T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GNSS VE SAR VERİLERİNİN HIZLI FOURİER DÖNÜŞÜMÜ İLE ZAMAN SERİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yavuz GÜL
(20199249003)

Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

SİVAS
OCAK 2023

Yavuz GÜL'ün hazırladığı ve **"GNSS VE SAR VERİLERİNİN HIZLI FOURİER DÖNÜŞÜMÜ İLE ZAMAN SERİ ANALİZİ"** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	**Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Fatih POYRAZ** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Ömer YILDIRIM** Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	.....

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nevcihan GÜRSOY
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

*Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından **M-800** Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.*

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Yavuz GÜL, 2023

Bu tez çalışması sırasında bana destek olan aileme ve tüm arkadaşlarıma...

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

9.01.2023

Yavuz GÜL

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 119Y180 nolu “Yapay Açıklıklı Uzay Radar Verilerinden Periyodik Yüzey Hareketlerin Belirlenerek Hız Kestirim Doğruluğunun Artırılması” isimli TUBİTAK projesi ve M-800 nolu “GNSS ve SAR Verilerinin Hızlı Fourier Dönüşümü ile Zaman Seri Analizi” isimli CUBAP projesi kapsamında desteklenmiştir.

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU’ na, Prof. Dr. Fatih POYRAZ ve Dr. Hüseyin DUMAN’ a, beni her zaman, her konuda destekleyen, yardımlarını esirgemeyen sevgili eşime çok teşekkür ederim.

ÖZET

GNSS VE SAR VERİLERİNİN HIZLI FOURIER DÖNÜŞÜMÜ İLE ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

Yavuz GÜL

Yüksek Lisans Tezi
Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU
2022, 42+xiv sayfa

Günümüzde cm ve altı seviyede yüzey hareketlerinin jeodezik olarak izlenmesinde genel de GNSS ve Yapay Açıklıklı Radar İnterferometrisi (InSAR) yöntemleri kullanılmaktadır. InSAR verilerinin değerlendirilmesi sonucunda uydu bakış doğrultusunda (LOS) Daimi Yansıtıcılara (PS) ait yıllık hız değerleri elde edilmektedir. LOS hız değerleri elde edilirken genellikle doğrusal modele göre basit regresyon analiz yöntemi kullanmaktadır. Bu durum da InSAR noktalarına ait zaman serilerindeki periyodik etkiler göz ardı edilmektedir. Bu çalışmada SAR verilerinden elde edilen yer değiştirme değerleri kullanılarak periyodik hareketlerin Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) yöntemiyle belirlenmesi amaçlanmıştır. Gediz grabenini doğu kesiminde gerçekleştirilen daha önceki GNSS çalışmalarında yatay da yaklaşık 10-30 mm/yıl arasında düşeyde ise yaklaşık 90mm/yıl sevilerine kadar çökme hareketleri izlenmiştir. Gediz Grabeni üzerindeki sismik aktivitenin uzun süreli davranışının izlenmesi ve yüzey hareketlerinin modellenmesi önem arz etmektedir. Bu doğrultuda TUBITAK 119Y180 nolu proje ve CÜBAP M-800 nolu projeleri kapsamında 2016-2020 yılları arasında Sentinel 1A ve 1B alçalan (descending) ve yükselen (ascending) uydu radar görüntülerinden elde edilen inteferogramlar (LiCSAR verileri) kullanılarak Gediz Grabenindeki yüzey deformasyonlarına ait LOS hız değerleri LiCSBAS yazılımı aracılığıyla elde edilmiştir. Aynı zamanda graben içerisinde kurulan CNKC isimli GNSS noktasına ait 2020-2021 yıllarına ait veriler değerlendirilerek üç boyutlu yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. SAR ve GNSS sonuçlarından HFD dönüşümü yöntemi ile yıllık periyodik etkiler belirlenmiştir. Sonuç olarak gerek SAR gerekse GNSS verilerinden bölgede yıllık periyodik etkiler belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: HFD, Deformasyon, Periyodik Etki, Gediz Grabeni, InSAR

ABSTRACT

TIME SERIES ANALYSIS WITH FAST FOURIER TRANSFORMATION OF GNSS AND SAR DATA

Yavuz GÜL

Master of Science Thesis

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

2022, 42+xiv pages

Today, GNSS and Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) methods are generally used for geodetic monitoring of surface movements at cm and below. As a result of the evaluation of InSAR data, annual velocity values of Permanent Scatters (PS) are obtained in the los line of sight (LOS). While obtaining LOS velocity values, a simple regression analysis method is generally used according to the linear model. In this case, periodic effects on the time series of InSAR points are ignored. In this study, it is aimed to determine the periodic motions with the Fast Fourier Transform (FFT) method by using the displacement values obtained from the SAR data. In previous GNSS studies carried out in the eastern part of the Gediz graben, subsidence movements were observed between approximately 10-30 mm/year horizontally and up to approximately 90 mm/year vertically. It is important to monitor the long-term behavior of the seismic activity on the Gediz Graben and to model the surface movements. In this direction, LOS of the surface deformations in the Gediz Graben was used by using interferograms (LiCSAR data) obtained from Sentinel 1A and 1B descending and ascending satellite radar images between 2016-2020 within the scope of TUBITAK project 119Y180 and CUBAP M-800 projects velocity values were obtained via LiCSBAS software. At the same time, three-dimensional displacement values were calculated by evaluating the data of the GNSS point CNKC, established in the graben, for the years 2020-2021. Annual periodic effects were determined from the SAR and GNSS results using the FFT method. As a result, annual periodic effects in the region were determined from both SAR and GNSS data.

Key Words: FFT, Deformation, Periodic Impact, Gediz Grabeni, InSAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
SİMGELER DİZİNİ xiii
KISALTMALAR DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 15
1.1 Amaç ve Kapsam 16
1.2 Önceki Çalışmalar 17
2. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR 19
2.1 InSAR 21
2.2 LiCSAR 23
2.2.1 LiCSBAS İŞ AKIŞI 25
3. HIZLI FOURIER DÖNÜŞÜMÜ 29
4. ÇALIŞMA ALANI 35
5. SAR ve GNSS VERİLENDEN PERYODİK ETKİNİN BELİRLENMESİ 37
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 53
KAYNAKLAR 55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Arazi noktasının görüntülenmesi (Url-1) 19
Şekil 2. 2 Yapay açıklık oluşumu, Çakır (2003)'ten Türkçeleştirilmiştir. 21
Şekil 2. 3 Faz Farkı (Şengün, 2009) 22
Şekil 2. 4 LiCBAS İş Akış Şeması (Morishita, 2020). 25
Şekil 2. 5 LiCBAS İşlenecek Çerçevenin Belirlenmesi 26
Şekil 2. 6 LiCBAS Small Baseline Ağı (Morishita, 2020). 27
Şekil 2. 7 LiCBAS Zaman Serisinin Maskelenmesi (Morishita, 2020). 27
Şekil 2. 8 Zaman Serisi (Morishita, 2020). 28
Şekil 3. 1 (a) Sinüs ve (b) tırmanma fonksiyonlarının Fourier dönüşümü (Alp ve diğ.,2007). 30
Şekil 3. 2 Fourier dönüşümü (Misiti ve diğ., 2009'dan değiştirilerek). 30
Şekil 3. 3 Periyodik bir sinyalin Fourier Dönüşümü (Bayazıt, 1996) 31
Şekil 4. 1 Çalışma Alanı 36
Şekil 5. 1 Yükselen uydu Sentinel 1A/B LOS yönünde hız değerleri 37
Şekil 5. 2 Yükselen uydu Sentinel 1A/B LOS yönünde hız değerlerine ait standart sapma değerleri 38
Şekil 5. 3 Alçalan uydu Sentinel 1A/B LOS yönünde hız değerleri 38
Şekil 5. 4 Alçalan uydu Sentinel 1A/B LOS yönünde hız değerlerine ait standart sapma değerleri 39
Şekil 5. 5 Sentinel 1A/B Yatay yönünde hız değerleri 40
Şekil 5. 6 Sentinel 1A/B Düşey yönünde hız değerleri 41
Şekil 5. 7 Google Earth görüntüsü üzerinde Sentinel 1A/B Yatay yönünde hız değerleri 41
Şekil 5. 8 Google Earth görüntüsü üzerinde Sentinel 1A/B Düşey yönünde hız değerleri 42
Şekil 5. 9 Google Earth görüntüsü üzerinde Deformasyon alanı Sentinel 1A/B Düşey yönünde hız değerleri ve FFT zaman seri analizi için seçilen üç nokta 43
Şekil 5. 10 Seçilen 3 nokta için Sentinel 1 A/B verilerinden elde edilen yükselen uydu FFT zaman seri analiz sonuçları. 44
Şekil 5. 11 Seçilen 3 nokta için Sentinel 1 A/B verilerinden elde edilen alçalan uydu FFT zaman seri analiz sonuçları. 45
Şekil 5. 12 Seçilen 3 nokta için Sentinel 1 A/B verilerinden elde edilen yatay bileşen yer değiştirme FFT zaman seri analiz sonuçları. 47
Şekil 5. 13 Seçilen 3 nokta için Sentinel 1 A/B verilerinden elde edilen düşey bileşen yer değiştirme FFT zaman seri analiz sonuçları. 48
Şekil 5. 14 Tesis edilen CNKC isimli GNSS noktası ve LiCSBAS düşey hız değerleri. 50
Şekil 5. 15 CNKC noktası GNSS zaman serisi 50
Şekil 5. 16 CNKC noktası Kuzey bileşen FFT analiz sonuçları 51
Şekil 5. 17 CNKC noktası Doğu bileşen FFT analiz sonuçları 51
Şekil 5. 18 CNKC noktası Yükseklik bileşeni FFT analiz sonuçları 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Gürültü İndexi (Morishita, 2020). 28
Çizelge 5. 1 Seçilen Graben noktalarına ait yükselen ve alçalan uydu LOS bileşeni FFT analizi hız değerleri ve periyodik etki periyod-genlik değerleri..... 46
Çizelge 5. 2 Seçilen Graben noktalarına ait Yatay ve Düşey bileşen FFT analizi hız değerleri ve periyodik etki periyod-genlik değerleri 49
Çizelge 5. 3 CNKC GNSS noktasına ait Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenine FFT analizi hız değerleri ve periyodik etki periyod-genlik değerleri..... 51

SİMGELER DİZİNİ

f	Frekans
t	Zaman
O	İzdüşüm merkezi
P	Arazi noktası
$e^{2j\pi ft}$	Karmaşık ve periyodik üstel fonksiyonu
x(t)	Sinyali
w(t)	Pencere fonksiyonu
τ	Zamanda ötelenme
α_{ASC}	Yön (heading) açıları
α_{DSC}	Yön (heading) açıları
δ_{ASC}	Geliş (incidence) açıları
$cos(\delta_{DSC})$	Geliş (incidence) açıları
V_{UP}	Düşey bileşeni için hız değeri
V_{EW}	Doğu bileşeni için hız değeri
$V_{LOS,ASC}$	Yükselen uydu LOS doğrultusunda hız değeri
$V_{LOS,DSC}$	Alçalan uydu LOS doğrultusunda hız değeri

KISALTMALAR DİZİNİ

AFD : Ayrık Fourier Dönüşümü
ESA : European Space Agency
FD : Fourier Dönüşümü
FFT : Fast Fourier Transform
GNSS : Global Navigation Satellite System
HFD : Hızlı fourier Dönüşümü
INSAR : Interferometric Synthetic Aperture Radar
IWS : Interferometric Wide Swath
KSFD : Kısa Süreli Fourier Dönüsümü
LOS : Line Of Sight
PS : Permanent Scatterer
PSINSAR : Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
SAM : Sayısal Arazi Modeli
SAR : Synthetic Aperture Radar
SNAP : Post Processed Kinematic
StaMPS : Micro Electro Mechanical Systems
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
YAR : Yapay Açıklıklı Radar

1. GİRİŞ

InSAR birbirine benzeyen görüntüleme geometrileriyle tamamlanmış iki değişik radar görüntüsü arasında oluşan faz farkının bulunmasını sağlayan radar görüntüleme tekniğidir (Massonnet ve Feigl, 1998; Hanssen, 2001; Burgmann vd., 2002; Rosen vd., 2000; Gens ve van Genderen, 1996). Sürekli yansıtıcılar dayalı PS-InSAR (Permenant Scatterers InSAR), değişik zamanlarda elde edilmiş SAR verilerinin zaman serisi analizi sayesinde oluşturulan en güncel InSAR analiz tekniklerinden biridir (Ferretti vd., 2001). Amaç, uydu verisi alınan her bir zaman diliminde, sürekli yüksek yansıtıcı özelliği gösteren noktalar (permanent scatterer: PS) tespit edilip, cm-altı hata miktarıyla sürekli olarak kontrol edilerek topoğrafik yüksekliklerin/deformasyonların hesaplanarak bulunmasıdır. Her bir PS ölçümünün yüksek duyarlıkla, belirlenen bir noktaya göre konumu bilinmesine rağmen gerçek ölçüm belirsizliği; uydu yörüngesindeki belirsizlikler, aletsel problemler, radar sinyalinin yolundaki gecikmeler ve saçıcı noktanın merkez belirsizliği gibi eksikliklerden dolayı düşüktür. Temelde, PSInSAR yüzeydeki hareketlerin (heyelanlar, çökmeler gibi) bulunmasına ve zaman içinde gözlemlenmesine yönelik en önemli yöntemlerden bir tanesidir.

Her bir PS, binalardaki stabilite sorunlarını, yeraltı suyu seviyesindeki değişimlerin yüzeye yansımasını (çökme/kabarma), heyelanların etkileri sonucu oluşan deformasyonları yansıtabilir (Çakır vd. 2005). Arıkan vd., (2010) Batı Anadolu Menderes bölgesinde tektonik hareketlerin izlenmesinde, Hooper vd., (2007) aktif volkan alanında, Yen vd., (2011) ve Poyraz vd. (2016) deprem kaynaklı yüzey hareketlerinin incelenmesinde, heyelan (Peyret vd., 2008, Hastaoglu vd. 2018), volkanik alanlardaki yer değişimleri (Hooper vd. 2004 ; Hooper vd., 2007), jeolojik ya da şehir alanlarında (Meisina vd., 2006), madencilik (Abdikan., 2013) meydana gelen çökmeler gibi uzun sürede meydana gelen hareketlerin belirlenmesinde son on yılda sıklıkla kullanılmaktadır.

Gediz grabeni, Manisa iline bağlı Alaşehir ve Sarıgöl ilçelerini kapsayan, Manisa ilinin Güney Doğusunda yer alan Ege Horst Graben Sistemine bağlıdır. Gediz Grabeni Manisa' dan Pamukkale' ye kadar uzanır ve yaklaşık 200 km uzunluğundadır. Grabenin ana fayı güney kenarı boyunca uzanır, kuzeyde ise kısım bu fayın bileşenleri yer alır. Gediz Grabeni, morfolojik yapısı ve depremsellik bakımından Batı Anadolu bölgesinin tektonik açıdan en önemli aktif yapısıdır. Ege Denizinden başlayarak, Batı Anadolu

olarak adlandırılan koridorun iç kesimlerine kadar yaklaşık D-B şeklinde uzanan Gediz Grabeni üzerinde aletsel dönemde birçok yıkıcı etkide depremler meydana gelmiştir. Meydana gelen depremlerden birçoğu yüzey kırığı oluşturmuştur. 28. Mart 1969 tarihinde Grabenin güney-batı bölgesinde meydana gelen 6.5 büyüklüğünde ki deprem ile Gediz Grabeni tekrardan aktivitesini sergilemiştir (Poyraz vd. 2018). Gediz grabenini doğu kesiminde GNSS noktaları için elde edilen hız değerleri yatay da yaklaşık bileşke değeri 12 mm/yıl ile 27 mm/yıl arasında değişmektedir. Düşey yöndeki hareketler incelendiğinde ise grabenin içeresinde kalan noktalarda yüksek çökme değerleri elde edildiği görülmektedir. TRAZ (Trazlar mevkinde) noktasında yıllık değişim yaklaşık -90 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Trazlar mevkinde bulunan noktaya ait BGCL -33 mm/yıl ve AKCL -13 mm/yıl olarak izlenmektedir. Grabenin dışındaki noktalarda ise yükselmeler olduğu görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen değerler ile Ege bölgesinin hız alanın belirlendiği ve yaklaşık 33 mm/yıl olarak hesaplandığı McClusky vd. (2000), Reilienger vd. (2006)'daki çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Burada TRAZ noktası gerek Ege bölgesinin hız alanından gerekse Gediz Grabeni genel hareket karakterinden daha farklı bir hareket göstermiştir.

TRAZ noktası ve civarında tektonik hareketin yanı sıra lokal etkilerin de olduğu düşünülmektedir (Poyraz vd. 2016). Gediz Grabeni içerisinde bulunan Sarıgöl ilçesi civarında 2000 – 2010 yılları arası kuraklık problemi ve aşırı su çekimine bağlı olarak yeraltı su seviyesinin düşmesi ile büyüyen alan bazlı oturmalar (sübsidans) ve sismik aktiviteyle fay bölgesi boyunca meydana gelen düşey yer değiştirmeler bulunmaktadır (Koca vd. 2011). Bu tez çalışması kapsamında da yukarıda bahsi geçen Gediz Grabeni Sarıgöl ilçesinde oluşan tektonik ve lokal etkilerden oluşan yüzey kabuk hareketlerinin geçmiş yapısı InSAR yöntemi kullanılarak izlenmiştir.

Bölgede daha önceki çalışmalarda bulunan asismik yüzey oynaklığına ait sürekli etkiler HFD (Hızlı Fourier Dönüşümü) yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. InSAR sonuçları ile CNKC noktasındaki GNSS sonuçları karşılaştırılarak periyodik etki doğrulanmıştır.

1.1 Amaç ve Kapsam

Gediz Grabeni Sarıgöl ilçesi civarında özellikle düşey yönde genel grabenin tektonik yapısından farklı hareketlerin olduğu daha önce gerçekleştirilen GNSS çalışmaları ile ortaya konulmuştur. Bu tez çalışması kapsamında, noktasal anlamda belirlenen bu farklı hareketin alansal olarak nasıl bir alanı etkilediği InSAR tekniği kullanılarak ortaya

çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu sayede bölgedeki farklı hareketin asismik bir tektonik hareket mi yoksa sadece lokal bir hareket mi olduğu belirlenmeye çalışılacaktır.
Böylelikle bölgenin genel tektonik yapısı net bir şekilde ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Gediz Grabeni doğu kesimine ait yaklaşık 4 yıllık InSAR verisi değerlendirilmiş ve uzun süreli periyodik etki incelenmiştir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Gediz grabeninde birçok yer bilimcinin yaptığı çalışmalarda (Eravcı vd. 2007; Koca vd. 2011; Poyraz vd. 2015; Poyraz vd. 2019; Poyraz ve Hastaoğlu,2020; Dogan vd. 2022) bölgenin sismik aktivitesinin yoğun olduğu ve yüzeysel deformasyonların arttığı ortaya konmaktadır. Ayrıca çalışma bölgesindeki bazı yerleşim yerleri AİGM tarafından "Yerleşime Uygun Olmayan Alan" olarak belirlenmiş ve Afete Maruz Bölge ilan edilmiştir.
Sarıgöl bölgesinde 18 Ekim 2020 tarihinde yağan şiddetli sağanak yağmur nedeniyle birçok üzüm bağında büyük çukurlar ve yarıklar oluşmasına neden olmuştur. Bu afet birçok ulusal basına haber konusu olmuştur. Sarıgöl de meydana gelen bu deformasyonlar asismik nedenlerden kaynaklandığı (Gürsoy vd., 1997; Koca vd., 2011; Poyraz vd ., 2019; Poyraz ve Hastaoğlu 2020; Dogan vd. 2022) düşünülmektedir. Dogan vd. 2022' de Sarıgöl ilçesinin yerleşim alanını etkileyen, 1969 yılı 6.5 büyüklüğündeki Alaşehir depreminin yüzey kırığı alanında sismik olarak aktif bir normal fayı analiz edilmiştir. Hassas nivelman yöntemi uygulanarak ortalama yıllık 7-8 cm hızda çökme alanları belirlenmiştir. Bu deformasyon, özellikle yaz ve sonbahar mevsimlerinde, yeraltı suyu seviyesindeki değişikliklerle ilgili olabileceğini düşündürmektedir. Bölgede yoğun tarım yapılmakta ve yaz döneminde yüksek düzeyde sulama faaliyeti yeraltı suyu seviyesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu bölgede böyle bir ilişki olabileceği olasılığı üzerinde durulmuş fakat herhangi bir modelleme gerçekleştirilmemiştir.
Yeraltı suyu seviyesinin değişmesi sonucu gelişen, genellikle yüzey deformasyonları olarak adlandırılan asismik yüzey deformasyonları, yüzeyde çatlaklar veya yüzey hataları olarak gözlenir. Yeraltı suyu seviyesinin düşmesine bağlı olarak gelişen yüzey fayları, o bölgede daha önce var olan faylar boyunca meydana gelir. (Van Siclen, 1967; Holzer, 1980). Batı Anadolu'da son 20 yılda görülen asismik sismik yüzey deformasyonları üzerine yapılan çalışmalar, bu deformasyonların ağırlıklı olarak graben

kenar faylarında yüzey fayları şeklinde geliştiğini göstermektedir (Gürsoy vd. 1997; Demirtaş vd. 2008a, b; Koca vd. 2011; Özkaymak vd. . 2014 ve 2015). Ancak bu çalışmalarda kuraklık ve yeraltı suyu seviyelerinde aşırı su çekilmesi nedeniyle deformasyon alanlarında önemli çökmeler meydana geldiği de belirtilmektedir (Özkaymak vd., 2017).

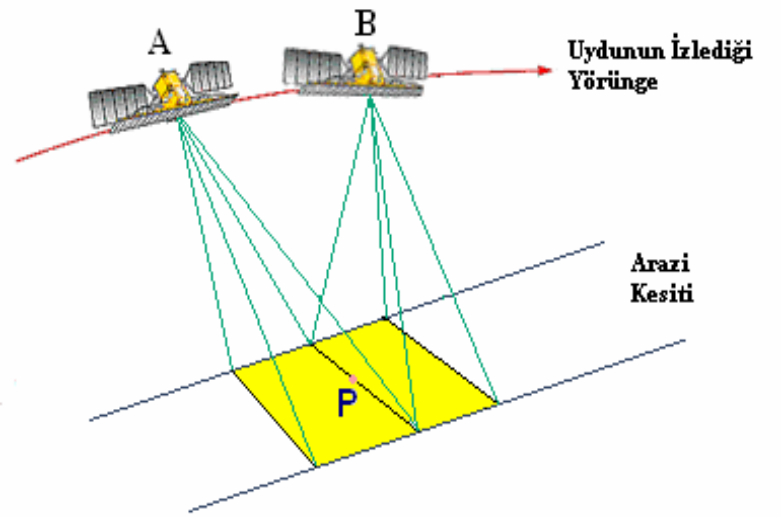
Son yıllarda InSAR yöntemi yüzey hareketlerinin izlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle son dört yılda InSAR sonuçlarından elde edilen yüzey deformasyonları bu deformasyonlara neden olan dış kuvvetler ile ilişkilendirilmeye çalışılmaktadır. (Hu vd. 2018; Zheng vd. 2018; Yang vd. 2019; Imamoglu vd. 2019; Shi vd. 2020; Shahzad vd. 2020; Darvishi vd. 2021; Lei vd. 2021; Bui vd. 2021; Khoshlahjeh vd. 2021; Zhu vd. 2022; Gezgin 2022). Bu çalışmaların birçoğunda InSAR yüzey hareketleri ile dış kuvvet arasındaki ilişki sadece grafiksel olarak sunulmakta ve sonuçlar bu grafikler üzerinden yorumlanmaktadır (Zheng vd. 2018;Shi vd. 2020; Shahzad vd. 2020; Lei vd. 2021; Bui vd. 2021). Yada olarak InSAR yüzey hareketleri ile dış kuvvet arasındaki korelasyon değerleri hesaplanarak yorumlamalar gerçekleştirilmektedir (Hu vd. 2018; Imamoglu vd. 2019;Darvishi vd. 2021;Zhu vd. 2022;Gezgin 2022). Özetle InSAR yüzey hareketlerindeki periyodik bileşenler modellenmeyip sadece grafiksel yorumlamalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında InSAR yönteminden elde edilen yer değiştirme değerleri üzerindeki periyodik bileşen HFD yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

2. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR

Yapay açıklı radar sistemleri, bir yeryüzünün topografyasını, zaman içerisindeki değişikliklerini ve yüzeyin detaylı olarak diğer farklılıkları hesalamak için kullanılan bir görüntüleme yöntemidir. Tutarlı radar sinyalinin fazından yararlanan interferometri, radar uzaktan algılamayı büyük ölçüde yorumlayıcı bir bilimden haritacılık, jeodezi, arazi örtüsü karakterizasyonu ve doğal tehlikelerdeki uygulamalarla nicel bir araca dönüştürdü. (Rosen ve diğ, 2000).

Yapay açıklı radar sistemleri, gerçek açıklıklı radarların sınırlamalarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu radarlar ile, kısa anten boyları ve uzun dalgaboyları kullanarak azimutun çözünürlüğüne iyi derecede etki etmektedir. Üstelik yapay açıklı radar sistemlerinde azimutun çözünürlüğe etkisi, eğik mesafe ile alakalı değildir. SAR görüntüleri, herhangi bir konumdaki yerlerin değişimlerini araştırmak için oldukça elverişli bir kullanım imkanına sahiptir (Akabalı 2002).

Yapay açıklık radarlarında açıklık, radarın sürekli yer değiştirmesi yardımıyla sağlanmaktadır. Radar uydunun izlediği yörüngede hareket halinde iken, bir yeryüzü noktası birçok farklı uydunun izlediği yörünge yerlerinden algılanır. Algılanan bu sinyaller dijital bir mekanda değerlendirmeler yapılarak yapay bir açıklık elde edilmiş olur. Aynı zamanda oluşan yapay açıklık SAR teknolojisinin temelini ortaya koymuştur. Şekil 2. 1'deki bir P arazi noktası, radarın A noktası konumundan başlayarak B noktası konumuna kadar görüntülenmektedir. Bu sayede, radarın A noktasından B noktasına hareketi süresince, P arazi noktası birçok farklı konumdan algılanmış olur (Url-1).



Şekil 2. 1 Arazi noktasının görüntülenmesi (Url-1)

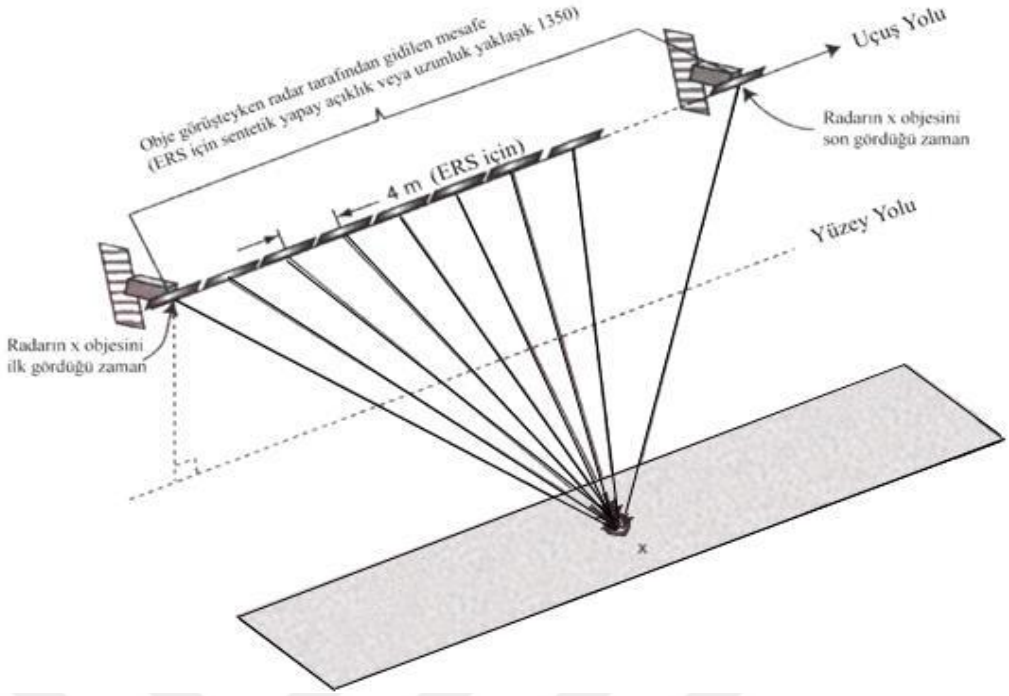
Yapay Açıklıklı Radar, genellikle hava veya uzay tabanlı sistemler ile yeryüzü veya yeraltı hedeflerinin yüksek çözünürlüklü elektromanyetik görüntülerinin oluşturulmasında kullanılan bir sinyal işleme tekniğidir (Bennet ve Cumming, 1979).

Kullanılan dalga boyu, anten açıklığı ve görüntülenecek hedefin genişliğine bağlı olarak uzak alan ve yakın alan YAR görüntüleme uygulamaları yapılmıştır. Uzak alan uygulamalarında kullanılan uydu ve uçak temelli YAR sistemleri oldukça karmaşık yapıya sahip olup maliyetli platform gereksinimlerinden dolayı genel olarak karmaşık ve pahalı sistemlerdir (Bennet ve Cumming, 1979).

Radar uydularının aktif uydular olmasından dolayı gönderilen dalganın ve yansıyan dalganın kaydedilmesi anten uzunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Uçaklardaki algılayıcılarda anten boyu birkaç metreyken uydularda 15 metreyi bulabilmektedir. Bu anten uzunlukları yeterli olmadığı için 1951 yılında Carl Wiley tarafından yapay açıklıklı radar tekniği ortaya çıkmıştır (Gündoğdu ve diğ, 2021).

Radar sistemleri ilk kullanılmaya başlandığında antenin ışın açısıyla kısıtlanan gerçek açıklık yaklaşımı kullanılıyordu. Uçağın uçuş yolundan dik olacak şekilde radar anteninden dar bir enerji gönderilmesi sonucu değişik şiddetlerdeki yansımalar arazinin şerit halinde görüntüsünün elde edilmesi için kullanılır. Bu tür radarlarda bir sonraki sinyal gönderildiğinde radar ilerlemiş olacağı için arazinin başka bir bölgesi şerit halinde görüntülenmiş olur. Bu sıralı parçalar azimutun uçuş yolunu oluşturmak için yan yana kaydedilir (Akabalı, 2002).

Yapay açıklık oluşturulabilmesi için tek bir radar platformu azimut yönünde hareket ederken aynı noktaya birden fazla algılama yaparak çok daha büyük bir anteni dizayn eder (Brown, 2020). Şekil 2.2'de uydu, x objesini ilk gördüğü andan son gördüğü ana kadar x objesinin üzerinde seyrederken farklı konumlardan 1350 darbe gönderir ve oluşan yapay açıklığı kaydeder.



Şekil 2. 2 Yapay açıklık oluşumu, Çakır (2003)'ten Türkçeleştirilmiştir.

2.1 InSAR

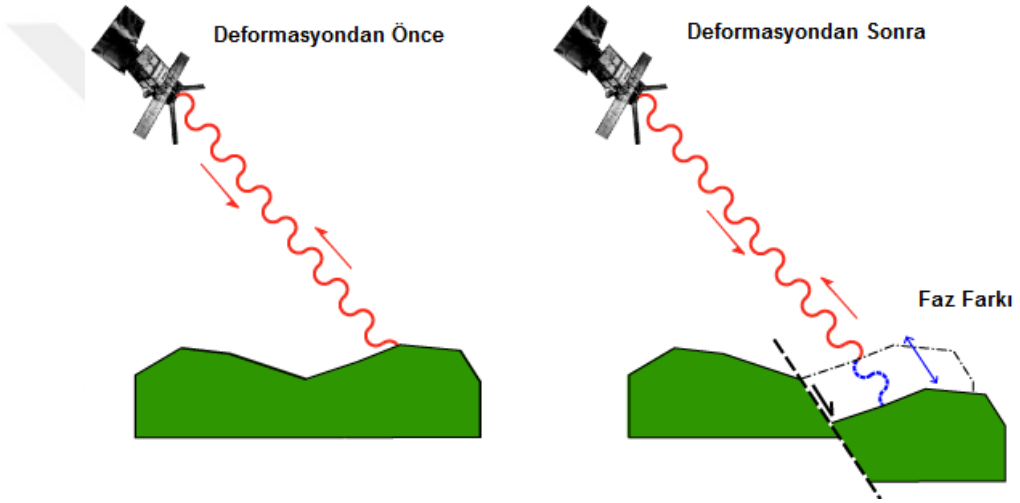
InSAR birbirine çok yakın görüntüleme geometrileriyle elde edilmiş iki farklı radar görüntüsü arasında oluşan faz farkını hesaplayan bir tekniktir (Massonnet ve Feigl, 1998; Hanssen, 2001; Burgmann vd., 2002; Rosen vd., 2000; Gens ve van Genderen, 1996). Daimi yansıtıcılar dayalı InSAR (Permenant Scatterers InSAR), farklı zamanlarda alınmış SAR verilerinin zaman serisi analizi yardımıyla gerçekleştirilen en yeni InSAR analiz tekniklerinden bir tanesidir (Ferretti vd., 2001). Amaç, uydu verisi alınan her bir zaman diliminde, sürekli yüksek yansıtıcı özelliği gösteren noktaların (permanent scatterer: PS) tespit edilip, cm-altı duyarlıkta izlenmesi ve bağıl topografik deformasyonların yüksekliklerinin kestirilmesidir.

InSAR, jeodezi ve uzaktan algılama ile ilgili yapılan çalışmaları temel alan bir radar görüntüleme tekniğidir. Bu teknik, uydular veya hava araçlarından toplanan radar görüntülerini birleştirerek Sayısal Arazi Modeli (SAM) belirlemede, yeryüzünde meydana gelen değişimlerin tespit edilmesinde, buzul hareketleri ve volkanik

hareketlerden kaynaklanan yer değiştirmelerinin incelenmesinde kullanılır (Hanssen, 2001; Çakır, 2003).

InSAR tekniği, uydu veya hava araçlarının elde ettiği radar görüntüleri yardımıyla oluşturulmuş görüntülerin Sayısal Arazi Modeli (SAM), buzul veya volkanik hareketlerin vb. yeryüzündeki varyasyonunun araştırılması için elde edilen görüntülerin birleştirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir (Hanssen, 2001 Çakır, 2003).

InSAR ile aynı noktaya ait uydudan veya hava aracından alınan iki SAR görüntüsü kullanılarak faz farkına dayalı bir ölçüm sistemi vardır. Şekil 2.1'deki belirlenen bir noktaya belirli zaman aralığıyla frekansları aynı olan sinyallerin gönderilmesiyle oluşan zamansal farkın açı cinsinden değeri faz farkıdır (Şengün,2009).



Şekil 2. 3 Faz Farkı (Şengün, 2009)

SAR sistemleri, uydudan yeryüzünde belirli bir noktaya sinyal gönderildikten sonra geri noktadan yansıyan sinyalleri kullanır. Bu sinyaller içerisinde hem faz hem de genlik bilgisi taşır. İşte bu faz ve genlik bilgileri tek bakışlı karmaşık görüntüyü meydana getirir. Görüntü içerisinde mevcut faz bilgisi, atmosfere, yeryüzüne olan uzaklığa ve yeryüzü ile oluşacak etkileşime bağlı olarak ortaya çıkan değişikliğe (faz kayıklığına) bağımlı bir değerdir (Şengün,2009).

InSAR tekniğinde GNSS'ten farklı olarak sabit noktalara gereksinim duyulmamasına karşın zaman çözünürlüğü düşük ve tek boyutta skaler ölçü sağlayan görüntü korelasyon uzluğuna imkan sağlamaktadır (Yılmaztürk, 2015; Şengün, 2009).

SAR sistemleri uçağa veya uyduya monte edilen bir alet ile elektromanyetik dalgalar gönderir ve yeryüzünde bulunan nesnelerden geri yansıyan dalgaların genlik ve faz

bilgilerini içerisine kaydeder. Böylece SAR, karmaşık sayılardan meydana gelen görüntüler oluşturarak piksel tabanlı deformasyon bilgisi sağlar. Diğer jeodezik yöntemler düzensiz bir şekilde dağılan ve kesikli ölçü grupları sağlarken InSAR, SAR görüntülerinin içine alabildiği çok büyük alanlarda meydana gelen deformasyonları piksel mertebesinde verebilmektedir. (Zhou ve diğ., 2003).

2.2 LiCSAR

Dünyadaki nüfusun dengesiz bir şekilde artmasıyla beraber şehir hayatındaki değişiklikler ve gelişimlerin araştırılması, yönetilmesi çevresel, sosyal ve ekonomik olarak yaşadığımız zamanda kıymetli bir hal almaktadır (Delibaşoğlu 2020).

Kentsel alanların farklılıklarının takip edilmesindeki kıymetli etkenlerden biri de bina ve yapılardır. Binalar şehir planlama, şehir simülasyonları, belediye çalışmaları, doğal afet çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Uydu görüntüleri binaların tespiti ve güncellemeleri için oldukça kullanışlı araştırmalardandır (Demir ve Kaynarca 2018).

Avrupa Komisyonu'nun Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından işletilen iki uydulu Sentinel-1 takımyıldızı Copernicus'un gelişiyle birlikte, orta düzeyde uzamsal (2–14 m) yüksek hacimli ve yüksek kaliteli C-bandı Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) gözlemleri ile zamansal çözünürlük daha kolay kullanılabilir hale geldi. (Url-2)

LiCSAR, Deprem, Volkan, Tektonik Gözlem ve Modelleme Merkezi (COMET/Centre for the Observation and Modelling of Earthquakes, Volcanoes and Tectonics)'nin Uzaydan Kıtaların İçine Bakmak (LiCS/ Looking inside the Continents from Space) projesi kapsamında geliştirilen Sentinel-1 verileri için tam otomatik son teknoloji bir InSAR aracıdır (Lazecky vd., 2020, Morishita vd., 2020).

Varsayılan Interferometric Wide Swath (IWS) modunda 250 km genişliğinde çapraz hat kapsamı ile Sentinel-1, birkaç metreden değişen uzamsal ölçeklerde yüzey deformasyonunu izlemek için onlarca kilometreye kadar kullanılma potansiyeline sahip benzersiz ve güçlü bir veri seti sağlar. Interferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR), deprem deformasyon döngüsünün kosismik, postsismik ve sismik arası aşamalar dâhil olmak üzere çeşitli jeofiziksel olayların neden olduğu volkanik hareketler, jeotermal faaliyetlere bağlı arazi deformasyonu yavaş hareket eden heyelanları ölçmek için kullanılan bir tekniktir (Elliott, J.R. 2016; Massonnet, D. 1995; Peltzer, G. 1995).

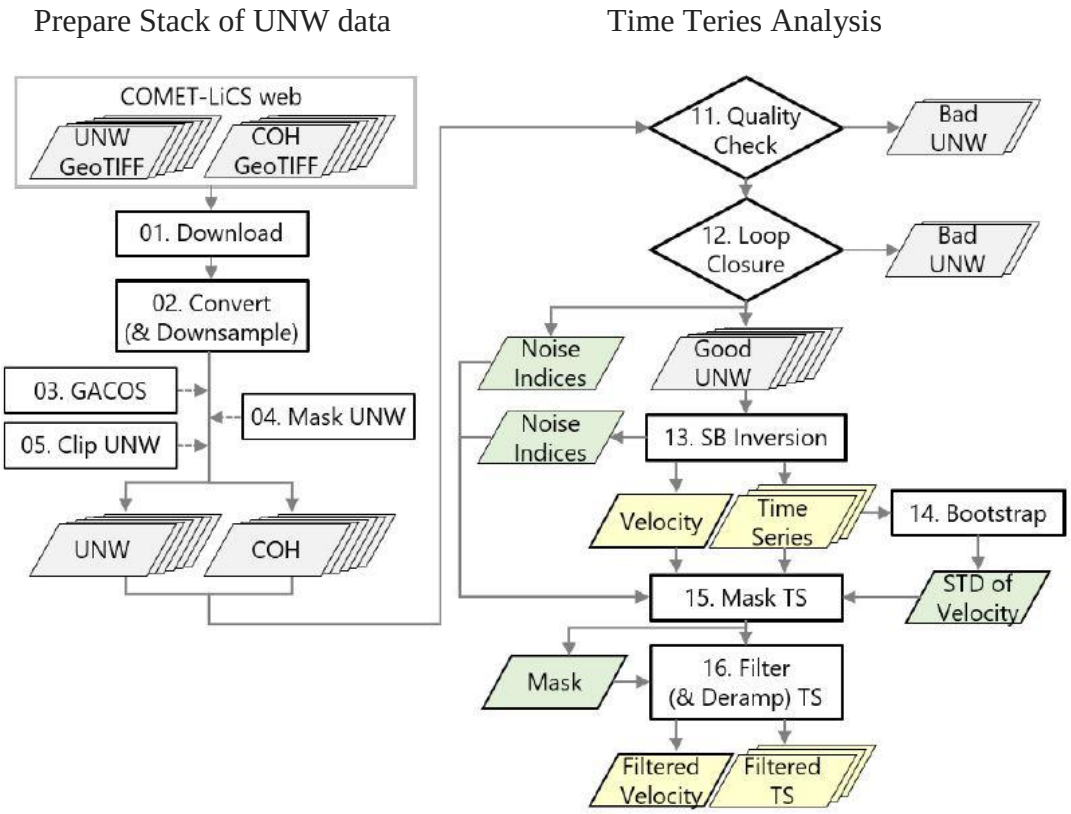
Daha önceki ESA SAR uydularının 35 gününe kıyasla yeniden ziyaret süresi önemli bir ilerlemedir. Çünkü kısa bir aralığa yayılan interferogramlar genellikle daha iyi tutarlılık

sağlar ve hızlı deformasyonun daha doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar. Kısa tekrar ziyaret süresi, InSAR zaman serisi analizlerinde gürültü katkısının (örneğin, atmosferik faz gecikmesinden dolayı) istatistiksel olarak azaltılması için daha fazla sayıda yararlı olan edinime de yol açar. Veriler, tektonik ve volkanik faaliyetlerin küresel olarak izlenmesi için özellikle önemlidir. Son beş yılda, Sentinel-1 interferogramları tarafından çok sayıda deprem ve volkanik patlama görüntülenmektedir, bu da hızlı müdahaleye yardımcı oluyor ve olayların ve bunların jeofiziksel özelliklerinin daha iyi bilimsel olarak anlaşılmasını sağlamaktadır (Wang, K. 2018; Elliott, J. 2020; Gaddes, M.E. 2019; Albino, F. 2019).

Sentinel-1 SAR verilerinin artan mevcudiyetinin sağladığı fırsatlara rağmen, özellikle büyük ölçekli uygulamalar için bu kaynaklardan tam olarak yararlanmak hala zordur. Gerçekten de Sentinel-1 sistemi tarafından sağlanan büyük miktardaki SAR verilerinin tam olarak kullanılması, kısa tekrar ziyaret süresi ve küresel ölçekli kapsama alanı (veriler ~13 TB oranında) verilerin işlenmesini güçleştirmektedir (Zinno, I. 2015).

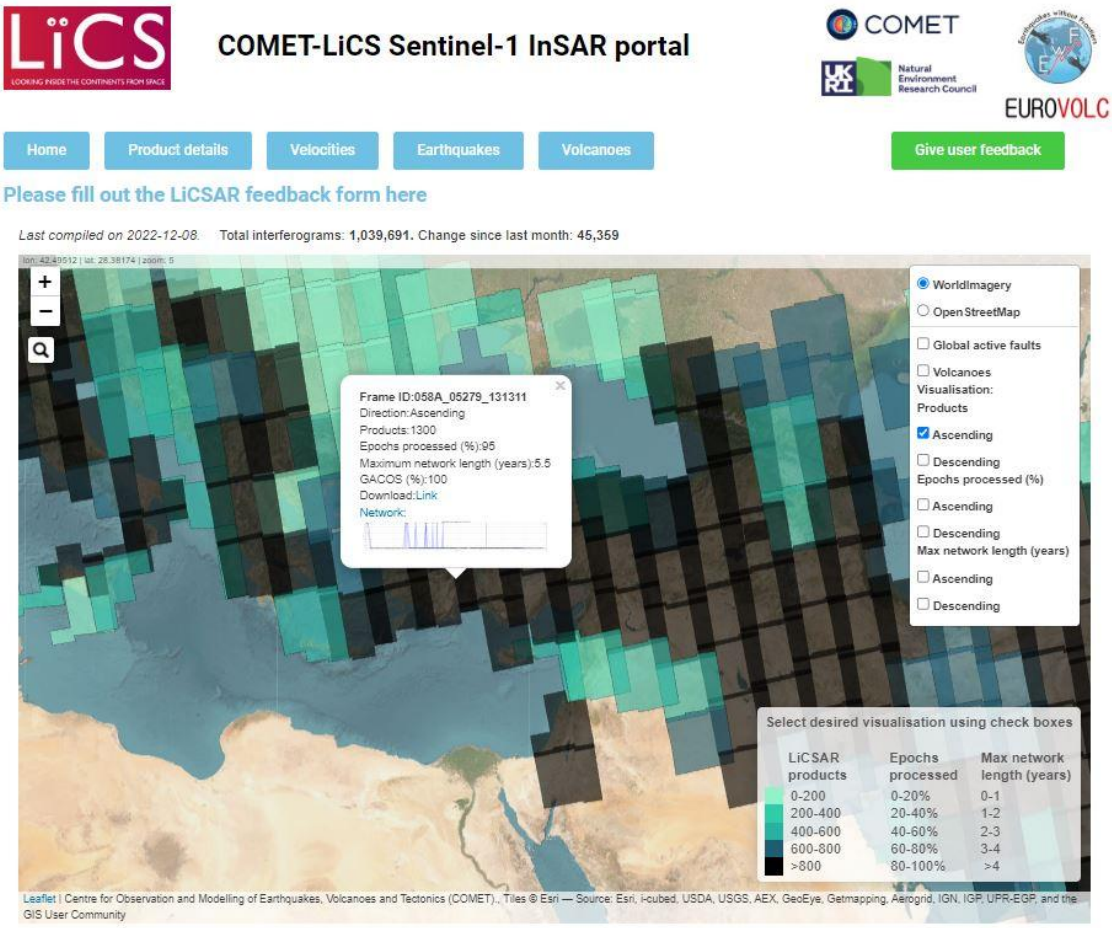
Çeşitli araştırma grupları, sistematik işleme yaklaşımlarını, diferansiyel interferogramların üretimi için SNAP, ISCE veya GMTSAR gibi açık kaynaklı yazılımlara ve zaman serisi işlemcileri olarak GMTSAR, STAMPS, LİCSBAS veya diğer araçlara dayandırır. Diğer kurumlar, şu anda en çok tanınan mevcut araçları listelemek için GAMMA, ENVI SARScape veya SARPROZ gibi ticari yazılım eşdeğerlerini tercih etmektedir. Bir InSAR işleme sisteminin devreye alınması, gerekli depolama ve bilgi işlem olanaklarına güçlü bir şekilde bağlı olduğundan, kısmen burada açıklanan meta veri tabanı yaklaşımına dayanan, şu anda kabul görmüş sistem çözümleri eksikliği vardır (Lazecky, M. 2020).

2.2.1 LiCSBAS İŞ AKIŞI



Şekil 2. 4 LiCBAS İş Akış Şeması (Morishita, 2020).

LiCSBAS programı, Python3 ortamına ve birkaç modüle ihtiyaç duyar. Program ayarları https://github.com/yumorishita/LiCSBAS/wiki/1_Installation adresinden indirilerek gerekli işlemler yapılarak program kurulup çalıştırılır.

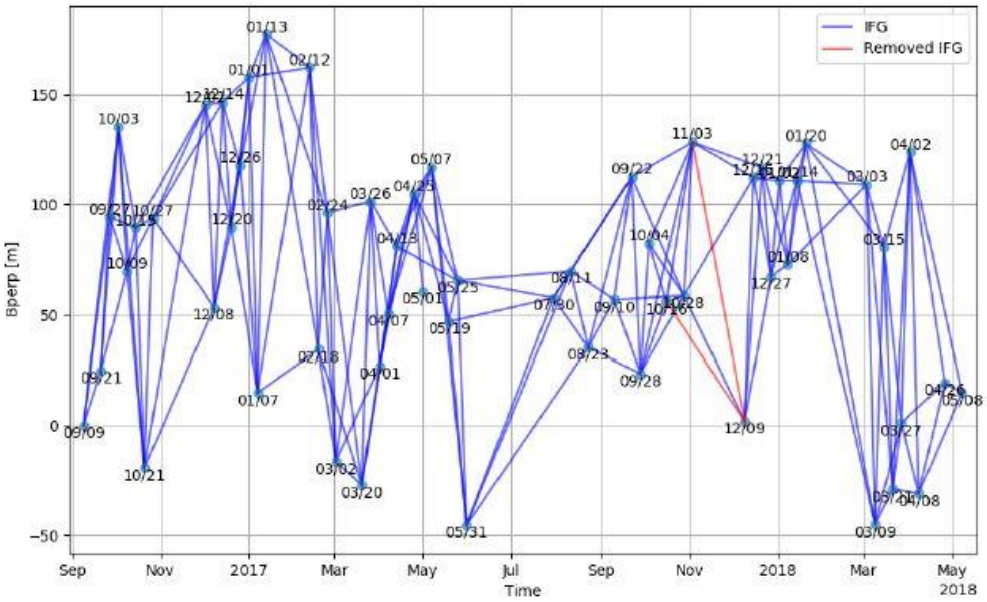


Şekil 2. 5 LiCBAS İşlenecek Çerçevenin Belirlenmesi

LiCSAR ürünleri, önceden tanımlanmış bir LiCSAR çerçeve bazında sağlanır. Çerçevelerin alanını, çerçeve kimliklerini ve kullanılabilir interferogram sayısını COMET-LiCS web portalında görebilirsiniz.

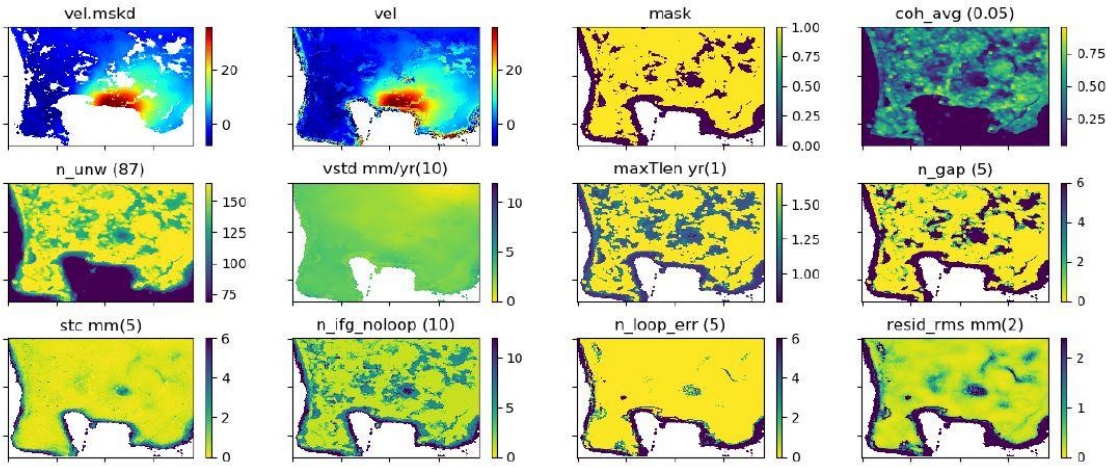
LiCSBAS İş akış şemasına göre;

- COMET-LiCS web'den belirtilen frame için unw (paketlenmemiş interferogram) ve cc (coharence) GeoTIFF dosyalarını indirir.
- Unw ve cc verilerinin boyutunu küçültmek, daha hızlı işlem yapmak için, belirli bir dikdörtgen ile ilgili alan kırpılır.
- Dataların İndirilmesi ve hazırlık aşaması tamamlanır ve small baselines ağı oluşturulur.



Şekil 2. 6 LiCBAS Small Baseline Ağı (Morishita, 2020).

- İnterferogramlar işlenip, kötü bazların ve uyumsuz interferogramlar çıkarılır.
- Önceki adımlarda türetilen çeşitli gürültü endekslerini kullanarak yer değiştirmenin zaman serileri ve hızı için bir maske oluşturur. Bir piksel için gürültü indekslerinin değerlerinden herhangi biri belirtilen aralıktan daha büyük veya küçükse, piksel maskelenir. (Morishita, 2020).

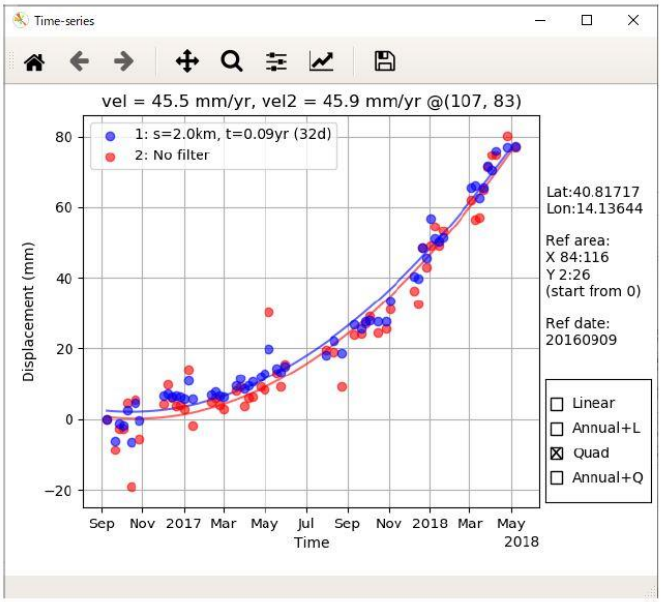


Şekil 2. 7 LiCBAS Zaman Serisinin Maskelenmesi (Morishita, 2020).

Çizelge 2. 1 Gürültü İndexi (Morishita, 2020).

Gürültü İndexi	Kısaltma	Açıklama
coh avg	-c	Tutarlılık ortalaması
n unw	-u	Kullanılan paketlenmemiş veri sayısı
vstd	-v	Hızın standart sapması (mm/yıl)
maxTlen	-T	Bağlı ağın maksimum süresi (yıl)
ngap	-g	Ağdaki boşluk sayısı
stc	-s	Uzay-zaman tutarlılığı (mm) (Hanssen ve diğerleri, 2008)
n ifg noloop	-i	Döngüsüz interferogram sayısı
n loop err	-l	Kapatılmamış döngü sayısı
resid	-r	SB inversiyonunda artıkların RMS'si (mm)

- Standart sapma, zaman serilerinin maskelenmesi, filtre (&Deramp) zaman serisi, yer değiştirmenin zaman serisine uzamsal-zamansal filtre (yani, gauss çekirdeği ile zamanda yüksek geçiş ve uzayda düşük geçiş, StaMPS ile aynı) uygulanır. (Morishita, 2020).



Şekil 2. 8 Zaman Serisi (Morishita, 2020).

3. HIZLI FOURIER DÖNÜŞÜMÜ

Fourier Dönüşümü Fransız matematikçi Joseph Fourier tarafından bulunmuş matematiksel bir yöntemdir. Bu dönüşüm periyodik olarak tanımlanır ve fonksiyonların periyodik olarak kabul edildiği durumlarda uygulanır. Jeofizik ve diğer dallarda modellenmiş sinyalleri çevirmek için kullanılmaya başlanmıştır. Fourier dönüşümünün kullanımı ile zaman tanım kümesindeki bir işaretin frekans içeriğini analiz etmede oldukça çok fayda sağlamasıdır. Dönüşüm, ilk olarak tanım kümesi zaman olan bir fonksiyonu, tanım kümesi frekans olan bir fonksiyona dönüştürerek çalışır. O zaman sinyalin frekans içeriğini inceler. Çünkü çevrilen fonksiyonun Fourier katsayıları, her frekans değerinde sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının her birinin katkısını temsil eder. Ters Fourier dönüşümü de verinin frekans tanım kümesinden zaman tanım kümesine çevrilmesini gerçekleştirir (Alp ve diğ.,2007). Fourier, periyodu 2π olan herhangi bir f (x) fonksiyonunun, o fonksiyonun Fourier serisinin;

$$a_0 + \sum_{k=1}^{\infty}(a_k \cos kx + b_k \sin kx) \tag{3.1}$$

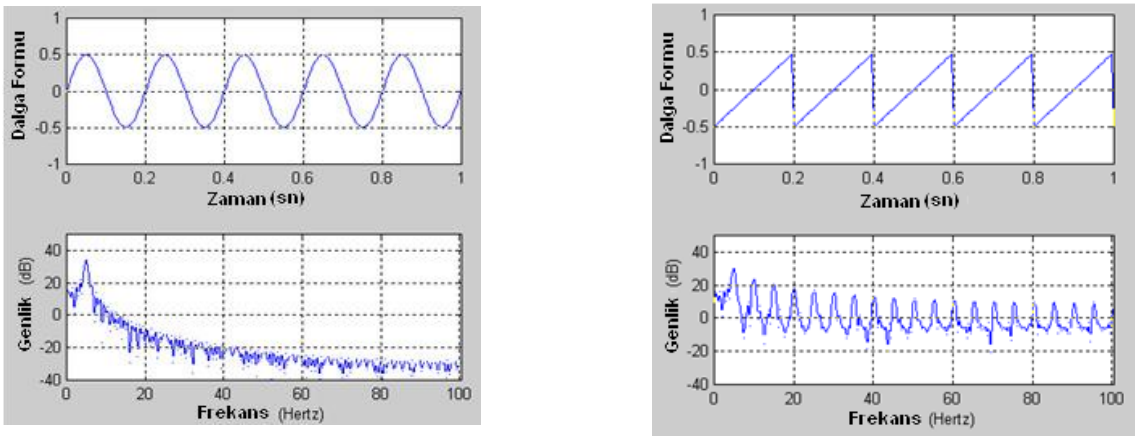
Toplamı ile temsil edilebilir. Buradaki a_0, a_k ve b_k katsayıları

$$a_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\,dx \,,$$

$$a_k = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\cos(kx)\,dx \,, \tag{3.2}$$

$$b_k = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} \sin(kx)\,dx$$

Formülleri ile hesaplanır (Pınar ve Akçığ 1995). Fonksiyonların Fourier serisinin yakınsaklığının ve ortogonal sistemlerin anlamının bulunmasıyla matematikçiler giderek önceki frekans analizi fikirlerinden ölçek analizi fikrine, yani ölçeği değişen matematiksel yapılar oluşturarak, f (x) fonksiyonunu çözümlemeye yönelmişlerdir.



(a) (b)

Şekil 3. 1 (a) Sinüs ve (b) tırmanma fonksiyonlarının Fourier dönüşümü (Alp ve diğ.,2007).

İki temel fonksiyona ait Fourier dönüşümleri Sekil 3.1'de verilmiştir. Fourier serilerindeki üstel fonksiyonlar, zaman boyutunda hiçbir katkı sağlayamadığından dolayı sonsuza doğru uzanmaktadır. Bu durağan sinyallerin tespiti için sorun oluşturmazken, dinamik sinyaller için sorun teşkil etmekte ve yetersiz kalmaktadır. Başka bir söylemle Fourier gösterimi; sinyalin spektrum bileşenlerini göstermekte ve bu bileşenlerin zaman bilgisini içermemektedir.

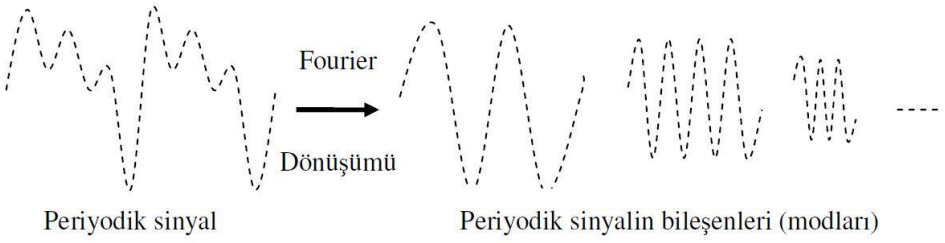
Fourier dönüşümü ortaya çıktıktan sonra çeşitli araştırıcılar aracılığıyla geliştirilmiştir. Joseph Fourier'in ortaya koyduğu Fourier serileri ve dönüşümüne 1946 yılında Dennis Gabor, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KFZD) olarak yeni bir fikir ortaya atmıştır. Daha sonra Cooley ve Tukey (1965) Hızlı Fourier dönüşümü ile Fourier dönüşümünü çok daha hızlı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir (Alp ve diğ.,2007).



Şekil 3. 2 Fourier dönüşümü (Misiti ve diğ., 2009'dan değiştirilerek).

Şekil 3.2'de zaman-genlik ortamına ait bir sinyalin frekans-genlik ortamına Fourier dönüşümü ile geçişi sembolik olarak gösterilmiştir. Fourier dönüşümünün faydası, zaman tanım kümesindeki bir sinyalin frekans içeriğini çözümleme kabiliyetinde yatar. Dönüşüm, ilk olarak tanım kümesi zaman olan bir fonksiyonu, tanım kümesi frekans olan bir fonksiyona çevirmek suretiyle çalışmaktadır. O zaman sinyalin frekans içeriği incelenebilir. Çünkü dönüştürülen fonksiyonun Fourier katsayıları, her frekans değerinde sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının her birinin katkısını temsil eder (Misiti ve diğ. 2009).

Fonksiyonlar sinüs veya kosinüs gibi kendilerini oluşturan sürekli fonksiyonlar ile tanımlanmaktadır. Bir fonksiyonun kendisini tamamlayan birden fazla sayıda alt fonksiyonlar ile anlatılması matematiksel olarak fonksiyonların işlevselliğini arttırmıştır. 19. yüzyılda Fransız matematikçisi Joseph Fourier herhangi bir sürekli fonksiyonun sınırsız sayıda karmaşık üstel sürekli fonksiyonun toplamıyla anlatılabileceğini göstermiştir. ''Şekil (3.3)'de sürekli bir sinyalin frekans dönüşümü ile elde edilen sinüs bileşenleri gösterilmiştir'' (Bayazıt, 1996).



Şekil 3. 3 Periyodik bir sinyalin Fourier Dönüşümü (Bayazıt, 1996)

Herhangi bir sinyali x(t) seklinde zamana bağlı bir fonksiyon olarak gösterecek olursak bu fonksiyonun değişik kompleks üstel fonksiyonlar seklinde göstermek için bu fonksiyonun üstel fonksiyonlarla skaler olarak çarpılıp zaman aralığı boyunca toplanması gerekir. Aşağıdaki bağıntılar sırasıyla Fourier ve Ters Fourier Dönüşümlerini ifade etmektedir (Polikar, 1996).

$$x_s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(f) \cdot e^{-2j\pi ft}\, dt$$

(3.3)

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x_s(f) \cdot e^{2j\pi ft}\, dt$$

(3.4)

Bağıntılardaki t, zamanı, f ise frekansı tanımlamaktadır. Burada $e^{2j\pi ft}$ karmaşık ve sürekli üstel fonksiyona karşılık gelmektedir. x_s(f) ise x(t) sinyalinin Fourier Dönüşümüdür. Sinyalin en baştan elde edilmesi için frekans katsayıları belirlenen üstel fonksiyonlarla katsayıların çarpılıp zaman aralığı boyunca toplanmasını sağlamak gerekir. Bundan dolayı farklı frekanslardaki sürekli fonksiyonlar toplanarak sinyal en baştan ortaya çıkmaktadır **(**Erdoğan, 2006).

Fourier fikir olarak genel anlamda sürekli olmayan fonksiyonlarında bu şekilde beyan edilebileceği onaylanmıştır. Dr. Gabor sayesinde etrafa atılan Gabor Dönüşümü, pencere fonksiyonu adı altında bir sabit fonksiyonun zamanda kaydırılması ile taranan herhangi bir sinyalin Fourier Dönüşümü (FD) alınarak, bölgesel frekans analizinin oluşturulmasına olanak sağlanmıştır. Bu durumda, pencerelinmiş sinyalin Fourier Dönüşümü, işaretin frekans bileşenleri yanında zaman bilgisindende bahsedilmektedir. Dönüşümde kullanılan pencere fonksiyonu, zaman ve frekans yerlerinde az sayıda olan Gaussian fonksiyonudur. 1965 yılında ortaya atılan, yeni bir algoritmayla Gabor Dönüsüm, değişik pencere fonksiyonlarının kullanıldığı Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (KSFD) olarak sınırları büyütülmüştür (Korürek, 2000). Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (KSFD) ile ortaya çıkan formül aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir (Misiti vd., 1997).

$$\text{KSFD}(\boldsymbol{\tau}, \text{f}) = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\boldsymbol{x(f)} \cdot \boldsymbol{w}^* \cdot (\boldsymbol{f} - \boldsymbol{\tau})\right) \cdot \text{e}^{-\mathbf{j2\pi ft}}\, \text{d}\boldsymbol{t}$$

(3.5)

Burada; x(t) sinyali, w(t) pencere fonksiyonu, * karmaşık eşleniği, τ zamanda ötelenmedir. KSFD, bir pencere fonksiyonuyla çarpılan sinyalin FD'nden oluşmaktadır. Her t ve f için yeni bir KSFD katsayı ekibi ile oluşmaktadır. KSFD, zamanın ve frekansın fonksiyonu olurken Fourier Dönüşümü, yalnız frekansın bir fonksiyonudur.

Sayısal sinyal islemenin pratik uygulamalarının çoğunda, bilgisayar sonsuz x(n) dizisinin

elemanlarını saklayamaz ve sürekli w frekansının değerlendirilmesi olanaksızdır. Ayrıca teorik olarak tanımlanan bazı serilerin aksine gerçek serilerin Fourier Dönüşümleri hesaplanamamaktadır. Bu sebepten dolayı sayısal sinyaller için Fourier dönüşümünün

uygulanması doğru değildir. N uzunluğunda, (sonlu) bir x(t) ayrık sinyal için "Ayrık Fourier Dönüşümü" (AFD), aşağıdaki bağıntıda verilmiştir.

$$x_s(f) = \sum_{t=0}^{N-1} x(f) \cdot e^{-jf\frac{2\pi}{N}\cdot t}$$

(3.6)

$$x(t) = \frac{1}{N}\sum_{f=0}^{N-1} x_s(f) \cdot e^{jf\,\frac{2\pi}{N}\cdot t}$$

(3.7)

eşitliği ile sağlanmaktadır. AFD'nin direk elde edilmesinde her bir Xs(f) değeri için N karmaşık çarpma ve N-1 karmaşık toplama işlemi kullanılmaktadır. Bu durumda N adet AFD değeri elde edilirken, N^2 çarpma ve N(N-1) toplama işlemi ile gerçekleşmiştir.

AFD doğasındaki süreklilik sayesinde bir sinyalin N-noktalı AFD alındığında işaretin N periyodu ile periyodikmiş gibi işlem görmektedir. Bu nedenle, AFD hesabı, en az sinyalin örnek sayısı kadar ayrık frekans değerinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. AFD sinyalin örnek sayısından daha az sayıda ayrık frekans değerinde hesaplandığında, sinyalin frekans spektrumunun seyrek örneklenmesi nedeniyle zamanda örtüşme (aliasing) meydana gelmektedir. Zaman örtüşmesi nedeniyle işaret değerleri Ters-AFD ile tekrardan elde edilememektedir. ''AFD hesabındaki N değeri sinyalin örnek sayısından fazla olabilir ve bu durumda işaretin sonuna sıfır değerlerinin eklenmesi ile sinyalin uzunluğu N'ye çıkarılabilmektedir'' (Ertürk, 2004)

AFD hesaplamasında en etkili ve bu dönemde uygulanan tutum HFD algoritmalarıdır. 1965 yılında Cooley ve Tukey sayesinde oluşturulan HFD (Fast Fourier Transform-FFT) algoritması; AFD'den pek fazla farkı yoktur. AFD'nin oluşumunda kullanılan en etkin ve hatasız bir algoritmadır. AFD'nin sayısal sinyal isleme alanında spektrum analizi ve korelasyon gibi işlemlerin gerçekleşmesinde en önemli etken HFD algoritmalarından dolayı kaynaklanmaktadır (Bergland, 1969).

Bir sinyalin frekans spektrumunun hesaplanmış sistemlerle oluşturulması için 2π ile periyodik olan ayrık-zamanlı frekansın bir periyoduna dikkat edilmesi yeterli olmaktadır. Ayrık zamanlı frekans spektrumunun 2π'lik temel periyodunda N adet eşit aralıklı frekans değeri

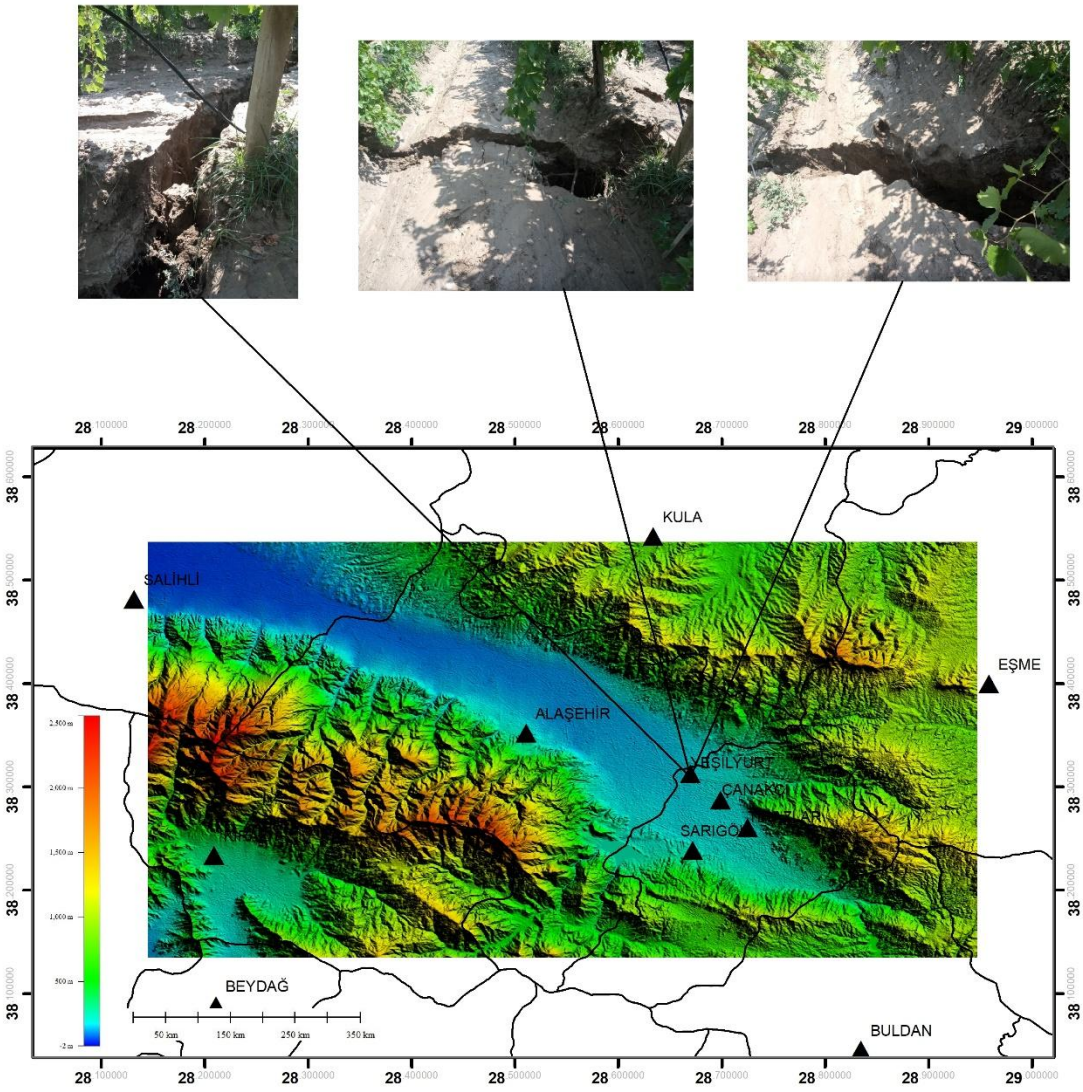
$\omega = \frac{2\pi}{N}k, \qquad k$=0,1,2,....,N−1

şeklindedir. Burada k tamsayısı 2π'lik temel frekans bandındaki ayrık frekans değerlerini

göstermektedir ve frekans endeksini tanımlamaktadır. Fourier dönüşümü için N adet ayrık frekans bilgisi elde edildiğinden, k=0,1,...,N-1, toplam N adet karmaşık Fourier Dönüşüm değeri Xs(f) elde edilmektedir. Bir sinyalin frekans spektrumu için sinyalin genlik, faz ve güç spektrumları HFD sonucunda ortaya çıkan karmaşık sayılardan daha basit bulunabilmektedir **(**Erdoğan, 2006).

4. ÇALIŞMA ALANI

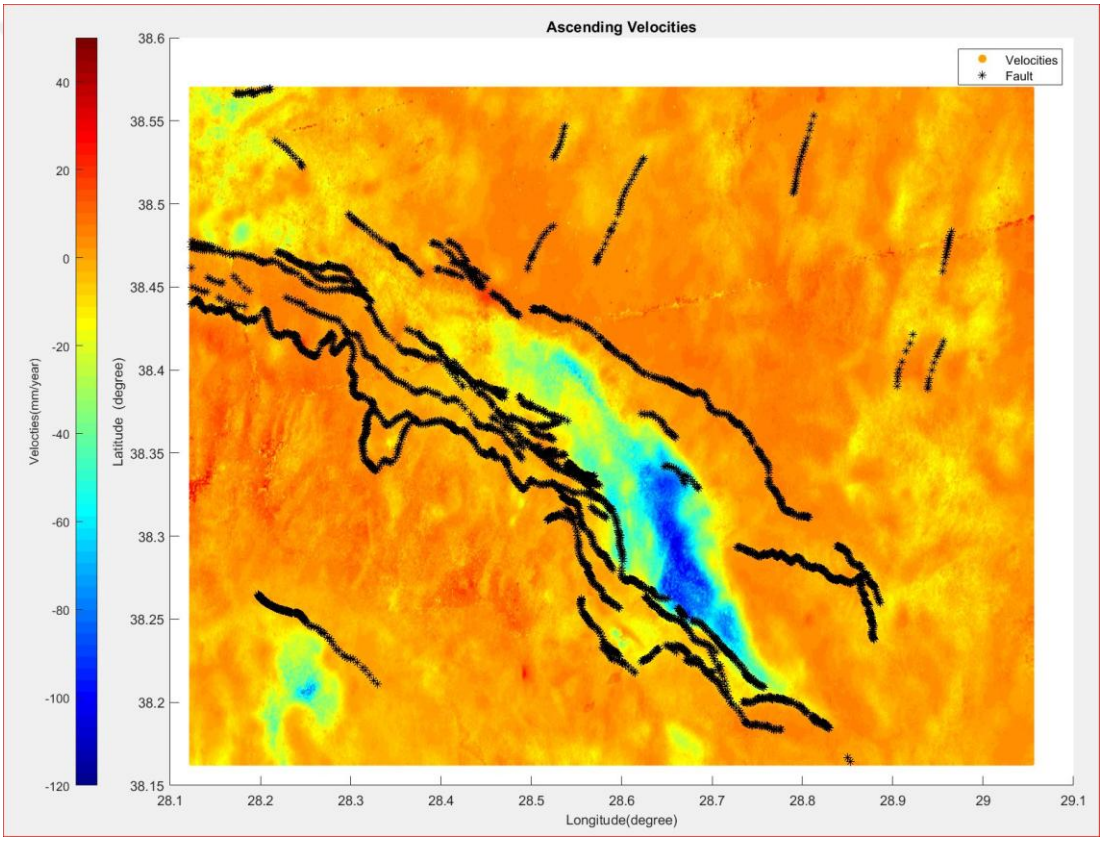
Gediz Grabenindeki tarih boyunca deprem etkinliği araştırıldığında, Grabenin batı kısmındaki bölgede MÖ. 17, 1592, 1850, 1862 yıllarında, Grabenin doğu tarafında, Büyük Menderes Grabeni ile çakışan konumda Denizli bölgesinde ise 60, 494 yıllarında şiddeti VIII'den büyük depremlerin olduğu, bahsedilen tarihlerden sonra ise Grabenin doğu tarafında 1969 Alaşehir Depremi'nin olduğu (Io= VIII) görülmektedir (Eravcı vd. 2007). Bu tarihlerden günümüze kadar uzanan yıllarda deremin şiddeti VIII'e eşit veya daha büyük bir şiddetin olmadığı araştırılmıştır. Gediz grabeni doğuda Sarıgöl ile batıda Manisa ve Kemalpaşa arasında D-B boyutunda tahminen 150 km uzunluğundaki normal fay sistemine dahil edilerek oluşmuştur. Doğu tarafından batı tarafına büyüyen grabenin alt tabakası Neojen ve Kuvaterner yaşlı çökellerle kaplıdır. Grabenin güneydeki sınırının tamamını kapsayan düşük açılı sıyrılma (detachment) fayı sistemin vazgeçilmez bir parçasıdır. Grabenin güney kısmında ana sıyrılma fayına yaklaşık olarak eşit doğruda uzanan bir seri sintetik ve antitetik fay bulunur. Sıyrılma fayının antitetik yapıları ise grabenin kuzey kısmını oluşturur. Salihli doğusunda BKB-DGD uzanımlı olan graben Salihli'den batıya doğru alan olarak büyür ve iki veya daha fazla kollara bölünür. Gölmarmara, Halitpaşa, Manisa ve Kemalpaşa kolları bahsedilen çatallanmaların en belirgin görüldüğü bölgelerdir. Bu kollar normal faylarla biri birinden ayrılan blokların oluşturduğu ada dağlarla birbirinden ayrılmaktadır. Anadolu'nun en önemli sismojenik zonlarından olan Gediz grabeninin batısındaki faylardan kaynaklanabilecek depremler İzmir ve çevresindeki yerleşmeleri etkileyecek konumdadır (Emre vd. ,2005). Gediz grabeni batı kısmındaki faylar grabenin Kemalpaşa ve Manisa bölünen grabenleri oluşturur. Manisa tarafındaki grabenin doğu kısmında Turgutlu fayının KB devamlılığı gösteren Manisa fayı ile bereber biçimlenmiştir. Kemalpaşa bölgesindeki aktif fayların en başta geleni graben ana sıyrılma fayı, Kemalpaşa fayı ve bir transfer yapısı olan Dağkızılca faylarından oluşur. (Emre vd. ,2005) Sarıgöl fayı, Gediz Grabeni'nin doğusunda yer alan Sarıgöl kasabası, güneyden Emcelli, Selimiye ve Sarıgöl fayları, kuzeyden ise Tırazlar ve Çapköy fayları ile sınırlanmış bir alan üzerinde bulunmaktadır. Sarıgöl Fay Zonu'nu ortaya çıkaran bu faylardan birden fazlası aktiftir ve yüzey deformasyonları kasaba sınırları içinde oldukça belirgin olarak gözlenebilmektedir (Koca vd., 2011).



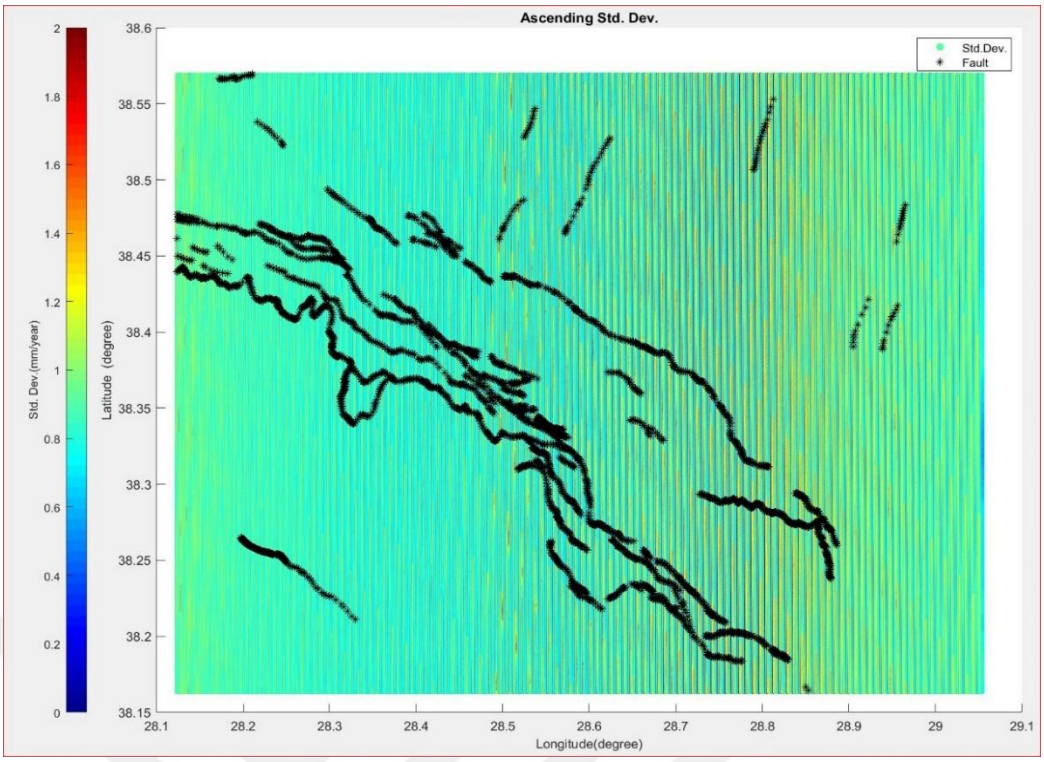
Şekil 4. 1 Çalışma Alanı

5. SAR ve GNSS VERİLENDEN PERYODİK ETKİNİN BELİRLENMESİ

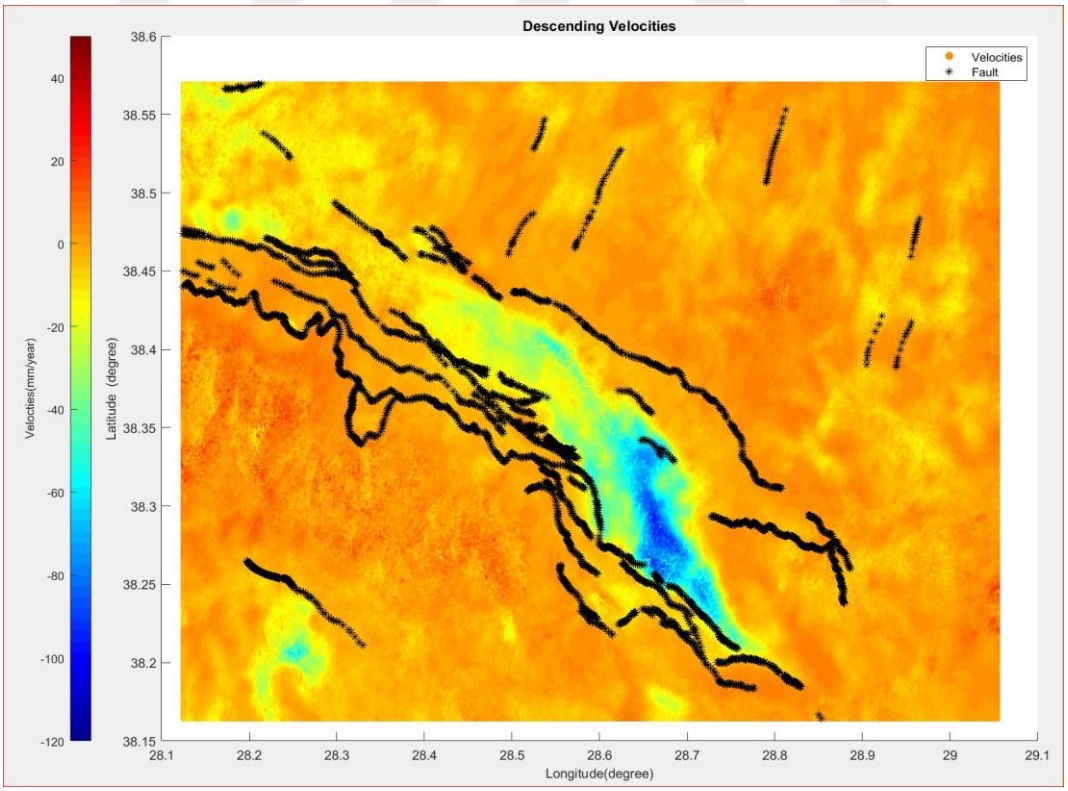
Tez çalışması kapsamında Manisa/Sarıgöl bölgesine ait Sentinel 1A/B Ascending (Yükselen) ve Descending (Alçalan) Uydu verileri değerlendirilmiş ve çalışma sahasına ait LOS (Uydu bakış) doğrultusundaki hız değerleri elde edilmiştir. Radar verilerinin değerlendirilmesinde LiCSBAS yazılımı kullanılmıştır. Yaklaşık 4 yıllık (09.09.2016-19.08.2020) Sentinel 1A/B verisi değerlendirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen LOS hız değerleri ve bu hız değerlerine ait standart sapma değerleri Şekil 5.1-5.4' de sunulmaktadır.



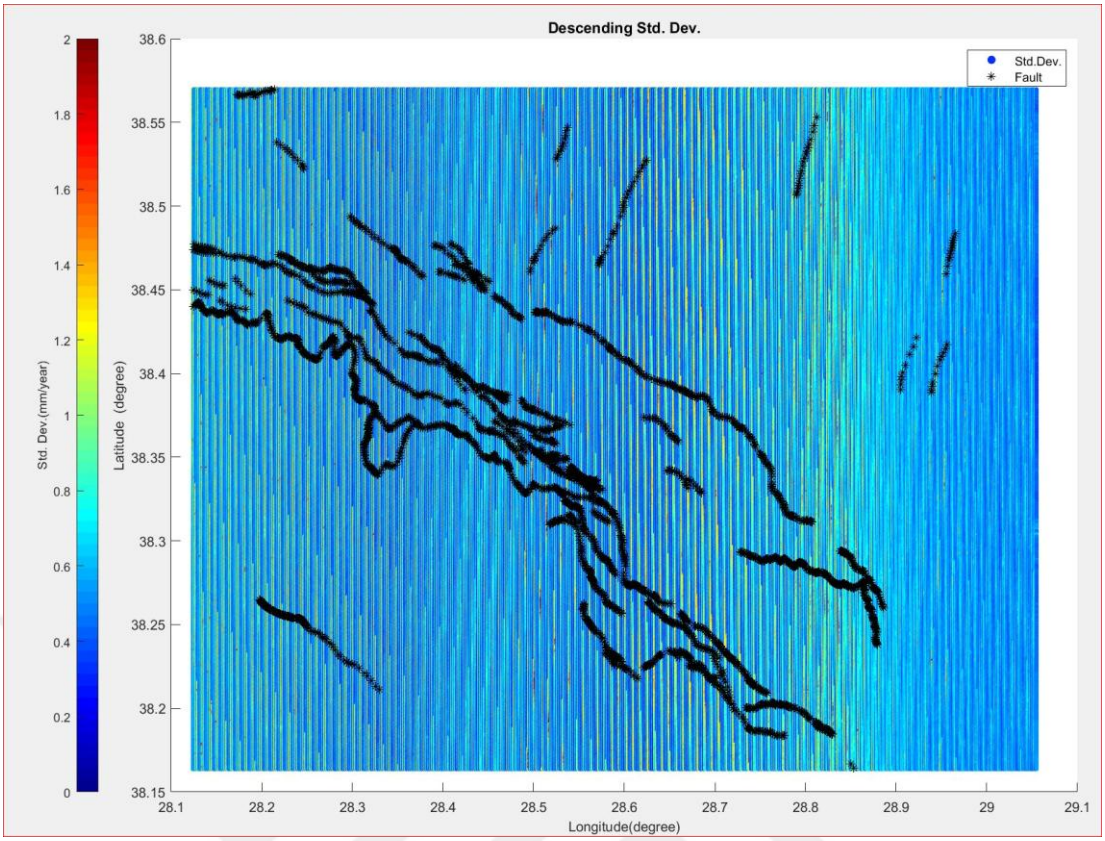
Şekil 5. 1 Yükselen uydu Sentinel 1A/B LOS yönünde hız değerleri



Şekil 5. 2 Yükselen uydu Sentinel 1A/B LOS yönünde hız değerlerine ait standart sapma değerleri



Şekil 5. 3 Alçalan uydu Sentinel 1A/B LOS yönünde hız değerleri



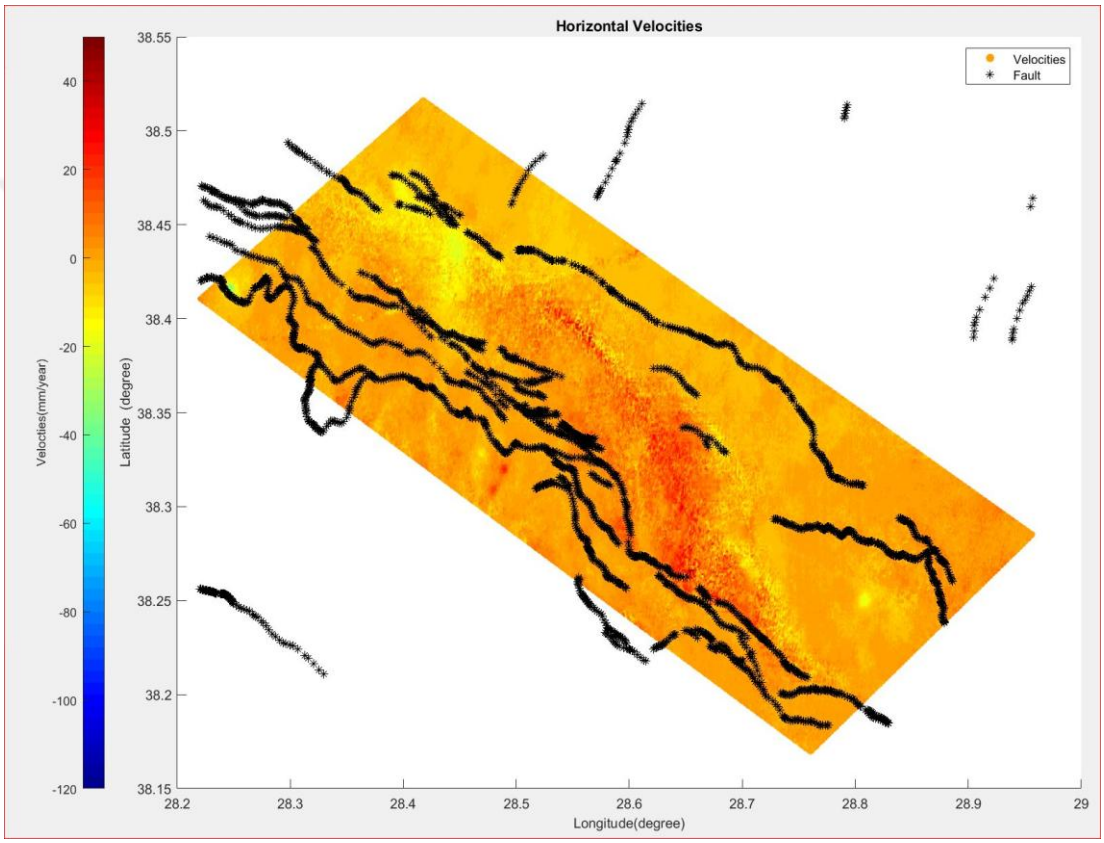
Şekil 5. 4 Alçalan uydu Sentinel 1A/B LOS yönünde hız değerlerine ait standart sapma değerleri

Uydu verilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen graben içerisine düşen alandaki hem alçalan hem de yükselen uydulara ait LOS yönündeki yer değiştirme değerleri Doğu ve Düşey bileşenlerine dönüştürülmüştür. Doğu ve Düşey bileşenlerine ait hız değerleri hesaplanırken Eşitlik 5.1' den faydalanılmıştır (Hanssen 2001). Eşitlik 5.1'deki formüllere hata yayılma kuralı uygulanılarak, LOS hız değerlerine ait standart sapma değerlerinden, Doğu ve Düşey bileşen hız değerlerine ait standart sapma değerleri elde edilmiştir.

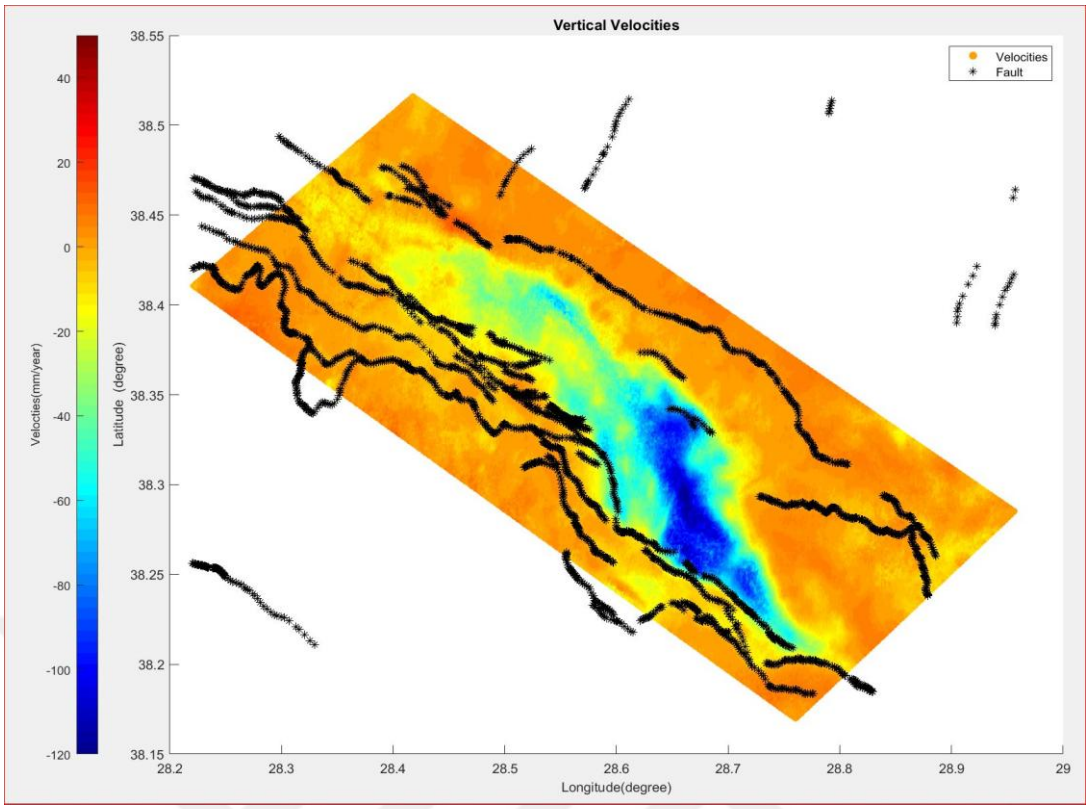
$$\begin{pmatrix} -\cos(\alpha_{ASC}) & \sin(\alpha_{ASC})Xcos(\delta_{ASC}) \\ -\cos(\alpha_{DSC}) & \sin(\alpha_{DSC})Xcos(\delta_{DSC}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{UP} \\ V_{EW} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{LOS,ASC} \\ V_{LOS,DSC} \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1'de yükselen ve alçalan uydular için α_{ASC}, α_{DSC} yön (heading) açılarını, δ_{ASC}, δ_{DSC} ise geliş (incidence) açılarını göstermektedir. V_{UP} Düşey bileşeni için hız, V_{EW} doğu bileşeni için hız, $V_{LOS,ASC}$ yükselen uydu LOS doğrultusunda hız, $V_{LOS,DSC}$ alçalan uydu LOS doğrultusunda hız değerlerini göstermektedir. SAR uydu yörüngelerinin Kuzey-Güney yönlü olması ve SAR uydularının sağ yanal bakışlı görüntü almasından

kaynaklı SAR yöntemi ile Kuzey-Güney yönündeki yüzey hareketleri ancak gerçek deformasyon miktarının %10-15' i arasında belirlenebilmektedir. Bu yüzden birçok SAR çalışmasında kuzey yöndeki deformasyonlar sıfır kabul edilerek Eşitlik 5.1' deki iki boyutlu dönüşüm matrisi kullanılmaktadır (Pawluszek and Borkowski, 2020). Zaten Eşitlik1' deki denklemde görüleceği üzere bir piksele ait alçalan ve yükselen iki LOS değeri ölçüldüğünden ancak 2 yöndeki bilinmeyen çözümlenebilmektedir. Doğu ve Düşey yönde elde edilen hız değerleri Şekil 5.5-5.6' da sunulmaktadır.

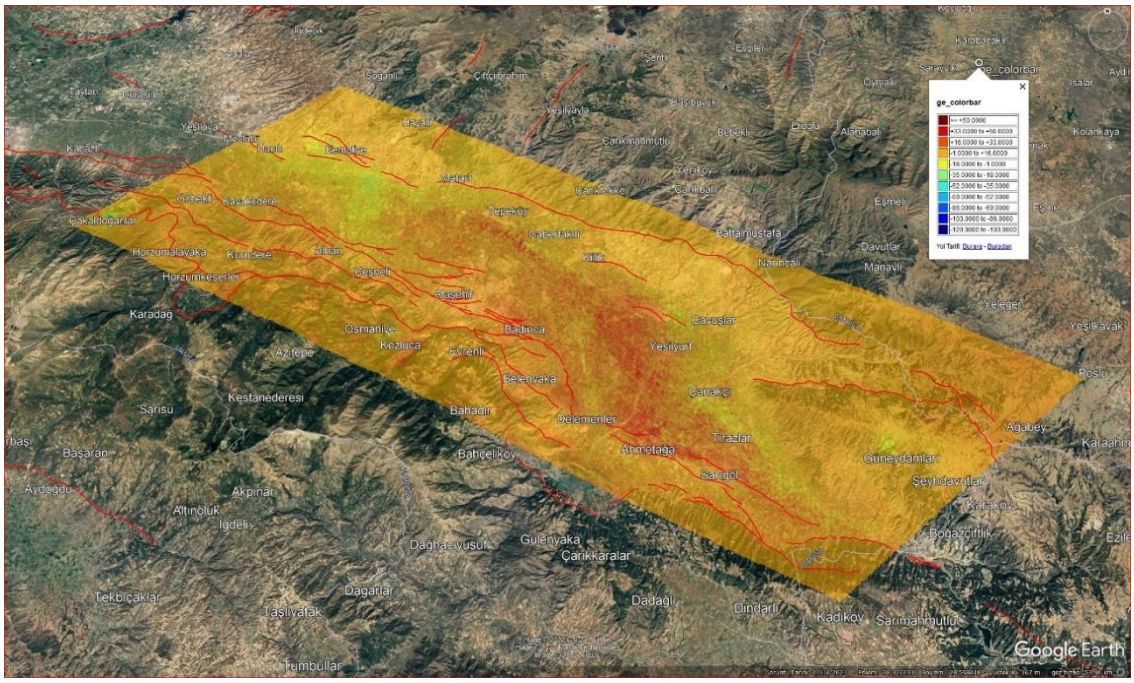


Şekil 5. 5 Sentinel 1A/B Yatay yönünde hız değerleri

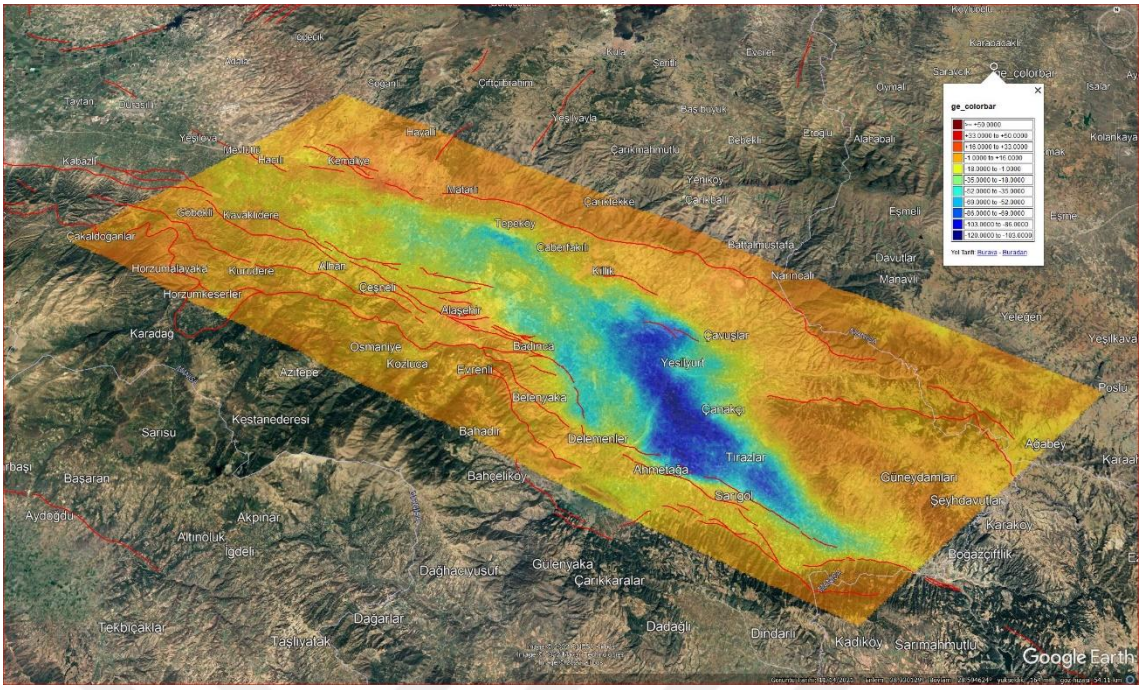


Şekil 5. 6 Sentinel 1A/B Düşey yönünde hız değerleri

Şekil 5.7 ve 5.8' de ise Google Earth görüntüsü üzerinde yatay ve düşey hız değerleri sunulmaktadır.

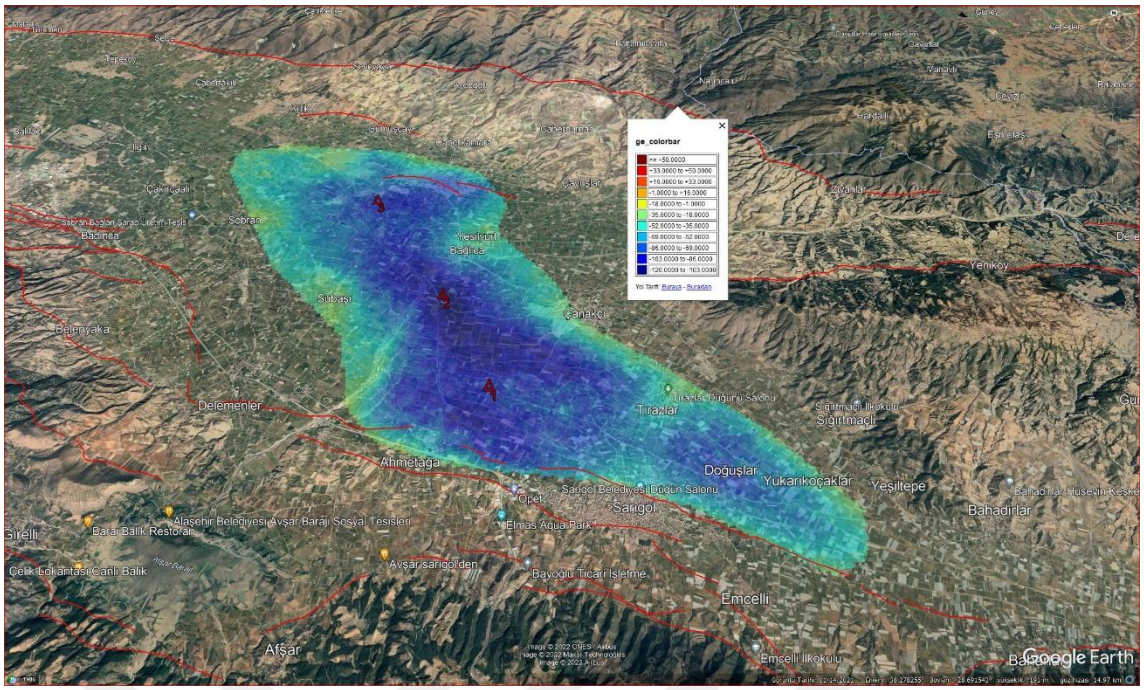


Şekil 5. 7 Google Earth görüntüsü üzerinde Sentinel 1A/B Yatay yönünde hız değerleri



Şekil 5. 8 Google Earth görüntüsü üzerinde Sentinel 1A/B Düşey yönünde hız değerleri

Şekil 7 ve 8 incelendiğinde grabenin genelinde batıdan doğuya doğru artış gösteren düşeyde çökme yatayda ise batıya doğru bir hareket gözlenmektedir. Bu hareketler Özellikle Yeşilyurt Sarıgöl civarında KB-GD yönünde bir hat boyunca artış göstermektedir. Bu hat üzerinde, Ege bölgesinin hız alanın yaklaşık 33 mm/yıl olarak hesaplandığı McClusky vd. (2000), Reilienger vd. (2006)'daki hareketlerin dışında artış gösteren asismik hareketlerin var olabileceği düşünülmektedir. Bu yüzden deformasyonların artış gösterdiği bu bölgede daha ayrıntılı araştırma yapmak üzere bu alan üzerinde 3 farklı noktada yer değiştirme değerleri kullanılarak FFT zaman seri analizi uygulanmış ve hareketin karakteri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Şekil 9' da bu bölgedeki düşey deformasyonlar ve seçilen üç nokta gösterilmektedir.



Şekil 5. 9 Google Earth görüntüsü üzerinde Deformasyon alanı Sentinel 1A/B Düşey yönünde hız değerleri ve FFT zaman seri analizi için seçilen üç nokta

Tez kapsamında belirlenen üç nokta için yaklaşık 4 yıllık Sentinel 1A/B verisi değerlendirilerek elde edilen LOS hız değerlerine ait zaman seri analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen zaman serilerinin analizi Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) ile yapılmıştır. HFD' ye geçmeden önce serideki trend bileşeni belirlenmiş ve parametrelerinin anlamlılık test sonuçlarına göre trend bileşeni seriden çıkarılmıştır. Trend bileşeni giderilmiş serinin zaman bölgesinden frekans bölgesine dönüşümü Eşitlik 5.1' de verilen HFD ile yapılmıştır.

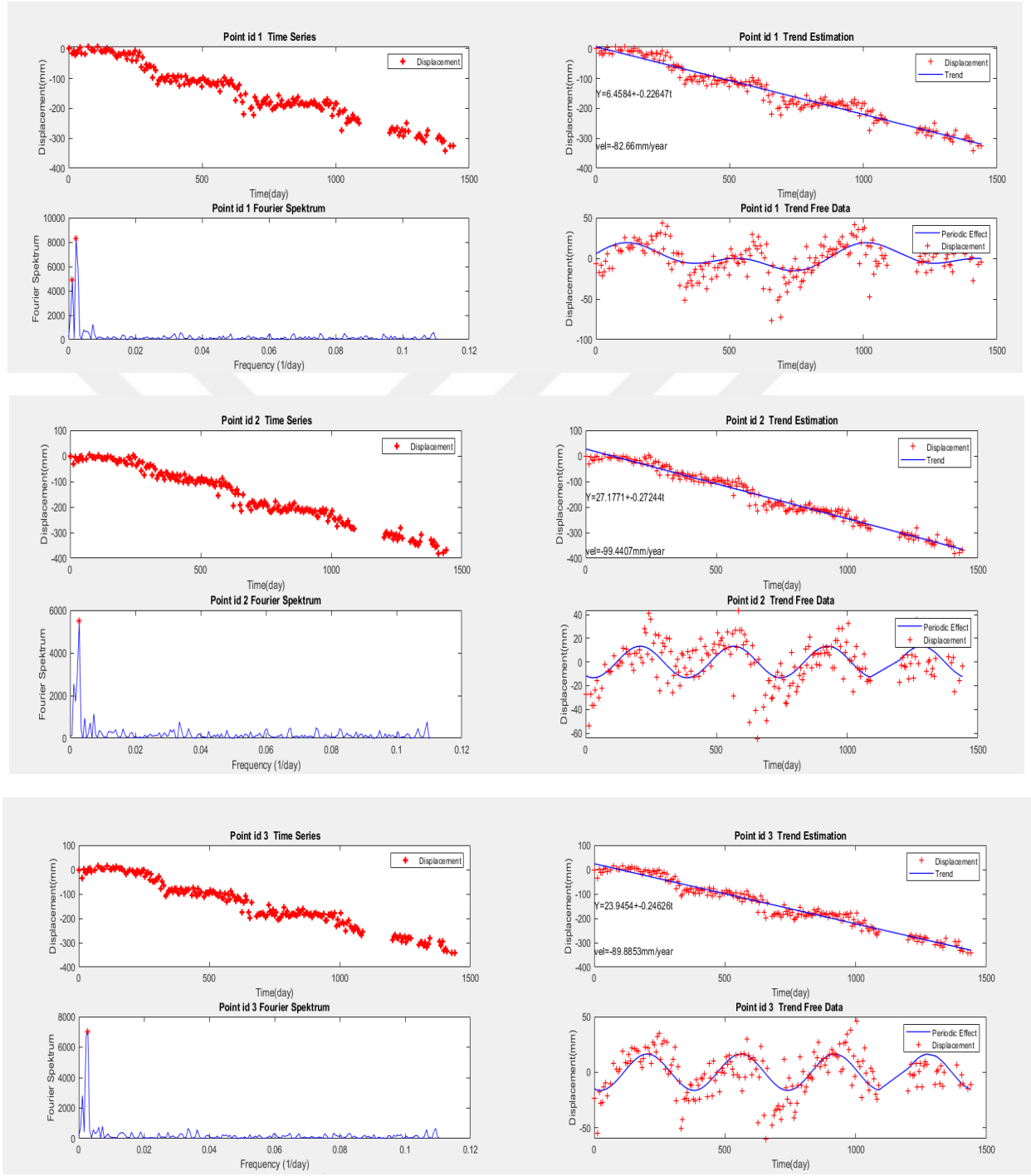
$$X(f) = \sum_{t_i=0}^{N-1} P(t_i).e^{-jf\frac{2\pi}{N}t_i} \tag{5.2}$$

Eşitlik 5.2'de X(f) değeri, $e^{2\pi jt}$ karmaşık ve üstel fonksiyonu ifade etmektedir. HFD sonucu elde edilen değerler karmaşık sayılar olduğundan, serinin frekanslarını belirlemek için hala yeterli değildirler. Bu nedenle, X(f)'in modül karesi hesaplanır ve Fourier spektrum Pxx(f) olarak adlandırılır.

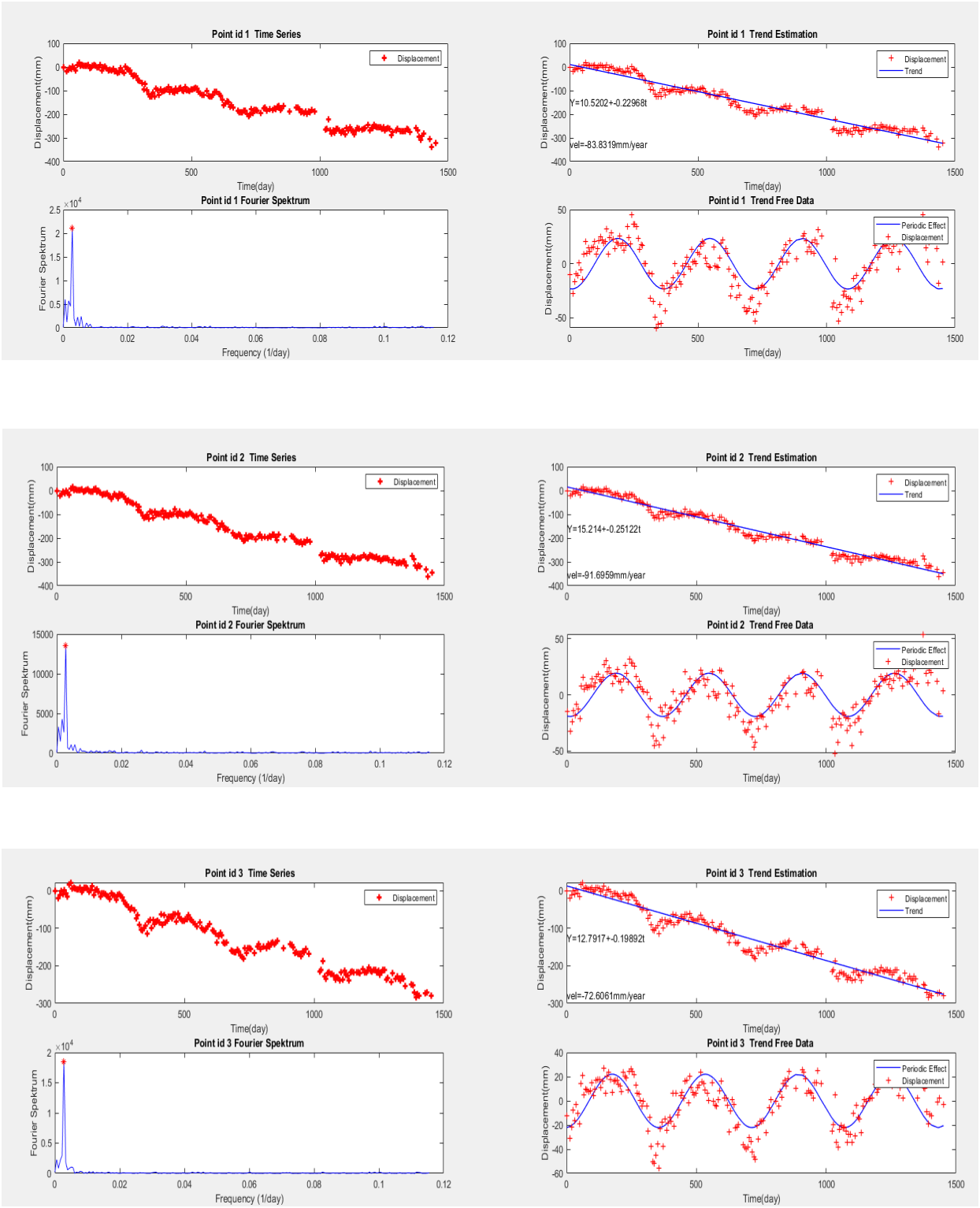
$$P_{xx}(f) = \left|X(f)\right|^2 \tag{5.3}$$

Böylece bir sinyalin enerjisinin hangi frekanslarda yoğunlaştığı tespit edilerek, seride var olan periyodik hareketlerin frekansları belirlenmiştir.

Şekil 5.10 ve 5.11’ de seçilen üç nokta için sırası ile yükselen ve alçalan uydu verilerinden elde edilen zaman seri analiz grafikleri sunulmaktadır. Çizelge 5.1’ de ise zaman seri analiz sonucunda elde edilen değerler sunulmaktadır.



Şekil 5. 10 Seçilen 3 nokta için Sentinel 1 A/B verilerinden elde edilen yükselen uydu FFT zaman seri analiz sonuçları.

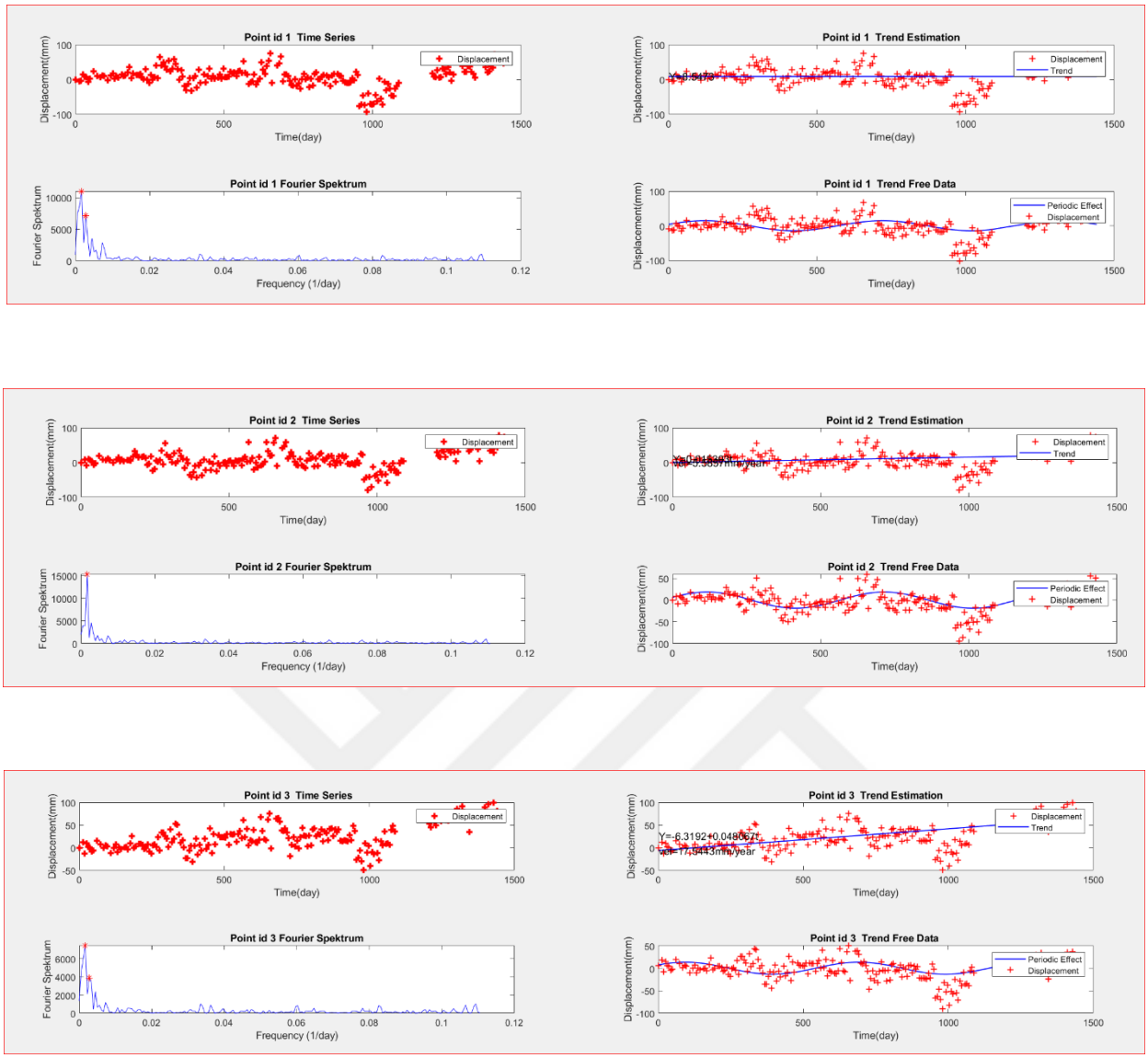


Şekil 5. 11 Seçilen 3 nokta için Sentinel 1 A/B verilerinden elde edilen alçalan uydu FFT zaman seri analiz sonuçları.

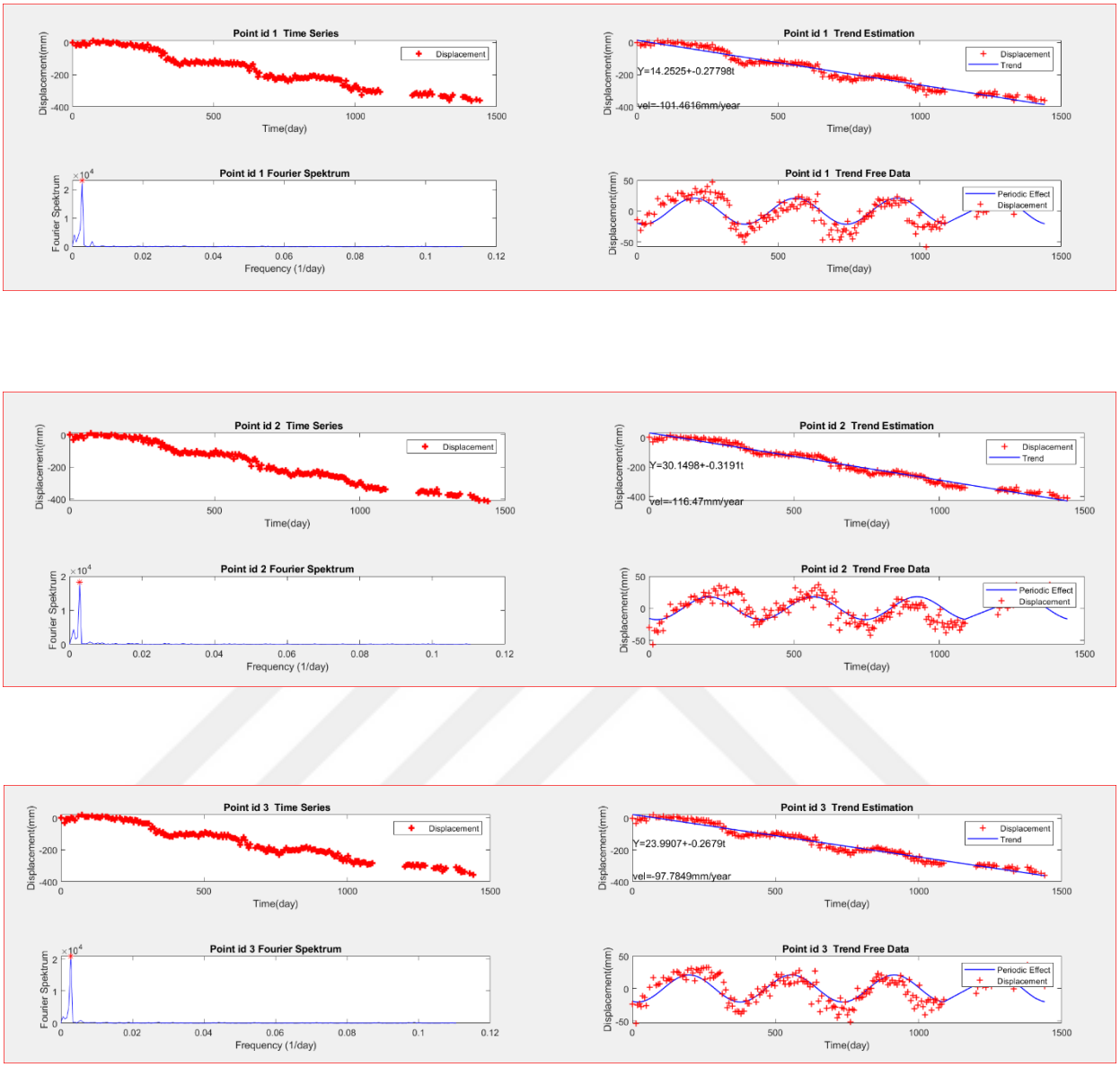
Çizelge 5. 1 Seçilen Graben noktalarına ait yükselen ve alçalan uydu LOS bileşeni FFT analizi hız değerleri ve periyodik etki periyod-genlik değerleri

Nokta No		Yükselen	Alçalan
1 **Lat. 38.268344** **Lon. 28.671535**	Hız(mm/yıl)	-82.60	-83.83
	Periyod (gün)	896-448	358
	Genlik (mm)	10.82-10.19	23.38
2 **Lat. 38.292095** **Lon. 28.662383**	Hız(mm/yıl)	-99.44	-91.70
	Periyod (gün)	358	358
	Genlik (mm)	13.30	19.27
3 **Lat. 38.340500** **Lon. 28.632519**	Hız(mm/yıl)	-89.88	-72.60
	Periyod (gün)	358	358
	Genlik (mm)	16.34	22.07

Şekil 10-11 ve Çizelge 5.1 birlikte incelendiğinde tüm noktalarda ortalama 358 günlük periyodlar da periyodik etkiler belirlenmiştir. Ortalama olarak 15 mm/yıl genliğe sahip bu periyodik etki bölgede oluşan deformasyonların mevsimsel faktörlerden etkilendiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu etkinin yatay ve düşey bileşene yansımalarını göre bilmek için yatay ve düşey yöndeki yer değiştirme değerlerine HFD zaman seri analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Şekil 5.12 ve Şekil 5.13' de sunulmaktadır.



Şekil 5. 12 Seçilen 3 nokta için Sentinel 1 A/B verilerinden elde edilen yatay bileşen yer değiştirme FFT zaman seri analiz sonuçları.



Şekil 5. 13 Seçilen 3 nokta için Sentinel 1 A/B verilerinden elde edilen düşey bileşen yer değiştirme FFT zaman seri analiz sonuçları.

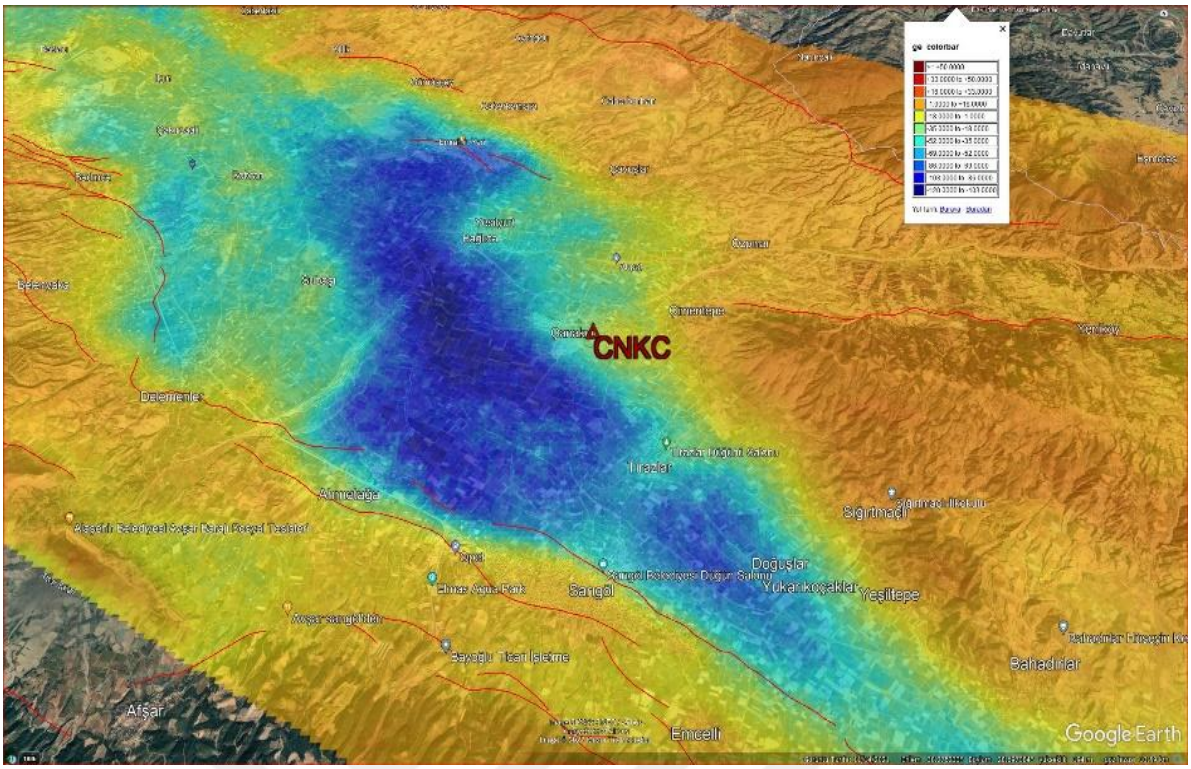
Çizelge 5. 2 Seçilen Graben noktalarına ait Yatay ve Düşey bileşen FFT analizi hız değerleri ve periyodik etki periyod-genlik değerleri

Nokta No		**Yatay**	**Düşey**
1 **Lat. 38.268344** **Lon. 28.671535**	Hız(mm/yıl)	0.00	-101.46
	Periyod (gün)	597	358
	Genlik (mm)	14.63	21.10
2 **Lat. 38.292095** **Lon. 28.662383**	Hız(mm/yıl)	5.58	-116.47
	Periyod (gün)	597	358
	Genlik (mm)	18.67	17.86
3 **Lat. 38.340500** **Lon. 28.632519**	Hız(mm/yıl)	17.54	-97.78
	Periyod (gün)	597	358
	Genlik (mm)	13.36	20.90

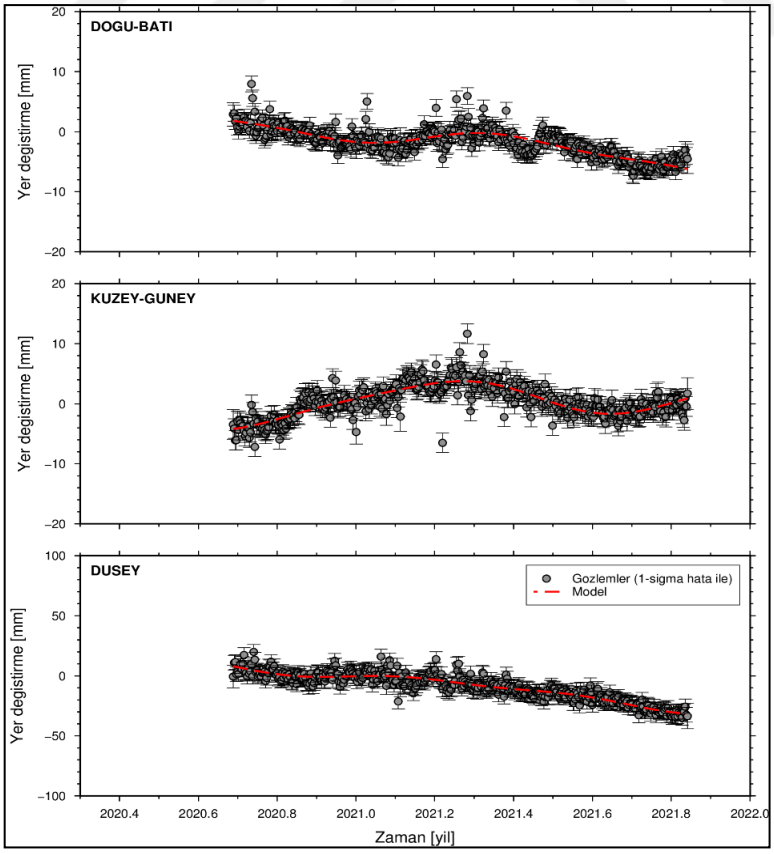
Şekil 12-13 ve Çizelge 5.2 birlikte incelendiğinde tüm noktalarda düşey yönde ortalama 358 günlük periyodlar da periyodik etkiler belirlenmiştir. Ortalama olarak 20 mm/yıl civarında genliğe sahip bu periyodik etki bölgede oluşan deformasyonların mevsimsel faktörlerden etkilendiğini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca yatay bileşende yaklaşık yönde ortalama 597 günlük periyodlar da periyodik etkiler belirlenmiştir. Bu etki ortalama olarak 15 mm/yıl civarında genliğe sahiptir.

Sonuç olarak proje ana amaçlarından biri olan SAR Verilerinin Hızlı Fourier Dönüşümü ile Zaman Seri Analizi kısmı başarıyla gerçekleştirilmiş ve çalışma bölgesindeki mevsimsel etki periyodu belirlenmiştir.

Bölgede tesis edilen CNKC isimli GNSS noktasına (Şekil 5.13) ait yaklaşık bir yıllık veri ise CSRS-PPP servisi kullanılarak değerlendirilmiştir (Tétreault vd. 2005). IGS14 referans ağında 3B Kartezyen koordinatlar olarak üretilen koordinatlar 01.01.2021 günü referans olacak şekilde toposentrik ufuk koordinat sistemine (doğu, kuzey ve radyal/düşey) dönüştürülmüştür. Değerlendirme sonucunda elde edilen zaman serisi Şekil 5.14’ de sunulmaktadır.

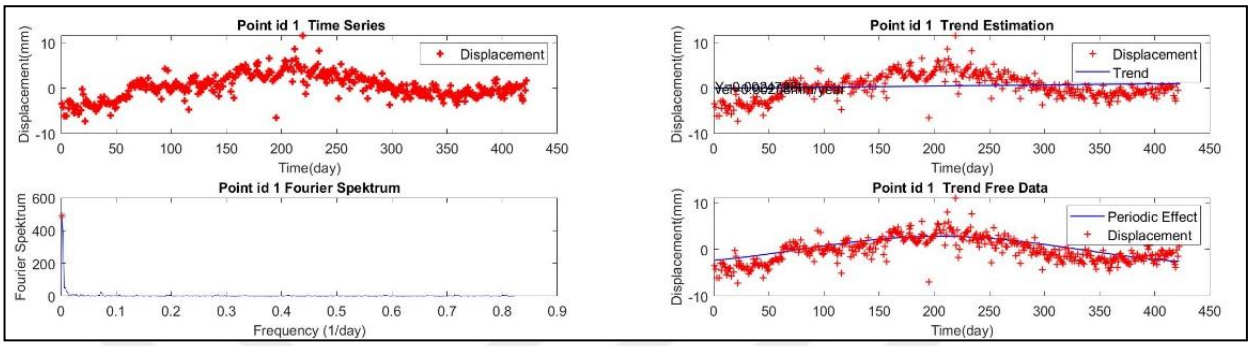


Şekil 5. 14 Tesis edilen CNKC isimli GNSS noktası ve LiCSBAS düşey hız değerleri.

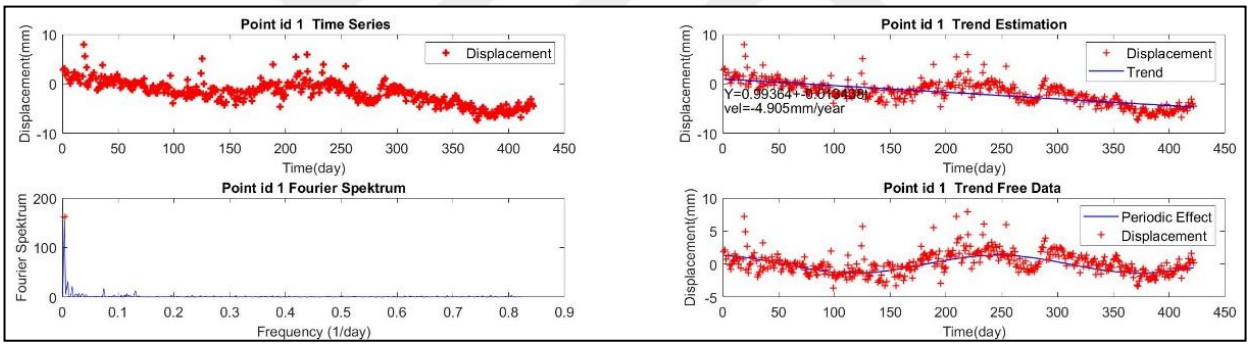


Şekil 5. 15 CNKC noktası GNSS zaman serisi

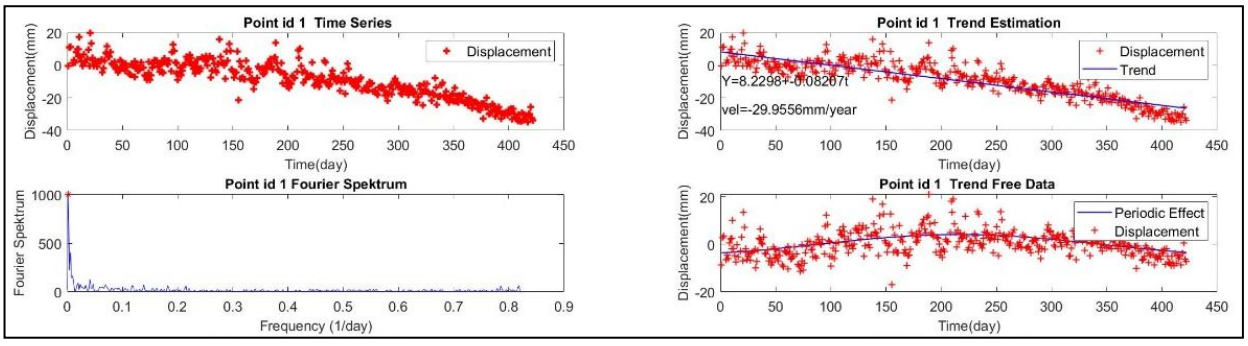
CNKC GNSS noktasının Kuzey, Doğu ve Elipsoidal Yükseklik konum bileşenlerine ilişkin ayrıntılı FFT zaman seri analizleri gerçekleştirilmiştir. CNKC noktası Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenlerine ilişkin FFT analiz sonuçları örnek olarak Şekil 5.16-5.18 arasında sunulmaktadır.



Şekil 5. 16 CNKC noktası Kuzey bileşen FFT analiz sonuçları



Şekil 5. 17 CNKC noktası Doğu bileşen FFT analiz sonuçları



Şekil 5. 18 CNKC noktası Yükseklik bileşeni FFT analiz sonuçları

Çizelge 5. 3 CNKC GNSS noktasına ait Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenine FFT analizi hız değerleri ve periyodik etki periyod-genlik değerleri

	Kuzey	Doğu	Yükseklik
Hız (mm/yıl)	0.90	-4.90	-29.95
Genlik (mm)	2.85	1.34	4.10
Periyot (gün)	512	256	512

GNSS verilerinin yaklaşık 1.2 yıllık veri olması nedeni ile Zaman seri analizlerin de başarılı sonuçlar üretilmesi beklenilmemektedir. Gerek donanımsal kısıtlılıklar gerekse pandemi koşulları nedeniyle GNSS verileri tez çalışması kapsamında istenilen düzeyde gerçekleştirilememiştir. Fakat CNKC noktası GNSS ölçülerini TUBİTAK 119Y180 nolu proje kapsamında devam etmektedir. Veri setinin en az iki yılı tamamlaması ile daha anlamlı sonuçlar üretile bilineceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gediz Grabeni Sarıgöl ilçesi civarında özellikle düşey yönde genel grabenin tektonik yapısından farklı hareketlerin olduğu daha önce gerçekleştirilen GNSS çalışmaları ile ortay konulmuştur. Bu tez çalışması kapsamında, noktasal anlamda belirlenen bu farklı hareketin alansal olarak nasıl bir alanı etkilediği InSAR tekniği kullanılarak ortaya çıkarılmıştır.

Radar verilerinin değerlendirilmesinde LiCSAR yazılımı kullanılmıştır. Yaklaşık 4 yıllık (09.09.2016-19.08.2020) Sentinel 1A/B verisi değerlendirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen LOS hız değerleri ve bu hız değerlerine ait standart sapma değerleri elde edilmiştir. Uydu verilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen graben içerisine düşen alandaki hem alçalan hem de yükselen uydulara ait LOS yönündeki yer değiştirme değerleri Doğu ve Düşey bileşenlerine dönüştürülmüştür. LOS hız değerlerine ait standart sapma değerlerinden, Doğu ve Düşey bileşen hız değerlerine ait standart sapma değerleri elde edilmiştir.

Grabenin genelinde batıdan doğuya doğru artış gösteren düşeyde çökme yatayda ise batıya doğru bir hareket gözlenmektedir. Bu hareketler Özellikle Yeşilyurt Sarıgöl civarında KB-GD yönünde bir hat boyunca artış göstermektedir. Bu hat üzerinde genel tektonik hareketlerin dışında artış gösteren asismik hareketlerin var olabileceği düşünülmektedir. Bu yüzden deformasyonların artış gösterdiği bu bölgede daha ayrıntılı araştırma yapmak üzere bu alan üzerinde 3 farklı noktada yer değiştirme değerleri kullanılarak FFT zaman seri analizi uygulanmış ve hareketin karakteri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Tez kapsamında belirlenen üç nokta için yaklaşık 4 yıllık Sentinel 1A/B verisi değerlendirilerek elde edilen LOS hız değerlerine ait zaman seri analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen zaman serilerinin analizi Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) ile yapılmıştır. Seçilen Graben üzerindeki üç noktaya ait yükselen ve alçalan uydu LOS bileşeni FFT analizi hız değerleri ve periyodik etki periyod-genlik değerleri hesaplanmış ve bölgede oluşan deformasyonların mevsimsel faktörlerden etkilendiğini açıkça ortaya koymaktadır. Projenin ana amaçlarından biri olan SAR Verilerinin Hızlı Fourier Dönüşümü ile Zaman Seri Analizi kısmı başarıyla gerçekleştirilmiş ve çalışma bölgesindeki mevsimsel etki periyodu belirlenmiştir.

Bölgede tesis edilen CNKC isimli GNSS noktasına ait yaklaşık bir yıllık veri ise CSRS-PPP servisi kullanılarak değerlendirilmiştir (Tétreault vd. 2005). CNKC GNSS noktasının Kuzey, Doğu ve Elipsoidal Yükseklik konum bileşenlerine ilişkin ayrıntılı

FFT zaman seri analizleri gerçekleştirilmiştir. GNSS verilerinin yaklaşık 1.2 yıllık veri olması nedeni ile Zaman seri analizlerin de başarılı sonuçlar üretilmesi beklenilmemektedir. Gerek donanımsal kısıtlılıklar gerekse pandemi koşulları nedeniyle GNSS verileri tez çalışması kapsamında istenilen düzeyde gerçekleştirilememiştir. Fakat CNKC noktası GNSS ölçülerini TUBİTAK 119Y180 nolu proje kapsamında devam etmektedir. Veri setinin en az iki yılı tamamlaması ile daha anlamlı sonuçlar üretile bilineceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abdikan, S., Arikan, M., Şanli F.B., Çakir, Z., Kemaldere, H., 2013. "Zonguldak Maden Alanlarında Meydana Gelen Yer Yüzeyi Hareketlerinin InSAR Zaman Serileri ile Belirlenmesi (Subsidence Monitoring in Zonguldak Coal Mining Area with SAR Interferometry)", Harita Dergisi, v. 149, p 1-6.

Akabalı, A. (2002). Stereo yapay açıklıklı radar görüntülerinden otomatik sayısal yükseklik modeli üretilmesi ve doğruluğunun araştırılması. *Istanbul, Turkey*.

Albino, F.; Biggs, J.; Syahbana, D.K. Dyke intrusion between neighbouring arc volcanoes responsible for 2017 pre-eruptive seismic swarm at Agung. Nat. Commun. 2019, 10, 748.

Arikan, M, Hooper, A, Hanssen, R. 2009. "Radar time series analysis over West Anatolia". Fringe 2009 Workshop; Frascati. 30 November-4 December (ESA SP-677, March 2010).

Bennett, J. R., & Cumming, I. G. (1979, January). A digital processor for the production of SEASAT synthetic aperture radar imagery. In *LARS Symposia* (p. 316).

Brown, C., Daniels, A., Boyd, D. S., Sowter, A., Foody, G., & Kara, S. (2020). Investigating the potential of radar interferometry for monitoring rural artisanal cobalt mines in the democratic republic of the congo. *Sustainability*, *12*(23), 9834.

Bui LK, Le PV, Dao PD, Long NQ, Pham HV, Tran HH, Xie L (2021) Recent land deformation detected by Sentinel-1A InSAR data (2016–2020) over Hanoi, Vietnam, and the relationship with groundwater level change. GIScience & Remote Sensing, 58(2), 161-179.

Burgmann, R., Ayhan, M.E., Fielding, E.J., Wright, T.J., McClusky, S., Aktuğ, B., Demir, C., Lenk, O., Türkezer, A., 2002. "Deformation during the 12 November 1999 Duzce, Turkey Earthquake, from GPS and InSAR Data". Bulletin of the Seismological Society of America, 92 (1), 161-171.

Çakır, Z., Barka, A. A., Chabalıer, J. B. D., Armijo, R., & Meyer, B. (2003). Kinematics of the November 12, 1999 (Mw= 7.2) Düzce earthquake deduced from SAR interferometry. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *12*(1), 105-118.

Cakir, Z., Akoglu, A. M., Belabbes, S., Ergintav, S., & Meghraoui, M. 2005. "Creeping along the Ismetpasa section of the North Anatolian fault (Western

Turkey): Rate and extent from InSAR". Earth and Planetary Science Letters, 238(1-2), 225-234.

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 Changes. Remote Sensing, 13(3), 406.

Demirtaş R (2008) Paleoseismological studies on the formation mechanism of surface ruptures in Sarıgöl (Manisa) for the last 10 years without earthquakes. General Directorate of Natural Disasters. Technical report. 2008 pp 1–41 (In Turkish)

Doğan, A., Kaygusuz, Ç., Tiryakioğlu, İ., Yigit, C. O., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., & Turgut, B. (2022). Geodetic evidence for aseismic fault movement on the eastern segment of the Gediz Graben system (western Anatolia extensional province, Turkey) and its significance for settlements. *Acta Geodaetica et Geophysica*, *57*(3), 461-476.

Elliott, J. R., Jolivet, R., González, P. J., Avouac, J. P., Hollingsworth, J., Searle, M. P., & Stevens, V. L. (2016). Himalayan megathrust geometry and relation to topography revealed by the Gorkha earthquake. *Nature Geoscience*, *9*(2), 174-180.

Elliott, J. Earth Observation for the assessment of earthquake hazard, risk and disaster management. Surv. Geophys. 2020. under review.

Emre, T., & Sözbilir, H. (2005). Küçük Menderes Grabeni doğu ucundaki andezitlerin (Başova-Kiraz/İzmir) jeolojisi, petrografisi ve jeokimyası. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, (131), 1-19.

Eravcı, B., Yaman, M., Tepeuğur, E., Erkmen, C., Aktan, T.,Albayrak, H. ve Demirtaş, R.,''Batı Anadolu Çöküntü Bölgesinin Paleosismoloji Projesi'', Afet İşl. Gen. Md. DAD, Rapor no 5691/1 (DPT2002 K 120050), (2007).

Erdoğan, H. (2006). Mühendislik yapılarındaki dinamik davranışların jeodezik ölçmelerle belirlenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul*.

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

Gaddes, M.E.; Hooper, A.; Bagnardi, M. Using machine learning to automatically detect volcanic unrest in a time series of interferograms. J. Geophys. Res. Solid Earth 2019, 124, 12304–12322.

Gens, R. ve van Genderen, J.L. 1996. "SAR interferometry: Issues, Techniques, Applications", International Journal of Remote Sensing, 17, 1803–1835.

Gezgin, C (2022) The influence of groundwater levels on land subsidence in Karaman (Turkey) using the PS-InSAR technique. Advances in Space Research.

Gündoğdu, B. (2021). *Doğal ve insan kaynaklı afetlerin interferometrik SAR yöntemi ile incelenmesi* (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Gürsoy, H., Temiz, H., & Tatar, O. (1997). Gediz Grabeni GD kenarındaki güncel deformasyon verileri. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Birinci Toplantısı, İTÜ, İstanbul*.

Hakan, A. L. P., AKINCI, T. Ç., & Albora, M. (2008). JEOFİZİK Uygulamalarda Fourıer Ve Dalgacık Dönüşümlerinin Karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *14*(1), 67-76.

Hanssen, R.F. 2001. "Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis. The Netherlands", Kluwer Academic Publishers.

Hastaoglu, K. O., Poyraz, F., Turk, T., Yılmaz, I., Kocbulut, F., Demirel, M., ... & Balik Sanli, F. 2018. "Investigation of the success of monitoring slow motion landslides using Persistent Scatterer Interferometry and GNSS methods", Survey review, 50(363), 475-486.

Hu, X., Lu, Z., & Wang, T. (2018) Characterization of hydrogeological properties in salt lake valley, Utah, using InSAR. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 123(6), 1257-1271.

Holzer, T. L. (1980). Faulting caused by groundwater level declines, San Joaquin Valley, California. *Water Resources Research*, *16*(6), 1065-1070.

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, 5, doi:10.1029/2004GL021737

Hooper A., Segall, P., Zebker, H. 2007. "Persistent Scatterer InSAR for Crustal Deformation Analysis, with Application to Volcán Alcedo, Galápagos.", J. Geophys. Res., 112, B07407, doi:10.1029/2006JB004763 .

Imamoglu M, Kahraman F, Cakir Z, Sanli FB (2019) Ground deformation analysis of Bolvadin (W. Turkey) by means of multi-temporal InSAR techniques and Sentinel-1 data. Remote Sensing, 11(9), 1069.

Khoshlahjeh Azar M, Hamedpour A, Maghsoudi Y, Perissin D (2021) Analysis of the deformation behavior and sinkhole risk in Kerdabad, Iran using the PS-InSAR method. Remote Sensing, 13(14), 2696.

Koca, M.Y., Sözbilir, H., Uzel, B. 2011. "Sarıgöl fay zonu boyunca meydana gelen deformasyonların nedenleri üzerine bir araştırma". Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35 (2), 151-174.

Lazecky, M.; Hatton, E.; Gonzalez, P.J.; Hlavacova, I.; Jirankova, E.; Dvorak, F.; Sustr, Z.; Martinovic, J. Displacements Monitoring over Czechia by IT4S1 System for Automatised Interferometric Measurements using Sentinel-1 Data. *Remote Sens.* **2020**. under review.

Lei K, Ma F, Chen B, Luo Y, Cui W, Zhou Y, Sha T (2021) Three-Dimensional Surface Deformation Characteristics Based on Time Series InSAR and GPS Technologies in Beijing, China. Remote Sensing, 13(19), 3964.

Massonnet, D.; Briole, P.; Arnaud, A. Deflation of Mount Etna monitored by spaceborne radar interferometry. Nature 1995, 375, 567–570.

Massonnet, D. ve Feigl, K.L. 1998. "Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface", Reviews of Geophysics, 36, 4, 441-500.

Mcclusky, S., S. Balassanian, A. Barka, et al. 200. "Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucusus", J. Geophys. Res. 105, 5695–5720.

Meisina C., et al. 2006. "Ground deformation monitoring by using the Permanent Scatterers Technique: The example of the Oltrepo Pavese (Lombardia, Italy)", Engineering Geology 88 240–259.

Misiti, M., Misiti, Y. and Oppenheim, G. 2000. Wavelet Toolbox For Use With Matlab User's Guide, 2nd ed.", The MathWork Inc., 1.1-1.38.

Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T. J., Weiss, J. R., Elliott, J. R., & Hooper, A. (2020). LiCSBAS: An open-source InSAR time series analysis package integrated with the LiCSAR automated Sentinel-1 InSAR processor. *Remote Sensing*, *12*(3), 424.

Özkaymak, Ç. (2015). Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications. *Geodinamica Acta*, *27*(2-3), 110-129.

Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., & Baybura, T. (2017). Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) gözlenen yüzey deformasyonlarının jeolojik, jeomorfolojik ve jeodezik analizi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, *60*(2), 169-189.

Pawluszek-Filipiak, K., & Borkowski, A. (2020). Integration of DInSAR and SBAS Techniques to determine mining-related deformations using sentinel-1 data: The case study of Rydułtowy mine in Poland. *Remote Sensing*, *12*(2), 242.

Peltzer, G.; Rosen, P. Surface displacement of the 17 May 1993 Eureka Valley, California, earthquake observed by SAR interferometry. Science 1995, 268, 1333–1336.

Peyret, M., Rolandone, F., Dominguez, S., Djamour, Y., Meyer, B. 2008. "Source model for the Mw 6.1, 31 March 2006, Chalan–Chulan Earthquake (Iran) from InSAR". Terra Nova 20 (2), 126–133.

Pınar, R., & Akçığ, Z. (1995). *Jeofizikte sinyal kuramı ve dönüşümler*. Eğitim.

Poyraz, F., Tatar, O., Hastaoğlu, K., Tiryakioğlu, İ., Gürsoy, Ö., Koçbulut, F., ... & Didem, G. Ü. L. (2015). Gediz Grabeninin Doğu Kesimindeki Güncel Tektonik Hareketlerin GPS Ve Ps-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi; İlk Sonuçlar. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *7*(1), 17-28.

Poyraz, F., Hastaoğlu, K. O., Koçbulut, F., Gursoy O., 2016. " Gediz Grabeninin Doğu Kesimindeki Tektonik Hareketlerinin GPS ve PS-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi", TUBİTAK 113Y526 Nolu 3501 Proje Sonuç Raporu.

Poyraz, F., Hastaoğlu, K. O., Koçbulut, F., Tiryakioğlu, I., Tatar, O., Demirel, M., ... & Turk, T. 2019. "Determination of the block movements in the eastern section of the Gediz Graben (Turkey) from GNSS measurements", Journal of Geodynamics, 123, 38-48.

Poyraz, F., & Hastaoğlu, K. Ö. (2020). Monitoring of tectonic movements of the Gediz Graben by the PSInSAR method and validation with GNSS results. *Arabian Journal of Geosciences*, *13*(17), 1-11.

Reilinger, R.E., et al., 2006. "GPS constraints on continental deformation in the Africa Arabia- Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions", Journal Of Geophysıcal Research, Vol. 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.

Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, I.R., Li, F.K., Madsen, S.N., Rodriguez, E. ve Goldstein R.M. 2000. "Synthetic aperture radar interferometry", Proceedings of the IEEE, 88, 3, 333-382.

Şengün, Y. S. (2009). *GPS ve Insar ölçülerini birlikte kullanarak İzmit depreminde oluşan deformasyonların belirlenmesi: Nokta seyrekleştirmede yeni bir algoritma* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Shahzad N, Ding X, Wu S, Liang H (2020) Ground deformation and its causes in abbottabad city, pakistan from sentinel-1a data and mt-insar. Remote Sensing, 12(20), 3442.

Shi W, Chen G, Meng X, Jiang W, Chong Y, Zhang Y,Zhang M (2020) Spatial-temporal evolution of land subsidence and rebound over Xi'an in western China revealed by SBAS-InSAR analysis. Remote Sensing, 12(22), 3756.

Tétreault, P., Kouba, J., Héroux, P., & Legree, P. (2005). CSRS-PPP: an internet service for GPS user access to the Canadian Spatial Reference Frame. *Geomatica*, *59*(1), 17-28.

Url-1 <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Radar%20prensibini520fiziksel%20temelleri.tr.html>, alındığı tarih: 15.11.2022.

Url-2 European Space Agency. Copernicus: Sentinel-1. European Space Agency. Available online: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-1>, alındığı tarih: 18.11.2022.

Url-3 European Space Agency. Sentinel 1 Observation Scenario. Available online: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/observation scenario >, alındığı tarih: 18.11.2022

Van Siclen, D. (1967). The Houston fault problem: Inst. *Prof. Geol*.

Yang Y J, Hwang C, Hung WC, Fuhrmann T, Chen Y A, Wei SH (2019) Surface deformation from Sentinel-1A InSAR: relation to seasonal groundwater extraction and rainfall in Central Taiwan. Remote Sensing, 11(23), 2817.

Yen J.Y., Lu C.H., Chang C.P., Hooper A., Chang Y.H., Liang W.T., Chang T.Y., Lin M.S., Chen K.S. (2011). "Investigating Active Deformation in the Northern Longitudinal Valley and City of Hualien in Eastern Taiwan Using Persistent Scatterer and Small-Baseline SAR Interferometry", Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 22, No. 3, 291-304.

Yılmaztürk, S. (2015). Sbas-ınsar Yöntemiyle Düşey Yönlü Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi: Bursa-orhaneli Linyit Madeni Örneği (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Zheng M, Deng K, Fan H, Du S (2018) Monitoring and analysis of surface deformation in mining area based on InSAR and GRACE. Remote Sensing, 10(9), 1392.

Zhu K, Zhang X, Sun Q, Wang H, Hu J (2022) Characterizing Spatiotemporal Patterns of Land Deformation in the Santa Ana Basin, Los Angeles, from InSAR Time Series and Independent Component Analysis. Remote Sensing, 14(11), 2624.

Zinno, I.; Elefante, S.; Luca, C.D.; Manunta, M.; Lanari, R.; Casu, F. New advances in intensive DInSAR processing through cloud computing environments. In Proceedings of the IGARSS 2015, Milan, Italy, 26–31 July 2015; pp. 5264–5267.

Wang, K.; Fialko, Y. Observations and modeling of coseismic and postseismic deformation due to the 2015 Mw 7.8 gorkha (Nepal) earthquake. J. Geophys. Res. Solid Earth 2018, 123, 761–779.