



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KÜÇÜK MENDERES HAVZASINDA OLUŞAN ZEMİN ÇÖKMELERİNİN
YAPAY AÇIKLIKLI RADAR YÖNTEMİYLE İZLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat YALVAÇ

HAZİRAN 2021
GÜMÜŞHANE

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KÜÇÜK MENDERES HAVZASINDA OLUŞAN ZEMİN ÇÖKMELERİNİN
YAPAY AÇIKLIKLI RADAR YÖNTEMİYLE İZLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat YALVAÇ

**Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.05.2021

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 11.06.2021

HAZİRAN 2021

Bu alışma, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GBAP)
Koordinatörlüęü'nce desteklenmiřtir. Proje No: 20.F5113.01.01

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Küçük Menderes Havzasında Oluşan Zemin Çökmelerinin Yapay Açıklıklı Radar Yöntemiyle İzlenmesi”** isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/05/2021

Murat YALVAÇ

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜÇÜK MENDERES HAVZASINDA OLUŞAN ZEMİN ÇÖKMELERİNİN
YAPAY AÇIKLIKLI RADAR YÖNTEMİYLE İZLENMESİ

Murat YALVAÇ

Gümüşhane Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ
2021, 60 sayfa

Küçük Menderes Havzası Türkiye'nin batısında yer alır. Yaklaşık yarım milyon nüfusa ev sahipliği yapan havzada, nüfusun %90'ı geçimini tarım ve hayvancılıktan sağlamaktadır. Yoğun tarımsal sulama, hayvancılık ve içme suyu ihtiyacı için gerekli suyun büyük bir bölümü yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır. Yeraltından çekilen suyun doğal yollarla (yağışlarla) geri beslenememesinden dolayı yeraltı su seviyesi hızla düşmüş ve havzada zemin çökmeleri sorununun ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Bu çalışmada, Küçük Menderes Havzasında zemin çökmelerini izlemek amacıyla InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) yöntemiyle gerçekleştirilen analiz çalışmaları ve bunların hidrojeolojik ve litolojik parametrelerle olan ilişkisi ortaya konmuştur.

Bu bağlamda, havza genelinde 2014-2020 yıllarını kapsayan 40 SAR görüntüsü elde edilerek SBAS (Small Baseline Subset) tekniğiyle analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, Torbalı, Bayındır ve Ödemiş yerleşim merkezleri ve çevresinde yıllık hızı 10 cm'ye varan düşey yönlü deformasyon elde edilmiştir. Aynı zamanda, deformasyon tespit edilen bölgelerde, yeraltı su seviyesi ve litolojik birimler de tespit edilerek aralarındaki ilişki ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalar ışığında, zemin çökmelerinin havzada 310 km²'lik bir alanda etkili olduğu ve çökme şiddetinin bölgedeki akifer tipi ve yeraltı su seviyesiyle doğrudan ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akifer, Küçük Menderes Havzası, Yapay açıklıklı radar, Zemin çökmesi

ABSTRACT
MS THESIS

**INVESTIGATION OF LAND SUBSIDENCE IN KÜÇÜK MENDERES BASIN BY
MEANS OF SYNTHETIC APERTURE RADAR (SAR) TECHNIQUE**

Murat YALVAÇ

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

2021, 60 pages

Küçük Menderes Basin is located in the west of Turkey. In the basin, which hosts about half a million people, 90% of the population makes their living from agriculture and animal husbandry. Most of the water required for intensive agricultural irrigation, husbandry and drinking needs is met from underground water resources. Due to the fact that the water used from underground cannot be fed back naturally (by precipitation), the groundwater level dropped rapidly and caused the problem of land subsidence in the basin.

In this study, the analysis carried out with the InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) method and the relationship between the hydrogeological and lithological parameters of ground subsidence in the Küçük Menderes Basin were revealed.

For this purpose, 40 SAR images belonging to the date range between 2014 to 2020 covering the basin were obtained and analyzed with the InSAR-SBAS (Small Baseline Subset) technique. According to the analysis, 10 cm/year of vertical deformation has been estimated around Torbalı, Bayındır and Ödemiş vicinity. At the same time, the groundwater level and lithological units were investigated in the study area where deformation was detected, and the relationship between them was revealed. As a result, it has been revealed that ground subsidence is effective in an area of 310 km² in the basin and the magnitude of the deformation rate is directly related to the aquifer type and groundwater level in the region.

Keywords: Aquifer, Küçük Menderes Basin, Synthetic aperture radar, Land subsidence

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve birikimlerinden yararlandığım ve tecrübelerinden faydalanma fırsatı bulduğum, desteğini eksik etmeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ'a ve SAR analizlerinin işlenmesinde yardımcı olan Doç. Dr. Sefa YALVAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez çalışmalarım boyunca beni destekleyen Gümüşhane Çimento A.Ş'nin değerli yöneticilerine de teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, bir ömür boyu desteklerini arkamda hissettiğim sevgili aileme ve canım eşim Güler YALVAÇ'a teşekkürlerimi sunuyorum ve bu çalışmamı onlara ithaf ediyorum.

Murat YALVAÇ
Gümüşhane, 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş ve Amaç	1
1.2. Coğrafi Konum	2
1.3. Arazi Kullanımı	3
1.4. Literatür Çalışması.....	5
1.4.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresiyle İlgili Jeolojik, Tektonik ve Hidrojeolojik çalışmalar.....	5
1.4.2. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) Yöntemiyle Gerçekleştirilen Zemin Çökmesi Çalışmaları.....	7
2. İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ VE TEKTONİĞİ	10
2.1. Pan-Afrikan Temel Kayaları.....	11
2.1.1. Paragnays Birimi	11
2.1.2. Şist Birimi.....	13
2.2. Paleozoyik-Erken Tersiyer Kayaları.....	14
2.3. Tektonik Unsurlar	15
3. MATERYAL VE METOD.....	18
3.1. Uzaktan Algılama	18
3.1.1. Pasif Algılama Sistemleri	18
3.1.2. Aktif Algılama Sistemleri.....	19
3.1.3. Radar ve Özellikleri	20
3.1.5. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) ve Çalışma Prensibi.....	22
3.1.6. İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR).....	24
3.2. Akifer Sistemleri.....	27
3.2.1. Serbest Yüzeyli (Basıncsız) Akifer.....	27

3.2.2. Basınçlı Akifer.....	28
4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ.....	29
4.1. Hidrolojik ve Hidrojeolojik İncelemeler	29
4.2. Zemin Deformasyonlarının InSAR Yöntemi İle Değerlendirilmesi	39
4.2.1. SAR Verilerinin Özellikleri ve Seçimi	39
4.2.2. InSAR Analizlerinin Gerçekleştirilmesi.....	41
5. TARTIŞMA	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
7. KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Çalışma alanına ait yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2.	Küçük Menderes Havzası ve alt havzaları.....	3
Şekil 1.3.	Küçük Menderes Havzasında mevcut arazi kullanımı (TOB, 2019)'dan uyarlanmıştır.	4
Şekil 2.1.	Batı Anadolu'nun genelleştirilmiş tektonik haritası (Koralay vd., 2004).	10
Şekil 2.2.	Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş kaya istifi (gn: Gabro-norit, ag: Anatektik granit, tg: Triyas lökokratik ortognays, hg: Hornblend ortognays, bg: Biyotit ortognays, tlg: Turmalin lökokratik ortognays, pg: Paragnays, s: Şist, e: Eklojit Eklojit (Dora vd., 2001)'den değiştirilerek.....	12
Şekil 2.3.	İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası.....	15
Şekil 2.4.	Anadolu ve yakın çevresindeki ana tektonik yapıları gösteren tektonik harita (Uzel vd., 2012).....	17
Şekil 3.1.	Uzaktan Algılamanın Bileşenleri.....	19
Şekil 3.2.	Pasif (solda) ve aktif (sağda) uzaktan algılama (CCRS/CCT'den uyarlanmıştır).....	19
Şekil 3.3.	RAR ve SAR sistemleri.....	20
Şekil 3.4.	Elektromanyetik spektrum (Pozar, 2004).....	21
Şekil 3.5.	RAR (solda) ve SAR (sağda) görüntülerinde çözünürlük farkı (Massonet ve Feigl, 1998).....	23
Şekil 3.6.	SAR sistemi görüntü alma prensibi (Ferretti vd., 2007)'den uyarlanmıştır	23
Şekil 3.7.	2020 yılında Elazığ-Sivrice'de meydana gelen depreme ait yüzey deformasyonunu gösteren interferogram.....	25
Şekil 3.8.	Tekrarlı geçiş interferometrisi için sadeleştirilmiş geometrik model.....	26
Şekil 3.9.	Serbest yüzeyli akifer sistem İnsapedia (2021)'den uyarlanmıştır.....	28
Şekil 3.10.	Basıncılı akifer sistem İnsapedia (2021)'den uyarlanmıştır.	28
Şekil 4.1.	KMH'da toplam ve yıllık ortalama yağış (TOB, 2019).	29
Şekil 4.2.	Küçük Menderes Havzasında belirlenen profil hatları ve su sondajı kuyularının dağılımı.....	30
Şekil 4.3.	A-A' kesitine ait birimlerin derinlikle değişimi	31
Şekil 4.4.	Torbalı ve civarında gözlenen serbest akifer sisteminin derinlikle değişim profili	32
Şekil 4.5.	B-B' kesitine ait birimlerin derinlikle değişimi.....	33
Şekil 4.6.	Bayındır ve Ödemiş civarında gözlenen basıncılı akifer sisteminin derinlikle değişim profili	34

Şekil 4.7. Küçük Menderes Havzasında yayılım gösteren YASS gözlem kuyularının dağılımı.....	35
Şekil 4.8. DSİ envanterine kayıtlı Küçük Menderes Nehir alt havzasında konumlanan YASS izleme istasyonlarının dağılımı.....	36
Şekil 4.9. Torbalı ve çevresinde konumlanan kuyulara ait YASS zaman serisi.....	36
Şekil 4.10. Bayındır ve çevresinde konumlanan kuyulara ait YASS zaman serisi.....	37
Şekil 4.11. Ödemiş ve çevresinde konumlanan kuyulara ait YASS zaman serileri	37
Şekil 4.12. KMH’de yeraltı suyu kullanımının histogramal dağılımı (TOB, 2019).....	38
Şekil 4.13. Ödemiş ve civarında yayılım gösteren tarımsal alanların görünümü	38
Şekil 4.14. SAR görüntüsünün kapsadığı alan, alt çerçeveler (IW) ve çalışma bölgesi (mavi dikdörtgen)	40
Şekil 4.15. Görüntü çiftlerine ait zamansal ve dik baz uzunlukları	43
Şekil 4.16. İzleme alanında meydana gelen deformasyon ve yayılımı.....	44
Şekil 4.17. İzleme süresince Torbalı ve çevresinde oluşan deformasyon ve yeraltı su seviyesi davranışını gösteren zaman serisi	44
Şekil 4.18. İzleme süresince Bayındır ve çevresinde oluşan deformasyon ve yeraltı su seviyesi davranışını gösteren zaman serisi.....	45
Şekil 4.19. İzleme süresince Ödemiş ve çevresinde oluşan deformasyon ve yeraltı su seviyesi davranışını gösteren zaman serisi	45
Şekil 4.20. Yolüstü Köyü (Ödemiş) civarında gözlemlenen taşörme-kerpiç evlerin duvarlarında oluşan çatlamlar	46
Şekil 4.21. Yolüstü Köyü (Ödemiş) civarında gözlemlenen zemin çökmeleri ve duvar çatlamları	47
Şekil 4.22. Yolüstü Köyü (Ödemiş) civarında gözlemlenen zemin çökmeleri ve yarılmalar.....	48

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Küçük Menderes Havzası Alt Havzaları, kapladıkları alanlar ve nüfus bilgileri TOB (2019)'dan uyarlanmıştır.....	3
Tablo 1.2. CORINE seviye 1 sınıflandırmasına göre KMH'da arazi kullanımı.....	4
Tablo 4.1. Sentinel 1A uydu verilerine ait bilgiler	39
Tablo 4.2. Analizlerde kullanılan SAR görüntülerinin algılanma tarihleri.....	40

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CORINE	:Coordination of Information on the Environment
InSAR	:Interferometric Synthetic Aperture Radar
KMH	:Küçük Menderes Havzası
KMNAH	:Küçük Menderes Nehir Alt Havzası
RADAR	:Radio Detection and Ranging System
SAR	:Synthetic Aperture Radar
YASS	:Yeraltı Su Seviye

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve Amaç

Zemin çökmeleri Dünya genelinde sıklıkla görülen bir problemdir ve basitçe, yer kabuğunun üst zemin katmanlarının doğal ya da yapay süreçler sonucu, yeraltından uzaklaştırılan malzemeden geriye kalan boşluklara doğru hareket etmesi olarak tanımlanır. Daha çok tarımsal ve endüstriyel aktivitelerin yoğun olduğu bölgelerde görülmektedir (Sheng vd., 2003; Abidin vd., 2013). Farklı yayılım alanlarında, yıllık hızı 10 mm ile 400 mm arasında değişiklik gösteren zemin çökmeleri birçok çevresel problemi de beraberinde getirmektedir (Galloway ve Burbey, 2011). Bunlardan bazıları, kırılarak deforme olan akiferin artık su tutamaması sonucu ekosistemin doğal döngüsünde bozulma, zemin çökmeleri sonucu altyapı ve üstyapı tesislerinin tahrip olması, kıyı bölgelerinde deforme olan akifer sisteme tuzlu su karışması sonucu içilebilir su kaynaklarının azalması, bazı bölgelerde tarımsal alanlarda ve şehir merkezinde büyük obruk oluşumları olarak sıralanabilir (Shi vd., 2008).

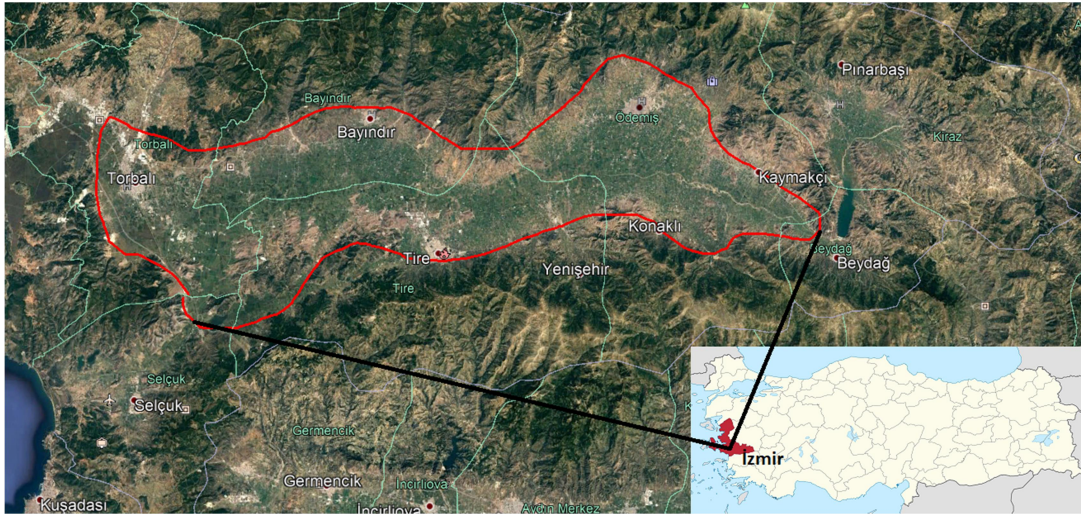
Zemin çökmelerinin yayılımı ve hızı, bölgenin jeolojik, jeotektonik, hidrojeolojik ve jeomorfolojik özellikleriyle açıklanır. Sert zeminler üzerindeki yüklenme baskısına büyük direnç gösterdiğinden, zemin çökmelerini böylesi alanlarda gözlemlemek zordur. Ancak, özellikle ince taneli zemin yapısı (alüvyonel havzalar gibi) özellikleri gösteren alanlarda, yeraltı su seviyesi azalmasına bağlı zemin çökmesi problemi yaygın olarak görülmektedir (Galloway ve Burbey, 2011; Abidin vd., 2013). Ülkemizde de Konya Kapalı Havzası, Obruk platosu ve Bursa ovasında değişik şiddetlere ve yayılım alanlarına sahip zemin çökmeleri gözlemlenmiştir (Üstün vd., 2010; Aslan vd., 2019; Orhan vd., 2021).

Türkiye'nin batısında yer alan Küçük Menderes Havzası (KMH), tarımsal faaliyetin yoğun olduğu verimli topraklara ve ürün çeşitliliğine sahiptir. Havzada son otuz yıldır yeraltı suyu seviyesinde ciddi bir düşüş gözlemlenmektedir. Yoğun tarımsal sulama, hayvancılık ve sanayileşme yeraltı su seviyesi çekilmesindeki en önemli etkenler olarak gösterilmektedir (Şahin vd., 2020). Bu nedenle söz konusu bölgede zemin çökmelerinin detaylı olarak araştırılması, olası yayılım alanının ve şiddetinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

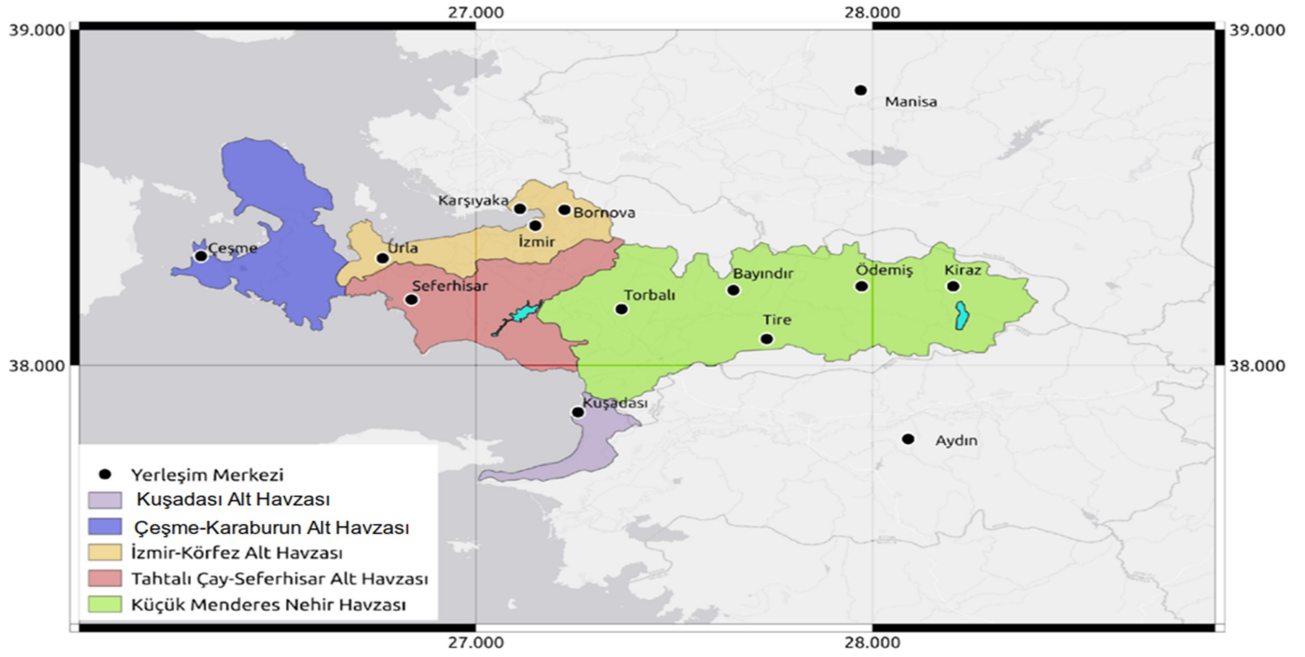
Bu çalışmada, Küçük Menderes Havzasında oluşan düşey yönlü zemin deformasyonları yapay açıklıklı radar (SAR: Synthetic Aperture Radar) yöntemiyle izlenmiştir. Uygulama bölgesinden elde edilen SAR görüntüleri analiz edilerek, çökmelerin hızı ve yayılım alanları tespit edilerek, bölgenin jeolojik, jeotektonik, hidrojeolojik ve jeomorfolojik özellikleriyle ilişkilendirilerek, çökmelerin olası nedenlerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

1.2. Coğrafi Konum

Küçük Menderes Havzası (KMH), İzmir ilinin büyük bir kısmı başta olmak üzere, Manisa ilinin Turgutlu ilçesine ait dört farklı yerleşim birimini ve Aydın ilinin Kuşadası ilçesini içersine almaktadır (Şekil 1.1). $38^{\circ} 0' - 38^{\circ} 15'$ Kuzey enlemleri ve $27^{\circ} 15' - 28^{\circ} 15'$ Doğu boylamları arasında yer alan KMH, yaklaşık 7000 km^2 'lik bir alanı kapsamakta ve beş alt havzadan oluşmaktadır (Şekil 1.2). Alt havza bölümlendirilmesinde jeolojik yapı en önemli faktörü oluşturmaktadır. Alt havzalar, kapladıkları alan ve toplam alana oranı Tablo 1.1'de gösterilmektedir (TOB, 2019).



Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası



Şekil 1.2. Küçük Menderes Havzası ve alt havzaları

Tablo 1.1. Küçük Menderes Havzası Alt Havzaları, kapladıkları alanlar ve nüfus bilgileri TOB (2019)'dan uyarlanmıştır.

Alt havza adı	Alan (km ²)	Toplam havza alanına oranı (%)	Nüfus
Küçük Menderes Nehir Havzası	3490.95	50.1	480960
Tahtalı-Seferhisar	1248.92	17.9	606189
İzmir-Körfez	816.68	11.7	2781072
Çeşme-Karaburun	1114.27	16.0	52676
Kuşadası	292.43	4.3	105295

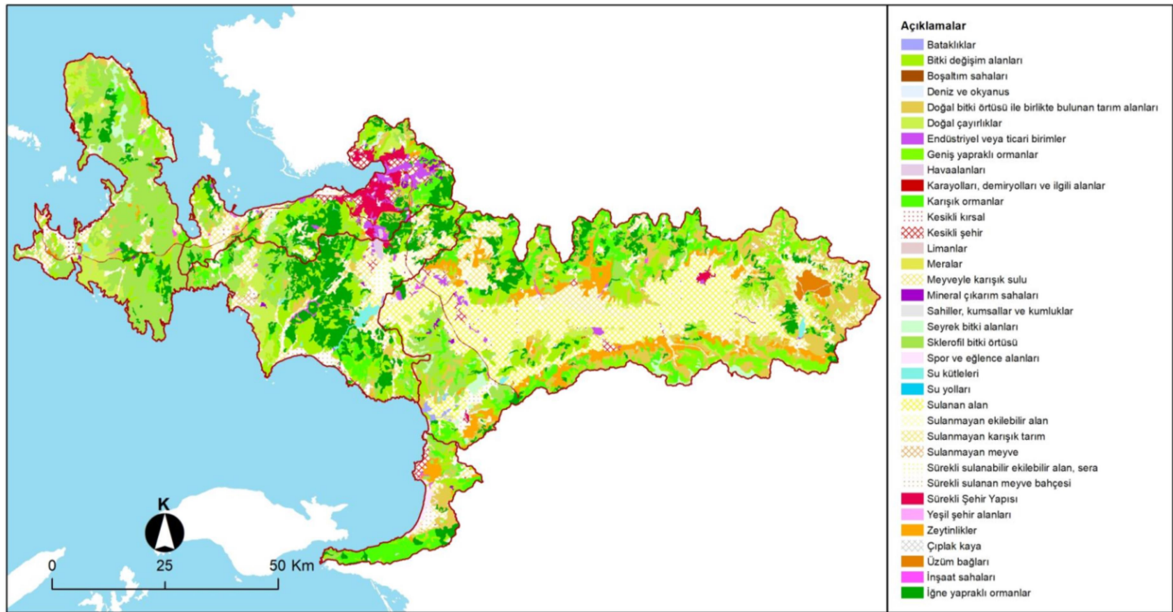
Şekil 1.2.'den de görüleceği üzere havzanın tamamına yakın kısmı (%97) İzmir ili sınırları içerisinde kalmakta olup, havza içerisinde yer alan yerleşim birimlerinde yaşayan insan nüfusu ise 2016 verilerine göre yaklaşık 3.5 milyon seviyelerindedir.

1.3. Arazi Kullanımı

Küçük Menderes Havzasında arazi kullanım durumunun belirlenmesi çalışmaları CORINE (Coordination of Information on the Environment, Türkçesi: Avrupa Ulusal

Arazi Örtüsü Sistemi) kriterleri dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, KMH’da birinci düzey arazi kullanımı incelendiğinde, %53’lük kesiminin orman ve yarı-doğal alanlarla örtülü olduğu anlaşılmaktadır. Orman alanlarından sonra en büyük alanın %40 ile tarımsal araziler takip etmektedir (TOB, 2019).

Alt havza bazında inceleme yapıldığında, Küçük Menderes Nehir alt havzasında tarımsal faaliyetlerin öne çıktığı görülürken, İzmir-Körfez alt havzasının İzmir ilini bünyesinde bulundurması nedeniyle, yapay alanların daha çok olduğu görülmektedir. KMH alt havzalarında arazi kullanım yüzdeleri Tablo 1.2’de detaylı olarak verilmektedir. Ayrıca, CORINE birinci ve ikinci sınıf sınırlandırmasına göre oluşturulmuş arazi kullanım haritası Şekil 1.3.’de sunulmuştur.



Şekil 1.3. Küçük Menderes Havzasında mevcut arazi kullanımı (TOB, 2019)’dan uyarlanmıştır.

Tablo 1.2. CORINE seviye 1 sınıflandırmasına göre KMH’da arazi kullanımı

Alt havza	Tarımsal alan (%)	Yapay alan (%)	Orman ve yarı doğal alanlar (%)	Diğer
Küçük Menderes Nehir	58	3	39	<%1
Tahtalı-Seferihisar	26	4	68	%2
Kuşadası	31	12	56	<%1
Çeşme-Karaburun	14	4	82	<%1
İzmir-Körfez	19	28	53	<%1

1.4. Literatür Çalışması

1.4.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresiyle İlgili Jeolojik, Tektonik ve Hidrojeolojik çalışmalar

Çalışma alanını da içine alan bölgede şimdiye kadar birçok jeolojik, jeokimyasal ve hidrojeolojik araştırma yapılmış olup Yavuz, 1996; Şimşek, 1998; Yusufoglu, 1998; Bulut ve Filiz, 2005; Rüzgar, 2006; Koralay vd., 2007; Dora, 2011; Peksezer Sayit ve Yazicigil, 2012; Allahwani, 2016; Yagbasan, 2016 literatürdeki çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Yavuz (1996), Torbalı ilçesi ve yakın çevresinin jeolojisi açıklanarak üretim yapan güncel ve antik mermer ocaklarının lokasyonları araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışma bölgesinin 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası üretilerek, bölgedeki mermer tabakalarına ait renk, yapı kimyasal ve fiziko-mekanik özellikleri incelenerek açıklanmıştır.

Şimşek (1998), Torbalı ve yakın çevresini kapsayan 200 km²'lik bir alanda jeolojik ve hidrojeolojik incelemelerde bulunmuştur. Jeolojik çalışmalar ışığında, bölgedeki en yaşlı kaya biriminin Mesozoyik yaşlı şist ve mermer olduğu ve orta sıcaklık düşük basınç metamorfizması sonucu oluşarak, genişleme tektoniği sonucu yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, Kretase sonunda bölgede yoğun bir grabenleşme olduğu ve birimlerin yükseldiği bildirilmektedir. Yapılan hidrojeolojik çalışmalar ile havzanın yeraltı suyu potansiyeli yönünden oldukça önemli olduğu ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon birimi, Kretase yaşlı kireçtaşları Paleozoyik yaşlı mermerler ve Neojen serilerinin akifer olabilecek birimler olduğu bildirilmiştir. Bölgedeki akiferlerin serbest akifer niteliğinde olduğu ve her yönden beslenebildiği ve bu özelliği sebebiyle kirlenme olasılığının yüksek olduğu ifade edilmektedir. Son olarak, çalışmanın yapıldığı tarihte, havzanın yeraltı su seviyesinin 30 m seviyelerinde olduğu ve yaz aylarında sulama sebebiyle 2-5 m'lik düşüş kaydedildiği, ve son 10 yılda yıllık ortalama 1 m azaldığı ve 10 m seviyelerinde geri çekildiği ifade edilmiştir.

Yusufoglu (1998), Küçük Menderes grabeninde eski ve yeni tektonik özellikleri incelemiştir. Yapılan çalışmada, Küçük Menderes grabeninin bugünkü şeklini almasına yol açan BKB-DGD gidişli, kenarları sınırlayan normal faylar olduğu ortaya konulmuştur. Söz konusu fayların, verrev ve eğim atımlı normal fay türünde geliştiği de çalışmanın bulguları arasında yer almaktadır.

Bulut ve Filiz (2005), Bayındır jeotermal sahasının hidrojeolojisi incelenmiştir. Hidrojeolojik çalışmalarda sahadaki birimler temel, hazne ve örtü kayaç özelliklerine göre ayırtlanmış ve tespit edilen kayaçların geçirimsizliklerinin oldukça değişken olduğu ortaya çıkmıştır. Sahadaki kayaçlardan Mikaşistler zayıf geçirimli, hatta geçirimsiz olup temel kayaç niteliğinde olduğu, çatlaklı ve kırıklı kalkışistlerin ve mermerlerin jeotermal sisteminin rezervuar kayaçlarını oluşturduğu, mikaşist ve kuvarşistlerin ise örtü kayaç özelliğini taşıdığı ifade edilmiştir.

Rüzgar (2006), İzmir ilinin Bayındır ilçesinde yapılan çalışmayla bölgenin tektonik özelliklerinin ortaya çıkarılarak, Küçük Menderes Grabeni'nin oluşumu hakkında bilgi vermektedir. Bu bağlamda, bölgenin K-G yönlü genleşme tektoniği nedeniyle D-B yönelimli graben ve horst yapıları içerdiği ve bu yapıların günümüzde sismik olarak aktifliğini koruduğu ifade edilmektedir. Çalışma alanında gözlenen yapısal hatların tamamına yakın kesiminin normal faylardan oluştuğu ve çalışma alanının bu sebeple basamaklı bir yapıda olduğu ve Orta Miyosen'den önce etkili olan K-G yönlü sıkıştırma kuvvetlerinin ardından, yaklaşık K-G doğrultulu çekme kuvvetlerinin etkisi altında kaldığı vurgulanmıştır.

Koralay vd. (2007), Menderes Masifi'ndeki, Pan-Afrikan ve Triyas Yaşlı Metamagmatik Kayaçların Jeolojisi ve Jeokronolojisi incelemiştir. Yapılan çalışmada, Menderes Masifi'nin Türkiye'nin batısında Alpin Orojenik Kuşağı içerisinde yer alan büyük bir metamorfik kompleks olduğu belirtilmiş ve bölgede bulunan Pan-Afrikan ve Triyas Yaşlı Metamagmatik Kayaçların Jeolojisi ve Jeokronolojisi incelemiştir. İncelemeler ışığında, Jeolojik ve jeokronolojik verilerin Menderes Masifi'nde, Pan-Afrikan, Triyas ve Miyosen yaşlı üç ana magmatik aktivitenin varlığını gösterdiği ifade edilmektedir.

Dora (2011), Menderes Masifi'ndeki Jeolojik araştırmaların tarihsel gelişimini incelemiştir. İncelemler ışığında, Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelinin, paragnays ve onu üzerleyen şist birimlerinden yapıları monoton metakırıntılı serisi ve bunları kesen metagabro ve farklı türde gnays ve metagranitlerden yapıları olduğu görülmüştür. Masifi'nin Pan-Afrikan temelinde bulunan ve paragnays - şist birimlerinden yapıları klastik sedimanlar pasif kıta kenarında çökeldiği ve istifli kesen granitoidlerin radyometrik yaşlarının ortalama 570-520 My arasında değişiklik gösterdiği vurgulanmıştır. Ayrıca, bölgedeki genleşmenin nedeni olarak Anatolid-Torid platformunun Sakarya kıtasıyla çarpışma sonrası gelişen magmatizmanın kalınlaşmış kabukta meydana getirdiği termal zayıflık

olduğu vurgulanmış ve Orta Masif'teki simetrik çekirdek kompleks oluşumunun Orta-Geç Miyosen'de gerçekleştiği ve Pliyosen'de gelişen genç graben faylarının tüm sıyrılma faylarını kestiği ifade edilmektedir.

Peksezer Sayit ve Yazicigil (2012), Küçük Menderes Nehir Havzasında bulunan akifer sistemlerin yapay yollarla geri beslenme potansiyeli hakkında bilgi vermektedir. Yapılan araştırmalar ışığında, Küçük Menderes Nehir Havzası'nda yeraltı su seviyesinin geçmiş birkaç on yıllık süredir sürekli azaldığı, bu nedenle bölgede yüzeye yapay su tutma yapılarının inşa edilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Yapay yollarla akifer beslenmesini irdelemek amacıyla, SEEP/W yazılımı ile 2B yeraltısı modellemesi ortaya koyulmuş ve farklı senaryolar kullanılarak simülasyonlar ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, bölgede yüzeye yapılacak olan yapay su tutma sistemlerinin akifer beslenmesini arttıracığı sonucun ortaya çıkacağı bildirilmektedir.

Allahwani (2016), Küçük Menderes Nehir Havzası'nda sürekli hidrolojik modellemenin oluşturulması ve uygulanması üzerine çalışma yapmıştır. Bu amaçla, bölgeden elde edilen meteorolojik veriler, arazi kullanım verileri, bitkilerin su tutma oranları ve nehirlerin akım ölçüm verileri kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemi yardımıyla ve HEC-HMS tekniğiyle hidrolojik modelleme gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modelin tahmin edilen parametrelerinin doğrulaması da gerçekleştirilmiş, havza ile ilgili su yönetim ve planlama çalışmalarında kullanılabileceği bildirilmiştir.

Yagbasan (2016), iklim değişikliğinin Küçük Menderes Nehir Havzası'nda yeraltı suyu beslenme üzerine olan etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla, havzanın Ödemiş ve Selçuk mevkiilerinde konumlanan meteoroloji istasyonlarının 1964-2011 yılları arasındaki verileri değerlendirilmiş, sıcaklık ve buharlaşmanın söz konusu tarihlerde arttığı ve bu durumun yeraltı suyuna olan ihtiyacı arttırdığı bildirilmiştir. Söz konusu tarihler aralığında, yeraltı su seviyesinde %15'lik bir azalma kaydedilmiş olup, sürdürülebilir su yönetimi için yeraltı su kullanımının dikkatli tüketimi hakkında tavsiye verilmiştir.

1.4.2. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) Yöntemiyle Gerçekleştirilen Zemin Çökmesi Çalışmaları

Dünya'nın farklı bölgelerinde oluşan zemin çökmelerinin SAR yöntemiyle izlenmesi konusunda birçok çalışma yapılmış olup, Wegmuller vd., 1999; Sneed vd., 2001; Motagh vd., 2007; Yang vd., 2014; Çomut, 2016; Kaitantzian vd., 2020; Yalvac, 2020 literatürdeki çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Wegmuller vd. (1999), İtalya'nın Bologna şehrinde meydana gelen zemin çökmelerinin SAR yöntemiyle haritalanması üzerine çalışmıştır. Çalışmada, ERS uydu misyonuna ait 1992 ile 1996 yılları arasındaki SAR verileri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş ve çökmelerin hızının 40 mm/yıl olarak tespit edildiği bildirilmiştir. Elde edilen sonuçların klasik yükseklik ölçme yöntemleri ile de doğrulanmıştır.

Sneed vd. (2001), California eyaletinde konumlanan Coachella vadisinde GPS ve SAR yöntemiyle zemin çökmelerini araştırmıştır. Yapılan çalışmada, bölgedeki yeraltı su seviyesinin 1920'lerden 1996 yılına kadar önemli derecede azaldığı, bu nedele bölgede SAR ve GPS yöntemiyle izleme çalışması yürütüldüğü ifade edilmektedir. İzleme çalışmaları sonucunda 1996-1998 yılları arasındaki GPS ve SAR gözlemlerinden vadinin farklı bölgelerinde 13 mm ile 67 mm arasında değişen zemin çökmesi tespit edildiği ifade edilmiştir.

Motagh vd. (2007), İran'ın kuzeydoğusunda bulunan Mashhad vadisinde, SAR, GPS ve klasik yükseklik ölçme yöntemiyle zemin çökmelerini araştırmıştır. Bu amaçla, 1995 ile 2005 yılları arasında farklı ölçü yöntemleriyle (Nivelman, GPS ve SAR) yapılan gözlemler sonucunda havzada 28-30 cm/yıl arasında değişen zemin çökmelerinin varlığının tespit edildiği ifade edilmiştir.

Yang vd. (2014), Datong grabeninde InSAR tekniği kullanılarak zemin çökmelerinin tespiti üzerine çalışmıştır. Bu amaçla, 2003-2010 yılları aralığında seçilen 40 SAR görüntüsü en kısa baz uzunluğu yöntemine göre analiz edilmiş ve havzanın farklı bölgelerinde 60 mm/yıl ile 120 mm/yıl arasında değişken zemin çökmeleri tespit edilmiştir.

Çomut (2016), Konya Kapalı Havza'sında ileri InSAR tekniklerini kullanarak zemin deformasyonlarının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla, Havza genelinde 1990 ile 2015 yılları arasında farklı uydu misyonlarından elde edilen SAR görüntüleri analiz edilmiş ve havzanın farklı bölgelerinde 10 mm/yıl ile 60 mm/yıl arasında değişen zemin çökmeleri tespoit edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca söz konusu çalışmada Denizli ilinin Babadağ bölgesinde 2002-2008 yılları arasında heyelan bölgesindeki hareket SAR yöntemiyle analiz edilmiş ve izleme süresince 100 mm'lik kütle değişimi tespit edildiği ifade edilmiştir.

Kaitantzian vd. (2020), Yunanistan'nın Atina Kıyı Bölgesinde, akiferlerdeki suyun fazla kullanımı sonucu oluşan zemin çökmelerini incelemiştir. Yapılan çalışmada, 2002 ile 2010 yılları arasında ENVISAT uydu misyonuna ait Sar görüntülerinin analiz edildiği ve

yıllık hızı 5 mm'yi aşan zemin çökmelerinin tespit edildiği bildirilmektedir. Söz konusu çökmelerin, bölgedeki yeraltı suyu kullanımıyla korelasyonlu olduğu vurgulanmaktadır.

Yalvac (2020), orta ve yüksek şiddetli çökme bölgelerinde SAR yöntemiyle zemin çökmelerinin tespit edilmesi ve elde edilen çökme verilerinin GNSS yöntemiyle doğrulanması üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışmada, Meksika ülkesinde bulunan Mexico City ve Aguascalientes şehirlerindeki çökmelerin araştırıldığı ifade edilmektedir. Bu kapsamda, 2014-2018 yılları aralığında Mexico City'de 46 SAR görüntüsü, Aguascalientes şehirde ise 18 SAR görüntüsü SBAS yöntemiyle analiz edilmiş ve Mexico City için 370 mm/yıl, Aguascalientes için ise 60 mm/yıl'a varan zemin çökmelerinin tespit edildiği vurgulanmıştır.

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ VE TEKTONİĞİ

Küçük Menderes Havzası “Batı Anadolu Genişleme Bölgesi” olarak bilinen bir bölgede yer alır (Bozkurt, 2001). Batı Anadolu Genişleme Bölgesi’ndeki temel kayaları, kuzeyde Afyon Zonu, güneyde Likya Napları ve batı zonda ise, Kikladik Kompleksi ve Bornova Filiş Zonu tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir (Okay, 1996). Tektonik dokanaklarla birbirinden ayrılan bu zonlar Miyosen döneminde gelişen genişleme tektoniği sonucunda eğim atımlı ve doğrultu atımlı faylarla parçalanmış ve oluşan çöküntü alanlarında 2000-3000 metreye varan volkanik ara katlı tortul istifler içeren havzaların oluşumu gerçekleşmiştir. (Sözbilir, 2001; Sözbilir, 2002; Bozkurt, 2003; Bozkurt ve Sözbilir, 2004).

Havzanın da içinde bulunduğu alan deformasyona ve bölgesel metamorfizmaya uğramış tektonik zonlardan oluşur (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Batı Anadolu'nun genelleştirilmiş tektonik haritası (Koralay vd., 2004).

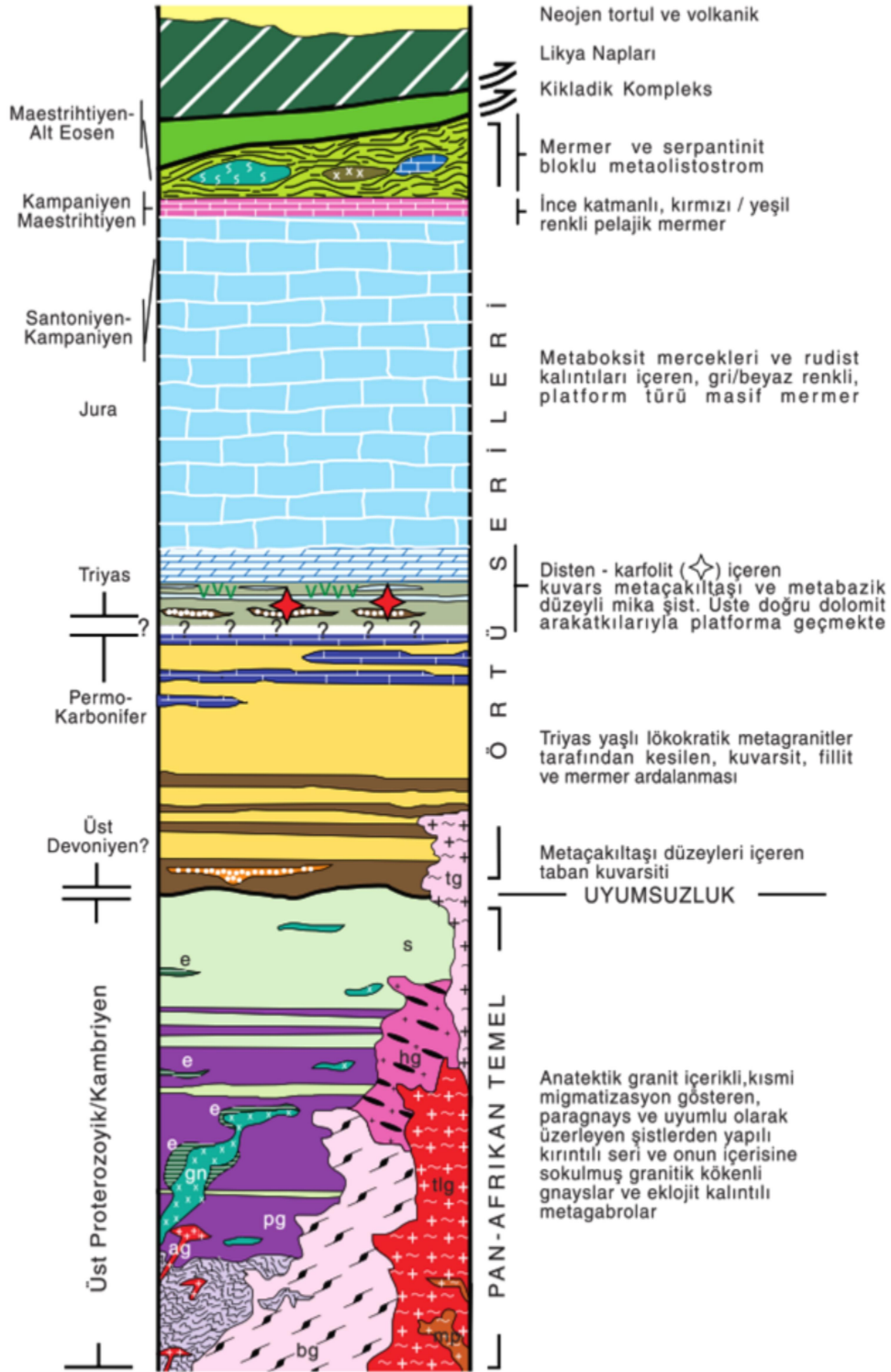
Menderes Masifi çekirdek serisi ve örtü serisi olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Bu bölümler sırasıyla, Pan-Afrikan temel ve Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı kaya gruplarından oluşur (Dora vd., 1995).

2.1. Pan-Afrikan Temel Kayaları

Pan-Afrikan yaşlı temel kaya Geç Proterozoyik meta-sedimentlerinden oluşmaktadır. Kısmen migmatitleşme sunan para-gneys ve mika şistlerden oluşan metakırıntılı seri Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelinin en yaşlı birimlerini oluşturur. Geç Proterozoyik yaşlı bu kayalar Prekambriyen-Kambriyen'de Pan-Afrikan orojenezi ile ilişkili granulit, eklojit ve amfibolit fasiyesi koşullarında çoklu metamorfizmadan etkilenmişlerdir (Candan vd., 1994, 2001, 2007; Candan ve Dora, 1998). Temel serileri Pan-Afrikan Orojenezi ile ilişkili yaygın asidik-bazik magmatikler tarafından kesilmektedir (Candan, 1996; Koralay vd., 2004). Jeokronolojik veriler, Pan-Afrikan ortogneysların ilksel kayalarını oluşturan asidik magmatik aktivitenin Geç Proterozoyik-Kambriyen de gerçekleştiğini göstermektedir (Koralay vd., 2004). Menderes Masifinin genelinde geniş bir yayılım gösteren Pan-Afrikan temele ait birimler kendi iç deformasyonlarına ek olarak Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı örtü serileriyle de kuvvetli etkileşim sunan tektonik ekaylanmalar şeklinde bulunmaktadır. Pan-Afrikan temel ve örtü serisine ait kayaların genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti Şekil 2.2'de verilmiş olup, şekilde görüldüğü gibi masifin yaşlı kaya birimleri düzenli ve kesiksiz bir seri olan meta-kırıntılılardan oluşur. Söz konusu birim Pan-Afrikan orojenezinin farklı evrelerinde sokulmuş, granitoid ve gabroik bileşimli kayalar tarafından kesilmektedir. Meta- kırıntılı seri kendi içerisinde, alttan üste doğru paragneys birimi ve şist birimi olmak üzere iki alt birime ayrılmaktadır.

2.1.1. Paragneys Birimi

Paragneysların makroskobik özellikleri, pembemsi gri, kahverengimsi, ince taneli, masif yapıda ve/veya kaba bir foliasyona sahip kayalardır. Pembe renk, kayada homojen dağılım gösteren biyotit ve granattan kaynaklanmaktadır. İnce taneli homojen bir zemin içerisinde boyutları birkaç milimetre ile birkaç santimetre arasında değişen mineral yuvalarının (benek) yaygın varlığı paragneysların en karakteristik özelliklerinden birisidir (Kun ve Candan, 1987a; Dora vd., 2001, 2002).



Şekil 2.2. Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş kaya istifi (gn: Gabro-norit, ag: Anatektik granit, tg: Triyas lökokratik ortognays, hg: Hornblend)

ortognays, bg: Biyotit ortognays, tlg: Turmalin lökokratik ortognays, pg: Paragnays, s: Şist, e: Eklojit Eklojit (Dora vd., 2001)'den değiştirilerek.

Paragnayslardaki benekler renk ve mineralojik bileşimlerine göre üç alt gruba ayrılmaktadır. Bunlar; i) Siyah, ii) Yeşil ve iii) Beyaz renkli beneklerdir. Maksimum 1 cm ye kadar ulaşan, disk yapısındaki siyah beneklerin ilksel sedimanter kayacın bileşimsel değişimiyle denetlendiği ve kayacın kilce zengin düzeylerinde tercihli olarak geliştiği belirlenmiştir. Daha ender olarak gözlenen yeşil benek oluşumları 4-5 cm ye ulaşabilmekte ve zonal bileşimsel yapıları ile karakterize olmaktadır. İnceleme alanının bir kısmını içine alan Ödemiş civarında yayılım gösteren Ödemiş-Kiraz masifinde Pan-Afrikan temele ait birimler ve fosil bulgularıyla Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı oldukları belirlenen örtü serileri Alpin yaşlı sıkışma tektoniği sonucu birimlerin birbiri üstünde ekaylandıklarını göstermektedir (Candan vd., 2011).

2.1.2. Şist Birimi

Meta-kırıntılı seri şist ardalı paragnays birimi ve onu üzerleyen homojen şist biriminden oluşmaktadır. Bu iki birim içerisindeki şistler gerek köken kayası gerekse mineral bileşimleri açısından birbirleriyle büyük benzerlik göstermektedir. Şistlerin makroskobik özellikleri ve Masifteki genel dağılımlarından bahsedecek olursak, Şistler Pan-Afrikan temeldeki en baskın kaya türünü oluşturmaktadır. Kuzeyde Demirci-Göğdes asmasifinde, KD-GB uzanımlı, 60 x 10 km boyutlarındaki Göğdes ve Demirci yükselimsinin tamamen yakın kesimi kısmen migmatitleşmeye uğramış şistlerden oluşmuştur. Şistlerin migmatizasyondan uzak kesimlerinde 4-5 cm ye ulaşan disten, stavrolit ve granat porfiroblastlarına yaygın olarak rastlanmaktadır (Candan ve Dora, 1993). Şistlerin foliasyonlarına paralel uzanım sunan kuvarsça zengin pegmatoidlerde disten kristallerinin boyutları 40-50 cm ye ulaşmaktadır. Bu pegmatoidlerin metamorfizma sırasında çevre kayadan göçen Si ve Al un foliasyon düzlemi boyunca yerleşmesi ile oluştuğu düşünülmektedir (Candan, 2001). Şist serisinin en alt düzeylerinde bu minerallere sillimanit eşlik etmektedir. Biyotit ve muskovitçe zengin bu şistler baskın olarak kil taşlarından türemiştir. Ödemiş-Kiraz asması, üst üste yığılmış, Pan-Afrikan ve örtü serilerine ait tektonik dilimlerinden oluşur. Bu dilimlerden Aydın Dağları'nda gözlenen 15 x 90 km lik bir alanda yüzlek vermekte ve tümüyle şistlerden oluşmaktadır. Homojen bir içyapıya sahip bu şist serisi çamurtaş-subarkozik kumtaşı ardalımasından türemiştir.

Şist biriminin en karakteristik litolojisi olan, subarkozik kumtaşlarından türeme biyotit - albit şistler beyaz renkli feldispatik bir zemin içerisinde homojen dağılım sunan, tek ve iri biyotit kristallerinin varlığı ile tanımlanmaktadır. 6 km kalınlık sunan bu şist serisi kuzeye doğru düzenli bir eğim sunmaktadır. Petrografik / petrolojik veriler, biyotit ve granat şistlerden oluşan bu serinin metamorfizma derecesi açısından devrik bir konumda olduğunu göstermektedir (Okay, 2001). Ödemiş-Kiraz asmasifinin kuzey kanadını oluşturan Bozdağlar paragnays ve onu uyumlu olarak üzerleyen şist birimlerinden oluşmaktadır (Candan vd., 2011). Barbol (2005), amfibolün varlığı ile tanımlanan bu düzeylerin artan metamorfizma derecesi sonucu dereceli olarak paragnayslar içerisinde piroksen içeren, budinli yapıya sahip kalksilikatlara dönüştüğünü belirtmektedir.

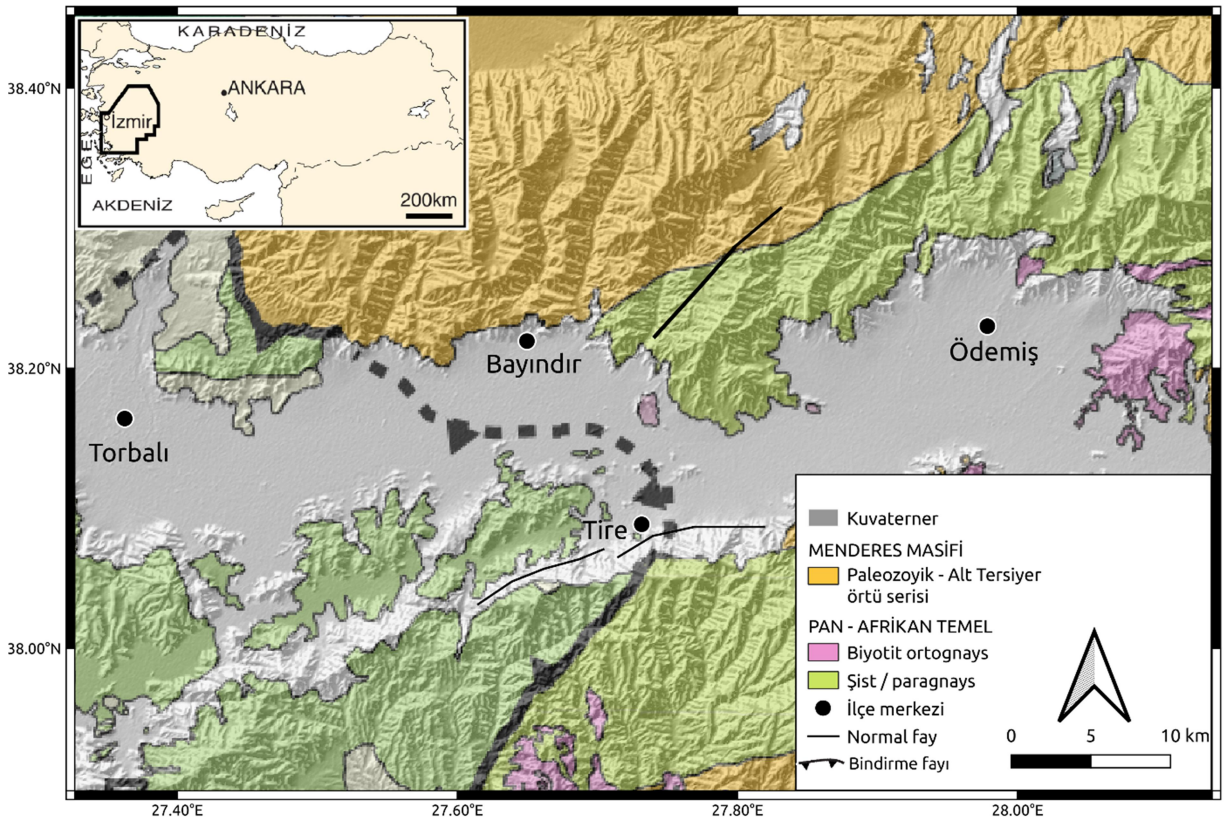
2.2. Paleozoyik-Erken Tersiyer Kayaları

Menderes Masifinde temel kaya üzerinde bulunan örtü kayaları, Paleozoyik ve Mesozoyik-Erken Tersiyer kayaları olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Paleozoyik seride yaygın olarak kuvarsit, fillit ve mermerler bulunmaktadır (Konak vd., 1987). Mesozoyik-Erken Tersiyer yaşlı kayaçlar ise alt düzeylerinde meta-konglomera ile başlamakta ve geçiş zonuyla platform türü meta-karbonatlara geçmektedir. Karbonatlar pelajik mermer tarafından üzerlenmekte ve istif meta-olistostromla sonlanmaktadır (Dora vd., 1995; Özer vd., 2001).

Pan-Afrikan temel üzerlerine uyumsuzlukla Geç Devoniyen?- Permokarbonifer yaşlı şist, meta-çakıltaşı, fillit ve mermerler gelmektedir (Konak vd., 1987). Paleozoyik yaşlı şistler Erken-Orta Triyas yaşlı metagranitler tarafından kesilirler (Koralay vd., 2001). Altındaki birimleri uyumsuz olarak üzerleyen Geç Triyas yaşlı metaçakıltaşı ve şistlerden oluşan birimler, Geç Triyas-Jura yaşlı platform tipi dolomitik seviyelere geçiş gösterirler (Candan vd., 2011). Bu düzeyler içinde değişik seviyelerde boksitler gözlenmektedir. Bu dolomitler üzerinde yer alan mermerlerde Rudist fosilleri bulunarak birime Santoniyen-Kampaniyen yaşı verilmiştir (Özer vd., 2001). Mesozoyik yaşlı mermerler üzerinde kırmızı, yeşil renkli pelajik mermerler (Konyasiyen-Maastrichtiyen) yer almaktadır. İstifin en üstünde kumtaşı ve şeyl hamurlu, mermer bloklu Orta Paleosen-Orta Eosen yaşlı olduğu ileri sürülen bloklu birimler yer almaktadır (Konak vd., 1987; Özer vd., 2001; Konak N., 2007). Konak (2007) çalışmasında Menderes Masifi'ni Armutludere, Alaşehir, Bozdağ, Kiraz, Tire, Cevizlidağ naplarına ayırarak incelemiştir. Menderes Masifi'nin güneyinde

masifin çekirdeğini oluşturan şist ve gnaysların üzerinde yer alan mermer ve şistlerden oluşan Paleozoyik-Mesozoyik-Tersiyer yaşlı istifler çalışmacılar tarafından farklı şekillerde yorumlanmıştır. Çağlayan vd. (1980), Konak (2007), Candan vd. (2011), Jolivet vd. (2013) söz konusu istifleri Menderes Masifi'nin örtü kayaları olarak yorumlarken, Pourteau vd. (2013) aynı istifleri Kikladik kompleksine dahil etmiştir.

Çalışma konusu kapsamında bulunan Küçük menderes havzası kapsadığı drenaj havzası içinde hem Paleotektonik hem de Neotektonik döneme ait kaya toplulukları yüzlek vermektedir. Bölgede Miyosen öncesi Menderes masifine ait metamorfik kayaların varlığı Ödemiş, Tire, Bayındır ve Torbalı zonu boyunca görülmektedir (Şekil 2.3). Neojen dönemine ait sedimanter istiflerin varlığı Menderes ilçesi, Urla ve Torbalı ilçelerinde görülmektedir. Kuvaterner birimlerin depolandığı kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundan oluşan alüvyon çökelleri Küçük Menderes nehrinin aktığı yatak boyunca uzanmaktadır.



Şekil 2.3. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası

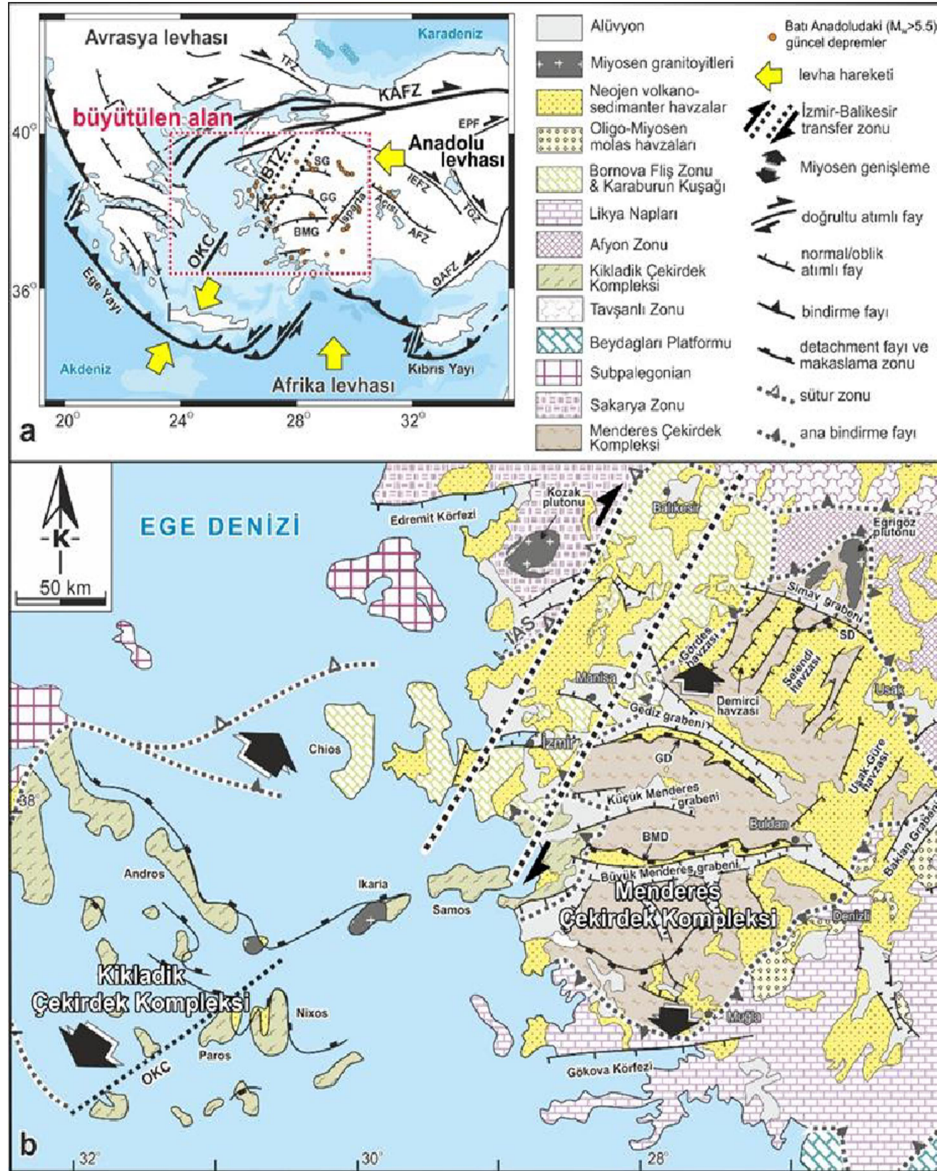
2. 3. Tektonik Unsurlar

Neojen dönemine ait kaya toplulukları arasındaki bindirme fayları, Neojen havza dolguları ile Miyosen sonrası gelişmiş olan eğim/oblik atımlı normal faylar ile doğrultu atımlı faylardan oluşur. Bu faylar özellikle çöküntü alanının oluşmasına olanak sağlamıştır (Şekil 2.4). Batı Anadolu kuşağı, Alp ve Himalaya orojenik kuşağı içerisinde kalmaktadır. Batı Anadolu Geç Senozoyik kırık dizgilerini, yaklaşık gidişlerini Geç Oligosen-Erken Miyosen KD-GB ve Orta Miyosen K-G kırıklar ve Pliyosen-Güncel D-B gidişli kırıklar olarak iki gruba ayırmıştır. Bu nedenle gerek çalışma alanı gerekse çalışma alanının yakın çevresi oldukça kırıklı ve tektonik yönden aktif bölgeleri oluşturmaktadır (Sözbilir, 2002). Çalışma alanı Geç Miyosenden sonra Batı Anadolu’da etkisini gösteren açılma tektoniğine bağlı olarak doğu batı uzanımlı graben faylarının oluşmasına neden olmuş ve Küçük Menderes ve Gediz grabenleri oluşmuştur. Bu iki grabenin arasında yer alan bölgede Bozdağ Horstu yer alır.

Küçük Menderes Havzasında yapısal unsurlar olarak: (1) foliasyon ve şistozite, (2) tabakalanma (3) faylar ve kıvrımlar olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda, önce çalışma alanı içerisinde gözlenen tabakalanma, foliasyon ve şistozite yapıları kısaca özetlenecek, daha sonra, bunlara sebep olan ve bölgesel deformasyondan sorumlu ana fay zonları ve ilişkili kıvrımlanma stilleri ele alınmıştır. Foliasyon ve şistozite gibi düzlemsel yapılar Menderes Masifi’ne ait gnays, şist ve mermerlerde gözlenir. Söz konusu düzlemsel yapılar, Küçük Menderes Havzasının yükselen bloğunda kalan metamorfitlerde izlenmektedir. Foliasyon ve şistozite eğim yönleri Bozdağlar boyunca uzanan büyük ölçekli antiklinal oluşturacak şekilde gelişmiştir. Antiklinalin kuzey kanadı aynı zamanda alanın kuzeyinde yer alan Gediz Sıyrılma Fayı’nın taban bloğu niteliğindedir. Bu kesimlerde, özellikle şistlerdeki şistoziteler kuzeye doğru devrik kıvrımlar oluşturacak şekilde gelişmiştir. Bunun yanında Gediz Grabeni’nin kuzeyindeki foliasyon ve şistoziteler, hemen her yöne eğimli oldukları halde, bir bütün olarak KD-GB eksenli kıvrımlar oluşturacak şekilde gelişmiştir. Diğer bir yapısal unsur ise birimlerde gözlenen tabakalanma yapılarıdır. Özellikle, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı tortul ve volkanosedimenter birimlerde gözlenir. Mesozoyik yaşlı birimlerdeki tabakalanma Likya Napları ve Bornova Fliş Zonu kayalarında değişik doğrultulu kıvrımlar oluşturmuştur (DSİ, 2016). Özellikle, Bornova Fliş Zonu’nun matriksini oluşturan kumtaşı-şeyl ardalanması mezoskopik ölçekte çok sayıda kıvrım içerir. Çökelim sırasında ve sonrasında gelişen deformasyon nedeniyle kıvrımlanmanın herhangi bir sistematiği yoktur. Özellikle kireçtaşı bloklarının dokanaklarına yakın kesimlerde sinsedimanter deformasyonlar yaygındır. Çalışma alanının kuzeyinde Nif Dağı

ve batı kesimlerde Seferihisar-Narlidere hattında yüzlek veren Mesozoyik istifi yaklaşık K-G doğrultulu katmanlar içerir.

Küçük Menderes Havzasında en önemli tektonik yapıları D-B yönlü gelişen düşey atımlı graben fayları ile Urla, Çeşme ve Torbalı ovalarında gözlenen K-G yönlü faylar ile Seferihisar bölgesinde gözlenen ve KD-GB yönlü uzanan İzmir-Ankara Zonu oluşturan bindirme faylarıdır. Graben faylarının genel doğrultusu D-B olmakla birlikte Selçuk bölgesinde yön değiştirerek KD-GB yönlü gelişmiştir. Karaburun –Urla hattında ise K-G yönlü faylar karayı katederek denize doğru ilerlemiştir. Bununla birlikte havzaya benzer şekilde Bornova ovasında da D-B yönlü graben fayları ile şekillendirilmiştir (Şekil 2.4).



3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde Küçük Menderes Havzasında (KMH) oluşan zemin çökmelerinin izlenmesinde kullanılan ve bir uzaktan algılama yöntemi olan, Yapay Açıklıklı Radar (SAR) yönteminin temelleri anlatılacaktır. Ayrıca temel anlamda akifer sistemlerin yapısı hakkında bilgi verilecektir.

3.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama bir nesneyle fiziksel temas kurulmaksızın, söz konusu nesnenin fiziksel ya da kimyasal özellikleri hakkında bilgi edinmeyi mümkün kılan bir tekniktir. Bu teknik, Dünya üzerindeki herhangi bir nesneden yayılan ya da yansıyan enerjinin, uydu veya uçaklar üzerine yerleştirilen sensörler yardımıyla kaydedilip analiz edilerek bilgi çıkarılmasını amaçlar. Uzaktan algılama, yer bilimlerinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olup, jeoloji, jeodezi, meteoroloji, oşinografi ve buzul bilimi gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır (Görken, 2017).

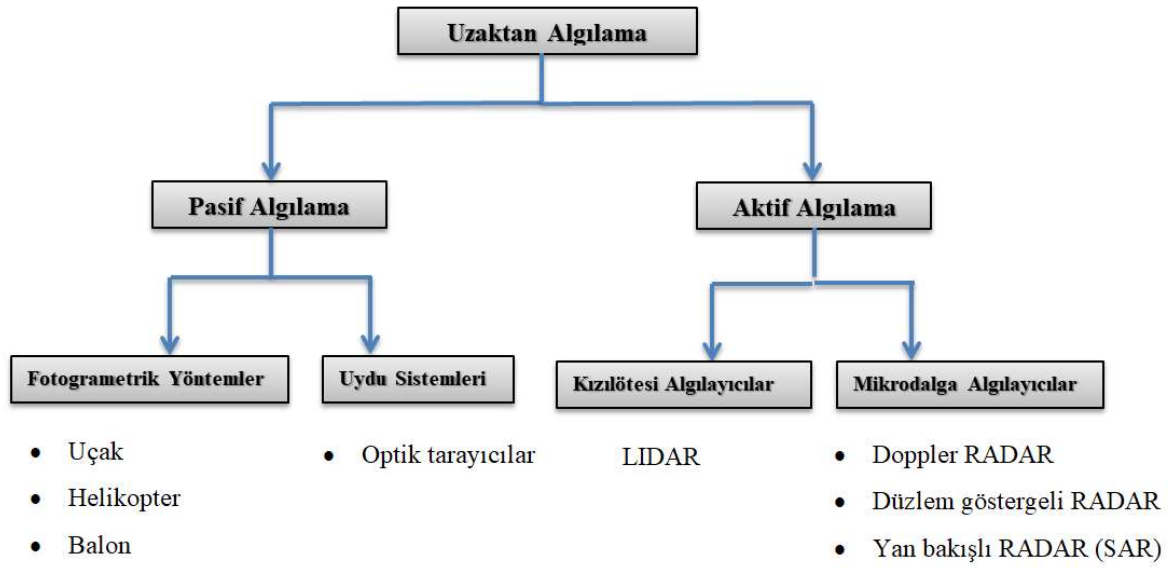
Uzaktan Algılamayı, algılayıcı sensör özelliklerine göre aktif algılama sistemleri ve pasif algılama sistemleri olmak üzere iki başlık altında incelemek mümkündür. Pasif sistemler, uzaktan algılama yapabilmek için herhangi bir enerji üretmeyip Güneş ışınlarını kullanırken, aktif sistemler kendi enerjilerini üretirler ve yansıttıkları enerjinin geri dönüşünü yardımıyla görüntü elde ederler (Görken, 2017).

3.1.1. Pasif Algılama Sistemleri

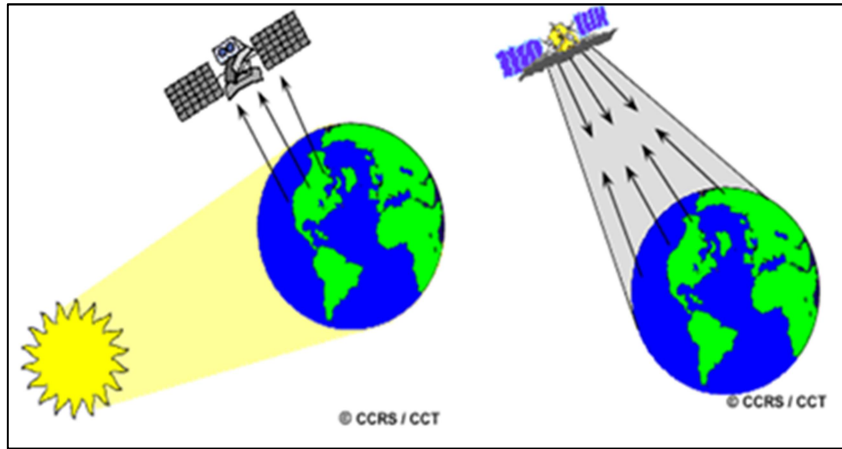
Güneş ışınları, Dünya üzerindeki hedef nesneden izlenebilir dalga boyları olarak yansıtılır ya da hedef nesne tarafından emilerek termal kızılötesi dalgalar olarak yayılır. İşte bu doğal Güneş enerjisini algılayarak ölçen uzaktan algılama sensörlerine pasif sensörler adı verilir ve pasif sensörlerin kullanıldığı sistemlere pasif uzaktan algılama sistemleri adı verilir. Dolayısıyla, bu sensörler Güneş'in Dünya'yı aydınlattığı zaman kullanılabilirler. Ayrıca, gündüz vakitlerinde uzaktan algılayıcı sensör ile hedef obje arasında doğal ya da yapay (bulut vb.) bir engel olmamalıdır. Gündüz süresince izlenilen objeden yayılan enerji kaydedilebilecek büyüklükte olduğu sürece bu algılama tipi gerçekleştirilebilmektedir (Wikipedia, 2020).

3.1.2. Aktif Algılama Sistemleri

Aktif sensörler uzaktan algılama işlemini yerine getirmek üzere kendi enerjilerini üretirler. Söz konusu sensörler hedef obje üzerine kendi enerji kaynağını yayar ve hedeften yansıyan ışınım, geri algılanarak ölçülür. Aktif sensörler bu yetenekleri sayesinde, gece ve gündüz ve her mevsimde algılama işlemini yerine getirebilirler. Lazer ve radar algılayıcılar aktif sensörler başlığında değerlendirilmektedir ve bu tez çalışmasının esas konusunu oluşturması nedeniyle ileriki başlıklarda detaylandırılacaktır (Wikipedia, 2020).



Şekil 3.1. Uzaktan Algılamanın Bileşenleri

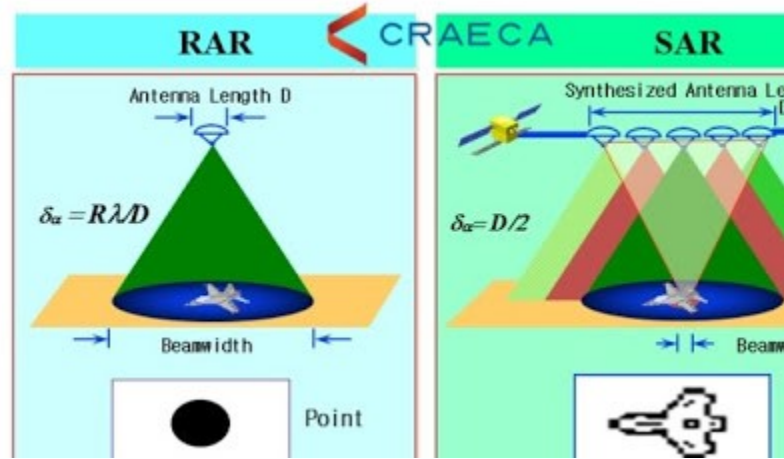


Şekil 3.2. Pasif (solda) ve aktif (sağda) uzaktan algılama (CCRS/CCT'den uyarlanmıştır)

3.1.3. Radar ve Özellikleri

RADAR kelime anlamı olarak (Radio Detection and Ranging) radyo dalgalarıyla saptama ve mesafe tayini anlamına gelmekte olup, ilk olarak askeri amaçlar için 20. yüzyılın başlarında kullanılmıştır. Radar tekniğinde, sensörden yayınlanan mikrodalga sinyaller görüş alanında bulunan cisimlerden yansıyor geri gelimleri algılanır. Bu sayede, sinyalin gidiş-dönüş süresinden cisme olan mesafe ve yansıma şiddetinden cismin yüzey boyutu ve özellikleri ortaya konur (Görken, 2017).

Radar sistemler ilk olarak 1930'lu yıllarda askeri amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır. 1950'li yıllarda gerçek açıklıklı radar (RAR: Real Aperture Radar) uçaklara monte edilerek kullanılmış ancak bu sistem, uygulamada yüksek çözünürlük için çok uzun antenlere ihtiyaç duyması sebebiyle, yapay açıklıklı radar (SAR: Synthetic Aperture Radar) sistemleri geliştirilmiştir. SAR sistemleri ile oldukça yüksek çözünürlüklere ulaşılabilmiş ve zamanla SAR sistemleri uydulara monte edilerek oldukça geniş alanlarda, düşük maliyetle yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama yapılabilme imkanı oluşmuştur (Şekil 3.3.).

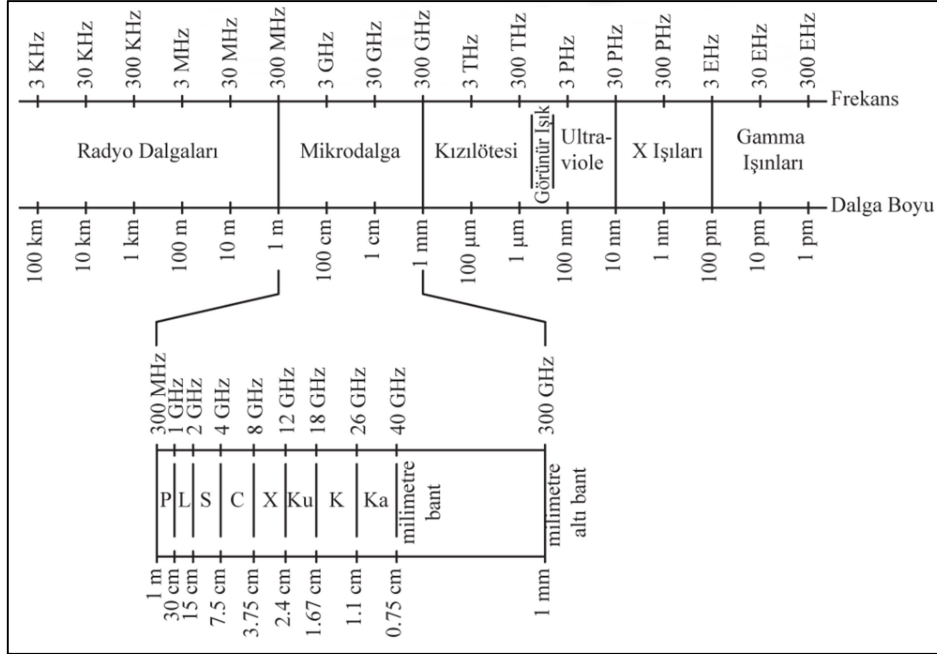


Şekil 3.3. RAR ve SAR sistemleri

Aynı zamanda Radar sistemlerini diğer görüntüleme sistemlerine üstün kılan bazı özellikler de bulunmaktadır. Söz konusu özellikleri;

- Aktif algılama sisteminin kullanılmasından dolayı Güneş'ten bağımsız, her zaman ve her türlü hava koşulunda kullanılabilmesi,
- Suyu ve bağıl nemi çok iyi algılayabilme,
- Morfolojide ve yeryüzündeki bağıl değişimleri yüksek hassasiyetle algılayabilme, olarak sıralamak mümkündür.

Radar sistemleri yukarıda ifade edilen görevleri yerine getirirken elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesindeki farklı dalga boylarında algılama yapan radar bantlarını kullanmaktadır. Bu bantlar ve frekans aralıkları Şekil 3.4.'de gösterilmektedir (Görken, 2017).



Şekil 3.4. Elektromanyetik spektrum (Pozar, 2004)

Şekil 3.4.'te verilen mikrodalga bant tiplerinin penetrasyonlarına (etki, nüfuz gücü) göre farklı disiplinlerde kullanım alanları mevcuttur. Örneğin, P, L ve S bantlarının nüfuz gücü yüksek ancak çözünürlükleri küçüktür. Bu nedenle genellikle tarımsal, orman ve toprak verimliliği ölçme ve değerlendirme çalışmalarında tercih edilirler. Diğer taraftan C, X ve Ku bantları ise tersi olarak ayırma gücü düşük ve çözünürlüğü yüksek olduğundan oşinografi, jeoloji, jeodezi gibi yüksek çözünürlüklü modelleme çalışmalarında tercih edilmektedirler (Yazıcı, 2019).

3.1.4. Radar Algılama Sistemleri

Radar algılama sistemlerini 3 temel başlıkta incelemek mümkündür. Bunlar;

- Doppler Radar
 - Düzlem göstergeli Radar
 - Yan bakışlı radar
- olarak sıralanabilir.

Düzlem ve Doppler göstergeli radarların yerbilimlerinde kullanım alanı yoktur. Söz konusu sistemler, havacılık, savunma, hız tespit, radyoloji, meteoroloji ve hava trafik kontrol gibi meslek disiplinleri tarafından tercih edilmektedir (Görken, 2017).

Yan bakışlı radarlar ise gerçek ve yapay açıklıklı radar olmak üzere ikiye ayrılır ve mühendislik alanında (özellikle yerbilimleri çalışmalarında) en çok kullanılan radar algılayıcı sistemlerdir. Yan bakışlı radarlar ilk olarak gerçek açıklıklı olarak tasarlanmış, ancak uygulamadaki problemler nedeniyle (çok uzun antenlere gereksinim duyması gibi) yerini günümüzde tamamen yapay açıklıklı radar sistemlerine bırakmıştır. Bu tez çalışması kapsamında da yapay açıklıklı radar sistemi kullanıldığından, ilerleyen başlıklarda bu radar yöntemi detaylandırılacaktır (Görken, 2017).

3.1.5. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) ve Çalışma Prensipleri

Daha önceki bölümlerde de ifade edildiği üzere yan bakışlı radar sistemlerini gerçek ve yapay açıklıklı olarak iki başlıkta incelemek mümkündür. Bunlardan gerçek açıklıklı radar fiziksel anten kullanmakta olup, söz konusu antenle elde edilen mekânsal çözünürlük;

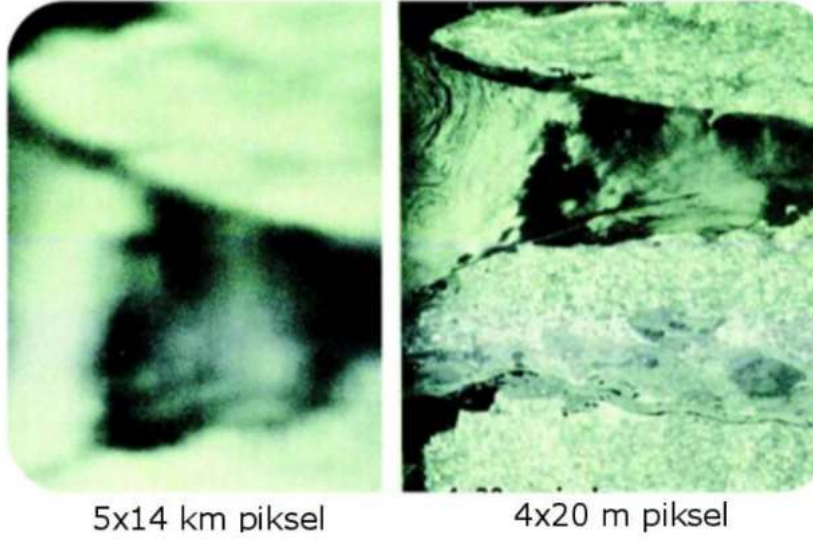
$$R_{\alpha} = \frac{H}{\cos\theta} \frac{\lambda}{d} \quad (3.1)$$

eşitliğiyle ifade edilmektedir. Eşitlikte geçen H sensör yüksekliğini, θ sensörden yayınlanan sinyalin düşey doğrultu ile yaptığı açıyı, λ yayınlanan sinyalin dalga boyunu ve son olarak d ise fiziksel antenin uzunluğunu göstermektedir (Çomut, 2016).

(3.1.) eşitliği incelendiğinde, uydu bazlı uzaktan algılama sistemlerinden yeterli mekânsal çözünürlüğün, uydu yüksekliğinin 500-800 km seviyelerinde ve dalga boyunun C-bant için $\lambda = 4.8$ cm seviyelerinde sabit ve değiştirilemez olduğu düşünüldüğünde, doğrudan anten boyuyla ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, uydu sistemlerinin taşıyabileceği anten uzunluğunun sınırlı olması zorunluluğu gündeme yapay açıklıklı radar (SAR) sistemlerini getirmiştir.

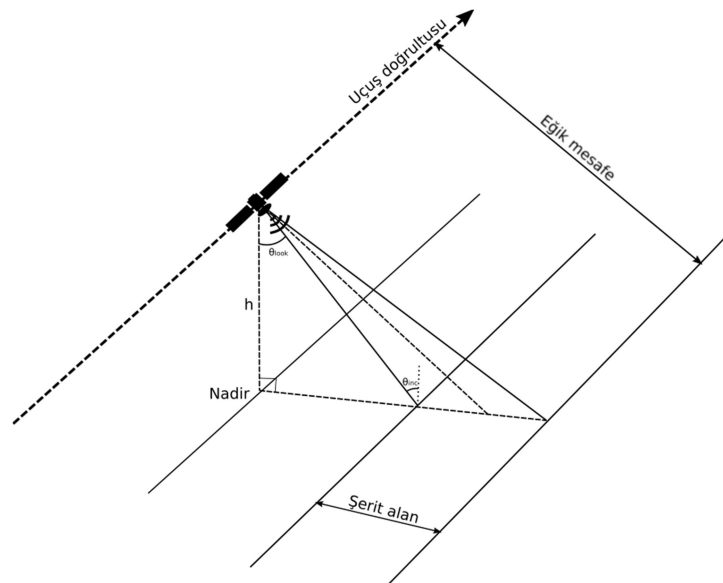
SAR sistemlerinde doğrudan fiziksel anteni kullanmak yerine, uydunun uçuş doğrultusu boyunca elde ettiği bağımsız sinyaller matematiksel olarak birleştirilerek kullanılır. Böylece, uydunun hareket doğrultusu boyunca sentetik (yapay) çok uzun bir anten matematiksel bağıntılar yardımıyla oluşturularak, mekânsal çözünürlük artırılmış

olur. Öyle ki gerçek açıklıklı sistemlere göre azimut ve mesafe yönünde 1000 kat çözünürlük iyileşmesi elde edilebilmektedir (Çomut, 2016). Söz konusu iyileşmeyi gösteren bir örnek Şekil 3.5.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. RAR (solda) ve SAR (sağda) görüntülerinde çözünürlük farkı (Massonet ve Feigl, 1998)

SAR misyonlu bir uydunun görüntü alma prensibi Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, uydu yerden h metre yükseklikte ve yörüngesinde (uçuş doğrultusunda) hareket etmektedir.



Şekil 3.6. SAR sistemi görüntü alma prensibi (Ferretti vd., 2007)'den uyarlanmıştır

θ_{look} ile gösterilen açıyla yer yüzeyine bakış yaptığı açı ifade edilmektedir. Eğik mesafe, uydu yörüngesine dik olan ve yer yüzeyiyle temas ettiği mesafedir. Söz konusu SAR uydusunun aydınlattığı alan şerit alan (swath) olarak adlandırılmaktadır. Geliş açısı θ_{inc} radardan gelen elektromanyetik sinyalle yeryüzü arasındaki açı olarak ifade edilmektedir ve şerit boyunca (menzil yönünde) artış göstermektedir. Bir SAR uydusu bu prensiple sinyalleri şerit alana göndererek, geri gelimleri (ekoları) kayıt altına alır ve görüntü oluşturur (Çomut, 2016).

SAR sistemlerinden elde edilen görüntünün en küçük yapı taşı piksel olarak ifade edilir ve her bir piksel genlik ve faz olmak üzere iki temel bilgi taşır. Elde edilen genlik bilgisiyle radar sinyalinin çarptığı nesnenin pürüzsüzlüğü ve yansıtıcılığı bilgisi elde edilir. Faz bilgisiyle ise radar sinyalinin hedefinde bulunan objenin konumu hakkında bilgi edinilmektedir (Çomut, 2016).

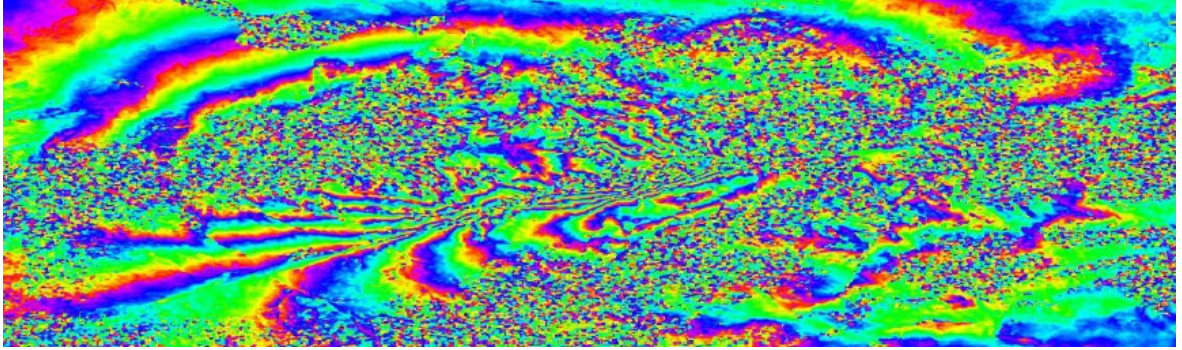
Farklı zamanlara ait iki farklı SAR görüntüsündeki faz bilgileri karşılaştırılarak, hedef objenin konumundaki değişiklikleri yani deformasyonları elde etmek mümkündür. Bu sistem, interferometrik yapay açıklıklı radar (InSAR) olarak adlandırılmaktadır ve son yıllarda yer kabuğundaki deformasyonların tespitinde sıklıkla başvurulanan bir yöntemdir (Ferretti vd., 2007).

3.1.6. İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR)

InSAR olarak kısaltılan Interferometric Synthetic Aperture Radar (Türkçesi: İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar) tekniği iki SAR imajında birbirine karşılık gelen piksellerin faz farklarının oluşturulmasına dayalı bir tekniktir. Söz konusu faz farklarının elde edilmesiyle, uyduların farklı bakış açılarına göre sensöre olan uzaklık değişimini tanımlayan interferogram elde edilir. Bu görüntüler kullanılarak topoğrafyadaki farklılıklar kontur çizgilerine benzer örüntüler şeklinde izlenebilir.

İnterferogramlarda oluşan örüntülerin nicel olarak değerlendirilmesinde, örüntüleri oluşturan renk cetvelleri yorumlanmaktadır. Yumuşak deformasyonlu zeminlerde renk geçişleri daha kalın ve göreceli olarak yumuşak; sert veya dik deformasyonlarda renk geçişleri daha kısa ve göreceli olarak serttir. Örüntülerde gözlenen her bir sıralı renk geçişi, SAR imajının elde edildiği radarın kullandığı elektromanyetik dalganın yarım dalga boyuna ($\lambda/2$) karşılık gelmektedir. Yarım dalga boyu, radar misyonuna göre farklılık göstermekte olup, ALOS uydusu için (*L* band) 11.8 cm, Envisat veya ERS uyduları için (*C* band) 2.8 cm,

CosmoSkyMed uydusu için (X band) 1.55 cm'ye karşılık gelir (Çomut, 2016). Örnek bir interferogram Şekil 2.7'de sunulmaktadır.



Şekil 3.7. 2020 yılında Elazığ-Sivrice'de meydana gelen depreme ait yüzey deformasyonunu gösteren interferogram

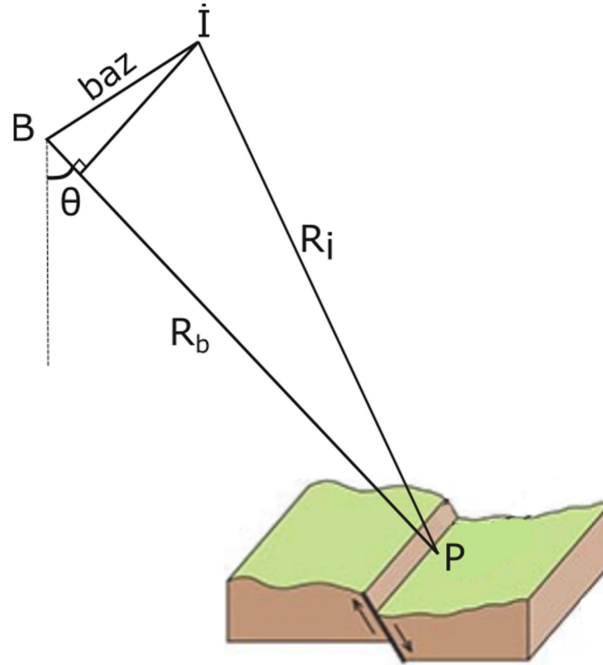
Şekil 3.7.'de, deprem öncesi ve sonrası algılaması gerçekleştirilen SAR imajlarından elde edilen interferogram görülmektedir. Söz konusu interferogram incelendiğinde örüntünün renk cetvelinin, fay hattının kuzey-batı ve Güney-doğusu yönünde değişiklik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, fay hattı ve yakın çevresinde örüntülerdeki renk değişiminin kısa aralıklarla (sert) olduğu, fay hattından uzaklaştıkça örüntülerdeki renk geçiş aralıklarının arttığı (yumuşadığı) görülmektedir. Örüntü renk geçişlerinin kısa olması deformasyon miktarının fazla olduğunu, renk geçiş aralığının artması ise deformasyon şiddetinin azaldığını göstermektedir.

InSAR tekniğinin oluşturulabilmesi için gerekli olan SAR görüntüleri farklı zamanlarda ya da eş zamanlı olarak elde edilebilir. Elde edinim şekillerine göre InSAR yöntemini, tek geçiş ve çift (tekrarlı) geçiş interferometrisi olarak iki temel başlık altında toplamak mümkündür. Tek geçiş interferometrisinde, radar platformu üzerinde bulunan birden fazla anten, farklı bakış açılarıyla bir bölgeye gözlem yapmaktadır. Her iki anten de aynı bölgeye eş zamanlı bakış yaptığından atmosferik etkiler rahatlıkla giderilmektedir. Tekrarlı geçiş yönteminde ise aynı radar platformunun, gözlenecek bölge üzerinden farklı zamanlardaki geçişlerinden elde edilen SAR imajları kullanılarak interferogram üretilmektedir. Bu sayede, radar platformunun geçiş zamanları arasında geçen sürede meydana gelen deformasyonları izlemek mümkün hale gelmektedir. Ancak, bu yöntemde radar eko alımları farklı atmosferik şartlarda gerçekleştirildiğinden, elde edilen interferogram atmosferik hatalara maruz kalabilmektedir (Görken, 2017). Günümüzde

InSAR yöntemiyle gerçekleştirilen birçok deformasyon izleme çalışması bu yöntem kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Delouis vd., 2010; Yalvac, 2020).

Tekrarlı geçiş interferometrisinin geometrik olarak ifadesi, sadeleştirilmiş biçimiyle Şekil 3.8.'de ifade edilmektedir.

Şekil 3.8.'de yeryüzündeki bir P noktasının, SAR misyonlu bir uydu tarafından birincil (B) ve ikincil (İ) uydu geçişleriyle θ bakış açısı altında algılanması gösterilmektedir. Uydunun birincil ve ikincil geçişlerinde elde edilen uydu ile P noktası arasındaki mesafeler (Range) sırasıyla R_i ve R_b ile gösterilmektedir. Uydunun birinci ve ikinci geçişi arasındaki fark, baz uzunluğu olarak adlandırılır ve oluşturulan interferogramda faz gürültüsünün oluşmaması için kısıtlı bir değer olarak seçilmesi gerekir (Çomut, 2016).



Şekil 3.8. Tekrarlı geçiş interferometrisi için sadeleştirilmiş geometrik model

İnterferometrik fazın oluşturulmasında, (3.2) ile (3.5) arasında verilen eşitlikler, Şekil 2.8.'de verilen parametreler eşliğinde oluşturulur.

$$\Delta_R = R_i - R_b \quad (3.2)$$

$$\varphi_b = \frac{4\pi}{\lambda} \times R_b \quad (3.3)$$

$$\varphi_i = \frac{4\pi}{\lambda} \times R_i \quad (3.4)$$

$$\varphi_I = 4\pi \times \frac{\Delta_R}{\lambda} \quad (3.5)$$

Eşitliklerde geçen ϕ fazı, λ dalga boyunu, I ise birincil ve ikincil imajların eşleniklerinin çarpımını ($I=BxI^*$) göstermektedir.

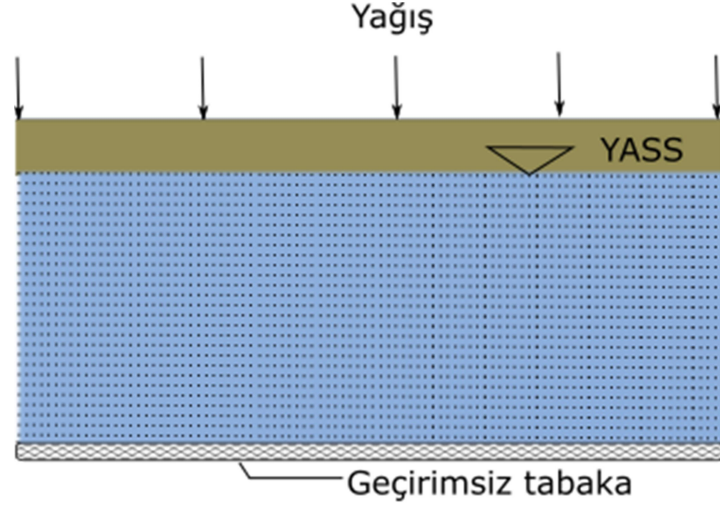
Faz farklarının alınması suretiyle oluşturulan interferogramlar, baz uzunluğu (geometrik uyumsuzluk), atmosferik ve topoğrafik etki kaynaklı çeşitli hataları da içermektedir. Bu etkiler, interferogramları kısıtlayan etkiler olarak adlandırılır ve sağlıklı bir interferogram üretmek için söz konusu etkilerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. İlk zamanlarda klasik interferometre üretme esasına dayanan InSAR tekniği daha sonra interferogram üretimini kısıtlayan etkileri oldukça düşük seviyelere indirgeyen PSI (Permanent Scatterer Interferometry; Daimi Yansıtıcı İnterferometre) ve SBAS (Small BASeline Subset; Kısa baz uzunluğu) gibi yöntemlere bırakmıştır (Crosetto vd., 2016).

3.2. Akifer Sistemleri

Akifer su anlamına gelen Aqua ve taşıyan anlamına gelen Ferre kelimelerinin birleşmesinden meydana gelir. Akiferler, alt ve üst kısımlar geçirgen veya geçirimsiz tabakalardan oluşan, içerisindeki suyun akım halinde bulunduğu formasyonlardır. Yağış sonrası sızma ile su, yeraltında geçirimsiz tabakaya kadar iner ve bu tabakalarda saklanır. En çok bilinen ve üzerinde çalışma yapılan iki çeşit akifer tipi vardır. Bunlardan, alt ve üst kısımları tamamen geçirimsiz tabakalardan meydana gelen akiferlere basınçlı akifer, yeraltı suyunun üst yüzeyi hava ile temas durumunda bulunanlara ise serbest (basınçsız) akifer denir. (İnsapedia, 2021).

3.2.1. Serbest Yüzeyli (Basınçsız) Akifer

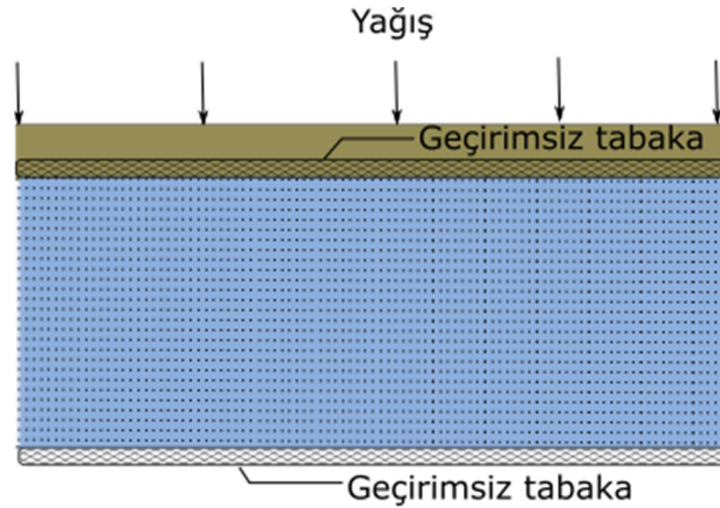
Serbest yüzeyli akifer sistemlerde, su ile doymuş jeolojik tabaka üzerinde geçirimsiz tabaka bulunmaz ve akifer basıncı atmosfer basıncına eşit seviyededir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Serbest yüzeyli akifer sistem İnsapedia (2021)'den uyarlanmıştır.

3.2.2. Basınçlı Akifer

Basınçlı akifer sistemlerin tanımı için en az üç tabakanın varlığından söz edilmelidir. Doygun jeolojik tabakanın üstünde basıncın ortaya çıkması için geçirimsiz bir tabaka bulunmaktadır. Geçirimsiz tabakalar sayesinde su bu tabakalar içerisinde belli bir basınç altında depolanır. İki akifüj (geçirimsiz tabaka) arasına sıkışan yeraltı suyu ilave basınca maruz kalır. Yeraltı suyuna uygulanan bu basınç ile akifer içerisinde her noktadaki su basıncı atmosfer basıncının üzerindedir.

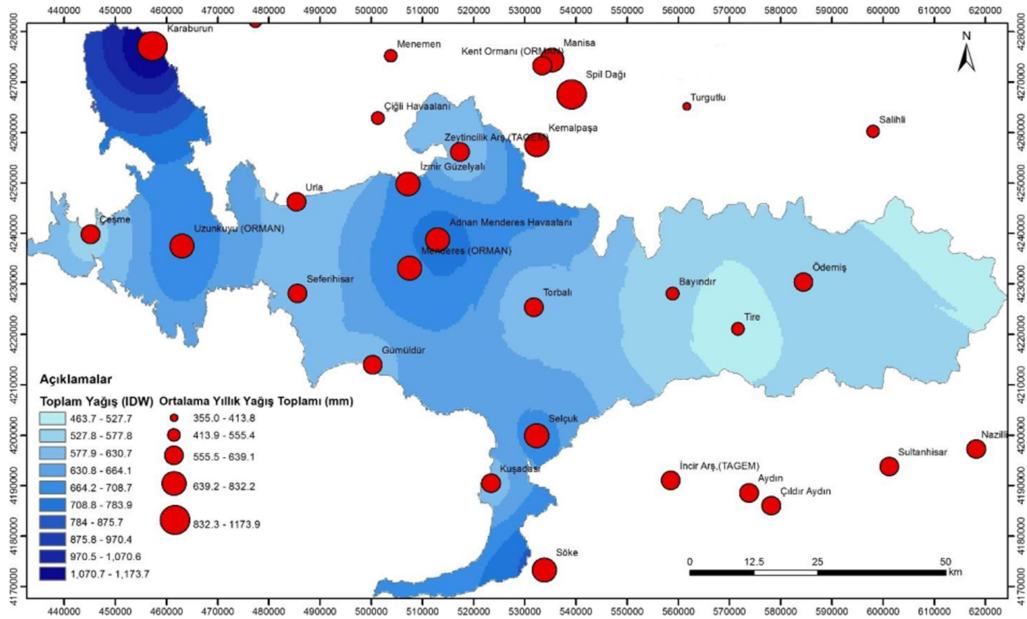


Şekil 3.10. Basınçlı akifer sistem İnsapedia (2021)'den uyarlanmıştır.

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

4.1. Hidrolojik ve Hidrojeolojik İncelemeler

KMH toplam yağış alanı olan 6963 km² ile Türkiye'nin en küçük toplam yağış alanına sahip havzası olma özelliğindedir. Havzada yıllık ortalama yağış yüksekliği yaklaşık 727 mm olarak belirlenmiştir (OSİB, 2010). Toplam ve ortalama yağışın havzanın geneline olan dağılımı Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.

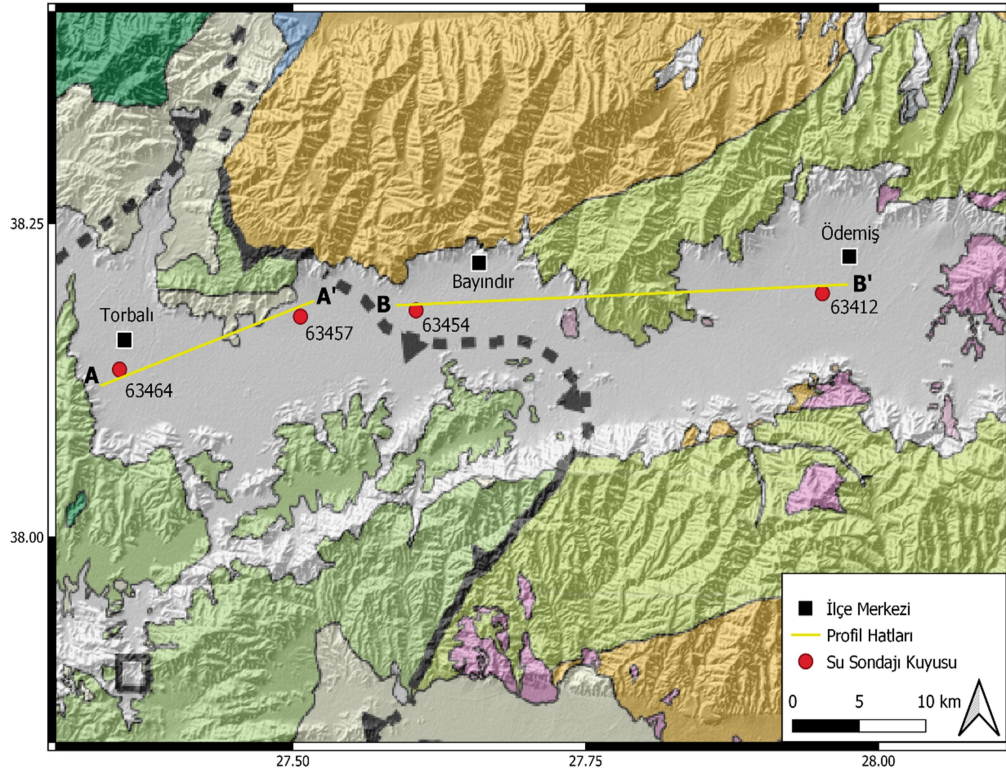


Şekil 4.1. KMH'da toplam ve yıllık ortalama yağış (TOB, 2019).

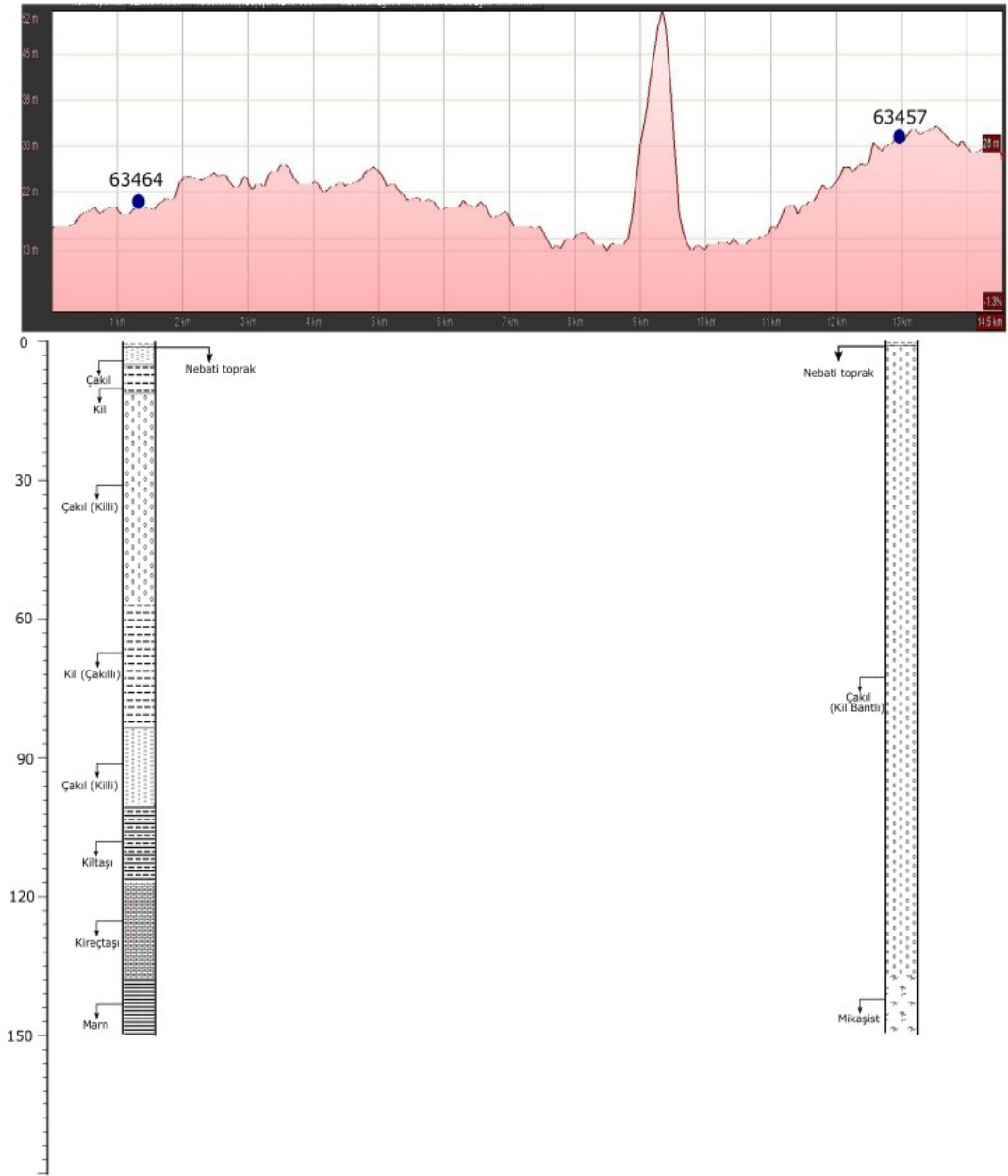
Şekil 4.1.'den görüleceği üzere özellikle Küçük Menderes Nehir Havzası, bölgenin en az yağış alan alt havzasıdır. Tablo 1.1.'den görüleceği üzere, söz konusu alt havzanın topraklarının %58'i tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Tarımın yoğun sürdürüldüğü alt havzada, tarımsal sulama amaçlı su tüketimi yoğun olarak yeraltı suyundan karşılanmaktadır (Şahin vd., 2018). Yeraltı su miktarı, DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından hazırlanan Küçük Menderes Ovası Hidrojeolojik Etüt raporuna göre, 374 hm³/yıl ve yeraltı suyu genel olarak ovalık kısımlarda veya dere vadilerindeki alüvyonlarda konumlanmış durumdadır (DSİ, 2016).

İnceleme alanı olan Küçük Menderes Havzası içerisinde Torbalı, Bayındır ve Odemiş İlçelerinde yayılım gösteren graben (alüvyon zon) yapı içerisinde DSİ tarafından

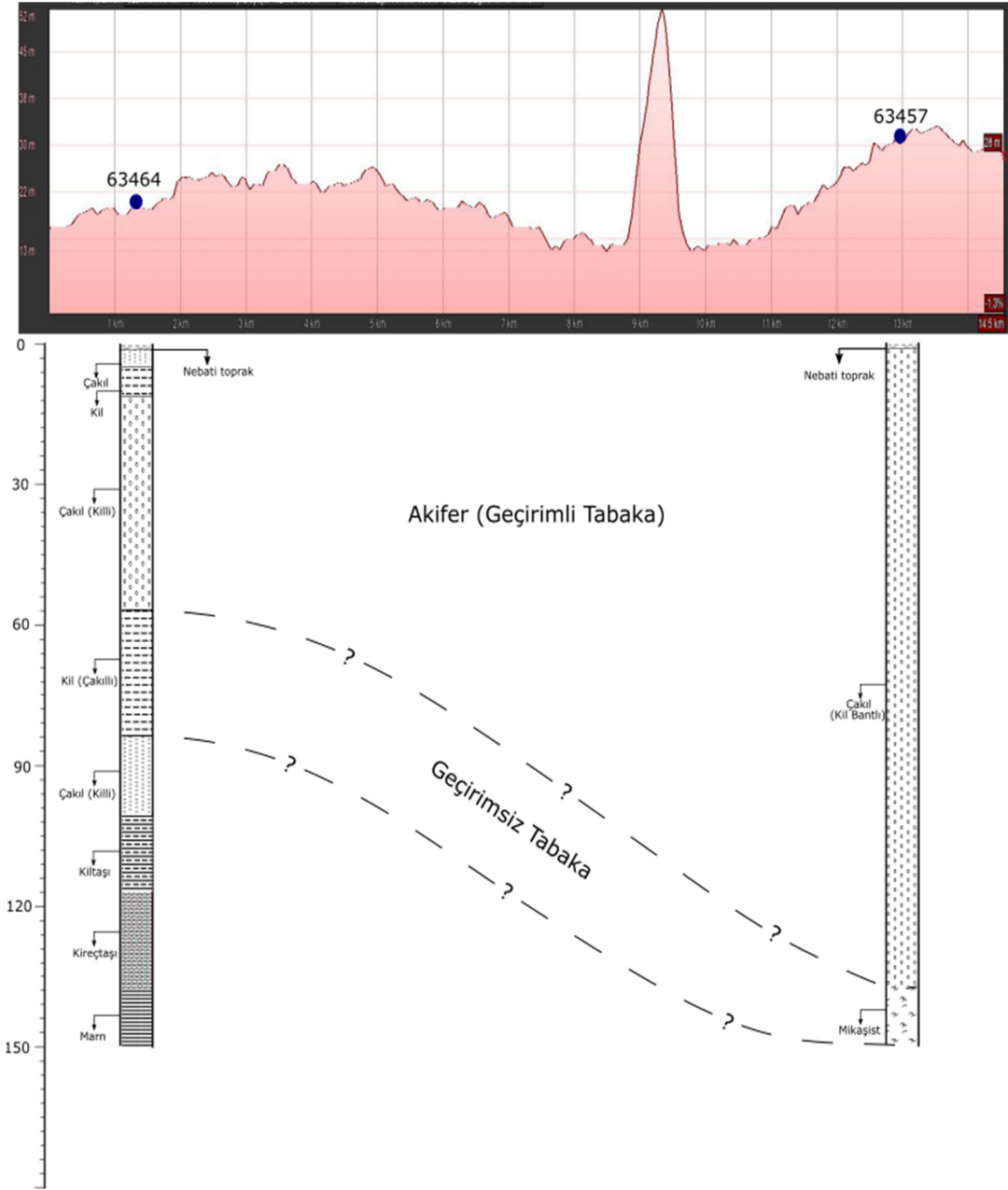
açılmış olan 4 adet rasat kuyusu (Şekil 4.2.) 150 m ile 240 m derinliklerinde değişim göstermektedir. Bu kuyulardaki litolojik birimler incelendiğinde Torbalı ve civarında bulunan en derin kuyulardan 63464 ve 63457 numaralı kuyular (A-A' kesiti) litolojik olarak incelendiğinde (Şekil 4.3.), yüzeyden derine doğru farklı seviyelerde geçirimli-geçirimsiz zeminlerden oluştuğu gibi (çakıl, killi çakıl, kil), yaklaşık 100 m'den sonraki derinliklerde kıltaşı, kireçtaşı, marn ve mikaşist gibi geçirimsizlik tabakası oluşturan kayalar türlerinden oluşmaktadır. Zemin özelliklerinin derinlikle değişimi incelendiğinde Torbalı ve civarında yayılım gösteren birimlerin serbest akifer özelliğinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.2. Küçük Menderes Havzasında belirlenen profil hatları ve su sondajı kuyularının dağılımı

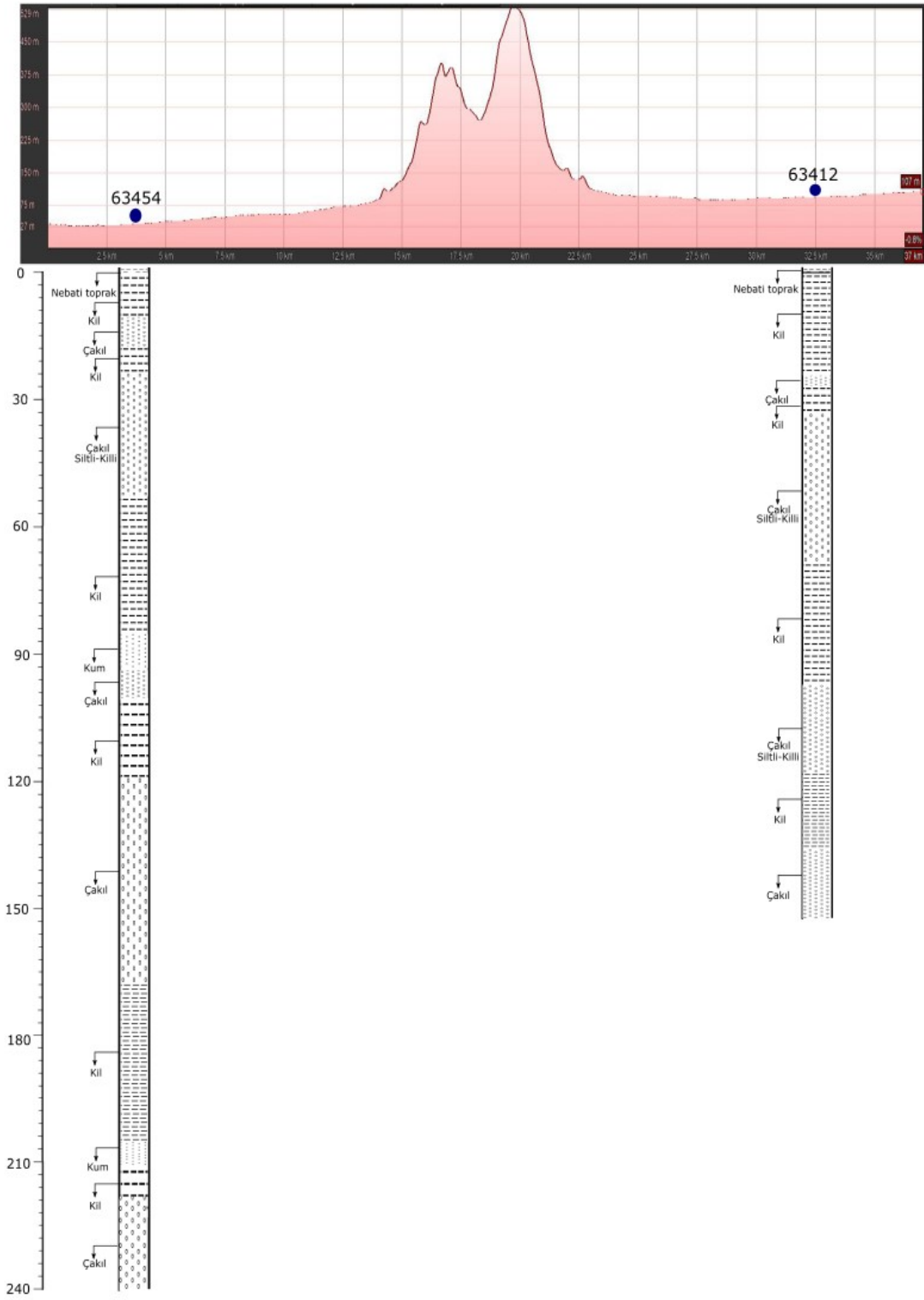


Şekil 4.3. A-A' kesitine ait birimlerin derinlikle değişimi

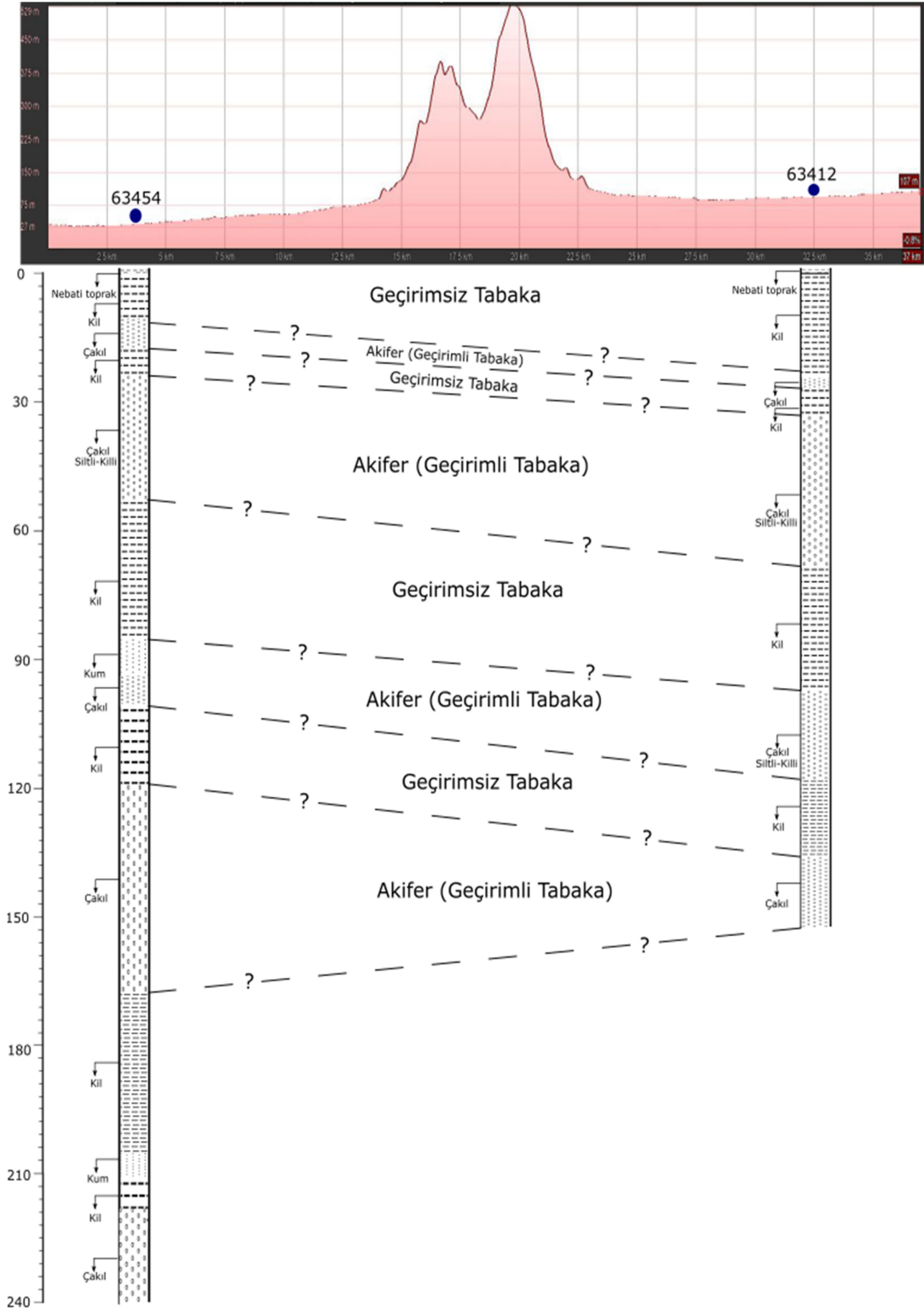


Şekil 4.4. Torbalı ve civarında gözlenen serbest akifer sisteminin derinlikle değişim profili

Bayındır ve Ödemiş civarında bulunan en derin kuyulardan 63454 ve 63412 numaralı kuyular (B-B' kesiti) litolojik olarak incelendiğinde (Şekil 4.5.), yüzeyden derine doğru farklı seviyelerde geçirimli-geçirimsiz zonların sürekli birbirini tekrarladığı litolojik olarak kil, kum, çakıl ardışımından oluşmaktadır. Bayındır ve Ödemiş civarında yayılım gösteren birimlerin derinlikle değişim profili incelendiğinde akifer sisteminin basınçlı akifer özelliği gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.6.).

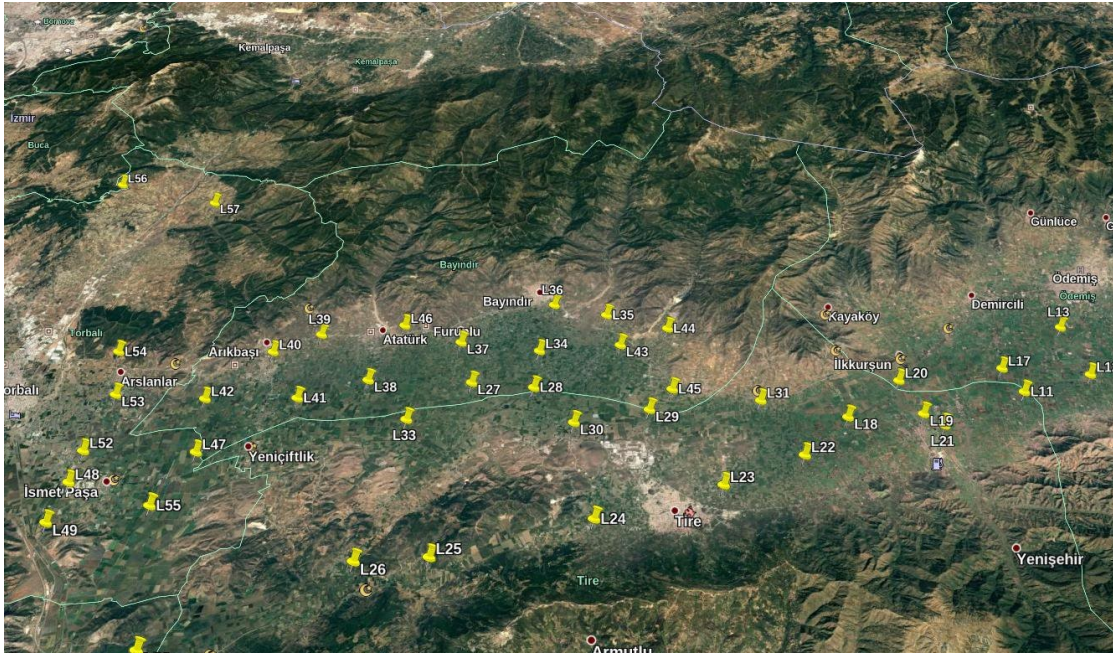


Şekil 4.5. B-B' kesitine ait birimlerin derinlikle değişimi

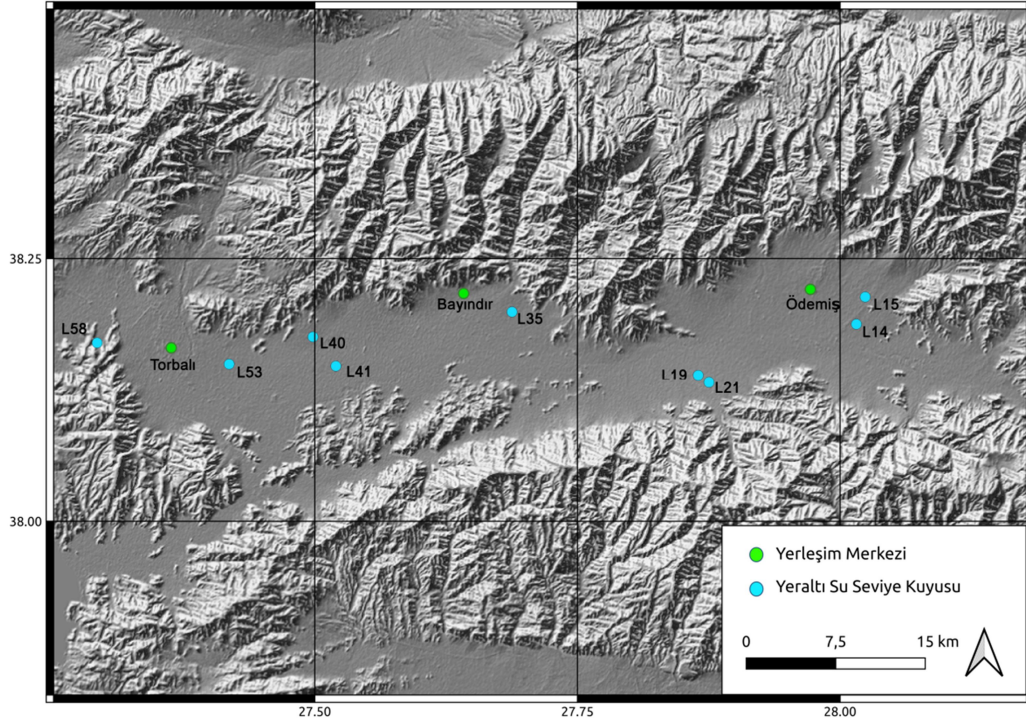


Şekil 4.6. Bayındır ve Ödemiş civarında gözlenen basınçlı akifer sisteminin derinlikle değişim profili

Çalışma alanındaki yeraltı su seviyesi (YASS) değişiminin incelenmesi amacıyla, Küçük Menderes Havzasında konumlanan 49 adet YASS izleme kuyusu (Şekil 4.7.) ve bunlara ait seviye bilgileri DSI'den elde edilmiştir. Yapılan incelemelerde birçok istasyonun verisinin süresiz ve yetersiz örneklemden ibaret olduğu görülmüştür. Bu nedenle havzadaki YASS'nin sağlıklı incelenebilmesi için uzun yıllardır gözlemleri bulunan kuyular seçilerek zaman serileri oluşturulmuştur. Seçilen istasyonların, havzaya dağılımı Şekil 4.8.'de verilmiştir.

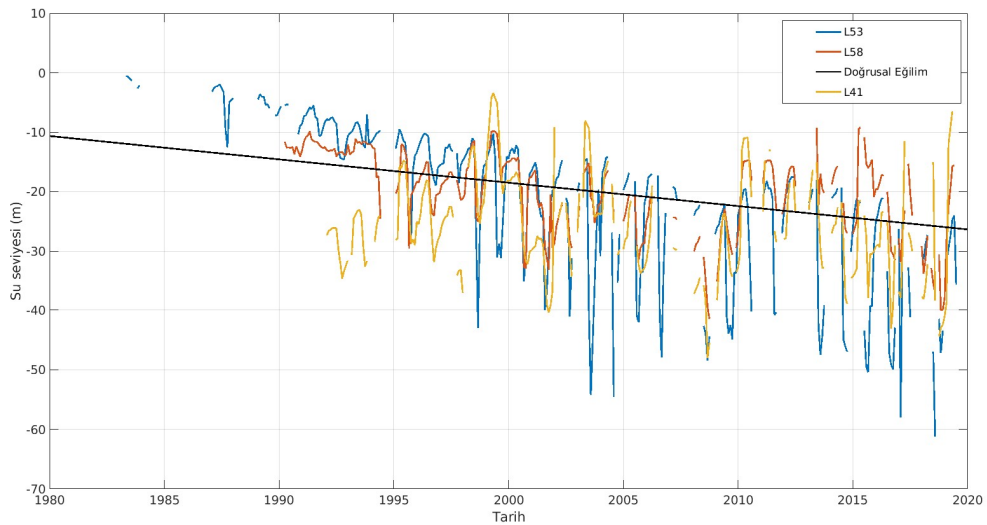


Şekil 4.7. Küçük Menderes Havzasında yayılım gösteren YASS gözlem kuyularının dağılımı

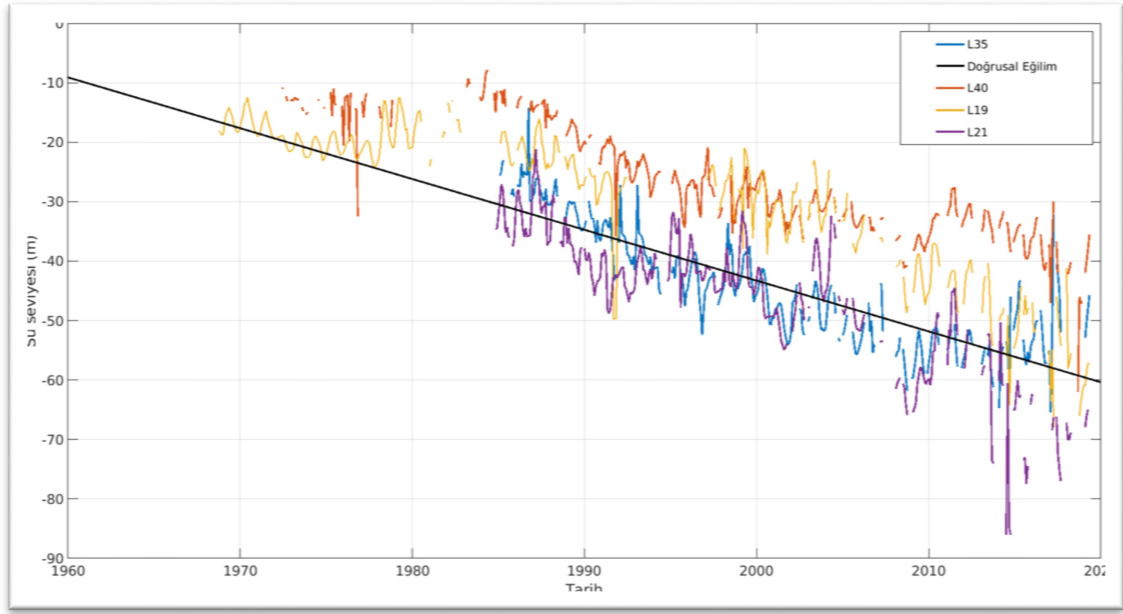


Şekil 4.8. DSİ envanterine kayıtlı Küçük Menderes Nehir alt havzasında konumlanan YASS izleme istasyonlarının dağılımı

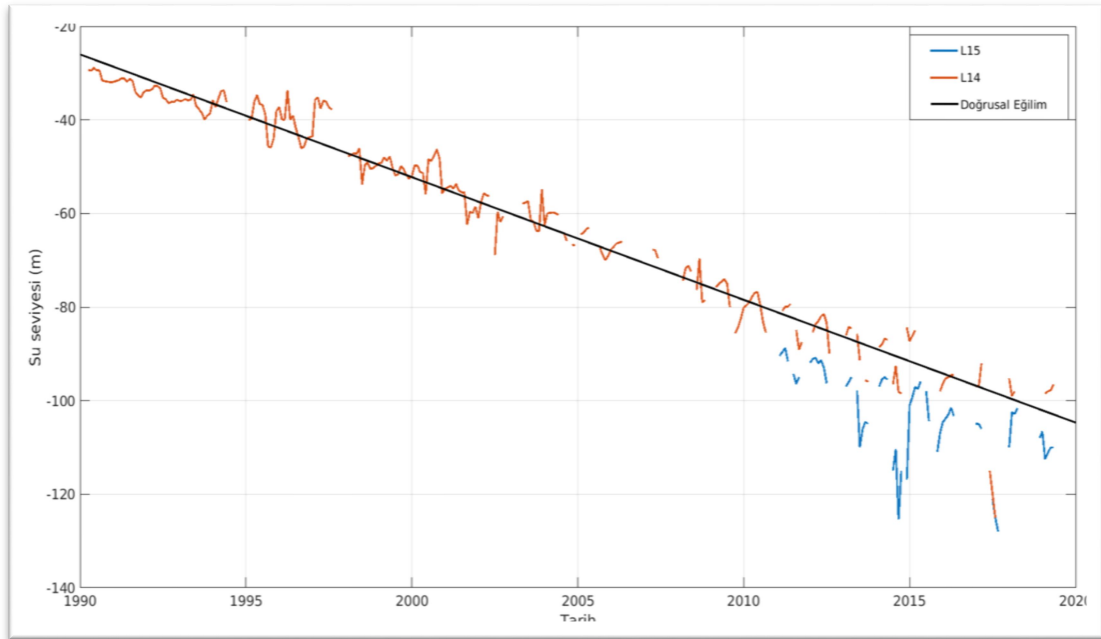
Şekil 4.8.'de verilen YASS gözlem kuyularından Torbalı mevkii ve civarı için L41, L53 ve L58 numaralı kuyulara ait zaman serileri ise Şekil 4.9.'da, Bayındır mevkii ve civarı için L19, L21, L35 ve L40 numaralı kuyulara ait zaman serileri Şekil 4.10.'da, Ödemiş mevkii ve civarı için L14 ve L15 numaralı kuyulara ait zaman serileri Şekil 4.11.'de sunulmuştur.



Şekil 4.9. Torbalı ve çevresinde konumlanan kuyulara ait YASS zaman serisi



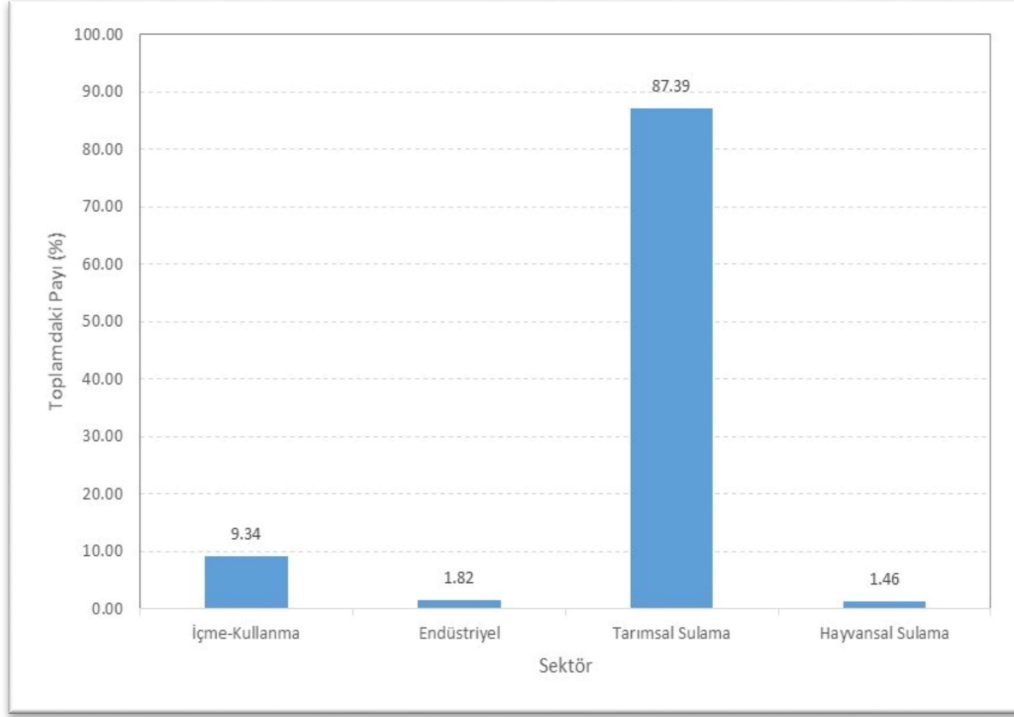
Şekil 4.10. Bayındır ve çevresinde konumlanan kuyulara ait YASS zaman serisi



Şekil 4.11. Ödemiş ve çevresinde konumlanan kuyulara ait YASS zaman serileri

KMH'de yeraltı suyu kullanımının histogramal dağılımı Şekil 12.'de verilmiş olup, yeraltı suyunun en yaygın kullanım alanının tarımsal sulama olduğu görülmektedir. Özellikle Ödemiş ve civarında oldukça yaygın olan tarımsal faaliyetler (Şekil 13.) sebebi

ile aşırı yeraltı suyu kullanımı, yeraltı suyu seviyesindeki düzenli azalış ile doğrudan ilişkili olduğu YASS zaman serilerinde de belirgin bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.12. KMH’de yeraltı suyu kullanımının histogramal dağılımı (TOB, 2019)



Şekil 4.13. Ödemiş ve civarında yayılım gösteren tarımsal alanların görünümü

4.2. Zemin Deformasyonlarının InSAR Yöntemi İle Değerlendirilmesi

Bu bölümde çalışma bölgesi olarak seçilen Küçük Menderes Nehir Havzasında gerçekleştirilen InSAR analizlerine ait detaylı bilgi verilecek ve izleme süresince (2015-2020) InSAR analizlerinden elde edilen deformasyon haritaları sunulacaktır.

4.2.1. SAR Verilerinin Özellikleri ve Seçimi

Küçük Menderes Nehir Havzasının InSAR analizleriyle izlenmesinde ESA (European Space Agency: Avrupa Uzay Ajansı) tarafından yürütülen uzay misyonuna ait Sentinel-1A verileri kullanılmıştır. Söz konusu uydu sisteminden elde edilen SAR verilerine ait özellikler Tablo 4.1.'de sunulmaktadır.

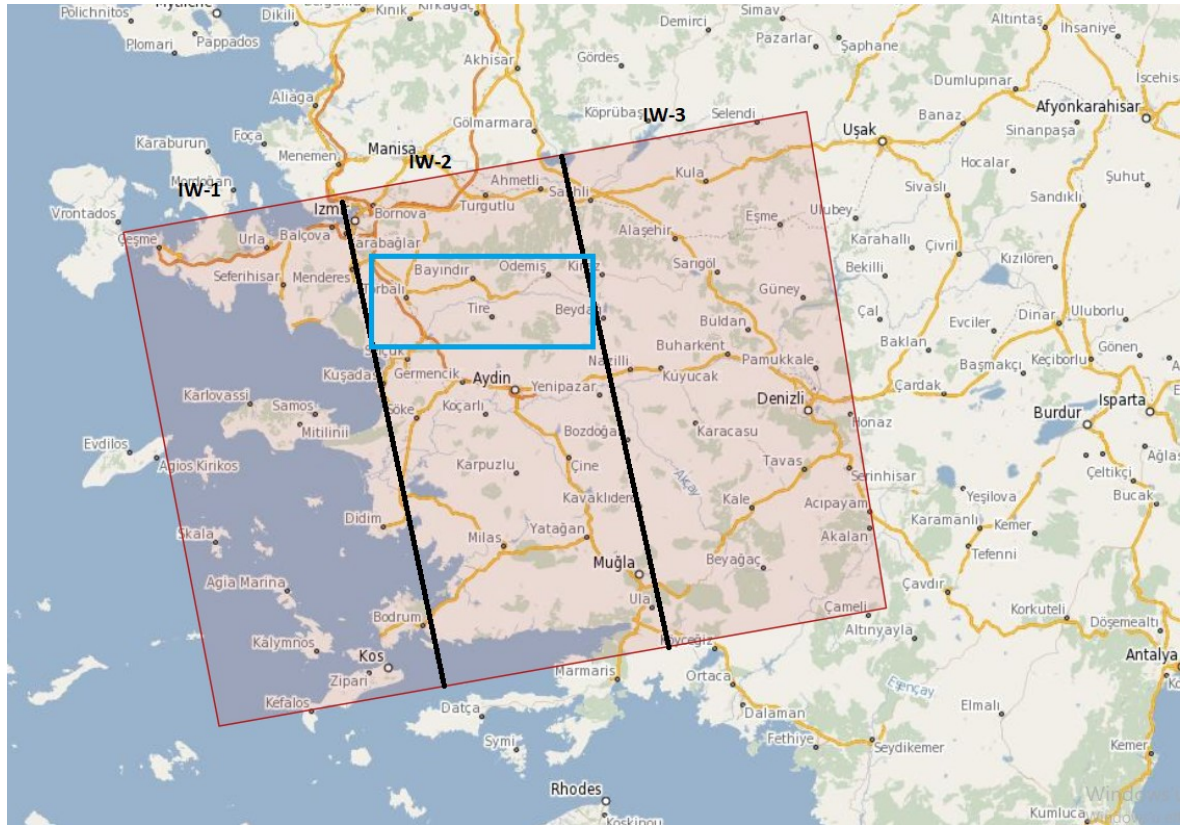
Tablo 4.1. Sentinel 1A uydu verilerine ait bilgiler

Özellik	Değer
Gözlem modu	IW (Interferometric Wide)
Yörünge yüksekliği	698 km
Tekrar geçiş süre aralığı	12 gün
Frekans	5.3 GHz
Bant	C
Dalga boyu	5.7
Polarizasyon	HH+HV, VV, VH
Bakış açısı	20°-45°
Tarama genişliği	250 km x 250 km
Çözünürlük	5 m / 20 m

Bu tez çalışması kapsamında, Ekim 2014 ile Temmuz 2020 tarihleri aralığında toplam 40 SAR görüntüsü analiz edilmiştir. Söz konusu görüntüler, IW (Interferometric Wide) modunda, SLC (Single Look Complex) formatında ve VV (Vertical-Vertical) polarizasyonlu olup, 131 rölatif yörünge numarasına ait yükselen (Ascending) moddadır. Veriler ESA'ya ait Sentinel bilimsel veri paylaşım platformu sunucularından (Sentinels Scientific Data Hub) çevrimiçi olarak elde edilmiştir. Görüntülerin algılanma tarihleri ve kapsama alanı sırasıyla Tablo 4.2. ve Şekil 4.14.'de verilmektedir.

Tablo 4.2. Analizlerde kullanılan SAR görüntülerinin algılanma tarihleri

2014-2015	2016	2017	2018	2019	2020
07.11.2014	06.04.2016	13.04.2017	08.04.2018	03.04.2019	21.04.2020
06.05.2015	12.05.2016	19.05.2017	14.05.2018	21.05.2019	27.05.2020
11.06.2015	29.06.2016	12.06.2017	07.06.2018	14.06.2019	02.07.2020
17.07.2015	23.07.2016	18.07.2017	13.07.2018	20.07.2019	
22.08.2015	16.08.2016	23.08.2017	18.08.2018	25.08.2019	
27.09.2015	09.09.2016	16.09.2017	11.09.2018	06.09.2019	
02.11.2015	03.10.2016	22.10.2017	29.10.2018	24.10.2019	
		15.11.2017		29.11.2019	



Şekil 4.14. SAR görüntüsünün kapsadığı alan, alt çerçeveler (IW) ve çalışma bölgesi (mavi dikdörtgen)

Tablo 4.2.'den görüleceği üzere, seçilen görüntüler kar yağma mevsimleri dışındaki aylardan yaklaşık birer aylık aralıklar seçilmiştir. Bunun temel nedeni, olası kar yağışının suni bir yükselme oluşturması durumundan kaçınmak ve aylık periyotlarda çökme davranışlarını ortaya koyabilmektir.

Tablo 4.1.'de ifade edildiği üzere, her bir SAR görüntüsü 250 km x 250 km'lik bir alanı kapsamaktadır. Her bir görüntü 3 alt çerçeveden (IW-1, IW-2 ve IW-3) oluşmaktadır. Şekil 4.1.'de çalışma alanını kapsayan SAR görüntüsü ve alt çerçeveleri, çalışma alanı ile birlikte gösterilmektedir. Çalışma alanı olan, Küçük Menderes Nehir havzasının IW-2 alt çerçevesinde kalması nedeniyle sadece bu bölge, zamansal ve donanımsal tasarruf sağlamak amacıyla, InSAR analizlerinde girdi olarak kullanılacaktır.

4.2.2. InSAR Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

Çalışma bölgesine ait elde edilen SAR görüntülerinin analizinde, GMTSAR (Generic Mapping Tool Synthetic Aperture Radar) bilimsel analiz yazılımı kullanılmıştır (Sandwell, vd., 2011). Daha önceki bölümlerde anlatılan klasik InSAR tekniği, tek bir görüntü çiftinin değerlendirilmesi esasına dayanan bir teknik olup, sadece interferogramı oluşturan görüntü tarihleri arasındaki deformasyonların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Zemin çökmeleri gibi, uzun zamansal süreçlerde kendini gösteren yeryüzü olaylarında zamansal ve geometrik uzunluk arttığından, klasik InSAR yöntemleri ile deformasyonların izlenmesi oldukça güçtür. Dahası, klasik InSAR analizleri tek bir görüntü çiftinin analizi esasına dayandığından, deformasyonların zaman serileri biçiminde ifade edilerek davranışlarının belirlenmesine de imkan vermemektedir. Böylesi durumlarda PSI (Persistent Scatterer Interferometry) ve SBAS (Small Baseline Subset) gibi ileri InSAR analiz tekniklerine başvurulmaktadır (Gezgin, 2020).

PSI ve SBAS tekniklerinde temel amaç, birden fazla interferogramın birlikte değerlendirilmesi esasına dayanır. PSI tekniğinde, uzun izleme periyotlu yeryüzü deformasyonları, izleme süresince fiziksel ve geometrik özellikleri aynı kalan sabit saçılım karakteristiğine noktalar üzerinden izlenmektedir. Söz konusu tekniğin uygulanması için en az 20 SAR görüntüsüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemde, yüksek yansıtma özelliğine sahip objelerde (PS noktaları) oluşan noktasal deformasyonlar cm altı seviyelerde belirlenebilmektedir (Ferretti vd., 2001).

SBAS yönteminde ise, belirli bir zaman ya da baz uzunluğu aralığının eşik değeri seçilerek görüntü çiftleri oluşturulmasını ve bu görüntü çiftlerinden elde edilen bağımsız interferogramlardan ortak bir deformasyon kestirim elde edilmesi esasına dayanır (Shanker vd., 2011). Bu sayede, interferogramlarda kısıtlayıcı bir etki olarak görülen zamansal ve

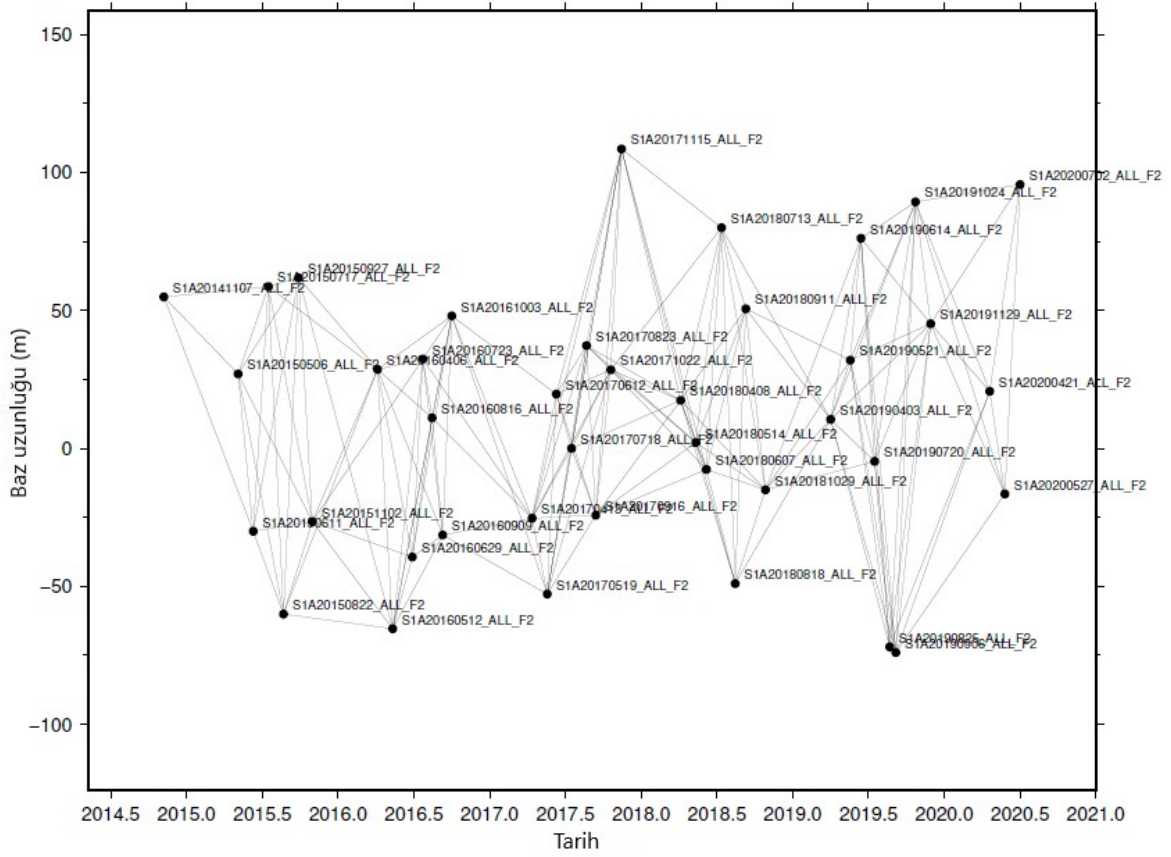
geometrik uyumsuzluk giderilebilecek, aynı zamanda deformasyonların davranışları da zaman serileri yardımıyla kolayca izlenebilir hale gelecektir.

Casu (2009)'a göre SBAS yöntemine göre InSAR analizleri 8 temel adımda gerçekleştirilmektedir. Bunlar:

1. Analize girdi olan her SAR verisine ait yörünge verilerinin elde edilerek değerlendirilmesi ve referans imajın seçilmesi,
2. Bu aşama odaklanma aşaması olarak adlandırılmakta olup, ham verilerin SLC (Single Look Complex) formatına dönüştürülmesi için gereklidir. Ancak Sentinel 1 uydu verileri sunuculardan doğrudan SLC formatında indirilebildiğinden, bu aşamaya gerek duyulmamaktadır,
3. Uydu sensörü ile hedef (yeryüzü) arasındaki mesafenin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için, SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verilerinin referans imaj koordinatlarına dönüştürülmesi,
4. Belirlenen eşik değerler eşliğinde, interferogramların oluşturulması için en uygun ikili veri setinin seçilmesi,
5. SLC formatındaki her veri ikilisinin seçilen referans imaja göre piksel eşleştirmelerinin yapılması (Co-registration),
6. İnterferogramların ve uyuşum haritalarının oluşturulması,
7. Uyuşum haritalarında çeşitli hata kaynakları sebebiyle meydana gelen gürültünün giderilmesi için filtrelemenin gerçekleştirilmesi,
8. Deformasyon haritalarının ve zaman serilerinin oluşturulması,

olarak sıralanmaktadır.

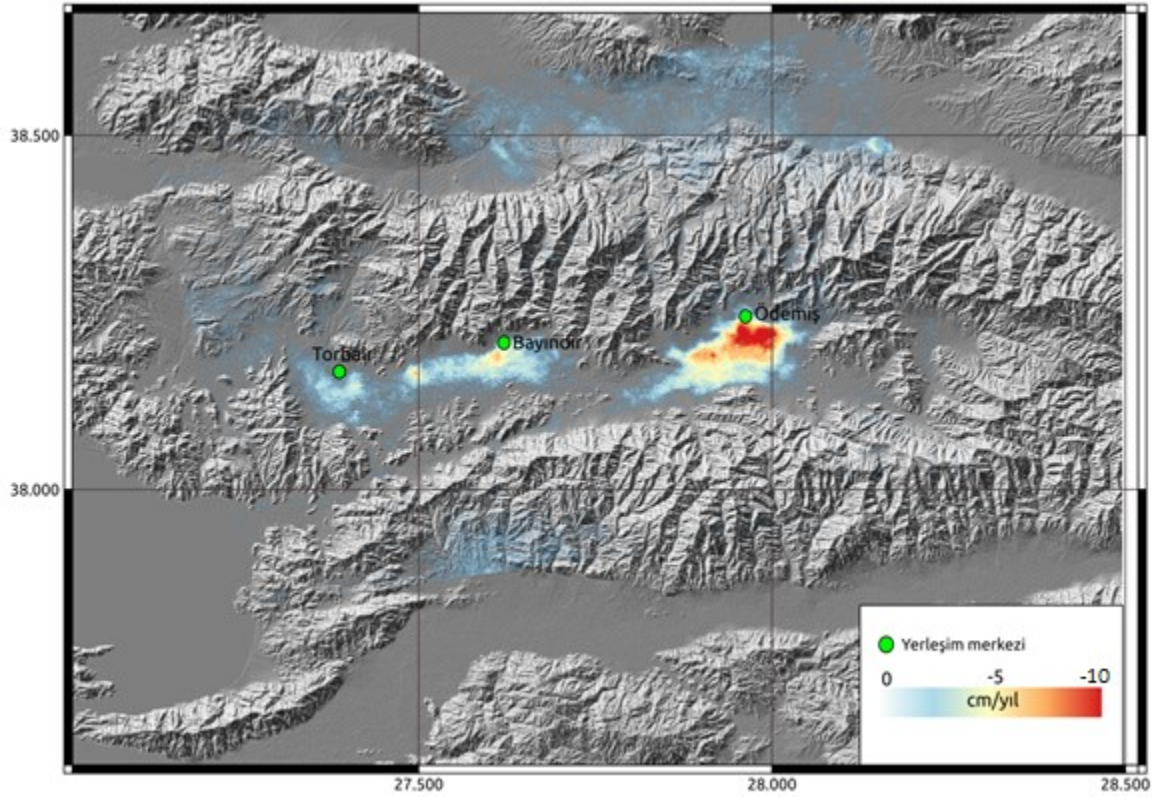
Bu çalışmada, Küçük Menderes Nehir Havzasında düşey yönlü deformasyonların varlığının araştırılmasında SBAS yöntemi kullanılmıştır. Analizlerde eşik değerler, dik baz uzunluğu için 250 m, zamansal baz uzunluğu için ise 250 gün olarak seçilmiştir. Söz konusu eşik değerle eşliğinde 40 SAR görüntüsünden 166 interferogram üretilerek düşey yönlü zemin deformasyonları belirlenmiştir. Oluşturulan görüntü çiftlerini gösteren zaman-baz uzunluğu grafiği Şekil 4.15'de gösterilmektedir.



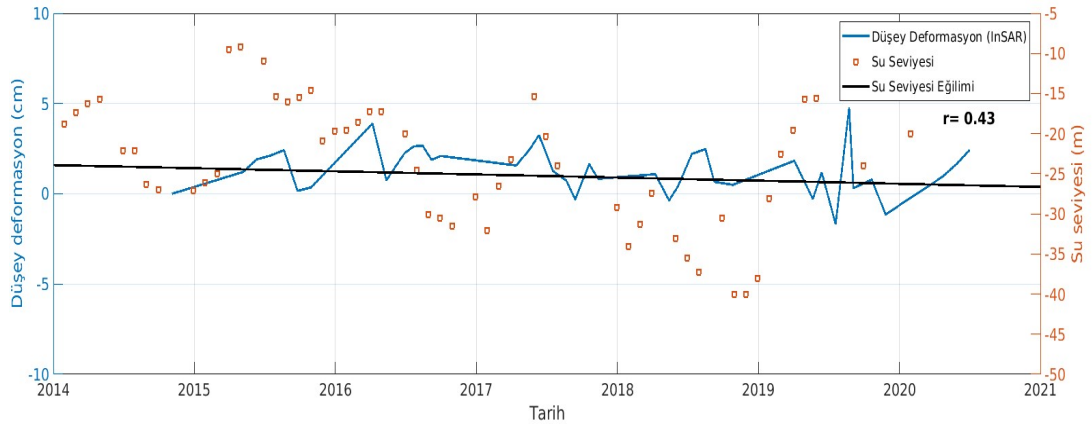
Şekil 4.15. Görüntü çiftlerine ait zamansal ve dik baz uzunlukları

SBAS analizleri sonucunda elde edilen, uydunun bakış doğrultusunda meydana gelen deformasyonun yıllık hızı (cm/yıl biriminde) ve izleme bölgesine yayılımını gösteren harita Şekil 4.16.'da sunulmuştur.

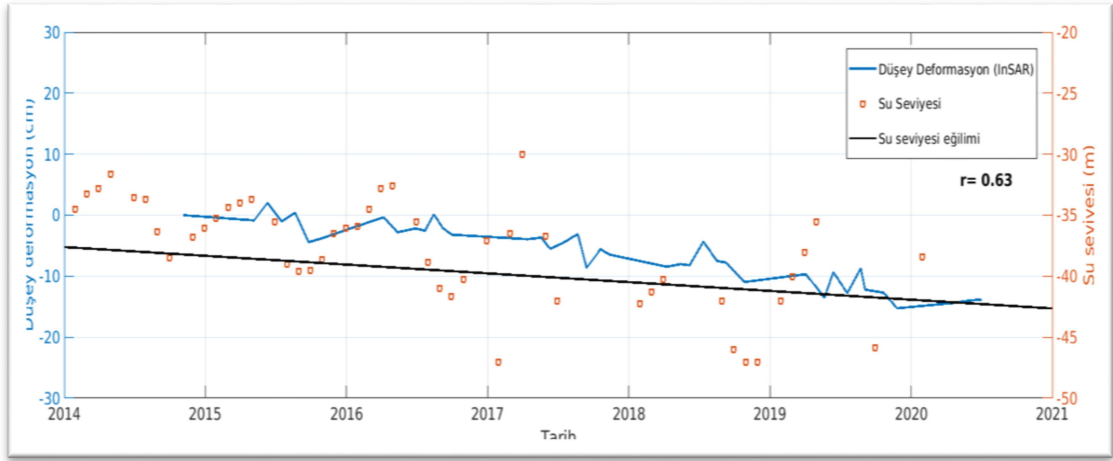
Daha önce de ifade edildiği üzere, SBAS yöntemi kullanılarak çoklu interferogramlar birlikte değerlendirilebilmektedir. Bu sayede, izleme süresince her bir görüntü tarihine ait deformasyon değerleri elde edilerek, deformasyonun davranışını gösteren zaman serilerinin oluşturulması mümkündür. Bu bağlamda, Torbalı, Bayındır ve Ödemiş yerleşim merkezlerinde, izleme süresince oluşan deformasyon davranışını gösteren zaman serileri oluşturularak Şekil 4.16., Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'de sunulmuştur. Ayrıca, deformasyonların yeraltı su seviyesi değişimi ile ilişkisini göstermek için, zaman serileri üzerine çevredeki yeraltı su seviye istasyonlarından (Şekil 4.8.) elde edilen su seviye bilgileri ve çökmelerle olan korelasyon katsayıları da eklenmiştir.



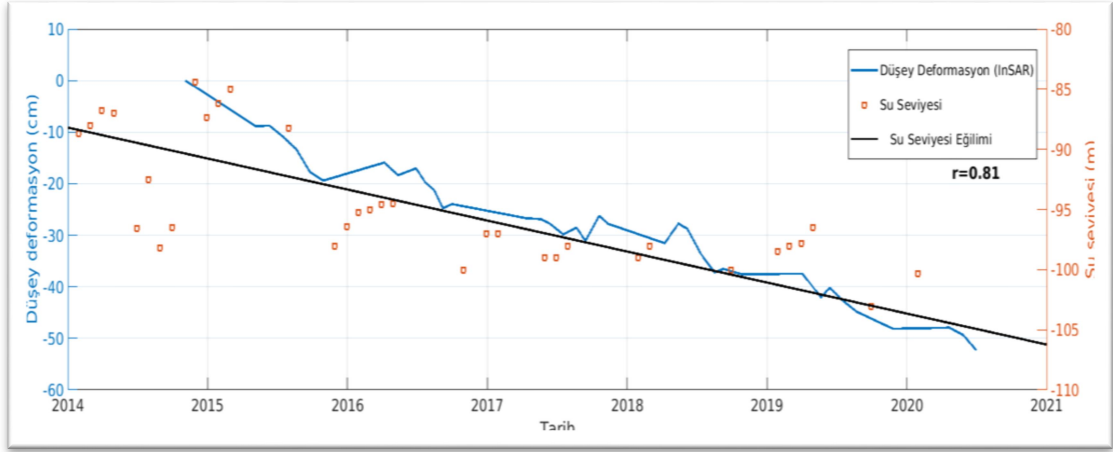
Şekil 4.16. İzleme alanında meydana gelen deformasyon ve yayılımı



Şekil 4.17. İzleme süresince Torbalı ve çevresinde oluşan deformasyon ve yeraltı su seviyesi davranışını gösteren zaman serisi



Şekil 4.18. İzleme süresince Bayındır ve çevresinde oluşan deformasyon ve yeraltı su seviyesi davranışını gösteren zaman serisi



Şekil 4.19. İzleme süresince Ödemiş ve çevresinde oluşan deformasyon ve yeraltı su seviyesi davranışını gösteren zaman serisi

Küçük Menderes Havzası sınırlarında Torbalı, Bayındır ve Ödemiş ilçelerinde InSAR yöntemi ile belirlenen zemin çökmelerinin topoğrafyada ve yerleşim alanlarındaki yapılarda bir deformasyon oluşturup, oluşturmadığı bölgede özellikle çökmelerin gözlemlendiği alanlarda yapılan saha gözlemleri ile incelenmiştir. Yapılan incelemelerde Torbalı ve Bayındır ilçelerindeki yerleşim yerlerindeki binalarda ve topoğrafyada bir deformasyona rastlanmamış olup, Ödemiş İlçesi ve tarımsal alanlarda hem tarımın yapıldığı köy evlerinde ve evleri çevreleyen duvarlarda (Şekil 4.20.), hem de topoğrafyada oluşan ondülasyonlar (dalgalanmalar-basamaklar), yarılmalar ve çökmeler gözlemlenmiştir (Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.).



Şekil 4.20. Yolüstü Köyü (Ödemiş) civarında gözlemlenen taşörme-kerpiç evlerin duvarlarında oluşan çatlamlar



Şekil 4.21. Yolüstü Köyü (Ödemiş) civarında gözlemlenen zemin çökmeleri ve duvar çatlamları



Şekil 4.22. Yolüstü Köyü (Ödemiş) civarında gözlemlenen zemin çökmeleri ve yarılmalar

5. TARTIŞMA

Küçük Menderes Nehir Alt Havzası (KMNAH) yaklaşık 3500 km²'lik alanı ile KMH'nın en büyük alt havzası olma niteliğindedir. Yaklaşık yarım milyon nüfusu bünyesinde barındıran bölgenin graben alanı Kuvarterner yaşlı alüvyon niteliğinde olup, tarıma elverişli zemin yapısındadır. Şekil 3.2. ve Tablo 3.2.'den de görüleceği üzere, söz konusu havza topraklarının %58'i sulanan tarımsal alan statüsündedir ve bölge halkının neredeyse tamamı tarım ve hayvancılıkla geçimini sürdürmektedir (OSİB, 2010).

Şekil 4.1.'den görüleceği üzere KMNAH, aldığı yıllık ortalama 350-450 mm yağışla KMH'nın en az yağış alan alt havzasıdır. Havzada sulamalı tarımın sürdürülebilmesi için alınan yağışın yetmemesi sebebiyle yeraltı suyuna (YAS) başvurulmaktadır (DSİ, 2016). Havzadaki akifer yapısının tespiti için Şekil 4.4. ve Şekil 4.6.'da gösterilen litolojik yapılar incelendiğinde, Torbalı ve civarındaki akifer sisteminin serbest akifer özelliğinde olduğu, Bayındır ve Ödemiş civarındaki akifer sisteminin ise yüzeyden derine doğru tekrar eden basınçlı akifer özelliğinde olduğu belirlenmiştir.

Torbalı mevkii ve civarındaki gözlem kuyularında yeraltı suyu seviyelerindeki değişim incelendiğinde, 1985-2020 yılları arasında su seviyesi -10 m ile -30 m arasında değişerek (Şekil 4.9.), yaklaşık 20 m düştüğü görülmüştür. Bu yıllar arasında kuyularda gözlemlenen mevsimsel beslenme ve su kullanımına bağlı anlık değişimler yer yer ortalama 40 m dalgalanmaktadır. Bu dalgalanmanın bu kadar geniş periyotta gözlenmesinin sebebi inceleme alanı ve çevresinin serbest akifer sisteminden oluşması ve çekilen suyun kısa bir süre içerisinde tekrar akifer sistemi beslemesinden ve mevsimsel yağışlara bağlı yeraltı suyunun beslenmesine bağlıdır. İnceleme alanı ve çevresinde genellikle içme suyu ve endüstriyel amaçlı su kullanımı mevcuttur.

Şekil 4.10. ile verilen zaman serisinde Bayındır mevkii ve civarındaki gözlem kuyularında yeraltı suyu seviyelerindeki değişim incelendiğinde 1970-2020 yılları arasında su seviyesi -10 m ile -70 m arasında değişmiş olup, yaklaşık 60 m düşmüştür. Bu yıllar arasında kuyularda gözlemlenen mevsimsel beslenme ve su kullanımına bağlı anlık değişimler ortalama 20 m arasında dalgalanmaktadır. Bu dalgalanmanın bu periyotlarda değişimi, inceleme alanı ve çevresinin basınçlı akifer sisteminden oluşması ve çekilen suyun kısa bir süre içerisinde tekrar akifer sistemi besleyememesinden ve mevsimsel

yağışlara bağlı yeraltı suyunun geçirimsiz tabakalardan oluşan litolojik yapıdan dolayı, akifer sistemin beslenememesine bağlıdır. İnceleme alanı ve çevresinde genellikle içme suyu, endüstriyel amaçlı ve tarımsal sulama amaçlı su kullanımı mevcuttur.

Ödemiş mevki ve civarındaki gözlem kuyularında yeraltı suyu seviyelerindeki değişim incelendiğinde (Şekil 4.11.), 1990-2020 yılları arasında su seviyesi -30 m ile -100 m arasında değişmiş olup, yaklaşık 70 m düşmüştür. Bu yıllar arasında kuyularda gözlemlenen mevsimsel beslenme ve su kullanımına bağlı anlık değişimler ortalama 5 m ile 7 m arasında dalgalanmaktadır. Bu dalgalanmanın bu periyotlarda değişimi, inceleme alanı ve çevresinin basınçlı akifer sisteminden oluşması ve çekilen suyun kısa bir süre içerisinde tekrar akifer sistemini besleyememesinden ve mevsimsel yağışlara bağlı yeraltı suyunun geçirimsiz tabakalardan oluşan litolojik yapıdan dolayı, akifer sistemin beslenememesine bağlıdır. İnceleme alanı ve çevresinde genellikle içme suyu, endüstriyel amaçlı ve tarımsal sulama amaçlı su kullanımı mevcuttur.

Küçük Menderes Havzasında su kullanımı incelendiğinde (Şekil 4.12.) genellikle yeraltı suyu %87 oranda tarımsal sulama amaçlı kullanılırken, içme suyu amaçlı olarak %9 oranında kullanılmaktadır. Torbalı, Bayındır ve Ödemiş İlçeleri tarımsal faaliyetler açısından incelendiğinde, en çok tarımsal sulamanın yapıldığı bölge Ödemiş ve civarıdır (Şekil 4.13).

Şekil 4.16.'da verilen, InSAR analizleri sonucu oluşan deformasyon hız alanı haritası incelendiğinde, KMNAH'sı içerisinde -1 ile -10 cm/yıl arasında değişiklik gösteren düşey yönlü deformasyonların varlığını gözlemlemek mümkündür. Deformasyon alanlarını konumsal olarak incelendiğinde, en düşük deformasyon hızına sahip olan bölgenin alt havzanın Batı ucunda kalan Torbalı olduğu anlaşılmaktadır. Söz konusu bölgede deformasyon hızının 0 ile -2 cm/yıl seviyelerinde olduğu ve yaklaşık 50 km²'lik bir alana nüfuz ettiği görülmüştür. Ancak, InSAR tekniğinin yüzey deformasyonlarını cm inceliğinde belirleyebildiği göz önünde bulundurulduğunda, bu gölgede tespit edilen deformasyonun anlamlılığı şüphelidir (Çomut, 2016).

Havzanın orta kesiminde yer alan ve Bayındır ilçe merkezini içerisine alan bölgede ise deformasyon hızının -2 ila -5 cm/yıl arasında değişiklik gösterdiği ve 100 km²'lik bir alanda etkin olduğu görülmektedir.

Havzanın Doğu kesimlerinde yer alan ve Ödemiş ilçe merkezini de içerisine alan bölgede ise deformasyon hızının -10 cm/yıl seviyelerine kadar ulaştığı ve yaklaşık 160 km²'lik bir alanda etkin olduğu görülmüştür. Elde edilen hız değerlerinden anlaşılabileceği

üzere, en yüksek deformasyon hız değerleri Ödemiş mevkiinde elde edilirken, en düşük deformasyon hız değerleri Torbalı ilçesi civarında gözlemlenmiştir. Ek olarak, Bayındır ve Ödemiş ilçe merkezleri arasındaki bölgede ve Ödemişin Doğu kesimlerinde ise izleme süresince deformasyona rastlanmamıştır.

İzleme süresi olan 5 yıl 11 aylık (2184 gün) süreç boyunca, SAR imajlarının algılandığı tarihlerde elde edilen deformasyonlar incelendiğinde, Torbalı ve çevresinde düşey yönlü deformasyonların şiddetinin oldukça düşük seviyelerde olduğu ve yaklaşık 0 ile -2 cm arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.17). Aynı zaman serisi üzerindeki yeraltı su seviye değişimine ait eğilim de benzer biçimde izleme süresince su seviyesinde kayda değer bir değişim olmadığını göstermektedir. Serbest akifer yapısı bulunan bölgede, su seviyesinin mevsimsel etkiler kaynaklı dalgalı seyretmesi sebebiyle, düşey yönlü deformasyonlar ile arasındaki korelasyon katsayısı oldukça düşüktür ($r=0.41$)

Şekil 4.18 ile verilen Bayındır ve çevresinde oluşan deformasyon davranışı ve yeraltı su seviyesi değişimi zaman serisi incelendiğinde, izleme süresince toplam yaklaşık 10 cm'lik zemin çökmesi olduğu ve ~5 m'lik su seviyesi çekilmesi olduğu görülmektedir. Yine bu bölgede de yeraltı su seviyesinde mevsimsel etkiler olduğu (izleme süresince dalgalı seyrettiği) ve çökmelerle arasında %63'lük korelasyon olduğu görülmektedir.

Şekil 4.19.'da verilen Ödemiş ve çevresindeki zemin çökmeleri ve yeraltı su seviyesi değişimini gösteren zaman serisi incelendiğinde, izleme süresince ~25 m seviyelerinde su çekilmesi ve beraberinde 50 cm'den fazla zemin çökmesi olduğu görülmüştür. Daha önce de belirtildiği üzere, basınçlı akifer yapısına sahip olan bölgede, fazlaca mevsimsel etki gözlenmemektedir. Bu nedenle, izleme süresince zemin çökmesi ile su seviyesi davranışları arasında oldukça güçlü korelasyon (%81) tespit edilmiştir.

Şekil 4.20. 4.21. ve 4.22.'da görülen topoğrafyada tespiti yapılan yarılmalar-çökmeler ve tarım alanlarında bulunan taşörme ve kerpiç evlerin duvarlarında meydana gelen yarılmalar ve mezarlıkta bulunan mezar taşlarının ve etrafı mermer duvarla çevrili mezarların düşeyden saptması-çökme gözlemlenmesi inceleme alanındaki bölgesel çökmelerin yüzeydeki izleri ve göstergeleridir. İnceleme alanında belirlenen düzensiz yeraltı suyu pompajları ve akifer sistemlerinin basınçlı akifer özelliğinde olması, çekilen suyun geri beslemesinin neredeyse olmaması veya uzun sürelerde eski dengesini yakalaması akifer sisteminin bozulmasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Zeminde meydana gelen boşluk suyu basıncının yapılan aşırı pompajlardan dolayı ortadan kalkması

ve taneler arasında meydana gelen oturma sebebiyle düşey yönlü deformasyonlar oluşmaktadır.

Bu tez kapsamında verilen tüm deformasyon değerlerinin radarın bakış doğrultusunda olduğu unutulmamalıdır. Oluşan deformasyon değerlerinin anlaşılmasında Şekil 3.6. ile verilen yan bakışlı radarın algılama prensibi göz önünde bulundurulabilir. Elde edilen deformasyon değerleri, söz konusu şekildeki hipotenüs uzunluğu olup, aynı şekildeki h uzunluğuna çevrilmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm işlemi için GNSS ya da klasik ölçme yöntemleri ile yerinde ölçüm gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küçük Menderes Havzası yaklaşık yarım milyon insana ev sahipliği yapan, sulamalı tarım faaliyetlerinin ve hayvancılığın yoğun yürütüldüğü bir graben havzasıdır. Yoğun tarımsal sulama, hayvancılık ve içme suyu kullanımı sonucu yeraltı su seviyesi doğal yağışlarla beslenme seviyelerini aşmış ve bu durum havzada yeraltı su seviyesinin önemli ölçüde azalmasıyla sonuçlanmıştır. Bu durum havzada, son yıllarda Dünya genelinde birçok havzada görülen zemin çökmeleri problemini tetiklemiş ve farklı şiddetlerde yayılım alanı gösteren zemin çökmelerinin oluşmasına neden olmuştur.

Bu tez çalışması ile havzadaki çökmelerin yıllık hızı, yayılım alanı güncel bir deformasyon izleme yöntemi olan InSAR yöntemi ile başarıyla izlenmiş ve elde edilen sonuçlar zemin beslenimi, litolojinin derinlikle değişimi ve akifer sistemleri ile karşılaştırılmış ve yorumlanarak havzada meydana gelen çökmenin sebepleri irdelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- InSAR yöntemi ile belirlenen deformasyon yayılım haritası incelendiğinde, zemin çökmelerinin alüvyonel zemin yapısında gözlendiği, dağlık bölgelerde kendini sert zemin yapısı sebebiyle gösteremediği görülmüştür.
- Zemin çökmelerinin yayılım alanı ve şiddeti bölgedeki akifer tipi ve yeraltı su seviyesi çekilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Akifer tipi yeraltı su seviyesinin beslenebilme durumunu belirlemekte, su seviyesindeki değişiklik ise zemin çökmelerinin şiddeti ve kapsadığı alan konusunda belirleyici en büyük etken olarak görülmektedir.
- Serbest akifer yapısı bulunan Torbalı ve çevresinde yeraltı su seviyesi doğal yollarla beslenebilmiş ve bu bölgede zemin çökmelerinin çok düşük seviyelerde gözlenebilmişken, basınçlı akifer yapısı gösteren Bayındır ve Ödemiş çevresinde yeraltı su seviyesi yeterli seviyede beslenememiş ve yıllık 10 cm'ye varan hızda zemin çökmelerine neden olmuştur.
- Çalışma alanı olan Küçük Menderes Havzası tektonik olarak incelendiğinde, normal fay sistemleri ile sınırlı graben yapı olarak oluşmuş bir havzadır.
- İnceleme alanında yayılım gösteren alüvyon birikintinin oluştuğu zemin özelliklerinin derinlikle değişimini belirlemek için daha önceden açılmış sondaj kuyuları incelenmiş olup, havzanın farklı bölgelerinde 150m ile 240m arasında değişen ve kil, silt, kum ve çakıl özelliğinde litolojik özellik gösteren bir graben yapı olduğu belirlenmiştir.

- Havzada yapılan incelemelerde yeraltı suyu kullanımı ve akifer sistemler incelendiğinde, mevsimsel yağışlara bağlı olarak serbest akifer alanlarında yeraltı suyu beslenimi olurken, basınçlı akifer alanlarında beslenme geçirimsiz zonların fazlalığından ve kademeli olarak basınçlı akiferlerin tekrarlamasından dolayı yeraltı suyunun beslenimi yok denecek kadar azdır.
- Havzada yeraltı suyu kullanımı tarımsal faaliyetler sebebi ile oldukça fazla olup, sürekli pompaj ile çekilmektedir. Bu durum basınçlı akifer zonlarında yeraltı suyunda ani düşmelere sebebiyet verirken, serbest akiferlerde ise daha az düşüşler gözlenmektedir. Bunun sebebi serbest akiferlerin mevsimsel yağışlara bağlı besleniminin olmasıdır.
- Yapılan çalışmanın toplumsal katmadeğer sağlayacak en önemli sonuçlarından biri de havzada meydana gelen zemin deformasyonlarının Torbalı, Bayındır ve Ödemiş Belediyeleri ve diğer kamu kurumlarına ait alt yapı tesislerinin (kanalizasyon, doğalgaz, su, elektrik, Telekom vs.) inşasında dikkate alınması ve deformasyon olmayan alanlarda bu yapıların planlanması ileride doğacak önemli derecedeki ekonomik kayıpların önüne geçecektir.
- İnceleme alanında yapılan gözlemler neticesinde tarımsal faaliyetlerin özellikle Ödemiş civarında oldukça yaygın olduğu, tarımda kullanılan sulama sistemlerinin yağmurlama veya damlama sistemlerinden oluşmadığı, genellikle arklarla veya hortumlarla gereksiz su tüketimine uygun ve yanlış sulama yapıldığı gözlenmiştir. Bu durum yeraltı su seviyesinde aşırı düşümlere ve mevsimsel olarak yağışsız sürelerde yapılan tarımsal faaliyetlerde akifer sistemlerinde beslenme olmadığından dolayı, akifer sistemlerinde meydana gelecek bozulmalar ve verimin düşmesi zamanla havzadaki mevcut kullanılan kuyuların bozulmasına ve su kıtlığına sebep olacaktır.
- Yeraltı suyunda meydana gelen aşırı seviye düşüşleri akifer sistemlerin bozulmasına sebep olurken, aynı zamanda zemin deformasyonlarına da sebep olmaktadır. Bu olumsuz durumların önlemini alma bağlamında, tarımsal faaliyetlerde daha doğru ve az su tüketimine yönelik uygun sulama sistemleri ile sulamanın yapılması ve bölgede üretimi yapılan ürünlerin yeniden gözden geçirilerek, daha az suya ihtiyaç duyan ürünlerin ekimini yaygınlaştırmak gerekmektedir. Aksi takdirde özellikle Ödemiş ve civarında zemin deformasyonları artarak devam edecek ve yeraltı suyu kullanımında zamanla akifer sistemlerin bozulmasıyla problem yaşanacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Abidin, H., Gumilar, I., Andreas, H., Murdohardono, D., ve Fukuda, Y., 2013. On Causes and Impacts of Land Subsidence in Bandung Basin, Indonesia. Environmental Earth Sciences, 1545–1553p.
- Allahwani, Y., 2016. Application of Continuous Hydrologic Modeling in Küçük Menderes River Basin. Yüksek Lisans Tezi.
- Aslan, G., Çakır, Z., Cécile, L., ve Renard, F., 2019. Investigating Subsidence in the Bursa Plain, Turkey, Using Ascending and Descending Sentinel-1 Satellite Data. Remote Sensing, 85s.
- Barbol, D., 2005. Menderes Masifinin Pan-Afrikan Temeline Ait Metakırıntılılar İçerisinde Gözlenen Kalksilikat Türü Kayaların Mineralojisi, Petrografisi ve Metamorfizması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis. Geodinamica Acta, 3-30p.
- Bozkurt, E., 2003. Origin of NE-Trending Basins in Western Turkey. Geodinamica Acta, 61-81p.
- Bozkurt, E., ve Sözbilir, H., 2004. Tectonic Evolution of Gediz Graben: Field Evidence for an Episodic, Two-Stage Extension in Western Turkey. Geological Magazine, 63-79p.
- Bulut, M., ve Filiz, Ş., 2005. Bayındır Jeotermal Sahasının Hidrojeolojisi, Hidrokimyası ve İzotopik Özellikleri, İzmir, Batı Anadolu, Türkiye. MTA Dergisi, 63-78s.
- Candan, O., 1996. Kiraz - Birgi Çevresindeki (Menderes Masifi / Ödemiş-Kiraz Asması) Metagabroların Petrografisi ve Metamorfizması. Yerbilimleri, 1-25s.
- Candan, O., 2001. Demirci-Gördes Asması'nda (Menderes Masifi) Gözlenen Distenden Andalit Pegmatoidlerin Oluşum Şekli ve Oluşum Şekli ve Oluşum Evreleri. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 12-29s.
- Candan, O., ve Dora, O., 1993. Application of Schreinemakers Method to a Metamorphic Area Located at the Northern Flank of the Menderes Massif (Western Turkey). Bulletin of the Geological, 169-186p.
- Candan, O., ve Dora, O., 1998. Menderes Masifinin Genelleştirilmiş Jeoloji Haritası. Yayınlanmamış, DEU Jeoloji Mühendisliği Bölümü Bornova-İzmir.
- Candan, O., Dora, O. Ö., Oberhänsli, R., Koralay, O. E., Çetinkaplan, M., Akal, C., et al., 2011. Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan Temelin Stratigrafisi ve Gondwana'nın Geç Neoproterozoyik/Kambriyen Evrimi ile İlişkisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 25-68s.

- Candan, O., Dürr, S., ve Oberhänsli, R., 1994. Erster Nachweis von Granulit und Eklogit Relikten im Menderes - Massif / Türkei. Göttingen Abr. Geol. Paläont. Sb.1 5. Symposium TSK, 217-220p.
- Candan, O., Koralay, E., Dora, Ö., Chen, F., Oberhansli, R., Çetinkaplan, M., et al., 2007. Menderes Masifinin Pan-Afrikan Temelin Stratigrafisi ve Örtü Çekirdek Serilerinin İlksel Dokanak İlişkisi. Menderes Masifi Kolokiyumu, İzmir, 8-14s.
- Candan, O., Oberhänsli, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J., Warkus, F., ve Dürr, S., 2001. Pan-African High-Pressure Metamorphism in the Precambrian Basement of the Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. International Journal Earth Science, 793-811p.
- Casu, F., 2009. The Small Baseline Subset Technique: Performance Assessment and New Developments for Surface Deformation Analysis of Very Extended Areas. Doktora Tezi.
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., ve Crippa, B., 2016. Persistent Scatterer Interferometry: A Review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 78-89p.
- Çağlayan, A., Öztürk, E., Öztürk, Z., Sav, H., ve Akat, U., 1980. Structural Observations on the Southern Menderes Massif. Publication Chamber Geological Engineering Turkey, 9-17p.
- Çiftçi, N., ve Bozkurt, E., 2007. Anomalous Stress Field Ad Active Breaching at Relay Ramps: A Field Example from Gediz Graben, SW Turkey. Geological Magazine, 687-699p.
- Çomut, F. C., 2016. Farklı Yeryüzü Özelliklerinde İleri InSAR Teknikleri Kullanılarak Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi.
- Delouis, B., Nocquet, J. M., ve Vallée, M., 2010. Slip Distribution of the February 27, 2010 Mw= 8.8 Maule Earthquake, Central Chile, from Static and High-Rate GPS, InSAR, and Broadband Teleseismic Data. Geophysical Research Letters, 37,17p.
- Dora, O., 2011. Menderes Masifindeki Jeolojik Araştırmaların Tarihsel Gelişimi. MTA Dergisi, 1-23s.
- Dora, O. Ö., Dürr, S., ve Oberhänsli, R., 1995. New Evidence on the Geotectonic Evolution of the Menderes Massif. International Earth Sciences Colloquium on the Eagean Region, 53-72p.
- Dora, O., Candan, O., Kaya, O., Koralay, E., ve Dürr, S., 2001. Revision of the So-Called "leptitegneisses in the Menderes Massif: A Supracrustal Metasedimentary Origin. International Journal of Earth Sciences, 836-851p.
- Dora, O., Candan, O., Kaya, O., Koralay, E., ve Dürr, S., 2002. Menderes Masifindeki Leptit - Gnaysların Kökenlerinin Yeniden Yorumlanması Metamorfizmaları ve Jeotektonik Ortamları. (Yayımlanmamış): 554 nolu TÜBİTAK projesi.

DSİ., 2016. DSİ,Küçük Menderes Havzası Master Plan Raporu.

Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., ve Rocca, F., 2007. InSAR Principles:Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. Noordwijk, The Netherlands: ESA.

Ferretti, A., Prati, C., ve Rocca, F., 2001. Permanent Scatterers in SAR Interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39,1, 8-20p.

Galloway, D., ve Burbey, T., 2011. Review: Regional Land Subsidenceaccompanying Groundwater Extraction. Hydrogeology Journal, 1459-1486p.

Gezgin, C., 2020. GNSS ve INSAR Teknikleri ile Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) Kinematik Analizi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: Doktora Tezi.

Görken, M., 2017. Sentinel-1 Yapay Açıklıklı Radar Uydusunun Topoğrafik Tasviri. Yüksek Lisans Tezi.

İnsapedia. (2021, 03 Mart). <https://insapedia.com/akufer-akifer-nedir/>.

Jolivet, L., Faccenna, C., Huet, B., Labrousse, L., L., L. P., Lacombe, O., et al., 2013. Aegean Tectonics: Strain Localisation, Slab Tearing and Trench Retreat. . Tectonophysics, 1-33p.

Kaitantzian, A., Loupasakis, C., Tzampoglou, P., ve Parcharidis, I., 2020. Ground Subsidence Triggered by the Overexploitation of Aquifers Affecting Urban Sites: The Case of Athens Coastal Zone along Faliro Bay (Greece). Geofluids.

Konak, N., 2007. Menderes Masifinin Prekambriyen-Paleozoyik İstiflerinin Tektonik Üniteler Bazında Tartışılması. Menderes Masifi Kolokyumu, İzmir, 17-23s.

Konak, N., Akdeniz, N., ve Öztürk, E., 1987. Geology of the South of Menderes Massif. I.G.C.P. project no:5.

Koralay, E., Candan, O., Dora, Ö. S., Oberhänsli, R., ve Chen, F., 2007. Menderes Masifi'ndeki Pan-Afrikan ve Triyas Yaşlı Metamagmatik Kayaçların Jeolojisi ve Jeokronolojisi, Batı Anadolu, Türkiye. Menderes Masifi Kolokyumu, İzmir, 18-24s.

Koralay, O. E., Candan, O., Akal , C., Dora, O. Ö., Chen, F., Satır, M., et al., 2011. Menderes Masifi'ndeki Pan-Afrikan ve Triyas Yaşlı Metagranitoidlerin Jeolojisi ve Jeokronolojisi, Batı Anadolu, Türkiye. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 69-121s.

Koralay, O., Chen, F., Satır, M., ve Candan, O., 2004. Geochemistry and Geochronology of Orthogneisses in the Derbent (Alaşehir) area Eastern part of the Ödemiş - Kiraz Submassif Menderes Massif: Pan-African Magmatic. Turkish Journal of Earth Sciences, 37-61p.

Koralay, O., Satır, M., ve Dora, O., 2001. Geochemical and Geochronological Evidence for Early Triassic Calc-Alkaline Magmatism in the Menderes Massif, Western Turkey. International Journal Earth Science, 822-835p.

- Kun, N., ve Candan, O., 1987a. Menderes Masifindeki Erken Paleozoyik Yaşlı Bazik Damar Kayaları. Yerbilimleri, 121-132s.
- Massonet, D., ve Feigl, K., 1998. Radar Interferometry and its Application to Changes in the Earth's Surface. Reviews of Geophysics, 36(4), 441-500p.
- Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T. R., Wetzell, H. U., Zschau, J., ve Arabi, S., 2007. Land Subsidence in Mashhad Valley, Northeast Iran: Results from InSAR, Levelling and GPS. Geophysical Journal International, 518-526p.
- Okay, A., 1996. Paleo- and Neo-Tethyan Events in Northwest Turkey: Geological and Geochronological Constraints. Tectonics of Asia, 420-441.
- Okay, A., 2001. Stratigraphic and Metamorphic Inversions in the Central Menderes Masif: a New Structural Model. International Journal of Earth Science, 709-727p.
- Orhan, O., Oliver-Cabrera, T., Wdowinski, S., Yalvaç, S., ve Yakar, M., 2021. Land Subsidence and Its Relations with Sinkhole Activity in Karapınar Region, Turkey: A Multi-Sensor InSAR Time Series Study. Sensors, 1-17p.
- OSİB., 2010. Havza Koruma Eylem Planı - Küçük Menderes. . T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Özer, S., Sözbilir, H., Özkar, I., Toker, V., ve Sarı, B., 2001. Stratigraphy of Upper Cretaceous-Palaeogene Sequences in the Southern and Eastern Menderes Massif Western Turkey, International Journal of Earth Science, 852-866p.
- Peksezer Sayit, A. ve Yazicigil, H., 2012. Assessment of Artificial Aquifer Recharge Potential in the Kucuk Menderes River Basin, Turkey. Hydrogeology Journal, 755-766p.
- Pourteau, A., Sudo, M., Candan, O., Lanari, P., Vidal, O., ve R., O., 2013. Neotethys Closure History of Anatolia: Insight from ⁴⁰Ar-³⁹Ar Geochronology and P-T Estimation in High-Pressure Metasedimentary Rocks. Journal of Metamorphic Geology, 585-606p.
- Pozar, D. M., 2004. Microwave Engineering. Wiley.
- Rüzgar, Y., 2006. Bayındır (İzmir) ve Çevresinin Neojen Stratigrafisi ve Tektoniği. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Yüksek Lisans Tezi.
- Sandwell, D., Mellors, R., Tong, X., ve Wei, M., 2011. Open Radar Interferometry Software for Mapping Surface Deformation. Eos, Transactions American Geophysical Union, 234-234p.
- Seyitoğlu, G., Işık, V., ve Cemen, I., 2004. Complete Tertiary Exhumation History of the Menderes Massif, Western Turkey: an Alternative Working Hypothesis. Terra Nova, 358-364p.

- Shanker, P., Casu, F., Zebker, H., ve Lanari, R., 2011. Comparison of Persistent Scatterers and Small Baseline Time-Series InSAR Results: a Case Study of the San Francisco Bay Area. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 8,4, 592-596p.
- Sheng, Z., Helm, D., ve Li, Z., 2003. Mechanisms of Earth Fissuring Caused Bygroundwater Withdrawal. Environmental and Engineering Geoscience, 313–324p.
- Shi, X., Xue, Y., Wu, J., Ye, S., Zhang, Y., Wei, Z., et al., 2008. Characterization of Regional Land Subsidence in Yangtze Delta, China: The Example of Su-Xi-Chang Area and the City of Shanghai. Hydrogeology Journal, 593–607p.
- Sneed, M., Ikehara, E., Galloway, D., ve Amelung, F., 2001. Detection and Measurement of Land Subsidence Using Global Positioning System and Interferometric Synthetic Aperture Radar, Coachella Valley, California. U.S Geological Survey.
- Somay, A. M., 2006. Hydrogeology of Lower Küçük Menderes River Coastal Wetland. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Doktora Tezi.
- Sözbilir, H., 2001. Extensional Tectonics and the Geometry of Related Macroscopic Structures: Field Evidence from the Gediz Detachment, Western Turkey. Turkish Journal of Earth Science, 51-67p.
- Sözbilir, H., 2002. Geometry and Origin of Folding in the Neogene Sediments of the Gediz Graben, Western Anatolia, Turkey. Geodinamica Acta, 277-288p.
- Sözbilir, H., Sarı, B., Uzel, B., Sümer, Ö., ve Akkiraz, S., 2011. Tectonic Implications of Transtensional Supradetachment Basin Development an Extension-Parallel Transfer Zone: Kocaçay Basin, Western Anatolia, Turkey. Basin Research, 423-448p.
- Şahin, Y., Alper, B., ve Tayfur, G., 2018. Küçük Menderes Havzası Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği. DÜMF Mühendislik Dergisi, 92, 955-962s.
- Şahin, Y., Baba, A., ve Tayfur, G., 2020. Küçük Menderes Havzasındaki Barajlar ve Tarımsal Gelişmeye Olan Katkıları. İklim Değişikliği ve Çevre, 16-23s.
- Şengör, A., ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. Tectonophysics, 75,3-4, 181-241p.
- Şimşek, C., 1998. Torbalı Çevresinin Hidrojeolojisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Yüksek Lisans Tezi.
- TOB., 2019. Küçük Menderes Nehir Havza Yönetim Planı Nihai Raporu. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Uzel, B., 2007. Cumaovası (Menderes) Havzasının Kuvarterner Jeolojisi ve Aktif Tektoniği. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Yüksek Lisans Tezi.
- Uzel, B., Sözbilir, H., ve Özkaymak, Ç., 2012. Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 439-471p.

- Üstün , A., Tuşat, E., ve Yalvaç, S., 2010. Preliminary Results of Land Subsidence Monitoring Project in Konya Closed Basin Between 2006–2009 By Means of GNSS Observations. Natural Hazards and Earth System Sciences, 1151-1157p.
- Wegmuller, U., Strozzi, T., ve Bitelli, G., 1999. Validation of ERS Differential SAR Interferometry for Land Subsidence Mapping: the Bologna Case Study. IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1131-1133p.
- Wikipedia. (2020, 12 27). Wikipedia. 12 27, Uzaktan Algılama: https://tr.wikipedia.org/wiki/Uzaktan_alg%C4%B1lama.
- Yagbasan, O., 2016. Impacts of Climate Change on Groundwater Recharge in Küçük Menderes River Basin in Western Turkey. Geodinamica Acta, 209-222p.
- Yalvac, S., 2020. Validating InSAR-SBAS Results By Means of Different GNSS Analysis Techniques in Medium and High-Grade Deformation Areas. Environmental Monitoring and Assessment, 192,2.
- Yan, Y., Doin, M. P., Lopez-Quiroz, P., Tupin, F., Fruneau, B., Pinel, V., et al., 2012. Yan, Yajing, et al. "Mexico City Subsidence Measured By InSAR Time Series: Joint Analysis Using PS and SBAS Approaches. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 1312-1326p.
- Yang, C. S., Zhang, Q., Zhao, C. Y., Wang, Q. L., ve Ji, L. Y., 2014. Monitoring Land Subsidence and Fault Deformation Using the Small Baseline Subset InSAR Technique: A Case Study in the Datong Basin, China. Journal of Geodynamics, 34-40p.
- Yavuz, A. B., 1996. Engineering Geology of Marbles Around Torbalı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Doktora Tezi.
- Yazıcı, B. V., 2019. Daimi Yansıtıcı InSAR (PSInSAR) Tekniği ile Heyelanların Tespit Edilmesi ve İzlenmesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Yusufoğlu, H., 1998. Paleo and Neo-Tectonic Characteristics of Gediz and Küçük Menderes Grabens in West Anatolia Turkey. Orta Doğu Teknik Üniversitesi: Doktora Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

1997-2008 yılları arasında ilk, orta ve lise öğrenimini Erzincan'da tamamladı. Üniversite eğitimini 2008-2012 yılları arasında Fırat Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Lisans öğrenimini tamamladıktan sonra, 2018 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Gümüşhane Çimento Fabrikasında üretim şefi olarak çalışan Murat YALVAÇ evlidir ve İngilizce bilmektedir.