölgede yer alan ülkemiz, buna bağlı olarak doğal afet tehlikeleri ile de karşı karşıyadır. Bu nedenle gerek afet

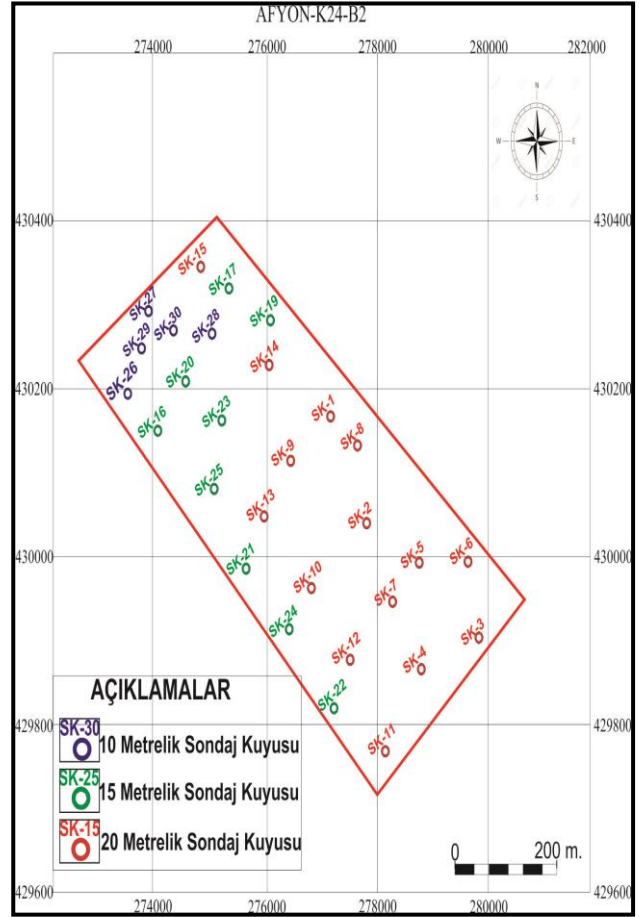
tehlikelerinin önlenmesi gerekse afet etkilerinin azaltılması amacı ile yapılan İmar Planlarına Esas Jeolojik-Jeoteknik çalışmalar önem kazanmaktadır. Yerleşime açılması düşünülen alanlarda yapılan bu çalışmalarda, bölgedeki jeolojik birimlerin

mühendislik özellikleri ile jeolojik açıdan afet riski Çalışma alanı Afyonkarahisar merkezinin kuzeyindeki Sadıkbey ve Demirçevre mahalleleri arasında kalan alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde genel jeoloji, mühendislik jeolojisi ve jeotermal kaynakların araştırılması amacıyla yapılmış çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda Afyonkarahisar ilinin tektonik yapısı ve deprem üretme potansiyeli olan faylar incelenmiş (Koçyiğit, 1984; Koçyiğit ve Özaçar, 2003; Koçyiğit ve Devenci, 2007; Özkaymak vd., 2017; 2019; Özkaymak ve Sözbilir, 2020), bölgede yayılım sunan kayaçların stratigrafik ve litolojik özellikleri araştırılmış (Karamanderesi, 1972; Metin vd., 1987; Çevikbaş vd., 1988; Tolluoğlu vd.,1997), geniş bir alanda yayılım sunan volkanizmanın yaşı, kökeni ve volkanik kayaçların petrografik özellikleri (Harut, 1995; Erkan vd., 1996) ortaya konmuştur. Afyonkarahisar ilinin en önemli jeotermal alanı olan Ömer-Gecek bölgesindeki jeotermal kaynakların hidrojeolojisi, jeotermal sistemin kavramsal modeli araştırılarak (Ulutürk, 2009), bölgedeki jeotermal sistemin yanal ve düşey dağılımının ortaya konması için jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapılmıştır (Öktü vd., 1997; Yıldız vd., 2011). Afyonkarahisar şehir merkezini içine alan bölgede yapılan mühendislik jeolojisi çalışmalarında ise şehirde nüfus artışına bağlı olarak ortaya çıkan ihtiyaçlara hızlı, doğru ve ekonomik cevap verebilmek için bilgilerin CBS sistemiyle toplanması vurgulanmış (Ayyıldız, 2006), Afyonkarahisar şehir merkezinin değişik bölgelerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, proje alanlarının yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmesi yapılarak imar planına esas jeolojik etüt raporları hazırlanmıştır (Akbaşlı, 2008; Üçksen, 2018).

2. Yöntem

Bölgenin jeolojik özellikleri literatür ve arazi çalışmaları yardımıyla ortaya konarak, çalışma alanının 1:25.000 ölçekli jeolojik haritası hazırlanmıştır. Bölgede özel bir firma tarafından gerçekleştirilen jeoteknik çalışmalara eşlik edilerek, 44 adet temel sondajı verileri yerinde değerlendirilmiştir (Şekil 1). Sondajlar sırasında uygun seviyelerde Standart Penetrasyon Testi (SPT) yapılarak zeminlerin penetrasyon direnci

belirlenmiş olup 44 adet örselenmiş numune, 21 adet örselenmemiş numune ve 5 kuyudan Karot (CR) numuneleri analizleri yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma kapsamında yapılan sondajların lokasyon haritası.

Sondajlardan alınan numunelerden, Atterberg limitleri, elek analizleri, tabii birim hacim ağırlık, su muhtevası, konsolidasyon, üç eksenli basınç, kesme kutusu, nokta yükleme, serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan laboratuvar deneyleri ve ilgili deney standartları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Laboratuvar deneyleri ve standartları.

Deney Adı	Standart	Deney Adı	Standart
Elek Analizi	TS 1900-1 (Mart-2006)	Üç Eksenli Basınç Deneyi	TS 1900-2 (Mart-2006)
Atterberg Limitleri	TS 1900-1 (Mart-2006)	Şişme Yüzdesi	TS 1900-2 (Mart-2006)
Tabii Birim Hacim Ağırlık (X)	TS EN ISO 17892-2 (Şubat 2016)	Nokta Yükleme	TS 699 (Mart-2006)
Su İçeriği (Wn)	TS EN ISO 17892-1	Konsolidasyon (Sc)	TS 1900-2 (Mart-2006)

(TS, Türk Standardı; EN, Avrupa Standardı; ISO, Uluslararası Standartlar Birliği)

1:25.000 ölçekli jeolojik harita ve kesitler Netcad programı kullanılarak hazırlanmıştır. Arazi ve laboratuvar sonuçlarının birlikte değerlendirilmesiyle sıvılaşma, taşıma kapasitesi hesaplamaları yapılmış, bölge sel baskını, kaya düşmesi, kayma, çığ gibi doğal afetler bakımından incelenmiş ve yerleşime uygunluk haritaları hazırlanmıştır.

3. Bulgular

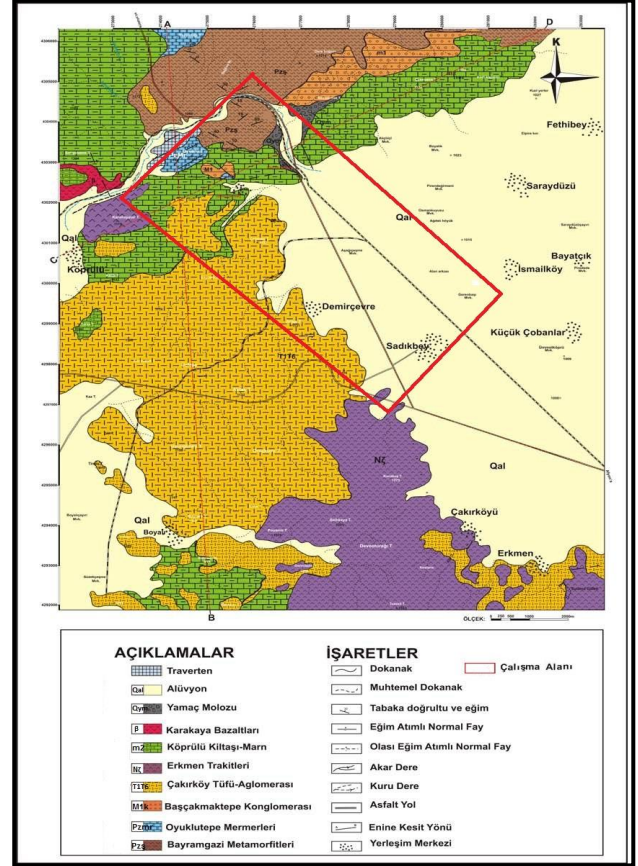
3.1. Genel Jeoloji

Çalışma alanı ve yakın çevresinde Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfizmi temeli oluşturmaktadır. Metamorfikler Bayramgazi şistleri ve Oyuklutepe mermerlerinden oluşmaktadır. Metamorfiklerin üzerine uyumsuzlukla Başçakmaktepe konglomerası ve Köprülü volkano-sedimenter istifinden oluşan Orta-Üst Miyosen yaşlı Ömer-Gecek Formasyonu gelmektedir (Şekil 2; Şekil 3). Üst Miyosen yaşlı Erkmen volkanitleri bölgedeki volkanizmanın son ürünleridir. Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar ise çalışma alanındaki en genç birimlerdir (Metin vd. 1987, Ulutürk 2009, Yıldız vd. 2011).

3.2. Hidrojeolojik Özellikler

Çalışma alanında en büyük akarsu uzunluğu 115 km²'yi bulan Akarçay deresidir. Nacak ve Gazlıgöl dereleri tarafından beslenen Akarçay deresi Eber ve Akşehir göllerine kadar uzanmaktadır. Ayrıca,

Afyonkarahisar kentinin yaklaşık 50 km doğusunda bulunan Eber Gölü Akarçay'ın drene ettiği sular ve yan derelerin yağışlı mevsimlerde taşıdığı yüzey suları ile beslenmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik dikme kesiti (Ulutürk 2009).

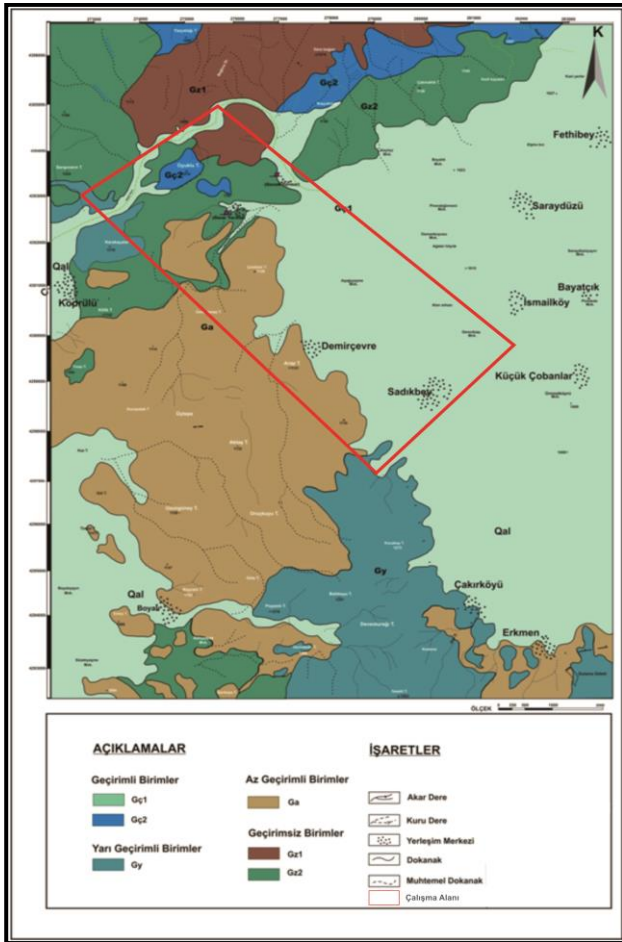
Üst Sistem	Sistem	Seri	Formasyon	Üye	Singne	Kalınlık (m)	KESİT	LİTOLOJİ
PALEOZOYİK	NEOJEN	Üst Miyosen-Pliyosen	Ömer-Gecek	Başçakmaktepe	Köprülü İnaz Erkmen Karakaya	m1k	9	9-Alüvyon
							8	8-Traverten
							7	7-Bazalt Kahverengi, kırmızı-mor renkli, akıntı yapılı, altığın soğuma sütlü ve tabakalı bazalt volkanizması
							6	6-Traki-andezit Kahve-mor renkli, sert yapılı 10cm'ye ulaşan sandın kristalleri içerir.
							5	5-Tüf-Aglomerası Sütlü beyaz renkli, kalın kalmantı, kuvars, plajiyoklas-oligoklas, andezit-biyotit lamelleri ve opak taneler içerir.
							4	4-Kilitaşı-Marn-Tüf Gösel, orta-ince tabakalı kilitaşı-camurtaşı ve marn ardalanması
							3	3-Konglomera Kalın kölü katmanlanmalı, taban konglomerası-kumtaşı; Silttaşı ve Kilitaşı ardalanmalı
							2	2-Mermer Sert, kristalize mermer, yer yer karstik boşluklu kalın tabakalanmalı, kıvrımlı
							1	1-Şist Kuvars-muskovit-serisit şist, kuvars-albit-klorit şist, meta kumtaşı, metakonglomera ve kalkışit ardalanmalı
							0	

Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik dikme kesiti (Ulutürk 2009).

Çalışma alanının da içinde kaldığı Ömer-Gecek bölgesinde yer alan jeolojik birimler litolojik ve hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak Geçirimli (Gç), Yarı Geçirimli (Gy), Az Geçirimli (Ga), Geçirimsiz (Gz) olmak üzere sınıflandırılmıştır (Ulutürk 2009). Bu çalışmada da Ulutürk (2009)'ün yaptığı çalışmadaki verilere bağlı kalınmıştır (Şekil 4).

Çalışma alanında Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış 64 adet su kuyusu ve çok sayıda şahıslara ait su kuyusu bulunmaktadır. DSİ tarafından açılan soğuksu kuyularının derinlikleri 50-150 m statik su seviyeleri ise yüzeyden itibaren 3-6 m arasında ve debileri ise 10-40 lt/sn arasında değişmektedir (Şekil 5).

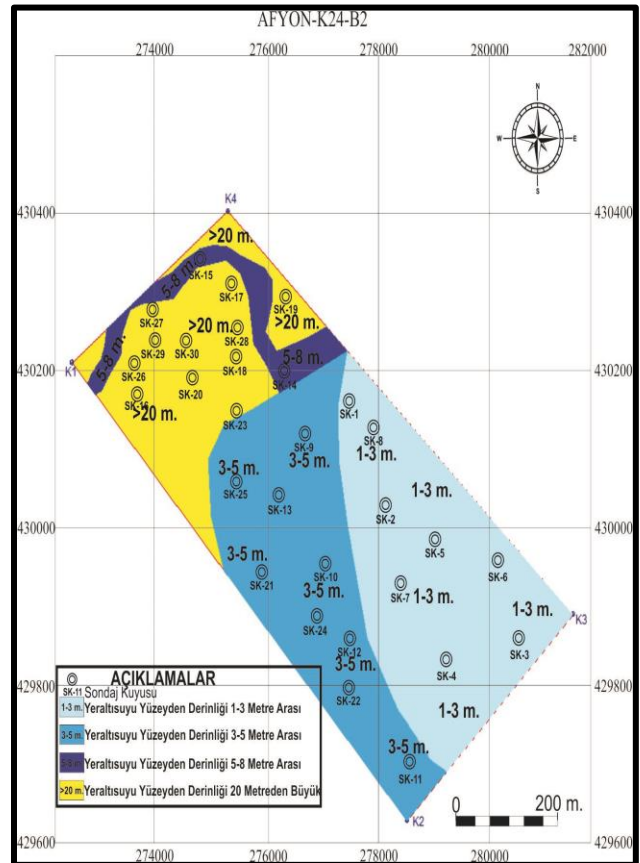
Çalışma alanı içerisinde açılan sondaj kuyularında 1.00-8.00 metre arasında değişen seviyelerde yeraltı suyuna rastlanılmış olup, yeraltı su seviyesine rastlanan sondaj kuyuları Çizelge 2’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası (Ulutürk 2009).

Çizelge 2. Çalışma alanında açılan sondajlar ve yeraltısuyu seviyeleri.

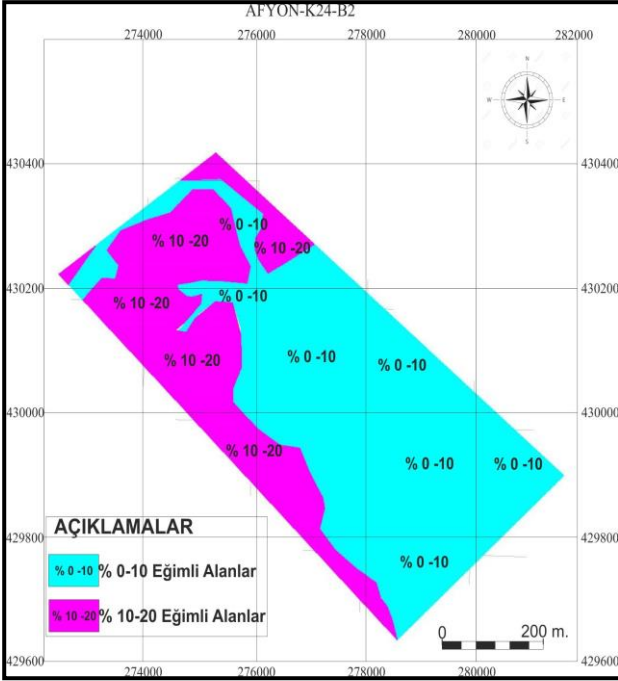
Sondaj No	Yas Seviyesi (M)	Sondaj Kuyu No	Yas Seviyesi (M)
SK-1	1,00-3,00	SK-16	-
SK-2	1,00-3,00	SK-17	-
SK-3	1,00-3,00	SK-18	-
SK-4	1,00-3,00	SK-19	-
SK-5	1,00-3,00	SK-20	-
SK-6	1,00-3,00	SK-21	3,00-5,00
SK-7	1,00-3,00	SK-22	3,00-5,00
SK-8	1,00-3,00	SK-23	3,00-5,00
SK-9	3,00-5,00	SK-24	3,00-5,00
SK-10	3,00-5,00	SK-25	3,00-5,00
SK-11	3,00-5,00	SK-26	-
SK-12	3,00-5,00	SK-27	-
SK-13	3,00-5,00	SK-28	-
SK-14	5,00-8,00	SK-29	-
SK-15	5,00-8,00	SK-30	-



Şekil 5. Çalışma alanının yeraltısuyu seviye haritası.

3.3. Jeomorfolojik Özellikler

Çalışma alanının, kuzeyi ve batısı dağlık, engebeli, doğusu ve güneyi ise, düz bir morfolojiye sahiptir. Yükseklik, çalışma alanının batısında ve kuzeyinde 1126 -1224 m arasında, doğusunda 1026 m'ye düşmektedir. Çalışma alanının eğimi genel olarak %0-10 ve %10-20 arasında değişmektedir ve eğimler kuzeybatı alanlarda güneydoğu alanlara göre daha yüksektir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanına ait eğim haritası.

3.4. Yapısal Jeoloji ve Aktif Tektonik

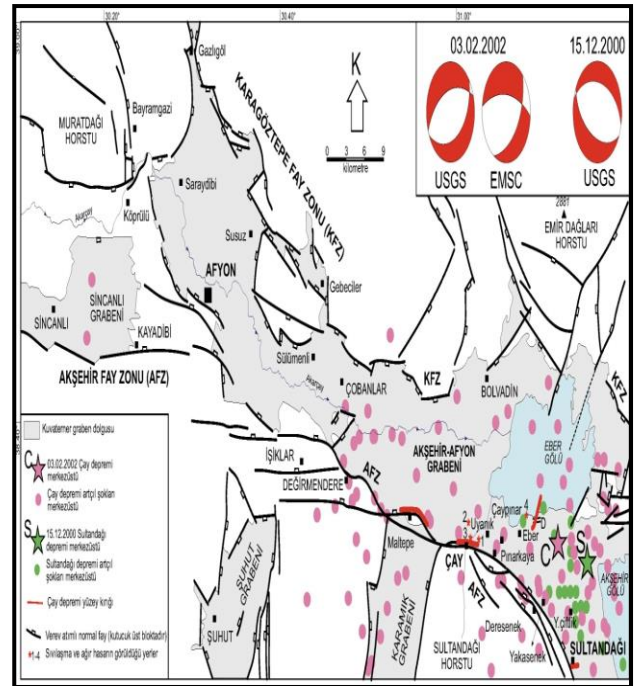
Güneybatı Türkiye'nin genişlemeli Neotektonik rejiminin etkisi altında kalan çalışma alanındaki en önemli tektonik yapı Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) ve bu grabenin kenar faylarıdır. Bölgenin tektonik yapısı son olarak Koçyiğit ve Deveci (2007) tarafından incelenmiş ve Afyon-Akşehir Grabeni'nin kenar fayları Akşehir Fay Zonu (AFZ), Hamidiye Fay Zonu (HFZ), Yarımca Fay Zonu, Fethibey Fay Zonu ve Demirçevre Fay Zonu olarak adlandırılmıştır. Söz konusu kenar faylarından çalışma alanı içerisinde yer alan Akşehir Fay Zonu, Fethibey Fay Zonu ve Demirçevre Fay Zonu şekilde gösterilmektedir.

3.5. Depremsellik

Dünya'nın sismik olarak en aktif alanlarından olan bu bölge, Türkiye'nin aktif tektoniğini kontrol eden Batı Anadolu graben sistemi ile Orta Anadolu Ova

rejiminin, geçiş yaptığı bir konumdur. Afyon-Akşehir Grabeni, bu bölgedeki tektonizmayı yönlendiren önemli mekanizmalardan biridir (Koçyiğit 1984, Koçyiğit vd. 2002) (Şekil 7).

ASFS' nin güneydoğu kesiminde yer alan Afyon-Akşehir grabeni (AAG), kuzeydoğuda yer alan Orta Anadolu ile güneybatıda yer alan Isparta açısını (Blumenthal 1963) birbirinden ayıran, yaklaşık 4-20 km genişliğinde, 130 km uzunluğunda olan, KB-GD uzanımlı, aktif olarak büyüyen bir kıtasal rift alanıdır (Özkaymak 2017).



Şekil 7. Afyonkarahisar İli ve Çevresindeki Simotektonik Haritası (Koçyiğit 2002).

3.6. Zemin ve Kaya Türlerinin Özellikleri

Bu araştırmadaki deneylerin değerlendirilmesinde farklı yaklaşımlardan faydalanılarak farklı taneli zeminler için tahmini ve birbiriyle karşılaştırması yapılmış, mevcut kuyulardaki litoloji ile yaklaşımlardan elde edilen değerlerin uyumluluğu araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, her bir örnek için ayrı ayrı belirlenen veya literatürde kabul edilen değerler kullanılarak, Hazen (1982), Kozeny-Carman (1927), Terzaghi (1964), ve Alyamani-Sen (1993) formülleri ile hesaplanmış, kuyularda kesilen farklı litolojiler için (kum, silt, kil) hangi hesaplamaların uygun olduğu bulunmuştur. Hesaplamalar birbiri ile karşılaştırılmış olup,

granülometri eğrilerinde malzeme tane boyu aralıklarını belirlemek için Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM, 1992) kullanılmıştır.

Çalışma alanında sondaj kuyularında geçilen kaya, ayrılmış kaya, zemin özelliği gösteren birimlerin mühendislik özellikleri şu şekildedir:

Alüvyon birimlerin yüzeylendiği bölgede açılan sondaj kuyularının %100' nün ince taneli olduğu görülmektedir. Bunların yaklaşık %11' i düşük Plastisiteli Kil (CL), %36' sı düşük Plastisiteli KİL (CL) ve düşük Plastisiteli Silt (ML), %51' i killi Kum (SC) ve Siltli Kum (SM), %2' si kötü derecelenmiş kum (SP) ve Siltli Kum (SM)'den oluşmaktadır.

Ömer Gecek Formasyonuna ait birimlerin yüzeylendiği bölgede açılan sondaj kuyularının %100'nün ince taneli olduğu belirlenmiştir. Bunların yaklaşık %32' si düşük Plastisiteli Kil (CL), % 32' si düşük Plastisiteli KİL (CL) ve düşük Plastisiteli Silt (ML), % 34' i killi Kum (SC) ve Siltli Kum (SM), % 2' si kötü derecelenmiş kum (SP) ve Siltli Kum (SM)'den oluşmaktadır. Çalışma alanında açılan sondajlardan alınan numunelerde yapılan Atterberg Limitlerine göre zeminlerin Likit Limit değerleri %21-33 arasında, Plastik Limit değerleri %10-19 arasında, Plastisite İndisi %7-19 arasında dağılım göstermektedir. Ayrıca birimlerin su içeriği %15-31.5 arasındadır.

Ayrıca açılan sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar sonuçlarından elde edilen şişme değerlendirmesi Şekercioğlu (2002)'na göre Çizelge 3'te belirtilen indeks özelliklerine göre zeminlerin şişme yüzdesi, şişme basıncı ve derecesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. İndeks özelliklerine göre zeminlerin şişme yüzdesi, şişme basıncı ve derecesi (Şekercioğlu 2002).

Şişme Yüzdesi	Şişme Basıncı (KN/m ²)	Şişme Derecesi
>30	>1000	Çok Yüksek
20-30	250-1000	Yüksek
10-20	150-250	Orta
<10	<50	Düşük

Çalışma alanında açılan sondaj kuyularına ait örneklerin şişme yüzdesi %4-19 arasında, şişme basıncı 25-250 KN/m² arasında değişmektedir. Ayrıca örneklerin büyük bir bölümü düşük şişme derecesine sahipken, bir bölümünün ise orta derecede şişme özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre şişme derecesinin düşük orta olarak çıkması yerleşime uygunluk haritasının oluşumunda çalışma alanının şişme probleminin olmadığı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde gözlenen kaya birimleri genel anlamda sık çatlaklı ve ayrılmış bir yapıya sahiptir. Açılan sondaj kuyularında; karot yüzdesi %10-50 aralığındadır (Şekil 8). Birim ayrışma derecesi az-orta-çok ayrılmış sınıfta (W2-W3-W4) ve kaya kalitesi (RQD) Çizelge 4' e göre zayıf-orta olarak hesaplanmıştır.



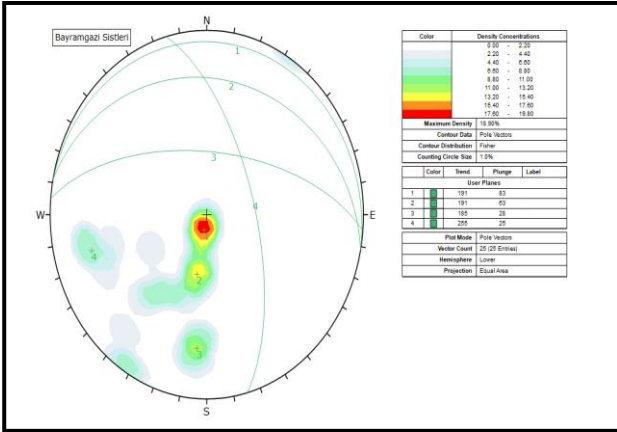
Şekil 8. Çalışma alanında incelenen sondaj kuyusuna ait karot sandığı.

Çizelge 4. Deere (1964)'e göre, kaya niteliği (RQD) sınıflandırılması.

(RQD %) Kaya niteliği	Kaya tanımı
0 - 25	Çok zayıf kaya
25 - 50	Zayıf kaya
50 - 75	Orta kaya
75 - 90	İyi kaya
90 - 100	Çok iyi kaya

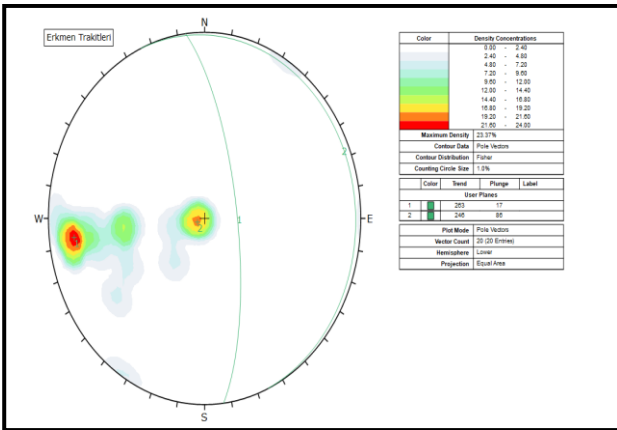
Ayrıca çalışma alanında yer alan kayaçların konum özelliklerini belirlemek amacı ile kontur diyagramları hazırlanmıştır. Bayramgazi şistlerinin

doğrultuları KD, eğim yönü ise, KB' ya doğrudur. Eğim miktarları genellikle 25°–30° arasında değişmektedir (Şekil 9).



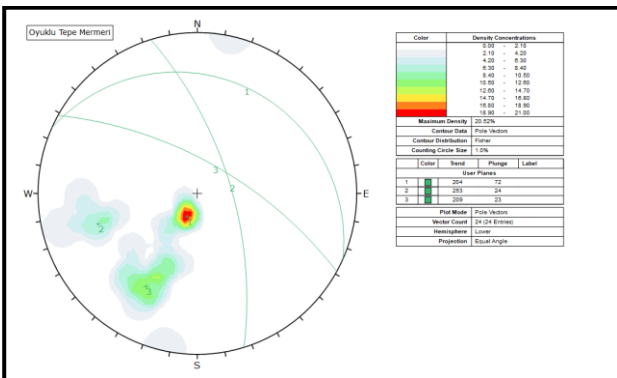
Şekil 9. Bayramgazi şistlerindeki şistozite düzlemlerinden alınan ölçümler Dips programı ile çözümlenmesi.

Erkmen Trakitleri K30-40B ve K10-30D doğrultulu, eğim yönlerinin ise, KB ve KD'dur (Şekil 10).



Şekil 10. Erkmen Trakitlerinden alınan ölçülerin Dips programı ile çözümlenmesi.

Oyuklu tepe Mermerlerden alınan ölçümlere göre (Şekil 11).



Şekil 11. Oyuklu tepe Mermerlerinden alınan ölçülerin Dips programı ile çözümlenmesi.

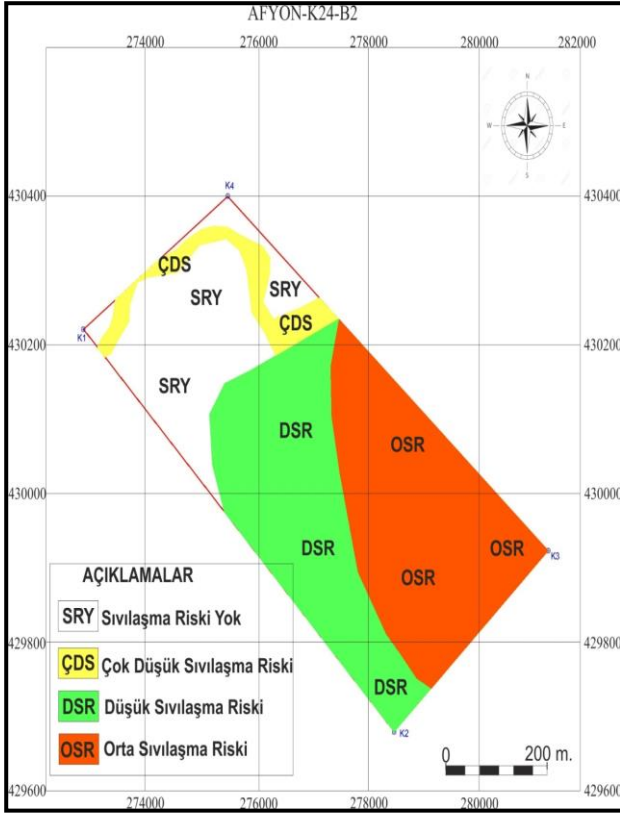
3.7. Sıvılaşma Potansiyeli

Literatürde ilk defa Terzaghi (1947) tarafından kullanılan zemin sıvılaşması kavramı; depremlerin oluşturduğu tekrarlı yüklerin etkisiyle suya doymun zeminlerin sıkışma ve hacim daralması göstererek, drenajın olmadığı koşullarda boşluk suyu basıncının artmasıyla kohezyonsuz zeminin sıvı gibi davranıp büyük yer değiştirmelere maruz kalmasıdır. Sıvılaşmanın oluşumunda birçok jeoteknik faktörler etkili olsa da genel olarak zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığını zemin özellikleri, jeolojik şartlar ve yer hareketi özelliklerinden de etkilemektedir. Bu durumda sıvılaşmanın gerçekleşmesi için en uygun ortamlar genç ve gevşek çökellerin olduğu, özellikle kum ve silt dane boyutundaki malzemenin bulunduğu ve yeraltı suyunun sık olduğu ortamlardır (Sünbül 2004).

Yeraltı su seviyesi, jeolojik birim, tane boyutu, SPT sayısı gibi faktörler sıvılaşma için önemli koşulları oluşturmaktadır. Genellikle 3 m ile 20 m derinlikteki yeraltı su seviyeleri önemlidir. Jeolojik birimler; ilk 15 m ile 20 m arasında bulunan ve taşıma gücü düşük suya doymun kumlu, siltli kumlu ve killi kumlu birimler; tane boyutu; D60/D10<10 olan kum-silt türü özellikle D10 değerinin 0.005 ile 0.15 mm. arasında olduğu birimlerdir. SPT sayısı; yüzeye yakın yerlerde N<10 ve 20 m derinlikte N<20 olan özellikle düşük göreceli sıkılıktaki kumlu yerler, sıvılaşabilir uygun ortamları oluşturur (Youd 1984).

Çalışma kapsamında incelenen birimlerin sıvılaşma potansiyeli Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile Uyumlu JMO (2019) tarafından geliştirilen (sıvılaşma analizi) excell uygulaması ile değerlendirilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi Hesabı' na göre; LPI = 0-23 arasında Değişen Değerler olduğundan dolayı da çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip ve LSI=0-58 aralığında elde edildiğinden çok düşük, düşük, orta sıvılaşma riski durumu mevcuttur (Şekil 12).



Şekil 12. Çalışma alanına ait sıvılaşma risk haritası.

4.Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilme

Yerleşim amaçlı arazi kullanımı, en önemli doğal kaynaklardan biri olan arazi varlığının farklı amaçlı kullanımlarından birini oluşturmaktadır. Arazinin potansiyeline uygun olmayan yanlış yer seçimi ve mekânsal büyüme süreci farklı doğal ve sosyal sorunları da beraberinde getirmektedir. Mekanı kullanma ve düzenleme süreçleri farklı olan kentsel yerleşim alanları başta olmak üzere, bütün yerleşme kademelerinde yer seçim ve genişleme süreçleri dikkatle takip edilmelidir. Bu nedenle mekânı kullanım kararlarının alınması ve uygulanması aşamasında; analitik yöntemleri içeren çeşitli araştırmalara ve kurum/kuruluşlar arasında uyumu sağlayan katılımcı planlamalara ihtiyaç duyulmaktadır (Yılmaz, 2005; Schmoldt vd. 1995; Bojórquez-Tapia vd. 2001).

Yerleşime uygunluk analizinde farklı yöntemlerin birleştirilerek kullanılması ve çalışma ölçeği, araştırmacının özgünlüğünü ortaya

koymaktadır. Bunun yanı sıra değerlendirmeye alınan coğrafi faktörler ve kullanılan yaklaşım açısından da önemli analitik sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlar, yerleşime uygunluk analizi ve yer seçim sürecine ilişkin çalışmalar açısından önemli bir basamak niteliğindedir. Ayrıca elde edilen sonuçların planlamacı ve karar vericilere kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Fakat yerleşim alanlarına yönelik uygunluk analizlerinde yalnızca doğal çevre faktörlerini ele almak yerine sosyal ve teknik faktörlerin de değerlendirmeye alınması daha yararlı olacaktır (Duc 2006; Sedigheh 2009; Fu vd. 2009).

Çalışma alanının mühendislik jeolojik ve jeoteknik özellikleri karşılaştırılarak AFAD (2008)'in yayınlamış olduğu 'Plan Kademelerine Göre Hazırlanacak Rapor Türleri ve Uyulacak Esaslar' dikkate alınarak uygun alanlar ve önemli alanlar olarak değerlendirmeler yapılarak ayırt edilmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında çalışma alanı yerleşime uygunluk bakımından, Uygun Alanlar-1 (UA-1), Önemli Alanlar-2.1 (ÖA.-2.1) (Önlem Alınabilecek Nitelikte Stabilite Sorunlu Alanlar) ve Önemli Alan-5.1 (ÖA.-2.1) (Önlem Alınabilecek Nitelikte Şişme, Oturma vb. Sorunlu Alanlar) olarak değerlendirilmiştir (Şekil 13).

Çalışma alanının belli bir bölümünde eğiminin %0-10 arasında yani düz ve düze yakın olması, sıvılaşma probleminin olmaması, şişme derecesinin düşük olması, oturma probleminin bulunmaması, çalışma alanında açılan sondaj kuyularında bina temellerini oluşturabilecek seviyelerde yeraltı suyuna rastlanılmaması, çalışma alanını etkileyebilecek, heyelan, kaya düşmesi, çığ düşmesi, karstik boşluk vb. doğal afet tehlikesinin bulunmaması nedenleriyle çalışma alanının bir kısmı yerleşime uygunluk açısından "**Uygun Alanlar-1**" olarak değerlendirilerek yerleşime uygunluk haritasında "**(UA-1)**" simgesi ile belirtilmiştir.

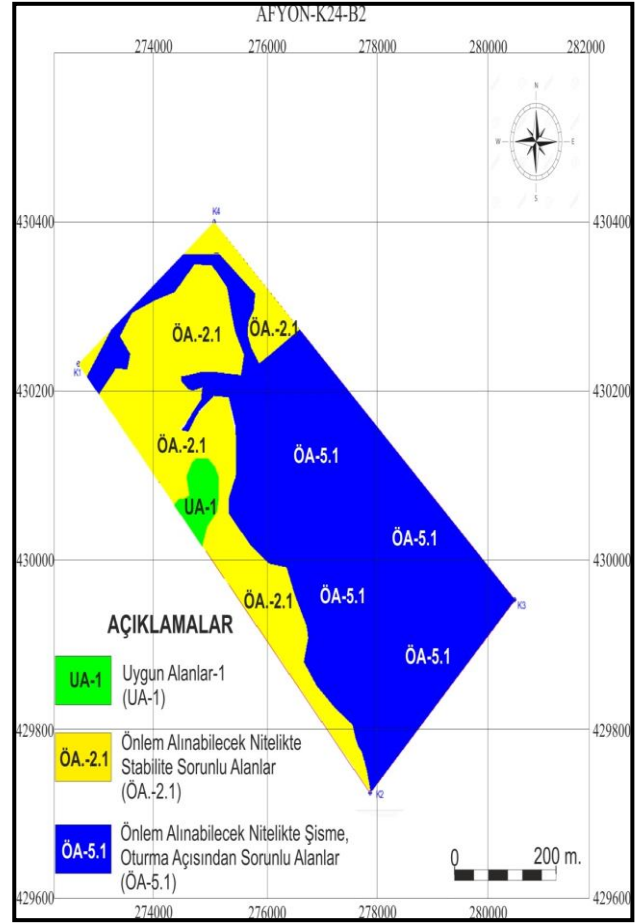
Çalışma alanının eğiminin %10-20 arasında değişen Ömer Gecek Formasyonu, Afyon Metamorfileri ve Neojen Yaşlı Volkanitlerin bulunduğu kısımlar (kiltası-marn-silttaş-kumtaşı, şist, mermer ve andezitlerden oluşan kaya birimleri) ve bu birimlerin rezidüeli olan siltli kil, kumlu killi alanlardır.

Yerleşime uygunluk haritasında (ÖA.-2.1) olarak gösterilen alanlar, elde edilen veriler çerçevesinde yapılaşma ve yerleşime uygunluk açısından aşağıdaki gibi irdelendiğinde;

Bu alanlarda rezidüel zon kalınlığının fazla olması, kayaların ayrışmış ve çatlaklı yapıda olması nedenleri ile mevcut ve derin kazılarsa stabilite problemleri meydana gelebileceğinden, bu alanlar **“Önem Alınabilecek Nitelikte Stabilite Sorunlu Alanlar”** **“(ÖA-2.1)”** olarak belirlenmiş ve yerleşime uygunluk haritalarında **“(ÖA-2.1)”** olarak gösterilmiştir (Bkz. Şekil 12).

Çalışma alanı, elde edilen veriler çerçevesinde yapılaşma ve yerleşime uygunluk açısından aşağıdaki gibi irdelendiğinde;

Sıvılaşma riski, yeraltı suyunun varlığı, temel zeminini oluşturabilecek seviyede kil, silt ve kumdan oluşan temel mühendisliği yönünden zayıf birimlerin varlığı, alüvyonu oluşturan zeminlerin düşük-orta dereceli şişme potansiyeline sahip olması, birim içerisinde yanal ve düşey yönde değişimler gerçekleşme ihtimali yapılacak binalarda farklı oturmalara vb. mühendislik problemlerine sebep olabilecektir. Ayrıca çalışma alanında yapılacak temel kazılarında yeraltı suyu ve stabilite problemlerinin yaşanma ihtimalinin olmasından dolayı çalışma alanında alüvyon birimin olduğu kısımlar mühendislik jeolojisi kapsamında önlem alınabilecek nitelikte şişme, sıvılaşma, oturma açısından **“Sorunlu Alanlar (Önem Alınabilecek Nitelikte Şişme, Sıvılaşma, Oturma vb. Sorunlu Alanlar)”** **“(ÖA-5.1)”** olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 13. Çalışma alanının yerleşime uygunluk haritası.

5. Tartışma ve Sonuç

Çalışma alanı içerisinde yürütülen çalışmalarla deprensellik, jeolojik, morfolojik, hidrojeolojik zemin temel mühendisliği sonucu sahada gözlenen zeminlerin yatay ve düşey dağılımları, statik ve dinamik parametreleriyle özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen zemin parametrelerinden hareketle zemin davranışları da hesaba katılarak ve bölgede afet oluşturacak morfolojiler incelenerek çalışma alanı yerleşime uygunluk bakımından tartışılarak değerlendirme yapılmıştır.

Yapı temelleri kaya birimlerinin ayrışmamış, sağlam kesimlerine oturtulmalı ya da yapı yükleri kaya birimlerinin ayrışmamış, sağlam kesimlerine taşıtırılmalıdır. Parsel/bina bazı yapılacak zemin etütlerinde temel tipi, temel derinliği ve temelin oturacağı seviyelerin mühendislik parametreleri (şişme, oturma, taşıma gücü ve şev stabilite analizleri vb.) ayrıntılı olarak irdelenmeli ve doğacak problemlere göre önlemler alınmalıdır.

Oluşturulacak şevlerin stabilite sorunu yaratacak şekilde açılmaması eğimli bölgelerde açılacak şevlerin uzman mühendislerin hazırlayacağı bir proje dâhilinde yapılmalıdır. Yapılaşmalardan önce zemin etüt çalışmalarında şev üstüne gelecek ilave yükün doğal veya yapay şeve etkisi ile şev kenarına olan mesafenin etkileri, ilave yükün şev stabilitesini bozmayacak şev kenarına olan güvenli mesafenin belirlenmesi, şevin jeoteknik parametrelerinden doğabilecek problemlerin ayrıntılı çalışılarak, jeoteknik problemin niteliğine göre gerekli önlemlerden bir veya birkaçının alınması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 17.FEN.BİL.45 nolu projesiyle desteklenmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederler.

6. Kaynaklar

Afet İşleri Genel Müdürlüğü, (2008). Planlamaya Esas Jeolojik-Jeoteknik ve Mikrobölgeleme Genelgesi, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Akbaşlı Mühendislik, (2008). Afyonkarahisar (Merkez) ilave imar planına esas jeolojik etüt gerektiren alanların (JEGA) jeolojik ve jeoteknik etüt raporu, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.

Alyamani, M.S., Sen, Z., (1993). Determination of Hydraulic Conductivity from Grain-Size Distribution Curves. *Groundwater*, **31**, 551-555.

ASTM, (1992). Classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System), ASTM D2487, 325-335.

Ayyıldız, M. (2006). Afyonkarahisar Zemin Etüt Bilgi Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 138.

Bojórquez-Tapia, L. A.; Díaz-Mondragón, S.; Ezcurra, E. (2001) Gis-based approach for participatory decision making and land suitability assessment. *International Journal Of Geographical Information Science* **15**, 129-151.

Coşkun, A.Ö. (2012). Polatlı (Ankara) Yerleşim Alanının Jeolojik-Jeoteknik Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans

Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 79.

Çevikbaş, A., Ercan, T., Metin, S. (1988). Geology and regional distribution of Neogene Volcanics between Afyon-Şuhut Middle East Technical University. *Pure Application*, **21**, 479-499.

Deere, D.U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. *Felsmechanik und Ingenieur geologie*, **1**, 16-22.

DSİ, (2013). Akarçay Havzası Yeraltısuyu Planlama Hakkında Hidrojeolojik Etüt Raporu. Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü, Ankara.

Duc, T. T. (2006) "Using GIS and AHP technique for land-use suitability analysis", International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS), 4-6 December Hanoi, Vietnam.

Erkan, Y., Bayhan, H., Tollluoğlu, Ü., Aydar, E. (1996). Afyon Yöresi Metamorfik ve Volkanik kayaların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, TÜBİTAK Proje Raporu, **1**, 25-75.

Fu, Y.; Zeng, G.; Du, C. ; Tang, L.; Zhou, J.; Li, Z. (2008) "Spatial analyzing system for urban land-use management based on gis and multi-criteria assessment modeling", *Progress in Natural Science* **18**, 1279-1284.

Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O. (2003). Neotectonic deformation in the western sector of tectonic escape in Anatolia paleomagnetic study of Afyon region, central Turkey. *Tectonophysics*, **374**, 57-79.

Harut, B. (1995). Erkmen Volkanitlerinin Afyon Kuzey Kesimi Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 93.

Hazen, A. (1892). Some Physical Properties of Sands and Gravels, with Special Reference to their Use in Filtration. 24th Annual Report, Massachusetts State Board of Health, Pub.Doc. **34**, 539-556.

İller Bankası Genel Müdürlüğü, (2006). Afyonkarahisar (Merkez) İlave ve Revizyon İmar Planına Esas Jeolojik Etüt Raporu, İmar Planlama Dairesi Başkanlığı, Jeolojik Etüd Şube Müdürlüğü, Ankara.

Karamanderesi, İ.H. (1972). Afyon K24 paftası detay jeoloji etüdü ve jeotermal olanaklar hakkında rapor. Maden Teknik Arama, Rapor No: 5733.

- Koçyiğit, A. (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, **27**, 1- 15.
- Koçyiğit, A. (2000). Güneybatı Türkiye'nin Depremselliği. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, 175-183.
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N., Şaroğlu, F. (2002). 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depreminin Kaynağı ve Ağır Hasarın Nedenleri Akşehir Fay Zonu Jeolojik Ön Raporu, Ankara.
- Koçyiğit, A., Devenci, Ş. (2007). Trending Active Extensional Structure, The Şuhut (Afyon) Graben Commencement Age Of The Extensional Neotectonic Period in the Isparta Angle. *Turkish Journal Earth Sciences*, **10**, 391-416.
- Kozeny, J. (1927). Uber Kapillare Leitung Des Wassers in Boden. *Sitzungsber Akad. Wiss Wien Math Naturwiss Kl ,Abt 2a*, **136**, 271-306.
- Metin, S., Genç, Ş., Bulut, V. (1987). Afyon ve dolayının jeolojisi raporu. Maden Teknik Arama Müdürlüğü, Ankara.
- Öktü, G., Kara, İ., Önder, İ. (1997). Afyon ilinde yer alan Ömer-Gecek-Uyuz- Hamamı, Alaplı-Kızık Hamamı ve Gazlıgöl jeotermal alanlarının detaylı etüd raporu. Maden Teknik Arama Müdürlüğü, Ankara.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., Baybura, T. (2017). Bolvadin'de Afyon-Akşehir Grabeni, Afyonda Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası 60. Türkiye Jeoloji Bülteni*, **60**, 169-188.
- Sarıcı, T. (2013). Kesme Kutusu Deneylerine ait Rapor, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Malatya.
- Schomoldt, D. L.; Peterson, D. L; Smith, R. L. (1995) "The analytic hierarchy process and participatory decision making", *Proceedings of the 4th International Symposium on Advanced Technology in Natural Resource Management, Power, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda MD*.
- Sedigheh, L.; Habibi, K.; Koohsari, M.J. (2009) "An analysis of urban land development using multi-criteria decision model and geographical information system (a case study of Babolsar City), *American Journal of Environmental Sciences* **5**, 87-93.
- Sünbül, AB. (2004). Adapazari zeminlerinde sıvılaşma unsurlarının belirlenmesi ve sıvılaşmanın önlenmesi için çözümler geliştirilmesi, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 141.
- Şekercioğlu, E. (2002). Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Terzaghi, K. (1947). Shear characteristics of quick sand and soft clay, *Proc.7th Texas Conference Soil Mechanics*, Paper 5.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., (1964). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley, New York.
- Tolluoğlu, Ü. A., Erkan, Y., Yavaş, F. (1997). Afyon metasedimenter grubunun Mesozoik öncesi metamorfik evrim raporu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Ankara.
- Topal, T. (2000). Nokta Yükleme Deneyi İle İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler, Teknik Not, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- TS-1901, (1975). İnşaat Mühendisliğinde sondaj yolları ile örselenmiş ve örselenmemiş numune alma yöntemleri, *Türkiye Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-5141, (2016). Zeminlerin Elektrik Özgül Dirençlerine Göre Sınıflandırılması, *Türkiye Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (2018). Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. *Türkiye Cumhuriyeti*, Ankara.
- Ulusay, R. (2010). Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, 1. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Ulutürk, Y. (2009). Afyonkarahisar Ömer-Gecek Dolayının Jeolojisi ve Suların Köksel Yorumu, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 195.
- Üç Eksen Mühendislik, (2018). Afyonkarahisar İli, Merkez İlçesi, Ömer-Gecek Havzasındaki Termal Turizm Alanının İmar Planına Esas Jeolojik- Jeoteknik Etüd Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Yıldız, A., Candarsayar, M.E., Bağcı, M., Türker, E., Ulutürk, Y., Uysal, M., Gökgöz, A., Erdgoan, E., Başaran, C., Çonkar, F.E. (2011). Afyonkarahisar İlinin jeotermal potansiyelinin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi. 146, Afyonkarahisar.
- Yılmaz, E. (2005) Bir Arazi Kullanım Planlaması Modeli: Cehennemdere Vadisi Örneği, T.C. Çevre ve Orman

Bakanlığı, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma
Müdürlüğü, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın No: 253,
DOA Yayın No: 37,
Tarsus.

Youd, T. L. 1984. Geological effects-liquefaction and associated ground failure. Geological and Hydrogeological Hazards Training rogram, United States Geological Survey Open-File Report **87**, 210-232.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth>