<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ</u>

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR İNTERFEROMETRE TEKNİKLERİ İLE TUZ GÖLÜ DİNAMİKLERİNİN ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Burhan Baha BİLGİLİOĞLU

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2022



<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ</u>

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR İNTERFEROMETRE TEKNİKLERİ İLE TUZ GÖLÜ DİNAMİKLERİNİN ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Burhan Baha BİLGİLİOĞLU (501152613)

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

ŞUBAT 2022



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501152613 numaralı Doktora Öğrencisi Burhan Baha BİLGİLİOĞLU ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "YAPAY AÇIKLIKLI RADAR İNTERFEROMETRE TEKNİKLERİ İLE TUZ GÖLÜ DİNAMİKLERİNİN ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU İstanbul Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. Semih EKERCİN Necmettin Erbakan Üniversitesi	
	Doç. Dr. Esra ERTEN İstanbul Teknik Üniversitesi	
	Prof. Dr. Ayşe Gül TANIK İstanbul Teknik Üniversitesi	
	Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI Yıldız Teknik Üniversitesi	

 Teslim Tarihi
 : 06.01.2022
 06.01.2022

 Savunma Tarihi
 : 02.02.2022







ÖNSÖZ

Hem öğrencilik hem de akademik hayatımda her koşulda kendisinden fedakarlık yapıp benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu tez çalışmasının ortaya çıkması için gerekli motivasyonu sağlayan kıymetli danışman hocam sayın Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU'na ve doktora çalışmalarımı yönlendirmede bana yardımcı olan tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Semih EKERCİN ve Doç. Dr. Esra ERTEN hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Doktoraya başlangıç döneminden bitiş dönemine kadar çalışmalarımda yanımda olan, bu yolda yalnız bırakmayan ve destekleyen İstanbul Teknik Üniversitesi, Aksaray Üniversitesi ve Gümüşhane Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkürü bir borç bilirim

Ayrıca desteklerini eksik etmeyen kıymetli arkadaşlarım Arş. Gör. Cemil GEZGİN'e, Arş. Gör. Ahmet Tarık TORUN'a, Arş. Gör. Halil İbrahim GÜNDÜZ'e ve Arş. Gör. Osman ORHAN'a çok teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca maddi manevi hiçbir yardımını esirgemeyen, varlıklarıyla bana güç katan kıymetli babam Salih BİLGİLİOĞLU'na, saygıdeğer annem A.Gül BİLGİLİOĞLU'na, biricik kız kardeşim E. Merve BİLGİLİOĞLU'na ve hem akedemik hem de sivil hayatım boyunca ağabeyim, sırdaşım ve meslektaşım olan Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU'na teşekkür ederim.

Ocak 2021

Burhan Baha BİLGİLİOĞLU (Akademisyen)



İÇİNDEKİLER

<u>Sayfa</u>

IÇINDEKILER	•••••
KISALTMALAR	•••••
ÇIZELGE LISTESI	••••••
ŞEKIL LISTESI	•••••
OZET	•••••
SUMMARY	X
1. GIRIŞ	•••••
1.1 Tezin Amacı	•••••
1.2 Tezin Onemi	•••••
1.3 Literatür Araştırması	•••••
1.3.1 Sulak alanlarda optik&SAR kullanımına ilişkin literatür araştırm	ası
1.3.2 Tuz göllerindeki değişimlere yönelik literatür araştırması	•••••
1.3.3 Çalışma alanı ve çevresine ilişkin literatür araştırması	•••••
2. RADAR TEKNOLOJIŠI VE TEMEL PRENSIPLERI	•••••
2.1 Gerçek Açıklıklı Radar (Real Aperture Radar-RAR)	•••••
2.2 Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aparture Radar-SAR)	
2.2.1 SAR uydu verilerinin özellikleri	•••••
2.2.2 SAR görüntülerinde oluşan geometrik hatalar	•••••
2.3 İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR)	
2.3.1 İnterferometrik faz ve fazı etkileyen faktörler	
2.3.2 İnterferometrik veri işleme adımları	
2.3.3 Değişimlerin izlenmesinde kullanılan InSAR yöntemleri	
2.3.3.1 DInSAR	
2.3.3.2 PSInSAR	
2.3.3.3 SBAS	
3. TUZ GÖLLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	•••••
3.1 Dünya Üzerinde Tuz Göllerinin Dağılımı	
3.2 Ekolojik ve Biyolojik Özellikleri	
3.3 Sosyo-Ekonomik Özellikleri	
3.4 Hidrolojik özellikleri	
3.5 İklimsel Özellikleri	
4. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER	•••••
4.1 Çalışma Alanı ve Özellikleri	
4.2 Kullanılan Veriler	
4.2.1 SAR verileri	
4.2.2 Optik veriler	
4.2.3 Yardımcı veriler	
4.2.4 Arazi çalışmaları ile elde edilen veriler	

5. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR İNTERFEROMETRİ TEKNİKLERİ İLE	
TUZ GÖLÜ DİNAMİKLERİNİN ANALİZİ	. 69
5.1 Optik Uydu Verilerin Mevsimsel Bazda Sınıflandırılması	. 69
5.2 SBAS Tekniği Kullanılarak Tuz Gölü Dinamiklerindeki Değişimin Belirlenm	iesi
-	.71
5.3 Mevsimsel olarak sınıflandırılmış uydu verileri ile SBAS sonuçları	nın
irdelenmesi	.75
5.4 Su Seviyesinin ve Tuz Rekoltesinin SBAS Tekniği ile Belirlenmesi	ve
Değişiminin İzlenmesi	. 80
5.5 PSInSAR Tekniği Kullanılarak Tuz Gölü ve Çevresinde Bulunan Alanlar	rda
Deformasyonun Belirlenmesi	.84
6. SONUÇLAR	. 95
KAYNAKLAR1	101
ÖZGEÇMİŞ1	117

KISALTMALAR

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri	
DInSAR	Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar	
ESA	European Space Agency	
HGM	Harita Genel Müdürlüğü	
HH	Horizontal-Horizontal	
HV	Horizontal-Vertical	
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar	
ККН	Konya Kapalı Havzası	
КОН	Karesel Ortalama Hata	
PSInSAR	R Persistent Scatterer Interferometry	
RADAR	Radio Detecting and Ranging	
RAR	Real Aparture Radar	
SAR	Syntethic Aparture Radar	
SBAS	Small BAseline Subset	
SLAR	Side Looking Radar	
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli	
TGB	Tuz Gölü Bileşenleri	
TGFZ	Tuz Gölü Fay Zonu	
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı	
UA	Uzaktan Algılama	
VH	Vertical-Horizontal	
VV	Vertical-Vertical	



SEMBOLLER

- Dielektrik Sabiti 3
- $f \\ \lambda$ Frekans
- Dalga Boyu
- Yoğunluk Santigrat Derece Standart sapma ρ °C
- Σ
- Genlik
- μ DA Genlik dağılım indeksi



ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Sayfa</u>

Çizelge 4.1 : Sentinel 1 görüntüleme modları (* Çalışmada kullanılan mod)61
Çizelge 4.2 : Tez çalışması kapsamında kullanılan Sentinel-1 uydusuna ait bilgiler 62
Çizelge 4.3 : Tez çalışması kapsamında kullanılan Sentinel-2 uydusuna ait bilgiler 63
Çizelge 4.4 : Tez çalışmasında kullanılan TUTGA noktalarının özellikleri 64
Çizelge 5.1 : TUTGA noktalarından elde edilen yatay (V) ve düşey (H) deformasyon
hızları
Çizelge 5.2 : PSInSAR yönteminde kullanılan Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri 87
Çizelge 5.3 : PSInSAR ve TUTGA noktalarından elde edilen hızlar ve noktaların
denk geldiği uyumluluk değerleri



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sayfa</u>

Şekil 2.1	: Azimut ve menzil çözünürlüğü geometrisi (η : Geliş Açısı, δRg: Menzil
	Çözünürlüğü, δRa: Azimut Çözünürlüğü, R : Menzil Mesafesi (Rm), Rf
	: Uzak Menzil, θ: Bakış Açısı, Sw : Tarama Genişliği)
Şekil 2.2	: SAR anteni çalışma prensibi
Şekil 2.3	: SAR sistemlerinde farklı dalga boylarının vejetasyon üzerindeki etkisi 30
Şekil 2.4	: SAR görüntülerinde meydana gelen geometrik hatalar
Şekil 2.5	: Tek geçiş ve tekrarlı geçiş interferometri yöntemlerigeometrisi
Şekil 2.6	: SAR İnterferometri geometrisi. (Birincil görüntü ve alımı (B, t1), İkinicil görüntü ve alımı (İ, t2), Ri-R _B ; uydu ve obje mesafesi)
Şekil 2.7	: Interferometrik veri işlem adımları
Şekil 2.8	: Genlik ve faz bilgilerinin vektörel gösterimi
Şekil 2.9	 Sentinel-1 SAR Uydusu için hesaplanan bakış doğrultusu, düşey yönlü deformasyon (θ_i:geliş açısı) ve örgelerin artış ve azalış durumundaki sakli verilmiştir.
Sabil 3 1	 Genis tuzlu toprak düzlüklerine sahin hipersalin göl örneği (Tuz gölü
ŞCRII 5.1	Türkiye) 45
Sekil 3.2	: Kalın tuz kabukları bulunan göl örneği (Tuz gölü Türkiye) 46
Şekil 3.3	: Dünya üzerinde bulunan önemli tuzlu ic denizler ve tuz göllerinin
Şenn Die	konumları
Şekil 3.4	: Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan Tuz Gölü'ndeki trombolitler (Kırmızı daire içine alınmıştır)
Şekil 4.1	: Çalışma alanının konumu ve arazi kullanım/örtüsü 55
Şekil 4.2	: KKH'da bulunan göllerin konumları ve yıllara göre su yüzey alanları (Ha)
01943	degişimi
Şekil 4.3	: IGFZ ve segmentlerinin gosterimi
Şekii 4.4	: Çalışma alanı ve kullanılan verilerin konumları 00
Şekii 4.5	oluşturulan deformasyon haritaları (Haritaların sol üst köşelerinde
Salvil 4.6	tarama anaman, çanşına anam siminan üzermide sununnuştur)
Şekli 4.0 Salvil 4-7	: Tuz gölü'nde ərəzi tiplerindeki değisim
Şekii 4.7 Səlvil 4 8	: TGB'nin ASD'den elde edilen snektral eğrileri ve Sentinel-2'nin farklı
ŞCKII 4. 0	mekansal çözünürlüğe sahip spektral bantlarının gösterimi
Şekil 5.1	: Sınıflandırma sonuçlarının genel doğruluk ve kappa değerleri
Şekil 5.2	: Sınıflandırma sonuç görüntüleri
Şekil 5.3	: Sentinel-1 görüntü alımlarının (kırmızı noktalar) zamansal baz uzunluğu
-	(x ekseni) ve dik baz uzunluğu (y ekseni). SBAS interferogram çiftleri, her iki farklı nokta arasındaki mavi çizgilerle gösterilmektedir
Şekil 5.4	: 2017-2018 dönemi için SBAS LOS yönündeki hız haritasıTuz Gölü ve
	çevresi (yaklaşık 1900 km2) kesilerek sunulmuştur (a), SBAS

ölçmelerinin standart sapmasının mekansal dağılımı (b), Farklı yapılara
sahip Tuz Gölü çevresinde çekilmiş fotoğraflar (c)
Şekil 5.5 : Sentinel-2 sınıflandırılmış görüntüleri ve ilgili sınıflandırma aralığına
karşılık gelen Sentinel-1 uyumluluk görüntüleri
Şekil 5.6 : Dört farklı mevsim aralığında AKAÖ sınıflarının ilgili tarih aralığındaki
tüm uyumluluk değerlerinin istatistiksel bilgileri (kutu grafiği)
Şekil 5.7 : Ortalama aylık yağış, buharlaşma ve uyumluluk değerleri. Meteorolojik
veriler istasyonların ortalama değerleri ile elde edilmiştir
Sekil 5.8 : Toprak Numuneleri (a), Kapların Hazırlanması (b), Fırınlanma asaması
(c)
Sekil 5.9 : TGB'nin her birinin zaman içindeki toplam alanı (bkz. Şekil 5.5). Bu
sınıflar icinde 0.45'ten büyük uyumluluk değerine sahip alanlar daha
kovu renkle gösterilmektedir
Sekil 5.10 : Dikev birime cevrilmis SBAS sonuclarından ve nivelman ölcmelerinden
elde edilen su sevivesi bilgilerinin arasındaki regresvon analizi
Sekil 5.11 : Yavsan Tuzlası'nda SBAS sonucları ile elde edilen tuz hareketleri 83
Sekil 5.12 : Kavacık Tuzlası'nda SBAS sonucları ile elde edilen tuz hareketleri 83
Sekil 5.13 : Kaldırım Tuzlası'nda SBAS sonucları ile elde edilen tuz hareketleri84
Sekil 5.14 : TUTGA noktaları ile hesaplanan vatav yöndeki hızların (mm/yıl)
gösterimi Kırmızı cizgiler holosen fay hatlarını mor renkler kuyaterner
fav hatlarını göstermektedir
Sekil 5.15 · PSInSAR vöntemi ile elde edilmis LOS vönündeki deformasvon hız
haritası
Sekil 5 16 · PSInSAR vöntemi ile göl icerisindeki tuzlaların deformasyonunun
izlenmesi Q0
Sekil 5 17 · Sekil 5 16 da gösterilen tuzlalara ait deformasyon grafiği 01
Sekil 5.17 : Şekil 5.10 da gösterinen tuzialara an deformasyon grangi
Solvil 5.10 · Solvil 5.18 de gösterilen tuzlelere eit deformession grefigi
genn 3.17. genn 3.18 de gosternen tuziatata an derorinasyon grangi

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR İNTERFEROMETRE TEKNİKLERİ İLE TUZ GÖLÜ DİNAMİKLERİNİN ANALİZİ

ÖZET

Sulak alanların önemli bir parçası olan tuz gölleri, yer altı su kaynaklarıyla beslenmeleri ve iklime karşı çok hassas olduklarından dolayı diğer göllerden ayrılmaktadır. Estetik, kültürel, ekonomik, rekreasyonel, bilimsel ve ekolojik değerlere sahip olan tuz gölleri çevresel ve iklimsel değişimin en önemli göstergeleridir. Çok soğuk ve yüksek sıcaklık gibi çeşitli koşullar altında var olabilen tuz gölleri, Dünya üzerinde bulunan tüm göllerin toplam hacminin %44'üne ve alanının %23'üne denk gelmektedir. Dünya üzerindeki tüm kıtalarda bulunan tuz gölleri genellikle buharlaşmanın yağıştan fazla olduğu kurak yapıya sahip havzalarda bulunmaktadırlar. Tuz gölleri, yüksek tuz seviyelerini tolere etmelerini sağlayan fizyolojik ve biyokimyasal biyotaya sahiptirler ve iklimde meydana gelen küçük değişikliklere bile oldukça duyarlı ve hassastırlar. Tuz gölleri gibi yüksek mineral oranına sahip sistemler, omurgasız hayvanlar, balık ve su kuşları gibi canlılar için uygun bir yaşam alanıdır. Dünya üzerinde bulunan tuz göllerinin yaklaşık üçte biri yarı kurak (yılda 200-500 mm yağış) ve kurak (25-200 mm) bölgelerde bulunmaktadırlar. Bu alanlarda buharlaşma yüksektir ve genellikle yağış miktarını aşmaktadır. Çok dinamik bir yapıya sahip olan tuz gölleri düşük oranda yaşanan iklimsel değişimlerden yada insan kaynaklı temaslardan oldukça hızlı ve dramatik bir şekilde etkilenen tuz göllerinin kısa zaman dilimlerinde mevsimsel olarak izlenmesi gereken önemli sulak alanlardır.

Uyduların taşıdıkları algılayıcılardaki gelişmeler, UA veri işleme aşamasında farklı metotların da gelişmesini tetiklemiş ve araştırmacıları farklı bilgi çıkarımlarına yönlendirerek sulak alanların izlenmesine yönelik yeni yöntemler ortaya çıkmıştır. Bunların en önemlilerinden biri, SAR algılayıcılarının genlik ve faz bilgisini kullanarak yeryüzünün hem yatay hem de düşeyde meydana gelmiş olan değişimlerin belirlenmesine olanak sağlayan InSAR metodudur.

Tuz göllerinin suyunun içinde bulunan tuz içeriği nedeniyle gelişmiş InSAR teknikleri kullanılarak su seviyesi ve tuz hareketleri gibi hacim dinamiklerinin izlenmesi ve araştırılması için uygun çalışma alanlarıdır. Meteorolojik değişimlerin yanı sıra tuz gölleri içerisinde ve çevresinde bulunan insan yapımı yapılarda oluşabilecek deformasyonlar göle ve göl habitatlarına doğrudan zarar vereceğinden dolayı belirli periyotlarda gözlemlenmelidir.

Bu amaçla tez çalışması kapsamında tuz gölleri hacim dinamiklerinin belirlenmesi için Türkiye'nin en büyük tuzlu gölü olan ve KKH'da bulunan Tuz Gölü belirlenmiştir. Türkiye'nin tuz ihtiyacının yarısından fazlası Tuz Gölü bölgesindeki tuzlalar ve ikincil tuz endüstrisi ile gerçekleştirilmektedir. Tuz Gölü, uluslararası kriterlere göre A sınıfına giren bir sulak alandır. Tuz Gölü Havzası 14.09.2000 tarih ve 2000/1381 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Bakanlar Kurulu Kararıyla Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak tespit ve ilan edilmiştir.08.08.2002 tarih ve 2002/4512 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Bakanlar Kurulu kararıyla Özel Çevre Koruma Bölgesi'nin sınırları 7414 km² ye genişlemiştir. Türkiye'nin ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü'nün tek benzeri Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Salar de Uyuni Gölü'dür. Tuz Gölü yüksek dağlarla çevrili ve kapalı bir havza özelliği taşıdığından denizlerin nemli ılıman havasının bölgeye girmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle Tuz Gölü Havzası, yaz mevsimlerinin sıcak ve kurak, kış mevsimlerinin ise soğuk ve kar yağışının hakim olduğu karasal iklim özelliklerine sahiptir. Yağış alanı geniş olmasına rağmen gölü besleyen dereler küçüktür ve yazın birçoğu kuru durumdadır. Tuz Gölü'nün derinliği gölün neredeyse tamamında 40 cm'yi geçmemektedir. Bölge ayrıca Orta Anadolu'daki önemli aktif tektonik öğelerin başında gelen kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı Tuz Gölü fay hattını içerisinde barındırmaktadır.

Tuz Gölü ve çevresindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla SAR ve optik uydu görüntülerinin yanı sıra bölgeye ait meteorolojik veriler, arazi ölçmeleri (Spektroradyometre ölçmeleri, Elektronik nem ölçmeleri, Nivelman ölçmeleri ve Toprak numunesi alımı) ve Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) elde edilen TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) noktalarından faydalanmıştır.

Çalışma alanı olan Tuz Gölü ve çevresinde bulunan yapay alanlar PsInSAR tekniğiyle, göl ,cerisnde bulunan TGB ise SBAS tekniğiyle irdelenmistir. Göl ici gibi sabit saçıcıların az olduğu alanlarda PSInSAR yöntemine göre daha iyi sonuç veren SBAS yöntemi ile TGB dinamikleri izlenmiştir. Bu amaçla öncelikle optik uydu verilerinde TGB'ler sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının genel doğruluğu Şubat, Nisan, Ağustos ve Ekim görüntüleri için sırasıyla %88,7, %87,9, %86,2 ve %87,5 olarak hesaplanmıştır. Sonrasında TGB'lerin sınıf bazında hem mevsimsel geçişlere olan davranışları hem de InSAR uygulamalarında doğruluğunu direk etkileyen uyumluluk değerlerinin davranışlarının irdelenmesi amaçlanmıştır. InSAR (coherence) aşamasında 34 adet yükselen VV polarizasyona sahip Sentinel-1 (87 numaralı yörünge) SAR görüntüsü kullanılmıştır. SBAS aşamasında toplam 128 interferogram üretilmiş ve belirtilen dönemdeki tüm görüntülerden 100 metrenin altında dikey baz uzunluğuna ve 60 günün altında bir zamansal baz uzunluğuna sahip olanlar kullanılarak zaman serisi üretilmiştir. Sonuçların maksimum standart sapması 2,75 cm/yıl olmasına rağmen, ölçmelerin %60'ının standart sapmasının 1 cm/yıl'ın altında olması, ölçmelerin güvenilirliğini göstermektedir. Sınıflandırma sonuçları ile uyumluluk haritaları arasındaki uyumluluk incelendiğinde tuz ve kuru toprak sınıflarında yüksek uyumluluk olduğu görülmüştür. Bitki örtüsü ve nemli toprakta orta düzeyde uyumluluk değerleri gözlemlenirken tatlı su sınıfında beklenildiği üzere en düşük uyumluluk değerleri görülmüştür. Vejetasyon sınıfı ile nemli toprağa ait uyumluluk değerleri birbirlerine yakın değerlere sahiptir ve orta derecede uyumluluk göstermektedirler. Kuru toprak ve tuz sınıflarının yüksek uyumluluk değerleri gösterdiği, su sınıfının ise en düşük uyumluluk değerini gösterdiği görülmektedir. Ağustos ayında gölün neredeyse tamamen kuruduğu ve bu durumun Ekim ayına kadar sürdüğü gözlemlenmiştir. Ekim ayından sonra su ile dolmaya başlayan göl, şubat ayında maksimum doluluk seviyelerine ulaşmıştır. Bu aydan sonra göl, mart ayına kadar doğal sınırları içinde kalmış, ardından tekrar kurak bir döneme girmiştir. Dört farklı mevsimde arazi çalışmalarında yapılan nivelman ölçmeleri ile elde edilen su seviyesi bilgileri ile SBAS'tan elde edilen su seviyesi bilgileri karşılaştırılmıştır. Şubat, Nisan, Ağustos ve Ekim aylarında SBAS ile su seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılan doğruluk karşılaştırmalarından elde edilen standart sapma değerleri sırasıyla 0,67, 0,80, 0,84 ve 0,95 olarak hesaplanmıştır.

Su seviyesinin belirlenmesi ve değişiminin SBAS ölçmeleri ile karşılaştırılıp incelenmesinden sonra tuzlalardaki SBAS bazlı yüzey değişimleri analiz edilmiştir.Tuz Gölü'nde bulunan 3 tuzla için hesaplanan tuz rekoltesi; Yavşan Tuzlası için 1.438 milyon ton, Kayacık Tuzlası için 1.838 milyon ton ve Kaldırım Tuzlası için 1,95 milyon ton olarak hesaplanmıştır.

Göl dışında meydana gelen deformasyonların belirlenmesi için TUTGA noktaları ve PSInSAR yöntemiyle incelemeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca PSInSAR sonuçlarının tutarlılığını belirlemek için elde edilen deformasyon bilgileri TUTGA noktalarından elde edilen mm hassasiyetindeki deformasyon bilgileri ile karşılaştırılmıştır. TUTGA sonuçları ile edilen sonuçlar, PSInSAR sonuçları ile yüksek pozitif korelasyon (r>0.95) ile uyumlu olduğu görülmüştür. Tuz göllerinde bulunan en önemli yapay alanların başında gelen tuzlaların setlerinde oluşan deformasyonlar incelendiğinde Kaldırım Tuzlasında yıllık 1 cm'lik bir çökme, Kayacık Tuzlasında yıllık 1.5 cm'lik bir çökme ve Yavşan Tuzlasında 0.5 cm'lik bir çökme gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan analizler göl sınırlarında her yıl ortalama 1-1.5 cm çökme meydana geldiğini göstermektedir.

Bu çalışmada optik verilerin görsel yorumlamadaki üstünlüğü ile SAR verilerinin yeryüzü hareketlerinin belirlenmesindeki üstünlüğü entegre edilmiş ve göl değişiminin nedenleri daha iyi yorumlanabilir hale gelmiştir. Bu nedenle özellikle tuz gölleri gibi dinamik ve sabit yansıtıcıların bulunduğu göl alanlarında yapılacak olan çalışmalarda optik ve SAR görüntüleri kullanılarak yer değiştirme haritalarının sınıflandırılmış görüntüler ile birlikte yorumlanması daha kapsamlı sonuçlara ulaşmak için önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.Tuz göllerinin hacim dinamiklerini gözlemlemek için bitki örtüsünün çok yoğun olmaması ve gölün sabit yansıtıcı objelere sahip olmaları koşullarıyla SBAS yönteminin kullanılabileceği görülmüştür. Tuz göllerinde, tuz içeriğinden dolayı su sınıfında dahi bilgi çıkarmanın mümkün olduğu ve SBAS yönteminin tuz göllerindeki su seviyesi ve tuz hareketleri gibi TGB'nin hacim dinamiklerini izlemek için uygun olduğu belirlenmiştir.

Kullanıcılarına hem L bandında hem de S bandında veri sağlayacak olan NASA-ISRO Sentetik Açıklıklı Radar (NISAR) misyonun faaliyete girmesiyle ileride yapılacak olan TGB hacim dinamiklerinin ve su seviyesinin belirlenmesi çalışmalarına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



ANALYSIS OF SALT LAKE DYNAMICS WITH ARTIFICIAL APERTURE RADAR INTERFEROMETRY TECHNIQUES

SUMMARY

Wetlands are important ecosystems and productive habitats due to their contributions such as the survival of many endemic plant and animal species, the control of floods, the improvement of water quality and the continuation of biological diversity. It is important to protect and monitor wetlands because of their aesthetic, cultural, socioeconomic, recreational, and ecological features, as well as their important contributions such as feeding groundwater resources, increasing agricultural soil productivity, regulating the water cycle, and reducing carbon emissions. To define a region as a wetland, three basic features must be present in the region: The first is wetland hydrology, which describes the water content in the area. The second is the physico-chemical properties of the area, which show that the area has a unique wetland soil structure. The third important feature is the biological diversity, which includes living species that survive in this area and have adapted by accepting the area as a habitat. These three basic features cannot be considered separately from each other in the definition and determination of wetlands.

Salt lakes, which are an important part of inland water ecosystems, are distinguished from other lakes because they are fed by underground water sources and are very sensitive to climatic conditions. Salt lakes, which have aesthetic, cultural, economic, recreational, scientific, and ecological features, are the most important indicators of environmental and climatic change. Salt lakes, which can exist under various conditions such as very cold and high temperatures, correspond to 44% of the total volume of all lakes on Earth and 23% of their area. Salt lakes on all continents in the world are generally located in arid basins where evaporation is higher than precipitation. Salt lakes have physiological and biochemical biota that allow them to tolerate high salt levels, and they are highly sensitive and responsive to even small climatic changes. Areas with high mineral content such as salt lakes are suitable habitats for invertebrates, fish, and waterfowl. About one third of the salt lakes in the world are in semi-arid (200-500 mm precipitation per year) and arid (25-200 mm precipitation per year) regions. Evaporation in these areas is high and often exceeds precipitation. Salt lakes, which are affected very rapidly and dramatically by low rate of climatic changes, human-induced contacts, and have a very dynamic structure, are important wetlands that should be monitored seasonally in short periods of time.

Remote Sensing (RS) technologies and methods developed in parallel with technological developments can be used as an ideal platform for monitoring and evaluating the volume dynamics of wetlands. By using satellite images, it is possible to obtain information about the wetland rapidly with the minimum need for ground measurements and the management policies can be determined.

The developments in the sensors carried by the satellites triggered the development of different methods in the RS data processing stage and led the researchers to develop

different information extraction methods. One of the most important of these is the InSAR method, which uses the amplitude and phase information of SAR sensors to determine both horizontal and vertical changes of the earth surface. DInSAR technique, which is the most basic radar interferometry technique, is calculated based on the phase difference between the SAR images detected at two different times. However, when evaluating the image pairs, reliable data of the study area may not be produced due to errors caused by steep base lengths, trajectories, temporal differences, differences in weather conditions and changes in topography (such as agriculture and forest areas). To solve this problem, advanced InSAR methods PSInSAR and SBAS methods have been developed to observe the deformations occurring at slow speed in a more sensitive and reliable way in the form of time series. While the PSInSAR method uses the phase information of only the highly correlated pixels in the study area, the SBAS technique analyses all the pixels in the study area and examines the scattered targets with high correlation values.

PSInSAR technique gives better results in areas with fixed reflective properties such as residential areas. It can also be used to determine deformations in wetlands in case of fixed scatterers in or around the wetlands.

In research areas such as open areas where fixed scatterers are not sufficient, the SBAS technique provides very sensitive information about surface deformations. However, in highly complex situations such as monitoring water level changes and salt movement, poor consistency arises due to low correlation values. There are distinct seasonal deformation features in these areas with water bodies. Therefore, temporal resolution should be as high as possible in determining volume dynamics such as monitoring the water level of wetlands.

Because of this feature, salt lakes are suitable study areas for monitoring and investigating volume dynamics such as water level and salt movements using advanced InSAR techniques. In addition to meteorological changes, deformations that may occur in man-made structures in and around salt lakes should be observed at certain periods, since they will directly damage the lake and lake habitats.

For this purpose, to determine the volume dynamics of salt lakes within the scope of the thesis, Lake Tuz, which is Turkey's largest salt lake and located in the Konya Closed Basin (KCB), was determined as the study area. More than half of Turkey's salt needs are met by the saltworks and secondary salt industry in the Lake Tuz region. It is a wetland in Class A according to international criteria. Lake Tuz Basin was determined and declared as a Special Environmental Protection Area with the decision of the Council of Ministers published in the Official Gazette dated 14.09.2000 and numbered 2000/1381. With the decision of the Council of Ministers published in the Official Gazette dated 08.08.2002 and numbered 2002/4512, the borders of the Special Environmental Protection Area expanded to 7414 km2. Lake Tuz, which is the second largest lake in Turkey, is the only similar of the Salar de Uyuni Lake in the United States. Since Lake Tuz is surrounded by high mountains and has the characteristics of a closed basin, it is not possible for the humid temperate air of the seas to enter the region. For this reason, the Lake Tuz Basin has continental climate features where summers are hot and dry, and winters are cold and snowy. Although the precipitation area is large, the streams feeding the lake are small and many of them are dry in summer. The depth of Salt Lake does not exceed 40 cm in almost all the lake. The region also contains the NW-SE trending Lake Tuz fault line, which is one of the most important active tectonic elements in Central Anatolia.

To determine the changes in Lake Tuz and its surroundings, in addition to SAR and optical satellite images, meteorological data of the region, land measurements (Spectroradiometer measurements, electronic humidity measurements, Levelling measurements and Soil sampling) and TUTGA (Turkish National GPS Network) points obtained from the General Directorate of Maps (HGM) was used.

The artificial areas in and around Lake Tuz, which is the study area, were examined with the PsInSAR technique, and the Lake Tuz Components (TGC) within the lake were examined with the SBAS technique. TGC dynamics were monitored with the SBAS method, which gives better results than the PSInSAR method in areas where there are few fixed scatterers such as in the lake. For this purpose, first of all, TGCs were classified in optical satellite data. The overall accuracy of the classification results was calculated as 88.7%, 87.9%, 86.2%, and 87.5% for the February, April, August, and October images, respectively. Afterwards, it is aimed to examine the behaviour of TGCs on a class basis, both against seasonal changes and the behaviour of coherence values that directly affect their accuracy in InSAR applications. In the InSAR phase, 34 Sentinel-1 (orbit 87) SAR images with ascending VV polarization were used. A total of 128 interferograms were produced in the SBAS stage, and time series were generated using those with a vertical base length of less than 100 meters and a temporal baseline of less than 60 days from all images in the specified period. Although the maximum standard deviation of the results is 4.88 cm/year, the standard deviation of 60% of the measurements is below 1 cm/year, indicating the reliability of the measurements. When the compatibility between the classification results and the compatibility maps was examined, it was seen that there was high compatibility in salt and dry soil classes. While moderate compatibility values were observed in vegetation and moist soil, the lowest compatibility values were observed in the freshwater class, as expected. The compatibility values of vegetation class and moist soil are close to each other and show moderate compatibility. It is seen that dry soil and salt classes show high compatibility values, while water class shows the lowest compatibility. It was observed that the lake was almost completely dry in August and this situation continued until October. The lake, which started to fill with water after October, reached its maximum occupancy levels in February. After this month, the lake remained within its natural borders until March, then entered a dry period again. The water level information obtained by levelling measurements made in field studies in four different seasons was compared with the water level information obtained from SBAS. The standard deviation values obtained from the accuracy comparisons made to determine the water level with SBAS in February, April, August and October were calculated as 0.67, 0.80, 0.84 and 0.95, respectively.

After determining the water level and comparing and examining its change with SBAS measurements, SBAS-based surface changes in the salt area were analysed. The salt yield calculated for the three lakes in Lake Tuz; It is calculated as 1.438 million tons for Yavşan Saltpan, 1.838 million tons for Kayacık Saltpan and 1.95 million tons for Pavement Saltpan.

To determine the deformations occurring outside the lake, investigations were carried out with TUTGA points and PSInSAR method. In addition, to calculate the accuracy of the PSInSAR results, the results obtained from the TUTGA points were compared. The results obtained with the TUTGA results were in mm precision and were found to be compatible with PSInSAR results with a high positive correlation (r>0.95). When the deformations formed in the sets of the saltpan, which is one of the most important artificial areas in the salt lakes, are examined, an annual collapse of 1 cm in the Kaldirim Saltpan, an annual collapse of 1.5 cm in the Kayacık Saltpan and a collapse of 0.5 cm in the Yavşan Saltpan have been observed. In addition, the analyses show that an average of 1-1.5 cm subsidence occurs on the lake borders every year.

In this study, by integrating the superiority of optical data in visual interpretation and the superiority of SAR data in determining ground movements, the causes of lake change have become better interpretable. For this reason, it has been concluded that, especially in the studies to be carried out in lake areas with dynamic and fixed reflectors such as salt lakes, image interpretation using optical images and interpretation of displacement maps using SAR images together are important to achieve more comprehensive results. It has been seen that the SBAS method can be used to observe the volume dynamics of salt lakes, provided that the vegetation is not very dense, and the lake has fixed reflective objects. It has been determined that in salt lakes, it is possible to extract information even in the water class due to the salt content, and the SBAS method is suitable for monitoring the volume dynamics of the TGC, such as the water level and salt movements in the salt lakes.

It is thought that with the launch of the NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar (NISAR) mission, which will provide data to its users in both L band and S band, it will make a significant contribution to the future TGC volume dynamics and water level determination studies.

1. GİRİŞ

Sulak alanlar, çok sayıda endemik bitki ve hayvan türlerinin varlığını sürdürebilmesi için önemli bir ekosistem ve verimli bir yaşam alanı sağlamaktadır (Costanza ve diğ. 2011). Ayrıca bulunduğu bölgenin hidrolojik döngü ve taşkın kontrolünün sağlanması, su kalitesinin artırılması ve korunması, göl erozyonunun kontrolü ve kıyıların korunması, biyolojik çeşitliliğin devam etmesi, vahşi yaşam için yaşam alanı olması ve ekonomik bakımdan balıkçılık, insan kaynaklı sera gazlarının atmosferik sıcaklığa olan negatif müdahalesinin hafifletilmesi gibi birçok olaya etkisi olan ekonomik ve biyolojik verimlilik merkezleridir (Coughanowr, 1998). Bir bölgenin sulak alan olarak tanımlanabilmesi için bölgede şu üç temel özellik bulunmalıdır: Birincisi alanda bulunan su içeriğini tasvir eden sulak alan hidrolojisidir. İkincisi alanın kendine özgü sulak alan toprak yapısına sahip olduğunu gösteren fiziko-kimyasal özellikleridir. Bu alanda hayatını sürdüren ve alanı bir yaşam alanı olarak kabul ederek adapte olmuş canlı türlerini barındıran biyolojik çeşitlilik ise üçüncü önemli özelliktir. Bu 3 temel özellik sulak alanların belirlenmesi ve tespit edilmesinde birbirinden ayrı düşünülemezler (OSİB, 2016).

Sulak alanlar, akılcı bir şekilde yönetilmesi ve korunması gereken ortamda bulunan habitat için yaşamsal öneme sahip ekolojik alanlardır. Sulak alanlar Dünya'nın en üretici ve besleyici ekosistemleri arasında olup, biyolojik çeşitlilik için vazgeçilmez bölgelerdir, sayısız türde hayvan ve bitkiye ev sahipliği yapmaktadırlar. Çok sayıda bitki, kuş, memeli, sürüngen, yırtıcı hayvan, amfibi hayvanı, balıkları ve omurgasız türleri desteklerler. Bitkilerin genetik materyaline depo görevi görmektedirler. Sulak alanlar su döngüsünde önemli bir yere sahip yapılardan biridir. Yağmur ve kar sularını emerek bünyesinde depolarlar. Zemin yapısına göre geçirgen özelliği bulunan sulak alanlar depoladıkları suları yeraltı su kaynaklarına iletirler. Daha sonra yeraltı su kaynakları ihtiyaç halinde sulak alanları besleme özelliğine sahiptir. Mutualist bir ilişkiyle birbirlerini destekleyerek bu döngü sayesinde atmosferdeki su yok olmadan sürekli olarak kullanılır (Duygulu, 2016). Suyun depolanması, taşkınların önlenmesi, kıyı stabilizasyonu, erozyon kontrolü, yeraltı suyunun kazanımı, çökeltilerin ve çevre

kirliliğine yol açan maddelerin tutulması, yerel iklim koşullarının özellikle yağmur suyu ve sıcaklık olmak üzere stabilize edilmesi gibi işlevleri de vardır. Sulak alanları kirleten maddeleri, sediment, toprak ve bitki örtüsünün içinde absorbe ederek suyun temizlenmesi ve arıtılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Genellikle tarım artığı sular ve kentsel atık sulardan kaynaklanan fosfor ve azot gibi besin maddeleri yüksek oranla sulak alanlar sayesinde azaltılabilmektedir. Bu işlev, bu besin maddelerinin içme amaçlı kullanılan yeraltı sularında zehirleyici düzeylere erişmesini engeller. Sulak alanlarda bulunan birçok bitki örtüsü, böcek ilaçları, sanayi atık suları ve maden işletmelerinin gerçekleştirdiği etkinliklerden oluşan kirletici ve zehirleyici maddelerin etkisini azaltma kabiliyetine sahiptirler (Zor, 2014). Aynı zamanda önemli ekonomik yarar da sağlamaktadırlar; bunlar, su kaynağı olarak kullanım, balıkçılık, tarım, kereste ve diğer yapı malzemelerinin sağlanması, turba ve bitkiler üzerinden enerji kaynaklarının sağlanması, vahşi yaşam kaynakları, taşımacılık, bitkisel tıpta sulak alan ürünlerinden faydalanılması, rekreasyon ve turizm alanları olarak kullanılması seklinde sıralanabilir. Sulak alanlar insanlığın kültürel mirasının bir parçası olarak özel bir öneme sahiptir (Liu ve diğ. 2014).

Dünya'da uluslararası olarak sulak alanlara yönelik ortaya konan ilk sözleşme 1971 senesinde Ramsar Sözleşmesi adı altında İran'ın Ramsar kentinde imzaya açılmıştır. Bu sözleşme ile sulak alanlar özellikle kuşların yaşama alanı olması nedeniyle belirlenen kriterler ışığında koruma altına alınmaktadır. Ülkemizde ise 1991yılında Çevre Bakanlığı bünyesinde "sulak alanlar birimi" kurularak bu alanların korunmasına öncülük edilmiştir. Yine aynı bakanlık tarafından 1993 yılında "Sulak Alanların Korunması Genelgesi" yayınlanmıştır. 1994 yılında Türkiye ilk defa Manyas Gölü, Burdur Gölü, Sultan Sazlığı, Seyfe Gölü ve Göksu Deltası'nı Ramsar sözleşmesine dahil ederek uluslararası bu sözleşmeye taraf olmuştur. Şu an ülkemizde Ramsar sözleşmesine dahil 14 adet alan, Ulusal Öneme Sahip 45 adet Sulak Alan ve Mahalli Öneme Sahip 8 adet Sulak Alan vardır (OSİB, 2016).

Ülkemizin hidro-meteorolojik verileri ile oluşturulan yağış yüksekliğinin ortalaması 1951 yılı ile 2000 yılı arasında 643 mm/yıl olup yıllık ortalama 501x109 m³ suya denk gelmektedir. Yeryüzüne düşen yağışın yaklaşık %55'i (274x 109 m³) buharlaşma nedeniyle atmosfere geri dönmekte, yaklaşık %14'lük (69x109 m³) kısmı yeraltı sularına kaynak olmakta, yaklaşık %31'lik (158x109 m³) kısmı ise akarsu ve nehirlere karışarak denizlere ya da kapalı havzalarda bulunan sulak alanlar ve gölleri beslemektedir (COB, 2008). Son 40 yıllık dönemde ülkemizde bulunan sulak alanlardan yaklaşık 1.300.000 ha; bilinçsiz bir şekilde kurutma ve doldurma gibi su sistemlerine yapılan yanlış müdahalelerden dolayı ekolojik ve ekonomik özelliğini kaybetmiştir (TÇDR, 2007). 1970'li tarihlere kadar sulak alanlara yeterli önem gösterilmemiş hatta birçok sulak alan sıtma ile mücadele kapsamında sivrisineklerin üremesini önlemek, yeni tarım alanlarının kazandırılması ve bölgede oluşan taşkınların önüne geçmek amacıyla kurutulmuştur (Gürer ve Yıldız, 2008). Buna ek olarak nüfusun hızlı artışı, sanayileşme, şehirleşme, yenilenebilir kaynakların göz ardı edilmesi, devamlılığı olmayan üretim ve tüketim eğilimi ve sulak alanların deformasyona uğraması hatta yok olma riski hızla artar duruma gelmiştir. Sulak alanların yeterince korunmaması, çölleşme, erozyon, taşkın, sel, tehlike altındaki türlerin ve vahşi yaşam alanlarının tahribi, iklimsel değişimler, heyelan gibi insanoğlunun etkisiyle hızlandırılan doğal afetler birleşerek sulak alanları ve içinde barındırdığı biyolojik çeşitliliği önlenemeyecek bir şekilde hızlıca yok etmektedir (Özbay, 2008). Ayrıca sulak alanların önemli ve zengin ekosistemine zarar geleceği düşünülmeden bu sistemlerin devam etmesini sağlayan akarsuların üzerine barajların inşa edilmesi, akarsu yataklarının yönünün değiştirilmesi, sulak alanlardan tarımsal amaçlı su temin edilmesi ve aşırı yeraltı suyu çekilmesi, sulak alanların hidrolojik yapısının deformasyona uğraması ile birlikte bu sistemin ekosisteminin de olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Buna en iyi örnek olarak İç Anadolu'da kurumuş olarak bulunan Sultan Sazlığı, Seyfe Gölü, Ereğli Sazlıkları ile bir önlem alınmazsa kuruma noktasına gelecek olan Eber, Akşehir, Kulu ve Tuz Gölü gibi pek çok sulak alan verilebilir (Erdem, 2004; Erdem, 2009).

Estetik, kültürel, sosyo-ekonomik, rekreasyonel, ve ekolojik özelliklerinin yanı sıra yeraltı su kaynaklarını beslemesi, tarımsal toprak verimliliğini artırması, su döngüsünü düzenlemesi ve karbon emisyonlarını azaltması gibi önemli katkılarından dolayı sulak alanların korunması ve izlenmesi önemlidir (Tiner, 2015; Canisius ve diğ. 2019).

Sulak alanların korunmasını, izlenmesini ve yönetimini amaçlayan politikalar, su seviyesi/alan/hacim, kirletici faktörler, girdi-çıktı ve çevresindeki endüstrinin göl üzerindeki etkisini ölçerek bir sulak alanın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini izlemeyi amaçlamaktadır (Ding ve Li, 2011). Bu varyasyonlar arasında hacim dinamikleri, habitattaki bitki ve hayvan topluluklarının popülasyonunu doğrudan etkileyen önemli bir parametredir; iklim değişikliği ve insan faaliyetleri bu değişimin

ana itici güçleridir (Van der Valk ve diğ. 2015; Rezaeianzadeh ve diğ. 2018; Hu ve diğ. 2017). Bu bağlamda, yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlüğe sahip (ölçü istasyonlarının sıklığı) göl yüzeyindeki ve su seviyelerindeki değişim hakkında bilgi edinilmesi sulak alanların izlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Liao ve diğ. 2020). Bununla birlikte, birçok gölde ölçüm istasyonları mevcut değildir veya gölün tamamı için homojen bir hidrolojik bilgi elde etmek için yeterli frekansta ölçme periyoduna ve sayısına sahip değildir (Hong ve diğ. 2010a). Bu istasyonların düşük mekansal çözünürlüğüne ek olarak, ölçme istasyonu verilerini yöneten ve ticaretini yapan kurum ve kuruluşlardan veri alınmasında zorluklar çıkabilmektedir (Schwatke ve diğ. 2015). Bu bağlamda, teknolojik gelişmelere paralel olarak geliştirilen uzaktan algılama (UA) teknolojileri, bu tür güncel problemlerin çözümü için ideal bir platform olup, sulak alanların hacim dinamiklerinin değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir (Yağmur ve diğ. 2020). Uydu görüntüleri kullanılarak arazi ölçmelerine minimum seviyede ihtiyaç duyularak hızlı bir şekilde sulak alan hakkında bilgi edinilebilmekte ve yönetim politikaları belirlenebilmektedir (Dervişoğlu 2021).

Tuz gölleri gibi mevsimsel ve iklimsel değişimlerden yüksek oranda etkilenen sulak alanlarda mevsimsel ya da daha sık periyotlarda gözlem yapılması daha sağlıklı bilgi edinilmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle optik uydu verilerinin yanı sıra gece ve gündüz her türlü hava şartında bilgi çıkarmamızı sağlayan Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar – SAR) uydu verileri günümüzde sulak alanların izlenmesinde sıkça kullanılmaktadır (Mahdianpari ve diğ. 2017; Na ve diğ. 2018; Canisius ve diğ. 2019; Rapinel ve diğ. 2020; Cai ve diğ. 2020).

UA araştırmacıları için en önemli aşama gerekli olan uydu verisine ulaşmaktır. Uygun koşulları sağlayan verinin bulunmasının yanı sıra birçok uydu verisinin ücretli olması araştırmacıların karşılaştığı maddi bir sorundur. Bu kapsamda 2008 yılında veri politikası değişikliğine giden Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Merkezi (United States Geological Survey- USGS) tüm kullanıcılara ücretsiz olarak veri sağlamasıyla araştırmacıların UA (yeni ve arşivlenmiş Landsat) verilerine erişmesi daha kolay olmuştur (Woodcock ve diğ. 2008).

Ayrıca Copernicus Programı kapsamında 2014 yılında ilk gözlem uydusunu uzaya fırlatan Avrupa Komisyonu, kullanıcılara ücretsiz alternatifler sunmaya başladı. Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency- ESA) tarafından oluşturulan bu program, Avrupa Birliği'nin gezegenimizi ve çevresini izlemeyi amaçlayan Dünya Gözlem (Earth Observation- EO) programıdır. Yer istasyonları, uydu sensörleri ve yerinde veriler aracılığıyla kullanıcılarına ücretsiz olarak erişilebilir bilgi hizmetleri sağlar. 2014 yılında Sentinel-1A SAR devamında ise diğer Sentinel grubu uyduların uzaya fırlatılması ve bu EO verilerinin ücretsiz bir şekilde paylaşıma sunulması ile tarım, iklim değişikliği, çevre, deniz gözlemi, sigorta, afet yönetimi ve mavi ekonomi gibi birçok araştırma alanında daha sıklıkla aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Copernicus, 2021).

Uyduların taşıdıkları algılayıcılardaki gelişmeler, UA veri işleme aşamasında farklı metotların da gelişmesini tetiklemiş ve araştırmacıları farklı bilgi çıkarımlarına yönlendirmiştir. Bunların en önemlilerinden biri, SAR algılayıcılarının genlik ve faz bilgisini kullanarak yeryüzünün hem yatay hem de düşeyde meydana gelmiş olan değişimlerin belirlenmesine olanak sağlayan İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR-Interferometric Synthetic Aperture Radar) metodudur. Yöntem, yaklaşık aynı baz mesafesinde bulunan farklı zaman dilimlerinde elde edilmiş SAR görüntülerindeki eş piksellerin faz bilgilerinin kıyaslanması mantığına dayanmaktadır (Orhan, 2018). En temel radar interferometri tekniği olan DInSAR (Differential SAR Interferometry) tekniği, iki farklı zamanda algılanan SAR görüntülerinin arasındaki faz farkına dayalı olarak hesaplanmaktadır. Buna rağmen görüntü çiftleri değerlendirilirken dik baz uzunlukları, yörüngeleri, zamansal farklılık, hava koşullarındaki farklılık ve topografyadaki değişimlerden (tarım ve ormanlık alanlar gibi) dolayı oluşan hatalardan kaynaklı olarak çalışma alanına ait sağlıklı veriler üretilmeyebilmektedir. Bu sorunun çözümü için yavaş hızda meydana gelen deformasyonların zaman serisi şeklinde daha hassas ve güvenilir bir şekilde gözlemlenebilmesi amacıyla gelişmiş InSAR metotları olan Sabit Yansıtıcı interfeormetrik SAR (PSInSAR) (Ferretti ve diğ. 2001) ve Kısa Baz Uzunluğu (SBAS) (Berardino ve diğ. 2002) metotları geliştirilmiştir. PSInSAR metodu çalışma alanındaki sadece yüksek korelasyon bulunan piksellerin faz bilgisini kullanarak işlemi gerçekleştirirken, SBAS tekniği, çalışma alanındaki bütün piksellerin tümünü analiz ederek korelasyon değeri yüksek olan dağılmış hedefleri incelemektedir.

PSInSAR yöntemi kullanılarak, yerleşim yerleri gibi daimi yansıtıcı özelliğine sahip bölgelerde daha iyi deformasyon sonuçları elde edilmektedir. İçerisinde ya da çevresinde sabit saçıcıların bulunması durumunda sulak alanlarda oluşan

5

deformasyonların belirlenmesinde kullanılabilmektedir (Cian ve diğ.2019; Vincent ve diğ.2021).

Sabit saçıcıların yeterli olmadığı açık alanlar gibi çalışma alanlarında, SBAS tekniği yüzey deformasyonları hakkında oldukça hassas bilgiler sağlamaktadır (Orhan, 2021; Caló ve diğ. 2017). Bununla birlikte, su seviyesi değişikliklerinin ve tuz hareketinin izlenmesi gibi oldukça karmaşık durumlarda, düşük korelasyon değerlerinden dolayı zayıf tutarlılık ortaya çıkmaktadır. Su kütlesine sahip bu alanlarda belirgin mevsimsel deformasyon özellikleri bulunmaktadır (Xiang ve diğ. 2020). Bu nedenle, sulak alanların su seviyesinin izlenmesi gibi hacim dinamiklerinin belirlenmesinde zamansal çözünürlük mümkün olduğunca yüksek olmalıdır (Hong ve diğ. 2010b).

İç su ekosistemlerinin önemli bir parçası olan tuz gölleri, yer altı su kaynaklarıyla beslenmeleri ve iklime karşı çok hassas olduklarından dolayı diğer göllerden ayrılmaktadır. Estetik, kültürel, ekonomik, rekreasyonel, bilimsel ve ekolojik değerlere sahip olan tuz gölleri çevresel ve iklimsel değişimin en önemli göstergeleridir (Riveros-Iregui ve diğ. 2017). Bu özelliğinden dolayı tuz gölleri gelişmiş InSAR teknikleri kullanılarak su seviyesi ve tuz hareketleri gibi hacim dinamiklerinin izlenmesi ve araştırılması için uygun çalışma alanlarıdır. Ayrıca tuz gölleri içerisinde ve çevresinde bulunan insan yapımı yapılarda oluşabilecek deformasyonlar göle ve göl habitatlarına doğrudan vereceğinden belirli zarar dolayı periyotlarda gözlemlenmelidir.

1.1 Tezin Amacı

Dünya üzerinde bulunan tuz gölleri içinde tuzluluk oranı en yüksek göllerden biri ülkemizde bulunan Tuz Gölü'dür. Tuz gölleri sığ yapısı nedeniyle hem iklimsel değişiklikler hem de dış müdahalelerden çok çabuk etkilenmektedir. Ekonomik, sosyal, kültürel katkılarının yanı sıra endemik sistemler için önemli bir koruma alanıdır. Bölgede endemik türdeki bitkilerin bulunmasının ve flamingo gibi canlılar için yaşam alanı olmasının en büyük nedeni Tuz Gölü Bileşenlerinden (TGB) en önemli bileşen olan ve besleyici özelliği bulunan tuzdur. TGB, su, tuz, nemli toprak, kuru toprak ve vejetasyondan oluşmaktadır. Çok hassas ve narin olan bu tür göllerin içerisindeki TGB mevsimsel olarak dinamik bir yapıya sahiptir. Yukarıda bahsedildiği üzere iklimsel ve dış etkenlerden dramatik bir şekilde etkilenebileceğinden dolayı kısa zaman aralıklarında izlenmesi gerekmektedir. Örneğin çok sığ bir derinliğe sahip olduğundan dolayı göle giren akarsulardan birinden tarımsal amaçlı su çekilmesi dolayısıyla yeterli besin kaynağı bulamayacak olan göl içerisinde kuluçka döneminde bulunan kuşlar için ölümcül tehlikeler oluşabilmektedir. 13 Temmuz 2021 tarihinde benzer bir olay Tuz Gölü'nde meydana gelmiş besin yetersizliğinden dolayı yaklaşık 5000 flamingo telef olmuş ve bunun sonucunda yerel yönetim tarafından soruşturma başlatılmıştır (URL-1). Bu tür olayların önüne geçilmesi amacıyla tuz gölündeki su seviyesi değişimlerin belirlenmesi, tuz oluşumunun izlenerek kontrol altında tutulması, endemik bitkileri de içeren bölge vejetasyonunun ve toprak yapısının oluşabilecek dinamik değişimlere tepkilerinin izlenmesi gerekmektedir.

Klasik UA teknolojileri kullanılarak sulak alanların gözlenmesi çalışmalarında genellikle sulak alan sınırları ve su yüzey alanı bilgileri üzerinden uygun yönetim politikaları oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca literatürde yapılan çalışmaların sulak alanların aylık, mevsimlik ya da senelik periyotlarda izlendiği görülmektedir. Fakat tuz gölleri gibi çok sığ, hassas ve değişken yapıya sahip göllerde haftalık yağışın etkisi dahi su seviyesinde etkili bir değişimin ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Klasik UA metotları su seviyesi ve tuz hareketleri gibi sulak alan hacim dinamiklerinin belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle daha sağlıklı ve güvenilir sulak alan yönetim politikaları oluşturulması amacıyla gelişmiş InSAR teknikleri kullanılarak kapsamlı bilgiler üretilmelidir.

Her sulak alanın kendine özgü batimetri özelliği mevcuttur. Su seviyesi gölün her noktasında farklı olacağı gibi su seviyesindeki derinlik doğrusal olmayabilir. Buna en iyi örnek Konya Kapalı Havzası içerisinde bulunan ülkemizin en sığ ve ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü'dür. Göl tabanı doğrusal olmaması nedeniyle ters çanağa benzer şekilde kıyı kesimlerine oranla orta kısımlarda daha sığ su yüksekliğine sahiptir. Ayrıca göl içerisinde bulunan tuzlalardaki faaliyetler ve meteorolojik değişimlerden etkilenmekte böylelikle su seviyesi çok değişkenlik göstermektedir. Bu özelliklerinden dolayı Tuz Gölü tezin amacına uygun olarak çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

Literatürdeki sulak alanlarda gerçekleştirilen benzer araştırmalar irdelendiğinde İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR) tekniği kullanılarak çok az çalışma olduğu ve tuz gölleri hacim dinamiklerinin belirlenmesine yönelik araştırma eksikliği olduğu görülmüştür. Bu kapsamda 1 yıllık zaman diliminde 12 gün zamansal çözünürlüğe sahip Sentinel-1 SAR görüntüleri, PSInSAR ve SBAS metotları kullanılarak göl içerisi ve dışarısında bulunan tuz gölleri dinamiklerinin gözlemlenmesini amaçlanmıştır. Ayrıca optik veriler, arazi ölçmeleri ve yardımcı veriler kullanılarak sonuçlar desteklenmiş ve daha güvenilir sulak alan yönetim politikalarının oluşturulması amacıyla altlık harita ve verilerin oluşturulması amaçlanmıştır. Tezin genel amaçları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Tuz gölü dinamikleri tanımlanacak ve SBAS metotlarıyla hesaplanacaktır.
- Göl içerisinde ve çevresinde bulunan yapılardaki deformasyon sonuçları PSInSAR metoduyla ortaya konacaktır.
- Optik veriler mevsimsel olarak sınıflandırılarak oluşturulacak olan arazi örtüsü sınıflarıyla InSAR sonuçlarının kalitesi ile doğrudan alakalı olan uyumluluk (Coherence) haritaları arasındaki ilişkiler irdelenecektir.
- InSAR ile hesaplanan su yüksekliği ve tuz hacmi gibi tuz gölü dinamiklerinin arazide yapılan ölçmeler ile ilişkileri araştırılacaktır.
- Klasik UA metotlarıyla elde edilen iki boyutlu bilgilere ek olarak üçüncü boyutta oluşan değişimleri gösteren bilgiler elde edilerek sulak alan yönetim politikalarının daha güvenilir hazırlanması için altlık sağlanacaktır.

1.2 Tezin Önemi

Bu tezin önemi ve diğer çalışmalardan ayırt edici olan özellikleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Bu tezin diğer çalışmalar karşısında en önemli farkı TGB'nin sadece alan bazında değil 3. Boyutta yükseklik ve hacim dinamikleri gibi bilgilerinde UA metotlarıyla hesaplanmasıdır. Bu amaçla optik ve SAR (InSAR) görüntülerinden ve farklı mevsimlerde gerçekleştirilen arazi çalışmalarından yararlanılmıştır.
- UA ve gelişmiş metotlar kullanılarak Tuz Gölü ve çevresinde meydana gelen değişimler bütüncül bir şekilde elde edilerek yönetim politikalarında kullanılacak altlıklar üretilmiştir.
- Tuz üretiminde ülkemize en fazla ekonomik katkısı olan Tuz Gölü içerisinde bulunan tuzlalarda senelik tuz rekolte hesabı gelişmiş UA teknolojileri ve gelişmiş InSAR metodları kullanılarak ilk defa hesaplanmıştır. Ayrıca uluslararası literatür irdelendiğinde bu alanda yapılan ilk çalışmalardan biri gerçekleştirilmiştir.
SBAS ve PSInSAR metotları kullanılarak sulak alan çevresinde meydana gelen yüzey deformasyonları zamansal seri olarak ortaya konmuş ve göle risk oluşturması konu olabilecek sorunlar araştırılmıştır.

Tez sonucunda elde edilen sonuçların sulak alanlar yönetim stratejileri ve politikalarının belirlenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası yayınlar ile paylaşılarak gerekli mercilerin ilgisine sunulacaktır.

1.3 Literatür Araştırması

Ekolojik dengenin sağlanması için büyük öneme sahip sulak alanların korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması önemli bir husustur. Sulak alanlardaki değişimlerin belirlenmesine ve sorunların ortaya konularak bu alanların rehabilitasyonuna katkı sağlamak bölgedeki birçok sorun bakımından (göçmen kuşların konaklaması, bölgedeki yerel halka sosyo-ekonomik katkı, iklim koşulları, hidrolojik döngü, taşkın kontrolü vb.) ihtiyaçtan öte bir gerekliliğe dönüşmüştür. Bu nedenle sulak alanlar araştırmacılar için önemli bir çalışma konusu durumundadır.

Sulak alanlarda oluşan değişimlerin belirlenmesi, sorunların tespiti ve rehabilitasyonu konularında uluslararası çalışmalar bulunmaktadır. Bunun yanı sıra kısıtlı sayıda ulusal çalışmanın da yapıldığı görülmektedir. Sulak alanlarda yapılan çalışmaların 2000 yılından sonra, teknolojik gelişmeler, çevre bilincinin artması, sulak alanların öneminin daha fazla kavranmaya başlanması ve birçok faydasının ortaya çıkması sonucunda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu gelişmeler ışığında ülkemizdeki sulak alanların önemi anlaşılmış ve Karadeniz ve diğerleri (2009) Orman ve Su İşleri Bakanlığı altında Sulak Alan Araştırma Merkezinin kurulması gerekliliğine değinmiştir.

Teknolojik gelişmelerle kullanımı yaygınlaşan UA ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile sulak alanların belirlenmesi, zamansal olarak irdelenmesi, sorunların ortaya çıkarılması ve elde edilen verilerle karar destek sistemlerinin kurulması önemli bir çalışma konusu oluşturmuştur. Oluşturulan karar destek sistemleri ile sulak alanın rehabilitasyonu için gerekli adımların belirlenmesine katkı sağlanmaktadır.

Tez konusu ile ilgili uluslararası ve ulusal literatür incelendiğinde, sulak alanların Dünya'da önemli çalışma alanlarından biri olduğu ve bu alanlarla ilgili bilgi üretilmesinde ve izlenmesinde farklı özellikteki UA verilerinin kullanıldığı görülmektedir Sulak alanlarda optik, SAR ve optik&SAR entegrasyonu çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların birçoğunun sulak alanlardaki değişimleri alan bazında incelediği, son dönemlerdeki çalışmalarda ise hacim ve su seviyesi/yüksekliği bazında çalışmaların olduğu görülmüştür.

Sulak alanların izlenmesi, bu alanlarda veri/bilgi üretilmesi, yönetimi ve modellenmesi için veri sağlama gibi amaçlarla yapılan çalışmalarda hava fotoğrafları ve 1970'li yılların ortasından itibaren de uydu verileri başlıca kaynak olarak kullanılmaktadır. Önceleri hava fotoğraflarının sayısallaştırılması ile başlayan araştırmalar günümüzde otomatik sınıflandırma yöntemleri ve bu sonuçların CBS'ye aktarılıp analizi ile birçok çalışmada temel oluşturmaktadır (Tiner ve diğ. 2015).

Gerçekleştirilen literatür araştırması, "Sulak alanlarda optik&SAR kullanımına ilişkin literatür çalışmaları", "Tuz göllerindeki değişimlere yönelik literatür çalışmaları", "Çalışma alanı ve çevresine ilişkin literatür çalışmaları" isimli alt başlıklar ile sunulmuştur.

1.3.1 Sulak alanlarda optik&SAR kullanımına ilişkin literatür araştırması

Sulak alanlarda SAR görüntüleri kullanılarak yapılan ilk çalışmalardan biri Yamagata ve Yasuoka (1993) SAR geri yansıtım değeri kullanılarak Kushiro bataklığında ERS-1 ve JERS-1 görüntülerin karşılaştırılması çalışmasıdır. Çalışma sonucunda sulak alanlardaki özelliklerin belirlenmesinde JERS-1 görüntüsünün daha hassas doğrulukta sonuç verdiği belirtilmiştir.

Prigent ve diğ. (2001) batık sulak alanlarını belirlemek için NDVI (AVHRR) ve SAR (ERS-1) uydu görüntülerini kullanmıştır; Brown ve diğ. (2007) turbalık alanların hidrolojik koşullarının izlenmesi ve yosun habitatlarının hâkim olduğu yerlerde yüzeye yakın nem stresinin saptanması için yüksek mekansal çözünürlükte uzaktan algılama verileri kullanmıştır.

Landsat (TM) görüntüleri, bitki örtüsü topluluk tipleri ve bitki topluluk yapısının sınıflandırması için Kuzey Karolina'nın kuzey doğusundaki Roanoke Nehri'nin taşkın yatağında (Townsend ve Walsh, 2001) ve kıyı sulak alan bitki örtüsünün sınıflandırılmasında Çin'in Jiangsu şehrinde bulunan Yancheng Ulusal Doğal Kaynağında (Ke ve diğ. 2011) kullanılmıştır.

Wang ve diğ. (2003) Shenzhen'de 1988-1996 yılları arasındaki Landsat TM görüntülerinden faydalanarak arazi örtüsü ve su kalitesi değişikliği analiz edilmiştir. Elde edilen yüksek doğrulukta sonuçlar ile su kalitesinin izlenmesinde Landsat TM uydu görüntülerinin kullanılması önerilmiştir.

Kurucu ve diğ. (2006) SAR görüntülerinin toprak nemi belirleme konusundaki çalışmalara yapacağı katkıları araştırılmışlardır. 2006 yılının mayıs ayına ait RADARSAT–1 ile SPOT–2 uydu görüntülerine ait bantlarına bant birleştirme tekniği kullanarak bütünleştirilmiş ve gravimetrik yöntem kullanılarak belirlenmen toprağın değişken nem içeriği ile geri yansıma değerleri arasında pozitif yüksek korelasyon bulunmuştur.

Lang ve diğ. (2008) Amerika Birleşik Devletleri'nin orta Atlantik bölgesindeki ağaçlı bir sulak alanı farklı polarizasyondaki bandlara uyguladığı PCA ile yüksek kolerasyon ile belirlemiş ve SAR verilerinin sulak alanlarda kullanılmasının önemine değinmiştir.

Zhang ve diğ. (2009) Ramsar Anlaşması'na göre uluslararası öneme sahip 2 sulak alanda 1976-2005 yılları arasındaki 30 yıllık bir zaman diliminde Landsat MSS/TM görüntülerini kullanarak arazi sınıflandırması ve değişim analizi yapmışlar ve doğal rezerv alanında önemli bir değişim tanımlamışlardır. Değişim analizlerine göre etkili bir havza koruma önleminin alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Arjantin Paraná Nehri Deltası'nın sulak bataklıklarında; su seviyesinin değerlendirilmesi, farklı sel durumları ve bitki örtüsü bileşimlerinde toprak etkileşimlerinin anlaşılması ve bunların üzerine çalışılması için benzer prosedürlerle radar UA kullanılmıştır (Grings ve diğ. 2009).

Kasischke ve diğ. (2009) Alaska sulak alanında belirlediği beş farklı tipte sulak alanın (ormanlı, ormansız, turbalık, otsu vejatasyon) ERS C-band SAR geri yansıtım değerlerini kullanarak toprak nemliliğinin belirlenmesinde sulak alan tiplerinin etkisini araştırılmışlardır. Farklı hidrolojik sınıfların yorumlanmasında ERS SAR verisinin kullanılabileceği belirtilmiştir.

Bwangoy ve diğ. (2010) Kongo Havzası'ndaki sulak alanda 1990-2000 yılları arasında radar ve optik uydularından elde edilen sınıflandırma sonuçları, SRTM'den elde edilen yükseklik verisi ve türevleri (eğim, bakı), orman envanter verileri raster olarak 57 metreye örneklenmiş ve bir sistemde entegre edilerek matematiksel ve istatistiksel işlemler kullanılarak sulak alanın geleceğe yönelik projeksiyonu yapılmıştır.

Durduran, (2010) Konya Kapalı Havzası'nda bulunan 11 sulak alanın yaklaşık 15 yıldaki su alanındaki farklarını Landsat uydu verisini kullanarak elde etmiştir. Su alanlarında %90'lara varan azalmaların olduğu tespit edilmiştir.

Sulak alanların mevcut durumunun izlenmesinin tipik örneklerinden biri Dabrowska-Zielinska ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmadır. Polonya'daki sulak alanların yönetimi multi-spektral uzaktan algılama tekniklerini toprak amacıyla nemi ve evapotranspirasyondaki (terleme buharlaşma) değişimi görmek ve için uygulamışlardır.

Chaouch ve diğ. (2011) Meksika'nın Kuzey körfezinde sele yatkın alanların belirlenmesi için 2002-2004 yılları arasında Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile alanın topoğrafyası oluşturulmuş, optik ve radar görüntüleri sınıflandırılarak zamansal olarak muhtemel sel taşkın alanları belirlenmiştir.

Swan Coastal Plain (SCP), Batı Avustralya'nın güneybatısında yer alan 1500'den fazla sulak alan ile küresel biyo-çeşitlilik açısından bilinen önemli bir bölgesidir. Burada %70'den fazla sulak alanın kaybedildiğini Tulbure ve Broich (2013) ise 1999- 2011 yılları arasındaki Landsat TM ve ETM+ görüntüleri kullanıp zamansal ve konumsal zaman serileri oluşturarak belirlemişler ve sulak alanlardaki değişimin belirlenmesi ve izlenmesinde UA'nın faydalı bir yöntem olduğu ve ülkelerin kendi sulak alanları için de uygulayabileceklerini bildirilmişlerdir.

Wua ve Liua (2014) Çin'in en büyük içme suyu gölü olan ve son yıllarda büyük oranda kuruyan Poyang Gölü'nde 2000-2011 yılları arasındaki değişimi MODİS uydu görüntüleri kullanarak incelemişlerdir. MODİS görüntülerine uygulanan NDWI ile göl-yüzey alanının belirlenme doğruluğu üzerine yapılan çalışmada Landsat uydu görüntülerinin sonuçları ile yüksek korelasyon bulunmuştur.

Van Beijma (2014) uçak ile elde edilmiş olan dört polimetreli S-band ve X-band, yükseklik verisi ve optik verinin kombinasyonuyla elde edilen 30 adet değişken analiz edilmiştir. Random Forest ile sınıflandırılan görüntüler sonucunda en iyi sonucun X-band SAR verisinden elde edildiği, vejetasyonların ayrımında ise S-band SAR verisinin daha doğru sonuç verdiği görülmüştür.

Robertson ve diğ. (2015) Kanada'nın doğu Ontario eyaletindeki sulak alanda yüksek çözünürlüklü polimetrik RADARSAT-2 ve WorldView-2 görüntüleri kombin edilerek

sınıflandırılmıştır. Obje tabanlı gerçekleştirilen sınıflandırma sonuçlarının sulak alanlarda daha yüksek doğruluk verdiği ortaya konulmuştur (%87).

Karaman v ve diğ. (2015) Denizli'de bulunan Acıgöl sulak alanındaki mevsimsel su değişimini incelemek için CHRIS/Proba hipersipektral görüntüsü kullanmıştır. Bu amaçla Eylül 2011 ve Haziran 2012 tarihli 2 farklı mevsimdeki uydu görüntülerine normalize edilmiş su indeksi uygulayarak su alanlarını çıkarmıştır. Sonuç olarak sulak alanlar üzerinde mevsimsel değişimlerin etkili olduğunu ve su alanının yarı oranda azaldığını tespit etmişlerdir.

Cai ve diğ. (2015) yine Poyang Gölü'nün 2003-2006 yılları arasındaki MODİS görüntülerine NDVI uygulamış ve lineer fonksiyon ile farklı zaman dilimlerindeki su seviyeleri belirlenmiştir. Bu su seviyeleri, entorpole edilen su seviyesi ölçme istasyonları verileriyle karşılaştırılmıştır ve sonuçların yüksek korelasyonlu olduğu görülmüştür.

Butt ve diğ. (2015) İslamabad Rawal Havzası'nda uydu verileri kullanarak 1992-2012 yılları arasındaki değişimleri analiz etmiş ve arazi kullanım sınıflarının çok büyük değişimler gösterdiğini belirlemişlerdir. Bulgular yeryüzünün hızlı değişimlerini belirleyebilmek ve sulak alanları koruyabilmek için uygun bir yönetim planı oluşturulması gerektiğini göstermektedir.

Kaplan ve Avdan (2017) Balıkdamı sulak alanındaki çalışmalarında Sentinel-1 SAR verisi kullanarak sulak alanlardan bilgi çıkarımında polarizasyonun etkisini araştırmışlardır. Tek, çift polarizasyon ve matematiksel işlemlerle (toplama, çıkarma) elde edilmiş 3 bandlı kombinasyonlar ile sınıflandırdıkları uydu görüntülerinin sonuçlarını World-View-2 optik uydu görüntüsünü referans kabul ederek karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak görüntülerin sınıflandırma sonuçlarından tek ve çift polarizasyonun sulak alanlardan bilgi çıkarımında etkisiz olduğunu, 3 bandlı kombinasyonlu görüntülerin sınıflandırma sonuçlarından ise sulak alanlardan bilgi çıkarılabileceği kanısına varmışlardır.

Franklin ve diğ. (2017) Kanada'nın kuzeye yakın kısmında bulunan sulak alan ile kaplı bölgenin çamur, bataklık, toprak, hidroloji, vejetasyon gibi morfolojik özelliklere ayrılması amaçlanmıştır. Bu amaçla RADARSAT-2 SAR uydu görüntüsü ve Landsat-8 OLI uydu görüntüsü birleştirilmiş ve ana bileşenler dönüşümü (Principal Component Analysis-PCA) analizi uygulanmıştır. PCA sonucu elde edilen görüntü makine öğrenme algoritması kullanılarak obje tabanlı sınıflandırma yöntemiyle, Maksimum Likelihood Algoritması (MLA) kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemiyle belirlenen sınıflara ayrılmıştır. Bataklık ve çamur sınıflarının doğruluğuna yoğunlaşan makalede füzyon edilmiş verinin obje tabanlı sınıflandırılmasının en doğru sonucu verdiği belirtilmiştir.

Optik uydu görüntüleri genellikle sulak alan ve vejetasyon gözleminde yağış alan bölgelerde atmosferik etkilerden kaynaklı olarak yetersiz kalmaktadır. Özellikle muson iklimi etkisi altında bulunan yerlerde (bu dönem birçok önemli vejetasyonun gelişim gösterdiği zamanlardır) uzun süreler boyunca arzu edilen optik görüntüler elde edilememektedir (Morandeira ve diğ. 2016). SAR verisinin yeryüzü hakkında bilgi ediniminde optik veriye göre avantajları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi bulutlara penetre etme özelliğidir. Böylelikle SAR verileri uzaktan algılamada yeni bir çalışma alanı oluşturmuştur (Kasischke ve diğ. 1997). Ayrıca son yıllarda ise gelişen teknoloji sonucunda ortaya çıkan InSAR metotları kullanılarak SAR verilerinden sulak alanlardaki yatay ve düşeyde oluşan değişimler elde edilebilmektedir.

Alsdorf ve diğ. (2001) Amazon bölgesindeki sulak alanlarda su seviyelerini belirlemek ve farklı bandların sonuçlarını karşılaştırmak için C ve L bandlarından ayrı ayrı interferogram oluşturarak karşılaştırmışlar. L-HH bandının sulak alanlarda vejetasyona penetre olma özelliği ve çift yansıma özelliğinden dolayı daha doğru sonuçlar verdiği kanısına varmışlardır.

Kasischke ve diğ. (2003) Güney Florida'daki sulak alanları 25 aylık dönemde SAR geri yansıtım değerlerini ve eğitim verilerini kullanarak ağaçlı, ağaçsız, dalgalı ve dalgasız gibi sulak alan sınıflarına ayırmışlardır. Ayrıca SAR görüntüleri ile bu dönemdeki toprak nemliliği ve biyokütle sonuçlarına ulaşmışlardır.

Wdowinski ve diğ. (2006) sulak alanların su seviyelerinin belirlenmesinde hangi uydunun daha yüksek çözünürlükte interferogram ürettikleri ile ilgili birçok sulak alan tipini içerisinde barındıran Everglades sulak alanında yaptıkları çalışmada; ERS-1/2, JERS-1, RADARSAT-1 ve ENVISAT uydularının görüntüleri kullanılmıştır. HH polarizasyonu kullanılan tüm uydu görüntülerinde en iyi sonucu yaklaşık 7 metre çözünürlükle elde edilen JERS-1 ve RADARSAT-1 uydu verileri olarak belirlenmiştir.

Hong ve diğ. (2010) Güney Florida'da bulunan Everglades sulak alanı içerisinde seçtikleri örnek bir alanda yaptıkları çalışmada, interferometrik SAR tekniği kullanarak 2006-2008 yılları arasında, baz mesafeleri 64 metre ile 1367 metre arasında değişen toplam 28 adet RADARSAT-1 uydu görüntüsü kullanarak sulak alanlardaki su seviyelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Ardışık ve birbirlerine bağlı olarak üretilen 28 adet interferogram kullanılarak sulak alandaki 2 yıllık toplam su seviyesinin değişimi hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda buldukları değerler ile su seviye istasyon değerleri arasında yaklaşık 6.6 cm karesel ortalama hata elde etmişlerdir.

Medina ve diğ. (2010) Guatemmala'nın kuzeydoğusunda bulunan sığ ve bölgesel iklimden etkilenen Izabal Gölü'nün su hacmini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla ENVISAT Radar altimetre ve 12 ENVISAT ASAR görüntüsü kullanmışlardır. Izabal Gölü'ne ait herhangi bir batimetri verisi ve göl su hacmi bilgisi olmadığından dolayı elde ettikleri sonuçların sadece mevcut olan su seviyesi bilgisi ile olan kolerasyonuna bakılmıştır. 0.9 korelasyon bulunan sonuçlara göre Izabal Gölü'nün su hacmi 8271.2 * 106 m3 ile 9018.15 * 106 m3 arasında değişmektedir.

Marechal ve diğ. (2012) RADARSAT-2 uydu verilerini kullanarak mevsimsel değişimi incelemek amacıyla zamansal değişim analizi yapmıştır. Bu amaçla Kontrollü PoISAR (polarimetrik SAR) segmentasyon yöntemi kullanmış ve elde edilen sonuçların sulak alanlarda bulunan özellikleri elde etmek için yeterli olduğunu tespit etmiştir.

Hong ve diğ. (2015) Amerika'nın en büyük astropikal sulak alanı olan Florida Everglades sulak alanını PoISAR kullanarak obje tabanlı olarak sınıflandırmayı amaçlanmıştır. Bu çalışmada yazarlardan ikisinin geliştirdikleri H&W (Hong ve Wdowinski) dört-bileşen dönüşümü (tek, eş-pol, çarpraz-pol ve yoğunluk saçılma) kullanılmış ve doğruluk analizi RapidEye görüntüsünün sınıflandırılması ile yapılmıştır (%85).

Martinis ve diğ. (2015) Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR) altında yer alan Alman Uzaktan Algılama veri merkezi (DFD) tarafından su ve su taşkın alanlarının belirlenmesi amacıyla desteklenen, geliştirilen ve uygulamaya konulan aynı zamanda DLR tarafından kullanılan 4 farklı programı karşılaştırmışlardır. Bu 4 program WaMaPro, RaMaFlood, TFS ve TanDEM-X görüntüleriyle çalışan TDX WAM'dır. Bu programların performanslarını Vietnam, Hollanda, Almanya, Mali ve Çin'de bulunan sulak alanlarda yapılan uygulamalar ile karşılaştırmışlardır. Farklı ülkelerde programlar ile elde edilen sonuçların doğruluk analizleri arasında küçük farklılıklar olsa da genel olarak RaMaFlood ve TDX WAM programlarının iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Zhao ve diğ. (2016) Tibet'in güney doğusunda bulunan Yangzhuoyong Gölü'nde 2003-2010 yılları arasında su seviyesinin SBAS ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Toplam 20 ENVİSAT ASAR görüntüsü kullanılmış ve 92 adet interferogram üretilmiştir. 20 görüntünün 4 tanesi 2004-2005 yılları arasında, 5 tanesi 2007-2008 yılları arasında ve 11 tanesi 2009-2011 yılları arasında bulunmaktadır fakat interferogram çiftleri hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir. Sonuç olarak sulak alan dışındaki yer yüzeyinde 1 cm deformasyon, yaklaşık 3 metre de su seviyesinde farklılık bulduklarını belirtmişlerdir.

Yuan ve diğ. (2016) Çin'in Shandong şehrinde bulunan Sarı Nehir Deltası'ndaki sulak alanın 17 adet ALOS PALSAR Fine Beam mod görüntülerinin SAR geri yansıtım değerlerini kullanarak 2007-2010 yılları arasındaki su derinliğini hesaplamayı amaçlamışlardır. Örnek 2 alanda oluşturdukları modeli farklı bir bölgeye uygulayarak göl derinliğinin 15-65 cm arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Göl alanının ve derinliğinin kuzeybatı yönünde arttığını bulmuşlardır.

Sulak alanlardaki hidrolojik bilgilerin daha doğru bir şekilde elde edilmesinin geçmişe yönelik ölçme bilgilerinin işleme dâhil edilmesine bağlı olduğu Jaramillo ve diğ. (2018) tarafından belirtilmiştir. Bu çalışma 2007-2011 tarihleri arasında dünyanın en verimli tropik sulak alanlarından biri olan The Ciénaga Grande'de Santa Marta'de yapılmıştır. Toplamda 29 adet ALOS-PALSAR görüntüsü ile oluşturulan 66 adet interferogramın yanı sıra meteorolojik ve su seviyesi ölçme istasyonlarından alınan bilgiler ile bütünleşmiş bir araştırma yapılmıştır.

Erten ve diğ. (2017) Gala Gölü'nün 2012-2015 yılları arasındaki su seviyesi ve hacmindeki değişimi ortaya koymak amacıyla TanDEM-X verisi kullanmıştır. Bölge büyüme (Region Growing) fonksiyonu kullanılarak alanlar belirlenmiş ve oluşturulan interferogramlar ile çakıştırılmıştır. Oluşturulan sayısal yükseklik modelleri ve göl alanları arasında ilişki kurularak sulak alandaki değişim hacim bazında tespit edilmiştir.

Yuan ve diğ. (2017) Kongo Nehri'ndeki taşkın alanlarında bulunan kesin su hacminin belirlenmesinin, akarsu sistemlerindeki su dengesinin belirlenmesi için gerekli olduğu ile besin maddelerinin ve sediment taşınımında taşkınların rolünün önemini belirlemek amacıyla SAR interferometri ve RADAR altimetrinin entegre bir şekilde kullanılarak taşkın alanlarındaki su hacmi hesaplanmıştır. 35 gün zamansal çözünürlüğe sahip Envisat Radar altimetre (RA2) Jeofiziksel Veri Kaydedici (GDR) kullanarak batimetri bilgisi elde edilmiş ve SLC formatında ALOS PALSAR görüntüsü ile toplamda 24 adet interferogram üretilmiştir. Su derinliği (d) ile su hacmi (V) arasında ilişki kurularak bir model üretilmş ve en fazla su hacminin 2002 yılının sulak sezonunda 5.9 ± 0.72 km3, en az su hacminin ise 2005 yılında kurak sezonda 2.01 ± 0.63 km3 olarak bulmuşlardır.

Kim ve diğ. (2017) Dünya'nın en büyük turbalık alanlarından biri olan Great Dismal Swamp'da yaptıkları çalışmada iklim değişikliği ve ekosistemdeki negatif değişiklikler ile sulak alanların yok olması arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bu araştırma 2015 Mart ve 2016 Mart tarihleri arasında çalışılmış olup; 31 adet Radarsat-1 görüntüsü kullanılarak zaman serisi ile interferogramlar oluşturarak su seviyesi değişikliği bulunmuş ayrıca 13 adet ALOS PALSAR SAR görüntüsü kullanılarak intensity (yoğunluk) bilgisi ile toprak nemliliği belirlenmiştir. Sonuçlar yeraltı su kaynakları seviyesi bilgisi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların yüksek kolerasyonlu olduğu (R= 0,73) belirtilmiş ve su seviyesi değişikliğinin ve toprak nemliliğinin belirlenmesine SAR yoğunluk ve SAR zaman serisi yönteminin birlikte kullanılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Cao ve diğ. (2018) 5 adet ALOS PALSAR uydu verisi kullanarak DInSAR metodunu kullanarak Amazon taşkın yataklarını belirlemeyi aynı zamanda taşkın alanındaki su seviyesindeki değişimini de çıkarmayı amaçlamışlardır. Çok kısıtlı zaman dilimlerinde oluşturdukları 4 interferogram ile bu metodun büyük ölçekli çalışmalar için kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Chen ve diğ. (2020) Kuzey Amerika'da bulunan Büyük Göller'in bataklık, sulak alanlarını karakterize etmek ve su seviyesi değişimini irdelemek amacıyla klasik InSAR yöntemini kullanmışlardır. Bu amaçla Radarsat-2 ve Sentinel-1 uydu verileri kullanılmıştır. InSAR zaman serisi gözlemlerinin sonuçları ve su seviyesi kaydedicilerinden alınan ölçümleri kullanarak korelasyon ve karesel ortalama hata (KOH) hesapları yapılmıştır. Çalışmada InSAR faz değişikliklerinin, akış yönündeki dalgalanmalarla yakından ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bazı sensor modlarında ve birkaç lokasyonda iyi sonuçlar elde edildiği görülmesine karşın KOH değerinin 9-28 cm arasında kaldığı görülmüştür.

Liao ve diğ. (2020) Güney Florida Everglades sulak alanlarının tamamında rutin su seviyesi değişikliği ölçümleri için Sentinel-1 uydu verisi kullanılarak InSAR gözlemlerini değerlendirilmiştir. Çalışmada, üç yıllık bir süre boyunca (Eylül 2016-Kasım 2019) elde edilen 91 Sentinel-1 görüntüsü kullanılmış ve tüm Everglades sulak alanı üzerinde 12 günlük ara ile interferogramlar ve buna bağlı olarak 30 m mekansal çözünürlüğe sahip su seviyesi değişim haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda Sentinel-1 gözlemlerinin sulak alanların uzaya dayalı hidrolojik izlenmesi için uygunluğu ve elde edilen doğruluk seviyesi açısından sonuçları, dünyanın her yerinde benzer bitki örtüsü türlerine sahip diğer sulak alanlara uygulanabilir olduğu bildirilmiştir.

Amani ve diğ. (2021) çalışmalarında, 2017'den 2020'ye kadar elde edilen Sentinel-1 verileri kullanılarak Kanada, Alberta eyaletinin tamamında (~661.000 km²) InSAR metodu kullanarak uyumluluk görüntüleri üretilmiştir. Farklı sulak alan türlerinin ayrılabilirliğini ve zaman içindeki eğilimlerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Genel olarak, analizler sonucunda çalışmanın sulak alan sınıflandırması ve izlemesi için bir katma değer özelliği bulundurduğunu belirtmişlerdir.

Darvishi ve diğ. (2021) Amerika Birleşik Devletleri, Hoover Barajı ve Mead Gölü çevresindeki su seviyesi değişiklikleri ile rezervuar çevresindeki zemin yüzeyi deformasyonu arasındaki ilişkileri incelemek için yaklaşık yirmi beş yıllık periyotta, bugüne kadarki en uzun InSAR zaman serilerinden birini oluşturmuşlardır. SBAS metodu kullanılarak 177 SAR verisi ile işlemler gerçekleştirilmiştir. 1995–2019 dönemi boyunca, rezervuar çevresindeki zemin deformasyonu ile su seviyesi arasında belirgin olan negatif bir ilişki bulunmuştur.

1.3.2 Tuz göllerindeki değişimlere yönelik literatür araştırması

Hung ve Wu (2005) uydu görüntülerinden Büyük Tuz Gölü (Great Salt Lake) dinamiklerinin izlenmesine ve görselleştirilmesine odaklanmıştırlar. Bu amaçla Landsat MSS ve TM görüntüleri de dahil olmak üzere, 1978 ve 1981 hariç üç yıllık aralıklarla 1972'den 1996'ya kadar uydu görüntüleri Büyük Tuz Gölü ve çevresi için elde edilmiştir Büyük Tuz Gölü ve çevresindeki arazi örtüsü değişimlerini ve peyzaj dinamiklerini görselleştirmek ve simüle etmek için hem sınıflandırılmış görüntülerden hem de uydu görüntülerinden bilgisayar animasyon dosyaları oluşturulmuştur.

Yang ve diğ. (2008) Çin'in İç Moğolistan kentindeki Jilantai Tuz Gölü'nün bir megapaleo oluşumu olduğunu ortaya çıkarmayı amaçlanmışlardır. Çalışmada, göl çevresinin kıyı şeritlerinin belirlenmesi için hava fotoğraflarından, Landsat-7 ETM+ görüntülerinin analizlerinden, saha araştırmalarından ve diferansiyel küresel konumlandırma sisteminden (DGPS) yararlanılmıştır. Jilantai çevresinde ve Hetao Ovası'nda yapılan saha araştırmaları, Jilantai ve Hetao havzalarının çoğunu kapsayan bir mega-paleo varlığı için kanıt sağlayan yaygın göl yatakları ve kıyı şeritleri sonuçlarına ulaşılmıştır.

Zheng ve Liu (2009) 1956'dan beri Qinghai-Tibet Platosu'ndaki tuz gölleri üzerinde bilimsel araştırmalar yürütmüş ve çeşitli tuz göllerinden 550 hidro-kimyasal veri toplamışlardır. Bu temelde, platonun tektonik özellikleri ile birlikte, platonun tuz göllerinin hidro-kimyasal özellikleri tartışılmıştır. Yayla göllerinin tuzluluğu, göl evriminin doğal ortamı ve iklim koşulları ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Mevcut veriler ve uydu görüntüleri ile yapılan yorumlara göre, göllerin tuzluluk oranının, kuzeybatıdan güneydoğuya doğru genel bir azalma eğilimine sahip olduğu ve yıllık yağış ile kuraklığın (yıllık buharlaşma/yıllık yağış) büyük ölçüde eşzamanlı değişimler göstermekte olduğu saptanmıştır.

Li (2010) Landsat TM uydu verilerini ve arazi ölçme noktalarının temel veri olarak kullanarak, Tibet özerk bölgesinde yer alan Zhabuye tuz gölü çalışma alanında spektral veriler üzerinde korelasyon analizi, regresyon analizi ve uydurma inversiyon gibi analizler gerçekleştirilmiştir. Makalede, göldeki tuz içeriği dağılımlarını elde ederken, ikili satır içi şifreleme yöntemiyle tuz içeriğini yansıtan kontur haritalarını oluşturulmuştur. PCA yöntemiyle, 3-D tuz indeksi temelinde tuz bilgileri çıkarılmıştır.

Wang ve Zhao (2012) tuz göllerinin tuzluluğunun, gölün mineral kaynağı içerip içermediğini anlamak için önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Makale araştırma alanı olarak Qinghai'deki GASIKULE Tuz Gölü'nde oran ve temel bileşenler analizi uygulanarak Tuz Gölü'nün tuzluluk bilgisinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı tuzluluk oranındaki su sınıfı için spektral bilgiler arazi ölçmeleri ile toplanılmış ve yüksek çözünürlüklü SPOT görüntüsü kullanılarak gölün tuzluluk haritası uzaktan algılama yöntemleriyle oluşturulmuştur.

Wan ve diğ. (2014) 2006-2009 yılları arasında, Qinghai-Tibet Platosu'ndaki (QTP) göllerin değişimini, 408 adet CBERS CCD hava ve 5 adet Landsat ETM+ uydu görüntülerine ek olarak 1.259 topoğrafik harita kullanarak belirlemeyi amaçlamışlardır. Araştırmaya göre, 2005-2006 yılına kadar, QTP'de bulunan toplam göl sayısının 1.055 olduğu belirtilmiştir (Çinghay'da 222 ve Tibet'te 833). Doğal koşulların değişmesi dört gölün ölümüne yol açmasına karşın birçok göl ölümünün ana nedeninin insan sömürüsü olduğu belirtilmiştir. İklim ve ekolojik çevre değişikliğine duyarlı bölgelerde ise göl deformasyonunun, sıcaklık, yağış ve buharlaşma değişimleri ile yüksek oranda ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Liu ve diğ. (2015) çalışma alanı olarak bir zamanlar kuzeybatı Çin'de bulunan ve büyük bir göl olan Lop Nur'u seçmişlerdir. Makalenin amacı, yüzey saçılımının faz farkı ile Lop Nur'daki yeraltı tuzlu su tabakasının derinliğini elde etmektir. Lop Nur bölgesinde faz farkı ile tuzlu su tabakası derinliği arasındaki ilişki polarimetrik ayrıştırma yöntemiyle incelenmiştir. Ölçülen yeraltı tuzlu su tabakası derinliği ile polarize faz farkı arasında yüksek doğrusal korelasyon bulunmuştur. Ayrıca, tüm göl alanının yer altı tuzlu su tabakası derinliği analiz edilmiştir.

DeVries ve diğ. (2017) sulak alanlarda yüzey suyu taşmasını ölçmek için tam otomatik ve ölçeklenebilir bir algoritma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Harici bir eğitim verisi gerektirmeyen algoritma, Landsat verilerini kullanarak geniş alanlarda ve uzun zaman dilimlerinde alt piksel su fraksiyonunu (SWF) tahmin etmektedir. Yüzen bitki örtüsü ve orman kanopileri, topografik özelliklerden gelen gölgeler, kentsel yapılar ve maskesiz bulutlar dahil olmak üzere çeşitli hata kaynakları SWF tahminlerini etkilemiştir. Buna rağmen makalede açıklanan otomatik algoritmanın, yüksek zamansal çözünürlüklü su baskın veri ürünlerinin üretilmesi için uygun olduğu belirtilmiştir.

Taghadosi ve diğ. (2018) tuzluluk tehlikesinden oldukça etkilenen bir alanda Sentinel-1 SAR görüntüleri kullanılarak toprak tuzluluk tahmini ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İlk adımda, çalışma sahasından Sentinel-1 çift polarize VV (Dikey iletim Dikey alma) ve VH (Dikey iletim Yatay alma) verileri alınmıştır. Aynı zamanda bir saha çalışması da yapılmış ve birkaç toprak örneğinin Elektriksel İletkenliği (EC) ölçülmüştür. Daha sonra hem VV hem de VH polarizasyonunun yoğunluk görüntülerine dayalı olarak bazı öznitelikler çıkarılmıştır. Sonuç olarak SAR topraklarını ayırt etme potansiyeline sahip olduğu sonucuna vardıklarını belirtmişlerdir.

Zhang ve diğ. (2020) Qinghai-Tibet Platosu'ndaki Zhuonai Gölünde Ekim 2006'dan Aralık 2018'e kadar ENVISAT ve Sentinel-1A görüntülerine InSAR yöntemini uygulayarak göl çevresindeki permafrost alanının deformasyonun belirlemeyi amaçlamışlardır. 2014'ten 2018'e kadar, göl çevresindeki zemin deformasyonu, -25 mm/yıl'ın üzerindeki maksimum deformasyon hızı ile kademeli olarak arttığı ortaya konmuştur. Tuz Gölü'nün su alanı ve su seviyesi, SAR genlik görüntüleri ve Cryosat-2 radar altimetre verilerine dayalı olarak çıkarılmış ve 2017'den sonra hızlı bir artış eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, InSAR zaman serisinin permafrost bölgesindeki potansiyel tehlikeleri izlemek için değerli bilgiler sağlayabileceğini belirtilmiştir.

1.3.3 Çalışma alanı ve çevresine ilişkin literatür araştırması

Örmeci ve Ekercin (2005) hızlı kentleşme ve artan tarımsal faaliyetlerin, Türkiye'nin en önemli doğal kaynaklarından biri olan Tuz Gölü'nde yüzey suyu kirliliği riskini artırdığından dolayı uzaktan algılama verileri kullanılarak su kalitesi değerlendirmesi yapılmasının gerekliliğini öngörmüşlerdir. Çok zamanlı uydu verilerinin sağlanması için Landsat (MSS, TM ve ETM) ve ASTER görüntüleri kullanılmıştır. Sonuç olarak elde ettikleri yüksek doğruluktaki sonuçlar ışığında yer ölçümlerine ek olarak uydu teknolojisi kullanılarak atık deşarjlarının kontrol altına alınması ve yüzey suyu kirliliği izlemesinin yapılmasını önermişlerdir.

Örmeci ve Ekercin (2007) çalışmalarında Tuz Gölü'nde 1987–2005 yılları arasında sulak alanda üçte bir oranında azalmanın, göldeki tuzla kaplı olan alanlara etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla çalışmada kullanılan Landsat uydu görüntüsü ile eş zamanlı olarak spektroradyometre ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak göldeki su miktarındaki azalış ile doğru orantılı olarak göldeki tuzla kaplı alanlarda 1987–2005 yılları içerisinde ciddi oranda azalma olduğu ayrıca Tuz Gölü'nün su girdisi olmayan alanlarında tuzun oluşmadığı görülmüştür.

Ekercin (2007) Tuz Gölü'nün 1975-2005 yılları arasındaki zamansal değişimini uydu görüntüleri ile incelemiştir. UA ve CBS Entegrasyonu ile göl ve çevresindeki kirletici unsurların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla göle ait mekansal ve mekansal olmayan bilgiler ortak bir veri tabanı altında bütünleştirilmiştir. Sonuç olarak gölün

önemli oranda küçüldüğü tespit edilmiş ve CBS ortamında yapılan analizler ile nedenleri belirlenmiştir.

Canaslan (2010) KKH topoğrafyasında zaman içerisinde meydana gelen yeryüzü değişimlerinin InSAR metoduyla belirlenmesi amaçlamıştır. Bu kapsamda, KKH topoğrafyasında meydana gelen çökmelerin belirlenmesi amacıyla ENVISAT uydu verileri kullanılarak InSAR metodu uygulanmıştır. 2006 yılı haziran ayından başlayarak 2009 yılının haziran ayına kadar 16 interferogram görüntü çifti üretilmiştir. Oluşturulan interferogramların, uyumluluk oranlarının düşük olması ve atmosferden kaynaklanan sinyal gecikmeleri içermesine rağmen üç yıllık süreçte, yer yüzeyinde yaklaşık 11.3 cm'yi bulan deformasyonların bulunduğu ortaya çıkarılmıştır.

Doğan ve Yılmaz (2011) KKH'da bulunan Karapınar bölgesinde gerçekleştirdikleri araştırmada son yıllarda obruk sayılarının hızlı bir şekilde artış gösterdiğini ve son 33 yılda 19 adet yeni obruk oluştuğu belirtilmiştir. Oluşan bu obruklardan 13 adetinin 2006 ile 2009 yılları içerisinde tarımsal amaçlı olarak yeraltı suyunun çekimi, yıllardır sürekli açılan su kuyuları ve tarımsal vahşi sulama gibi nedenlerin sonucu olarak oluştuğunu ortaya çıkarmışlardır. Bu insan aktivitelerinin hem yüzeyde bulunan hem de yer altında bulunan su hacminin azalmasına ve dolayısıyla obruk oluşuma sebep olduğu ortaya konulmuştur.

Bahadır (2011) doktora tezinde Acıgöl Havzası'ndaki AÖ/AK değişimini 1975-2005 yılları arasında Landsat TM/ETM görüntüsü kullanılarak uzaktan algılama ile belirleniş ve analiz etmiştir. Göl yüzey alanındaki değişim yıllar içerisinde önemli derecede bir değişime uğramış ve göl alanı 1975-2005 yılları arasında yaklaşık %67 oranında azalmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında 2020 yılına kadar Acıgöl Havzası'nın korunması amacıyla havza yönetim planı ve stratejilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Orhan ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada Landsat 5-TM verileri kullanılarak 1984 yılından 2011 yılına kadar olan zaman diliminde KKH'da oluşan kuraklık etkisinin belirlenmesi amacıyla Normalize Edilmiş Fark Bitki indeksi (NDVI), Bitki Durum indeksi (VCI), Sıcaklık-Bitki indeksi (TVX) haritaları irdelenmiştir. Sonuç olarak bölgenin yıllar içerisinde daha kurak bir iklime geçiş yaptığı ve önlemler alınması sonucuna ulaşılmıştır. Orhan (2014) 1984 yılından 2011 yılına kadar olan 28 yıllık bir zaman diliminde 29 adet Landsat uydu görüntüleri kullanarak KKH'nın arazi yüzey sıcaklık ve kuraklık haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Buna ek olarak havzada bulunan 10 meteoroloji istasyonu ve yeraltı suyu seviye bilgileri CBS ortamında işlenerek meydana gelen iklim değişiminin bölgeye etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, KKH'nda 1984-2011 yılları içerisinde arazi yüzey sıcaklığının 2.00-3.00°C arasında arttığı belirlenmiştir. Geleceğe yönelik 50 yıllık projeksiyonda KKH'nda bulunan su yüzeylerinin yaklaşık %65, yer altı suyunun ise yaklaşık %54 azalacağı ve havzada bulunan kullanılabilir toplam su hacminin yaklaşık %56 azalacağı öngörülmüştür.

Kırtıloğlu (2014) KKH'da bulunan Hotamış Gölü'nde yapmış olduğu tez çalışmasında, göldeki son 35 yılda meydana gelen değişimin belirlenmesini ve bu değişimin göl çevresindeki AÖ/AK değişimine olan etkilerinin araştırılması amaçlamıştır. Çalışmada Landsat ve Spot uydu verileri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda 1975-2010 yılları arasında göl su yüzey alanının tamamen kuruduğu ve göl çevresinde bulunan sulu tarıma dayalı alanların 10 kat arttığı ortaya çıkarılmıştır. Analizler ile göl alanında meydana gelen azalışın sadece iklim verileriyle açıklamaya yetmediği ve gölün tarımsal sulama gibi insan aktiviteleri sonucunda kuruduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gorji ve diğ. (2017) 1990, 2002, 2006, 2011 ve 2015 yıllarında tuzlu noktalarda meydana gelen değişiklikleri takip etmek için Tuz Gölü'nün çok zamanlı izlenmesine odaklanmışlardır. 1990-2015 yılları arasında toplam 25 adet Landsat-5 TM ve Landsat-8 görüntüsü elde edilmiştir. 2002 yılında 322 toprak numunesi için saha elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri kontrol edilmiştir ve bu örneklerin 28'i, gölün çevresindeki alanları temsil eden tuzluluk haritalarının oluşturulması için seçilmiştir. Doğrusal ve üstel regresyon analizleri, 2002 yılında toplanan verilere dayalı olarak tüm indeksler için bir sonraki adım olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Tuzluluk indeksi ve doğrusal regresyon analizi için sırasıyla 0,93 ve 0,83 R² değeri bulunmuştur. 2002 yılı için elde edilen üstel ve lineer regresyon ifadeleri kullanılarak 1990, 2006, 2011 ve 2015 yılları için tuzluluk haritaları üretilmiştir.

Dervişoğlu ve diğ. (2019) uluslararası öneme sahip sulak alanlar olan Meke Gölü, yakınındaki Akgöl Sulak Alanı ve Acıgöl uydu görüntüleri aracılığıyla zamansal olarak değerlendirilmiştir. 1990, 2000, 2010 ve 2016 yıllarına ait dört sınıflandırılmış görüntü, sahaların zamansal varyasyonunu değerlendirmek için arazi ölçümleriyle

ilişkilendirilmiştir. Bu tür bilimsel verilerin üretilmesi ve benzer analizlerin yapılması özellikle son yıllarda önemli miktarda toprak ve su kaybetmiş doğal sit alanlarının rehabilitasyonu ve restorasyonundan sorumlu yerel, bölgesel ve ulusal makamlar ve planlayıcılar için önemli olduğu sonuçlar doğrultusunda belirtilmiştir.

Yağmur ve diğ. (2020) çalışmalarında ilk olarak Türkiye'nin KKH'daki 18 doğal gölü tuzluluk seviyelerine göre gruplandırmıştır. Tatlı su, tuzlu ve acı göller daha sonra Landsat uydu görüntüleri aracılığıyla her 5 yılda bir zamansal analize tabi tutulmuştur. Sonuç olarak tatlı su gölü yüzeyleri, denetim süresi boyunca belirgin bir şekilde değişmemiştir; ancak tuzlu sular yüzey alanında %32 oranında azalmıştır.



2. RADAR TEKNOLOJÍSÍ VE TEMEL PRENSÍPLERÍ

Enerji kaynaklarındaki farklılıklara göre UA'da kullanılan uydu sistemleri aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Enerji kaynağı güneş olan, güneşle eş zamanlı olacak şekilde hareket eden ve güneş gibi bir enerji kaynağı olmadan görüntü elde edemeyen sistemler pasif sistemler, kendi enerji kaynakları bulunan, güneşten bağımsız ve hava koşullarından etkilenmeden görüntü elde edebilen sistemler ise aktif sistemler olarak adlandırılır (Lillesand ve diğ. 2004).

RAdio Detection And Ranging (RADAR) teknolojisi, görüntüleme, ölçme ve algılama yapan bir araç olarak tanımlanmaktadır. Radar teknolojilerinin temel prensibi, kendi enerji kaynağı olan güçlü frekans üretici ile oluşturulan mikrodalga sinyalinin platform üzerinde bulunan anten vasıtasıyla hedefe gönderilip, yine platform üzerinde bulunan alıcı tarafından, hedeften geri yansıyan sinyalin hassas şekilde ölçülmesi ve kayıt edilmesi esasına dayanır (Hanssen, 2001). Radar teknolojileri elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde çalışır. Bu özellik sayesinde pasif sistemlerin aksine, gece, gündüz ve hava şartlarından (bulutlu, sisli, puslu vb.) bağımsız olarak hedef obje hakkında bilgi toplama kabiliyetine sahiptir.

İlk radar görüntüleme sistemleri gemilerin izlenmesi, çarpışma ve kazaların önlenmesi amacıyla 1900'lü yılların başında geliştirilmiştir (Hulsmeyer, 1904). Bu sistemlerin askeri amaçlı avantajlarının fark edilmesi ile 2. Dünya Savaşı'nda radar sistemlerinin gelişimi hızlanmıştır. İlk başlarda yer radarı olarak yarar sağlayan teknoloji 1950'li yıllarda uçakların gövdelerine eklenerek kullanılmaya başlanmıştır. Böylelikle askeri faaliyetlerde hedef alanı taramak amacıyla yer radarı antenlerini hedefe yöneltmek yerine uçaklara eklenen radarlar ile daha fazla alanın taraması hızlı bir şekilde yapılabilmektedir (Akoğlu, 2001). Bu gelişmeler ile yan bakışlı radar (Side Looking Radar –SLR) sistemi kullanılmaya başlamıştır. 1960'lı yıllara gelindiğinde askeri faaliyetlerde kullanılan radar sistemleri sivil uygulamalarda ve bilimsel çalışmalarda kullanılmaya başlamıştır. 1961 ve 1963 yılları arasında Arecibo ve arkadaşları radyo antenlerini kullanarak hedeflere sinyal gönderip hedef hakkında bilgi edinmeye çalışmışlardır (Hanssen, 2001). 1972 yılında ise Zisk radar kullanarak ayın topoğrafyasının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. 1974 yılında Graham radar interferometri tekniğini kullanarak yeryüzü topoğrafyasının izlenmesi çalışmasını yürütmüştür. 1986 yılında Zebker ve Goldstein uçağın gövdesine monte edilen iki antenli radar sistemi ile uçuş boyunca interferometri tekniğini kullanmışlardır. Yeryüzündeki deformasyonların cm hassasiyetinde belirlenmesine yönelik ilk çalışma Gabriel ve arkadaşları tarafından 1989 yılında geniş bir çalışma alanında gerçekleştirilmiştir. Günümüze kadar gelişen radar görüntüleme sistemleri, anten açıklıklarındaki farklarına göre; Gerçek Açıklıklı Radar (Real Aperture Radar-RAR) ve Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar – SAR) olarak iki başlığa ayrılmaktadır.

2.1 Gerçek Açıklıklı Radar (Real Aperture Radar-RAR)

Genellikle uçaklara monte edilen gerçek açıklıklı radar sistemi, platformun izlediği yön boyunca platforma dik yönde alım yapar ve anten boyutu ile doğru orantılı bir şekilde azimut çözünürlüğüne sahip görüntü üretir. Anten boyunun uzamasıyla açıklık açısı azalmakta ve görüntü çözünürlüğü artmaktadır (Abdikan, 2007). Azimut çözünürlüğünü artırmak amacıyla anten boyu uzatılabilir fakat bu işlemin de belli bir sınırı vardır. Uçakların ve uyduların taşıma kapasiteleri, yerleştirilebilecek anten boyutunun sınırlarını belirler (Köse, 2006). Algılayıcının uçuş yönündeki çözünürlüğü azimut (azimuth) çözünürlüğü olarak isimlendirilmektedir. Azimut çözünürlüğü, dalga boyunun uzunluğuna ve antenin uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bakış doğrultusunda hedefi ayırt edebilme gücü menzil (range) çözünürlüğü olarak isimlendirilmektedir. Şekil 2.1'de azimut ve menzil çözünürlüğünü tasvir eden formüller ve geometri sunulmuştur.



Şekil 2.1 : Azimut ve menzil çözünürlüğü geometrisi (ŋ : Geliş Açısı, δRg: Menzil Çözünürlüğü, δRa: Azimut Çözünürlüğü, R : Menzil Mesafesi (Rm), Rf : Uzak Menzil, θ: Bakış Açısı, Sw : Tarama Genişliği).

Menzil Çözünürlüğü aşağıda verilen denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$\delta Rg = (c\tau_{\rm p})/(2sin(\eta)) \tag{2.1}$$

Burada; c ışık hızını, τp sinyal süresini, ŋ geliş açısını (radar ile yüzey normali arasında oluşan açı) tasvir etmektedir.

Azimut Çözünürlüğü aşağıda verilen denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır.

$$\delta Ra = \frac{R\lambda}{L} \tag{2.2}$$

Burada; R (Rm) menzil mesafesi, λ dalga boyu, L anten uzunluğu bilgilerini tasvir etmektedirler.

RAR algılayıcı sistemlerinin anten boyu uzunluğunun uzatılması fiziksel şartlardan kaynaklı olarak sınırlı kalmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek amacıyla Yapay Açıklıklı Radar (SAR) sistemi ortaya çıkmıştır.

2.2 Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aparture Radar-SAR)

Fiziksel kapasitelerinden dolayı uçaklar maksimum 1-2 metre, uydular ise 10-15 metre boyutlarındaki antenleri taşıma kabiliyetine sahiptirler. Bu kısıtlamaya çözüm olarak SAR sistemlerinin bulunduğu platformun ileri hareketi ile geri yansıyan sinyalin özel olarak kaydedilmesi ve işlenmesiyle çok uzun bir yapay anten elde edilmiştir. Örneğin 22,6 santimetrelik bir dalga boyuna ve 870 kilometrelik bir menzil mesafesine sahip algılayıcının azimut yönünde 5 metrelik çözünürlüğe sahip olması için anten uzunluğunun yaklaşık 41-kilometre olması gerekmektedir. Fiziksel olarak çok zor olan bu duruma çözüm bulmak amacıyla, ses frekansı, ses kaynağı ve ses algılayıcısının birbirleri ile bağıl bir şekilde hareket etmeleri halinde değişimi olarak tanımlanan Doppler prensibinden yararlanılmaktadır (Kemaldere, 2011).

Sinyal Gürültü Oranı (SNR) ve Menzil çözünürlüğünü daha iyi hale getimek amacıyla geri dönen sinyalin işlenmesini amaçlayan bir metot kullanılmaktadır (JCurlander, 1991; Çakır, 2003). Bu metot sonucunda menzil yönündeki çözünürlük aşağıdaki denklem 2.3 ile hesaplanmaktadır;

$$\delta Ra = \frac{L}{2} \tag{2.3}$$

Doppler kanunu kullanılırken, platform hareket yönünde anten bir adet seri konum boyunca hareket ettirilerek ve yapay anten oluşturulmaktadır. Bu şekilde algılayıcı, bir objeyi ilk gördüğü an itibariyle son gördüğü an dahil olmak üzere objeye sinyal göndermeye devam etmekte ve o sayıda geri yansıyan sinyali kaydetmektedir. Böylelikle algılanan sinyal adedi kadar antenden veri alınmaktadır. Bir başka deyişle algılayıcının, sinyal gönderip geri aldığı zaman dilimi içerisinde kat etmiş olduğu yol kadar uzunlukta olan bir anten kullanılmış gibi oluşturulur (Gürmen, 2003; Abdikan, 2007) (Şekil 2.2). Yapay açıklık ilkesine sahip olan SAR sistemlerinin azimut çözünürlüğü denklem 2.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\delta Ra = \frac{L}{2} \tag{2.4}$$

Şekil 2.2'de sunulan görselde SAR sisteminin çalışma prensibi gösterilmektedir. Hedefe objeye ait tüm radar darbe tekrarlama süreleri, objeden yansımaların genlik ve faz bilgileri, A noktasından D noktasına kadar geçen sürede kayıt edilir. Hedefin ilk algılanmaya başladığı zaman diliminden itibaren başlayıp platformun hareketi doğrultusunda sinyal gönderilen her noktada darbelerin yansımaları algılayıcı tarafından kayıt edilerek objenin algılanabildiği son noktaya kadar bu işlem devam eder. Objenin ilk ve son algılanma süreleri içerisinde platformun aldığı mesafe yapay anten uzunluğunu tanımlamaktadır.



Şekil 2.2 : SAR anteni çalışma prensibi.

2.2.1 SAR uydu verilerinin özellikleri

SAR görüntüleri, dalga boyu, genlik ve polarizasyon özelliklerini içinde bulunduran mikrodalga ışınımlarının, platformlara monte edilen anten vasıtasıyla gönderilmesi ve atmosfer boyunca uydu ile hedef obje arasında gönderim ve geri yansıtım sonucunda elde edilmektedir. Genel olarak SAR görüntüleri hedef obje tarafından geri yansıyan genlik ve faz bilgisinin kaydıdır. Hedef objeye ait geri yansıma özellikleri genlik bilgisi olarak tanımlanırken, faz bilgisi hedef objeye olan uzaklık bilgisini vermektedir. Elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde algılama yapan SAR sistemleri, farklı çalışma alanlarındaki farklılıklardan kaynaklı sınırlamaların üstesinden gelmek amacıyla farklı dalga boylarına, polarizasyona ve çözünürlüklere sahip olabilmektedirler. Böylelikle çalışma alanının özelliğine göre kullanılan uygun özellikteki SAR verileri sayesinde daha anlamlı sonuçlar elde edilebilmektedir.

SAR sistemlerinde kullanılan dalga boyu, sinyal gücü, yükseklik, yörünge yönü polarizasyon, geliş açısı vb. sistem parametrelerine ek olarak hedef objenin pürüzlülüğü, dielektrik katsayısı ve nem içeriği gibi etkenler SAR görüntülerinin özelliklerini etkileyen başlıca faktörlerdir (Kemaldere, 2011). Bu parametrelerden radar bantları, polarizasyon, nem miktarı ve yüzey pürüzlülüğüne ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Radar bantları; SAR sistemlerinden birçok dalga boyu olmasına rağmen bunlardan 3 tanesi sıklıkla uzaktan algılama uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunlar 2.5 ile 30 cm arasında dalga boylarına sahip X, C, ve L bantlarıdır. SAR verilerinde algılayıcının gönderdiği dalga boyundaki farklılığa göre algılanan obje detaylarında değişiklikler bulunmaktadır. SAR sistemlerinde kullanılacak bandın seçilmesinde en önemli faktör penetrasyon, yani yeryüzündeki objelere nüfuz etme özelliğidir. Özellikle vejetasyonun yoğun olduğu alanlarda gerçekleştirilen çalışmalarda algılayıcının, objeye penetre etme kabiliyeti (penetration) sonuçları doğrudan etkilemektedir. Bu konuda algılayıcının sahip olduğu dalga boyu ile objeye penetre etme kabiliyeti doğru orantılıdır. Örneğin vejetasyonun yoğun bulunduğu yerlerde L bandının tercih edilmesi arazi yüzeyi hakkında daha anlamlı sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : SAR sistemlerinde farklı dalga boylarının vejetasyon üzerindeki etkisi.

Polarizasyon; gönderilen mikrodalga salınımının antene olan yönünü tanımlayan enine dalgalara uygulanan bir özelliktir. SAR sistemlerinde anten yatay(H) veya düşey(Y) olarak polarize edilmiş sinyaller üretmektedir. Sistem eş veya farklı polarizasyon değerine sahip sinyalleri objeye gönderip geri algılama özelliğine sahiptir. SAR tekniğinde kullanılan polarizasyon kombinasyonları genellikle HH, VV, HV, VH olarak tanımlanmaktadır. Mikrodalga sinyallerinin obje üzerinden geri yansıması algılayıcının polarizasyonuna ve objenin geometrik şekline bağlıdır. Çapraz polarizasyon olarak adlandırılan HV, VH polarizasyon özelliğine sahip görüntüler genellikle arazi örtüsü/ kullanımının belirlenmesi gibi çalışmalarda sınıflandırma amacıyla kullanılmaktadır. Paralel polarizasyon olarak adlandırılan HH, VV polarizasyon özelliğine sahip görüntüler ise deformasyon çalışmalarında tercih edilmektedir. Ayrıca, VV polarizasyonuna oranla HH polarizasyonun, nemli toprak ve vejetasyon arazi örtüsünü barındıran alanlarda penetrasyon özelliğinin daha çok olduğu bilinmektedir (Köksal, 2011).

Nem Miktarı; objelerin içerisinde bulunan nem miktarındaki farklılıklar, gönderilen dalganın geri yansıma, penetrasyon ve saçılma özelliklerinde bir değişime sebep olmaktadır. Sinyalin geri yansıma miktarı, objenin barındırdığı nem oranı ile ters korelasyon vardır. Nem miktarı yüksek olan objelerin yüzeylerinden saçılım miktarı, nem miktarı düşük olan kuru objelere oranla daha çok olmaktadır. Bu nedenle SAR görüntülerinde nem miktarı fazla olan objeler açık renk tonunda, az olan objeler ise koyu renk tonunda görüntülenecektir. Tamamen su ile kaplı olma durumunda ise yüzey siyah görünecektir (Balık, 2004; Kemaldere, 2011).

Yüzey pürüzlülüğü; sinyalin saçılma miktarı, objelerin fiziksel yapısına ve geri yansımanın meydana geldiği hedefe ait dielektrik sabiti ile ilişkilidir (Richards, 2009). Gönderilen sinyaller arazinin topoğrafyasına ya da objenin geometrik özelliklerine göre farklı geri yansıma özellikleri göstermektedir. Gönderilen sinyal sayısı ile geri yansıma sonucu algılayıcıya dönen sinyal sayısı büyüktür. Geri yansıma ile algılayıcıya dönen sinyal sayısının şiddeti arttıkça SAR görüntüsünün parlaklık değeri de o denli artar (Köse, 2006). Ayrıca yüzey pürüzlülüğü dalga boyuna göre değişmektedir. Şekil 2.3'de görüleceği üzere dalga boyunun değişmesi ile değişen penetrasyon özellikleri aynı bölgeye ait yansımalarda farklı yüzey pürüzlülüğü özelliği gösterecektirler.

2.2.2 SAR görüntülerinde oluşan geometrik hatalar

SAR platformları yan bakış geometrisi ile algılama yaptıklarından dolayı görüntü alımı esnasında objelerin geometrik özelliklerinden kaynaklanan hatalar oluşabilmektedir. Bu hatalar, kısa görüntüleme (foreshortening), ters görüntüleme (layover) ve gölge (shadow) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : SAR görüntülerinde meydana gelen geometrik hatalar (Hassen 2001'den yararlanılmıştır).

Kısa görüntüleme hatası, SAR sisteminin siyalin eğim açısından ve yeryüzündeki eğim durumundan kaynaklı olarak, yükseltinin arttığı yamaç ve vadi gibi yükseltinin ani arttığı coğrafi oluşumların, normalden daha kısa yükseltide algılanması olarak tanımlanabilir ve kısa görüntülemeye maruz kalan oluşumlar görüntü üzerinde olması gerekenden daha parlak tonda görünecektirler (Şekil 2.4A).

Ters görüntüleme hatası, objenin en yüksekte kalan kısmının daha altta kalan kısmından önce algılanması ile oluşmaktadır. Böylelikle geliş açısı değeri eğim açısından daha büyük olan objeler SAR görüntüsü üzerinde parlak bir tonda görünecektir (Şekil 2.4B).

Gölge hatası, önünde bulunan engellerden dolayı gönderilen SAR sinyalinin ulaşamadığı objeler, SAR sistemi tarafından algılama yapılamadığı için görüntü üzerinde daha koyu renk tonunda görünecektir (Şekil 2.4C).

2.3 İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR)

Interferometric Synthetic Aperture Radar kelimelerinin kısaltılmış hali olan (InSAR ya da IfSAR), birden çok SAR görüntülerinin işlenerek, arazi topoğrafyasının ve/veya hareketlerinin belirlenmesinde jeodezi ve uzaktan algılama alanlarında kullanılan bir SAR tekniğidir. InSAR tekniği SAR sistemleri ile elde edilen görüntülerin işlenerek, sayısal yükseklik modeli, topoğrafik değişim ölçmeleri, volkanik alanların izlenmesi,

buzulların takibi, sulak alanların izlenmesi gibi çalışmalarda kullanılan bir yöntem olarak tanımlanabilmektedir (Hanssen, 2001; Yılmaztürk, 2015).

InSAR, aynı bölgeye ait iki farklı SAR uydu verilerinin içerisinde bulunan faz bilgisinden yararlanır. Her iki görüntüdeki aynı görüntü piksellerine ait faz farkları ile elde edilen faz farkı miktarına bağlı bir metottur. Faz farkı, aynı hedefe gönderilen aynı frekans değerine sahip sinyaller arasındaki zamansal farkın açı cinsinden değeri olarak tanımlanabilmektedir. Faz farkı hesaplanarak oluşturulan bu yeni görüntü interferogram olarak isimlendirilir (Zebker ve Goldstein, 1986; Yılmaztürk, 2015).

InSAR yöntemi tek geçiş veya tekrarlı geçiş olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Tek geçiş ve tekrarlı geçiş interferometri yöntemlerigeometrisi (Richards, 2009'dan değiştirilerek yeniden düzenlenmiştir).

Tek geçişli interferometri yöntemi aynı platform üzerine entegre edilmiş iki SAR anteninden aynı anda veri elde edilmesi ile çalışmaktadır. Tekrarlı geçiş interferometri yöntemi ise platform üzerine entegre edilmiş tek anten kullanılarak aynı bölgenin farklı zaman dilimlerinde farklı anten konumu ile görüntülerinin temini temeline dayanmaktadır (Rosen ve diğ. 2000). Tekrarlı geçiş yönteminin veri elde etme şeklinden kaynaklı farktan dolayı tekli geçiş sistemine göre dezavantajları ve sınırlamaları vardır. Algılayıcı farklı iki geçişinde aynı yörüngeyi takip edemediğinden görüntülerin merkezleri arasında fark (baz mesafesi) oluşmaktadır. Faz farkına ek olarak, zeminin veya yüzey üzerindeki objelerin değişmesi ile oluşan uyumsuzluklar ve topoğrafik etkiler (topografyanın hızlı değişim bulunan bölgeleri) gibi dezavantajlar oluşabilmektedir.

2.3.1 İnterferometrik faz ve fazı etkileyen faktörler

SAR görüntüleri arasındaki interferometrik faz bilgisi uydu ve yüzey arasındaki (RB,Ri) farkın hesaplanması ile bulunur (Ferretti 2001). Birincil SAR görüntüsü (B) ile eşleştirilen ikincil SAR görüntüsünün (İ) çarpılması sonucu interferometrik faz bilgisine ulaşılır. İnterferometrik faz, yer yüzeyinin tasvirini münhani şeklindeki örgeler (fringe) ile göstermektedir. SAR geometrisi Şekil 2.6 ile tasvir edilmiştir.



Şekil 2.6 : SAR İnterferometri geometrisi. (Birincil görüntü ve alımı (B, t1), İkinicil görüntü ve alımı (İ, t2), R₁-R_B; uydu ve obje mesafesi) (Orhan, 2018).

P noktası arazi yüzeyindeki bir noktaya denk gelmektedir ve bu P noktası, uzayda yer alan algılayıcı tarafından Birincil (B, t1) ve İkincil (İ, t2) uydu geçişleri ile SAR geometri prensiplerine uygun bir şekilde gözlenmektedir. Şekil 2.6'da iki geçişli SAR interferometri yönteminin geometrisine ek olarak algılayıcının birincil görüntü alımı ve ikincil görüntü alımında aynı yörüngeden alım yapamadığından dolayı yer yüzeyindeki objeyi iki farklı konumdan algılaması ile oluşan faz farkı sunulmaktadır. İnterferometrik faz alt tarfata verilen denklemler kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$\Delta R = R_{\rm l} - R_B \tag{2.5}$$

$$\phi = \phi_{i} - \phi_{B} \tag{2.6}$$

$$\phi_B = \frac{4\pi}{\lambda} \times R_B \tag{2.7}$$

$$\phi_{i} = \frac{4\pi}{\lambda} \times R_{i} \tag{2.8}$$

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \times (R_{\rm i} - R_B) \tag{2.9}$$

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \times \Delta R \tag{2.10}$$

Faz farkı bilgisi farklı iki zaman aralığında oluşan deformasyon bilgisine ek olarak hata oluşturan etkenler de barındırır. Kompleks haldeki birincil ve ikincil SAR görüntüsünün piksel bazlı olarak eşlenmesi ve her bit piksele denk gelen faz farkı verisinden hatalı ve bozucu etkenlerin elemine edilmesi ile deformasyon bilgisi hesaplanabilmektedir (Denklem 2.11).

$$\phi = \phi top + \phi def + \phi atm + \phi yrng + \phi grlt$$
(2.11)

Faz farkının, topoğrafya etkisi (Øtop), yer yüzeyindeki değişim (deformasyon, Ødef), atmosferden kaynaklı bozulma (Øatm), yörünge kaynaklı etkiler (Øyrng) ve termal, zamansal korelasyonsuzluk ve baz uzunluğu uyumsuzluğu gibi nedenlerden kaynaklanan gürültüler (Øgrlt) gibi bileşnleri vardır.

Literatürde yapılan önceki çalışmalarda faz farkını etkileyen bu faktörler oldukça yoğun bir şekilde işlenmiştir. Faza etki eden faktörler önceden bahsedilen baz uzunluğu, termal ve zamansal uyumsuzluk, yörünge, topografya, küresellik, atmosfer gibi etkilerin yanı sıra çalışma alanının AÖ/AK çeşitliliği özellikle vejetasyon sınıfı bu faktörlere eklenebilir (Hanssen, 2001; Çakır ve diğ. 2003; Çakır, 2003; Şengün, 2008).

Dik baz mesafesi, bakış yönüne dik olan bileşen olarak tanımlanmaktadır. Özellikle InSAR işlemlerinde önemli bir özellik olup en çok 1100 m civarında olmalıdır. Baz mesafesi bu uzunluğun üzerine çıkarsa görüntüler arasında uyumsuzluk olacağından değerlendirme yapılamamaktadır.

Buna ek olarak dik baz mesafesi, topografik hassasiyet olarak da bilinen yükseklik belirsizliğinin (height ambiguity) hesaplanmasında kullanılmaktadır (Çakır, 2003). Yükseklik belirsizliği, oluşan interferogram görüntüsünde yanlış örgelerin ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Bu hatanın elemine edilmesi için SYM veya ikinci bir interferogram kullanılmalıdır (Zebker ve Villasenor, 1992; Mann, 2002).

Termal uyumsuzluk, interferogram içerisinde bulunan sinyal gürültü oranı ile tasvir edilen SNR değerinin oranıdır. Termal uyumsuzluk;

$$T_k = \frac{1}{1 + SNR^{-1}} \tag{2.12}$$

$$SNR = \frac{P_S}{P_N} \tag{2.13}$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Denklemde TK termal uyumsuzluğu, P_S sinyalin kuvvetini ve P_N gürültünün kuvvetini belirtmektedir. SNR ise SAR sistemlerine ait bir parametredir. Genellikle desibel birimiyle gösterilir. 1/1'den büyük bir oran gürültüden daha fazla sinyalin bulunduğunu göstermektedir. Bu oranın küçük olması durumunda ise gürültü, sinyalden fazla olacağından sağlıklı bir veri olarak değerlendirilememektedir. (Şengün, 2008; Curlender ve McDonough, 1991). Termal uyumsuzluk işleme dahil edilen iki SAR görüntüsündeki gürültünün, görüntü eşleştirmesine olan etkisi olarak tanımlanmaktadır. Bu hatanın elemine edilmesi amacıyla SNR analizi yapılmalıdır (Oveisgharan, 2007).

Zamansal uyumsuzluk, iki SAR görüntüsünün algılanma zamanları arasındaki piksellerin geri yansıtım değerlerinde meydana gelen ve anlamlı olmayan farkları göstermektedir. Tekrarlı geçiş interferometri sisteminde önemli bir etki oluşturmaktadır. İki SAR görüntüsü arasında geçen zamanda oluşması muhtemel değişimler özellikle sulak, tarım ve vejetasyon alanlarında, görüntülenen objelerde oluşan hızlı değişim interferogram üzerinde hatalı örgelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu tip değişim gösteren pikseller, komşu piksellerin yardımıyla belirlenebilmektedir. Fakat bu değişimler interferogramda bozucu bir etki oluşturacaktır (Şengün, 2008; Hanssen, 2001).

Yörünge hatasının uçuş yörüngesine paralel, dik ve açısal olmak üzere üç bileşeni vardır. Uçuş yörüngesine paralel olan hata bileşen görüntüler eşlenirken (coregistration) giderilmektedir (Hanssen, 2001). Paralel olan hata giderildikten sonra geriye kalan iki boyutlu hatanın uzunluk bileşeni istatistiksel işlemlerle tespit edilebilir. Açısal hatanın bilinmemesinden dolayı uydu yörüngesinin interferogram görüntüsünde hata oluşturabilir. Bu hatanın elemine edilmesi amacıyla uydu

yörüngelerinin hassas olarak belirlenerek interferometri üretimi aşamasında bir girdi verisi olarak sunulması gerekmektedir.

Küresellik etkisi kaçınılmazdır, çalışma alanında dağ, tepe, dere gibi hiçbir topografik objenin olmaması halinde bile dünyanın küreselliğinden dolayı faz oluşacaktır (Zebker ve diğ. 1994).

Atmosferik etki, iyonosferik ve troposferik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Atmosfer durgun ve homojen bir yapıya sahip olsaydı interferogram üzerindeki etkisi de benzer şekilde homojen ve durgun olacaktır. Fakat böyle bir durum gerçekte oluşmamaktadır. Özellikle tekrarlı geçiş interferometri yönteminde, görüntü alım zamanlarının farklı olması interferogramlar üzerinde atmosferik etkinin artmasına neden olmaktadır. (Delacourt ve diğ. 1998). Ek parametreler kullanılarak ya da atmosferik bir model kullanılarak bu etkinin elimine edilmesi gerekmektedir. Kompleks SAR sistemlerinin elemine edilmesi en zor kısıtlaması atmosferik etkidir. Yersel ölçme, GPS ve hava balonları gibi yöntemler kullanılarak elde edilen veriler ile oluşturulan modeller ile bu etki elemine edilmeye çalışılmaktadır (Yılmaztürk, 2015).

Bölge topografyasının etkisi ve vejetasyon, InSAR sisteminde bozucu ve kısıtlayıcı bir etkidir. Oluşan topografik etkiyi elemine etmek için çalışma prensipleri aynı iki ayrı yöntem uygulanabilmektedir. İlk yöntemde bir interferogram ve SYM kullanılır. İki geçiş interferogramı da denilen bu yöntemde topoğrafyanın etkisi SYM ile simüle edilerek elde edilen simülasyon sonucu interferogramdan çıkarılır (Massonnet ve diğ. 1993). İkinci yöntemde ise iki interferogram kullanılır. Üç geçişli interferogram yöntemi de denilen bu işlemde, yeryüzey değişimi olmayan ikinci bir interferogram ilk interferogramdan çıkarılır (Gabriel ve diğ. 1989).

2.3.2 İnterferometrik veri işleme adımları

SAR verilerinden geometrik olarak düzeltilmiş interferogram ve deformasyon haritaları elde etmek amacıyla uygulanacak işlem akışı aşağıda verilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : İnterferometrik veri işlem adımları.

İnterferometrik veri üretiminde girdi olan görüntüler genellikle 2 formatta bulunmaktadır; ham veri (raw data – level 0) ve tek bakışlı kompleks görüntüler (single look complex / SLC – level 1). Ham veriler daha ucuzdur (ücretli olarak elde edilen SAR verileri için) ve işlenmedikleri için algılayıcı tarafından SAR görüntüsü elde edildikten kısa bir süre sonra kullanıcılara sunulabilmektedir. Fakat ekstra analizlere ihtiyaç olduğundan dolayı haritalama amaçlı uygulamalarda genellikle tek bakışlı kompleks görüntüler kullanılmaktadır. Bu SAR görüntüleri gerçek ve sanal parçalardan meydana gelen vektörlerin bütün hali olarak tanımlanmaktadır. Bu vektörlerin uzunluğu genlik (amplitude), yönleri ise faz (phase) bilgilerini kapsamaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Genlik ve faz bilgilerinin vektörel gösterimi.

İnterferometri uygulamalarında uygun SAR görüntülerinin seçimi için ilk ve en önemli kararlardan biri görüntü seçimidir (Hanssen, 2001). Uygulamanın amacına uygun bir interferogram üretebilmek amacıyla SAR görüntülerinin seçimi, görüntülerin mevcudiyeti, tarihi ve yörünge bilgileri gibi birçok kriteri içerir (Massonnet ve Feigl, 1995). Sensörün tipi, verinin uygunluğu, zamansal ve mekansal baz uygunluğu, arazinin ve atmosferin karakteristiği gibi kriterler göz önünde bulundurularak uygun görüntü belirlenir (Hanssen, 2001). Dalga boyu, SNR (sinyal gürültü oranı), yörüngenin eğimi ve tekrar periyodu gibi önemli kriterler sensör ve platform özellikleridir. Bu özelliklere bağlı olarak sinyalin hava koşullarına duyarlığı, üretilecek interferogramın topografya ve deformasyon kaynaklı hassasiyetini ve girişim çizgi yoğunluğunu etki edecektir. Atmosferik etkiler ise veri seçiminde dikkate alınacak önemli bir husustur. Atmosferin durumu hakkında uydu görüntülerinden veya yer bazlı meteorolojik istasyonlardan bilgi edilerek veri seçiminde kullanılabilir.

Görüntülerin seçilmesinin akabinde, birincil (master) ve ikincil (slave) görüntüler birbirine eşleştirilmesi (coregistration) gerekmektedir. Birincil görüntü genel olarak alım tarihi önce olan SAR görüntüsüdür ve ikincil görüntü bu görüntüye göre yeniden örneklenerek işleme devam edilir. Bu işlem yeryüzündeki her bir noktanın iki görüntüde de eş konuma getirilme işlemidir. Bu amaçla görüntüler için geometrik dönüşüm fonksiyonu oluşturulur ve eşlenik görüntünün yeniden örneklenmesi yapılır (Franceschetti ve Lanari, 1999). Bu işlem interferometrik veri işleme için gerekli bir işlemdir.

Görüntü eşleştirmesi yapılarak veriler interferograms üretimine hazır hale getirilir. İnterferogram, aynı bölgeye ait iki farklı zamanda elde edilen SAR görüntülerinden üretilen ve iki görüntü arasındaki faz farkı bilgisini içeren ürün haritalardır (Richards, 2009). Kullanılan iki görüntüde birbirine karşılık gelen piksellere ait genlik bilgisinin ortalaması alınırak her piksel faz değerlerinin farkları hesaplanır. Üretilen interferogramın kalitesinin artırılması ve sinyal gürültü oranının artırılması için filtreleme işlemi uygulanır. İnteferograma uygulanan filtre interferogram görüntüsünün keskin şeritlerini yumuşatmaktadır. Gürültünün görüntüdeki diğer sinyallere göre daha düşük olduğu düşünülerek düşük genliğe sahip olan sinyaller bastırılır ve asıl sinyalin büyük bir genliğe sahip olduğu düşünülerek büyük genlikler zenginleştirilir. Literatürde en yaygın olarak kullanılan filtreleme algoritmaları Goldstein ve Werner (1998) tarafından kullanıma sunulan adaptif faz filtrelemedir (Şengün, 2009; Song ve diğ. 2014).

Yeryüzeyindeki yükseklik değişimlerinin sunulduğu interferogram görüntülerinde deformasyonlar 2π birimi ile sunulur. Bu interferogram görüntüsünde bir belirsizliğe neden olmaktadır. Görüntüde her noktadanın gerçek yüksekliğini (uzunluk birimlerinde) bilmek için her ölçmeye, tam sayı faz döngüsü sayısı eklenmektedir. Bu belirsizliğin elemine edilmesi işlemine faz belirsizliğinin giderilmesi (phase unwrapping) denilmektedir. Faz belirsizliğinin giderilmesi için birçok algoritma mevcuttur. Bütün algoritmalar, öncelikle ölçülen fazı ayrıştırmakta daha sonra faz gradyanını (komşu fazlar arasındaki faz farkını) kullanmaktadır.

Üretilen interferogram görüntüsündeki deformasyon bilgisine ulaşmak için mevcut topografik etkinin interferogramdan çıkarılması gerekmektedir. Tek geçişli interferometrinin aksine çift geçişli interferometri yönteminde topoğrafyayı temsil edecek bir Sayısal Yükseklik Modeline (SYM) ihtiyaç duyulmaktadır. SYM ilgili interferograma göre geometrik olarak yeniden örneklenerek işleme hazır hale getirilir. Daha sonra interferogramdan SYM çıkartılarak topoğrafyanın etkisi giderilmiş ve uydu bakış doğrultusunda meydana gelen deformasyon miktarı hesaplanmış olur.

SAR verileri yan bakışlı bir yapıya sahip olduklarından üretilen ürünlerde geometrik bir bozulma oluşmaktadır. Bu bozulmalar polinomlar kullanılarak giderilemezler. Radar koordinatlarından (menzil, azimut, yükseklik) jeodezik koordinat sistemine (Φ , Λ , h) dönüşümü için SAR görüntülerine Range-Doppler dönüşümü uygulanmaktadır. Bu işlem SYM'den yararlanılarak kısa görüntüleme ve gölge gibi faktörlerden kaynaklanan geometrik bozulmaların elimine edilmesini sağlar (Flipponi, 2019).

2.3.3 Değişimlerin izlenmesinde kullanılan InSAR yöntemleri

Yer yüzeyinde meydana gelen değişimlerin günlük, aylık veya yıllar içerisinde mm/cm biriminde belirlenmesinde sıklıkla kullanılan InSAR metodu, klasik InSAR yöntemi

olan DInSAR (Diferansiyel interferometri-Differential Interferometry SAR), değişime ait zamansal serilerin oluşturulduğu PSInSAR ve SBAS yöntemleri olarak üç ana başlıkta incelenebilir.

2.3.3.1 DInSAR

Aynı bölgenin farklı iki tarihde elde edien SAR uydu verileri arasında bulunan faz farkından yararlanılarak topoğrafyadaki hareketleri cm/mm hassasiyetinde tespit edebilen klasik InSAR yöntemidir (Karimzadeh ve Ahmadi, 2013). DInSAR yöntemi veri elde etme şekline bağlı olarak iki, üç veya dört geçişli olarak üç farklı biçimde uygulanabilmektedir.

İki geçişli DINSAR yönteminde, interferogram üretiminde kullanılacak olan iki SAR görüntüsü ve bölgeye ait harici SYM gerekmektedir. Farklı zamanlarda algılanan iki görüntü zamanı içerisinde yer yüzeyinde bir değişim olduğu varsayılırsa birincil görüntü ile ikincil görüntüdeki dalganın kat ettiği yol bakımından da bir fark olacak ve sonuç olarak faz farkı oluşacaktır. Oluşan bu faz farkı uydu bakış doğrultusunda (LOS) meydana gelen deformasyonu/değişimi elde etmemizi sağlamaktadır. DINSAR sonuç görüntüsü üzerinde halkalar şeklinde desenler mevcuttur. Bu desenler renk halkalarından meydana gelmekte ve her renk kuşağı (2π) örge olarak isimlendirilmektedir. Ortaya çıkan örgeler girişim (enterferans) uygulanarak uydu LOS yönünde yüzeyde oluşan yer değiştirmeyi ortaya çıkaran interferogram görüntüsü elde edilir (JCurlander, 1991). Elde edilen DINSAR (wrapped phase) görüntüsünde bulunan örüntüler, uydu ile yer yüzeyi arasında oluşan iki yönlü yoldan dolayı ilgili uydunun sahip olduğu dalga boyunun yarı birimini temsil etmektedir. Şekil 2.9'de Sentnel-1 (Dalga Boyu: 5.66) uydusuna ait artış (yükselme) ve azalış (çökme) için örnek örge kuşağı renkli halkalar ile sunulmuştur.



Şekil 2.9 : Sentinel-1 SAR Uydusu için hesaplanan bakış doğrultusu, düşey yönlü deformasyon (θ_i :geliş açısı) ve örgelerin artış ve azalış durumundaki şekli verilmiştir.

DInSAR yönteminde faz bilgisini kapsayan SLC (Single Look Complex) formatındaki SAR uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Temel olarak sırasıyla görüntü seçimi, görüntülerin eşleştirilmesi (Co-Registration), yeniden örnekleme (Resampling), görüntü filtrelemesi, interferogram oluşturulması, topoğrafik faz hesabı ve eleminasyonu, atmosferik hataların giderimi, uyumluluk/uyuşum (Coherence) hesabı, deformasyon faz görüntüsü ve filtre uygulanması, faz belirsizliğinin eleminasyonu, yer koordinat sistemine dönüşüm (Geocoding) işlem adımları takip edilerek DInSAR analizi gerçekleştirilebilir (Deguchi ve diğ. 2006).

Klasik InSAR olarak betimlenen DInSAR yönteminde tek bir görüntü çifti kullanılarak oluşturulan tek interferogram üzerinden sadece iki tarih arasında meydana gelen değişim bilgisi elde edilir. İki görüntü algılama tarihleri arasında elde edilen SAR verisi ile üretilen interferogram görüntülerinin zamansal bazının ve dik baz mesafesinin yüksek olması durumunda, atmosferik koşullarında etkisiyle ortaya çıkan uyumsuzluk nedeniyle doğruluk ve kalite düştüğünden çalışma alanına ait deformasyon haritasının düzgün bir şekilde üretilmesi mümkün olmamaktadır. Bu problemin ortadan kaldırılması amacıyla çoklu SAR görüntü çiftleri kullanılarak uzun süre içerisinde oluşan değişimlerin daha sağlıklı belirlenebilmesi için InSAR zaman serileri yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu yöntemler, sabit saçıcılar interferometri (PSI/PSInSAR) ve kısa baz uzunluğu interferometri (SBAS) metotlarını içeren ileri InSAR yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yapılan yöntem araştırmaları sonucunda birçok InSAR tekniklerini baz alan yeni yöntemler ortaya çıkmıştır. Ferretti ve diğ. (2001) PSInSAR tekniğini, Kampes (2005) DePSI tekniğini (Delf PS-InSAR processing package), Perissin (2009) Quasi-PS tekniğini (Quasi Permanent Scatterers), Hong ve diğ. (2008) STBAS tekniğini (Small Temporal Baseline Subset), Berardino ve diğ. (2002) SBAS tekniğini (Small Baselines Interferometry), Hooper ve diğ. (2004) StamPS (Standford Method for Persistent Scatterers) ve MT-InSAR tekniğini (Multi Temporal InSAR), Ferretti ve diğ. (2011) en güncel yöntem olan SqueezeSAR tekniğini geliştirilmişlerdir.

2.3.3.2 PSInSAR

Sabit veya daimi saçıcıların temel prensibine bağlı olarak çalışan PSInSAR yöntemi, topoğrafik ve geometrik yapısında bozulmalar olmayan sabit bir saçılım özelliği bulunan nesneleri kullanarak uzun zaman aralığında meydana gelen yer yüzeyi hareketlerini gözlemleyen bir tekniktir.

Bu teknikte, N tane SAR uydu verisi kullanılarak N-1 tane interferogram görüntüsü oluşturulmaktadır. Doppler frekans verileri, zamansal ve dik baz baz mesafesine bağlı kalınarak diğer görüntülerle yüksek korelasyon oluşturabilecek olan bir görüntü birincil görüntü olarak belirlenir. Geriye kalan görüntüler ise birincil görüntü ile interferogram görüntüsü çifti oluşturulması amacıyla ikincil görüntü olarak işlem akışına katılırlar. PSInSAR yönteminde sabit saçıcıların seçimi sırasında görüntüde yüksek uyumluluk değeri bulunan pikseller kullanılmaktadır. PS noktaları denilen bu piksellerin belirlenmesinde, D_A (genlik indeksi), σ (standart sapma) ve μ (genlik ortalama değeri) uygulanarak aşağıda verilen denklem kullanılır.

$$D_A = \frac{\sigma_A}{\mu_A} \tag{2.14}$$

Aday PS pikselleri belirlendikten sonra her nokta için pikseldeki yaklaşık sıfır gürültü değeri bulunan faz bilgisinin sabitliği hesaplanarak PS pikselleri belirlenmektedir (Abdikan, 2012). Yapılaşmanın olduğu yerlerde PS pikselleri insan yapımı sabit tesisler (kuleler, kaldırımlar, karayolları, sabit yapılar vb.), yapılaşmanın az olduğu kırsal kesşmlerde ise doğal sabit tesisler (kaya parçaları, taş bloklar vb.) göz önünde bulundurularak belirlenmektedir.

DInSAR yöntemine benzer bir şekilde PSInSAR yönteminde, oluşturulan interferoğramlardaki topoğrafya hatası harici bir SYM kullanılarak giderilir. Hassas yörünge bilgileri kullanılarak uydunun yörünge hatası giderilir. Daha sonrasında faz belirsizliğinin giderilmesi adımı gerçekleştirilir. Yer yüzündeki değişim zamanda ve mekanda korelasyon, atmosferde ise sadece mekânsal korelasyon mevcuttur. Bunun

aksine gürültüde hem zamansal hem de mekansal dekorelasyon mevcuttur. Zamansal ve mekansal filtreler kullanılarak yer değiştirme fazı, gürültü ve atmosferik fazdan ayrılmaktadır. Son ürün olarak LOS yönünde meydana gelen deformasyon hızı zaman serisi olarak belirlenmiş olmaktadır.

2.3.3.3 SBAS

Gözlemleme yapılan alanda SAR veri algılama zamanlarında faz korelasyonunun düşük olması durumunda uygun interferogram çiftleri oluşturulamamaktadır. Böylelikle uzun sürelerde ve yavaş hızda oluşan yer yüzeyindeki deformasyonların hassas bir şekilde izlenmesi zorlaşmaktadır. Yörünge, geometrik dik baz uzunlukları, zamansal değişim, topografya ve hava koşulları gibi parametreler interferogram çiftlerinin analizini etkileyen başlıca etkenlerdir. Daha önceki bölümlerde de bahsedilen bu etkenlerin elemine edilmesi amacıyla çok zamanlı olarak algılanan görüntüler kullanılarak, SBAS yöntemi geliştirilmiştir. DInSAR sadece iki farklı zaman arasındaki deformasyon bilgisini verirken, SBAS yöntemi yer yüzeyinde meydana gelen deformasyonların zamansal değişimini izlememizi sağlar (Berardino ve diğ. 2002).

SBAS yöntemi meydana gelen deformasyonun trendini belirlerken, görüntüdeki tüm piksellerin hepsine bakarak yüksek korelasyon değeri bulunan dağılmış hedefleri (Distributed Scatterer) bir arada irdelemektedir. SBAS yönteminde, çalışma alanına ait farklı tarihlerde elde edilmiş olan ($t_0,...t_N$) N+1 tane interferometrik görüntü oluşturulur.Tüm veriler, azimut ve menzil yönünde oluşan hatanın giderildiği referans grid bir yapıya sahip olmaları amacıyla hepsi birincil görüntü ile eşleştirilirler. Sonrasında N adet SAR görüntüsü arasındaki zamansal ve geometrik uyumsuzluğun etkisini elemine edecek şekilde toplam görüntü sayısının ikili kombinasyonu kadar interferogram görüntüleri üretilir (C(N,2)). Son olarak görüntülerdeki yüksek uyumluluğa (high coherence) sahip hedeflere, tekil değer ayrışımı (SVD-Singular Value Decomposition) yöntemi uygulanarak zamansal yer değiştirme serileri üretilir (Berardino ve diğ. 2002). Elde edilen ürünler evrensel bir kartografik projeksiyona indirgenerek kullanıcıya sunulur.
3. TUZ GÖLLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Çok soğuk ve yüksek sıcaklık gibi çeşitli koşullar altında var olabilen tuz gölleri, Dünya üzerinde bulunan tüm göllerin toplam hacminin %44'üne ve alanının %23'üne denk gelmektedir. Dünya üzerindeki tüm kıtalarda bulunan tuz gölleri genellikle buharlaşmanın yağıştan fazla olduğu kurak yapıya sahip havzalarda bulunmaktadırlar (Williams 1998). Birçok tuz gölü mevsimsel olarak veya daha uzun süreler boyunca kurak olabilir (Şekil 3.1) ve kuru tuzlu göl yataklarının yanı sıra yüzey boyunca tuz kabukları olan hipersalin koşulları sergileyebilir (Şekil 3.2).



Şekil 2.10 : Geniş tuzlu toprak düzlüklerine sahip hipersalin göl örneği (Tuz gölü, Türkiye).



Şekil 2.11 : Kalın tuz kabukları bulunan göl örneği (Tuz gölü, Türkiye).

Tuz gölleri, yüksek tuz seviyelerini tolere etmelerini sağlayan fizyolojik ve biyokimyasal biyotaya sahiptirler ve iklimde meydana gelen küçük değişikliklere bile oldukça duyarlı ve hassastırlar. Tuz gölleri gibi yüksek mineral oranına sahip sistemler, omurgasız hayvanlar, balık ve su kuşları gibi canlılar için uygun bir yaşam alanıdır (Williams 2002).

3.1 Dünya Üzerinde Tuz Göllerinin Dağılımı

Tuz gölleri coğrafi olarak geniş bir dağılıma sahiptir. Dünyanın en büyük gölü olan ve global ölçekte tuzlu göl hacminin %41'ine denk gelen Hazar Denizi gibi birçok büyük gölü içerir. Güney Amerika'nın Tibet Platosu ve Altiplano (yüksek ova) gibi yüksek rakımlarda bulunabilirken Dünyanın en alçak gölü olan Ölü Deniz gibi düşük rakımlarda da bulunabilmektedir. Hazar Denizi, Turkana Gölü ve Mono Gölü gibi asla kurumayan büyük tuz göllerinden (su seviyeleri uzun zaman dilimlerinde dalgalanma göstermektedir), Eyre Gölü ve Tuz Gölü gibi yalnızca dönemsel, düzensiz ya da yağışa bağlı olarak dolan göllere kadar birçok çeşitlilik göstermektedirler. Yarı kurak bölgelerde bulunan tuz göllerinde, kurak mevsimde yüzey suyu bulunmayabilir, ancak yağıştan sonra yıllık olarak dolmaktadır. Aral Denizi'ne benzer şekilde birçoğunun su seviyeleri, büyük ölçüde sulu tarım için su yönlendirmeleri nedeniyle azalmaktadır (MEA 2005). Tuz gölleri, havzalarındaki yağışların kısa vadeli değişkenliğinin yanı sıra göl çevresindeki akarsular boyunca inşa edilen büyük barajların bir sonucu olarak su seviyelerinde ciddi dalgalanmalara maruz kalmaktadırlar (Finlayson ve diğ. 1993). Tuz gölleri, hidrolojik girdiler (yüzey ve yeraltı suyu akışları ve yağış) ve çıktılar (buharlaşma ve sızıntı) arasındaki denge ile genellikle kapalı (endorheik) bir drenaj sistemini oluştururlar. Bu durum, kurak ve yarı kurak bölgelerde en sık görülen sulak alan koşullarıdır. Bu nedenle yüksek konsantrasyonlarda tuz içeriğine sahip su girdileri buharlaştıkça tuz gölde birikmektedir.

Dünya üzerinde bulunan tuz göllerinin yaklaşık üçte biri yarı kurak (yılda 200-500 mm yağış) ve kurak (25-200 mm) bölgelerde bulunmaktadırlar. Bu alanlarda buharlaşma yüksektir ve genellikle yağış miktarını aşmaktadır. Uzun zaman dilimlerinde gerçekleştirilen paleo-limnolojik çalışmalarda, iklimdeki uzun vadeli değişikliklerin birçok tuz gölü üzerinde, göl hacmindeki dalgalanmalar, tuzluluk ve göl ekolojisindeki değişiklikler gibi büyük etkileri olduğu görülmüştür. Yerel tuz göllerinin birçoğu uzun süreler boyunca kuru olabilen ve aşırı tuzlu koşullar sergileyebilen çok sayıda küçük gölün birleşimi bir yapıya sahip olabilmektedir. Tuz göllerinin küresel hacminin, tatlı su gölleri için 105.000 km³'e kıyasla 85.000 km³ olduğu tahmin edilmektedir. Tuz göllerinin kıta bazında dağılımı, Williams (1998) tarafından sağlanan bilgilere dayanarak aşağıda açıklanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 2.12 : Dünya üzerinde bulunan önemli tuzlu iç denizler ve tuz göllerinin konumları.

 Kuzey Amerika, tuz gölleri altı ayrı bölgede yaygındır: Büyük Ovalar, Kuzeybatı Platosu, Büyük Havza, Kıta Ortası Bölgesi, Güneybatı ve Kuzey Meksika'nın Chihuahuan bölgesi.

- Güney Amerika, tuz gölleri, Altiplano ve Kuzey Peru uzantısı ve Pampalar olmak üzere iki ana bölgede oluşur. Tuz göletleri Venezuela kıyılarında ve açık deniz adalarında çok bulunmaktadır.
- Avrupa, Tuz gölleri ve güneş havuzları, daha sıcak ve daha kuru iklime sahip Güney ve Güneydoğu Avrupa'da görülür. Batı ve Kuzeybatı Avrupa'da tuzlu su kütleleri, tuzlu su kaynaklarında ve denizlerde bulunur ya da tuz madenciliği sonucu oluşur.
- Afrika Tuz gölleri, Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde yaygındır, Sahra'da daha fazla yaygındır, Doğu Afrika'da ise çoğunlukla Büyük Yarık ve Batı Yarık Vadilerinde bulunur.
- Asya, tuz gölleri, Türkiye'den Çin'e kadar uzanan geniş bir bölgeyi kaplar. Çin'de, tuz göllerinin yaygın olduğu beş bölge tanımlanabilir: İç Moğolistan, Qaidam Havzası, Kuzey Qinghai, Qinghai-Tibet Platosu ve Sinkiang. Türkiye'de ise Konya Kapalı Havzasında en geniş hipersalin göllerden biri olan Tuz Gölü bulunmaktadır.
- Avustralya, tuz gölleri, güneydoğu ve güneybatısında kalıcı ve geçici tuz göllerini, kurak iç kesimlerde ise dönemsel tuz göllerini barındırır.
- Antarktika, çoğunlukla doğu kıyısında bulunur, birkaçı yaz aylarında geçici ve kuraktır. Kalıcı göller ise, yüksek tuzlulukları nedeniyle sürekli olarak donan ve asla donmayan tuz gölleri olarak ayrılmaktadırlar.

3.2 Ekolojik ve Biyolojik Özellikleri

İç su ekosistemlerini incelemek isteyen araştırmacılar için en büyük zorluklar, büyük tür çeşitliliği, habitat heterojenliği ve trofik ilişkilerin karmaşıklığıdır. Tuz gölü ekosistemlerinde tüm bu zorluklar en aza indirgenmiştir. Tuz göllerinin yapısından dolayı tatlı su ekosistemlerine kıyasla tür çeşitliliği daha azdır. Tuz göllerinin çoğunda son derece az tür olmasına rağmen genellikle önemli endemik türler bulunmaktadır.

Tuzluluk ve tür çeşitliliği arasındaki bu genel ters ilişki uzun zamandır bilinmektedir. Tuz göllerinin tuzluluğu, göller arasında ve zamansal olarak büyük farklılıklar gösterir (Williams 2002). Birçok büyük kalıcı tuz gölü için tuzluluk, gölde insan aktiviteleri olmadığı durumlarda uzun süreler içinde büyük ölçüde değişmemektedir. Tuz göllerinin tuzluluğu, dolduktan sonra ve kuruduktan sonra olmak üzere genellikle 50 g L⁻¹ ile 300 g L⁻¹ arasında değişmektedir. Mevsimsel olarak dolan ve kuruyan küçük göller, yıllık döngü içinde eşit derecede değişken tuzluluğa sahiptirler. Tuz göllerindeki başlıca mineraller genellikle tek değerli sodyum (Na⁺) ve klorürdür (Cl⁻), ancak bazı göllerde iki değerli iyonlar, magnezyum (Mg²⁺), kalsiyum (Ca²⁺) ve sülfat (SO4 ²⁻) baskın olabilmektedir. Buna karşılık tatlı su göllerinde tek değerli bikarbonat (HCO₃⁻) ve iki değerli karbonat (CO₃ ²⁻) bulunmaktadır (Jones ve Decampo 2003).

Yüksek tuzlu göllerde balık bulunmamaktayken orta tuzluluk oranına sahip göllerde balık ve sucul bitki çeşitliliği çok az miktarda mevcuttur. Balık ve sucul bitkilerin etkisinin azalması veya ortadan kaldırılması ile trofik dinamikleri ile ilgili çalışmaları hızlandırmaktadır. Ayrıca Tuz gölleri endorik drenaj havzalarından dolayı ayrı bir ekosisteme ve kapalı bir sisteme sahiptiler. Tuz göllerinde, daha karmaşık tatlı su ekosistemlerindeki organizmalara kıyasla gnotobiyotik organizmalar yaşamaktadır (Galat ve diğ. 1988). Tuz göllerindeki siyanobakteriler, özellikle Spirulina türleri, protein ve amino asit kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Ayrıca bu göllerde bulunan yeşil alg Duniella gliserol, karoten ve protein kaynağı olarak ilgi çekmektedir. Tuz yoğunluğuna en toleranslı olan organizma, genellikle yüksek tuzlu göllerdeki tek fotosentetik organizma olan Dunaliella salina'dır. Kısmen veya tamamen tuz göllerinde bulunan makrofitlerin çeşitliliği yüksek değildir. Ayrıca tuz göllerini çevreleyen tuzlu topraklarda, kökleri tuzlu koşullarda hayatta kalabilen bazı ağaçlar da vardır. Tuz gölleri, stromatolitler ve trombolitler gibi evrimsel anlamda son derece eski olan biyolojik tabiata sahiptiler (Şekil 3.4). Yüksek tuz seviyelerini tolere etmelerini sağlayan fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalara sahiptirler. Yaşam alanları kıyı deniz suları ve tuz gölleriyle sınırlı olan stromatolitler ve trombolitler, bir bakteri mikrobiyal mat ve tortu topluluğu içerir ve bazıları yaklaşık 3.000 milyon yaşında olan bilinen en eski fosiller arasındadır (Finlayson ve diğ. 2018).



Şekil 2.13 : Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan Tuz Gölü'ndeki trombolitler (Kırmızı daire içine alınmıştır).

Buna ek olarak özellikle birçok Afrika ülkesinde bulunan orta derecede tuzlu göller yerel halk için balıkçılık olanağı sağladığından ve göçmen su kuşlarının korunması açısından son derece önemli doğal alanlardır. Çok sayıda göçmen su kuşu için olduğu gibi, tuz göllerinin sağladığı ortam vahşi yaşam habitatları için uygun yaşam alanıdır. Tuz gölleriyle ilişkili olarak en iyi bilinen kuşlar, Orta ve Güney Amerika, Asya, Afrika ve Güney Avrupa'da bulunan beş farklı türde bulunan flamingolardır Spirulina diğer (Phoenicopterus). Flamingolar, ve fitoplanktonlar gibi Siyanobakteriler veya küçük omurgasızlarla beslenirler. Tuz gölleri bu türlerin yaşayabilir popülasyonlarını desteklemek için kritik öneme sahiptir. Örneğin Kaliforniya'daki Mono Gölü, Kulaklı Batağan, Phalarope Üç Renklisi ve Kaliforniya Martıları ile birkaç kuş türünün hayatta kalmasında kritik bir rol oynar. Arjantin'deki Mar Chiquita ve Kenya'daki Turkana Gölü ve Türkiye'deki Tuz Gölü gibi diğer birçok göl mevsimsel olarak çok sayıda göçmen kıyı kuşunu destekler (Conover ve Bell, 2020).

3.3 Sosyo-Ekonomik Özellikleri

Tuz insanlığın var oluşundan günümüze kadar kullanılan, canlıların yaşamsal fonksiyonlarının sürdürülmesinde önemli rol oynayan bir maddedir. Eski çağlardan

beri besin maddesi olarak kullanılan tuz, çağımızda kimya sanayinin en önemli girdilerinden biridir. Dünyada ve Türkiye'de nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlerin gelişmesi sonucunda hem yemeklik kullanımda hem de sanayi alanında tuz ihtiyacı artmaktadır. Türkiye'de olduğu gibi Dünya'da tuz sektörü önemli bir pazar teşkil etmektedir. Dünya tuz üretimi 220 milyon ton/yıl'dır. ABD en büyük tuz üreticisidir. Çin ikinci sıradadır. Daha sonra Hindistan ve Kanada gelmektedir. Türkiye ise tuz üretimi ile dünya sıralamasında 19. sırada yer almaktadır (URL-2). Dünya üzerinde tuz kaynakları başta okyanuslar gelmek üzere tuzlu su kaynakları, kayaçlarda bulunan kaya tuzu kaynaklarından oluşmaktadır. Tuzlu su kaynakları okyanus suları, deniz suları, yer altı suları, akarsular ve tuzlu göllerden oluşmaktadır. Ülkemizde deniz tuzu, kaya tuzu ve göl tuzu kaynaklarından tuz elde edilmektedir. Dünya üzerinde tuz üretiminin %50'si göl tuzu, %40'ı kaya tuzu ve %10'u da deniz tuzundan elde edilmektedir. Bu oran Türkiye'de %64 göl, %28 kaya ve %8 denizlerden üretilmektedir (Atılgan, 2019).

Tuz göllerinden elde edilen tuz, yüzyıllardır dünya ticaretinde önemli bir unsur olmuştur. Örneğin, Kuzey Afrika kıyı ovalarından gelen tuz, 2000 yıl kadar önce Arap kervanları tarafından çıkarılmıştır. Buna rağmen, tuz göllerinin ekonomik değerlerinin ve potansiyelinin farkına ancak yakın zamanlarda varılmıştır. Tuz gölleri önemli ekonomik değerlere ve geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Boraks, soda külü (sodyum karbonat), sodyum sülfat ve halit (sodyum klorür) uzun zamandır tuz gölü tortullarından elde edilmiştir. Kırıntılı tortullar arasında, belirli kil türleri ekonomik kullanımın ana malzemeleridir. Buharlaşan çökeltiler (evaporitler) önemli ekonomik ürünlerdir; en önemli ürünler arasında trona (sodyum seskikarbonat), soda külü, alçıtaşı, epsomit (magnezyum sülfat), tenardit (sodyum sülfat), halit, boratlar, lityum ve uranyum bulunmaktadır. Otijenik sedimanlardan zeolitler, bu silikatların endüstriyel kullanımı hızla arttığından en önemlisidir (Finlayson ve diğ. 2018).

Tuz göllerinin ekonomik katkısına Gradus (1977), "İsrail kimya endüstrisinin temelini oluşturan Ölü Deniz'dir" cümlesiyle ilgi çekmiştir. 1974/75 yılında bu gölden potasyum (potasyum klorür) üretiminin bir milyon tona ulaştığını belirtmiştir. Minerallerin çıkarıldığı bu tip tuzlu sular genellikle sulama suyu olarak değerlendirilemeyecek kadar tuzludur. Afrika'nın ve Meksika'nın belirli bölgelerinin sakinleri, orta derecede tuzlu göllerin bir siyanofiti olan Spirulina'yı uzun yıllardır bir gıda ürünü olarak kullanmışlardır. Bu alg, çarpıcı biçimde yüksek bir protein içeriğine

sahiptir (Clement ve diğ. 1967). Yine tuz göllerinde bulunan ekonomik değeri yüksek bir siyanofit olan Aphanothece Halophytica'nın da protein açısından zengin olduğu bilinmekte ve faydalı bir besin organizması olarak önerilmektedir (Tindall ve diğ. 1977). Gıda olarak doğrudan kullanımından çok yan ürünleri nedeniyle önemli bir ekonomik değere sahip olan tuz gölü yosunu Dunaliella Salina da ticari olarak kullanılmaktadır. Bu alg, karotenin bakımından en zengin bitki kaynaklarından biridir ve bu nedenle yararlı bir provitamin A kaynağıdır.

Ayrıca özellikle kurak iç kesimlerde bulunan tuz gölleri, önemli tarihi ve kültürel değerlerin yanı sıra rekreasyonel değerlere sahiptir. Doğal ve estetik bir görüntüye sahip olan tuz gölleri turizme kazandırılmış ve bulunduğu yörenin insanlarına ekonomik katkı sağlamıştır. Buna en iyi örnek olarak Türkiye'de bulunan Tuz Gölü verilebilir. Göl kenarlarına yapılan turistik alanlar hem alanı gezmeye gelen turistler için hem de gölün eşsiz doğasını ve üzerinde bulunan flamingo, bataklık kırlangıcı, suna gibi canlıların fotoğraflarını çekmek isteyen fotoğrafçılar için önemli bir rekreasyon alanı olmuştur.

3.4 Hidrolojik özellikleri

Tuzlu bir gölün oluşması ve varlığını sürdürebilmesi için üç temel koşulun sağlanması gerekmektedir (Eugster ve Hardie, 1978). İlk olarak, hidrolojik kapanmayı sağlamak için dışarı su akışının olmaması veya ciddi şekilde kısıtlanmış olması gerekmektedir. İkinci olarak, buharlaşma su girdisini aşmalı veya eşit olmalıdır. Son olarak, sığ veya yüzeye çok yakın kalıcı bir su kütlesini sürdürebilmek için su girdisi yeterli miktarda olmalıdır. Tuzlu göller için muhtemelen en uygun yerler, yağışların toplanmasını sağlayan dağ sıralarının veya yayla alanlarının yağmur gölgeleridir. Sığ havzalar gibi su girdisinin az olduğu diğer alanlarda, bölgesel geniş yeraltı su kaynakları buharlaşmanın ana girdisi olmaktadır. Her koşulda, kalıcı tuzlu su kütlesini sürdürebilmek için, yüzey veya yeraltı suyu girişi, buharlaşma hızına çok yakın olmalı, ancak onu aşmamalıdır. Tipik mevsimsel değişikliklerle birlikte yüzey akışı oluşabilir, göl seviyesi önemli ölçüde dalgalanabilir ve hidrokimya bataklıklar, çamurluklar ve deltalar gibi çevresel alanların oluşmasına neden olur. Böylesi durumlarda göl içerisinde tamamen kapalı biçimde playa denilen doğal su sütunları oluşur. Bu alanlar su girdisi ve buharlaşma arasındaki dengeyi zamanla korur ve çözünmüş tuzları oluşan su sütununda birikmesine izin verir (Rosen 1994). Tuz göllerinde tek su çıkışı buharlaşma ile olduğundan, havzanın hidrolojik bütçesindeki yağış, akış, sızıntı veya buharlaşma gibi değişiklikler gölün yüzey alanında bariz bir değişikliğe neden olacaktır. Yüzey alanındaki değişikliğe uyum sağlamak için kapalı göllerin seviyelerinde büyük dalgalanmalar meydana gelerek geride gölün paleohidrolojisi hakkında bilgi veren sedimantolojik, biyolojik ve jeokimyasal kanıtları bırakırlar. Bu tür hidrolojik olaylar, özellikle topografik bakımdan eğimin çok olduğu göllerde dramatik değişikliklere neden olmaktadır (Almendinger, 1990).

Hacimce küçük olmalarına rağmen hidrotermal deşarjın çözünen maddelere olan katkısı kayda değer olabilmektedir (Renaut ve Tiercelin, 1994). Yağış, akış, nehir deşarjı ve yeraltı suyu girdisindeki hacimsel farklılıklar, farklı litolojilere maruz kalma nedeniyle tuzlu göl sularının kimyasal evrimini etkileyebilir. Litolojik kompozisyon çok önemli olmasına rağmen, hidrolik iletkenlik, akifer kalma süreleri ve çözünme oranları ile göl sistemindeki sızıntılar da kapalı havzaların hidrokimyası için çok önemli belirleyiciler olabilmektedir (Donovan ve Rose, 1994). Yeraltı suyu girdisinin miktarı veya sızıntı miktarı tuzluluk gelişimini geciktirebilecek önemli bir etkiye sahip olabilmektedir (Wood ve Sanford, 1995). Sızıntının olduğu bir sistemde, çözünen madde kaybı oranı daha hızlı olabilir ve böylelikle gölün su kimyasına aerosoller hakim olmaktadır. Bahamalar (Teeter, 1995), Tazmanya (Buckney ve Tyler, 1976) veya Antarktika'nın batı kıyısı gibi, denize farklı şekilde bağlı olan kıyı göllerinde, çözünen maddelerin kaynağı ve oranı aynıdır. Ancak fiziksel özelliklerdeki veya koşullardaki (örneğin sıcaklık) farklılıklar, çok çeşitli tuzluluk oranına ve fraksiyonlara neden olabilmektedir. Kapalı havza gölleri ve su girdilerine, çevredeki drenaj havzalarının litolojileri ve doğal suların reaksiyonu direk etki etmektedir.

3.5 İklimsel Özellikleri

Kapalı havzada bulunan tuz gölleri başta olmak üzere tüm göllerin su dengesinde iklimsel olaylar kritik bir rol oynamaktadır (Almendinger, 1990). Yağış dahil olmak üzere kapalı bir havzaya su giriş miktarı, yüksek tuzluluk üretmek için havzadaki buharlaşma ile dengelenmelidir. Buharlaşmaya kıyasla fazla ya da yetersiz yağış, bölüm 3.4'de belirtilen hidrolojik tepkilere yol açacaktır. Kapalı havzalara ortalama yağış girişinin yanı sıra mevsimsel yağışların da gölün kimyası üzerinde önemli etkileri vardır. Özellikle muson iklimlerinde, dramatik hidrolojik dalgalanmalar yaşanmaktadır ve tuz göllerini etkilemektedirler. Örneğin, tuzlu ve alkali havzalarda kısa süreli muson taşkınları, bir yıllık çözünmüş Ca²⁺ girdisinin çoğunu merkezi havzaya taşıyabilmektedir. Mevsimsel iklim değişimlerinin etkileri, bölgedeki hidrolojik koşullara bağlı olarak yeraltı suyu akışlarıyla hafifletilebilmektedir (Torgersen ve diğ. 1986). Ortam sıcaklığı aynı zamanda göl sistemleri üzerinde önemli bir iklim kontrolüdür. Sadece biyota üzerindeki etkileri açısından değil, aynı zamanda farklı mineralojiler üretebilen mineral termodinamiğindeki değişiklikler içinde önemlidir (Last, 1999). Antarktika tuzlu göllerinde tuzluluk oranından kaynaklı olarak donma noktası, tuzlu suların sıcaklığının -10 °C'nin altına ulaşmasına olanak sağlamaktadır (Doran ve diğ. 2003) Zaman içinde yağış miktarı ve mevsimsel iklim değişimi sadece göllerin genel tuzluluğunun yanı sıra meteorik, yer altı ve hidrotermal suları da etkileyebilmektedir (Renaut ve Tiercelin, 1994).

4. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

Tezin bu bölümünde çalışma alanı olarak belirlenen bölge hakkında bilgiler verilecektir. Ayrıca bu tez çalışmasında kullanılan veriler, yöntem ve analizler detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

4.1 Çalışma Alanı ve Özellikleri

Tez çalışması kapsamında tuz gölleri hacim dinamiklerinin belirlenmesi amacıyla Türkiye'nin en büyük tuzlu gölü olan ve KKH 'da bulunan Tuz Gölü belirlenmiştir. Çalışma alanının konumu ve CORINE seviye 3 sınıflandırmasına göre arazi kullanım/örtüsü Şekil 4.1'de verilmiştir. Çalışma alanı baskın olarak tarım alanlarından, tuz bataklıklarından, bitki alanlarından ve su kütlelerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.1 : Çalışma alanının konumu ve arazi kullanım/örtüsü.

Türkiye'nin tuz ihtiyacının yarısından fazlası Tuz Gölü bölgesindeki tuzlalar ve ikincil tuz endüstrisi ile gerçekleştirilmektedir. Aşırı tuzluluğu nedeniyle içme, kullanma ve sulama suyu olarak yararlanılamayan gölde, T.C. Tekel Genel Müdürlüğü tarafından kurulan Kayacık, Yavşan ve Kaldırım Tuzlaları olmak üzere 3 adet tuz işletmesi bulunmaktadır (İÇDR,2014). Türkiye'nin en büyük tuz üretiminin yapıldığı göl İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan; bir iç denizin kuruması ile meydana gelen dünya üzerindeki sayılı göllerden biridir. Kuruyan bu bölgeye KKH'da bulunan dağlardan gelen suların birikmesiyle oluşan ve bölgenin en büyük gölü konumunda olan Tuz Gölü, Ankara, Konya ve Aksaray illerinin kesişiminde yer almaktadır. Uluslararası kriterlere göre A sınıfına giren bir sulak alandır. Tuz Gölü Havzası 14.09.2000 tarih ve 2000/1381 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan Bakanlar Kurulu Kararıyla Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak tespit ve ilan edilmiştir.08.08.2002 tarih ve 2002/4512 sayılı Resmi Gazete 'de yayınlanan Bakanlar Kurulu kararıyla Özel Çevre Koruma Bölgesi 'nin sınırları 7414 km² ye genişlemiştir. Yaklaşık 7500 km2'lik yüzeyiyle Türkiye'nin ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü'nün tek benzeri Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Salar de Uyuni Gölü'dür (Zorlu, 2013). Tuz Gölü, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'nün girişimleriyle uydular için Dünya üzerindeki sekiz kalibrasyon sahasından biri olarak seçilmiştir. Ayrıca kuş göç yollarının kesişiminde bulunan Tuz Gölü kuş sürüleri için önemli bir konaklama alanıdır. Hem doğaya sağlamış olduğu global faydaları hem de ülkemize sağlamış olduğu sosyo-ekonomik etkilerden dolayı Tuz gölü korunması gereken önemli bir doğal alandır.

Tuz Gölü yüksek dağlarla çevrili ve kapalı bir havza özelliği taşıdığından denizlerin nemli ılıman havasının bölgeye girmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle Tuz Gölü Havzası, yaz mevsimlerinin sıcak ve kurak, kış mevsimlerinin ise soğuk ve kar yağışının hakim olduğu karasal iklim özelliklerine sahiptir. Bölgede, batıdan doğu yönüne doğru yüksekliğin artmasının bir sonucu olarak karasallık derecesi artmakta ve kış mevsimlerinde sıcaklıklar çok düşük değerlere ulaşmaktadır. Ortalama yağış miktarının yaklaşık 400 mm olduğu İç Anadolu, ülkemizin en az yağış alan bölgesidir. Bölgedeki en fazla yağış, ilkbahar aylarında sağanak halde gerçekleşmektedir. WWF International tarafından yapılan çalışmada Dünya'nın en önemli 200 havzası arasında yer alan KKH'da 320 mm ile en az yağış alan bölge Tuz Gölü ve çevresidir. (Ekercin, 2007). Bölgenin en büyük gölü konumundaki Tuz Gölü'nde suyla kaplı olduğu maksimum alanlar incelendiğinde son 30 yılda yaklaşık %32 oranında bir azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.2).

GÖL ADI	1985	1995	2005	2015	2018	TİPİ	
TUZ GÖLÜ	106052,36	103524,04	82513,64	104285,35	72008,75		N
HOTAMIŞ	1394,40	19,46	108,62	11,03	55,35]	Col Gölü
TERSAKAN	3076,10	3188,18	1153,45	3377,52	692,64]	Samsan Gölü
BOLLUK	1038,26	902,30	627,75	1022,22	377,46]	Kozanlı Gökgöl
KOPEK	99,54	24,10	42,87	79,64	46,60	TUZLU	A lost the second second second
ÇOL GÖLÜ	1379,57	41,82	0,63	1122,07	50,00]	Tuz Gölü
KULU GÖLÜ	1277,27	1068,20	911,50	866,73	623,44]	Bollits Gölüe Tarrahan Gölü
AKGÖL	4676,00	808,85	66,92	283,05	149,68]	Persavali Oviu
MEKE MAARI	57,80	42.8	40,00	10,00	2,88]	Kızören Obruğu
TOPLAM	119051,29	109576,95	85465,38	111057,60	74006,80		Meyil Obruğu
MEYİL OBRUĞU	7,79	8,85	7,01	4,46	3,75		Çıralı Obruğu
ÇIRALI OBRUĞU	1,13	1,49	1,42	0,50	0,00]	Beyşehir Gölü
KOZANLI-GŐKGŐL	0,00	15,29	50,84	135,33	83,31]	Hotamış Gölü Meke
UYUZ GÖLÜ	28,33	15,11	16,99	18,59	14,20]	Akgöl
SAMSAM GÖLÜ	395,01	312,78	360,00	446,06	268,70		• Suğla Gölü
KIZÖREN OBR.	1,70	2,05	0,28	0,35	0,71]	and men and
BEYŞEHİR	65944,70	63019,60	62083,30	64836,30	62901,50]	THE PARTY AND AND AND AND AND AND AND AND AND AND
SUĞLA GÖLÜ	0,00	2659,80	3722,00	3738,30	3666,20]	Addition of Provide Addition
TOPLAM	66378,66	66034,97	66241,83	69179,88	66938,37		Sulak Alan Konumlari Sulak Alan Sinirlari KKH Sinirlari
ACI GÖL	110,17	110,24	105,97	101,64	101,43	ACI	and the state of the state

Şekil 4.2 : KKH'da bulunan göllerin konumları ve yıllara göre su yüzey alanları (Ha) değişimi (Yağmur ve diğ 2021).

Yağış alanı geniş olmasına rağmen gölü besleyen dereler küçüktür ve yazın birçoğu kuru durumdadır. Tuz Gölü'nün derinliği gölün neredeyse tamamında 40 cm'yi geçmemektedir. Suyun bol olduğu ilkbahar aylarında gölalanı 164-200 hektara ulaşır. Bu bölge buharlaşmanın yüksek olması ve Türkiye'nin en az yağış alan yeri olduğu için akarsu bakımından çok fakirdir. Tuz ihtiyacını karşılamak ve mevcut durumu korumak adına, son yıllarda Tuz Gölü Havzasını koruma planları hazırlanmış ve buna göre bölgedeki tuz üretimi ve mevcut alanı koruma adına yeni teknolojilerin uygulanması sağlanmaya çalışılmıştır (Kılıç, 2003).

Bölge ayrıca Orta Anadolu'daki önemli aktif tektonik öğelerin başında gelen KB-GD uzanımlı Tuz Gölü fay hattını içerisinde barındırmaktadır. Beekman (1966) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tanımlanan ve 'Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ)' olarak adlandırılan fay hattı sonraki yıllarda ortaya konulan çalışmalarda ise, 'Tuzgölü Fayı', 'Koçhisar-Aksaray Fayı' ve 'Koçhisar-Aksaray Fay Zonu' olarak adlandırılmıştır (Şengör, 1980; Uygun, 1981; Şaroğlu ve diğ. 1987; Derman ve diğ. 2003). Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda fay hatlarının uzunlukları 9-30 km arasında değişen paralel ya da yarı paralel 11 parçaya ayrılarak incelenmiştir (Kürçer ve Gökten, 2014). TGFZ'nin Aksaray segmenti önünde fayın sınırlandırdığı alüvyon zemin üzerinde bulunmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : TGFZ ve segmentlerinin gösterimi (Gezgin ve diğ. 2020).

Tuz Gölü, kendine özgü doğal yapısı ile ülkemizdeki diğer göllerden oldukça farklıdır. Eğimin çok düşük olduğu bu gölde, yapılan arazi çalışmaları sonucunda su yüksekliğinin çok sığ olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda gölün, mevsimsel değişimden oldukça etkilendiği neredeyse yaz aylarında yaklaşık %75'lik bir kısmının buharlaştığı görülmüştür. Ancak yapılan arazi çalışmalarında ağustos ayında gölün hemen hemen kuruduğu mevcut su yüzeyinin maksimum 8-9 santimetreyi geçmediği belirlenmiştir.

Tuz Gölü Havzası, genellikle kuzeybatı güneydoğu yönünde büyük fay hatlarının olduğu bir depolanma alanıdır. Geç Kretase-Kuvaterner döneme ait ve yaşlı sedimanlara sahip olan bölgenin sınırları; kuzeyinde Galatya volkanitleri, kuzeydoğusunda Çankırı-Çorum Havzası, doğusunda Kırşehir Kristalen Masifi, güney ve güneybatısında Bolkardağı Birliği, batısında Bozdağlar ve kuzeybatısında Sakarya Kıtasıdır. Tuz Gölü Havzası' nın temel jeolojik yapısını, Haymana-Polatlı bölgesinin Ankara Karmaşığı içerisinde bulunan Geç Triyas Yaşlı Temirözü oluşumu, Geç Jura-Erken Kretase Yaşlı Mollaresul oluşumu ve erken Kampaniyen öncesi yerleşim yaşında bulunan ofiyolitler oluşturmaktadır (Sonel ve diğ. 1995).

Hidrojeolojik özellikleri bakımından Tuz Gölüne girdi olan en önemli su kaynağı göle düşen yıllık yağışlardır. Buna ek olarak, güneyde bulunan Akiferlerin Eşmekaya Sazlıklarının boşalımı ve akabinde göl tabanındaki gözeler vasıtasıyla göle giren derin tuzlu yeraltı suları Tuz Gölü Alt Havzasının başlıca su girdileridir (Zorlu, 2013). Doğuda Şereflikoçhisar'dan gelen Peçenek suyu, güneybatıda DSİ Konya drenaj kanalı, batıda Cihanbeyli'den gelen İnsuyu ve güneydoğuda Aksaray'dan gelen Uluırmak gölü besleyen diğer akarsulardır (URL-3). Fakat göle gelen besleme akarsular üzerine kurulan barajlar göle gelen su miktarını azaltmıştır; Aksaray'ın kenarında bulunan Uluırmak Nehri üzerine Mamasın Barajı inşa edilmiş olup, sulama ve su temini amacıyla kullanılmaktadır. Yine Tuz Gölü'nü besleyen Melendiz çayının yıllık ortalama akımı 155 hm³ olup bu miktarın baraj inşaatından önce yaklaşık 124 hm³'ü göle ulaşmakta iken Mamasın Barajı'nın işletmeye açılışından sonra Tuz Gölü'ne ulaşan miktar 21 hm³ 'e kadar düşmüştür (Ekercin, 2007). DSİ 4. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılan yer altı suyu statik ölçümlerinde havzada su seviyesinin sürekli düşmekte olduğu gözlemlenmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri olarak büyük oranda yeraltı sularından beslenen göl üzerine inşa edilen tuz işletmeleri ve barajlar olarak gösterilmektedir.

4.2 Kullanılan Veriler

Tuz Gölü ve çevresindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla SAR ve optik uydu görüntülerinin yanı sıra bölgeye ait meteorolojik veriler, arazi ölçmeleri (Spektroradyometre ölçmeleri, Elektronik nem ölçmeleri, Nivelman ölçmeleri ve Toprak numunesi alımı) ve Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) elde edilen TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) noktalarından faydalanmıştır. Elde edilen ve çalışmada kullanılan verilerin konumları Şekil 4.4'te ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 4.4 : Çalışma alanı ve kullanılan verilerin konumları.

Bu bağlamda çalışmada kullanılan verileri SAR verileri, optik veriler, arazi çalışmaları ile elde edilen veriler ve yardımcı veriler (TUTGA, İklimsel veriler, Altlık haritalar) olmak üzere 5 alt başlık altında açıklanmıştır.

4.2.1 SAR verileri

Tuz Gölü ve çevresinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi ve Tuz Gölü Dinamiklerinin (TGD) izlenmesi amacıyla InSAR uygulamalarında ücretsiz bir şekilde erişilebilen ve yüksek zamansal çözünürlükle sürekli veri sağlayan Sentinel-1 SAR uydusunun İnterferometrik Geniş (IW) tarama modu ile algılanan verileri kullanılmıştır.

Sentinel-1 uydusunun görevi, farklı çözünürlükte (5 m'ye kadar) ve kapsama alanında (400 km'ye kadar) dört özel görüntüleme modunda (Stripmap (SM), Interferometric Wide swath (IW), Extra-Wide swath (EW), Wave mode (WV)) çalışan C-bandı görüntülemeyi içermektedir (Çizelge 4.1). Çift polarizasyon özelliği, çok kısa tekrar

ziyaret süreleri ve hızlı görüntü elde edinimi ile yeryüzü gözlemleri için önemli bir avantaj sağlar. Sentinel-1 C-SAR ile geniş bir alanın tekrarlanan görüntüleri, tüm hava koşullarında gündüz veya gece fark etmeksizin ESA tarafında kullanıcılara sağlanan bir site üzerinden kolaylıkla elde edilebilmektedir (URL-4).

Görüntüleme Tipleri	Polarizasyon	Mekansal Çözünürlük (m)	Yansıma Açısı (°)	Çerçeve Boyutu (km)
StripMop (SM)	Cift	5 x 5	20.45	80
Surpiviap (Sivi)	ÇIII.	5 X 5	20-43	80
Interferometric WS*		5x 20	>25	240
	VV+VH /		• •	
Extra WS (EW)		25 x 40	>20	400
Wave mode (WV)	HH+HV	20 x 5	23-36.5	400

Çizelge 4.1 : Sentinel 1 görüntüleme modları (* Çalışmada kullanılan mod).

Sentinel-1 misyonu, aynı yörünge düzlemini paylaşan Sentinel-1A ve Sentinel-1B isimleri verilen iki uydudan oluşan bir takımyıldız algılama sistemidir. Sentinel-1 takım uyduları yörüngelerinde herhangi bir çakışma olmaksızın tüm küresel kara kütlelerini, kıyı bölgelerini ve nakliye rotalarını vb. yüksek çözünürlükte görüntülemek için tasarlanmıştır. Ayrıca küresel okyanusların tamamını kapsayarak okyanuslar ile ilgili çalışmalar için önemli bir veri olanağı sağlamaktadır. Takımyıldızı, iki haftada bir tüm dünyadaki kara kütlelerini, deniz buzu bölgelerini, Avrupa'nın kıyı bölgelerini, nakliye rotalarını ve açık okyanusu kapsayacak şekilde veri üretmektedir. Bu, uzun zaman serileri gerektiren operasyonel hizmetler ve uygulamalar için yüksek tekrar ziyaret sıklığı, kapsama alanı, güvenilirlik ve garanti vermektedir.

Çalışmada 30 Kasım 2017- 12 Ocak 2019 dönemini kapsayan 34 adet VV polarizasyona sahip Sentinel-1 (87 numaralı yörünge) görüntüsü kullanılmıştır. Sulak alanlarda daha iyi sonuçlar verdiği için iki polarizasyon seçeneğinden VV polarizasyonu tercih edilmiştir (Hong ve Wdowinski, 2012). Tuz Gölü gibi düz havzalarda yükselen (ascending) ve alçalan (descending) alım yönü kullanımı sürekli olarak benzer sonuçlar vermektedir (Aslan ve diğ. 2019). Şekil 4.5'te çalışma alanında aynı tarihlerde, alçalan ve yükselen alım yönleri olmak üzere iki farklı şekilde uygulanan DInSAR interferogram haritaları sunulmuştur.



Şekil 4.5 : Yükselen (A) ve alçalan (B) alım yönü ile elde edilen SAR verileriyle oluşturulan deformasyon haritaları (Haritaların sol üst köşelerinde tarama alanları, çalışma alanı sınırları üzerinde sunulmuştur).

Gerçekleştirilen analizler sonucunda iki farklı alım yönüne ait haritalar arasında %95 oranında pozitif yönlü korelasyon vardır. Bu korelasyon değeri çalışma alanı olan Tuz Göl'ü sınırları içerisinde %98 oranına yükselmektedir. Şekil 4.5A ve Şekil 4.5B'de bulunan haritaların sağ üst köşelerinde ilgili alım yönünün tarama alanları bulunmkatadır. Yükselen alım yönü tüm alanı tek görüntü ile kapsamakta iken alçalan alım yönünde çalışma alanı minimum 2 farklı tarama alanı ile alan kapanmaktadır. Üretilen haritalardaki sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve alçalan alım yönü kullanımı SAR verisini 2 katına çıkaracağı ve dolayısıyla işlem süresini artıracağından dolayı yükselen alım yönü tercih edilmiştir.

Sentinel-1 uydusuna ait genel bilgiler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Zamansal Çözünürlük	Frekans	Dalga Boyu (cm)	Geliş Açısı (°)	Kapsadığı Alan(km)	Mekansal Çözünürlük	Kritik Baz Uzunluğu
12 gün	5.3 GHz	5,66	20-45	250x250	5m/20m	4.500 km

Çizelge 4.2 : Tez çalışması kapsamında kullanılan Sentinel-1 uydusuna ait bilgiler.

4.2.2 Optik veriler

Tuz Gölü ve çevresinde bulunan TGD'lerin zamansal değişiminin belirlenmesi ve InSAR sonuçlarıyla entegre edilerek irdelenmesi amacıyla Sentinel-2 optik uydu görüntüleri sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır.

Sentinel-2, geniş tarama alanlı, yüksek çözünürlüklü, multispektral görüntüleme özelliklerine sahip ESA tarafından 23 Haziran 2015 tarihinde uzaya gönderilen bir ikiz uydu sistemidir. Aynı yörüngede uçan ikiz uyduların tam görev özellikleri, Ekvator'da 5 günlük yüksek bir tekrar ziyaret sıklığı verecek şekilde tasarlanmıştır.13 spektral bandı bulunan bir optik uydu sensörü taşımaktadır; 10 m'de dört bant, 20 m'de altı bant ve 60 m mekansal çözünürlükte üç bant (Çizelge 4.3).

Kullanıcılar için mevcut olan Sentinel-2 ürünleri, atmosferin üstü yansımaya sahip Seviye-1C ve atmosferin altındaki yansımaya sahip Seviye-2A verileridir. Seviye-1C ve Seviye-2A uydu verileri, 100x100 km²'lik bir alanı kapsayan ve UTM/WGS84 projeksiyonunda sunulan orto-görüntüler.

Sentinel-2 görevi, 56° Güney'den (Isla Hornos, Cape Horn, Güney Amerika) 82.8° Kuzey'e (Grönland'ın yukarısında) uzanan bir enlem bandında kıyıdan 20 km'ye kadar tüm kıyı sularında, 100 km2'den büyük tüm adalarda, tüm AB adalarında, Akdeniz ve tüm kapalı denizlerde sistematik olarak veri toplar. Bunlara ek olarak, Sentinel-2 gözlemleri, üye devletler veya Copernicus Hizmetleri taleplerini karşılayan gözlemler ve uygulamaların gereksinim duyduğu görüntüleri kapsamaktadır.

Spektral	Mekansal Çözünürlük	Zamansal	Radyometrik
Çözünürlük		Çözünürlük	Çözünürlük
13 Band (0.44–2.20μm)	*B2, B3, B4, B8:10 m *B5, B6, B7, B8a, B11, B12:20m B1, B9, B10: 60 m	5	12

Çizelge 4.3 : Tez çalışması kapsamında kullanılan Sentinel-2 uydusuna ait bilgiler.

Copernicus Açık Erişim Merkezi, 28 Mart 2017'den itibaren Avrupa üzerinden Sentinel-2 görüntü verilerinin Seviye-2A ürünlerini sağlamaya başlamıştır. Atmosferik ve geometrik olarak düzeltilmiş atmosfer altı (BOA) yansıma özelliği sunan Sentinel-2 Seviye-2A (S2-MSIL2A) görüntüleri bu tez çalışmasında kullanılmıştır.

4.2.3 Yardımcı veriler

Gölde endüstriyel tuz üretimi, Nisan ayı ortalarında gölden tuzlaya su çekilerek başlar. Bu, buharlaşma için yüksek sıcaklıklar gerektiğinden, iklimsel olaylara bağlı olarak dört veya beş ay devam eder. Ekim ayında göl yatağını beslemek için çok sayıda gözenekten yeraltı suları çıkmaya başlar ve böylece tuz üretim döngüsü devam eder. Tüm bu olaylar bölgenin kapalı bir havza özelliği göstermesinden dolayı meteorolojik olaylar ile doğrudan ilişkilidir. Bu amaçla tez çalışmasında elde edilen TGB'lerin iklimsel koşullara nasıl tepki verdiklerini ve sonuçlarını irdelemek için Şekil 4.3'de Tuz Gölü çevresinde bulunan dört meteoroloji istasyonundan (Aksaray, Cihanbeyli, Eskil ve Kulu) yararlanılmıştır. Aylık yağış ve buharlaşma bilgilerini veren iklimsel veriler bu amaç doğrultusunda kullanılmıştır.

Hem elde edilen InSAR sonuçlarının yorumlanmasında hem de kalibrasyon aşamasında kullanılmak amacıyla çalışma alanına homojen olarak dağılmış 12 adet TUTGA verileri HGM'den elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

NOKTA	NOKTA	ίτ	TESİS	BOYLAM	ENLEM
KISALTMA	ADI	IL	TÜRÜ	(°)	(°)
ACHY	Acemhöyüğü	Aksaray	Pilye	33.83614	38.41151
ALHK	Altunhisar	Aksaray	Bronz	34.04319	38.04698
ALTI	Altınkaya	Ankara	Pilye	33.78857	38.60525
KOLU	Memberhöyüğü	Konya	Pilye	33.66823	38.04992
KSK2	Kutlu-2	Aksaray	Bronz	33.91152	38.29532
OKLV	Oklava Yaylası	Konya	Pilye	33.28395	38.19820
ORTA	Ortaköy	Kırşehir	Pilye	34.10102	38.92583
PASD	Paşadağı	Ankara	Pilye	33.25636	39.23833
SERE	Şerfelikoçhisar	Ankara	Pilye	33.60481	38.95104
TASP	Kayı	Konya	Pilye	33.15747	38.44359
TAVS	Tavşançalı	Konya	Pilye	33.00962	38.90111
UZUN	Uzunali	Kırşehir	Pilye	33.84295	39.08423

Çizelge 4.4 : Tez çalışmasında kullanılan TUTGA noktalarının özellikleri.

Gölün mevcut durumunu daha iyi anlamak amacıyla topolojik komşulukları bulunan arazi detaylarını (baraj, ırmak, kanal vb.) içeren altlık haritalar kullanılmıştır. Bu altlık haritalardan elde edilen veriler ile göl ve çevresinde bulunan arazi detaylarının göle katmış oldukları dezavantaj ve avantajlar irdelenmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde barajlar, gölü besleyen Melendiz ve Peçenek dereleri üzerine inşa edilmiştir. Ayrıca Değirmenözü ve İnsuyu derelerinin yatakları da kurumaya yüz tutmuş diğer gölleri besleyecek şekilde değiştirilmiştir. Her yıl mevsimsel taşkınların meydana geldiği güneybatı bölgesinde yer alan Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nün kanalının Tuz Gölü'nü doğrudan besleyen önemli kaynak olduğunu belirtmekte fayda bulunmaktadır.

4.2.4 Arazi çalışmaları ile elde edilen veriler

Şekil 4.3 'ün sağ üst köşesinde vurgulanan bölümde gösterildiği üzere, Tuz Gölü'nün kuzeydoğu bölgesinde bulunan ve gölün karakteristik özelliklerini yansıtan pilot bölgede detaylı bir arazi çalışması yapılmıştır. Toplam 4 adet arazi çalışması; bölgenin en kurak mevsimini yaşadığı ekim ayında, bölgenin en yağışlı olduğu şubat ayında ve bu iki mevsim arasındaki geçiş ayları olan nisan ve temmuz aylarında gerçekleştirilmiştir. Böylece nivelman ve GPS ile ölçmeler su minimum ve maksimum seviyedeyken yapılarak InSAR sonuçları ile karşılaştırma yapılmış ve TGB'nin izlenmesi için optimum referans verileri elde edilmiştir.

Göl hacim dinamiklerini belirlemede kullanılan SBAS yönteminin potansiyelini araştırmak için dört saha çalışmasında hassas geometrik nivelman tekniği uygulanmıştır. Geometrik nivelman ölçmesi ile oluşturulan kontrol verilerinin cm hassasiyetinde elde edilmesi amaçlanmıştır. Şekil.4.5'te görüldüğü üzere toplam nivelman ağı boyunca 356 adet ölçme arasından 250 noktada (106 nokta göl dışı) SBAS sonuçlarının karşılaştırılması için geometrik nivelman ölçme sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.6 : Arazi çalışması yapılan pilot alan ve Geometrik Nivelman Ölçme Ağı.

İlk nivelman ölçmesinin yapılması için bölgenin en kurak zamanı (Temmuz-Ağustos) seçilmiştir. Böylelikle suyun en çok buharlaştığı zaman diliminde ölçmeler

gerçekleştirilerek göl batimetrisi için optimum verinin elde edilmesi sağlanmıştır. Öncelikle A noktasından başlanılarak pilot alanın orta bölgesine doğru doğu istikametinde sonrasında bir dik oluşturacak şekilde güney istikametinde B noktasına doğru ölcmeler gerceklestirilmistir. B noktasından sonra yükseklik ölcmelerine göl dışından karayolu hattı üzerinden devam edilerek nivelman ağı A noktasına bağlanarak kapalı geometrik nivelman ölçmeleri tamamlanmıştır. Toplamda 15 kilometrelik bir hatta kapalı geometrik nivelman gerçekleştirilmiştir. Nivelman hattı, 8,8 km'si Tuz Gölü'nün içinde ve 6,2 km'si dışarısında olmak üzere yaklaşık 15 km uzunluğunda bir kapalı nivelman hattıdır. Bu ölçmeler yapılırken tek bir topograf (göz farklılığı oluşturmamak amacıyla) ile aynı noktada 2 farklı mira ile 2 ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Eş zamanlı GPS/Nivelman ölçmeleri sayesinde her bir mira ölçmesinin konumu kayıt altına alınmıştır. Her bir arazi çalışmasında bu konumlar yardımıyla ölçmelerin hemen hemen aynı konumlardan yapılması amaçlanmıştır. Kapalı nivelman yöntemi sonucunda ağ, 5.8 cm tolerans sınırının altında 2 cm hata sınırı ile kapatılmıştır. Nivelman ölçmelerini kapatmak amacı ile B noktasından A noktasına karayolu üzerinden yapılmıştır. A ve B noktaları zarar görmeyecek bölgelere demir çubuklar kullanılarak tesis edilmiştir. Bu noktalarda statik ölçmeler yapılarak koordinat bilgileri elde edilmiştir.

Tuz Gölü'nün zeminin tuz varlığından dolayı çok pürüzlü ve değişken yapıda olduğu görülmüştür. Şekil 4.6'da, Tuz Gölü pilot bölgesinden alınan farklı konumdaki görüntüler sunulmuştur. Göl kenarından, gölün orta bölgesine doğru gidildikçe ilk bölgede çamurlu toprak olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.6A). İlerleyen bölgelerde ise topraktaki tuz oranının artışı göz ile ayırt edilebilmektedir (Şekil 4.6B-4.6C). Son olarak ise tuz tabakasının üzerindeki sulu bölgeye ulaşılmıştır (Şekil 4.6D). A bölgesi çok nemli bir toprak ile kaplı olduğu ve interferometri üretiminde düşük uyumluluk sonuçları beklenmektedir. Buna karşın B ve C bölgelerinde yüksek uyumluluk beklenmektedir. D bölgesi ise su kütlesi ile kaplı olmasına karşın içerisinde yansıtımı yüksek olan tuz barındırmaktadır



Şekil 4.7 : Tuz gölü'nde arazi tiplerindeki değişim.

Uydu görüntülerinin daha yüksek doğrulukta sınıflandırılması ve yeryüzü ile uydu verileri arasındaki korelasyonun sağlanması amacıyla 17 Nisan 2018 tarihinde uydu geçiş süresi ile eş zamanlı olarak tüm TGB'ne ilişkin spektral bilgilerin elde edilebildiği spektroradyometre ölçmeleri yapılmıştır. TGB'nin gerçek yeryüzü spektral bilgilerinin Sentinel-2 uydu görüntüsünün daha yüksek doğrulukta sınıflandırılması için elde taşınan bir spektroradyometre ve 325-1075 nm spektral aralığına sahip olan Analitik Spektral Cihazı (ASDInc., Boulder CO, ABD) ile elde edilmiştir. Beyaz referans materyali ile yansıtma kalibrasyonu yapılarak ve her sınıf için 15 örnek noktasında spektral ölçmeler yapılmıştır. Spektral ölçmelerin gerçekleştirildiği her numune noktasında, KCB-300 Taşınabilir Toprak Etüd Cihazı ve nem PH ölçer ile toprağın sıcaklığı ve nemi de kaydedilmiştir. Şekil 4.7'de, ortalama spektral yansıma eğrisi ve bu değerlerin Sentinel-2 bantlarına karşılık gelen dalga boyu aralıkları gösterilmektedir. Grafik, spektroradyometrenin dalga boyu aralığını kapsayan 10m ve 20m mekansal çözünürlüğe sahip Sentinel-2 bantlarını (SWIR bantları hariç) göstermektedir.



Şekil 4.8 : TGB'nin ASD'den elde edilen spektral eğrileri ve Sentinel-2'nin farklı mekansal çözünürlüğe sahip spektral bantlarının gösterimi.

Spektroradyometre ölçmeleri incelendiğinde nemli toprak ve tuz sınıflarının birbirine çok yakın spektral değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni toprak içerisinde tuzlu suyun buharlaşmasıyla oluşan tuz içeriği olduğu söylenebilmektedir. Çalışma alanında tuz su ve toprak sınıflarındaki bu karışıklıkların üstesinden spektroradyometre ölçmeleri kullanılarak gelinmiştir.

5. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR İNTERFEROMETRİ TEKNİKLERİ İLE TUZ GÖLÜ DİNAMİKLERİNİN ANALİZİ

Bu tez çalışmasında TGB'nin hacim dinamiklerinin belirlenmesi amacıyla ileri yapay açıklıklı radar interferometri teknikleri olan ve zaman serileriyle 3. boyutta bilgi çıkarımına olanak veren PsInSAR ve SBAS teknikleri kullanılmıştır. Çalışma alanı olan Tuz Gölü ve çevresinde bulunan yapay alanlar PsInSAR tekniğiyle, TGB'ler ise SBAS tekniğiyle irdelenmiştir. Ayrıca göl içi gibi sabit saçıcıların az olduğu alanlarda PSInSAR yöntemine göre daha iyi sonuç veren SBAS yöntemi ile TGB dinamikleri izlenmiştir. Bu amaçla öncelikle optik uydu verilerinde TGB'ler sınıflandırılmıştır.

5.1 Optik Uydu Verilerin Mevsimsel Bazda Sınıflandırılması

AÖ/AK'da meydana gelen değişimlerin, iklim (Pielke ve diğ. 2011), jeo-kimyasal olayların, biyo-çeşitliliğin (Phalan ve diğ. 2011) ve su kütlelerinin (Bennett ve diğ. 2001) değişiminde olumlu ya da olumsuz etkileri vardır. Bu kriterlerden birinde meydana gelen değişim diğer prametreleri etkilemektedir. Bundan dolayı, AÖ/AK'nın geometrik ve zamansal değişimlerinin iyi bir şekilde açıklanabilmesi, doğal çevre üzerindeki dış etkenlerin iyi bir şekilde belirnebilmesi için önemli bir konudur.

Haritalama ve AÖ/AK belirlenmesi ve değişimlerin saptanması uzaktan algılama araştırmalarında yaygın olan bir konudur. AÖ/AK'nın şekli ve meydana gelen zamansal değişimler, bölgedeki sosyo-ekonomik ve doğal koşulları göstermektedir. Böylelikle yeryüzünde oluşan farklı birçok döngüyü modellemek ve anlamak için ihtiyaç duyulan bilgi birikimi üretilebilmektedir. AÖ/AK ve değişimi, sulak alanlar gibi doğal yapıların yönetiminin etkin bir şekilde sağlanması ve uygulanması için de önemli bir bileşendir (Lam, 2008).

Bu aşamada TGB'lerin sınıf bazında hem mevsimsel geçişlere olan davranışları hem de InSAR uygulamalarında doğruluğunu direk etkileyen uyumluluk (coherence) değerlerinin davranışlarının irdelenmesi amaçlanmıştır. Tuz endüstrisinin ve TGB'nin (su, tuz, bitki örtüsü, nemli toprak ve kuru toprak) mevsimsel geçişler üzerindeki etkisini anlamak için Sentinel-2 görüntüleri Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine -SVM) sınıflandırıcısı ile sınıflandırılmıştır. SVM sınıflandırıcı, diğer sınıflandırıcılara göre sulak alanlarda daha basit kullanımı ve daha az sayıda örnekle yüksek performans vermesi nedeniyle seçilmiştir (Sica ve diğ. 2016; Judah ve Hu, 2019; Pande-Chhetri ve diğ. 2017). SVM ile yapılan sınıflandırma işleminde radyal tabanlı fonksiyon kernel tercih edilmiş ve çapraz doğrulama yöntemi ile optimum parametre değerleri belirlenmiştir. Gölün farklı kesimlerinde gerçekleştirilen arazi araştırmalarında, elle GPS ve spektroradyometre ile bölge ile ilgili sınıf bilgileri toplanmış; bunun yarısı sınıflandırma aşamasında eğitim verisi olarak diğer yarısı kontrol verisi olarak doğruluk analizinde kullanılmıştır. Elde edilen SVM sınıflandırma sonuçlarının performansı test veri setleri kullanılarak hesaplanmıştır. SVM sınıflandırıcısının genel doğruluğu Şubat, Nisan, Ağustos ve Ekim görüntüleri için sırasıyla %88,7, %87,9, %86,2 ve %87,5 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Sınıflandırma sonuçlarının genel doğruluk ve kappa değerleri.

Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde TGB'lerinin mevsimsel olarak çok dinamik bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Örneğin şubat ayında yaklaşık 95000 hektarlık bir alanı kapsayan su sınıfının ağustos ayına gelindiğinde 7000 hektarlık bir alanı kapsadığı görülmektedir. Ağustos ayında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında bu alandaki su kütlesinin çok sığ olduğu ve 10 cm yüksekliği geçmediği görülmüştür. Şubat ayında su sınıfına ait alanların ağustos ayında çok sığ yerler haricinde tuz sınıfına dönüştüğü görülmektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : Sınıflandırma sonuç görüntüleri.

Tuz Gölü ortamında su seviyesinin izlenmesinde SBAS metodolojisinin potansiyelini analiz etmek ve TGB'nin dinamiklerinin SBAS sonuçları üzerindeki etkisini anlamak için sınıflandırılmış Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır. Mevsimsel değişiklikleri temsil etmek için 2 Şubat, 17 Nisan, 10 Ağustos ve 29 Ekim 2018 tarihlerinde elde edilen 10 m ve 20 m çözünürlüklü dört adet Sentinel-2 uydu görüntüsü seçilmiştir. Görüntülerin seçiminde suyun çekilme süreleri ve tuz hasat zamanları da dikkate alınmıştır.

5.2 SBAS Tekniği Kullanılarak Tuz Gölü Dinamiklerindeki Değişimin Belirlenmesi

SBAS yöntemi uygulanarak tuz gölü dinamiklerinin hareketleri ve su seviyesinin belirlenmesi amacıyla C-bantlı (radar frekansı 5.4 GHz) SAR sensörlerine sahip Sentinel-1 İnterferometrik Geniş (IW) tarama modu kullanılmıştır. 30 Kasım 2017- 12 Ocak 2019 dönemini kapsayan 34 adet yükselen VV polarizasyona sahip Sentinel-1 (87 numaralı yörünge) SAR görüntüsü kullanılmıştır. Sulak alanlarda daha iyi sonuçlar verdiği için iki polarizasyon seçeneğinden VV polarizasyonu tercih edilmiştir (Hong ve Wdowinski, 2012). Tuz Gölü gibi düz havzalarda yükselen ve alçalan tarama yönünün kullanılması benzer sonuçlar verdiğinden dolayı bu çalışmada tek bir tarama yönü tercih edilmiştir (Aslan ve diğ. 2019).

SBAS yönteminde uygulanan işlem adımlarını kompleks haldeki verilerin SLC formatında oluşturulması, interferometri çiftlerinin belirlenmesi, görüntülerdeki aynı piksellerin çakıştırılması, interferometrik süreçler, topoğrafya ve deformasyon hızlarının belirlenmesi, atmosferik etkinin kaldırıldığı her görüntü tarihlerinde bulunan

yer değiştirme farklarının ve hızlarının belirlenmesi ve son aşamada ise üretilen sonuç zaman serilerinin kartografik bir projeksiyonda sunulması olarak özetleyebiliriz.

Mevcut veri setlerinin miktarındaki artış ve interferometrik süreçlerdeki gelişmeler ile SBAS yöntemi çok sayıda SAR görüntüsü kullanarak korelasyon, atmosfer, yayılma gecikmesi ve topografik hatalar gibi olumsuz özelliklerin potansiyelini en aza indiren bir DInSAR yaklaşımıdır. SBAS, bağımsız interferogramları eşleştirmek, atmosferik ve topografik etkileri düzeltmek için tekil değer ayrıştırmasını (Singular Value Decomposition-SVD) kullanır. Dağıtılmış saçıcı (DS) adayları olarak bölgedeki TUTGA noktaları ve göldeki tuzlalar kullanılmıştır. Bu DS adayları, SBAS işlemi için Tuz Gölü'ne diğer göllere göre bir avantaj katmaktadır. 0.45 tutarlılık parametresi eşiği ile interferogram çiftleri oluşturulmuş ve topografik referans verisi olarak SRTM tarafından elde edilen yükseklik verileri kullanılarak topografik faz kaldırılmış, düzeltmeler uygulanmıştır. ardından Dalgacık Fonksiyonuyla atmosferik İnterferogramlara faz açılımı multi-looking işlemi uygulanmıştır. Yörüngeleri iyileştirmek ve açılmış interferogramlardan olası faz kaymaları kaldırmak için yer kontrol noktaları kullanılmıştır. Saçıcıların rastgele hareketi üzerinden hesaplanan zamansal tutarlılık, zamanın tek değişkenli üstel bir fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. 0 (güvenilir bilgi olmadan) ile 1 (gürültüsüz, güvenilir bilgi) arasında değişmektedir. Seçilen SAR piksellerinin güvenilir ve tutarlı sonuçlar vermesini sağlamak için bir eşik değer kullanılmıştır. Bu nedenle, Sentinel-1 verilerinden türetilen SBAS sonuçlarından güvenilmez pikselleri çıkarmak için uyumluluk görüntüsünden 0.45'lik bir eşik değer belirlenerek güvenilir SAR pikselleri seçilmiştir (Tampuu ve diğ. 2020; Wegmüller ve diğ. 2021). Daha sonra ilk yer değiştirme sonuçlarını ve artık topografyayı belirlemek için birinci inversiyon aşamasında kernel inversiyon uygulanmıştır. İkinci inversiyon aşamasında ise yer değiştirme zaman serisini oluşturmak için kernel inversiyon uygulanmıştır. Geometrik düzeltme uygulanarak sonuçlar yer koordinat sistemine dönüştürülmüştür (Şekil 5.3).

Zamansal korelasyonu azaltmak ve uyumlu örneklerin sayısını artırmak için SAR görüntüleri, mekansal ve zamansal çözünürlükler dikkate alınarak seçilmiştir. Sonuç olarak, toplam 128 interferogram üretilmiş ve belirtilen dönemdeki tüm görüntülerden 100 metrenin altında dikey baz uzunluğuna ve 60 günün altında bir zamansal baz uzunluğuna sahip olanlar kullanılarak zaman serisi üretilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Sentinel-1 görüntü alımlarının (kırmızı noktalar) zamansal baz uzunluğu (x ekseni) ve dik baz uzunluğu (y ekseni). SBAS interferogram çiftleri, her iki farklı nokta arasındaki mavi çizgilerle gösterilmektedir.

SBAS ile 128 interferogramdan LOS yönünde üretilen hız haritası Şekil 5.4a'da gösterilmiştir. Uyumluluk değeri 0.45'ten düşük olan pikseller (genellikle su ve nemli toprak sınıfları) yer değişim haritasında maskelenmiştir. Pozitif yöndeki hızlar maksimum 2,75 cm/yıl ile yeşil renkle gösterilirken, negatif yöndeki hızlar minimum -2,75 cm/yıl ile kırmızı renk ile tasvir edilmiştir. Tuz Gölü çevresinde, özellikle gölün ortasında ve tuzlaların bulunduğu yerlerde önemli yer yüzeyi değişimlerinin olduğu görülmüştür. Gölün iç kısmından sınırlı sayıda örnek olmasına rağmen, göl suyu içerisindeki tuz içeriğinden dolayı bu örneklemlerin göl su seviyesi değişiminin eğilimini görmek için yeterli miktarda olduğu görülmüştür.

Genel olarak, InSAR'ın sulak alan izlenmesindeki zorluğu, mikrodalgaların karmaşık etkileşimi, nem ve suyun morfolojisi nedeniyle düşük korelasyonun bulunmasıdır. Yüksek nem içeriğinde ve su sınıfında gönderilen enerjinin büyük bir çoğunluğu yutulacağından bu bölgelerde güvenilir interferometrik bir bilgi elde edilememektedir. Buna karşın, tuz gölleri bağlamında, suyun yüksek tuz içeriği, interferometri sonuçlarını daha kararlı ve yüksek korelasyonlu hale getirmektedir. Şekil 5.4c'deki arazide çekilen fotoğraflar gölün yüzey özelliklerini göstermektedir. P1 fotoğrafında gösterilen ilk yüzey alanı, içinde yüksek yoğunlukta tuz barındıran su sınıfı görülmektedir. Su içerisinde askıda kalan tuz hacmi bu alandan sınırlı olsa da bilgi çıkarılmasına olanak sağlamıştır. P2 noktasında ise su yüksekliği yaklaşık 10 cm olan

alanda net olarak görülebileceği gibi tuz kütlelerinin toplandığı P1'deki alana göre çok daha fazla bilgi elde edilmiştir. Sırasıyla P3 ve P4 fotoğraflarıyla temsil edilen kuru toprak ve saf tuz yüzeyleri, yüksek miktarda bilgi çıkarımıyla yüksek uyumluluk değerlerine sahip SBAS sonuçlarına ulaşmamızı sağlamıştır. Şekil 5.4b, SBAS sonuçlarının standart sapmalarının mekansal dağılımını göstermektedir. Dinamik bir yapıya sahip olan göl içerisinde standart sapma yüksek iken, göldeki yüksek yansıtma özelliğine sahip olan tuzlalar tam tersi şekilde düşüktür (Şekil 5.4b). Sonuçların maksimum standart sapması 2,75 cm/yıl olmasına rağmen, ölçmelerin %60'ının standart sapmasının 1 cm/yıl'ın altında olması, ölçmelerin güvenilirliğini göstermektedir.



Şekil 5.4 : 2017-2018 dönemi için SBAS LOS yönündeki hız haritasıTuz Gölü ve çevresi (yaklaşık 1900 km2) kesilerek sunulmuştur (a), SBAS ölçmelerinin standart sapmasının mekansal dağılımı (b), Farklı yapılara sahip Tuz Gölü çevresinde çekilmiş fotoğraflar (c).

5.3 Mevsimsel olarak sınıflandırılmış uydu verileri ile SBAS sonuçlarının irdelenmesi

Bu bölümde, Bölüm 5.1'de sınıflandırılan uydu görüntüleri ile bu tarihlere denk gelen SBAS interferogram çiftlerinin uyumluluk görüntüleri karşılaştırılarak irdelenmiştir. Şekil 5.5, SVM sınıflandırma sonuçlarını ve olası en yakın interferogram çiftlerinden üretilen uyumluluk görüntülerini göstermektedir. Ağustos ayının neredeyse tamamen kurak geçtiği ve bu ayda en düşük su varlığının bulunduğu gözlemlenmektedir. Tuz Gölü'nün yeniden su ile dolmaya başladığı Ekim ayına kadar bu durum devam etmektedir. Şubat ayında su (~40 cm derinlik) Tuz Gölü'nün baskın bileşeni olarak görülmektedir. Ortalama su seviyesi ve su ile kaplı alan mart ayına kadar azalarak gölün tekrar kurak döneme girdiği görülmektedir. Sınıflandırma sonuçları ile uyumluluk haritaları arasındaki uyumluluk incelendiğinde tuz ve kuru toprak sınıflarında yüksek uyumluluk olduğu görülmektedir. Bitki örtüsü ve nemli toprakta orta düzeyde uyumluluk değerleri gözlemlenirken tatlı su sınıfında beklenildiği üzere en düşük uyumluluk değerleri görülmektedir.



Şekil 5.5 : Sentinel-2 sınıflandırılmış görüntüleri ve ilgili sınıflandırma aralığına karşılık gelen Sentinel-1 uyumluluk görüntüleri.

Genel olarak, su dışında, her bileşen için ortalama tutarlılık değerlerinin SBAS tabanlı gözlem (>0.45) için yeterli oranda olduğu görülmektedir (Şekil 5.6). Vejetasyon sınıfı ile nemli toprağa ait uyumluluk değerleri birbirlerine yakın değerlere sahiptir ve orta derecede uyumluluk göstermektedirler. Kuru toprak ve tuz sınıflarının yüksek uyumluluk değerleri gösterdiği, su sınıfının ise en düşük uyumluluk gösterdiği görülmektedir. Ağustos ayında gölün neredeyse tamamen kuruduğu ve bu durumun Ekim ayına kadar sürdüğü gözlemlenmiştir. Ekim ayından sonra su ile dolmaya başlayan göl, şubat ayında maksimum doluluk seviyelerine ulaşmıştır. Bu aydan sonra göl, mart ayına kadar doğal sınırları içinde kalmış, ardından tekrar kurak bir döneme girmiştir. Bu dört periyotta tüm interferogram çiftlerinin uyumluluk değerleri AÖ/AK sınıflarına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Gölün doğal sınırları içinde bulunduğu şubat ve mart ayları arasındaki değerler Şekil 5.6a'da verilmiştir. Göl suyunun azalmaya başladığı ve kurak döneme girdiği Mart-Ağustos ayları arasındaki uyumluluk değerleri Şekil 5.6b'de gösterilmektedir. Tuz Gölü'nün tamamen kuruduğu ve tuz üretiminin ve buharlaşmanın yüksek olduğu Ağustos-Ekim dönemine ait değerler Şekil 5.6c'de verilmiştir. Son olarak, gölün yağışlarla dolmaya başladığı ve maksimum seviyelere ulaştığı Ekim-Şubat dönemi değerleri Şekil 5.6d'de gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : Dört farklı mevsim aralığında AKAÖ sınıflarının ilgili tarih aralığındaki tüm uyumluluk değerlerinin istatistiksel bilgileri (kutu grafiği).

Şekil 5.6, TGB sınıflarına ait uyumluluk değerlerinin mevsimsel değişimlere verdiği tepkileri göstermektedir. Ocak-Mart ve Ekim-Şubat dönemlerinde özellikle su sınıfındaki uyumluluk değerlerinin ortalamasında bir düşüş gözlemlenmekte ve bu değerin 0,4'ün altında kaldığı görülmektedir. Su içerisindeki tuz miktarının arttığı ve yüzeyde tuz oluşumlarının oluşmaya başladığı Mart-Ağustos döneminin yüksek uyumluluk değerlerinin ortalamasının arttığı görülmüştür. Vejetasyon sınıfı değerlerinin her mevsimde 0,4-0,5 arasında sabit kaldığı görülmektedir. Bunun nedeni bölgenin tuzlu floraya sahip olması ve mevsimsel değişimlerden etkilenmeyen, tuza dayanıklı bitki örtüsünün olması olarak gösterilebilir. Tuz sınıfının mart ayından ağustos ayına kadar uyumluluk değerinin azaldığı sonrasında ise ocak ayına kadar bir artış içinde olduğu gözlemlenmiştir. Tuz sınıfına benzer şekilde, nemli toprak sınıfının da aynı dönemlerde uyumluluk değeri azalmaktadır. Göl su girdilerinin azalmasıyla uyumluluk değerlerinde ağustos ayına kadar artış olmuş ve bu dönemde kuru toprak sınıfı en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Kuru toprak sınıfında, ağustos ayından sonra artan göl su girdisinin artmasıyla birlikte uyumluluk değerinin düşmeye başladığı görülmektedir.

Göl iklimsel değişimlerden oldukça etkilendiği için iklimsel değişimlerin de detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, iklim koşullarının uyumluluk değerleri üzerindeki etkisini anlamak için çalışma alanı çevresinde bulunan Aksaray, Cihanbeyli, Eskil ve Kulu meteoroloji istasyonlarından (Şekil 4.3) alınan aylık yağış ve buharlaşma verileri irdelenmiştir. Şekil 5.7'de meteorolojik parametreler ile ile aylık ortalama uyumluluk değerlerinin ilişkisi gösterilmektedir. Yağışların neredeyse hiç olmadığı haziran, temmuz ve ağustos aylarında buharlaşmanın artmasıyla uyumluluk değerlerinde bir düşüşün olduğu, ekim ayında ise en yüksek uyumluluk değerine ulaştığı gözlenmektedir. Ekim ayından sonra yağışların başlamasıyla uyumluluk değerlerinin azaldığı görülmektedir. Buharlaşmanın neredeyse olmadığı kasım ayından mart ayına kadar olan dönemde, yağış verileri ile uyumluluk değerleri arasında ters orantılı trendin olduğu gözlemlenmiştir. Uyumluluk değerlerindeki zamansal dekorelasyondan kaynaklı hataların önüne geçmek amacıyla uyumluluk koşulunu (>0.45) sağlayan yeterli miktarda yoğun saçılıma sahip pikseller kullanılmıştır. Yeterli miktarda uyumluluk değerinin olması, hava koşullarının C-bant SBAS sonuçları üzerinde neredeyse hiçbir negatif etkisinin olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.7 : Ortalama aylık yağış, buharlaşma ve uyumluluk değerleri. Meteorolojik veriler istasyonların ortalama değerleri ile elde edilmiştir.

Yaz ayları kurak geçmesine rağmen, gölün yeraltı su kaynakları ile beslenmesi nedeniyle toprak neminde büyük bir değişiklik olamamaktadır. Arazi çalışmalarında alınan toprak numuneleri önceden ağırlıkları bilinen kaplara koyulmuş ve ağırlıklarının ölçme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yaklaşık olarak 105 derecede fırınlanan toprak numuneleri çıkarılmış ve ağırlıklarının ölçme işlemi yeniden tekrar edilmiştir. Kapların ağırlıkları çıkartılmış ve kalan değerler aşağıda verilen denklem kullanılarak nem oranı hesaplanmıştır. (Şekil 5.8). Bu veriler arazi hakkında öncül bilgilerin elde edilmesi ve toprak nem içeriğinin uyumluluk değerlerini ne yönde etkilediğini görmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Nem Oranı =
$$\frac{(Kap+Yaş Numune) - (Kap+Kuru Numune)}{(Kap+Kuru Numune) - Kap} * 100$$
(5.1)



Şekil 5.8 : Toprak Numuneleri (a), Kapların Hazırlanması (b), Fırınlanma aşaması (c).

Tuz Gölü'nün farklı bölgelerinden alınan toprak örneklerinin nem içerikleri hesaplanmıştır. Sentinel-1 görüntülerinin uyumluluk değerleri ile toprak nemi arasında

negatif bir doğrusal korelasyon olduğu bu verilerden (nemli toprak ve kuru toprak) gözlemlenmiştir. Toplamda alınan 5 numune için nem oranları %15, %24 %30 %42 ve %54 olarak hesaplanmıştır. Bu numuneler uyumluluk haritasında sırasıyla 0.82, 0.74, 0.67, 0.61 ve 0.42 değerleri aldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda toprak nem içeriğindeki artışlar, uyumluluk değerlerinde bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ile birlikte bu özellik Tuz Gölü gibi tuz konsantrasyonundan dolayı buharlaşmanın yüksek olduğu nemli bölgelerde dezavantaj oluşturmaktadır.

Elde edilen sınıflandırma görüntüleri, ilgili uyumluluk görüntülerinde 0.45 değerinden büyük değere sahip pikseller ile çakıştırılmıştır. Böylelikle her sınıfın toplam alanının ne kadarının 0.45 uyumluluk değerine sahip olduğu hesaplanmıştır (Şekil 5.9). Şekilde, renkler TGB'ni tasvir etmektedir. Renklerin daha koyu olan tonu, TGB alanları içerisinde 0.45 uyumluluk değerine sahip alanları tasvir etmektedir. Bölüm 5.1'de sınıflandırılan dört farklı dönem için üretilen bu veriler ile 0.45 değerinden büyük olan uyumluluk değerlerinin sınıf bazında mevsimsel değişimlerden nasıl etkilendiğini de göstermektedir.



Şekil 5.9 : TGB'nin her birinin zaman içindeki toplam alanı (bkz. Şekil 5.5). Bu sınıflar içinde 0.45'ten büyük uyumluluk değerine sahip alanlar daha koyu renkle gösterilmektedir.

Tuzlu ve kuru toprak sınıflarının yaklaşık %90'ının, nemli toprağın %70'inin, vejetasyon sınıflarının %65'inin ve su sınıfının %25'inin SBAS tabanlı hacim dinamiği izlemesi için güvenilir veri (>0.45) üretebildiği görülmektedir.

Şekil 5.8'deki meteorolojik veriler ile Şekil 5.9'daki veriler arasındaki ilişkiler incelendiğinde negatif korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. Güvenilir verinin üretiminde buharlaşmanın en çok tuz sınıfını olumsuz etkilediği, buharlaşmadan en az etkilenen sınıfın ise kuru toprak olduğu belirlenmiştir. Yağış en çok su sınıfı üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir. Kurak mevsimde su sınıfının güvenilir veri oranının %27,20 olduğu sonrasında yağış ile beraber toplam su alanındaki artışın tersine güvenilir veri oranının %19,52'ye düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun en büyük nedeni olarak göldeki saf su miktarının artıp su içerisindeki tuz oranının azalması olarak gösterilebilir.

5.4 Su Seviyesinin ve Tuz Rekoltesinin SBAS Tekniği ile Belirlenmesi ve Değişiminin İzlenmesi

Su seviyesinin belirlenmesi, doğruluğunu ve güvenilirliğini araştırmak için öncelikle SBAS ve nivelman ölçmeleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca Sentinel-1 uydu verisinin SBAS tekniği ile tuzlalardaki tuz hacim dinamiklerini mevsimsel olarak izlenmesi potansiyelini anlamak için tuzlalardaki değişim sonuçları analiz edilmiştir.

GPS/nivelman ölçmeleri ile koordineli bir şekilde elde edilen arazi verileri ile GPS ölçmelerine göre coğrafi referanslı SBAS sonuç haritası eşleştirilmiştir. InSAR sonuçları ile birebir karşılaştırılabilmesi için; kullanılan uydu görüntüsünün, algılanma esnasındaki bakış (incident angle) açısını kullanarak (D.2) eşitliği ile dönüşüm yapılması gerekmektedir (Zhao ve diğ. 2015; Pepe ve diğ. 2016). Bu nedenle SBAS yer değiştirme sonuçları, bakış açısı (33,86°) kullanılarak dikey birim vektöre dönüştürülmüştür.

$$d = \frac{d_{los}}{\cos\theta_{inc}} \tag{5.2}$$

Denklemde bulunan *d*, yaklaşık olarak yeryüzüne dik oluşan yer değiştirmeyi, d_{LOS} ise bakış doğrultusunda oluşan düşey deformasyonuve θ_{inc} ise SAR sensörünün bakış açısını göstermektedir.

SBAS sonuçları çalışma alanında homojen olarak bulunan TUTGA noktaları kullanılarak kalibre edildiğinden arazi çalışmasında elde edilen nivelman bilgileri ile karşılaştırılabilir veri seti haline gelmiştir. Arazi çalışmalarında nivelman hattı boyunca su bulunan toplam 50 nokta seçilmiştir. Her nivelman noktasına 20 metre
çapında buffer uygulanmıştır. Bu alandaki ortalama SBAS sonucu, nivelman ölçmeleri ile karşılaştırılmıştır. 50 nivelman noktasında kullanılan toplam SBAS alanı 1275 m²'dir. Şekil 5.10, dört farklı mevsimde arazi çalışmalarında yapılan nivelman ölçmeleri ile elde edilen su seviyesi bilgilerini SBAS'tan elde edilen su seviyesi bilgileri ile karşılaştırmaktadır. Her arazi çalışmasında GPS yardımıyla yaklaşık olarak aynı noktalar kullanılmıştır. Su seviyesi sıfır olan noktalar ilgili mevsimlerdeki analiz sürecine dahil edilmemiştir. Şubat, Nisan, Ağustos ve Ekim aylarında SBAS ile su seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılan doğruluk karşılaştırmalarından elde edilen



Şekil 5.10 : Dikey birime çevrilmiş SBAS sonuçlarından ve nivelman ölçmelerinden elde edilen su seviyesi bilgilerinin arasındaki regresyon analizi.

Su seviyesinin 25 cm derinliğe ulaştığı şubat ayında iki veri seti arasında daha düşük bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. Su seviyesi azaldıkça ve sudaki tuz miktarı arttıkça bu değer artmaktadır. 25 cm derinliğin bulunduğu alanlarda SBAS ile su seviyesi belirlenirken nivelman ölçmeleri ile arasında 7 cm'ye kadar sapmalar olduğu görülmektedir. Bu fark 15 cm su derinliğinde 2-3 cm'ye, 8 cm derinlikte 0-1 cm'ye kadar düşmektedir. Ayrıca istatistiksel analizler, gölün su seviyesi azaldıkça KOH'nın azaldığını göstermektedir. KOH değerleri şubat ayında 2,85 mm, nisan ayında 2,5 mm, temmuz ayında 1,5 mm ve Ekim ayında (su seviyesinin en düşük olduğu ay) 0,5 mm olarak hesaplanmıştır.

Su seviyesinin belirlenmesi ve değişiminin SBAS ölçmeleri ile karşılaştırılıp incelenmesinden sonra tuzlalardaki SBAS bazlı yüzey değişimleri analiz edilmiştir. Tuz sınıfı, TGB arasında en önemli dinamik sınıflardan birisidir.

Buharlaşmanın etkisiyle oluşan tuz oluşumunun nisan ayında başlayıp eylül ayına kadar sürdüğü görülmektedir. Daha sonra yağmurlarla birlikte tuzun çözünmesine bağlı olarak bir çökme gözlemlenmektedir. Tuz Gölü'ndeki tuz rezervleri denklem 5.3'de verilen formül ile tuzun kalınlığı, toplam alanı ve tuzun yoğunluğu kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Şekil 4.3'de görüldüğü üzere gölde üç adet aktif tuzla bulunmaktadır. Tuz oluşum hareketlerinden dolayı tuzlalarda negatif ve pozitif hareketler meydana gelmektedir. Tuz verimi hesabının daha doğru yapılabilmesi için dikey birime sahip SBAS sonuçlarının 0,6'dan büyük uyumluluk değerlerine sahip DS adayları belirlenerek bu piksellerin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Bu DS adayları tuz hasadı döneminden önceki aylarda belirlendiği için herhangi bir dış etkene maruz kalmamışlardır. Bu işlemler ile elde edilen tuz kalınlığı, tuzlaların toplan alanı ve tuz yoğunluğu ile ilgili formül kullanılarak tuz rekolteleri hesaplanmıştır.

Yavşan Tuzlası gölün batısında yer alır ve yaklaşık 8,5 km² işletme kapasitesine sahiptir. Bu alanın yaklaşık 5,2 km²'sinde elde edilen güvenilir SBAS sonuçlarının (>0.6) ortalama değeri kullanılarak tuz kalınlığı 7,69 cm olarak belirlenmiş ve tuz rekoltesi hesabı yapılarak 1.438 milyon ton tuz üretim kapasitesi belirlenmiştir (Şekil 5.11).

Soldaki resimler, LOS yönündeki SBAS haritasında tuzlanın konumu gösterilirken, bu tuzladaki tuz yüksekliğindeki değişim sağda grafiksel olarak mavi kutular ile gösterilmiştir (Hesaplamalar dikey birimlere çevrilerek yapılmıştır). Ayrıca ölçme

bilgilerinin standart sapmalarının ortalamaları kırmızı çizgi ile verilmiştir.Sırasıyla örneklem piksel miktarları 5426, 5123 ve 6277 adettir.



Şekil 5.11 : Yavşan Tuzlası'nda SBAS sonuçları ile elde edilen tuz hareketleri.

Gölün doğusunda yer alan Kayacık Tuzlası yaklaşık 11 km² işletme kapasitesine sahiptir. Bu alanın yaklaşık 4.8 km²'sinde elde edilen güvenilir SBAS sonuçlarının (>0.6) ortalama değeri kullanılarak tuz kalınlığı 7,51 cm olarak belirlenmiş ve tuz rekoltesi hesabı yapılarak 1.838 milyon ton tuz üretim kapasitesi belirlenmiştir (Şekil 5.12).





Kaldırım Tuzlası gölün kuzeyinde yer almakta olup yaklaşık 12 km² işletme kapasitesine sahiptir. Bu alanın yaklaşık 6,1 km²'sinde elde edilen güvenilir SBAS sonuçlarının (>0.6) ortalama değeri kullanılarak tuz kalınlığı 7,81 cm olarak belirlenmiş ve tuz rekoltesi hesabı yapılarak 1,95 milyon ton tuz üretim kapasitesi belirlenmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Kaldırım Tuzlası'nda SBAS sonuçları ile elde edilen tuz hareketleri.

Bu aşamada, SBAS metodolojisi ile ücretsiz bir şekilde elde edilen Sentinel-1 uydu verilerinin Tuz Gölü ortamında hacim dinamiklerinin izlenmesinde kullanılabilirliğinin potansiyeli değerlendirilmiştir. Bunun için, Tuz Gölü üzerinde yıllık periyotlarda alınan 34 adet VV polarize görüntüye interferometri tekniği uygulanmıştır. Su-yüzey hareketini anlamak için SBAS ölçme sonuçları ile tuz gölü faaliyetlerini içeren dağılmış saçılımlar gözlemlenmiştir.

5.5 PSInSAR Tekniği Kullanılarak Tuz Gölü ve Çevresinde Bulunan Alanlarda Deformasyonun Belirlenmesi

Tuz Gölü ve çevresi tektonik hareketlerin ve fay hatlarının (holosen ve kuvaterner) bulunduğu ve geçmişten günümüze küçüklü büyüklü depremlerin meydana geldiği bir alandır.

Bu alanda Aktuğ ve diğ. (2013) tarafından ortaya konan mevcut ilk sayısal araştırma çalışma alanının tüm İç Anadolu bölgesini kapsamasına rağmen mevcut nokta miktarının tüm alanın deformasyonun ortaya konması için yetersiz olması nedeniyle (30-50 km) Tuz Gölü ve çevresinde bulunan segmentler hakkında sağlıklı sonuçlar bulunmamaktadır. Bölgede Fernandez-Blanco ve diğ. (2013) ve Simao ve diğ. (2016) yaptığı çalışmalarda Aktuğ ve diğ. (2013)'nin oluşturduğu veriler kullanılmış, Tuz Gölü ve çevresini içeren yeni bir sonuca ulaşılmamıştır. Bölgede detaylı bir şekilde Gezgin (2020) tarafından ilk defa doğrudan Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ) segmentleri üzerinde kurulmuş jeodezik ağdan sağlanan kayma hızlarını belirleyen bir çalışma yapılmıştır. Çalışma çok kapsamlı olmasına karşın önceliği TGFZ olduğundan dolayı özellikle kuzey ve batısı olmak üzere Tuz Gölü çevresinde oluşan değişimlerin

izlenmesi için kısıtlı kalmıştır. Bu aşamada Tuz Gölü ve çevresinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amacıyla 34 adet Sentinel 1 uydu verisi kullanılarak PS yöntemi ile deformasyon hızlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca göl çevresinde bulunan 12 adet TUTGA noktasına ait ölçmeler 2019 yılından, geçmiş yıllara doğru minimum 3 oturum halinde HGM'den talep edilmiş ve deformasyon hızları belirlenmiştir (Şekil 5.14). Son olarak TUTGA noktaları ile elde edilen deformasyon sonuçları ve PSInSAR tekniği ile elde edilen deformasyon sonuçları karşılaştırılarak yöntemin tuz göllerinde uygulanabilirliği ve doğruluğu analizi gerçekleştirilmiştir. Tuz gölü ve çevresinde 2017-2019 yılları arasında meydana gelen güncel hız alanları, bölgede bulunan 12 adet TUTGA ile Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı Aktif (TUSAGA-Aktif) tesislerine ait ölçmeler de işlemlere katılarak GAMIT/GLOBK yazılımları ile değerlendirilmiştir (Çizelge 5.1).



Şekil 5.14 : TUTGA noktaları ile hesaplanan yatay yöndeki hızların (mm/yıl) gösterimi. Kırmızı çizgiler holosen fay hatlarını, mor renkler kuvaterner fay hatlarını göstermektedir.

NOKTA	Hız(mm/yıl)		Hata (mm)		Hız(mm/yıl)	Hata (mm)
KISALTMA	V _{DOĞU}	V _{KUZEY}	V _{DOĞU}	V _{KUZEY}	Н	Н
ACHY	-16.88	2.61	0.58	-0.194	-0.45	2.16
ALHK	-16.07	4.24	0.65	-0.102	-8.56	2.74
ALTI	-18.53	-1.24	0.60	-0.195	1.37	2.26
KOLU	-17.77	2.23	0.36	-0.005	3.42	1.48
KSK2	-18.92	-3.23	2.33	-0.087	0.67	8.78
OKLV	-17.35	0.89	0.50	-0.200	-7.24	1.85
ORTA	-15.91	6.19	1.72	0.031	-1.68	6.47
PASD	-17.33	1.71	1.50	0.041	-9.23	5.83
SERE	-23.58	-2.72	2.72	0.107	-1.51	9.91
TASP	-17.51	1.38	0.37	-0.101	-20.33	1.47
TAVS	-20.00	-0.66	1.03	-0.065	-1.32	3.88
UZUN	-18.97	-1.01	0.98	0.080	-0.65	3.63

Çizelge 4.5 : TUTGA noktalarından elde edilen yatay (V) ve düşey (H) deformasyon hızları.

Bu veriler Tuz Gölü ve çevresinde meydana gelen deformasyonlar için öncül bilgi verici veri olarak kullanılmasına ek olarak PSInSAR ile elde edilen sonuçlarının doğruluğunun ve kullanılabilirliğinin irdelenmesi için kontrol verisi olarak da kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 incelendiğinde ALTI ve KSK2 noktaları haricinde kalan diğer noktaların (–) değerlerde olduğu ve çökme eğilimlerinin olduğu görülmektedir. Özellikle gölün güneybatısında yer alan Konya-Bulok fay zonu ile İnönü-Eskişehir fay zonu kesişiminde bulunan TASP ve OKLV noktaları ile TGFZ'nun yakınında bulunan PASD noktasında düşey yönlü deformasyon (yer değişim) hızının çok yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.14; Şekil 5.15). Ayrıca TUTGA noktalarından elde edilen yatay yönlü deformasyon hızlarına bakıldığında ise en fazla değişim olan noktaların TGFZ'u üzerinde bulunan KSK2, ORTA, UZUN ve PASD noktalarının olduğu görülmektedir.

PSInSAR analizi için EXELIS firmasının ENVI yazılımı üzerinde SARMAP firmasının geliştirdiği SARscape aracı (deneme sürümü) kullanılmıştır. Verilerin işlendiği bilgisayar Windows 10, 64 bit işletim sistemi, Intel Core (TM) İ7-6700 HQ CPU 2.60 GHz işlemci, 32 GB RAM konfigürasyona sahiptir.

PSInSAR tekniğini uygulamak için 30.11.2017 tarihi ile 12.01.2019 tarihleri arasını kapsayan aralarında 12 gün zamansal çözünürlük bulunan 34 adet SLC formatındaki Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri kullanılmıştır (Çizelge 5.2).

	Görüntü alım				Görüntü alım
No	tarihi	No	Görüntü alım tarihi	No	tarihi
1	30.11.2017	13	23.04.2018	24	2.09.2018
2	12.12.2017	14	5.05.2018	25	14.09.2018
3	24.12.2017	15	17.05.2018	26	26.09.2018
4	5.01.2018	16	29.05.2018	27	8.10.2018
5	17.01.2018	17	10.06.2018	28	20.10.2018
6	29.01.2018	18	22.06.2018 (*)	29	1.11.2018
7	10.02.2018	19	4.07.2018	30	13.11.2018
8	22.02.2018	20	16.07.2018	31	7.12.2018
9	6.03.2018	21	28.07.2018	32	19.12.2018
10	18.03.2018	22	9.08.2018	33	31.12.2018
11	30.03.2018	23	21.08.2018	34	12.01.2019
12	11.04.2018				

Çizelge 4.6 : PSInSAR yönteminde kullanılan Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri.(Birincil görüntü * ile belirtilmiştir).

Aralarından 22.06.2018 tarihli görüntü dik baz mesafesi, zamansal baz mesafesi ve uyumluluk değerinden kaynaklı olarak birincil görüntü diğer görüntüler ise ikincil olarak belirlenmiştir. Tek Bakışlı Kompleks (SLC) görüntülerin görüntü oluşturulmasından sonra ikincil görüntüler birincil görüntünün üzerine kaydedilmiştir ve ikili interferogramlar oluşturulmuştur. PSInSAR yönteminin uygulanması için uyumluluk eşiği 0.45 olarak belirlenmiştir. İnterferogramların oluşturulmasından sonra, SYM aracılığıyla topoğrafik faz kaldırılmıştır. Diferansiyel interferogramlar, oluşturulan interferogramlardan topografik fazın çıkarılmasıyla elde edilmiştir. değistirme modeli (hız ve artık topografya) diferansiyel Doğrusal yer interferogramlardan elde edilmiştir. Görüntü pikseli üzerindeki faz kaymasının hesaplanması, ortalamanın standart sapmaya en yüksek oranı esas alınarak yapılmıştır. Güvenilir ve yüksek doğrulukta yer değiştirme ölçümleri elde etmek için arazi ölçmelerinde elde edilen yer kontrol noktaları (YKN) kullanılmıştır. Bu veriler, yer değiştirme eğiliminin değerlendirmesini optimize edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bir sonraki adımda, görüntülerin tüm pikselleri için artık yükseklik ve yer değiştirme oranları oluşturulmuştur. Sabit saçılım noktalarının seçimi iki genel adımda gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, ilk sabit saçılım noktaları, geri saçılma genliğine göre seçilirken, ikinci aşamada, düzeltilmiş fazlarına göre ana sabit saçılım noktaları seçilmiştir. Bu noktalar genlik dağılım indeksi kullanılarak seçilmiştir. Faz açılımı, 2π belirsizliğini çözen bir işlemdir. Bu çalışmada, faz açılımı işlemi için Minimum Maliyet Akış (Minimum Cost Flow- MCF) algoritması kullanılmıştır. Bu yöntem, düşük tutarlılığa sahip geniş alanların veya artan sınırlayıcı faktörlerin varlığından dolayı açılım işleminin zor olduğu durumlarda önerilmektedir. Atmosferik etkilerin ve troposferdeki değişikliklerin neden olduğu sinyal dağılım gecikmesinin elemine edilmesi için zamansal yüksek geçirgen ve mekansal alçak geçirgen filtre kullanılmıştır. Bu aşamada Goldstein kombine filtre algoritması kullanılmıştır. Son olarak geometrik dönüşüm yapılıp LOS yönündeki deformasyon hız haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 : PSInSAR yöntemi ile elde edilmiş LOS yönündeki deformasyon hız haritası.

TUTGA noktalarına denk gelen piksellerden yüksek korelasyona sahip pikseller seçilerek ortalamaları alınış ve aralarındaki korelasyon hesaplanmıştır. KOLU ve ALHK kesilen PSInSAR görüntüsünde olmadığından hesaplamalara katılmamıştır. TUTGA sonuçları ile edilen sonuçlar mm hassasiyetinde olup PSInSAR sonuçları ile yüksek pozitif korelasyon (r>0.95) ile uyumludur (Çizelge 5.3).

	TUTGA Yatay	TUTGA Düşey	PS Düşey			
	Hız	Hız	Hız	Uyumluluk		
Nokta	(cm/y1l)	(cm/yıl)	(cm/yıl)	Değerleri Ort.		
ACHY	17,0805884	-0,541925784	-0,832751	0,809705		
ALTI	18,57144313	1,649862941	2,45213	0,821887		
OKLV	17,37281209	-8,718983718	-6,774578	0,82675		
KSK2	19,19373075	0,806867278	1,936857	0,775862		
ORTA	17,07173688	-2,023189592	-3,640114	0,755973		
PASD	17,4141609	-11,11549996	-13,22753	0,794792		
SERE	23,73636029	-1,818462074	-2,21288	0,798891		
TASP	17,56429617	-24,48300262	-20,448822	0,757972		
TAVS	20,01088704	-1,589648965	-2,303482	0,785504		
UZUN	18,99686816	-0,782781687	-0,359352	0,762512		

Çizelge 4.7 : PSInSAR ve TUTGA noktalarından elde edilen hızlar ve noktaların denk geldiği uyumluluk değerleri.

Çok fazla sabit saçıcının bulunmadığı çalışma alanında PSInSAR yönteminin, SBAS yöntemine göre daha az detaylı bilgi verdiğini görmekteyiz. Fakat yöntem gereği göl içerisinde bulunan tuz havuz setleri gibi sabit saçıcı özelliği gösteren alanlarda hemen hemen tüm setleri kapsayacak şekilde PS noktası üretildiği ve oluşan yer değiştirme bilgisi edinildiği görülmüştür. Ayrıca göl çevresinde oluşan mevsimsel aşınmalardan kaynaklı deformasyon ve toprak kaymaları da yüksek yoğunlukta PS noktalarıyla görülmektedir. Ayrıca TGZF boyunca yıllık 2 cm bulan bir deformasyon hızından bahsetme mümkündür. Bu aşamada elde edilen PS noktaları analiz edilerek nokta nokta önemli bölgelerdeki deformasyon hızları incelenmiş ve grafiksel olarak sunulmuştur.

Tuz göllerinde bulunan en önemli yapay alanların başında gölde bulunan tuzlalara ait setler gelmektedir. Bu setler göldeki tuz üretimi yapılan bölgeyi sınırlayıp tuzlalar ile göl arasındaki bir akış bağlantısı olmamasını sağlamaktadırlar. Setlerde oluşabilecek bir deformasyon tuz üretimini ya da gölün yapısını etkileyeceğinden dolayı düzenli bir şekilde kontrol edilmesi gereken bölgelerdir. Bu nedenle göl içerisinde bulunan Kaldırım (1.Bölge), Kayacık (2.Bölge) ve Yavşan (3. Bölge) tuzlalarının setlerindeki deformasyonlar izlenmiştir (Şekil 5.16;Şekil 5.17).



Şekil 5.16 : PSInSAR yöntemi ile göl içerisindeki tuzlaların deformasyonunun izlenmesi.

PSInSAR sonuçları irdelendiğinde 1. Bölgede yıllık yaklaşık 1 cm'lik bir çökmenin olduğu görülmektedir. 2. Bölgede yıllık 1.5 cm'lik bir çökme görülürken bu değer 3. Bölgede 0.5 cm'de kalmaktadır. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda tuzla setlerinin bu yıllar içerisinde tuz gölü için bir tehdit oluşturmadığı görülmektedir. Özellikle gölün kurumaya başlayıp tuza dönüştüğü mayıs ayında önemli bir sıçrama görülmektedir. Bunun nedeni olarak setlerin üzerinde tuz oluşumunun başlaması olarak gösterilebilir. Haziran ayından sonra setler genel olarak bir çökme eğilimi göstermektedirler. Tuz oluşumundan sonra tuzlalarda yapılan hasat ve ağır yüklü araçların bu setleri yol olarak kullanması ve sonucunda yaşanan çökmeler bunun nedeni olarak açıklanabilir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 : Şekil 5.16'da gösterilen tuzlalara ait deformasyon grafiği.

Tuz gölü ve çevresi mevsimsel ve iklimsel değişimlerden hızlıca etkilenen dinamik bir yapıya sahip olduğundan, gölden suyun çekilmesi ile göl sınırlarında çökme ya da kayma gibi deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Bu amaçla Tuz Gölü sınırlarında su akışlarından oldukça etkilenen 3 bölge test için seçilmiştir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 : Tuz Gölü sınırlarında suyun çekilmesiyle oluşan deformasyonlar.

Yapılan analizler göl sınırlarında her yıl ortalama 1-1.5 cm çökme meydana geldiğini göstermektedir. Şekil 5.20'deki grafikler incelendiğinde özellikle 2. ve 3. Bölge için ocak ve şubat aylarında ani bir düşüşün olduğu görülmektedir. Hemen hemen benzer eğilimi gösteren bu iki bölge göl su girdisinin en yoğun olduğu bölgelerdir. Bundan dolayı gelen yağmur suları ile yumuşayan zeminde meydana gelen kaymalardan dolayı bu düşüşün olduğu söylenebilmektedir. 1. Bölge gölün neredeyse en son su ulaşan bölümüdür. Bu nedenle mayıs ayına kadar bu bölgede çok değişim olmaz iken bu aydan sonra bir düşüş eğilimi görülmektedir. Şekil 5.5'te görüleceği üzere bu bölge çok değişken bir yapıda olduğu görülmektedir. Grafikte bulunan bu dalgalanmaların sebebi olarak bölgenin çok dinamik bir yapıya sahip olduğu gösterilebilir.



Şekil 5.19 : Şekil 5.18'de gösterilen tuzlalara ait deformasyon grafiği.



6. SONUÇLAR

Bölgenin en büyük gölü konumundaki Tuz Gölü, dağlardan gelen suların KKH'da birikmesiyle oluşmuştur. Göl çok yüksek bir oranda tuz ihtiva eder. Yaz aylarında yaşanan kuraklık nedeniyle göl neredeyse tamamen kurur ve herhangi bir su birikintisi kalmaz. Yaz sonlarında göl, yaklaşık kalınlığı 30-40 cm'yi bulan tuz tabakasıyla örtülü kalmaktadır. Hem doğaya sağlamış olduğu global faydaları hem de ülkemize sağlamış olduğu sosyo-ekonomik etkilerden dolayı Tuz Gölü korunması gereken önemli bir doğal alandır. Bu bölge buharlaşmanın yüksek olması ve Türkiye'nin en az yağış alan yeri olduğu için akarsu bakımından çok fakirdir. Ayrıca göle gelen besleme akarsular üzerine kurulan barajlar göle gelen su miktarını azaltmıştır. Bölgeye sosyal, ekonomik ve kültürel olarak önemli bir katkı veren bunun yanı sıra mevsimsel ve iklimsel değişimlerden dramatik bir şekilde etkilenen Tuz Gölü ve çevresindeki değişimlerin ücretsiz, hızlı, kısa zaman bazında ve yüksek doğrulukta sonuçlar veren bir metodoloji ile izlenmesi ve takip edilmesi önemli bir husustur.

Bu amaçla ESA tarafından ücretsiz bir şekilde elde edilebilen Sentinel-1 SAR ve Sentinel-2 Optik uydu görüntüleri kullanılarak Tuz Gölü ve çevresindeki bileşenlerde meydana gelen hareketler literatürdeki çalışmalara ek olarak PSInSAR ve SBAS teknikleri kullanılarak 3 boyutlu bir şekilde incelenmiştir. Literatürde birçok çalışmada InSAR yöntemi kullanılarak su seviyesi çalışmaları yapılmıştır fakat bu çalışma, tuz göllerinin bir sistem içerisinde olduğu ve bütün bileşenlerin birbiriyle etkileşim içinde olduğu gerçeği baz alınarak sadece bir unsura odaklanmadan bütüncül bir şekilde, optik, SAR ve arazi ölçmeleri (Spektral ölçmeler, toprak nemi ölçümü, nivelman ölçmeleri vb.) ile oluşturulan zengin bir veri setiyle yapılan ilk çalışmadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

 Öncelikle daha önce tanımlanmamış olan TGB, sınıflandırma işlemleri ve arazi ölçmeleri sonucu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen arazi çalışmalarında ve literatür araştırmalarında tuz göllerinin en önemli bileşenlerinin tuz, su, vejetasyon ve toprak sınıfının olduğu belirlenmiştir. Tuz Gölü çok sığ bir yapıda ve yer altı sularından beslenen bir göl olduğu için nemli toprak bu tip göllerde önemli bir sınıf olarak görülmektedir. Bu nedenle toprak sınıfı kuru ve nemli olmak üzere TGB olarak tanımlanmıştır. Bu bileşenler belirlenirken uluslararası düzeyde literatür incelenerek tüm tuz gölleri için ortak sınıflar belirlenerek (TGB) tuz gölleri sınıflandırması için standart belirlenmiştir. Bu sınıflar yapılacak olan çalışmanın amacına göre detaylandırılabilir.

- TGB'lerin belirlenmesinin akabinde sınıflandırma işlemlerinde kullanılması ve tuz gölleri için yapılacak olan çalışmalara öncül bilgi olması amacıyla spektral yansıma değerleri spektroradyometre ölçme aleti ile her mevsim için ayrı ayrı elde edilerek TGB kütüphanesi oluşturulmuştur. Tuz ile nemli toprak sınıflarının birbirine çok benzer spektral yansıtım değerleri gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni olarak nemli toprak içerisinde bulunan tuz içeriği olduğu düşünülmektedir. Bu iki sınıfın ayrımında 600-900 nm reflektans değerleri arasında bulunan spektral farklılıklar kullanılmıştır.
- Göl su seviyesinin belirlenmesi ve değişiminin incelenmesi amacıyla SBAS yöntemi kullanılmıştır. Yapılan tez çalışmasında su içerisindeki tuz oranı arttıkça InSAR uygulamalarında hiç ya da düşük uyumluluk değerleri gösteren su sınıfının, uyumluluk değerinde artış olduğu görülmüştür. Bu bağlamda SBAS çalışmaları için tuz göllerini diğer göllerden ayıran en önemli özelliği göl suyunun içinde bulundurduğu ve radar sinyallerinin yansımasını sağlayan tuz sınıfı olduğu görülmüştür. Bu özellik sayesinde uygulanması mümkün olan SBAS yönteminden elde edilen sonuçlar ile su seviyesi/değişimi hakkında bilgi edinilmiştir.
- Su seviyesinin derinliğinin, su seviyesinin belirlenmesinde doğruluğu etkileyen ikinci önemli kriter olduğu görülmüştür. 25 cm derinliğin bulunduğu alanlarda SBAS ile su seviyesi belirlenirken nivelman ölçmeleri ile arasında 7 cm'ye kadar sapmalar olduğu görülürken bu fark, 8 cm derinlikte 0-1 cm'ye kadar düşmektedir. Ayrıca istatistiksel analizler, gölün su seviyesi azaldıkça KOH'nın azaldığını göstermektedir. KOH değerleri 25 cm derinlikte 2,85 mm, su seviyesinin en düşük olduğu zamanda (8cm) 0,5 mm olarak hesaplanmıştır. SBAS tabanlı yer değiştirme hareketlerinin, su seviyesi değişiminin izlenmesinde arazi ölçmeleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Regresyon analizi, SBAS tabanlı elde edilen su seviyesi bilgisiyle arazi ölçmeleri ile elde edilen su seviyesi bilgileri arasında 1-5 cm'lik bir doğrulukla yüksek bir uyum

göstererek, yüzey suyu seviyesini belirlemek için Sentinel-1 verilerinin potansiyelinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

- Tuz göllerinin en önemli bileşenlerinden biri olan tuzun hareketlerini incelemek için göldeki üç tuzla incelenmiştir. Gölde aktif bir şekilde bulunan Kaldırım, Kayacık ve Yavşan Tuzlalarında yapılan araştırmada tuzun 1 senelik tuz oluşum senaryosu izlenmiştir. Nisan ayında başlayan buharlaşma etkisiyle ortaya çıkan tuzun kalınlığının yaklaşık 4 cm'ye ulaştığı görülmüştür. Tuz kalınlığı kullanılarak hesaplanan tuz üretim miktarının, göl genelinde yapılan hesaplamalarda ortalama 5 milyon ton olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu rakam tuz işletmelerinin verdiği rakamlarla örtüşmektedir. İlk defa Tuz Gölü'nde bulunan tuzlalardaki tuz rekoltesi Optik ve SAR verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem sayesinde ekonomik olarak bir projeksiyon yapılabilir ve ihtiyacın artması ya da azalmasına göre tuz üretiminin yönetimi gerçekleştirilebilir. Ayrıca göl girdilerinde meydana gelebilecek küçük kesilmeler dahi göle dramatik bir şekilde zarar vereceğinden sınıflandırılma sonuçları irdelenerek göle gelen su girdileri takip edilmelidir.
- PSInSAR yöntemi ile Tuz Gölü'ndeki tuzlaların setleri gözlemlenmiştir. Gözlemlerde setlerin durumunun göle zarar vermeyecek düzeyde yıllık 0.5-1.5 cm hızla çökme eğiliminde olduğu saptanmıştır. Yine bu yöntemle yapılan diğer bir araştırmada çok dinamik bir şekilde değişen göl su seviyesinden kaynaklı olarak göl sınırlarında 1-1.5 cm arasında toprak kaymalarının olduğu bulunmuştur. Tuz göllerinde bulunan en önemli yapay sınıf tuzlalardır. Bu tuzlalarda oluşabilecek herhangi bir hasar, yıkılma ya da çökme göle önemli derecede zarar vereceğinden yıllık olarak izlenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.
- Hem PSInSAR sonuçlarının doğruluğunun karşılaştırılması hem de göl çevresinde bulunan tektonik ve çökme gibi yer hareketlerinin izlenmesi amacıyla Harita Genel Müdürlüğü'nden alınan RINEX formattaki TUTGA noktaları verileri GAMIT ve GLOBK modülünde işlenmiş kalman filtrelemesi uygulanarak çalışmanın amacına yönelik çözümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Tuz Gölü ve çevresinde homojen olarak dağılmış olup bölgede hem yatayda hem de düşeyde meydana gelen deformasyon hızlarını mm hassasiyetinde göstermiştir. Tuz Gölü'nde en fazla yatay deformasyonun gölün doğusunda bulunan TGFZ üzerinde gerçekleştiği buna karşın en fazla düşey

deformasyonun ise gölün batı ve kuzeyinde olduğu görülmüştür. TUTGA noktalarından elde edilen düşey yönlü sonuçlar, PSInSAR sonuçlarının doğruluğunu irdeleyebilmek amacıyla LOS yönüne çevrilmiş ve aralarında yaklaşık %95 seviyesinde yüksek korelasyonlu bir uyum çıkmıştır.

- Dünya ve ülkemiz için önemli tuz kaynakları olan tuz gölleri hem üretimin devam edebilmesi hem de kontrol altına alınabilmesi amacıyla düzenli bir şekilde gözlemlenmelidir. Tuz oluşumunu etkileyen iklimsel koşulların yanı sıra gölden su çekilmesi ya da göle düzensiz su girdisinin kısa zaman diliminde gerçekleştirilen gözlemler vasıtasıyla irdelenmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu amaçla optik ve SAR görüntüleri tuz gölü dinamiklerinin izlenmesinde kullanılabilir.
- Bu çalışmada optik verilerinin görsel yorumlamadaki üstünlüğü ile SAR verilerinin yeryüzü hareketlerinin belirlenmesindeki üstünlüğü entegre edilmiş ve göl değişiminin nedenleri daha iyi yorumlanabilir hale gelmiştir. Bu nedenle özellikle tuz gölleri gibi dinamik ve sabit yansıtıcıların bulunduğu göl alanlarında yapılacak olan çalışmalarda optik ve SAR görüntüleri kullanılarak yer değiştirme haritalarının birlikte yorumlanması daha kapsamlı sonuçlara ulaşmak için önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Tuz göllerinin hacim dinamiklerini gözlemlemek için bitki örtüsünün çok yoğun olmaması ve gölün sabit yansıtıcı objelere sahip olmaları koşullarıyla SBAS yönteminin kullanılabileceği görülmüştür.
- Çalışmada, sulak alanlarda iyi sonuçlar elde etmek için SBAS işleminde kullanılacak interferogram çiftlerinin 100 metrenin altında bir baz uzunluğuna ve 13 günün altında bir zamansal baz aralığına sahip olmaları gerektiği görülmüştür.
- Tuz göllerinde, tuz içeriğinden dolayı su sınıfında dahi bilgi çıkarmanın mümkün olduğu ve SBAS yönteminin tuz göllerindeki su seviyesi ve tuz hareketleri gibi TGB'nin hacim dinamiklerini izlemek için uygun olduğu belirlenmiştir.
- Tuz gölü sınırının yaklaşık 10 km mesafede bulunan SERE ve TAVS gibi noktalarda yatay deformasyon bulunmasına rağmen yapılan alım yönü analizinde göl içerisinde önemli bir fark görülmemiştir. İki farklı veri grubuyla yapılan karşılaştırma sonucunda göl içerisinde yaklaşık %98 korelasyon

bulunmuştur. Bu nedenle çalışmada TGB'lerinin düşey yönlü hareketlerinin izlenmesi amacıyla yükselen alım yönü kullanılmıştır. Yatay yönlü değişimlerin araştırıldığı çalışmalarında her iki veri grubuunda kullanılması önerilmektedir.

- Bu çalışma sığ su seviyesine sahip tuz gölleri üzerine yapılmıştır. Ölüdeniz ve Hazar denizi gibi derin su seviyesine sahip tuz gölleri için yöntemin radar altimetre gibi yöntemler ile desteklenmesi gerekmektedir.
- Tuz Gölü, derin su seviyesine sahip bir gölün çok uzun yıllar içerisinde yaşıyabileceği değişimleri 1 sene içerisinde yaşamaktadır. Bu periyot içerisinde hem kurak yapıda hem de maksimum su doluluğuna sahip olabilirler.
 1 senelik bir zaman diliminde her türlü göl koşulu gerçekleşen çalışma alanımızda, yine aynı yıl içerisinde arazi çalışmaları yapılan 2018-2019 yılları arasındaki mevsimsel değişimler göz önünde bulundurularak araştırılmalar gerçekleştirilmiştir. Mevsimsel değişimlerden daha çok yıllar içerisindeki göl değişimlerin belirlenmesine yönelik çalışmalarda seçilen bu zaman dilimi
- Kullanıcılarına hem L bandında hem de S bandında veri sağlayacak olan NASA-ISRO Sentetik Açıklıklı Radar (NISAR) misyonun faaliyete girmesiyle ileride yapılacak olan TGB hacim dinamiklerinin ve su seviyesinin belirlenmesi çalışmalarına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdikan, S. (2007). SAR görüntülerinden üretilen interferometrik ve stereo sayısal yükseklik modellerinin kalitesinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Abdikan, S. (2012). Monitoring of land surface subsidence in Zonguldak coal mining field in the northern Turkey using multi temporal SAR interferometry. (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Akoğlu, A. M. (2001). 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi post-sismik deformasyonunun sentetik açıklık radar interferometrisi yöntemi ile incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktuğ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M. A. & Özdemir, S. (2013). Deformation of central anatolia: GPS implications. *Journal of Geodynamics*, 67, 78-96.
- Almendinger, J. E. (1990). Groundwater control of closed-basin lake levels under steady-state conditions. *Journal of Hydrology*, *112* (3-4), 293-318.
- Alsdorf, D., Birkett, C., Dunne, T., Melack, J. & Hess, L. (2001). Water level changes in a large Amazon lake measured with spaceborne radar interferometry and altimetry. *Geophysical Research Letters*, 28 (14), 2671-2674.
- Amani, M., Poncos, V., Brisco, B., Foroughnia, F., DeLancey, E. R. & Ranjbar, S. (2021). Insar coherence analysis for wetlands in alberta, canada using time-series Sentinel-1 data. *Remote Sensing*, 13 (16), 3315.
- Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, C. & Renard, F. (2019). Investigating subsidence in the Bursa Plain, Turkey, using ascending and descending Sentinel-1 satellite data. *Remote Sensing*, 11 (1), 85.
- Atılgan, O. (2019). Tuz gölü suyundan yüksek saflıkta tuz eldesi ve tuz kalitesinin öngörülmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Baghdadi, N., Bernier, M., Gauthier, R. & Neeson, I. (2001). Evaluation of C-band SAR data for wetlands mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (1), 71-88.
- Bahadır, M. (2011). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Acıgöl Havzası'nın sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi. (Doktora Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.

- Balık, F., (2004). Elektro-optik ve SAR uydu görüntüleri ile arazi bitki örtüsünün belirlenmesi. (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Beekman, P. H. (1966). The pliocene and quaternary volcanism in the Hasan Dağmelendiz dağ region. *MTA Bulletin*, 66, 90-105.
- Bennett, R. A., Rodi, W. & Reilinger, R. E. (1996). Global Positioning System constraints on fault slip rates in southern California and northern Baja, Mexico. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101 (10), 21943-21960.
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on geoscience and remote* sensing, 40 (11), 2375-2383.
- Buckney, R. T. & Tyler, P. A. (1976). Chemistry of salt lakes and other water of the sub-humid regions of Tasmania, *Marine and Freshwater Research*, 27 (3), 359-366.
- Bwangoy, J. R. B., Hansen, M. C., Roy, D. P., De Grandi, G. & Justice, C. O. (2010). Wetland mapping in the Congo Basin using optical and radar remotely sensed data and derived topographical indices. *Remote Sensing of Environment*, 114 (1), 73-86.
- Cai, X., Gan, W., Ji, W., Zhao, X., Wang, X. & Chen, X. (2014). Optimizing remote sensing-based level-area modeling of large lake wetlands: case study of Poyang Lake. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8 (2), 471-479.
- Cai, Y., Li, X., Zhang, M. & Lin, H. (2020). Mapping wetland using the object-based stacked generalization method based on multi-temporal optical and SAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 92, 102164.
- Cakir, Z., Chabalier, J. B. D., Armijo, R., Meyer, B., Barka, A. & Peltzer, G. (2003). Coseismic and early post-seismic slip associated with the 1999 Izmit earthquake (Turkey), from SAR interferometry and tectonic field observations. *Geophysical Journal International*, 155 (1), 93-110.
- Caló, F., Notti, D., Galve, J. P., Abdikan, S., Görüm, T., Pepe, A. & Balik Şanli,
 F. (2017). Dinsar-Based detection of land subsidence and correlation with groundwater depletion in Konya Plain, Turkey. *Remote sensing*, 9 (1), 83.
- **Canaslan, F.** (2010). Insar yöntemiyle düşey yönlü yüzey deformasyonlarının belirlenmesi: Konya örneği. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Canisius, F., Brisco, B., Murnaghan, K., Van Der Kooij, M. & Keizer, E. (2019). SAR backscatter and InSAR coherence for monitoring wetland extent, flood pulse and vegetation: A study of the Amazon lowland. *Remote Sensing*, 11 (6), 720.

- Cao, N., Lee, H., Jung, H. C. & Yu, H. (2018). Estimation of water level changes of large-scale Amazon wetlands using ALOS2 ScanSAR differential interferometry. *Remote Sensing*, 10 (6), 966.
- Chaouch, N., Temimi, M., Hagen, S., Weishampel, J., Medeiros, S. & Khanbilvardi, R. (2012). A synergetic use of satellite imagery from SAR and optical sensors to improve coastal flood mapping in the Gulf of Mexico. *Hydrological processes*, 26 (11), 1617-1628.
- Chen, Z., White, L., Banks, S., Behnamian, A., Montpetit, B., Pasher, J., Bernard, D. (2020). Characterizing marsh wetlands in the Great Lakes Basin with C-band InSAR observations. *Remote Sensing of Environment*, 242, 111750.
- **Cian, F., Blasco, J. M. D. & Carrera, L.** (2019). Sentinel-1 for monitoring land subsidence of coastal cities in Africa using PSInSAR: A methodology based on the integration of SNAP and staMPS. *Geosciences*, 9 (3), 124.
- Clément, G., Giddey, C. & Menzi, R. (1967). Amino acid composition and nutritive value of the alga Spirulina maxima. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 18 (11), 497-501.
- Conover, M. R. & Bell, M. E. (2020). Importance of Great Salt Lake to pelagic birds: eared grebes, phalaropes, gulls, ducks, and white pelicans. *In Great salt lake biology* (pp. 239-262). Springer, Cham.
- **Copernicus**. Copernicus in Detail. *Retrieved February 10, 2021, from* https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/copernicus-detail.
- Costanza, R., Kubiszewski, I., Ervin, D., Bluffstone, R., Boyd, J., Brown, D.,Yeakley, A. (2011). Valuing ecological systems and services. *F1000* biology reports, 3, (14).
- **Coughanowr, C.** (1998). Water-related issues and problems of the humid tropics and other warm humid regions. IHP humid tropics programme series, 12.
- Curlander, J. C. & McDonough, R. N. (1991). Synthetic aperture radar (Vol. 11). Wiley Interscience, New York, USA.
- Çakır, Z. (2003). Analysis of the crustal deformation caused by the 1999 Izmit and Düzce Earthquakes using Synthetic Aperture Radar Interferometry. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- **ÇOB** (2008). İklim değişikliği ve yapılan çalışmalar, T. C. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Dabrowska-Zielinska, K., Budzynska, M., Kowalik, W. & Turlej, K. (2010). Soil moisture and evapotranspiration of wetlands vegetation habitats retrieved from satellite images. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7 (4), 5929-5955.
- Darvishi, M., Destouni, G., Aminjafari, S. & Jaramillo, F. (2021). Multi-Sensor InSAR assessment of ground deformations around Lake Mead and its relation to water level vhanges. *Remote Sensing*, 13 (3), 406.

- Deguchi, T., Kato, M., Akcin, H. & Kutoglu, H. S. (2006). Automatic processing of Interferometric SAR and accuracy of surface deformation measurement. In SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques VIII (Vol. 6363, pp. 636309). International Society for Optics and Photonics.
- **Delacourt, C., Briole, P. & Achache, J. A.** (1998). Tropospheric corrections of SAR interferograms with strong topography, application to Etna. *Geophysical Research Letters*, 25 (15), 2849-2852.
- Derman, A. S., Rojay, B., Güney, H. & Yıldız, M. (2003). Koçhisar-Aksaray fay zonu'nun evrimi hakkında yeni veriler. *Türkiye Petrol Jeologları* Derneği, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma-2001.
- **Dervisoglu, A.** (2021). Analysis of the temporal changes of Inland Ramsar Sites in Turkey using Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 10* (8), 521.
- Dervisoglu, A., Bilgilioglu, B. B., Yagmur, N., Musaoglu, N. & Tanik, A. (2019). Temporal assessment of natural wetlands via remotely sensed data: a case study from Turkey. *FEB-Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (2), 1005-1010.
- DeVries, B., Huang, C., Lang, M. W., Jones, J. W., Huang, W., Creed, I. F. & Carroll, M. L. (2017). Automated quantification of surface water inundation in wetlands using optical satellite imagery. *Remote Sensing*, 9 (8), 807.
- **Ding, X. & Li, X.** (2011). Monitoring of the water-area variations of Lake Dongting in China with ENVISAT ASAR images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13* (6), 894-901.
- **Doğan, U. & Yılmaz, M.** (2011). Natural and induced sinkholes of the Obruk Plateau and Karapınar-Hotamış Plain, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40 (2), 496-508.
- **Donovan, J. J. & Rose, A. W.** (1994). Geochemical evolution of lacustrine brines from variable-scale groundwater circulation. *Journal of Hydrology*, *154* (1-4), 35-62.
- Doran, P. T., Fritsen, C. H., McKay, C. P., Priscu, J. C. & Adams, E. E. (2003). Formation and character of an ancient 19-m ice cover and underlying trapped brine in an "ice-sealed" east Antarctic lake. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (1), 26-31.
- **Durduran, S. S.** (2010). Coastline change assessment on water reservoirs located in the Konya Basin Area, Turkey, using multitemporal landsat imagery. *Environmental monitoring and assessment, 164*(1), 453-461.
- **Duygulu, M.** (2016). Doğal Arıtma Sistemlerinde (Yapay Sulak Alanlarda) Performans Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- **Ekercin, S.** (2007). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri entegrasyonu ile Tuz Gölü ve yakın çevresinin zamana bağlı değişim analizi. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. & Şaroğlu, F. (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, Türkiye,
- Erdem, O. (2004). Sulak alanlar, önemi, temel sorunları, Türkiye'nin uluslararası öneme sahip sulak alanları. *Haber Ekspres Gazetesi*, Şubat 2004.
- **Erdem, O.** (2009). Türkiye'deki sulak alanların sorunları. OSİB Sulak Alan Bilinçlendirme Alt Projesi Eğitim Materyali. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Erten, E., Rossi, C., Lopez-Sanchez, J. M. & Celik, M. F. (2017). Interferometric SAR for characterization of wetland lakes as a function of suspending sediment cover and depth. 2017 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, (Vol. 1, pp. 6239-6242). Fort Worth, TX, USA, July 23-28.
- Eugster, H. P. & Hardie, L. A. (1978). Saline lakes. *Lakes* (Vol. 1, pp. 237-293). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York,
- Fernandez-Blanco, D., Bertotti, G. & Çiner, A. (2013). Cenozoic tectonics of the Tuz Gölü Basin (Central Anatolian Plateau, Turkey). *Turkish Journal* of Earth Sciences, 22 (5), 715-738.
- Ferretti, A., Fumagalli, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F. & Rucci, A. (2011). A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 49 (9), 3460-3470.
- Ferretti, A., Prati, C. & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 39 (1), 8-20.
- Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, 18 (1), 1-10.
- Finlayson, C. M., Chuickov, Y. S., Prentice, C. & Fischer, W. (1993). Biogeography of the Lower Volga, Russia: an overview. International Waterfowl and Wetlands Research Bureau, Special Publication No. 28, Slimbridge.
- Finlayson, C. M., Milton, G. R., Prentice, R. C. & Davidson, N. C. (2018). The wetland book: II: distribution, description, and conservation. Springer, Netherlands.
- Franceschetti, G. & Lanari, R. (1999). Synthetic aperture radar processing. Electronic engineering systems series, CRC press, New York, USA.
- Franklin, S. E. & Ahmed, O. S. (2017). Object-based wetland characterization using radarsat-2 quad-polarimetric SAR data, landsat-8 OLI imagery, and airborne lidar-derived geomorphometric variables. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 83 (1), 27-36.
- Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. & Zebker, H. A. (1989). Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94 (7), 9183-9191.

- Galat, D. L., Coleman, M. & Robinson, R. (1988). Experimental effects of elevated salinity on three benthic invertebrates in Pyramid Lake, Nevada. *Saline Lakes*, Springer, Dordrecht.
- Gezgin, C. (2020). GNSS ve Insar Teknikleri İle Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) Kinematik Analizi. (Doktora tezi). Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray.
- Gezgin, C., Tiryakioğlu, İ., Ekercin, S. & Gürbüz, E. (2020). Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ) güney kesimine ait tektonik hareketlerin GNSS gözlemleri ile izlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20* (3), 456-464.
- Goldstein, R. M. & Werner, C. L. (1998). Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophysical research letters*, 25 (21), 4035-4038.
- Gorji, T., Sertel, E. & Tanik, A. (2017). Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological Indicators*, 74, 384-391.
- Gradus, Y. (1977). The Dead Sea as the basis for Israel's chemical industry. *Desertic Terminal Lakes*. Utah State University, Logan, Utah.
- Graham, L. C. (1974). Synthetic interferometer radar for topographic mapping. *Proceedings of the IEEE*, 62 (6), 763-768.
- Grings, F., Salvia, M., Karszenbaum, H., Ferrazzoli, P., Kandus, P. & Perna, P. (2009). Exploring the capacity of radar remote sensing to estimate wetland marshes water storage. *Journal of environmental management*, 90 (7), 2189-2198.
- Gürer, İ. & Yıldız, E. F. (2008). Türkiye'nin sulak alan politikalarına genel bir bakış: Sultansazlığı sulak alanı örneği. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*. Ankara, Mart 20-22.
- Gürmen, G. (2003). Yapay açıklıklı radar (SAR) ile görüntü oluşturma. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hanssen, R. F. (2001). Radar interferometry: data interpretation and error analysis. *Remote Sensing and Digital Image Processing*. Springer Science & Business Media, Dordrecht.
- Hong, S. H. & Wdowinski, S. (2011). Evaluation of the quad-polarimetric Radarsat-2 observations for the wetland InSAR application. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 37 (5), 484-492.
- Hong, S. H., Kim, H. O., Wdowinski, S. & Feliciano, E. (2015). Evaluation of polarimetric SAR decomposition for classifying wetland vegetation types. *Remote Sensing*, 7 (7), 8563-8585.
- Hong, S. H., Wdowinski, S. & Kim, S. W. (2008). Small temporal baseline subset (STBAS): a new InSAR technique for multi-temporal monitoring wetland's water level changes. *IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Boston, USA, July 7-11.

- Hong, S. H., Wdowinski, S., Kim, S. W. & Won, J. S. (2010). Multi-temporal monitoring of wetland water levels in the Florida Everglades using interferometric synthetic aperture radar (InSAR). *Remote Sensing of Environment*, 114 (11), 2436-2447.
- Hooper, A., Zebker, H., Segall, P. & Kampes, B. (2004). A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophysical research letters*, 31(23).
- Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L. & Zhang, H. (2017). Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. *Science of the Total Environment*, 586, 319-327.
- **Hulsmeyer, C.** (1904). Hertzian wave projecting and receiving apparatus adapted to indicate or give warning of the presence of a metallic body, such as a ship or a train, in the line of projection of such waves. U.K. Patent No. 13,170.
- Hung, M. C. & Wu, Y. H. (2005). Mapping and visualizing the Great Salt Lake landscape dynamics using multi-temporal satellite images, 1972-1996. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (9), 1815-1834.
- İÇDR (2014). İl Çevre Durum Raporu, T.C. Ankara Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Ankara.
- Jaramillo, F., Licero, L., Ahlen, I., Manzoni, S., Rodríguez-Rodríguez, J. A., Guittard, A., Espinosa, L. F. (2018). Effects of hydroclimatic change and rehabilitation activities on salinity and mangroves in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Wetlands, 38 (4), 755-767.
- Jones, B. F. & Deocampo, D. M. (2003). Geochemistry of saline lakes. *Treatise on geochemistry*, 5 (605), 393-424.
- Judah, A. & Hu, B. (2019). The integration of multi-source remotely-sensed data in support of the classification of wetlands. *Remote Sensing*, 11 (13), 1537.
- Kampes, B. M. (2005). Displacement parameter estimation using permanent scatterer interferometry, TU Delft, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.
- Kaplan, G. & Avdan, U. (2017). Wetland Mapping Using Sentinel 1 SAR Data. International Symposium on GIS Applications in Geography & Geosciences (ISGGG). Turkey, Çanakkale Onsekiz Mart University, October 18-21.
- Karadeniz, N., Tırıl, A. & Baylan, E. (2009). Wetland management in Turkey: Problems, achievements and perspectives. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (11), 1106-1119.
- Karaman, M., Budakoglu, M., Avci, Z. D. U., Ozelkan, E., Bulbul, A., Civas, M.
 & Tasdelen, S. (2015). Determination of seasonal changes in wetlands using CHRIS/Proba Hyperspectral satellite images: A case study from Acigöl (Denizli), Turkey. *Journal of environmental biology, 36* (1), 73.

- Karimzadeh, S. & Ahmadi, F. F. (2013). Using advanced Space-borne Radar Technology for Detection and Measurement of Land Subsidence and Interseismic Slip Rates, the Case Study: NW Iran. *Studies in Surveying* and Mapping Science (SSMS), 1 (1), 1-9.
- Kasischke, E. S. & Bourgeau-Chavez, L. L. (1997). Monitoring South Florida wetlands using ERS-1 SAR imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63 (3), 281-291.
- Kasischke, E. S., Bourgeau-Chavez, L. L., Rober, A. R., Wyatt, K. H., Waddington, J. M. & Turetsky, M. R. (2009). Effects of soil moisture and water depth on ERS SAR backscatter measurements from an Alaskan wetland complex. *Remote Sensing of Environment*, 113 (9), 1868-1873,
- Kasischke, E. S., Smith, K. B., Bourgeau-Chavez, L. L., Romanowicz, E. A., Brunzell, S. & Richardson, C. J. (2003). Effects of seasonal hydrologic patterns in south Florida wetlands on radar backscatter measured from ERS-2 SAR imagery. *Remote sensing of environment*, 88 (4), 423-441.
- Ke, C. Q., Zhang, D., Wang, F. Q., Chen, S. X., Schmullius, C., Boerner, W. M. & Wang, H. (2011). Analyzing coastal wetland change in the Yancheng national nature reserve, China. *Regional Environmental Change*, 11 (1), 161-173.
- Kemaldere, H. (2011). Şehir altı madenciliği ve tasman etkilerinin Diferansiyel Insar tekniği ile belirlenmesi: Zonguldak Metropolitan Alanı Örneği. (Doktora Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Kılıç, A.M. (2003). Tuz Gölünde ortaya çıkan kirlenme ve kimyasal açıdan göl suyunun incelenmesi. *V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*. Ankara, Ekim 1-4.
- Kırtıloğlu, E. (2014). Hotamış gölü çevresinin arazi kullanımının uydu görüntüleri yardımıyla zamansal analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kim, J. W., Lu, Z., Gutenberg, L. & Zhu, Z. (2017). Characterizing hydrologic changes of the Great Dismal Swamp using SAR/InSAR. *Remote Sensing of Environment*, 198, 187-202.
- Koçyiğit, A., ve Özacar, A.A. (2003). Extensional neotectonic regime through the NE edge of the outer Isparta angle, SW Turkey: new field and seismic data, *Turkish Journal of Earth Sciences*, *12* (1), 67-90.
- Köksal, E. (2011). Yüzey deformasyonlarının Diferansiyel İnsar tekniği ile belirlenmesi: İsmetpaşa örneği. (Doktora tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Köse, M. H. (2006). Uydu radar görüntülerinden üç boyutlu sayısal arazi modelinin üretilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Ensitüsü, Konya.

- Köylü, M. (2017). Salt Lake's financial investment value and its contribution to economic growth. *International Journal of academic value studies*, 3 (15), 127-137.
- Kürçer, A., ve Gökten, Y. E. (2014). Paleosismolojik Üç Boyutlu Sanal Fotoğraflama Yöntemi, Örnek Çalışma: Duru-2011 Hendeği, Tuz Gölü Fay Zonu, Orta Anadolu, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57 (1), 45-71.
- Lam, N. S. N. (2008). Methodologies for mapping land cover/land use and its change. In *Advances in land remote sensing*, 341-367.
- Lang, M. W., Kasischke, E. S., Prince, S. D. & Pittman, K. W. (2008). Assessment of C-band synthetic aperture radar data for mapping and monitoring Coastal Plain forested wetlands in the Mid-Atlantic Region, USA. *Remote Sensing of Environment*, 112 (11), 4120-4130.
- Last, W. M. (1999). Geolimnology of the Great Plains of western Canada. *Holocene* climate and environmental change in the Palliser Triangle: A geoscientific context for evaluating the impacts of climate change on the southern Canadian prairies. Geological Survey of Canada, 23-53.
- Li, L. (2010). Study about Salt Information of Salt Lake by Remote Sensing Technology. Second World Congress on Software Engineering, 2, 306-310.
- Liao, H., Wdowinski, S. & Li, S. (2020). Regional-scale hydrological monitoring of wetlands with Sentinel-1 InSAR observations: Case study of the South Florida Everglades. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112051.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W. & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.
- Liu, C. A., Gong, H., Shao, Y. & Li, B. (2015). Detecting the depth of a subsurface brine layer in Lop Nur lake basin using polarimetric L-band SAR. *Journal of Sensors*, 2015.
- Liu, M., Wu, S., Chen, L. & Dong, R. (2014). How substrate influences nitrogen transformations in tidal flow constructed wetlands treating high ammonium wastewater?. *Ecological engineering*, *73*, 478-486.
- Mahdianpari, M., Salehi, B., Mohammadimanesh, F. & Motagh, M. (2017). Random forest wetland classification using ALOS-2 L-band, RADARSAT-2 C-band, and TerraSAR-X imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 13-31.
- Mann, D. (2002). Deformation of Alaskan volcanoes measured using SAR interferometry and GPS (PhD Thesis). University of Alaska Fairbanks, Alaska, USA.
- Marechal, C., Pottier, E., Hubert-Moy, L. & Rapinel, S. (2012). One year wetland survey investigations from quad-pol RADARSAT-2 time-series SAR images. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 38 (3), 240-252.
- Martinis, S., Kuenzer, C., Wendleder, A., Huth, J., Twele, A., Roth, A. & Dech, S. (2015). Comparing four operational SAR-based water and flood detection approaches. *International Journal of Remote Sensing*, 36 (13), 3519-3543.

- Massonnet, D. & Feigl, K. L. (1995). Discrimination of geophysical phenomena in satellite radar interferograms. *Geophysical research letters*, 22 (12), 1537-1540.
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. & Rabaute, T. (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. Nature, 364 (6433), 138-142.
- MEA (2005). Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. *World Resources Institute.* Washington, DC.
- Medina, C., Gomez-Enri, J., Alonso, J. J. & Villares, P. (2010). Water volume variations in Lake Izabal (Guatemala) from in situ measurements and ENVISAT Radar Altimeter (RA-2) and Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR) data products. *Journal of Hydrology*, 382 (1-4), 34-48.
- Morandeira, N. S., Grings, F., Facchinetti, C. & Kandus, P. (2016). Mapping plant functional types in floodplain wetlands: an analysis of C-band polarimetric SAR data from RADARSAT-2. *Remote Sensing*, 8 (3), 174.
- Na, X., Zang, S., Wu, C., Tian, Y. & Li, W. (2018). Hydrological Regime Monitoring and Mapping of the Zhalong Wetland through Integrating Time Series Radarsat-2 and Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 10 (5), 702.
- **Orhan, O.** (2014). Konya kapalı havzası'nda uzaktan algılama ve CBS Teknolojileri ile iklim değişikliği ve kuraklık analizi (Yüksek Lisans Tezi). Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- **Orhan, O.** (2018). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile muhtemel obruk alanlarının belirlenmesi (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- **Orhan, O.** (2021). Monitoring of land subsidence due to excessive groundwater extraction using small baseline subset technique in Konya, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 193 (4), 1-17.
- **Orhan, O., Dadaser-Celik, F., & Ekercin, S.** (2019). Investigating land surface temperature changes using Landsat-5 data and real-time infrared thermometer measurements at Konya closed basin in Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences, 4* (1), 16-27.
- **OSİB. (2016).** Konya Kapalı Havzası Kuralık Yönetim Planı. Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetim Genel Müdürlüğü.
- **Oveisgharan, S.** (2007). *Estimating Snow Accumulation from InSAR Correlation Observations* (Doctoral dissertation). Stanford Universitesi, California, USA.
- Örmeci, C. & Ekercin, S. (2005). Water quality monitoring using satellite image data: A case study around the Salt Lake in Turkey. In Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2005, 5977-59770. International Society for Optics and Photonics.
- Örmeci, C. ve Ekercin, S. (2007). Kuraklığın Tuz Gölündeki tuz rezervine etkisinin zamansal uydu verileri ile analizi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara. 2-6 Nisan.

- Özbay, S. (2008). Doğa koruma alanlarında planlama çalışmaları ve Ayvalık adaları tabiat parkı yönetim planı önerisi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özsayın, E. & Dirik, K. (2007). Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba fault zones: İnönü-Eskişehir fault system, Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *16* (4), 471-492.
- Pande-Chhetri, R., Abd-Elrahman, A., Liu, T., Morton, J., & Wilhelm, V. L. (2017). Object-based classification of wetland vegetation using very high-resolution unmanned air system imagery. *Europen Journal of Remote Sensing*, 50 (1), 564-576.
- Pepe, A., Bonano, M., Zhao, Q., Yang, T. & Wang, H. (2016). The use of C-/Xband time-gapped SAR data and geotechnical models for the study of Shanghai's ocean-reclaimed lands through the SBAS-DInSAR technique. *Remote Sensing*, 8 (11), 911.
- Perissin, (2009). The Multi-Temporal InSAR Software, Retrieved June 25, 2018, from http://www.sarproz.com/
- Phalan, B., Onial, M., Balmford, A., & Green, R. E. (2011). Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, 333 (6047), 1289-1291.
- Pielke, R. A., Pitman, A., Niyogi, D., Mahmood, R., McAlpine, C., Hossain, F., Fall, S. (2011). Land use/land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2 (6), 828-850.
- Prigent, C., Matthews, E., Aires, F., & Rossow, W. B. (2001). Remote sensing of global wetland dynamics with multiple satellite data sets. *Geophysical Research Letters*, 28 (24), 4631-4634.
- Rapinel, S., Betbeder, J., Denize, J., Fabre, E., Pottier, E., & Hubert-Moy, L. (2020). SAR analysis of wetland ecosystems: Effects of band frequency, polarization mode and acquisition dates. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 170, 103-113.
- Renaut R. W. & Tiercelin J. J. (1994). Lake Bogoria, Kenya Rift Valley—a sedimentological overview. Society for Sedimentary Geology, 101– 123.
- Rezaeianzadeh, M., Kalin, L., & Hantush, M.M (2018). An integrated approach for modeling wetland water level: Application to a headwater wetland in Coastal Alabama, USA. *Water*, 10 (7), 879.
- Richards, J. A. (2009). Remote sensing with imaging radar, Vol. 1, Berlin: Springer.
- Riveros-Iregui, D. A., Lenters, J. D., Peake, C. S., Ong, J. B., Healey, N. C., & Zlotnik, V. A. (2017). Evaporation from a shallow, saline lake in the Nebraska Sandhills: Energy balance drivers of seasonal and interannual variability. *Journal of Hydrology*, 553, 172-187.
- Robertson, D. L., King, D. J., & Davies, C. (2015). Object-based image analysis of optical and radar variables for wetland evaluation. *International Journal of Remote Sensing*, 36 (23), 5811-5841.

- **Rosen M. R.** (1994) The importance of groundwater in playas: A review of playa classifications and the sedimentology and hydrology of playas. *Paleoclimate and Basin Evolution of Playa Systems*, 289, 1-18.
- Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I. R., Li, F. K., Madsen, S. N., Rodriguez, E., & Goldstein, R. M. (2000). Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE*, 88 (3), 333-382.
- Schwatke, C., Dettmering, D., Bosch, W., & Seitz, F. (2015). DAHITI-an innovative approach for estimating water level time series over inland waters using multi-mission satellite altimetry. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19 (10), 4345-4364.
- Sica, Y. V., Quintana, R.D., Radeloff, V. C., & Gavier-Pizarro, G. I. (2016). Wetland loss due to land use change in the Lower Paraná River Delta, Argentina. *Science of the Total Environment*, 568, 967-978.
- Simão, N. M., Nalbant, S.S., Sunbul, F. & Mutlu, A. K. (2016). Central and eastern Anatolian crustal deformation rate and velocity fields derived from GPS and earthquake data. *Earth and Planetary Science Letters*, 433, 89-98.
- Sonel, N., Kulke, H., Sarı, A., Acar, A., Ayyıldız, T., Kadıoğlu, Y., ... ve Doğan, M. (1995). Tuzgölü havzasœnœn jeolojisi ve hidrokarbon potansiyelinin değerlendirilmesi Projesi TPAO 1. Faaliyet Raporu.
- Song, R., Guo, H., Liu, G., Perski, Z., Yue, H., Han, C. & Fan, J. (2014). Improved Goldstein SAR interferogram filter based on adaptive-neighborhood technique. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *12* (1), 140-144.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1987). Türkiye'nin diri fayları ve depremselliği. MTA Rapor No: 8174.
- Şengör, A. M. C. (1980). Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu Konfrerans Serisi, 2.
- Şengün, Y. S. (2008). GPS ve Insar ölçülerini birlikte kullanarak İzmit depreminde oluşan deformasyonların belirlenmesi: Nokta seyrekleştirmede yeni bir algoritma (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taghadosi, M. M., Hasanlou, M. & Eftekhari, K. (2019). Soil salinity mapping using dual-polarized SAR Sentinel-1 imagery. *International journal of* remote sensing, 40 (1), 237-252.
- Tampuu, T., Praks, J., Uiboupin, R. & Kull, A. (2020). Long term interferometric temporal coherence and DInSAR phase in Northern Peatlands. *Remote Sensing*, 12 (10), 1566.
- **TÇDR** (2007). *Türkiye Çevre Durum Raporu*. Türkiye Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2007.
- Teeter, J. W. (1995). Holocene saline lake history, San Salvador Island, Bahamas. *Geological Society of America Special Papers*, 300, 117-124.

- Tindall, D. R., Yopp, J. H., Schmid, W. E. & Miller, D. M. (1977). Protein and Amino Acid Composition of the Obligate Halophile Aphanothece Halophytica (Cyanophyta) 1. *Journal of Phycology*, 13 (2), 127-133.
- Tiner, R. W., Lang, M. W. & Klemas, V. V. (2015). Remote sensing of wetlands: applications and advances. CRC press.
- Torgersen, T., De Deckker, P., Chivas, A. R. & Bowler, J. M. (1986). Salt lakes: A discussion of processes influencing palaeoenvironmental interpretation and recommendations for future study. *Palaeogeography, Palaeoeclimatology, Palaeoecology, 54* (1-4), 7-19.
- Townsend, P. A. & Walsh, S. J. (2001). Remote sensing of forested wetlands: application of multitemporal and multispectral satellite imagery to determine plant community composition and structure in southeastern USA. *Plant Ecology*, 157 (2), 129-149.
- Tulbure, M. G. & Broich, M. (2013). Spatiotemporal dynamic of surface water bodies using Landsat time-series data from 1999 to 2011. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79, 44-52.
- URL-1 <http://www.konya.gov.tr/basin-duyurusu-1407/>, erişim tarihi 25.06.2019.
- URL-2 <https://www.cankirikayatuzu.org/tuz-sektor/>, erişim tarihi 21.08.2020.
- URL-3 <https://tvk.csb.gov.tr/tuz-golu-i-400/>, erişim tarihi 02.09.2021.
- URL-4 <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/>, erişim tarihi 10.02.2021.
- **Uygun, A.** (1981). Tuzgölü havzasının jeolojisi, evaporit oluşumları ve hidrokarbon olanakları. *İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu*, 66-71.
- Van Beijma, S., Comber, A. & Lamb, A. (2014). Random forest classification of salt marsh vegetation habitats using quad-polarimetric airborne SAR, elevation and optical RS data. *Remote Sensing of Environment*, 149, 118-129.
- Van der Valk, A. G., Volin, J. C. & Wetzel, P. R. (2015). Predicted changes in interannual water-level fluctuations due to climate change and its implications for the vegetation of the Florida Everglades. *Environmental Management*, 55 (4), 799-806.
- Vincent, S. G. T. & Owens, K. A. (2021). Coastal wetlands of India: threats and solutions. *Wetlands Ecology and Management*, 29 (5), 633-639.
- Wan, W., Xiao, P., Feng, X., Li, H., Ma, R., Duan, H. & Zhao, L. (2014). Monitoring lake changes of Qinghai-Tibetan Plateau over the past 30 years using satellite remote sensing data. *Chinese Science Bulletin*, 59 (10), 1021-1035.
- Wang, J., & Zhao, Y. (2012). High Resolution Remote Sensing Information Identification for the Salinity in GASIKULE Salt Lake, 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China: June 1-3.
- Wang, Y., Xia, H., Fu, J., & Sheng, G. (2003). Water quality change (1988 and 1996) detection by using remote sensing data in several reservoirs of Shenzhen, China. Ocean Remote Sensing and Applications, 4892, 326-335

- Wdowinski, S., Kim, S., Amelung, F. & Dixon, T. (2006). Wetland InSAR: A new space-based hydrological monitoring tool of wetlands surface water level changes, *GlobWetland Symposium*, Frescati, Italya.
- Wegmüller, U., Magnard, C., Werner, C., Strozzi, T., Caduff, R. & Manconi, A. (2021). Methods to avoid being affected by non-zero closure phase in InSAR time series analysis in a multi-reference stack. *Procedia Computer Science*, 181, 511-518.
- Williams, W. D. (1998). Management of Inland Saline Waters. Guidelines of Lake Management, International Lake Environment Committee United Nations Environment Programme. Kusatsu, Japan.
- Williams, W. D. (2002). Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025. *Environmental conservation*, 29 (2), 154-167.
- Wood, W. W. & Sanford, W. E. (1995). Eolian transport, saline lake basins, and groundwater solutes. *Water Resources Research*, *31* (12), 3121-3129.
- Woodcock, C. E., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindschadler, R., Cohen, W., ... & Wulder, M. A. W. (2008). Free access to Landsat imagery, *Science*, 320: 1011.
- Wu, G. & Liu, Y. (2014). Satellite-based detection of water surface variation in China's largest freshwater lake in response to hydro-climatic drought. *International Journal of Remote Sensing*, 35 (11-12), 4544-4558.
- Xiang, W., Zhang, R., Liu, G., Wang, X., Mao, W., Zhang, B., ... & Fu, Y. (2021). Extraction and analysis of saline soil deformation in the Qarhan Salt
 Lake region (in Qinghai, China) by the sentinel SBAS-InSAR technique. *Geodesy and Geodynamics*. 1674–9847.
- Yagmur, N., Bilgilioglu, B. B., Dervisoglu, A., Musaoglu, N. & Tanik, A. (2021). Long and short-term assessment of surface area changes in saline and freshwater lakes via remote sensing. *Water and Environment Journal*, 35 (1), 107-122.
- Yağmur, N., Tanık, A., Tuzcu, A., Musaoğlu, N., Erten, E. & Bilgilioglu, B. (2020). Oppurtunities provided by remote sensing data for watershed management: Example of konya closed basin. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5 (3), 120-129.
- Yamagata, Y. & Yasuoka, Y. (1993). Classification of wetland vegetation by texture analysis methods using ERS-1 and JERS-1 images, In *Proceedings of IGARSS'93-IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 1614-1616). Japan, Tokyo: August 18-21.
- Yang, L., Chen, F., Chun, X., Fan, Y., Sun, Y., Madsen, D. B. & Zhang, X. (2008). The Jilantai Salt Lake shorelines in northwestern arid China revealed by remote sensing images. *Journal of Arid Environments*, 72 (5), 861-866.
- Yılmaztürk, S. (2015). Sbas-ınsar Yöntemiyle Düşey Yönlü Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi: Bursa-Orhaneli Linyit Madeni Örneği. (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Yuan, M., Xie, C., Shao, Y., Xu, J., Cui, B. & Liu, L. (2016). Retrieval of water depth of coastal wetlands in the Yellow River Delta from ALOS PALSAR backscattering coefficients and interferometry. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13 (10), 1517-1521.
- Yuan, T., Lee, H. & Jung, H. C. (2017). Congo floodplain hydraulics using PALSAR InSAR and Envisat altimetry data. In *Remote sensing of hydrological extremes* (pp. 65-81). Springer, Cham.
- Zebker, H. A. & Goldstein, R. M. (1986). Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91 (5), 4993-4999.
- Zebker, H. A. & Villasenor, J. (1992). Decorrelation in interferometric radar echoes. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 30 (5), 950-959.
- Zebker, H. A., Rosen, P. A., Goldstein, R. M., Gabriel, A. & Werner, C. L. (1994). On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The Landers earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99 (10), 19617-19634.
- Zhang, S., Na, X., Kong, B., Wang, Z., Jiang, H., Yu, H., ... & Dale, P. (2009). Identifying wetland change in China's Sanjiang Plain using remote sensing. Wetlands, 29 (1), 302-313.
- Zhang, Z., Wang, M., Liu, X., Wang, C. & Zhang, H. (2020). Map and Quantify the Ground Deformation Around Salt Lake in Hoh Xil, Qinghai-Tibet Plateau Using Time-Series InSAR From 2006 to 2018. *IEEE Journal* of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14, 858-869.
- Zhao, Q., Pepe, A., Gao, W., Lu, Z., Bonano, M., He, M. L., ... & Tang, X. (2015). A DInSAR investigation of the ground settlement time evolution of ocean-reclaimed lands in Shanghai. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8 (4), 1763-1781.
- Zhao, W., Amelung, F., Doin, M. P., Dixon, T. H., Wdowinski, S. & Lin, G. (2016). InSAR observations of lake loading at Yangzhuoyong Lake, Tibet: Constraints on crustal elasticity. *Earth and Planetary Science Letters*, 449, 240-245.
- Zheng, M. & Liu, X. (2009). Hydrochemistry of salt lakes of the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Aquatic Geochemistry*, 15 (1), 293-320.
- Zisk, S. H. (1972). Lunar topography: first radar-interferometer measurements of the Alphonsus-Ptolemaeus-Arzachel region. *Science*, *178*(4064), 977-980.
- Zor, M. (2014). Türkiye'nin Sulak Alanları. Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 1 (1).

Zorlu, C. (2013). *Tuz Gölü Alt Havzası'nda Yapılması Düşünülen Yeni Tuz Sahalarının ve Doğalgaz Depolama Tesislerinin Çevresel Etkilerinin Araştırılması* (Yüksek Lisans tezi). Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.


ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad	: Burhan Baha BİLGİLİOĞLU
ÖĞRENİM DU	JRUMU:
• Lisans	: (2012), Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita
	Mühendisliği.

• Yükseklisans : (2015), Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği ABD.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

• **Bilgilioğlu, B. B.,** Erten, E., & Musaoğlu, N. (2021). Analysis of Salt Lake Volume Dynamics Using Sentinel-1 Based SBAS Measurements: A Case Study of Lake Tuz, Turkey. Remote Sensing, 13(14), 2701.