



**30 EKİM 2020 (Mw=6.9) SİSAM DEPREMİ SONRASI İZMİR BÖLGESİ
KADASTRAL NOKTA KOORDİNAT DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdi YENİCE

Danışman

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2023

Bu tez çalışması 122Y259 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**30 EKİM 2020 ($M_w=6.9$) SİSAM DEPREMİ SONRASI İZMİR
BÖLGESİ KADASTRAL NOKTA KOORDİNAT DEĞİŞİMLERİNİN
İNCELENMESİ**

Erdi YENİCE

Danışman

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Erdi YENİCE tarafından hazırlanan “30 EKİM 2020 (Mw=6.9) SİSAM DEPREMİ SONRASI İZMİR BÖLGESİ KADASTRAL NOKTA KOORDİNAT DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 20 / 02 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Anabilim Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Başkan : Prof. Dr. Tamer BAYBURA
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Mustafa YIMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim SOLAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi, M.Y.O

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN
Aksaray Üniversitesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki 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,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

20 / 02 /2023

Erdi YENİCE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

30 EKİM 2020 (Mw=6.9) SİSAM DEPREMİ SONRASI İZMİR BÖLGESİ
KADASTRAL NOKTA KOORDİNAT DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Erdi YENİCE

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman: Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Bu araştırmada İzmir sınırları içerisinde yer alan 18 adet kadastro noktasının, 30 Ekim 2020 Mw=6.9 Sisam depremi sonrasında koordinatlardaki değişimler ele alınmıştır. Bu amaçla 18 noktada 2021 ve 2022 yıllarında GNSS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Tüm veriler GAMIT yazılımı ile değerlendirilerek noktalara ait güncel koordinatlar hesaplanmış ve deprem öncesi duruma göre koordinat değişimleri belirlenmiştir. Depremden hemen sonrasındaki yıl olan 2020-2021 ve 2021-2022 yıllarındaki koordinat değişimleri incelendiğinde sırasıyla 1-40 ve 1-35 mm kadar farklar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde özellikle deprem sonrası dönemlerdeki hız farklılıklarından dolayı yeni nokta tesis edilmesinden kaçınılması ve kadastral alt yapılarda güncellemeler yapılması gerekli olduğu düşünülmektedir.

2023, ix + 51 sayfa

Anahtar Kelimeler: İzmir Tektonik, GNSS, C1-C2, Deformasyon.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF CADASTRAL POINT COORDINATE DIFERENCES IN İZMİR REGION AFTER THE SAMOS EARTHQUAKE 30 OCTOBER 2020 (MW=6.9)

Erdi YENİCE

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. Mustafa YILMAZ

Co-Supervisor: Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

In this study, the changes in the coordinates of 18 cadastral sites located within the borders of İzmir after the 30 October 2020 (Mw: 6.9) Samos earthquake were investigated. For this purpose, GNSS measurements were carried out at these sites in 2021 and 2022. All data were processed with GAMIT software. The changes in each site were calculated by taking the coordinate differences before and after the earthquake at all sites. When the coordinate changes in the years 2020-2021 and 2021-2022 after the earthquake were examined, differences of 1-40 and 1-35 mm were calculated, respectively. When the results are examined, it is evaluated that both the establishment of new sites should be avoided and updates should be made in the cadastral sites due to the velocity differences in the post-earthquake periods.

2023, ix + 51 pages

Keywords: İzmir Tectonic, GNSS, C1-C2, Deformation.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu ok büyük katkılarından dolayı, Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOğLU'na ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa YILMAZ'a teşekkür ederim. Gerek ölçümlerde gerekse tez yazım aşamasında yardımcı olan arkadaşlarım ve meslektaşlarım Sercan KELEK, Kaan ÇALIŐKAN'a teşekkür ederim. Bu tez çalışmasını 122Y259 numaralı proje ile destekleyen TUBİTAK 'a çok teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı Annem, Babam ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Erdi YENİCE
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KOORDİNAT SİSTEMLERİ	6
2.1 Coğrafi Koordinat Sistemi	6
2.2 Kartezyen Koordinat Sistemi.....	7
2.3 Projeksiyen Koordinat Sistemi	8
2.3.1 Gauss- Krüger Projeksiyonu	8
2.4 C1 ve C2 Noktalarının Hız Alanlarının Üretilmesi ve Datum Dönüşümü	11
3. İZMİR BÖLGESİ TEKTONİĞİ ve DEPREMSELLİĞİ	13
3.1 İzmir ve Çevresi Fayları	14
3.1.1 İzmir Fayı.....	14
3.1.2 Tuzla Fayı.....	15
3.1.3 Seferihisar Fayı	15
3.1.4 Gülbahçe Fayı	16
3.1.5 Gediz Grabeni Ana Sıyrılma Fayı (Batı Bölümü)	17
3.1.6 Kemalpaşa Fayı.....	18
3.1.7 Manisa Fayı.....	18
3.1.8 Dağkızılca Fayı	18
3.1.9 Güzelhisar Fayı	19
3.1.10 Menemen Fayı.....	19
3.1.11 Yeni Foça Fayı	20
3.1.12 Gümüldür Fayı	20
3.1.13 Bornova Fayı.....	20
3.1.14 Mordoğan Fayı.....	20

3.2 İzmir Bölgesi Depremselliği	21
3.2.1 Tarihsel Dönem Depremselliği	21
3.2.1 Aletsel Dönem Depremselliği	23
4. UYGULAMA	25
4.1 Çalışma Bölgesi ve Oluşturulan GNSS Ağı	25
4.2 GNSS Ölçüleri	27
4.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi	29
4.4 Koordinat Farklarının Hesaplanması	35
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	44
6. KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	51

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AMS	US Askeri Harita Servisi
BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CORS	Continuously Operating Reference Stations
DoD	Department of Defense of the USA
GAMIT	GPS Analysis at MIT
GLOBK	Global Kalman Filter
GLONASS	Global Orbiting Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
İBZT	İzmir-Balıkesir Transfer Zonu
IGS	International GNSS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTA	Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü
UTM	Universal Transvers Mercator
RINEX	Receiver Independent Exchange
SLR	Satellite Long Range
TUREF	Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi
TUSAGA-AKTİF	Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı
TUZGA	Tuz Gölü Tektonik GNSS Ağı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TKGM	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
VLBI	Very Long Base Interferometry
WGS	World Geodetic System
WRMS	Weighed Root Mean Square

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Enlem ve boylam değerlerini gösteren küre şeklinde dünya (Mustafa 2017)...	7
Şekil 2.2 Kartezyen Koordinat Sistemi (İnt.Kyn.2).....	8
Şekil 2.3 Gauss – Krüger Koordinat Sistemi.	9
Şekil 2.4 UTM Projeksiyon Dilimleri (İnt.Kyn.3).....	10
Şekil 2.5 UTM (Universal Transverse Mercator System) (İnt.Kyn.3).....	11
Şekil 3.1 İzmir Fayı Doğu- Batı Yönü (İnt.Kyn.5)	15
Şekil 3.2 Tuzla Fayı.	16
Şekil 3.3 Gülbahçe ve Yağcılar Fayı.....	17
Şekil 3.4 Gediz Grabeni Fayı.	18
Şekil 3.5 Güzelhisar, Menemen, Yenifoça Fayı.....	19
Şekil 3.4 İzmir, Çevre iller ve Ege denizinde gerçekleşen tarihsel dönem depremleri diri fay haritası üzerindeki görünümü (İnt.Kyn.4).....	21
Şekil 3.5 İzmir, Çevre iller ve Ege denizinde Aletsel dönemde gerçekleşen depremlerinin diri fay haritası üzerindeki görünümü (İnt.Kyn.4).....	23
Şekil 4.1 Oluşturulan GNSS Ağı.....	25
Şekil 4.2 2020 yılı deprem sonrası DMRC noktası GNSS ölçümleri	27
Şekil 4.3 2021 yılı GNSS ölçümleri.....	28
Şekil 4.4 2022 yılı GNSS ölçümleri.....	29
Şekil 4.5 HGM web sitesinde hız kestirimi yapılacak noktanın enlem ve boylam bilgisine dayanarak V_x , V_y , V_z hızlarını sorgulama ekranı (İnt.Kyn.6).	32
Şekil 4.6 J-trans programının arayüzüne ait ekran görüntüsü.	34
Şekil 4.7 Oluşturulan GNSS ağındaki KBR1 noktasının Kartezyen koordinatları.	34
Şekil 4.8 Oluşturulan GNSS ağındaki KBR1 noktasının UTM koordinatları.	35
Şekil 4.9 Deprem sonrası atım miktarları (Aktuğ vd. 2021).....	36
Şekil 4.10 2020-2021 yılı kartezyen koordinat değişimi	37
Şekil 4.11 2021-2022 yılı kartezyen koordinat değişimi	38
Şekil 4.12 2020-2021 yılı TUREF koordinat farkları.	40
Şekil 4.13 2021-2022 yılı TUREF koordinat farkları	40
Şekil 4.14 2021-2020 Yukarı bileşen farkına ait deformasyon yüzey haritası.	42
Şekil 4.15 2021-2020 Sağa bileşen farkına ait deformasyon yüzey haritası.....	42

Şekil 4.16 2022-2021 Yukarı bileşen farkına ait deformasyon yüzey haritası.	43
Şekil 4.17 2022-2021 Sağa bileşen farkına ait deformasyon yüzey haritası.....	43



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 İzmir ve çevresindeki fay hatlarının aktivite sınıfı, niteliği ve toplam uzunlukları (İnt.Kyn.4).....	14
Çizelge 3.2 İzmir ve çevresinde 1899 yılı ve öncesi olan önemli depremler (İnt.Kyn.4).....	22
Çizelge 3.3 İzmir ve çevresinde 1900 yılı ve sonrası olan depremler (İnt.Kyn.4).....	24
Çizelge 4.1 Nokta hızları.....	26
Çizelge 4.2 IGS istasyonları.....	30
Çizelge 4.3 Değerlendirme stratejisi ve parametreleri.	30
Çizelge 4.4 Ölçü epokları.....	31
Çizelge 4.5 Enterpolasyon hızları	33
Çizelge 4.6 Kartezyen koordinat farkları	39
Çizelge 4.7 Yukarı ve Sağa Bileşen Farkları	41

1. GİRİŞ

Birçok hükümdarlık, kraliyet ve imparatorluğa ev sahipliği yapmış olan yaşadığımız coğrafi bölge, tektonik yapısı itibarıyla çok sayıda deprem gerçekleşmiştir. Osmanlı İmparatorluğu zamanında tarihin en büyük depremi olarak anılan ve halk arasında “Küçük Kıyamet” (Kıyamet-i Suğra) olarak adlandırılan 10 Eylül 1509 tarihinde gerçekleşen Büyük İstanbul depremi büyük hasar ve can kayıplarının yaşandığı depremlerdendir (Tatar ve Baytimur 2020). Yine Cumhuriyetimizin ilanından sonra yakın geçmişte yaşanmış ve Dünyanın en büyük depremleri arasında yer alan 267Aralık 1939 yılında $M_w=7.9$ büyüklüğündeki Erzincan depremi ile 32.968 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Bu can ve mal kayıplarının tahmin edilebilmesi veya en aza indirilmesi ve depremden önce ve sonra yaşanan deformasyonun tespit edilebilmesi son derece önemlidir (Haçin 2014).

Üzerinde yaşadığımız gezegen biz fark etmesek de yatay ve düşey olarak sürekli bir hareket halindedir. Bu hareketlilik, Alman bilim adamı Alfred Lothar Wegener tarafından “Kıtaların Kayma” kuramı olarak adlandırmış ve daha sonra “Levha Tektoniği” olarak güzümüzde ifade edilmiştir (Wilson 1989). Levhaların sürekli hareket halinde olması sebebiyle levha sınırlarını meydana getiren kırıklarda (Fay) biriken enerjinin aniden ortaya çıkması sonucunda yeryüzünde sarsılma olayı meydana gelmektedir. Bu sarsıntıya deprem adı verilmektedir. Levha sınırlarındaki bu fayların bulunduğu hatları incelenmesi ve hareketliliğin takibinin yapılması gerekmektedir.

Levha hareketliliğinin incelenmesinin birçok tekniği olduğu gibi hız, zaman, doğruluk ve güvenilebilirlik açısından Jeodezik yöntemler en önemli yöntem haline gelmiştir. InSAR/PSInAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), SLR (Satellite Laser Ranging), VLBI (Very Long Baseline Interferometry) ve GNSS (Global Navigation Satellite Systems) yöntemler levha hareketlerinin takibi için en önemli yöntemlerdendir. Yine HGM (Harita Genel Müdürlüğü) ve TKGM (Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü) tarafından aktif hale getirilen TUSAGA-Aktif sistemiyle diğer haritacılık faaliyetlerinin yanı sıra tektonik hareketliliğinin incelenmesinde de büyük rol oynamaktadır (Uzel 2013).

Ülkemizde kadastral çalışmalar ulusal ve uluslararası bir koordinat sistemine bağlı olarak oluşturulmayıp, mevzi (lokal) koordinat sistem oluşturularak yapılmıştır. Daha sonra 1950'li yıllarda ED50 datumunda devam edilmiş, 1987 yılı sonrasında uydu teknolojisi ile birlikte ITRF-96 datumunda kadastral çalışmalar yapılmıştır (Aktuğ vd. 2011a). Uydu sistemleri ile hızlı ekonomik ve hassas ölçüm söz konusu olsa bile poligon ve nirengi noktalarına hala ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemiz deprem bölgesinde olduğu için bu noktaların durumlarının izlenerek, değişme söz konusu olduğu takdirde güncellemesi gerekmektedir.

Savunma ve haritacılık konularının önemli bir konu haline gelmesiyle birlikte ihtiyaç duyulan yer kontrol noktaları BÖHHBÜY (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği) ile bir standart haline getirilmiştir. Bu noktalar ; Uzay ve Uydu teknikleriyle oluşturulan üç boyutlu ağlar, Türkiye Yatay Kontrol (Nirengi) Ağı ve bu ağa dayalı olarak yersel tekniklerle üretilen ağlar ve Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı ve bu ağa dayalı olarak oluşturulan düşey kontrol ağlardır. Uzay ve Uydu teknikleriyle oluşturulan üç boyutlu ağlar A, B ve C numaralı ağlardır. Türkiye Yatay ve Düşey Kontrol ağları ise I./II./III./IV./V. Dereceli Yatay ve Düşey Kontrol ağlardır. A dereceli noktalar küresel (ITRF, WGS84) ve bölgesel (ITRF) ağlar ve noktalarıdır. B dereceli noktalar A dereceli ağ ve noktalara dayalı olarak üretilen ülke bazlı TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı) noktalarıdır. C dereceli noktalar B derece noktaların sıklaştırması sonucu elde edilen noktalar olup, C1, C2, C3 ve C4 numaralı ağ olarak 4 gruba ayrılmıştır. Bunlardan C1 Derece Ağlar ve Noktalar (Ana GPS Ağı ve noktalar) üst derecedeki ağlara dayalı, baz uzunluğu 15-20 km olan ağ ve noktalar olup, C2 Derece Ağlar ve Noktalar (Sıklaştırma GPS Ağı ve Noktalar) üst derecedeki ağlara dayalı, ortalama kenar uzunluğu 5 km olan ağ ve noktalarıdır (İnt.Kyn.1).

Ülkemiz levha olarak Anadolu levhası üzerinde kalmaktadır. Bulunduğu coğrafi bölgeden dolayı Avrasya, Arap ve Afrika levhalarının yer değiştirme hareketleri etkisi altında kalmaktadır. Türkiye, stabil olarak bilinen Avrasya plakası ile hareketli olan Arap plakası arasında kalmaktadır. Güneyden Arap plakasının baskısı ile Türkiye güney batı yönünde hareketi söz konusudur (McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006). Bu

hareketler sonucunda birçok büyüklü küçüklü fay hatlarının oluşmasına neden olup, bu fay hatlarının durumu ve hareket yönü ile ilgili ülkemizde birçok çalışma yapılmaktadır (Poyraz vd. 2019, Tiryakioğlu vd. 2019, Yavaşoğlu vd. 2021, Aktuğ vd. 2021, Gezgin vd. 2022).

Tektonik hareketlerinin izlenmesi konusunda yetersiz kalan Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağına alternatif olarak Harita Genel Komutanlığı tarafından 1997 ve 1999 yılları arasında gözlem yapılması sonucunda ITRF-96 datumunda üretilen koordinat sisteminin de temelini oluşturan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99) üretilmiştir. Ancak 17 Ağustos 1999 İzmit, 12 Kasım 1999 Düzce ve 6 Haziran 2000 Çerkeş/Çankırı depremleri sonrası, deprem bölgelerindeki TUTGA noktalarındaki yer değiştirmeden dolayı TUTGA-99 güncellenerek TUTGA-99A kısaltmasıyla oluşturulmuştur. 1992 yılı ve 2001 yılları arasında GPS kampanyaları ve deprem sonrası TUTGA-99A nokta koordinatlarının hesabı ile depremler öncesi ve sonrası inter-sismik hız alanı ve oluşan ko-sismik yer değiştirmeler elde edilmiştir (Aktug vd. 2011b, Kurt vd. 2020).

Ülkemizi 'de kapsayan ilk çalışma ve yapılan birçok çalışmaya altlık olan McClusky vd. (2000)'dir. Bu çalışma ile Avrasya plakası, Anadolu plakası, Arap Plakası ve Afrika plakasına kadar olan bölgede uzun süre GNSS gözlemleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada 189 noktanın hızları hesaplanarak Arap plakasının yıllık 18 mm/yıl hareket ile Avrupa plakasına doğru hareketinin olduğu görülmüş olup, Anadolu plakasının ise ortalama 20 mm/yıl ile batıya yöneliminin olduğu görülmüştür (McClusky vd. 2000).

Poyraz (2009) tarafından 2006 yılında Kuzeydoğu Anadolu Fay Hattının Tokat ile Erzincan kısmının doğu kesimlerinde 36 nokta ile ölçüm yapılmıştır. 2006, 2007 ve 2008 yılları arasında periyodik GPS ölçü kampanyaları ile incelenmiştir. Yapılan çalışma bölgesinde sürekli GPS ölçümleri yapılması düşünülerek bahse konu fayın anlamlı bir hareketliliğin olduğu görülmüştür (Poyraz 2009).

Tiryakioğlu (2012a) tarafından Güneybatı Anadolu'daki hareketliğin incelenmesi için daha önceden kullanılan noktalarıda kapsayan 30 nokta ile TUSAGA-Aktif sisteminde

bulunan bölgedeki 27 istasyonla birlikte toplam 57 noktalı bir Güneybatı Anadolu Tektonik GNSS Ağı (GATGA) kurulmuştur. Bu kurulan ağ 1997-2010 yılları arasında 11 kampanya şeklinde ölçülerek GAMIT/GLOBK yazılımı yardımıyla değerlendirilmiştir. Değerlendirilen ölçümlerde elde edilen hızların güneybatı yönüne doğru yıllık 15-35 mm'lik bir hareketliliğin söz konusu olduğu görülmüştür (Tiryakioğlu 2012a).

Halıcıoğlu vd. (2008), İzmir Tuzla fayı için 2008 yılında 14 noktadan oluşan bir ağ ile GNSS gözlemleri yapmıştır. Bu çalışmada Jeodezik tekniklerin, yer bilimleri için önemli küçük deformasyon hareketlerini belirleyebileceği ve bölgede yüksek sismik riskin olduğu vurgulanarak, tasarlanan ağ daha sonraki yıllarda GPS ölçü kampanyası yapılarak fayın izlenmesine olanak sağlayacaktır (Halıcıoğlu vd. 2008).

23 Ekim 2011'de meydana gelen aletsel büyüklüğü 7.1 (Mw) olan Van depremi sonrasında 21 adet TUSAGA-Aktif istasyonlarındaki deformasyonun tespiti için 2012 ve 2015 yılları arasındaki veriler ile değerlendirme yapılarak deprem merkezine daha yakın istasyonlardaki deformasyonların devam ettiği gözlemlenmiştir (Tiryakioğlu vd. 2017).

20 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Mw 6.8 büyüklüğündeki Elazığ ili Sivrice ilçesinde meydana gelen deprem sonrasında bölgede bulunan 11 adet TUSAGA-Aktif noktalarının verileri GAMIT/GLOBK değerlendirilmiştir. Değerlendirilen sonuçlarda 30 km uzaklıktaki noktanın güneybatı yönünde 57 mm'lik yatay yer değiştirmenin en fazla olduğu deprem merkezinden uzaklaştıkça yer değiştirmenin azaldığı gözlenmiştir. Ölçümü yapılan 11 noktanın hiçbirinde düşey olarak değişimin olmadığı anlaşılmıştır (Yalvaç 2020).

GNSS ve INSAR tekniğiyle, Tuz Gölü Fay Zonu incelenmesi adına 24 adet noktadan oluşan TUZGA (Tuz Gölü Tektonik GNSS Ağı), 16 adet TUTGA noktası ve 4 adet TUSAGA-Aktif noktalarıyla toplam 44 nokta ile incelenmiş daha önceki çalışmalar ile uygun olduğu gözlemlenerek GNSS ölçümlerin devam edilmesi değerlendirilmiştir (Gezgin 2020).

Denizli ili ve çevresindeki fay hareketlerinin izlenmesi adına 21 noktadan oluşan bir GNSS ağı kurularak bölgedeki hareketlilik incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda Avrasya sabit yaklaşık 22-27 mm/yıl hızlarla batı ve güneybatı yönde hareket söz konusu olduğu ve daha önceki yapılan GNSS ölçülerinin hız alanlarıyla uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Doğan 2021).

İBTZ (İzmir-Balıkesir Transfer zonu) ve çevresi için deformasyon miktarını gözlemek adına 62 noktadan GNSS ağı oluşturularak 2018-2019 yıllarında 2 kampanya ile ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümler değerlendirilerek ITRF20008 hız alanı üretilmiş olup, daha önceki çalışmalar ile birleştirilerek toplam 111 noktalık bir hız alanı elde edilmiştir. 111 nokta ile üretilen hız alanları yardımıyla gölgenin gerilim alanı, jeodezik deprem tekrarlama periyodu ve bölgede bulunan faylardaki deprem üretme potansiyelleri incelenmiştir (Solak 2020).

İzmir'de bulunan Güzelbahçe fayının incelenmesi adına fayı kapsayan Karaburun, Çeşme ve Urla ilçelerinde bulunan 17 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda Avrasya sabit yaklaşık yıllık olarak 20-25 mm'lik batı ve güneybatı yönünde hareket söz konusu olduğu anlaşılmıştır (Eyübagil 2020).

Yine İzmir'de aktif faylardan biri olan Karaburun fayı için 6 noktadan oluşan bir GNSS ağı ile 2018-2019 yıllarında 3 kampanya ile ölçüm yapılmış olup, Avrasya sabit yaklaşık yıllık olarak 20-25 mm'lik batı ve güneybatı yönünde hareketin olduğu gözlemlenmiştir (Kavak 2020).

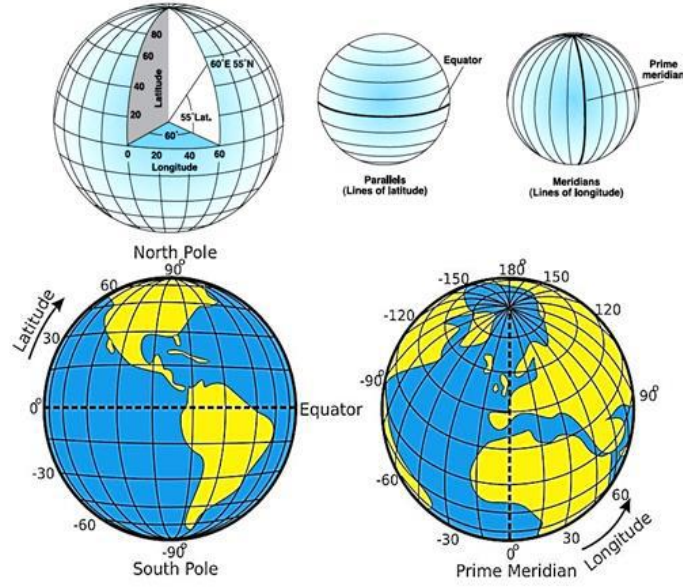
Bu çalışmada 30 Ekim 2020 (Mw:6.9) Ege Denizi Sisam adasında meydana gelen depremden sonra İzmir ilinde bulunan 18 adet kadastral noktanın GNSS teknolojisi ile deprem öncesi, 2021 ve 2022 yıllarındaki nokta hızları ve koordinat değişimleri incelenmiştir. Kadastral altyapıya konu olan noktaların doğruluğu açısından noktalardaki deformasyonun düzeltilmesi öngörülmüştür.

2. KOORDİNAT SİSTEMLERİ

Dünyada, geometrik uzayda, düzlemde ve haritada bir noktanın konumlarını rakamlarla matematiksel olarak ifade edilen değerlere koordinat denir. Koordinat sistemi ise, orijin, eksenlerin yönü ve ölçek ile üç bileşenden oluşarak, datum, projeksiyon, referans sistemi ve birimlerinin farklılığına bağlı olarak birçok koordinat sistemi tanımlanmıştır. Koordinat sistemi uzaydaki bir noktanın rakamsal dizisidir.

2.1 Coğrafi Koordinat Sistemi

Konum belirlemek için kullanılan enlem ve boylamların ölçüldüğü koordinat sistemidir. Başlangıç noktası Londra Greenwich–Başlangıç meridyeni ve ekvator kesim noktasıdır. Yeryüzü kuzey-güney yönünde 180 paralel ve doğu-batı yönünde 360 boylamdan oluşmaktadır. Enlem çizgileri ekvatora paralel olacak şekilde kuzey-güney yönünde ilerlemektedir. Ekvator da 0 enlemimde olup, ekvatorun kuzey yarım küresinde sayılar pozitif, güney yarım küresi ise negatif sayılar olacak şekildedir. Boylam çizgileri ise başlangıç meridyeninin doğu ve batısına göre ilerleyip pozitif sayılar doğu yarım küreyi negatif sayılar ise batı yarım küreyi ifade eder. Başlangıç (Greenwich) meridyeni 0 derece boylamıdır. Yeryüzünde bir noktanın enlemi o noktadan geçen paralelin ekvatora olan açısal mesafesi olup, boylamı ise noktadan geçen meridyenin Greenwich düzlemi ile arasındaki açıdır. (Mustafa 2017).



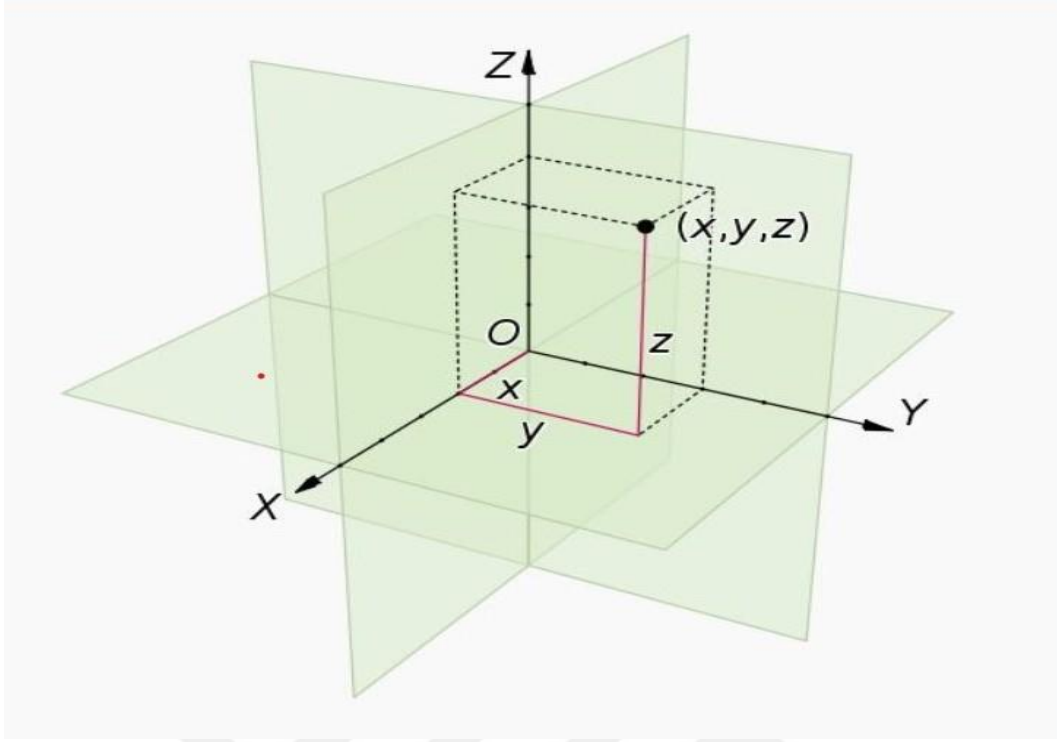
Şekil 2.1 Enlem ve boylam değerlerini gösteren küre şeklinde dünya (Mustafa 2017).

2.2 Kartezyen Koordinat Sistemi

Kartezyen koordinat sistemi üç boyutlu uzayda tanımlanan orjinli O , Öklid uzayında tanımlanan ortogonal çatının orjinli P_0 ile çakışık olup, eksenleride ortogonal sistemi tanımlayan birim vektörlerle çakışmıştır.

Kartezyen koordinat sistemi bir P noktasının konumu o noktadan her bir koordinat eksenine inilen dik boyları ile belirlenir ve o noktanın kartezyen (dik) koordinatları olarak isimlendirilir. Kartezyen koordinatlar (X,Y,Z) $+\infty$ ve $-\infty$ arasında değerlerden oluşabilir.

Kartezyen koordinat sistemi Z eksenı etrafında döndürölmesiyle sağ sistem ve sol sistem olarak ortaya çıkar. X ve Y eksenleri 90° açılı çakışmasına sağ sistem, 270° açılı çakışmasına sol sitem olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 2.2 Kartezyen Koordinat Sistemi (İnt.Kyn.2).

2.3 Projeksiyon Koordinat Sistemi

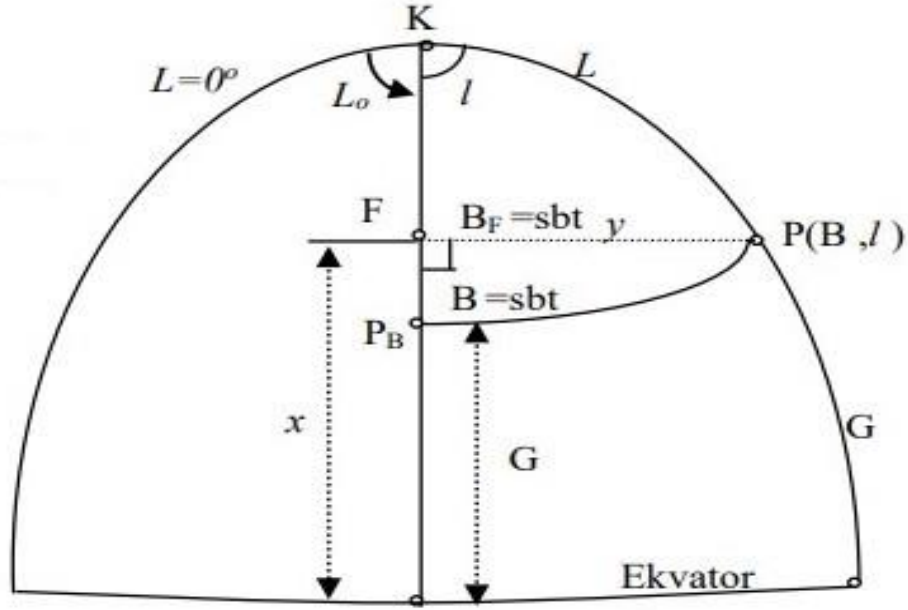
Referans yüzeyinin projeksiyon teknikleri olan konik, silindirik ve düzlem projeksiyonu yöntemlerini kullanarak haritaya aktarılmasında kullanılan sistemlerdir.

2.3.1 Gauss- Krüger Projeksiyonu

US Askeri Harita Servisi (AMS) tarafından 1947’de planlanmış olan UTM (Universal Transvers Mercator) projeksiyon sistemi Gauss – Krüger Projeksiyon sistemini esas alır. Gauss Kürüger Projeksiyon sisteminin referans yüzeyi elipsoid olup hesap yüzeyi düzlem olmaktadır. Mercator projeksiyonuyla elde edilen Gauss – Krüger koordinatlarıyla askeri haritalar üretilmiştir. Başlangıçta kutup bölgeleri hariç olarak 80° Güney, 84° Kuzey enlemleri arasında sınırlandırılmıştır. Fakat daha sonra DoD (Department of Defense of the USA) tarafından incelendiğinde 80° Güney, 80° Kuzey enlemleri arasında oluşturulmuştur.

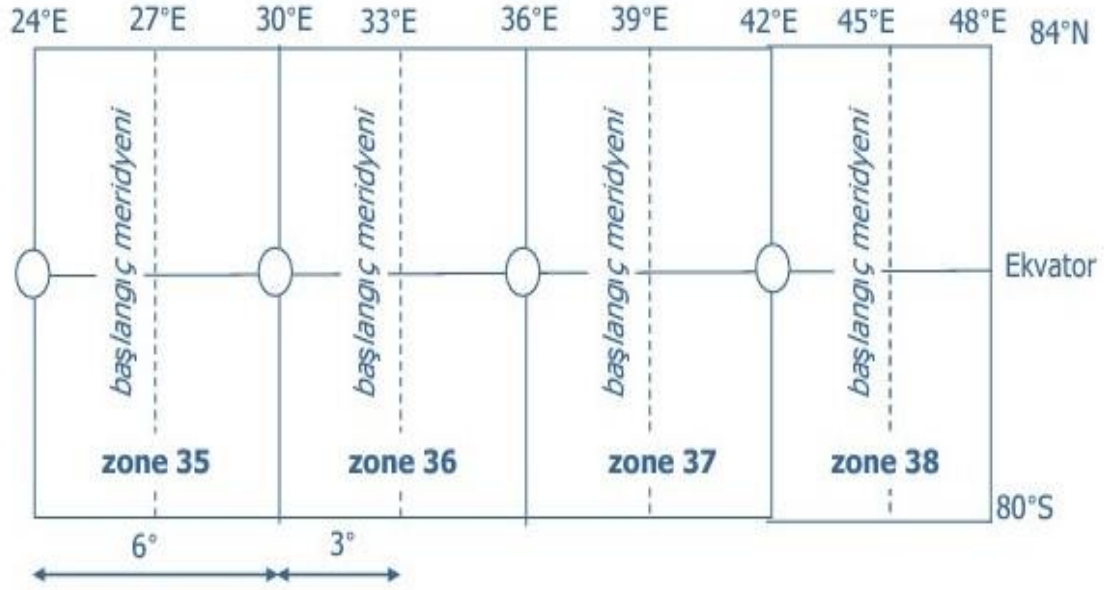
Gauss – Krüger, 3° veya 6° 'lik meridyen dilimleri kullanılmaktadır. Dilim orta meridyeni (L_0) başlangıç alınmış olup, her dilim ayrı olarak tasvirlenmiştir. Bu sistemde dilim orta meridyenin doğu-batı yönünde 3° 'dir.

Gauss – Krüger, referans elipsoidi üzerindeki (B,L) coğrafi koordinatlarının, orantılı olarak düzlem dik koordinatları (x,y)'ye dönüştürülmesidir.



Şekil 2.3 Gauss – Krüger Koordinat Sistemi.

UTM projeksiyonunda 180° meridyeninden başlamak üzere dünya 6° boylam aralıklı 60 dilime ayrılmıştır. Dilimler 1 den başlamak ve doğuya doğru artan sırada 1 ile 60 arasında numaralanmıştır. Her bir dilim bir projeksiyon sistemini belirtir. Silindirik dilimin orta meridyeni boyunca dünyaya teğet alınır. Böyle bir dilimin 3° sağ ve 3° solu aynı bir dilim içerisinde yer alır. Dilim eksenleri $3^\circ, 9^\circ, 15^\circ, \dots$ doğu ve $3^\circ, 9^\circ, 15^\circ, \dots$ batı meridyenleridir.



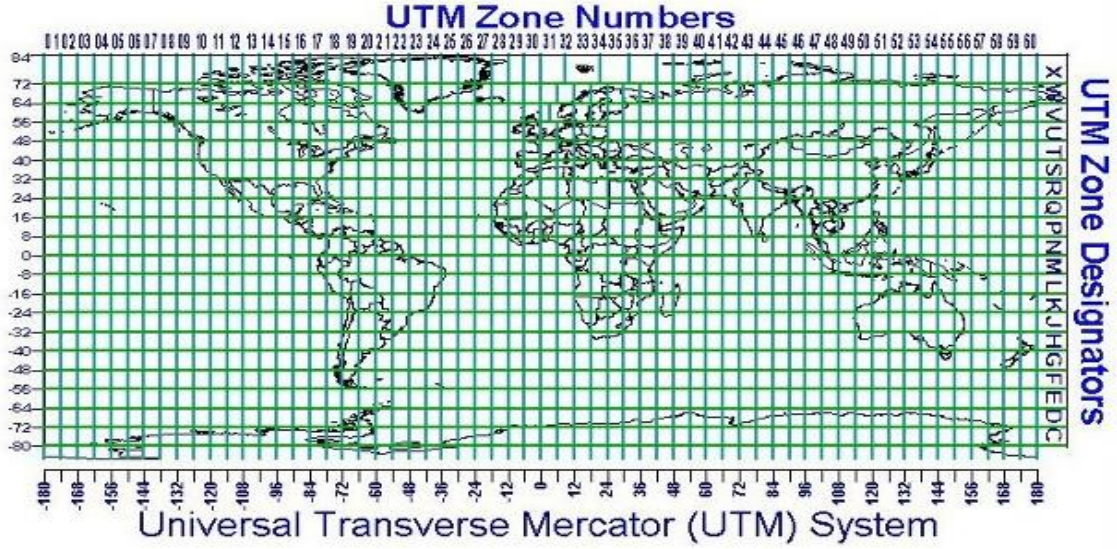
Şekil 2.4 UTM Projeksiyon Dilimleri (İnt.Kyn.3).

Projeksiyonda, teğet meridyen boyunca dünya üzerindeki uzunluklar projeksiyondaki uzunluklara eşit olur. Teğet meridyenden uzaklaştıkça deformasyon artar. Her dilimin ayrı bir koordinat sistemi vardır. Dilim orta meridyenleri X eksenini, ekvator da Y eksenidir. İkişinin kesişimi başlangıç noktasıdır. X değerleri dünyadaki uzunluklarla aynı, Y değerleri ise dünyadakinden biraz büyüktür. Bu farkı azaltmak için X, Y değerleri $m_0 = 0,9996$ ile çarpılır. Y değeri başlangıç meridyeninin solunda negatif olur. Bundan kurtulmak için Y değerine 500.000 eklenir. Bu durumda koordinatlara Sağa ve Yukarı değeri denir. Uzunluk birimi metredir.

Ülkemiz 'de $1/25000$ ve daha küçük ölçekli haritaların yapılmasında dilim genişliği 6° olan UTM kullanılarak $m_0=0.9996$ alınır. $1/5000$ ve daha büyük ölçekli haritaların yapılmasında dilim genişliği 3° olan değiştirilmiş UTM kullanılmaktadır. Bu projeksiyonda $m_0=1.0000$ alınır.

Türkiye, $26^\circ - 45^\circ$, doğu boylamları ve $36^\circ - 42^\circ$, kuzey enlemleri arasındadır. Boylamları farkı 19° ve 6° 'likte 4 dilim ve 4 ayrı koordinat sistemi, 3° 'likte 7 dilim ve 7 ayrı koordinat sistemindedir. Türkiye 35, 36, 37, 38 dilim numaraları arasında yer alır. Bu dilimlerin 6° 'likteki orta meridyenleri $27^\circ, 33^\circ, 39^\circ, 45^\circ$ doğu meridyenleri

olup, 3°'likte ise, 27°, 30°, 33°, 36°, 39°, 42°, 45° doğu meridyenleridir.



Şekil 2.5 UTM (Universal Transverse Mercator System) (İnt.Kyn.3).

2.4 C1 ve C2 Noktalarının Hız Alanlarının Üretilmesi ve Datum Dönüşümü

Ülkemizin ulusal datumu olarak kullanılan Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) uluslararası referans sistemi ile uyumlu olarak Aktuğ B. Tarafından 2005 yılında tanımlanmıştır. 2005.00 epoğu ve ITRF-96 datumu ile tanımlanan TUREF, TUTGA-99A ile uyumludur. 1996 yılında güncellenmiş olan ITRF-96 datumu, Uluslararası Yersel Referans çerçevesindedir. ITRF-96 datumu, 2014'te yapılmış olan güncelleme ile ITRF-14 datumu elde edilmiştir. ITRF-14 datumu üretilen koordinatlar tek bir sistemde olması için ITRF-96 datumu 2005.00 epoğuna taşınması gerekmektedir (Aktuğ vd. 2011a).

C1 ve C2 noktaların koordinatları T_0 (TUREF referans epoğu = 2005.00) epoğuna veya T ölçü epoğuna kaydırılması için BÖHHBÜYY göre iki farklı eşitlik tanımlanmıştır. Burada nokta hızları (V_x , V_y ve V_z) TUTGA noktaları ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının ait nokta hızlarının enterpolasyonu ile hesaplanır.

Nokta koordinatlarını referans epoğuna getirilmesi için BÖHHBÜYY göre,

$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix}_{TUTGA} = \begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix}_{TUTGA} + (T - T_0) \cdot \begin{bmatrix} (V_X) \\ (V_Y) \\ (V_Z) \end{bmatrix}_{TUTGA} \quad (2.1)$$

eşitliği kullanılır. Koordinatların ölçü epeğine getirilmesi için ise,

$$\begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix}_{TUREF} = \begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix}_{TUREF} + (T_0 - T) \cdot \begin{bmatrix} (V_X) \\ (V_Y) \\ (V_Z) \end{bmatrix}_{MODEL} \quad (2.2)$$

eşitliği kullanılır.

Nokta hızlarının hesaplanması ise yine BÖHHBÜYY göre hesap yöntemleriyle interpolasyon yapılarak bulunduğu gibi ayrıca HGM'nin oluşturduğu bilgi sisteminden noktaların enlem ve boylamları girilerek o noktaya ait nokta hızlarının (V_x , V_y ve V_z) bilgisine ulaşmak mümkündür. Hesaplama yöntemi ise, TUTGA noktaları ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının nokta hızlarından en az üç noktayı interpolasyon yapılmasıyla bulunur. Öncelikle üç boyutlu uzayda koordinat ve hızları bilinen noktaların, nokta hızını öğrenmek istediğimiz bir P noktasına ait uzaklık bulunur.

$$S_1 = \sqrt{(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2 + (Z_1 - Z_p)^2} \quad (2.3)$$

P noktasına olan uzaklıklar bulunduktan sonra noktanın hızı aşağıdaki eşitlikler yardımı interpolasyon yapılarak hesaplanır.

$$V_{XP} = \left[\left(\frac{V_{X1}}{S_1} \right) + \left(\frac{V_{X2}}{S_2} \right) + \left(\frac{V_{X3}}{S_3} \right) \right] / \left[\left(\frac{1}{S_1} \right) + \left(\frac{2}{S_2} \right) + \left(\frac{3}{S_3} \right) \right] \quad (2.4)$$

$$V_{YP} = \left[\left(\frac{V_{Y1}}{S_1} \right) + \left(\frac{V_{Y2}}{S_2} \right) + \left(\frac{V_{Y3}}{S_3} \right) \right] / \left[\left(\frac{1}{S_1} \right) + \left(\frac{2}{S_2} \right) + \left(\frac{3}{S_3} \right) \right] \quad (2.5)$$

$$V_{ZP} = \left[\left(\frac{V_{Z1}}{S_1} \right) + \left(\frac{V_{Z2}}{S_2} \right) + \left(\frac{V_{Z3}}{S_3} \right) \right] / \left[\left(\frac{1}{S_1} \right) + \left(\frac{2}{S_2} \right) + \left(\frac{3}{S_3} \right) \right] \quad (2.6)$$

3. İZMİR BÖLGESİ TEKTONİĞİ ve DEPREMSELLİĞİ

1970’li yıllardan günümüze kadar MTA (Maden Tetkik ve Arama) Genel Müdürlüğü tarafından diri faylar hakkında bilgi üretmekte olup, 1987 yılında rapor sunarak bu rapor ekinde Türkiye Diri Fay Haritası üretilmiştir. Yapılan haritada İzmir bölgesini kapsayacak şekilde diri faylar haritalanarak, fayların durum ve özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

MTA’nın ürettiği Türkiye Diri Fay Haritasının güncellenmesinde kullanılan sınıflandırma deprem yüzey kırığı, diri fay, olası diri fay ve çizgisellik olarak sınıflandırılmıştır.

Deprem yüzey kırığı: Yüzey yırtılmasıyla sonuçlanarak deprem üretmiş fay. Ancak proje uygulama alanında İzmir ve yakın çevrede deprem yüzey kırığı sınıflandırmasına rastlanamamıştır.

Diri fay: Aletsel ve tarihsel dönemdeki aktivitesi bilinen son 10.000 yıl depremselliği jeolojik ve jeomorfolojik olarak kesin bilinen fay.

Olası Diri fay: jeolojik ve jeomorfolojik olarak kesin bilinen son 1.6 milyon yıl aktivitesi, Holosen’deki depremselliği ve aktivitesi kuşkulu olan fay.

Çizgisellik: Kuvaterner aktivitesi hakkındaki verileri toplanamayan ve depremselliği bilinmeyen neotektonik dönem fayı veya morfolojik çizgisellik.

MTA’nın ürettiği Türkiye Diri Fay Haritası ve raporuna göre İzmir ve yakın çevresinde on üç adet diri fay olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.1). Bu bölgedeki fayların normal ve doğrultu atımlı faylar olduğu sonucuna varılmıştır. Tarihsel ve aletsel dönem kayıtları incelendiğinde bölgedeki fay hatları çok sayıda deprem üretmiştir.

Çizelge 3.1 İzmir ve çevresindeki fay hatlarının aktivite sınıfı, niteliği ve toplam uzunlukları (İnt.Kyn.4).

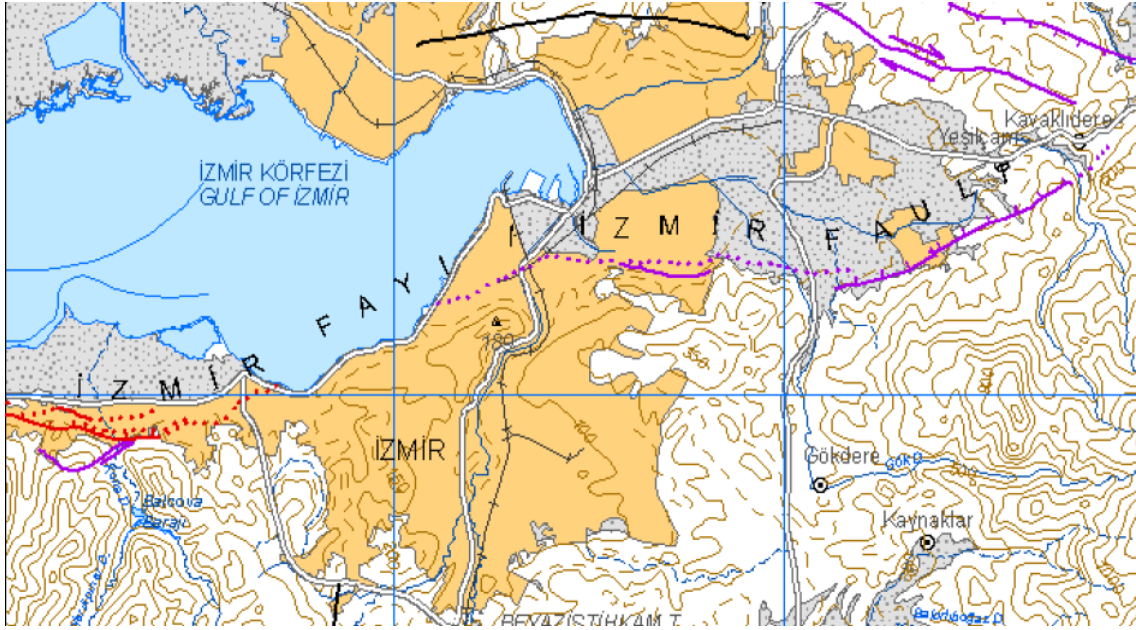
No	Fay Adı	Aktivite Sınıfı	Nitelik	Uzunluk (km)
1	İzmir Fayı	Diri Fay	Normal Atımlı	35
2	Tuzla Fayı	Diri Fay	Sağ Yönlü Doğrultu Atımlı	50
3	Seferihisar Fayı	Diri Fay	Sağ Yönlü Doğrultu Atımlı	30
4	Gülbahçe ve Yağcılar Fayı	Diri Fay	Düşey Atımlı	70
5	Gediz Grabeni Fayı (Batı Bölüm)	Diri Fay	Normal Atımlı	27
6	Kemalpaşa Fayı	Diri Fay	Normal Atımlı	24
7	Manisa Fayı	Diri Fay	Normal Atımlı	40
8	Dağkızılca Fayı	Diri Fay	Sağ Yönlü Doğrultu Atımlı	27
9	Güzelhisar Fayı	Olası Diri Fay	Sağ Yönlü Doğrultu Atımlı	25
10	Menemen Fay Zonu	Olası Diri Fay	Sağ Yönlü Doğrultu Atımlı	17
11	Yenifoça Fayı	Çizgisellik		20
12	Gümüldür Fayı	Olası Diri Fay	Normal Atımlı	15
13	Bornova Fayı	Çizgisellik	Sağ Yönlü Doğrultu Atımlı	19
14	Mordoğan Fayı	Diri Fay	Normal Atımlı	12

3.1 İzmir ve Çevresi Fayları

3.1.1 İzmir Fayı

Bahse konu olan fay Güzelbahçe ilçesi ile Bornova ilçesi Pınarbaşı semti arasında

toplam 35 km uzunluğundadır (Emre ve Barka 2000). Fay özellik olarak eğim atımlı normal bir fay olup, batı kısmı iki kısma ayrılmıştır. Güney kısmı Kuzeydoğu - Güneybatı doğrultulu ve sağ yönlü doğrultu atımlı Seferihisar ilçesindeki fayın doğrultusunda sonlanır. Kuzeybatı kısmı ise olasılıkla İzmir körfezi tabanında Urla ilçesinin kuzeyinde yer alan adaların (Çiçekadaları ile Uzunada) doğusunda yer alan fay zonuyla bağlantılıdır. Söz konusu fay İzmir'in merkezini Doğu - Batı yönünde uzun bir mesafede kat eder (Şekil 3.1) (Emre vd. 2005).



Şekil 3.1 İzmir Fayı Doğu- Batı Yönü (İnt.Kyn.5)

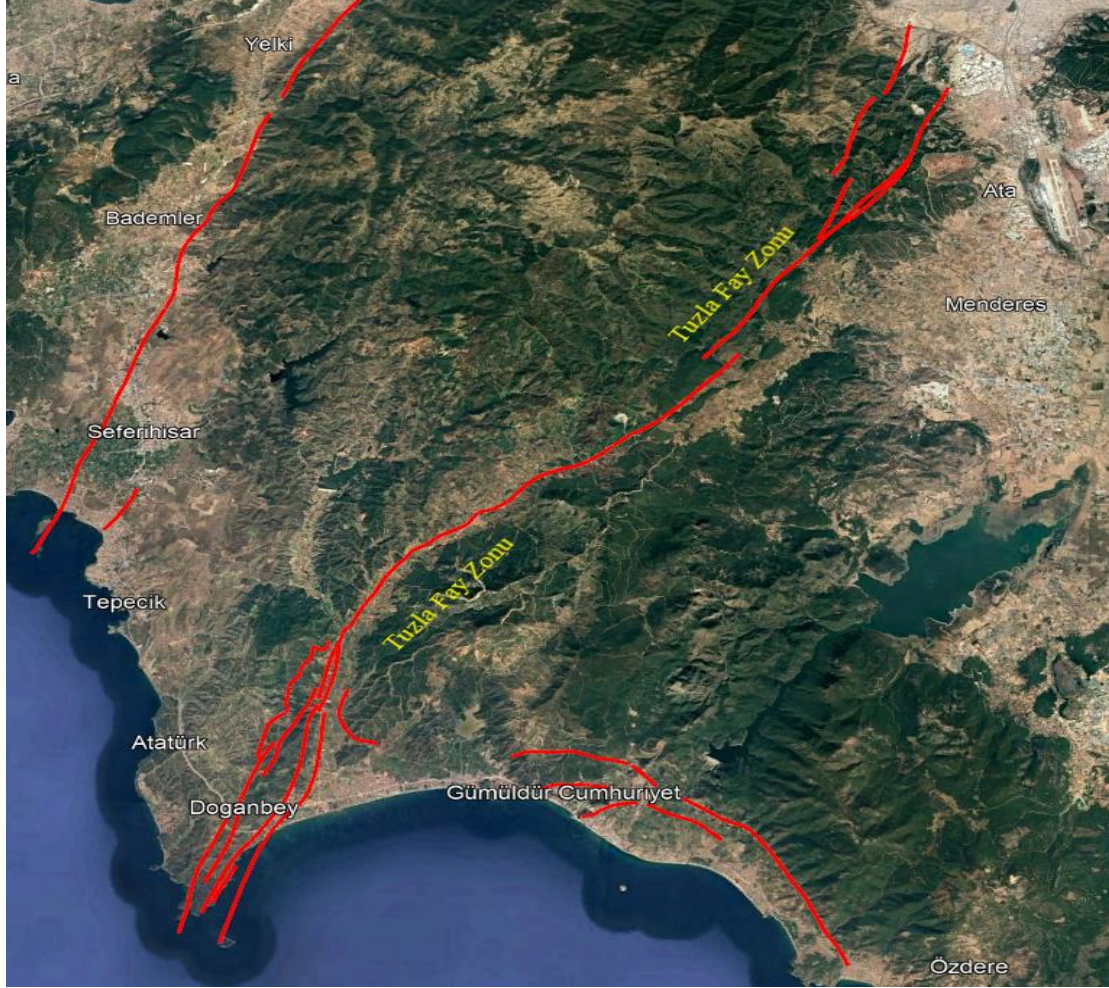
3.1.2 Tuzla Fayı

Deniz altındaki uzunluğu ile birlikte 50 km' aşan fay karada Gaziemir ile Doğanbey arasında kalmakta olup, karadaki uzunluğu 42 km'dir (Şekil 3.2). Tuzla fayı, sağ yönlü doğrultu atımlı fay özelliğindedir. Söz konusu fay İzmir bölgesinde en önemli aktif tektonik yapıda olması sebebiyle kentin depremselliği açısından çok önemlidir (Ocakoğlu vd. 2004, 2005).

3.1.3 Seferihisar Fayı

İzmir'in güneybatısında olan Seferihisar ilçesindeki Sığacık körfezi ile Güzelbahçe

İlçesi arasında kalan bahse konu fay, kara uzunluğu 23 km ve sualtı bölümü ise 7 km olan fay toplam 30 km'lik bir uzunluğa ulaşmaktadır. Fayın özelliği sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Söz konusu fayın, jeomorfolojik verilerde Holosen'de aktif bir fay olduğu düşünülmektedir (Ocakoğlu vd. 2004, 2005).

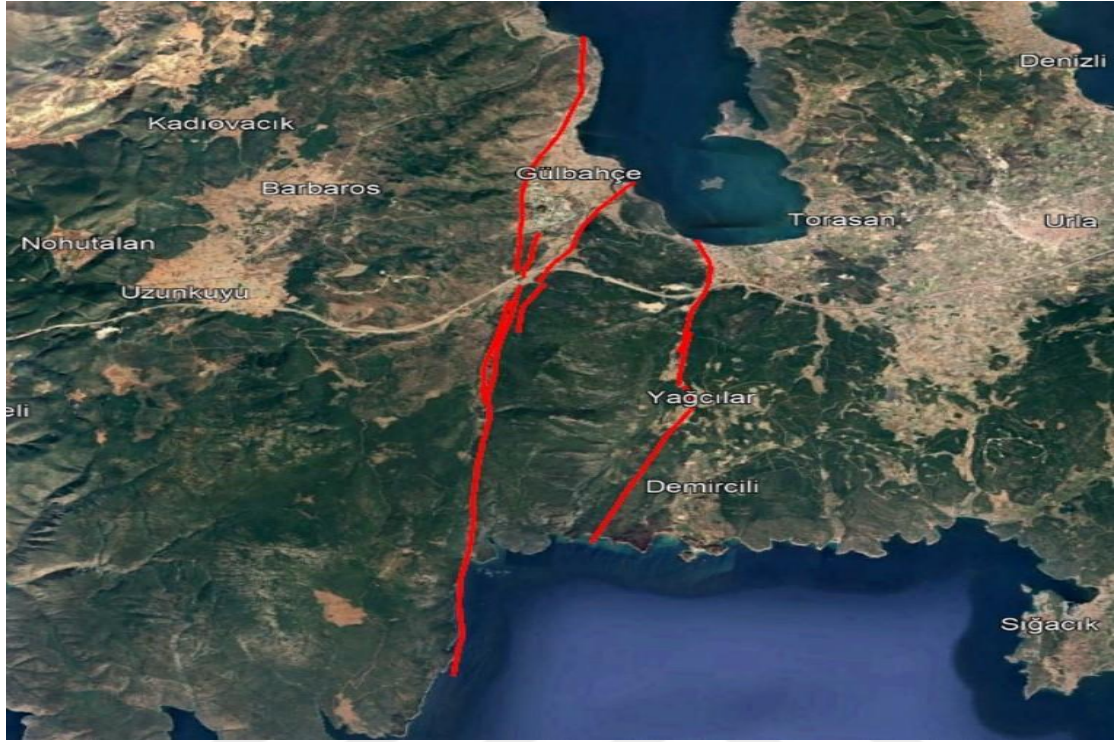


Şekil 3.2 Tuzla Fayı.

3.1.4 Gülbahçe ve Yağcılar Fayı

Gülbahçe ve Yağcılar fayı, karadaki uzunluğu kuzeyde Gülbahçe ile güneydeki Sığacık körfezi arasında olup uzunluğu 15 km'dir (Ocakoğlu vd. 2004, 2005). Gülbahçe fayının kuzey - güney doğrultulu olan fayın sualtında bulunan kısmıyla beraber toplam uzunluğu 70 km'dir. Fay güney ve kuzey olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Seferihisar ilçesi Sığacık mahallesi ile Gülbahçe ilçesi arasındaki güney kısmı 30 km uzunluğunda,

kuzey kısmı ise 40 km uzunluğundadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Gölbaşı ve Yağcılar Fayı.

3.1.5 Gediz Grabeni Ana Sıyrılma Fayı (Batı Bölümü)

Bahse konu graben Sarıgöl, Manisa ve Kemalpaşa arasında Doğu - Batı uzanımında yaklaşık 150 km uzunluğundaki normal fay sistemindedir (Şekil 3.4). Batı kısmında yer alan faylar grabenin Kemalpaşa ve Manisa kollarıdır. Manisa'ya uzanan kolları doğu ucunda Turgutlu'da bulunan fayın Kuzeybatıya Manisa fayına bağlantılı olacak şekilde görünmektedir. Kemalpaşa ilçesine uzanan bölümü ise, Kemalpaşa fayı ve bir transfer yapısı olan Kemalpaşa ve Torbalı ilçeleri arasında kalan Dağkızılca faylarından oluşur. Turgutlu batısında Gediz sıyrılma fayı ilçe sınırlarındaki Çatalköprü ve Kurudere köyleri arasında 27 km uzunluğundadır.



Şekil 3.4 Gediz Grabeni Fayı.

3.1.6 Kemalpaşa Fayı

Kemalpaşa fayı Bağıyurdu ile Ulucak arasında uzanan ve Gediz grabeninin batısında bulunan diri faydır. Fayın uzunluğu 24 km uzunluğuunda olup, doğu ucunda Gediz grabeni sıyrılma fayından ayrılan bir normal fay şeklindedir (Emre ve Barka, 2000).

3.1.7 Manisa Fayı

Manisa Fayı Gediz grabeninin kuzeybatı kolunda yer alan normal bir faydır. Turgutlu ile Manisa batısındaki Muradiye arasında yaklaşık 40 km uzunluğuundadır. Manisa fayı, doğu ve batı olmak üzere iki segmentten oluşur. Doğu segmenti Kemalpaşa çayı ile Manisa ili arasında 15 km uzunluğuundadır. Fayın batı segmenti ise, kentin doğusu ile batıda Gediz nehri arasında yaklaşık 20 km'dir.

3.1.8 Dağkızılca Fayı

Kemalpaşa ile Torbalı ilçeleri arasında kalan Gediz grabeni sistemine bağı sağ yönlü doğrultu atımlı bir transfer fayı olup, toplam 27 km uzunluğuundadır. Dağkızılca fayı

Gediz graben sistemi batısında Seferihisar ve Tuzla fayları gibi Ege açılma tektonik rejimi içerisindeki transfer yapıdadır. Dağkızılca fayının aktif olduğuna sonucuna varılmıştır.

3.1.9 Güzelhisar Fayı

Manisa'nın Osmaniçalı beldesi ile İzmir ilinin Aliağa ilçesi arasında uzanan faydır. Türkiye Diri Fay Haritası'nda adı geçen fay zonu biri birinden farklı nitelikteki fay sistemleri oluşturması nedeniyle Güzelhisar fayı ve Menemen fay zonu olarak ikiye ayrılmıştır. Güzelhisar fayı yaklaşık 25 km uzunluğundadır (Şekil 3.5). Bu fayın topografik yapısı Doğrultu atımlı faylara has bir yapı sunar. Güzelhisar fayı eğim atımlı sağ yönlü doğrultu atımlı olduğu yorumlanarak, fay olası diri fay olarak literatürde geçmektedir (Şaroğlu vd. 1992).



Şekil 3.5 Güzelhisar, Menemen, Yenifoça Fayı.

3.1.10 Menemen Fayı

Menemen ilçesinin kuzeyindeki Çukurköy Dumanlıdağ ile Gediz nehri arasında yer

alan fay 17 km uzunluğundadır. Menemen fayı Kuzeybatı - Güneydoğu doğrultudadır (Şekil 3.5). Menemen fayı eğim atımlı sağ yönlü doğrultu atımlı olup, fay olası diri fay olarak literatürde geçmektedir.

3.1.11 Yeni Foça Fayı

Bahse konu fay, Aliğa ilçesi Nemrut limanı ile güneyde Foça ilçesinin Gerenköy mahallesi arasında Kuzey - Güney genel doğrultusunda uzanan toplam uzunluğu 20 km olan bir faydır (Şekil 3.5). Sol yönlü doğrultu atımlı fay olduğu söylenmiştir (Aksu vd. 1987). Kara verilerine göre çizgisellik olarak haritalanmış ancak aynı zamanda olası diri fay olarakta kabul edileceği söylenmiştir.

3.1.12 Gümüldür Fayı

Özdere ile Gümüldür arasında İzmir'in güneybatısında bulunan fayın haritalanabilen uzunluğu 15 km'dir. Gümüldür fayı normal fay sisteminin varlığını olup, fay hattı olası diri fay olarak değerlendirilmiştir (Ocakoğlu vd. 2004).

3.1.13 Bornova Fayı

İzmir merkezinin kuzeydoğusunda Kemalpaşa ilçesini ulucak mahallesi ile Karşıyaka ilçesi arasında birbirine paralel uzanan Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu faylardır. Bu iki faydan kuzeyde kalanı çizgisellik, güneyde kalanı ise sağ yönlü doğrultu atımlı olası diri fay olarak geçmiştir.

3.1.14 Mordoğan Fayı

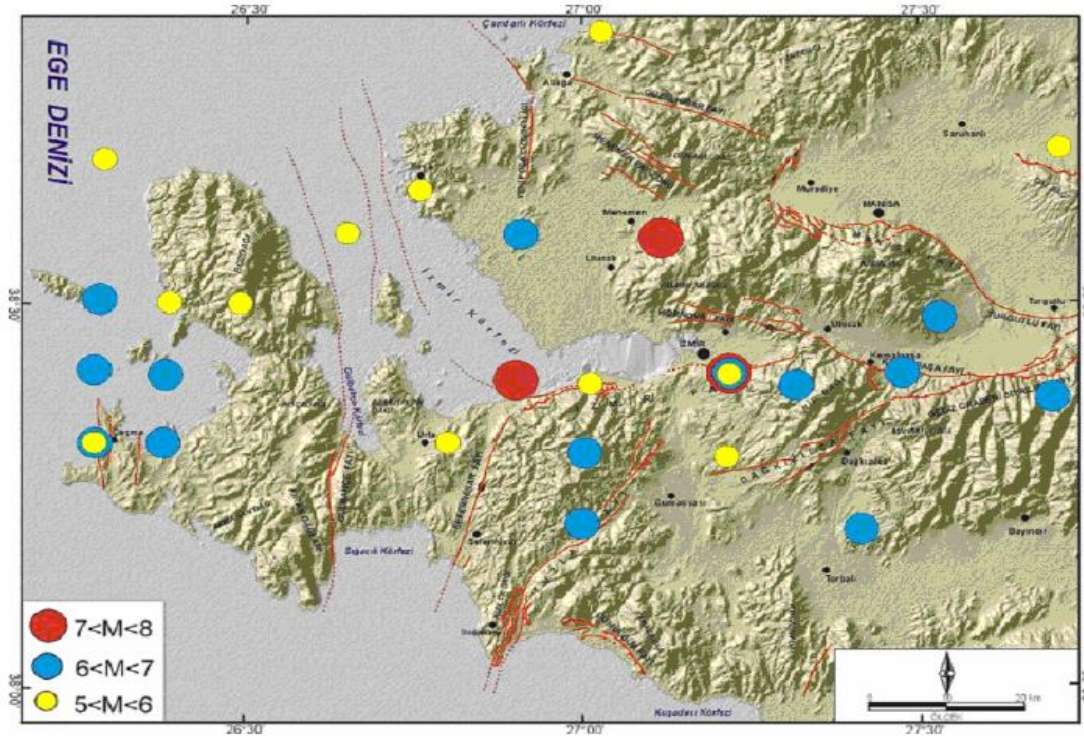
Karaburun ilçesinde bulunan Mordoğan fayı, Ocakoğlu N. vd. (2004,2005) tarafından yapılan çalışmalarda Karaburun Fayı, Emre Ö. vd. (2011)'de Mordoğan fayı, Uzel B. (2013)'de ise Karaburun fay zonu olarak ele alınmaktadır. İzmir Körfezi'nin batı sınırını meydana getiren Mordoğan fayı, Karaburun ile Gülbahçe Körfezi arasında yay şekilli bir geometri göstererek, yaklaşık 12 km uzunluğundadır.

3.2 İzmir Bölgesi Depremselliği

Deprem tehlike boyutu, fayların yapıları (eğim atımlı, yanal atımlı vb..) özellikleri ve nitelikleri ile bunlardan kaynaklanan depremlerin sismolojik özellikleri iki temel veri grubunu oluşturur. Deprem aktivitesinde incelemede bulunan yer bilimciler depremleri tarihsel ve aletsel dönem olarak ikiye ayırmıştır.1900 yılı ve öncesi tarihsel dönem, 1900 yılı ve günümüz aletsel dönem depremselliği olarak adlandırılmıştır. İzmir yakın çevresindeki tarihsel dönemde ve aletsel dönemde birçok deprem meydana gelmiştir.

3.2.1 Tarihsel Dönem Depremselliği

İzmir ve çevresinin, birçok medeniyete ev sahipliği yapması sebebiyle tarihsel döneme ait depremlerin olduğunun bilgisine ulaşılmaktadır. İzmir, çevre iller ve ege denizinde gerçekleşen ve büyük maddi hasar ve can kayıplarının yaşandığı depremler meydana gelmiştir. Toplam 151 depremin meydana geldiği bilinmektedir (Ambraseys ve Jackson 1998, Papazachos vd. 2000, Sezer 2005, Kalafat vd. 2011). 1899 yılı ve öncesi olan önemli depremler Çizelge 3.2’te verilmiştir.



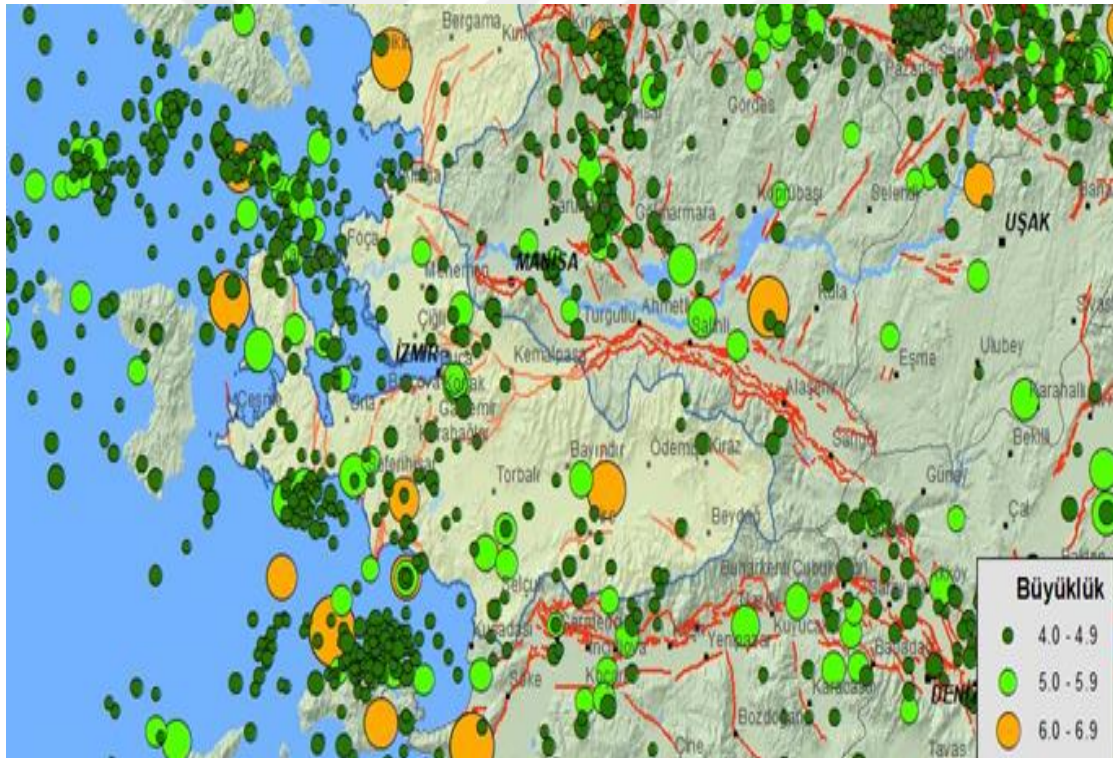
Şekil 3.4 İzmir, Çevre iller ve Ege denizinde gerçekleşen tarihsel dönem depremleri diri fay haritası üzerindeki görünümü (İnt.Kyn.4).

Çizelge 3.2 İzmir ve çevresinde 1899 yılı ve öncesi olan önemli depremler (İnt.Kyn.4).

Tarih	Enlem (K)	Boylam (D)	Büyüklik (M)	Bölge
17 yılı	38.40	27.50	7.0	İzmir, Efes, Aydın, Manisa
105 yılı	38.90	27.00	6.4	Aliaga, Çandarlı
176 ve 177 yılları	38.60	26.65	5.8	Milet, Sakız ve Sisam Adası
178 yılı	38.30	27.10	6.5	İzmir
688 yılı	38.41	27.20	6.5	İzmir
1039 yılı	38.40	27.30	6.8	Cedrenos depremi İzmir çevresi
20 Mart 1389	38.40	26.30	6.7	İzmir Foça
20 Mayıs 1654	38.50	27.10	6.4	İzmir
2 Haziran 1664	38.41	27.20	5.8	İzmir
1668	38.41	27.20	-	İzmir
14 Şubat 1680	38.40	27.20	6.2	İzmir Carbon Köyü
10 Temmuz 1688	38.40	26.90	6.8	İzmir
13 Ocak 1690	38.60	27.40	6.4	İzmir
Eylül 1723	38.40	27.00	6.4	İzmir
4 Nisan 1739	38.50	26.90	6.8	İzmir, Eski/Yeni Foça, Gediz
24 Kasım 1772	38.80	26.70	6.4	İzmir ve Çevresi
3/5 Temmuz 1778	38.40	26.80	6.4	İzmir ve Çevresi
13 Ekim 1850	38.40	27.0	-	İzmir, Manisa,
3 Kasım 1862	38.50	27.90	6.9	Turgutlu, İzmir, Aydın ve çevresinde hissedilmiştir.
1 Şubat 1873	37.75	27.00	-	Sisam Adası, İzmir, Aydın
29 Temmuz 1880	38.60	27.10	6.7	Menemen, İzmir
15 Ekim 1883	38.3	26.2	6.8	Çeşme yarımadası
1 Kasım 1883	38.3	26.3	-	İzmir Körfezi ve Çeşme yarımadası

3.2.1 Aletsel Dönem Depremselliği

1900'lü yılların başından günümüz arasında bulunan zaman aralığında İzmir, Aydın Manisa, Ege denizi ve adalarda çok sayıda deprem meydana gelmiştir (Şekil 3.5) (İnt.Kyn.4). Bu dönemde İzmir ve çevresinde büyük hasar ve can kayıplarına neden olmuş birçok deprem olmuştur. En son olan depremlerden olan can kaybının ve maddi hasarın yüksek olduğu, 30 Ekim 2020 tarihinde Sisam adasının kuzeyin 'de 14:51'de meydana gelen aletsel büyüklüğü $M_w=6.9$ olan deprem meydana gelmiştir (Kandilli Rasathanesi). Söz konusu deprem özellikle bayraklı bölgesinde yıkıcı olmuştur. Bu deprem sonucunda 117 vatandaşımızın ölümüne ve birçok binanın yıkımına sebebiyet vermiştir. Deprem İzmir ve çevresinde geniş bir alanda hissedilmiştir. İzmir çevresinde 1900 yılı ve sonrası olan önemli depremler Çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.5 İzmir, Çevre iller ve Ege denizinde Aletsel dönemde gerçekleşen depremlerinin diri fay haritası üzerindeki görünümü (İnt.Kyn.4).

Çizelge 3.3 İzmir ve çevresinde 1900 yılı ve sonrası olan depremler (İnt.Kyn.4).

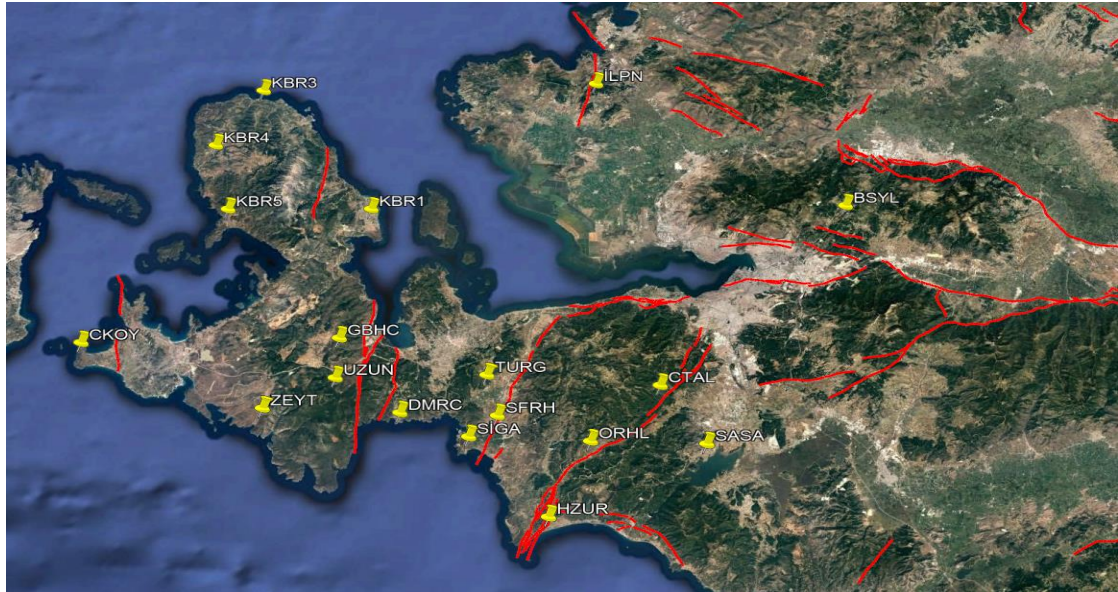
Tarih	Enlem (K)	Boylam (D)	Büyüklik (M)	Bölge
19 Ocak 1909	38.00	26.50	6.0	İzmir / Foça
31 Mart 1928	38.18	27.80	6.5	İzmir / Torbalı
22 Eylül 1939	39.07	26.94	6.6	İzmir / Dikili
23 Temmuz 1949	38.57	26.29	6.6	İzmir / Karaburun
2 Mayıs 1953	38.48	26.57	5.0	İzmir / Karaburun
16 Temmuz 1952	37.65	27.26	6.8	İzmir / Söke-Balat
19 Haziran 1966	38.55	27.35	4.8	İzmir / Menemen
6 Nisan 1969	38.47	26.41	5.9	İzmir / Karaburun
1 Şubat 1974	38.55	27.22	5.3	İzmir
16 Aralık 1977	38.41	27.19	5.5	İzmir
14 Haziran 1979	38.79	26.57	5.7	İzmir / Karaburun
6 Kasım 1992	38.16	26.99	5.7	İzmir / Doğanbey
24 Mayıs 1994	38.66	26.54	5.0	İzmir / Karaburun
10 Nisan 2003	38.26	26.83	5.6	İzmir / Urla
17 Ekim 2005	38.14	26.67	5.9	İzmir / Seferihisar / Sığacık
30 Ekim 2020	37.90	26.79	6.9	Ege Denizi Sisam Adası

4. UYGULAMA

4.1 Çalışma Bölgesi ve Oluşturulan GNSS Ağı

Ülkemizin üçüncü büyükşehri olan İzmir, 12000 km² yüzölçümü, 4.425.789 nüfusa sahip olup, birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. İzmir'in adı bölgede yaşamış olan Erektidlerin lideri olan These'nin Amazonlarda savaşıp galip gelerek Amazon kadını Smyrna ile evlendiği ve eşinin ismini bu yöreye koyduğu görüşü oluşmaktadır. Bölge İyonlar, Lidyalılar, Roma İmparatorluğu, Yunanlılar ve Osmanlı İmparatorluğu gibi birçok medeniyet yaşamıştır. 9 Eylül 1922 yılına kadar Yunanistan işgali altında olan İzmir Kurtuluş Savaşını sonucunda işgal altından kurtularak ülkemizin önemli sanayi, liman, turizm, tarım, sanat, spor ve eğitim anlamında önemli bir şehrimizdir.

İzmir bölgesi turizm anlamında yaz aylarında nüfusun arttığı ve sahil kısımlarında yapılaşmaların ona yönelik yoğunlaştığı görülmektedir. Son yıllarda İstanbul, Ankara gibi diğer Büyükşehirlerden'de yoğun şekilde göç aldığı görülmüştür. Bundan dolayı şehrin yine merkez kısmında konut ihtiyacının arttığı düşünülerek arsa ve konutların değerinin önemli bir artış gördüğü bilinmektedir. Bu sebeple birlikte mülkiyete altlık olan kadastral yapının güvenilirliği ön plana çıkmaktadır.



Şekil 4.1 Oluşturulan GNSS Ağı

Ülkemizde kadastral yapının güncellenmesi sürekli olarak TGKM tarafından yapılmaktadır. Ancak bulunduğumuz coğrafya tektonik açıdan aktif olduğu için bu kadastral yapıya konu olan ölçüm noktalarının güncellenmesi ve aynı zamanda konum doğruluklarının artırılması önem arz etmektedir. Bölgede 30 Ekim 2020 yılında Ege denizin Sisam adasında meydana gelen Mw=6.9 büyüklüğünde deprem sonrasında bu noktaların güncellenmesi gerekliliği ve deformasyonunun tespitinin yapılması önem kazanmıştır. Bu kapsamda 2015-2020 yılları arasında 18 adet kadastral noktaların GNSS ağı Tiryakioğlu vd. tarafından oluşturulmuştur (Şekil 4.1). Kullanılan noktaların konumları Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Nokta hızları

Nokta Adı	Boylam	Enlem	V_X (m/yıl)	V_Y (m/yıl)	V_Z (m/yıl)
Ctal	27.041	38.257	0.00219	0.00367	-0.00674
Hzur	26.900	38.068	-0.00068	0.00455	-0.01154
Ckoy	26.233	38.288	0.00254	0.00796	-0.00957
Zeyt	26.497	38.205	-0.00141	0.00675	-0.01405
Bsyl	27.290	38.527	-0.00013	0.00101	-0.00474
Dmrc	26.687	38.205	-0.00008	0.00653	-0.01082
Gbhc	26.592	38.309	-0.00003	0.00629	-0.01045
Ilpn	26.924	38.700	0.00203	0.00317	-0.00468
Kbr1	26.619	38.499	-0.00028	0.00478	-0.00854
Kbr3	26.445	38.672	0.00217	0.00497	-0.00709
Kbr4	26.386	38.586	0.00194	0.00555	-0.00783
Kbr5	26.415	38.491	0.00117	0.00574	-0.00874
Orhl	26.950	38.165	0.00038	0.00417	-0.00958
Sasa	27.109	38.178	0.00320	0.00335	-0.00652
Sfrh	26.821	38.206	-0.00023	0.00583	-0.00992
Siga	26.783	38.170	-0.00060	0.00601	-0.01086
Turg	26.801	38.263	0.00126	0.00619	-0.00796
Uzun	26.593	38.251	-0.00038	0.00650	-0.01150

4.2 GNSS Ölçüleri

Çalışma bölgesinde bulunan 18 GNSS noktasında daha önce 2015-2020 yılları arasında farklı çalışmalar kapsamında GNSS ölçüleri yapılmıştır (Eyübagil 2020, Kavak 2020, Solak 2020). Daha sonra çalışma bölgesi yakınlarında 30.10.2020 tarihinde $M_w=6.9$ büyüklüğünde Sisam depremi meydana gelmiştir. Deprem sonrası bölgedeki noktalarda meydana gelen kosismik deformasyonları belirlemek için 6-9 Kasım 2020 tarihleri arasında TÜBİTAK 1002C projesi desteği ile arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda tüm noktalarda Astech Z-xtrem ve Thales Z max marka GPS alıcıları 2 gün tekrarlı 8 saatlik ölçüler gerçekleştirilmiştir. Tüm noktalarda 15 sn kayıt aralığı ve 10 derece yükseklik açısı seçilmiştir.



Şekil 4.2 2020 yılı deprem sonrası DMRC noktası GNSS ölçümleri

Bu tez kapsamında ise aynı noktalarda 2021 ve 2022 yıllarında 2 kampanya ölçü daha yapılmıştır. 2021 yılındaki kampanya ölçüleri 19.06.2021 ile 27.12.2021 tarihleri

arasında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçülerde deprem sonrası ölçülere benzer şekilde yapılmıştır. Bu noktalardan pilye olanlarda 1 gün 8 saat zemin tesisi olanlarda ise 2 gün tekrarlı 8 saatlik GNSS ölçüsü yapılmıştır. Zemin tesislerinde ölçüler merkezlendirme ve anten yükseklik hatalarını minimize etmek için 2 gün tekrarlı ölçümler yapılmıştır.



Şekil 4.3 2021 yılı GNSS ölçümleri

2022 yılı ölçüleri ise 25.03.2022 ile 02.12.2022 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüler TUBİTAK 122Y259 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçülerde de 2021 yılındaki stratejiler ile ölçülmüştür. Toplamda 3 kampanya olarak ölçümler tamamlanmıştır.



Şekil 4.4 2022 yılı GNSS ölçümleri

4.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Elde edilen veriler GAMIT (GPS Analysis at MIT) / GLOBK (Global Kalman Filter) yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye 22 adet IGS istasyonu dahil edilerek global çözümler elde edilmiştir. GAMIT/GLOBK yazılımı ile yapılan çözümlerde kullanılan IGS istasyonları Çizelge 4.2 de, çözüm stratejileri Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.2 IGS istasyonları

Nokta Adı	Ülke	Şehir	Nokta Adı	Ülke	Şehir
ADIS	Etiyopya	Adis Ababa	LAUG	Lübnan	Lebanese
ANKR	Türkiye	Ankara	MATE	İtalya	Basılıcata
BAKU	Azerbaycan	Bakü	NICO	Kıbrıs	Lefkoşe
BOR1	Polonya	Wielkopolska	NOT1	İtalya	Sicilya
BUCU	Romanya	Bükreş	ONSA	İsveç	Onsala
CRAO	Ukrayna	Simeiz	POLV	Ukrayna	Poltava
DRAG	İsrail	Metzoki	POTS	Almanya	Brandenburg
GLSV	Ukrayna	Kiev	RAMO	İsrail	Ramon
GRAS	Fransa	Maritimes	SOFI	Bulgaristan	Sofya
GRAZ	Avusturya	Graz	TEHN	İran	Tahran
ISTA	Türkiye	İstanbul	TELA	İsrail	Telaviv
KOSG	Hollanda	Kootwijk	VILL	İspanya	Madrid
KUWT	Kuveyt	Kuveyt	ZECK	Rusya	Zelenchukskaya

Çizelge 4.3 Değerlendirme stratejisi ve parametreleri.

Veri Toplama Aralığı	15 saniye
Uydu Yükseklik Açısı	10 °
Yörünge Bilgisi	IGS-F
Anten Faz Merkezi Bilgisi	Yüksekliğe Bağlı Model (IGS14_2022_plus.atx)
Yer Dönme Parametre Bilgisi	USNO_bull_b
Çözüm İçin İterasyon Sayısı	4
Kullanılan Troposfer Model	Sastamoinen öncül standart modele dayalı olarak 2 saat
Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Çözümü	İyonosferden Bağımsız (Ionosphere-free)

2020 yılı deprem sonrası değerlendirmelerde her bir noktanın kartezyen koordinatları ölçü epöğunda elde edilmiştir. 30 Ekim 2020 Sisam depreminin bölgedeki noktalara etkisinin belirlenmesi için deprem öncesinde diğer çalışmalarda (Eyübagil 2020, Kavak 2020, Solak 2020) yapılan en son GNSS ölçüleri de GAMIT/GLOBK yazılımı ile


değerlendirilerek ölçü epogunda ITRF96 datumunda kartezyen koordinatları elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Ölçü epokları

Nokta Adı	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ctal	88. gün			311. gün	351. gün	265. gün
Hzur	87. gün			310. gün	349. gün	266. gün
Ckoy		145. gün		312. gün	349. gün	265. gün
Zeyt		146. gün		312. gün	351. gün	264. gün
Bsyl			325-326. gün	313. gün	349. gün	266. gün
Dmrc			201. gün	312. gün	351. gün	265. gün
Gbhc			200. gün	312. gün	351. gün	265. gün
Ilpn			270. gün	313. gün	349. gün	266. gün
Kbr1		321. gün	292. gün	312. gün	343. gün	266. gün
Kbr3		321. gün	292. gün	311. gün	343. gün	264. gün
Kbr4		321. gün	292. gün	311. gün	343. gün	264. gün
Kbr5		321. gün	292. gün	311. gün	342. gün	264. gün
Orhl			326. gün	310. gün	342. gün	264. gün
Sasa			326. gün	310. gün	342. gün	266. gün
Sfrh		146. gün	312. gün	308. gün	347. gün	265. gün
Siga			313. gün	310. gün	347. gün	264. gün
Turg			202. gün	312. gün	347. gün	264. gün
Uzun			313. gün	312. gün	347. gün	264. gün

Depremin noktalar üzerindeki deformasyonu belirlemek için noktaların depremin 1gün öncesine epok ötelemesi yapılması gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle kartezyen koordinatlar ITRF 96 datumundaki hızları gerekmektedir. Daha önceki çalışmalarda bu hızlar İzmir bölgesinde bulunan TUSAGA-Aktif istasyonları ve TUTGA noktalarının hızları kullanılarak enterpolasyon yöntemiyle hesaplanmaktadır (Çınar 2021). Tez kapsamında bu hızlar HGM tarafından 2022 yılı Haziran ayında yayınlan Türkiye Ulusal Hız Alanından (TUREF Hız Alanı) alınmıştır. Bu hız alanı TUTGA ve TUSAGA-Aktif noktalarına ilave olarak, HGM de mevcut jeodinamik, mareograf istasyonlarında bulunan GPS noktaları ile bazı kurum ve belediyelerin istasyonları da

yer almaktadır. Belirlenen nokta hızlarından yola çıkarak tüm noktalar istatistiksel olarak anlamlı 5 bölgeye ayrılmıştır. Çalışmada oluşturulan bölgeler ve TUREF hızları verilmiştir. Müteakiben, bu bölgelerden oluşturulan 6'x6' çözünürlüklü grid dosyaları ile kullanıcının konumunu girdiği noktada hız bilgisini elde etmesini sağlayan bir uygulama geliştirilerek HGM web sitesinde Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından Türkiye Ulusal Hız Alanı (TUREF Hız Alanı) adresinde kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu web sitesinde hız kestirimi yapılacak noktanın enlem ve boylam konum bilgisine dayalı olarak TUREF Datumu-ITRF 96 hızları (V_x , V_y , V_z) sorgulanabilmektedir (İnt.Kyn.6). Web sitesine dair ekran görüntüsü Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu çalışmada deprem öncesi ana ilişkin koordinat ötelemesi için HGM web sitesinden elde edilen noktasal hızlar Çizelge 4.5 de verilmiştir.



TUREF HIZ ALANI-2020

Hız Kestirimi Yapılacak Noktanın Enlem ve Boylamını Giriniz: (Nokta Türkiye sınırları içerisinde olmalıdır)

Enlem (°):

Boylam (°):

Sonuçlar (TUREF Datumu-ITRF96 Hızları) :

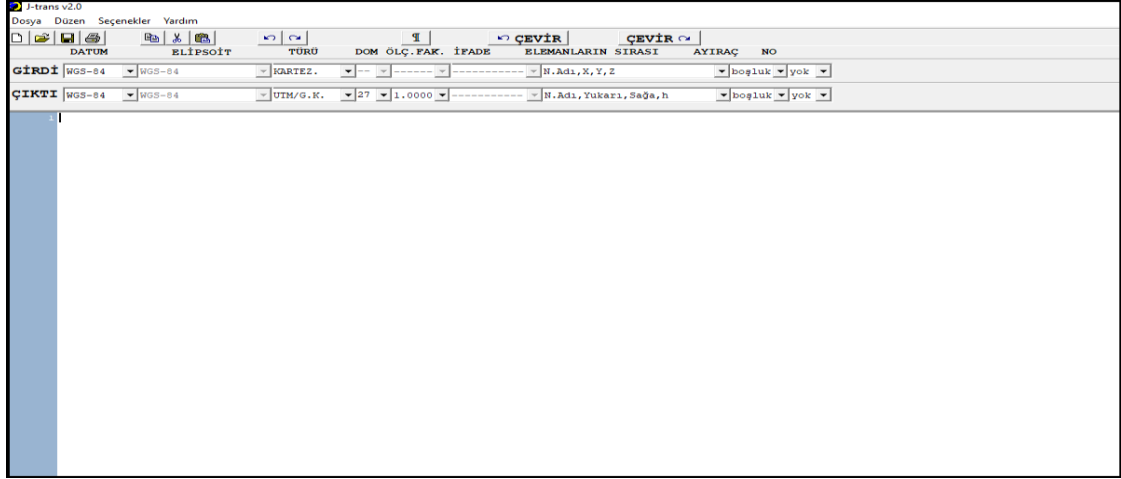
V_x (m/yıl):	-0.00027
V_y (m/yıl):	0.00477
V_z (m/yıl):	-0.00853

Şekil 4.5 HGM web sitesinde hız kestirimi yapılacak noktanın enlem ve boylam bilgisine dayanarak V_x , V_y , V_z hızlarını sorgulama ekranı (İnt.Kyn.6).

Çizelge 4.5 Enterpolasyon hızları

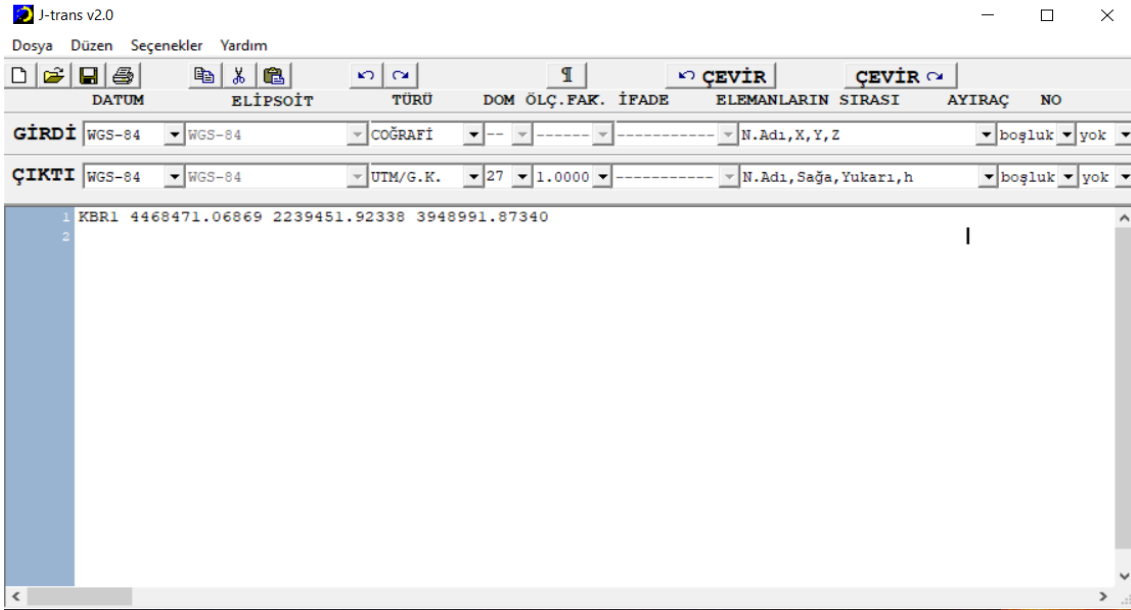
Nokta Adı	V_X (m/yıl)	V_Y (m/yıl)	V_Z (m/yıl)
Ctal	0.0022	0.0037	-0.0067
Hzur	-0.0007	0.0046	-0.0115
Ckoy	0.0025	0.0080	-0.0096
Zeyt	-0.0014	0.0068	-0.0141
Bsyl	-0.0001	0.0010	-0.0047
Dmrc	-0.0001	0.0065	-0.0108
Gbhc	-0.0001	0.0063	-0.0105
Ilpn	0.0020	0.0032	-0.0047
Kbr1	-0.0003	0.0048	-0.0085
Kbr3	0.0022	0.0050	-0.0071
Kbr4	0.0019	0.0056	-0.0078
Kbr5	0.0012	0.0057	-0.0087
Orhl	0.0004	0.0042	-0.0096
Sasa	0.0030	0.0034	-0.0065
Sfrh	0.0000	0.0058	-0.0099
Siga	-0.0010	0.0060	-0.0109
Turg	0.0013	0.0062	-0.0080
Uzun	-0.0004	0.0065	-0.0116

Deprem öncesine ötelenen kartezyen koordinatlar ve deprem sonrası hesaplanan koordinatlar Jtrans programı kullanılarak yukarı sağa ve yükseklik bileşenlerine çevrilmiştir. Jtrans programının görseline ait ekran görüntüsü Şekil 4.6'da görülmektedir.



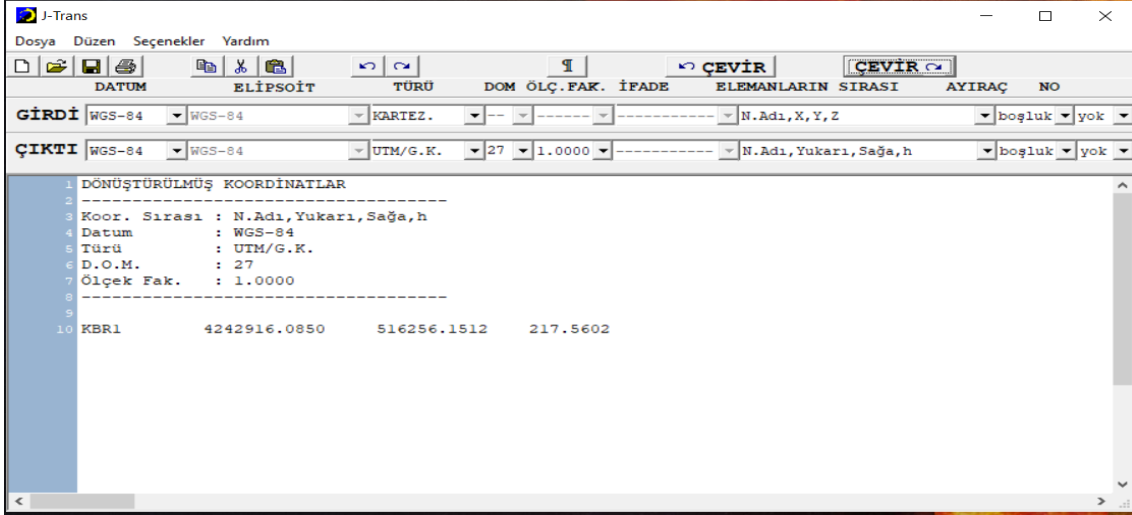
Şekil 4.6 J-trans programının arayüzüne ait ekran görüntüsü.

Şekil 4.6’da J-trans programına ait görselde herhangi bir noktanın verisinin datum, elipsoit, koordinat türü ve dönüşüm yapılacak noktanın elemanlarına ilişkin özellikler kullanılmaktadır. Oluşturduğumuz GNSS ağına ait KBR1 noktasının Kartezyen koordinatları dönüşümden önceki girdisi Şekil 4.7’teki görülmektedir.



Şekil 4.7 Oluşturulan GNSS ağındaki KBR1 noktasının Kartezyen koordinatları.

J-trans programı ile KBR1 noktasının dönüşüm işlemi yapılarak, oluşan UTM/Gauss Kruger projeksiyon koordinatları ise Şekil 4.8’de görülmektedir.

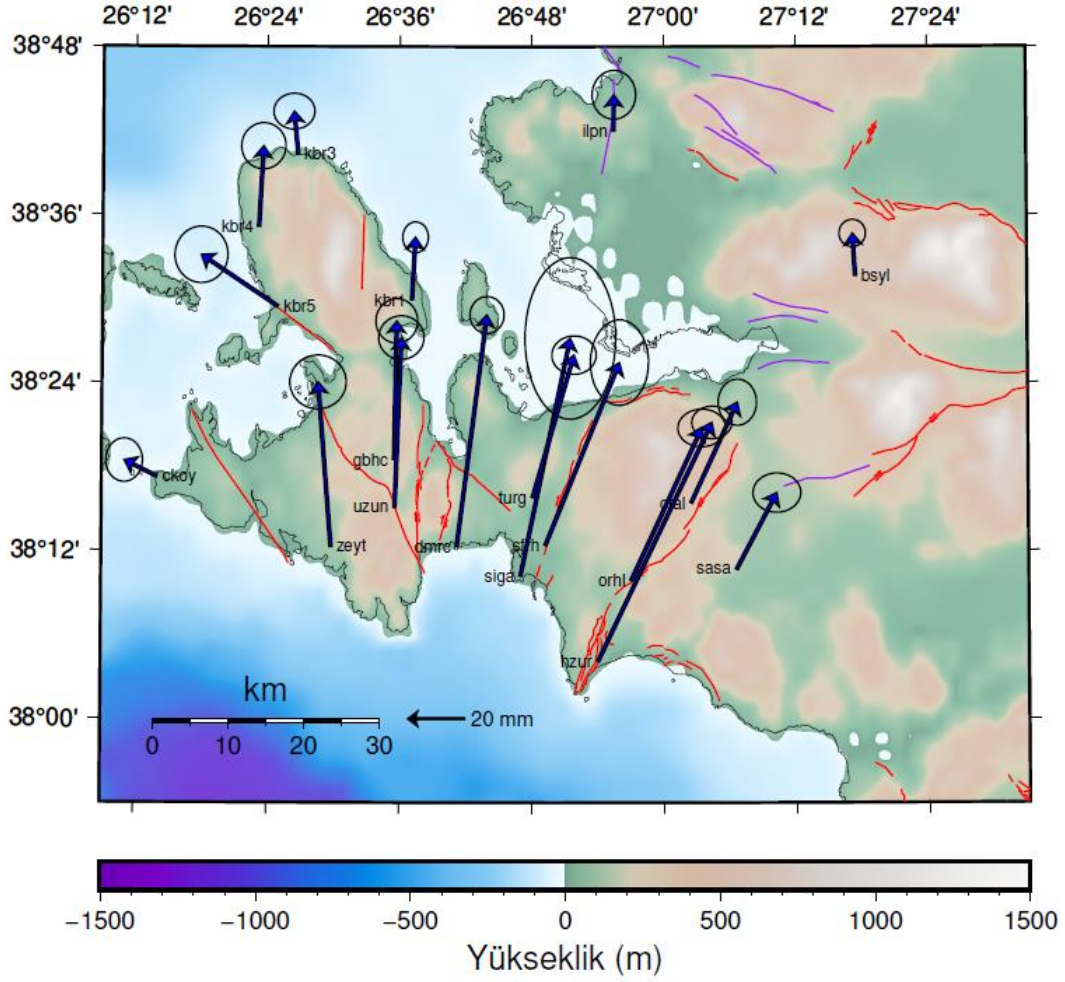


Şekil 4.8 Oluşturulan GNSS ağındaki KBR1 noktasının UTM koordinatları.

Yukarıda anlatılan aşamalar 2021-2022 yılı ölçüleri değerlendirilmeleri içinde kullanılmış ve ölçü epoklarında ITRF 96 koordinatlar hesaplanmıştır.

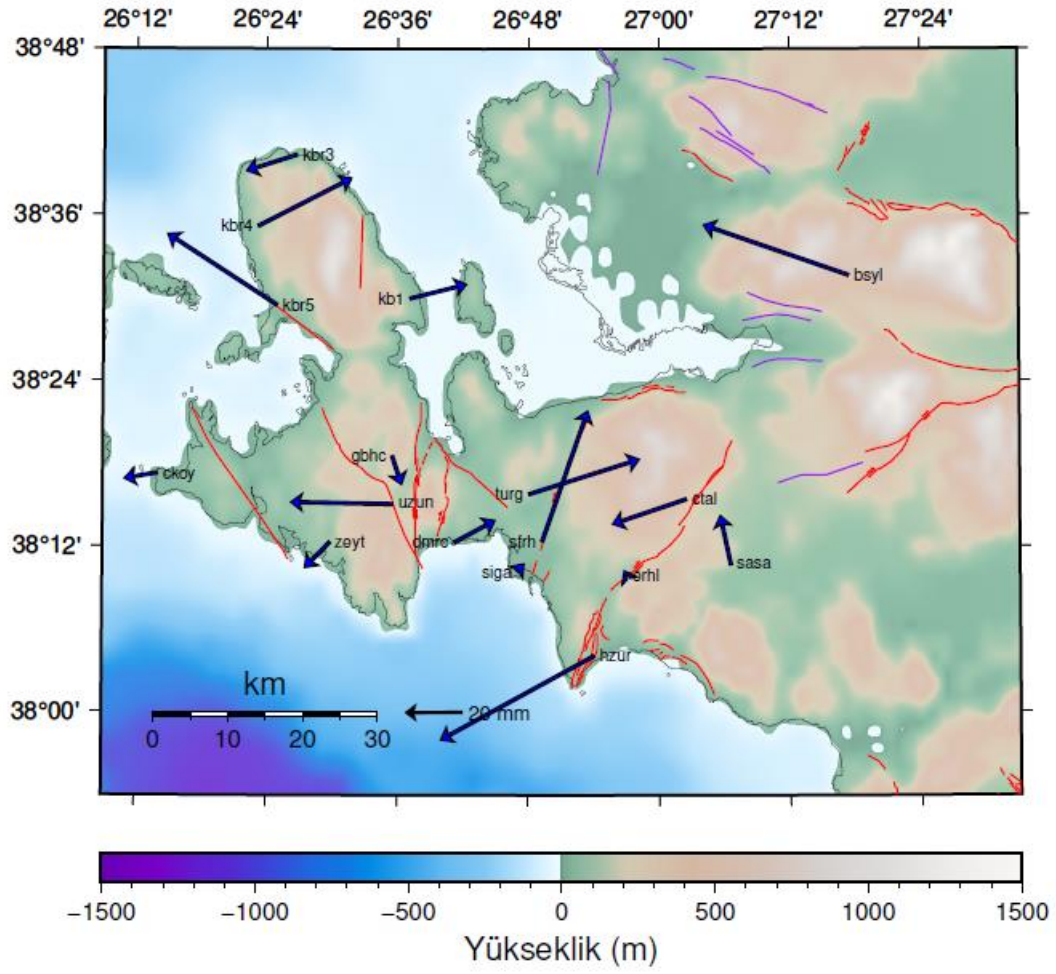
4.4 Koordinat Farklarının Hesaplanması

Tüm GNSS ölçü sonuçlarından elde edilen koordinatlardan koordinat farklarının hesaplanması kartezyen koordinat ve TUREF'e (North, East) göre ayrı ayrı yapılmıştır. 30.10.2020 de meydana gelen depremdeki TUREF sistemindeki koordinat değişimleri Aktuğ vd. (2021) yayınlanmış olup o değerler doğrudan kullanılmıştır (Şekil 4.9). Buna göre deprem sonrasında en yüksek öteleme ~136 mm ile SIGA noktasındadır.

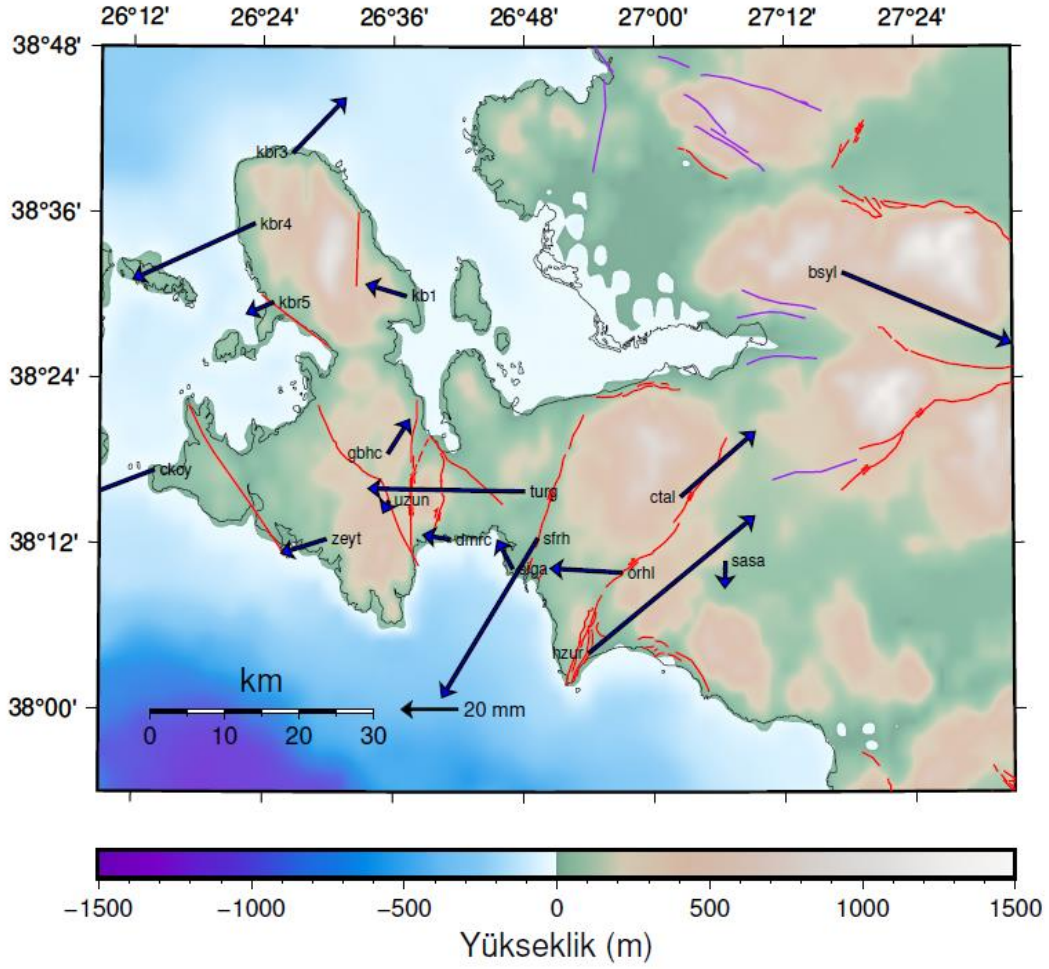


Şekil 4.9 Deprem sonrası atım miktarları (Aktuğ vd. 2021).

Kartezyen koordinatlar arasındaki farkların deprem anı değişimlerinin belirlenmesi için 2020-2019 yıllarındaki koordinatlardan gerekli epok ötelemeleri yapıldıktan sonra farklar alınmıştır. Deprem sonrası dönemlerde ise 2020-2021 ve 2021-2022 yılları arasındaki koordinat farkları hesaplanmış olup Çizelge 4.6'da verilmiştir. Elde edilen farklar görselleştirilerek Şekil 4.10-4.11'de verilmiştir. Ayrıca Yukarı (North) ve Sağa (East) bileşen farkları Çizelge 4.7'de verilerek SURFER yazılımında oluşturulan deformasyon yüzey haritaları Şekil 4.14-4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.10 2020-2021 yılı kartezyen koordinat değişimi

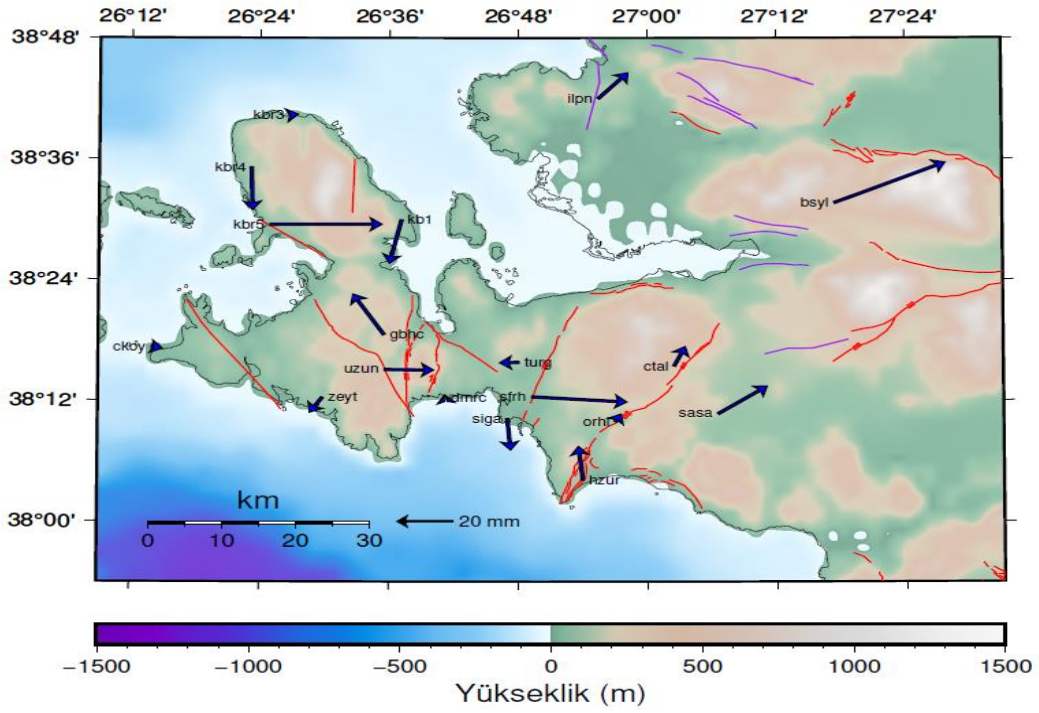


Şekil 4.11 2021-2022 yılı kartezyen koordinat değişimi

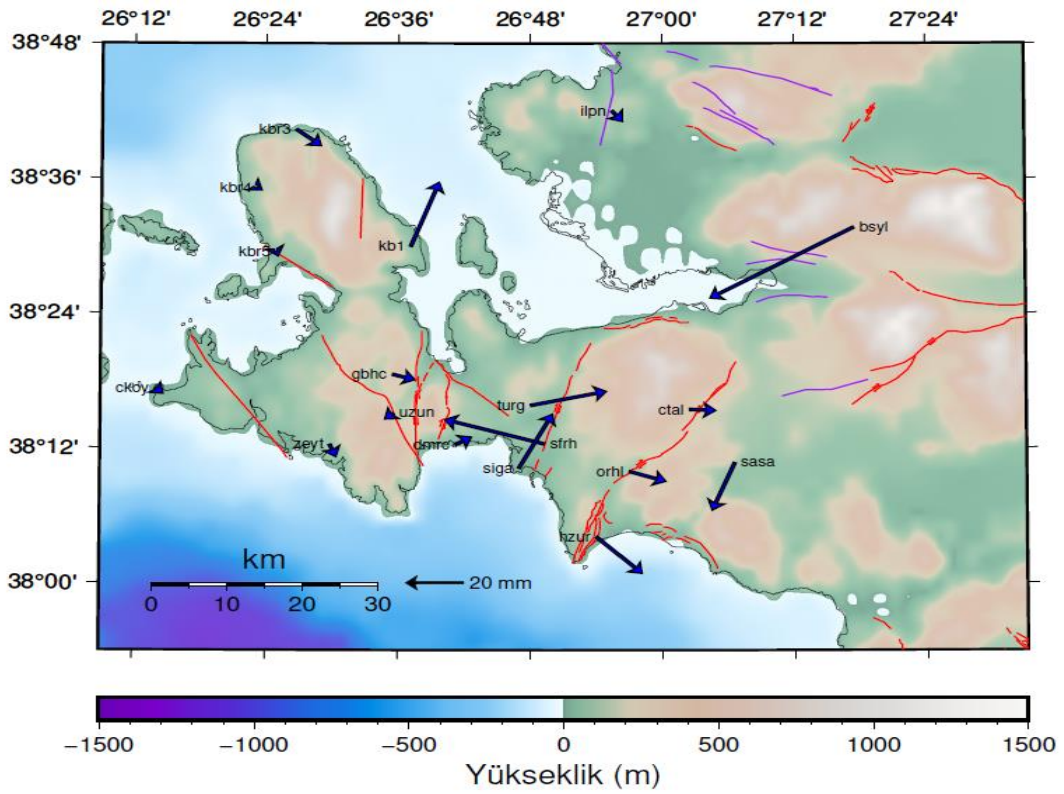
Şekil 4.10 incelendiğinde 2021-2020 farklarının (kartezyen) East bileşeni için -53.3 ile HZUR noktasında, North bileşeni için ise 45.37 mm ile SFRH noktasında olduğu görülmektedir. Şekil 4.11 incelendiğinde ise 2022-2021 farklarının East bileşeni için 58.64 mm ile BSYL noktasında, North bileşeni için ise -55.12 mm ile SFRH noktasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6 Kartezyen koordinat farkları

Nokta Adı	East	North	2021-2020			2022-2021		
			D_X (mm.)	D_Y (mm.)	Yıl Farkı	D_X (mm.)	D_Y (mm.)	Yıl Farkı
Ctal	26.5	57.4	-25.58	-8.49	1	25.84	22.41	1
Hzur	65.3	136.6	-53.30	-28.90	1	57.71	47.38	1
Ckoy	-20.1	13	-11.39	-1.97	1	-27.56	-10.58	1
Zeyt	-7.3	99.5	-8.67	-8.85	1	-15.56	-4.85	1
Bsyt	-4.3	28.3	-50.22	17.85	1	58.64	-25.14	1
Dmrc	16.3	130.8	14.16	7.58	1	-9.37	1.64	1
Gbhc	0.6	76.8	3.27	-9.94	1	7.41	11.73	1
Ilpn	-1.2	26.4	-0.77	10.88	1	7.57	9.67	1
Kbr1	2.4	36.2	19.57	4.84	1	-13.85	4.17	1
Kbr3	-2.2	25.2	-17.47	-5.53	1	18.24	18.98	1
Kbr4	1.5	46.4	32.32	16.59	1	-42.35	-19.26	1
Kbr5	-45.1	28.5	-37.96	24.81	1	-9.36	-4.01	1
Orhl	40.2	86.3	-0.87	1.65	1	-24.85	1.64	1
Sasa	22.7	43.1	-3.65	17.12	1	-0.28	-9.10	1
Sfrh	19.7	97.4	15.80	45.37	1	-33.30	-55.12	1
Siga	23.3	132.6	2.37	2.63	1	-5.28	9.92	1
Turg	22.9	80.4	38.33	12.00	1	-54.39	1.31	1
Uzun	4.3	96.4	-35.44	0.80	1	-1.97	-4.03	1



Şekil 4.12 2020-2021 yılı TUREF koordinat farkları.

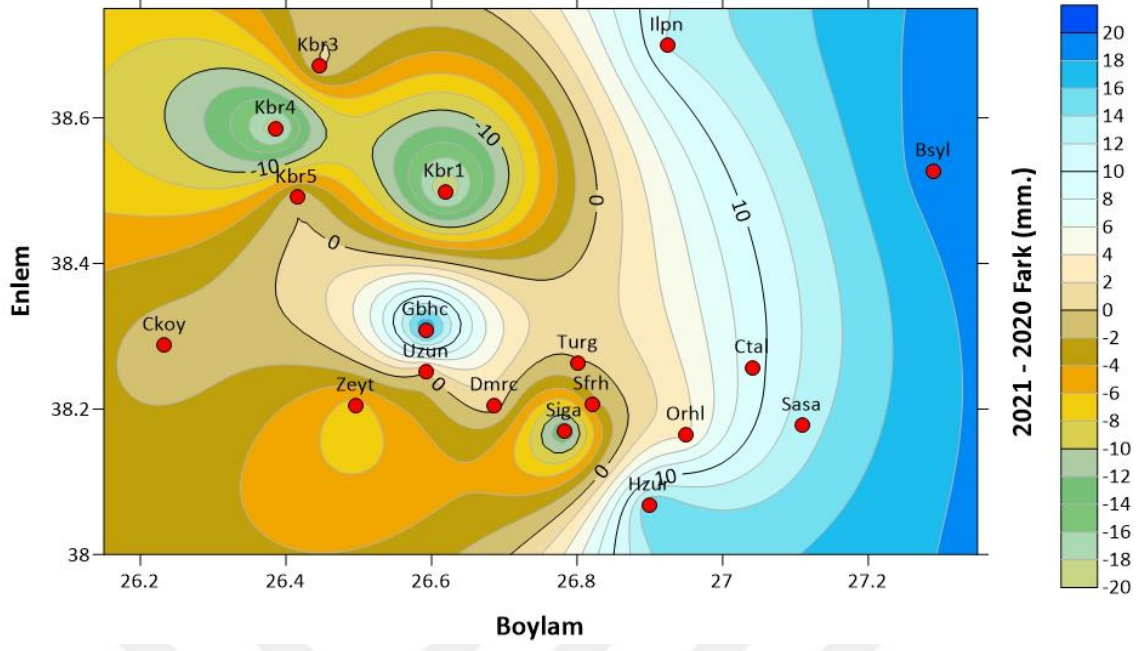


Şekil 4.13 2021-2022 yılı TUREF koordinat farkları.

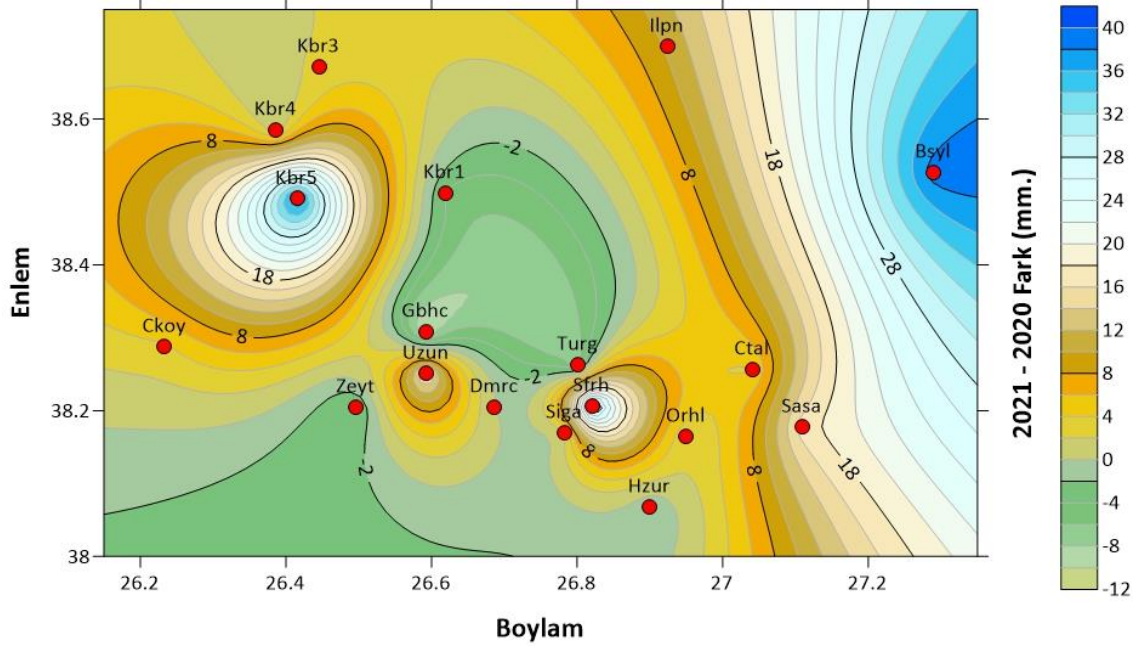
Şekil 4.12 incelendiğinde 2021-2020 farklarının (TUREF) Sağa bileşeni için 39.27 ile KBR5 noktasında, Yukarı bileşeni için ise -20.7 mm ile KBR1 noktasında olduğu görülmektedir. Şekil 4.13 incelendiğinde ise 2022-2021 farklarının Sağa bileşeni için -49.42 mm ile BSYL noktasında, Yukarı bileşeni için ise -29.94 mm ile yine BSYL noktasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7 Yukarı ve Sağa Bileşen Farkları

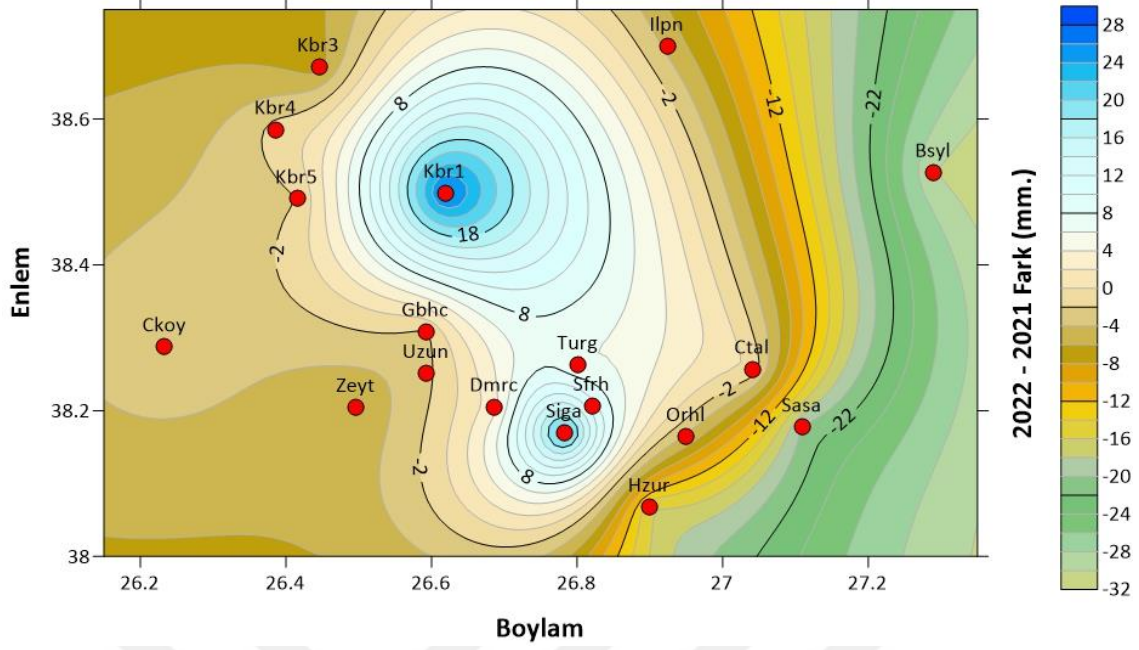
Nokta Adı	East	North	2021-2020			2022-2021		
			Sağa	Yukarı	Yıl Farkı	Sağa	Yukarı	Yıl Farkı
Ctal	26.5	57.4	3.87	9.17	1	8.96	-0.52	1
Hzur	65.3	136.6	-1.62	16.05	1	15.74	-15.74	1
Ckoy	-20.1	13	3.62	-0.82	1	2.71	-2.45	1
Zeyt	-7.3	99.5	-4.42	-7.12	1	2.21	-5.32	1
Bsyl	-4.3	28.3	38.96	18.98	1	-49.42	-29.94	1
Dmrc	16.3	130.8	-0.15	1.23	1	5.54	3.18	1
Gbhc	0.6	76.8	-10.89	19.33	1	7.66	-2.36	1
Ilpn	-1.2	26.4	10.32	12.17	1	3.59	-4.56	1
Kbr1	2.4	36.2	-4.23	-20.70	1	9.72	27.40	1
Kbr3	-2.2	25.2	2.84	0.46	1	8.46	-6.94	1
Kbr4	1.5	46.4	0.37	-20.37	1	1.52	-1.14	1
Kbr5	-45.1	28.5	39.27	0.00	1	0.63	-2.02	1
Orhl	40.2	86.3	2.02	3.58	1	12.47	-4.28	1
Sasa	22.7	43.1	17.16	13.03	1	-7.81	-20.28	1
Sfrh	19.7	97.4	33.36	-2.61	1	-34.19	10.63	1
Siga	23.3	132.6	1.18	-15.05	1	11.52	23.05	1
Turg	22.9	80.4	-6.74	-0.18	1	25.99	5.89	1
Uzun	4.3	96.4	17.18	-0.31	1	-2.93	-2.44	1



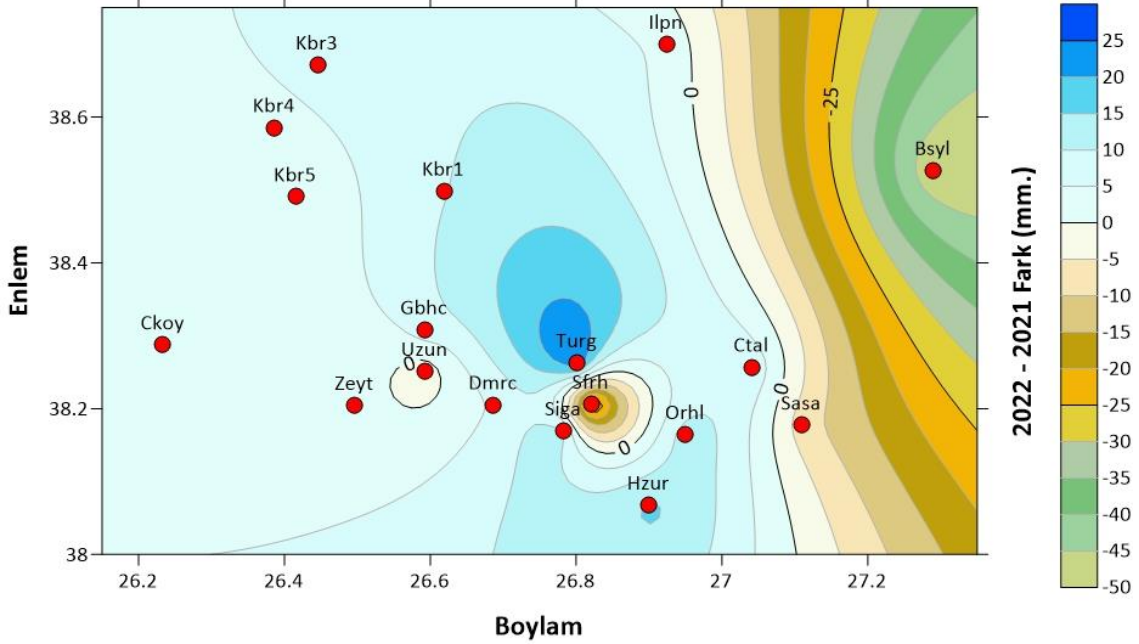
Şekil 4.14 2021-2020 Yukarı bileşen farkına ait deformasyon yüzey haritası.



Şekil 4.15 2021-2020 Sağa bileşen farkına ait deformasyon yüzey haritası.



Şekil 4.16 2022-2021 Yukarı bileşen farkına ait deformasyon yüzey haritası.



Şekil 4.17 2022-2021 Sağa bileşen farkına ait deformasyon yüzey haritası.

Surfer programında çizilen Şekil 4.14-17 arasındaki noktalara ait yüzey haritasında Sağa ve Yukarı bileşenlerinde farklılıkların olduğu eşyükselti eğrilerden anlaşılmaktadır. Örnek olarak BYSL noktası Şekil 4.15'de Sağ bileşende + 40 mm. olarak gözükmemekte olup, Şekil 4.17'de Sağ bileşende - 50 mm. olarak gözükmemektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada 30 Ekim 2020 de Mw:6.9 büyüklüğündeki Sisam depremi sonrası bölgedeki koordinatların zamansal değişimi incelenmiştir. Depremden sonra yapılan 2020 yılı ölçüleri ile depremin kosismik etkisi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için deprem öncesi noktalarında yapılan ölçülerden depremin 1 gün öncesine epok taşımalar yapılmıştır. Bu hesaplama ile bölgede deprem merkezüsüne en yakın nokta olan SIGA ve DMRC istasyonlarında kuzey yönlü yaklaşık 130 mm doğu yönlü 25 mm koordinat değişimleri hesaplanmıştır. Depremin merkez üssünden uzaklaştıkça koordinat değişiminin miktarlarında azalama görülmekle beraber genel olarak yukarı değerlerde 5-90 mm arasında, sağa değerlerde ise 1-65 mm arasında değişmektedir.

TUREF sistemi için kartezyen koordinatlardan 2020-2021 ve 2021-2022 yılları arasında da koordinat değişimleri hesaplanıp daha sonra sağa ve yukarı değerler dönüşüm yapılmıştır. Kartezyen koordinatlardaki deprem sonrası deprem öncesi yıllık değişimler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla HGM sitesinden nokta bazında yıllık değişim miktarları olan kartezyen hız değerleri ile deprem sonrası yıllık koordinat değerleri karşılaştırılmıştır. Depremden hemen sonrasındaki yıl olan 2020-2021 yıllarındaki koordinat değişimleri incelendiğinde bileşenlerde doğu 53 ve kuzey 45 mm kadar farklar hesaplanmıştır. Bu farklar özellikle deprem merkez üssüne yakın noktalarda daha fazla olduğu görülmüştür. Benzer şekilde 2021-2022 yılları arasında da koordinat farklarına ile deprem öncesi koordinatlar arasındaki farklar hesaplanmış doğu 59 ve kuzey 55 mm farklar bulunmuştur.

Ülkemizde meydana gelen büyük depremlerden sonra post sismik dönemlerde özellikle normal hareketten farklı olduğu bilinmektedir. Bu hareketler deprem öncesi hareketlere dönebilmesi için depremden sonra deprem büyüklüğüne göre 10 yıla kadar uzun zamanlar gerekebilir. 30 Ekim 2020 tarihinde Sisam depremi sonrası İzmir civarı meydana gelen deformasyonların 2 yıllık sürede farklı yön ve büyüklüklerde olduğu görülmektedir. Bu durum, özellikle kadastral çalışmalar için deprem öncesi hızlar ile post sismik dönemden koordinat taşınmasında farklı sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle özellikle büyük depremler sonrası yapılacak kadastral

Çalışmalarda post sismik dönemlerde sabit noktaların koordinatlarının belirli periyotlarda kontrol edilmesi gerekmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Aksu A E, Piper D J W, Konuk T, 1987, Late Quaternary and sedimentary history of outer İzmir and Çandarlı bays, western Turkey, *Marine Geology*, 76, 89-104.
- Aktuğ B, Seymen S, Kurt M, Parmaksız E, Lenk O, Sezer S, Özdemir S, (2011a), ED-50 (European datum-1950) ile TUREF (Türkiye Ulusal referans çerçevesi) arasında datum dönüşümü, *Harita Dergisi*, 8-17.
- Aktuğ B, Sezer S, Özdemir S, Lenk O, Kılıçoğlu A, (2011b), Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı güncel koordinat ve hızlarının hesaplanması, *Harita Dergisi*, 145, 1-14
- Aktuğ B, Tiryakioğlu I, Sözbilir H, Özener H, Özkaymak Ç, Yiğit C O, Solak H İ, Eyübagil E E, Gelin B, Tatar O, Softa M, 2021, GPS Derived Finite Source Mechanism of the 30 October 2020 Samos Earthquake, Mw=6.9 in Aegean extensional region, *Turkish J Earth Sci*, 718-737.
- Ambraseys N N, Jackson J A, 1998, Faulting Associated with Historical and Recent Earthquakes in the Eastern Mediterranean Region, *Geophysical Journal International* 133, 390–406.
- Barka A, Reilinger R, Emre Ö, 2000, Orta Batı Anadolu transform/ridge/transform üçlü eklemi. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000), *Bildiriler Kitabı*, s.39, İzmir.
- Doğan O, 2021, Denizli Bölgesinde Gerinin Alanlarının Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Emre Ö, Özalp S, Doğan A, Özaksoy V, Yıldırım C, Gökteş F, 2005, İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları Potansiyelleri, MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Rapor No: 10754
- Emre Ö, Özalp S, 2011, 1: 250,000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Urla (NJ 35-7) Paftası, Seri No: 5, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

- Eyübagil E, 2020, GNSS Ölçüleri ile Tektonik Hareketlerin Modellenmesi: Gülbahçe Fayı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Haçin İ, 2014, 1939 Erzincan Büyük Depremi. Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi, 37-70.
- Halıcioğlu K, Özener H, 2008, Geodetic Network Design and Optimization on the Active Tuzla Fault (Izmir, Turkey) for Disaster Management.
- Gezgin C, 2020, GNSS ve INSAR Teknikleri İle Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) Kinematik Analizi, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Gezgin C, Ekercin S, Tiryakioğlu İ, Aktuğ B, Erdoğan H, Gürbüz E, Orhan O, Bilgiliolu S S , Torun A T, Gündüz H İ, Oktar O, Türkmen C, Kaya E, 2022, Determination Of Recent Tectonic Deformations Along The Tuz Gölü Fault Zone In Central Anatolia (Turkey) With Gns Observations, Turkish J Earth Sci, 31, 20-33.
- Kalafat D, Güneş Y, Kekovalı K, Kara M, Deniz P, Yılmazer M, 2011, Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2010 $M \geq 4.0$), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- Kavak S, 2020, GNSS Ölçüleriyle Fayların İzlenmesi: Karaburun Fayı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Kurt A İ, Cingöz A, Özdemir S, Peker S, Özel Ö, Simav M, 2020, Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) Güncel Koordinat ve Hızlarının GNSS Verilerinin Yeniden Değerlendirilmesi Kapsamında Hesaplanması, Harita Dergisi, 1-17.
- Mustafa M, 2017, Duhok Bölgesi İçin Koordinat Dönüşümü Parametre ve Yöntemlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Ergintav S, Georgiev I, 2000, Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics And Dynamics in the

Eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research, 5695-5719.

Ocakoğlu N, Demirdağ E, Kuşçu I, 2004, Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası, Western Turkey: Evidence of strikeslip faulting in the Aegean extensional province, Tectonophysics, 67–83.

Ocakoğlu N, Demirdağ E, Kuşçu I, 2005, Neotectonic structures in Izmir Gulf and surrounding regions (Western Turkey): evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime, Marine Geology, 155–171.

Papazachos B C, Comninakis P E, Karakaisis G F, Karakostas B G, Papaioannou C A, Papazachos C B, et al. 2000, A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC– 1999, Publication of the Geophysical Laboratory, University of Thessaloniki.

Poyraz F, 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesimde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Poyraz F, Hastaoğlu K O, Koçbulut F, Tiryakioğlu İ, Tatar O, Demirel M, Duman H, Aydın C, Ciğer A F, Gursoy O, Turk T, Sıgırcı, R, Determination Of The Block Movements In The Eastern Section Of The Gediz Graben (Turkey) From Gns Measurements, 2019, Journal of Geodynamics, doi.org/10.1016/j.jog.2018.11.001, 38–48.

Reilinger R, McClusky S, Vernant P, Lawrence S, Ergintav S, Cakmak R, vd., 2006, GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia- Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, Tectonics,

Sezer L İ 2005, Karaburun (İzmir) Yöresinde Deprem Aktivitesi ve Riski, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu (TURQUA-V), 2-5 Haziran, İstanbul, 14.

Solak İ, 2020, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu ve Çevresindeki Güncel Deformasyonların GNSS Yöntemi ile Güncellenmesi, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Şaroğlu F, Emre Ö, Kuşçu İ, 1992, Türkiye diri fay haritası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Tatar Ö, Baytimur S O, 2020, 1789-1808 YILLARI ARASINDA OSMANLI DEVLETİ'NDE DEPREMLER VE METEOROLOJİK ÂFETLER. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 505-518. DOI: 10.18069/firatsbed.705887
- Tiryakioğlu İ, 2012a, Gnsş Ölçüleri İle Güneybatı Anadolu'da'ki (GBA) Blok Hareketleri ve Gerilme Alanlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tiryakioğlu İ, Yavaşoğlu H, Uğur M A, Özkaymak Ç, Yılmaz M, Kocaoğlu H, Turgut B, 2017, Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van Earthquakes Using Long-Term GNSS Time Series, 2017.Earth Science Research Journal, 147-156.
- Tiryakioğlu İ, Yiğit C O, Özkaymak Ç, Baybura T, Yılmaz M, Uğur M A, Yalçın M A, Poyraz F, Sözbilir H, Gülal E, 2019, Active Surface Deformations Detected By Precise Levelling Surveys In The Afyon-Akşehir Graben, Western Anatolia, Turkey GEOFİZİKA, 33–52.
- Uzel T, Eren K, Gülal E, Tiryakioğlu İ, Dindar A A, Yılmaz H, 2013, Monitoring The Tectonic Plate Movements In Turkey Based On The National Continuous GNSS Network,. Arabian Journal of Geoscience, 3573–3580,
- Uzel B, 2013, Geologic evolution of İzmir Balıkesir Transfer Zone: A Crustal Scale, Structure Reorganizing Extensional Tectonics In Western Anatolia, Türkiye, M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School Of Natural and Applied Sciences, İzmir.
- Yalvaç S, 2020, Determining the Effects of the 2020 Elazığ-Sivrice/Turkey (Mw 6.7) Earthquake from the Surrounding CORS-TR GNSS Stations, Gümüşhane Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği, Gümüşhane.
- Yavasoglu H H, Tiryakioğlu İ, Karabulut M F, Eyübagil E E, Ozkan A, Masson F, Klein E, Gulal V E, Alkan R M, Alkan M N, Isiler M, Arslan A E, 2021, New Geodetic Constraints to Reveal Seismic Potential of Central Marmara Region, Turkey, “Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 62, n. 3, pp. 513-526

Wilson M, 1989, Review of igneous petrogenesis: aglobal tectonic approach. Terra Nova, 218-222.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/07/20050715-5.htm> (BÖHNBÜY).
15/01/2023
- 2- <https://www.bingol.edu.tr/media/254912/2-Koordinat-Sistemleri-ve-Donusumler.pdf> 15/01/2023
- 3- https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/JEODEZI_BUKRDAE_GED.pdf 15/01/2023
- 4- MTA, 2005, İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri, Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No:10754. 15/01/2023
- 5- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari> 15/01/2023
- 6- <https://www.harita.gov.tr/TUREFHIZALANI> 15/01/2023