



**KÜMELEME ANALİZİ İLE BATI ANADOLU
TEKTONİK BLOK MODELİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Şeyma ŞAFAK YAŞAR

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2024

Bu tez çalışması 22.FEN.BİL.32 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

KÜMELEME ANALİZİ İLE BATI ANADOLU
TEKTONİK BLOK MODELİNİN BELİRLENMESİ

Şeyma ŞAFAK YAŞAR

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Şeyma ŞAFAK YAŞAR tarafından hazırlanan “Tez Onay Sayfası” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 29 / 01 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Başkan : Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN
Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ
Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

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

Üye : Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR
Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

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

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN
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.

29 / 01 / 2024

İmza

Şeyma ŞAFAK YAŞAR

ÖZET

Doktora Tezi

KÜMELEME ANALİZİ İLE BATI ANADOLU TEKTONİK BLOK MODELİNİN BELİRLENMESİ

Şeyma ŞAFAK YAŞAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Anadolu Plakası farklı tiplerde fayların bulunduğu önemli bir tektonik yapıdır. Bu çalışmada ilk olarak Anadolu Plakası üzerinde bulunan 841 adet GNSS noktasının yatay hız verileri kullanılarak kümeleme analizi yardımıyla blok sınır çalışması yapılmıştır. İkinci olarak Anadolu Plakası üzerinde oldukça karmaşık tektonik yapısıyla dikkat çeken Batı Anadolu Bölgesi'nde 402 adet kampanya tipindeki ölçülerin değerlendirilmesiyle elde edilen yatay hız verisi ile kümeleme analizi yapılmıştır. Anadolu Plakası için en uygun küme sayısının belirlenebilmesi için Elbow Metodu, Calinski-Harabasz Skoru, Silhouette Skoru ve Davies-Bouldin İndeks algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar yardımıyla çalışma bölgesi için en uygun küme sayısı sırasıyla 7, 8 ve 9 olarak belirlenmiştir. Ardından K-Means algoritması kullanılarak kümeleme analizi yapılmıştır. Analize literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak nokta konum bilgisini içeren parametre de dahil edilmiştir. Kümeleme sonucunda oluşan blok sınırları aktif fay zonlarını ve depremler sonucu oluşan yüzey kırıklarını takip etmektedir. Anadolu Plakası üzerindeki blok model sınır çalışmasında 3 adet blok sınırı daha önceki çalışmalardan farklı olarak tanımlanmıştır. Kümeleme analizindeki tüm parametreler değerlendirildiğinde en uygun küme sayısı Anadolu Plakası için 8 olarak sunulmuştur. Batı Anadolu Bölgesi'nde 402 adet kampanya tipindeki ölçüler GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonrası elde edilen yatay hız verisi için K-Means algoritması ile kümeleme analizi yapılmıştır. Bu veri setinde en uygun küme sayısının belirlenmesinde Elbow Metod'u kullanılmıştır. Elbow Metod'u ile bu bölgedeki en uygun küme sayısı 14 olarak tespit edilmiştir.

Ardından K-Means algoritmasının mevcut veri dağılımıyla ne kadar iyi çalışabildiğini göstermek amacıyla sentetik veri testlerinden biri olan dama tahtası testi uygulanmıştır. Daha sonra tespit edilen 14 küme sayısında Batı Anadolu Bölgesi için K-Means algoritması kullanılarak kümeleme analizi yapılmıştır. Analize Anadolu Plakası'nda olduğu gibi yatay hız verilerine ek olarak nokta konum bilgisi parametresi de dahil edilmiştir. Batı Anadolu Bölgesi üzerinde tanımlanan blok sınırlarıyla beraber oluşan mikro blok sayısı bu çalışmada 15 olarak belirlenmiştir. Bunun yanısıra çalışmada önerilen diğer blok sınırlarıyla beraber Batı Anadolu Bölgesi'nde 18 mikro blok sınırı bu çalışmada sunulmuştur.

2024, xi + 121 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kümeleme analizi, Blok model, Blok sınırı, GNSS, Jeodezik hız alanı.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF WESTERN ANATOLIA TECTONIC BLOCK MODEL WITH CLUSTER ANALYSIS

Şeyma ŞAFK YAKAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatic Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU

Anatolian Plate is an important tectonic structure with different types of faults. In this study, firstly, a block boundary study was carried out with the help of clustering analysis by using the horizontal velocity data of 841 GNSS points on the Anatolian Plate. Secondly, cluster analysis was performed with the horizontal velocity data obtained by evaluating 402 campaign type measurements in the Western Anatolia Region, which has a very complex tectonic structure on the Anatolian Plate. Elbow Method, Calinski-Harabasz Score, Silhouette Score and Davies-Bouldin Index algorithms were used to determine the optimum number of clusters for the Anatolian Plate. With the help of these algorithms, the optimum number of clusters for the study area was determined as 7, 8 and 9, respectively. Then, cluster analysis was applied using the K-Means algorithm. Unlike other studies in the literature, the parameter containing point location information was also included in the analysis. The block boundaries formed as a result of clustering follow the active fault zones and surface ruptures caused by earthquakes. In the block model boundary study on the Anatolian Plate, 3 block boundaries were defined differently from previous studies. When all parameters in the clustering analysis are evaluated, the most appropriate number of clusters is presented as 8 for the Anatolian Plate. In the Western Anatolia Region, 402 campaign type measurements were evaluated with GAMIT/GLOBK software. Then, cluster analysis was performed with K-Means algorithm for the horizontal velocity data. Elbow Method was used to determine the optimum number of clusters in this data set. With the Elbow Method, the most appropriate number of clusters in this region was determined as 14.

Then, a synthetic data test was performed to show how well the K-Means algorithm can work with the existing data distribution. Checkerboard test was applied as synthetic data test. Cluster analysis was then performed for the Western Anatolia Region using the K-Means algorithm for the 14 clusters identified. In addition to the horizontal velocity data as in the Anatolian Plate, the point location information parameter was also included in the analysis. The number of micro-blocks formed with the block boundaries defined on the Western Anatolia Region was determined as 15 in this study. In addition to this, 18 micro-block boundaries in the Western Anatolia Region together with other block boundaries proposed in the study are presented in this study.

2024, xi + 121 pages

Keywords: Cluster Analysis, Block model, Block boundaries, GNSS, Geodetic velocity field.

TEŞEKKÜR

Yalnızca bu çalışmanın gerçekleştirilme süreci boyunca değil; hayatımı etkileyen önemli anlarda göstermiş olduğu tüm desteği ve içtenliği, yardım ve yönlendirmelerini hiç bir zaman esirgemediği, bana aktardığı bilgi birikimiyle yolumu aydınlattığı, daima beni cesaretlendirerek motive ettiği ve aynı zamanda göstermiş olduğu sabır ve özveri için öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyduğum Tez Danışmanım Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na içten teşekkür ederim.

Tez çalışmamla ilgili değerli görüşlerini benimle paylaşmaktan sakınmayan, bilgi birikimiyle yoluma ışık tutan, geleceğe dair kararlarımı şekillendirmeme katkı sağlayan ve her daim sıcaklığıyla kucaklayan Tez İzleme Komitesi üyem değerli Prof. Dr. Hediye ERDOĞAN'a çok teşekkür ederim.

Hem bilimsel anlamda hem de kişisel gelişimim için öğrencisi olmaktan ayrıcalık duyduğum, bilgeliği ve öğreticiliğiyle yol gösteren, çalışmalarına emek ve özveri ile yaklaşarak önerilerde bulunan, kendisinden öğrendiğim bilgiler ve bana kazandırdığı deneyimler için Tez İzleme Komitesi üyem değerli Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ'a çok teşekkür ederim.

Sayesinde jeoloji bilimine ve araştırmalarına daha derin bir anlayışla yaklaşabildiğim gerek yüksek lisans gerekse doktora çalışmalarım boyunca derslerinde kazandırdıklarıyla bilgi birikiminin zenginleşmesine katkı sağlayan, kendisinden aldığım bilgiler ve tecrübeler ile akademik hayatımda yoluma ışık tutan değerli hocam Prof. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK'a çok teşekkür ederim.

Sabrı, anlayışı, cesaretlendirmeleri sayesinde zorlu tez çalışmam boyunca hep ileriye doğru bakmamı sağladığı, tüm arazi çalışmalarımdayanımdayı, paylaştığımız her anın bana güç kattığı ve akademik yolculuğumda motivasyon kaynağı olan, mutlu anlarımda benimle sevinen, zor günlerimde beni destekleyen, birlikte ağladığımız ve güldüğümüz, sadece eşim değil aynı zamanda en iyi dostum, herşeyimi paylaştığım hayat arkadaşım Şafak YAŞAR'a içten teşekkür ederim.

Sıcakkanlılıkları, sabırları ve anlayışları sayesinde güç bulduğum, hayatım boyunca karşılaştığım her karmaşada beni yönlendiren, güçlendiren ve her zaman yanımda olduğunu bildiğim, birlikte yaşadığımız güzellikler, zorluklar, kahkahalar ve gözyaşları sayesinde daha çok kenetlendiğimiz, hayatın tüm iniş çıkışlarıyla başa çıkmamı ve geleceğe umutla bakmamı sağlayan, beni sevgiyle büyüten, bugünlere getiren canım annem Nezihat ŞAFAK ve canım babam Tahsin ŞAFAK'a çok teşekkür ediyor ve bu tezi anneme ve babama ithaf ediyorum.

Tez çalışmam boyunca yanımda olan, destek gösteren, olumlu enerjileri ile motive eden tüm aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne 22.FEN.BİL.32 numaralı proje desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Şeyma ŞAFAK YAŞAR
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
3. TÜRKİYE TEKTONİĞİ VE BLOK MODELLER	13
4. GNSS VE GNSS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	34
4.1 GNSS (Küresel Konumlama Sistemleri)	34
4.1.1 Global Positioning System (GPS).....	35
4.1.2 GLONASS Uydu Sistemi	36
4.1.3 Galileo Uydu Sistemi	37
4.1.4 BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi (BDS).....	38
4.2 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi.....	39
4.2.1 GAMIT/GLOBK.....	40
5. KÜMELEME ANALİZİ	43
5.1 Makine Öğrenmesi.....	44
5.2 Denetimsiz Makine Öğrenmesi ile Kümeleme Analizi	45
5.2.1 Kümeleme Analizinin Jeodezik Veriler Üzerine Önemi	46
5.2.2 K-Means Kümeleme Analizi	47
5.2.3 Kümeleme Analizinde En Uygun Küme Sayısının Belirlenmesi	48
5.2.3.1 Elbow Metot	48
5.2.3.2 Silhouette Skoru	49
5.2.3.3 Davies-Bouldin İndeksi.....	50
5.2.3.4 Calinski-Harabasz Skoru	51
5.3 Sentetik Veri Testi	51
6. UYGULAMA.....	53
6.1 Anadolu Plakası Hız Alanında Kümeleme Analizi Uygulaması	54
6.1.1 Veri Seti	54
6.1.2 En Uygun Küme Sayısının Belirlenmesi	56

6.1.2.1 Çalışma Alanında Elbow Metot ile Küme Sayısının Belirlenmesi	56
6.1.2.2 Çalışma Alanında Silhoutte Skoru ile Küme Sayısının Belirlenmesi ..	56
6.1.2.3 Çalışma Alanında Davies-Bouldin İndeksi ile Küme Sayısının Belirlenmesi.....	58
6.1.2.4 Çalışma Alanında Calinski-Harabasz Skoru ile Küme Sayısının Belirlenmesi.....	59
6.1.3 Türkiye Hız Alanında K-Means Kümeleme Analizi	60
6.2 Batı Anadolu Hız Alanında Kümeleme Analizi Uygulaması	65
6.2.1 Veri Seti	65
6.2.2 Veri Setinin Değerlendirilmesi	66
6.2.2.1 Verilerin Değerlendirilmesinde Göz Önünde Bulundurulanan Depremler	72
6.2.3 Batı Anadolu Bölgesi'nde Yapılacak Kümeleme Analizi İçin En Uygun Küme Sayısının Belirlenmesi.....	81
6.2.3.1 Çalışma Alanında Elbow Metot ile Küme Sayısının Belirlenmesi	82
6.2.4 Sentetik Veri Testi Uygulaması: Dama Tahtası Testi.....	83
6.2.5 Batı Anadolu Bölgesi Hız Alanında K-Means Kümeleme Analizi	85
7. TARTIŞMA ve SONUÇ	88
8. KAYNAKLAR.....	108

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

BDS	BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi
B-GB	Batı-Güneybatı
BKB-DGD	Batı Kuzeybatı-Doğu Güneydoğu
BUSAGA	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Sabit GNSS Ağı
BZBK	Bitlis Zagros Bindirme Kuşağı
CfA	Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
D-B	Doğu-Batı
DBSCAN	Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise
DKD-BGB	Doğu Kuzeydoğu-Batı Güneybatı
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
GMM	Gaussian Mixture Models
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HA	Helenik Arkı
IGS	International GNSS Service
İBTZ	İzmir-Balıkesir Transfer Zonu
İSKİ UKBS	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi GNSS Ağı
KA	Kıbrıs Arkı
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KB	Kuzeybatı
KB-GD	Kuzeybatı-Güneydoğu
KD-GB	Kuzeydoğu-Güneybatı
K-G	Kuzey-Güney
K-KB	Kuzey-Kuzeybatı
K-KD	Kuzey-Kuzeydoğu
MAGNET	TÜBİTAK Marmara Sürekli GPS Gözlem Ağı
MIT	Massachusetts Institute of Technology
mm	Milimetre
OCS	Operational Control Segment
OCX	The Next Generation Operational Control System
ÖDFZ	Ölüdeniz Fay Zonu
RINEX	Receiver Independent Exchange
SASKİ	Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi GNSS Ağı
SIO	Scripps Oşinografi Enstitüsü
TUDES	Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi
TUSAGA-Aktif	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WCSS	Within-Cluster Sum of Squares

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Plaka hareketleri ve fay zonları.....	13
Şekil 3.2 McClusky vd. (2000) çalışmasının temel sonuçlarını gösteren plakalar ve hareketleri	20
Şekil 3.3 Nyst ve Thatcher (2004) tarafından yapılan çalışmada ifade edilen blok sınırları	22
Şekil 3.4 Blok sınırları ve hızları (Reilinger vd. 2006).	23
Şekil 3.5 Batı Anadolu bölgesi için ifade edilen elastik blok modeli (Aktuğ vd. 2009) 25	
Şekil 3.6 Güneybatı Anadolu'daki Isparta Açısı sınırları (Tiryakioğlu vd. 2013)	26
Şekil 3.7 Anadolu Plakası üzerinde Emre vd. (2018) tarafından ifade edilen tektonik yapılar (Emre vd. 2018)	27
Şekil 3.8 Solak vd. (2024) çalışmasında önerilen blok model (Solak vd. 2024).	28
Şekil 3.9 Batı Anadolu bölgesi için ifade edilen tektonik kama ve içinde yer alan bloklar (Şaroğlu ve Güler 2020).....	29
Şekil 3.10 Seyitoğlu vd. (2022) çalışmasında önerilen blok sınırları (Seyitoğlu vd. 2022).	31
Şekil 3.11 Türkiye'nin neotektonik bölgeleri (Seyitoğlu vd. 2022)	31
Şekil 3.12 5 küme sayısında yapılan kümeleme analizi sonuçları (Özarpacı vd. 2023). 32	
Şekil 4.1 Uydu bazlı konum belirleme yöntemleri	34
Şekil 6.1 Çalışmada kullanılan 841 adet GNSS istasyon dağılımı	55
Şekil 6.2 Çalışmada kullanılan 841 adet noktaya ait Avrasya sabit hız alanı	55
Şekil 6.3 841 noktanın yatay hız verisi için Elbow Eğrisi	57
Şekil 6.4 841 noktanın yatay hız verisi için Silhouette Skor grafiği.	57
Şekil 6.5 841 noktanın yatay hız verisi için Davies-Bouldin İndeks grafiği.....	58
Şekil 6.6 841 noktanın yatay hız verisi için Calinski-Harabasz Skor grafiği.....	60
Şekil 6.7 K-Means ile 7 küme sonuçları	61
Şekil 6.8 K-Means ile 8 küme sonuçları	62
Şekil 6.9 K-Means ile 9 küme sonuçları	62
Şekil 6.10 7 küme sonuçlarından elde edilen blok sınırları ve blok numaraları	63
Şekil 6.11 8 küme sonuçlarından elde edilen blok sınırları ve blok numaraları	63
Şekil 6.12 9 küme sonuçlarından elde edilen blok sınırları ve blok numaraları	64

Şekil 6.13 Anadolu Plakası için önerilen bloklar ve sınırları.....	65
Şekil 6.14 Çeşitli noktalarda yapılan arazi çalışmalarına ait görseller.....	66
Şekil 6.15 Çalışmada kullanılan 402 adet nokta dağılımı	67
Şekil 6.16 Değerlendirme işlemi için oluşturulmuş yıl klasörleri.....	68
Şekil 6.17 2018 yılı tables klasörü dosyaları.....	69
Şekil 6.18 Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları	70
Şekil 6.19 Zaman serisi bileşenleri	71
Şekil 6.20 Akşehir-Sultandağı Fay Zonu üzerinde gerçekleşen 2002 yılına ait depremlerin etkileri	73
Şekil 6.21 17-21 Ekim 2005 tarihlerinde Sığacık Körfezi'nde gerçekleşen depremlerin etkileri	74
Şekil 6.22 2011 Simav Depremi sonucunda bazı yapılarda meydana gelen hasarlar	75
Şekil 6.23 2014 Gökçeada depremi sonucunda bazı yapılarda meydana gelen hasarlar	76
Şekil 6.24 2017 Bodrum Depremi'nin yapılarda meydana getirdiği hasarlar	77
Şekil 6.25 Karaburun açıklarında meydana gelen depremin Lesbos'daki yapılara etkisi	77
Şekil 6.26 Tsunami etkisiyle meydana gelen hasarlar	78
Şekil 6.27 Depremin neden olduğu yıkım ve yapılardaki hasarı	78
Şekil 6.28 KBR1 noktası için 2020 yılı Ege Denizi içinde gerçekleşen Mw: 7.0 büyüklüğündeki deprem öncesi zaman serisi	79
Şekil 6.29 KBR1 noktası için 2020 yılı Ege Denizi içinde gerçekleşen Mw: 7.0 büyüklüğündeki deprem sonrası zaman serisi	80
Şekil 6.30 Çalışmada kullanılan deprem dosyasına ait görsel	80
Şekil 6.31 Çalışmada kullanılan 402 adet noktanın Avrasya sabit hız alanı.....	82
Şekil 6.32 402 noktanın yatay hız verisi için Elbow Eğrisi	83
Şekil 6.33 402 noktanın yatay yapay hız verisinde uygulanan dama tahtası testi sonuçları	84
Şekil 6.34 Batı Anadolu K-Means kümeleme analizi sonucu 14 küme blok sınırları ...	86
Şekil 6.35 Batı Anadolu için 15 küme blok sınırları.....	87
Şekil 6.36 Batı Anadolu için 18 küme blok sınırları.....	87

1. GİRİŞ

Plaka tektoniği, geçmişten günümüze dünyadaki ana jeolojik oluşumları tanımlamaya ve açıklamaya yarayan bir teoridir. Diğer bir ifadeyle plaka tektoniği teorisi, dünyayı oluşturan yüzeyin büyük parçalardan meydana geldiğini ve bu parçaların zamanla birbirleri ile çarpışması, ayrılması veya birbirleri üzerinde hareket etmesi ile yeni yapıların oluştuğunu ileri sürmektedir. Aynı zamanda bu teori dünyanın dinamik evrimini açıklayabilmek için kullanılmaktadır.

Dünyanın sert dış tabakası olan litosfer, mantonun altındaki yarı-akışkan halde bulunan astenosfer üzerinde hareket halindedir. Bu hareketin temel nedeni dünyanın iç katmanlarında gerçekleşen termal konveksiyonel akımlardan kaynaklanmaktadır. Bu akımlar nedeniyle hareket halinde olan sert kabuk parçaları; depremler, volkanik faaliyetler, dağlar, okyanuslar ve denizler gibi dünyayı şekillendiren süreçlerin oluşmasında etkilidir. Plaka tektoniğini oluşturan temel bileşenler, litosferik plakalar, plaka sınırları ve itici güçlerdir. Önemli jeolojik olaylar ise plaka sınırlarında meydana gelmektedir. Koverjan, diverjan ve transform sınır olmak üzere üç temel plaka sınırı bulunmaktadır. Aynı zamanda subdüksiyon sınırları olarak da bilinen koverjan sınırlarda bir plaka diğer bir plakanın altına dalma eğilimi göstermektedir. Bu dalma sırasında magma yeryüzüne çıkabilir, volkanik dağlar meydana gelebilir, okyanus çukurları oluşabilir. Uzaklaşan plaka sınırları olarak bilinen diverjan sınırlarda ise birbirinden uzaklaşan plakalar söz konusudur. Bu hareket sonucunda okyanus ortası sırtların meydana gelmesi gerçekleşir. Diğer bir plaka sınırı ise transform sınırlardır. Bu sınırlarda yanal bir yerdeğiştirme söz konusudur ve transform faylar oluşur. Bu hareket sonucunda diğer plaka sınırlarında olduğu gibi herhangi bir kabuk oluşumu veya yokoluşu gerçekleşmemektedir.

Ülkemizin büyük bir bölümünün üzerinde bulunduğu Anadolu Plakası çevresinde bulunan diğer plakaların etkisi altındadır. Bu etki sebebiyle plaka üzerinde depremler ve volkanik oluşumlar görülmektedir. Anadolu Plakası sismik olarak dünyanın en aktif bölgelerinden birini oluşturmaktadır (McKenzie 1972). Arap Plakası'nın Avrasya Plakası'na doğru olan kuzey yöndeki hareketine maruz kalan Anadolu Plakası, batı

yönde hareket etmektedir. Anadolu Plakası'nın batı bölümünü oluşturan Batı Anadolu'nun hareketi ise; Afrika Plakası'nın Avrasya Plakası'na doğru hareketiyle birlikte Helen Yayı'na dalması sonucu B-GB yönünde tanımlanmaktadır (Reilinger vd. 2006). Aktif fay zonlarını üzerinde barındıran Anadolu Plakası çok sayıda büyük ve yıkıcı depremlere ev sahipliği yapmış ve yapmaya devam etmektedir. Bununla birlikte Batı Anadolu bölümünde ise çok daha karmaşık bir halde bulunan farklı yapısal özellikler söz konusudur. Bölgede meydana gelen deprem dağılımları incelendiğinde ise halen bu plakanın üzerinde bulunduğu kabuğun aktif deformasyona uğradığı açıkça görülmektedir (Aktuğ vd. 2009, Şaroğlu ve Güler 2020).

Plaka hareketlerini günümüzde tanımlayabilmek ve daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla blok model çalışmaları yapılmaktadır. Bu modeller sayesinde tektonik yapılar çok daha anlaşılır olabilmekte ve farklı tektonik bloklar ayırt edilebilmektedir. Aynı zamanda bloklar aralarındaki etkileşim temsil edilebilir olmaktadır. Tektonik blok modellemenin ise başlangıcı araziden veri toplama sürecine dayanmakta ardından verilerin değerlendirilmesiyle beraber analiz ve yorumlama süreci ile devam etmektedir. Tektonik blok modellemenin başlangıç adımı olan araziden veri toplanmasında günümüz teknolojinin yeri ise yadsınamaz. Günümüzde özellikle plaka hareketlerinin incelenmesi ve modellenmesi için GNSS (Global Navigation Satellite System) teknolojisi önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu teknoloji ile beraber tektonik plaka hareketleri hassas şekilde izlenebilir, plakalar arasındaki değişim ölçülerek gözlemlenebilir, deprem öncesi ve sonrası deformasyonlar belirlenebilir, deprem riski çalışmaları yapılabilir, volkanik bölgelerde deformasyon incelemeleri ve yüzey değişimleri incelenebilir. Yeryüzünde özellikle bu aktivitelerin izlenebilmesi için hassas ölçüm imkanı sağlayan GNSS teknolojisi sayesinde yüksek doğrulukta konum ve hız bilgisi sağlanabilmektedir (Şafak vd. 2020).

Anadolu Plakası üzerinde geçmişten günümüze GNSS teknolojisi kullanılarak jeodezik hız alanlarında blok model çalışmaları yapılmıştır (McClusky vd. 2000, Reilinger ve McClusky 2001, Nyst ve Thatcher 2004, Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Tiryakioğlu vd. 2013, Solak 2020). Bu blok model çalışmalarında dikkate alınması gereken unsurlardan biri ise blok sınırlarının belirlenmesidir.

Yapılan blok model çalışmalarında blok modelin gerçeği en iyi şekilde yansıtabilmesi için blok sınırlarının belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Bu noktada günümüzde önceden herhangi bir jeolojik bilgiye ihtiyaç duyulmadan, denetimsiz makine öğrenimi algoritmaları sayesinde nesnel bir değerlendirme yapmak mümkün hale gelmiş ve bu algoritmalar blok sınırları belirlemede alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu algoritmalar sayesinde kategorize edilmemiş veriler kullanılarak karmaşık durumda bulunan bir veri, kümeleme analizi ile kategorize edilebilmektedir. GNSS teknolojisi ile elde edilen jeodezik hız alanlarında ise çeşitli parametreler analize dahil edilerek elde edilen kümelerde, küme sınırları blok sınırları olarak değerlendirilebilmektedir. GNSS teknolojisi yardımıyla elde edilen hız alanlarında kullanılan bu yöntem sayesinde aynı zamanda görsel bir keşif yapma imkanı da olabilmektedir.

Denetimsiz makine öğrenimi algoritmaları ile kümeleme analizi yöntemlerinin jeodezik hız alanları üzerine kullanımı literatürde çeşitli çalışmalar ile kendine yer edinmiştir (Granat and Donnellan 2000, Simpson vd. 2012, Savage ve Simpson 2013a, Savage ve Simpson 2013b, Özdemir ve Karşlıoğlu 2019, Granat vd. 2021, Kılıç ve Özarpacı 2022, Özarpacı vd. 2023).

Bu çalışmada Anadolu Plakası'nda yer alan Özdemir ve Karşlıoğlu (2019) ile Kurt vd. (2023) tarafından yapılan çalışmalarda sunulan noktaların yatay hız verisinden yararlanılarak K-Means algoritması ile kümeleme analizi yapılmıştır. Anadolu Plakası üzerinde 841 adet GNSS noktasının hız ve konum verisiyle yapılan kümeleme analizinden sonra Batı Anadolu bölgesinde kampanya tipi GNSS ölçümleri elde edilen 23 yıllık bir zaman dilimine ait 402 adet noktadan elde edilen hızlar kullanılarak aynı kümeleme analizi bu veriye uygulanmıştır. Yapılan analizlerde en uygun küme sayısı belirlenerek elde edilen sınırlar literatürde daha önce tanımlanmış olan jeolojik ve tektonik sınırlar ile karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Geçmişten günümüze değin elde edilen veriler ve yapılan araştırmalar, önemli ve büyük depremlerin plakaların kesişme bölgelerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu anlamda plaka olarak tanımlanan bölgelerin nasıl oluştukları ve nasıl hareket ettikleri de esas tartışma konularının başında gelmektedir. Plakaların nasıl oluştuklarını anlayabilmek için onları oluşturan kuvvetlerin hareket yönlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu hareketleri ise en uygun şekilde belirleyebilmek için blok model çalışmaları yapılmaktadır. Bu bölümde Anadolu Plakası'nı ve bu plakanın Batı Anadolu bölümünü kapsayan geçmişten günümüze yapılan çeşitli blok model çalışmaları anlatılmıştır. Ardından bu çalışmanın temelini oluşturan; jeodezik hız alanlarında uygulanan kümeleme analizi çalışmalarından söz edilmiştir.

Anadolu Plakası'nın kıtasal deformasyon tanımını anlayabilmek için güzel örneklerle sahip olduğu bilinmektedir. Plakanın özellikle bazı bölgelerinde depremlerin oldukça sık meydana geliyor oluşu ve bu oluşan depremlerin yerkabuğu üzerindeki dağılımı kabuğun aktif deformasyona uğradığını açıkça gösterir durumdadır (McClusky vd. 2000).

Anadolu Plakası'nın orta bölümünü oluşturan ve Orta Anadolu veya Anadolu olarak isimlendirilen bu bölüm; temel tektonik plakaların kesişim bölgesinde yer almaktadır ve farklı tektonik özelliklerin belirgin bir şekilde görüldüğü büyük ölçüde deformasyona uğramış bir bölge konumundadır. Geçen zamanda bu plakalar üzerindeki deformasyonu tanımlamak üzere farklı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Anadolu Plakası'nın hareketi ise Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu arasında batıya doğru hareket eder durumdadır (McKenzie vd 1972, 1978, McKenzie ve Jackson 1983, Le Pichon vd. 1995, McClusky vd. 2000, Reilinger ve McClusky 2001, Nyst ve Thatcher 2004, Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Tiryakioğlu vd. 2013, Solak 2020). Ayrıca Doğu Anadolu sıkışma ve Batı Anadolu genişlemeli tektonik rejimleri arasında kalan Orta Anadolu'da, doğrultu atımlı, normal veya ters faylar bulunmakta ve bu fayların etkisiyle bölgenin karmaşık bir deformasyona uğradığı açıktır (Emre vd. 2013, 2018).

Anadolu Plakası üzerinde yer alan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı ile birlikte Helenik ve Kıbrıs yayları, ana tektonik plakaların sınırlarını şekillendiren temel yapılar olarak kabul edilebilir (McClusky vd. 2000, Jolivet 2001, Jimenez-Munt vd 2003, Thatcher 2003, Nyst ve Thatcher 2004, Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, Özener vd. 2010, Aktuğ vd. 2013). Bununla beraber Kafkaslar ile Bitlis Zagros Bindirme Kuşağı arasında konumlanan Doğu Anadolu Bölgesi, K-G yönlü sıkışmalı tektonik bir rejim etkisinde deforme olur durumda bulunmaktadır (Şaroğlu ve Güler 1981, Şaroğlu 1985, Şengör vd. 1985, Emre vd. 2013, 2018). Bölgede KD-GB uzanımında sol yanal doğrultu atımlı, KB-GD uzanımında sağ yanal doğrultu atımlı faylar yer almaktadır. Ayrıca K-G uzanımına sahip normal faylarla beraber D-B uzanımında kıvrımlı yapılar, bindirmeler ve ters faylar da bulunmaktadır (McKenzie 1972, McKenzie 1978, Jackson ve McKenzie 1984, Şengör 1979, 1980, Şengör vd. 1985, Le Pichon vd. 1995, Armijo vd. 1999, Emre vd. 2013, 2018).

Anadolu Plakası'nın batısını oluşturan; Batı Anadolu veya Ege Bloğu olarak tanımlanan bölge, K-G yönünde bir genişleme rejiminin etkisi altında bulunmaktadır ve D-B yönelimine sahip horst-graben yapıları ile karakterize edilmektedir. Bu bölgenin doğu kanadının literatürde Eskişehir ve Tuz Gölü Fay Zonları ile sınırlandırıldığı görülmektedir (Barka vd. 1995, Koçyiğit ve Özacar 2003).

McClusky vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada, Avrasya Plakası'nın güney kenarı ile Afrika Plakası'nın kuzey kenarı arasında kalan bölümde, K-G uzanımlarında konumlanan 189 nokta ile 1988 - 1997 yılları arasında; plaka hareketlerini tanımlamak için yapılan GNSS ölçü ve sonuçları yorumlanmıştır. Çalışmada Anadolu Plakası'nın doğu bölümü dağınık bir deformasyon alanı ile karakterize edilmiştir. Anadolu Plakası'nın, sağ yanal doğrultu atım özelliği gösteren Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile Avrasya'dan ayrıldığı ifade edilmektedir. Çalışmada Arap ve Afrika Plakası'nın kuzey yöndeki hareketine maruz kalan Anadolu Plakası'nın ise batı yönde hareket ettiği görülmektedir. Bu hareketin bir sonucu olarak Batı Anadolu Bölgesi'nin ise güneybatı yönünde hareket ettiği ifade edilmektedir. Ayrıca ülkenin batı bölümünde K-G yönünde bir genişlemenin hakim olduğu da sunulmuştur.

Nyst ve Thatcher (2004) ise altı farklı ağdan elde ettikleri 374 adet istasyon hızından yararlanarak Orta Yunanistan, Güney Ege, Anadolu ve Marmara Denizi civarında blok model çalışması yapmıştır. Bu modelin Türkiye'yi kapsayan bölümünde 4 farklı blok tanımlandığı görülmektedir. Bununla beraber çalışmada Ege bölümü olarak geçmekte olan bölgenin deformasyonunun, dört mikrolakanın göreceli hareketlerinden kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçların; bölgenin karmaşık olan deformasyonuna rağmen daha önceki çalışmalarda elde edilen plaka tektoniği çalışmaları ve fay düzlemi çözümleri ile uyum içinde olduğunu göstermiştir. Ayrıca çalışmada, Ege'de aktif bir sismisitenin varlığı ile beraber aktif faylanmanın yaygın dağılımı, bölgenin incelenmesi gereken tehlikeli bir bölge konumunda olduğunun altını çizmektedir.

Reilinger vd. (2006) ise Nubiya, Somali, Arap ve Avrasya levhalarının etkileşim alanında, 1988 ile 2005 yılları arasında GNSS hızlarını kullanarak blok model çalışması yapmıştır. Blok model çalışmasındaki sınırların belirlenmesinde bölgede daha önce haritalanmış olan faylar, sismisite bilgileri ve tarihsel deprem kayıtlarından yararlanılmıştır. Bu çalışma dikkate alındığında Arap Plakası'nın yıllık 15 mm hız ile kuzey yönde hareketi görülmektedir. Bu kuzey yöndeki davranışın etkisiyle Anadolu Plakası'nın yıllık 21 mm hız ile batı yönde hareket etmekte olduğu ifade edilmektedir. Anadolu Plakası'nın bu çalışmada kuzey sınırını ana fay zone olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun oluşturduğu görülmektedir. Bu sınırın devamı şeklinde Anadolu Plakası'nın doğu sınırı Doğu Anadolu Fay Zonu ile devam ederek güneyde Kıbrıs'ı da içine alarak sonlanmaktadır. Anadolu Plakası üzerinde yer alan Ege Bölgesi'nin güneybatı bölümü ayrı bir blok olarak Ege Denizi ile birlikte belirtilmektedir. Bu bloğun hareketinin ise yıllık 33 mm hız ile güneybatı yönde olduğu ifade edilmektedir. Çalışmada karmaşık bir deformasyona sahip Zagros Kıvrım ve Bindirme Kuşağı olarak tanımlanan bölgedeki yapıların tek bir fay olarak modellendiği gösterilmiştir. Ancak bu bölgenin hem doğrultu atımlı hem de eğim atım özellikli faylar barındırdığının altı çizilmiştir. Bölgede oluşan deformasyonun ise muhtemel olarak farklı yapılar arasında bölündüğü ifade edilmiştir. Kurulan modelde Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu gibi Anadolu Plakası üzerindeki önemli yapılar basitleştirilerek gösterilmiş olsa da görünenden çok daha karmaşık yapılarının olduğu belirtilmiştir. Ayrıca sunulan bu

blok modelin daha sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere literatürde tanımlanmamış jeolojik yapıları araştırmak için de iyi bir temel sağlayacağı önerilmiştir. Bununla beraber modelde, Anadolu Plakası'nın batısını oluşturan Batı Anadolu Bölgesi'ndeki artık hızların büyük olması sebebiyle bu bölgenin daha ayrıntılı bir şekilde modellenmesi gerektiği de önerilmiştir.

McClusky vd. (2000), Nyst ve Thatcher (2004) ve Reilinger vd. (2006) tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde; Anadolu Plakası'nın 4 ile 6 blok sayıları arasında temsil edildiği görülürken; Batı Anadolu ise 2-3 blok sayılarında temsil edilerek sunulmuştur. Buradan hareketle Batı Anadolu Bölgesi'ni kapsayan blok model çalışmalarının hem oldukça sınırlı hem de mikro blok boyutundan oldukça uzak olduğu bir gerçektir.

Anadolu Plakası'nın batı bölümünü oluşturan Batı Anadolu'da çok daha detaylı bir çalışmanın Aktuğ vd. (2009) tarafından yapıldığı görülmektedir. Çalışma bölgesi hem sabit GNSS istasyon hızları hem de kampanya tipinde yapılan ölçümlerden elde edilen hızların kombinasyonu ile değerlendirilmiştir. Bölge için jeodezik hız alanı sunulmuştur. Sunulan jeodezik hız alanında blok model çalışması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan noktalara ait veriler 1997 ile 2005 yılları arasında farklı ağılardan temin edilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde akademik veri değerlendirme yazılımları olan GAMIT/GLOBK ve Bernese kullanılmıştır. Bölge fazla sayısadaki nokta ile çalışılarak mikro bloklar halinde incelenmiştir. Özellikle bu çalışmaya kadar Batı Anadolu'nun tektoniği blok modeller ile bu denli incelenmemiştir. Anadolu Plakası'ndan Ege kıyılarına doğru hareketin zaman içinde hızlanarak genişlediği bu çalışmada ifade edilmektedir. Türkiye'nin en batısındaki genişlemenin yıllık yaklaşık 20 mm olduğu vurgulanmakta ve bölgenin dünyadaki en hızlı kıtasal genişleme alanlarından biri olduğuna dikkat çekilmektedir. Çalışmada, Batı Anadolu Bölgesi'nin kinematik elastik blok modeli oluşturularak bölge 7 blok ile temsil edilmiştir.

Aktuğ vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada ise Anadolu Plakası'nın orta/iç bölümünü oluşturan ve Orta Anadolu şeklinde tanımlanan bölgenin deformasyonu GNSS verileri

kullanılarak ifade edilmiştir. Yapılan bu çalışmada Orta Anadolu, Afrika Plakası'nın Helenik ve Kıbrıs yayları boyunca dalması ve Arabistan Plakası'nın Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı ile çarpışması hakkındaki tüm kuramları anlamada kilit bir rol oynadığı ifade edilmiştir. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu makaslama bölgelerinin arasında Orta Anadolu bulunmaktadır. Bu bölgelere kıyasla Orta Anadolu'daki tektonik aktivite daha azdır. Orta Anadolu'nun neotektoniğinin ise tektonik kaçış olarak kabul edildiği ifade edilmektedir. Çalışmada gerinim analizi sonuçlarında Karlıova'nın batısından Isparta Açısı'na kadar olan bölgede K-G doğrultusundaki faylar boyunca D-B yönünde 100 nanogerilim/yıl genişleme oranı elde edilmiştir. Bu durum Orta Anadolu'daki genişleme rejimini desteklemiştir. Bununla beraber çalışmada Isparta Açısı'nın doğu kolu, Tuz Gölü ve Orta Anadolu'nun güney bölgesinde sıkışma gerilimleri ifade edilerek sunulmuştur. Orta Anadolu'daki tektoniğin tekdüze olmadığı vurgulanmış ve güneybatıda Helenik Yayı boyunca hakim olan bir gerilme gücü ile güneyde Kıbrıs Yayı boyunca sınırlanmış bir kuşaktan meydana geldiği belirtilmiştir.

Tiryakioğlu vd. (2013), güneybatı Türkiye'nin Isparta bölgesi ve çevresindeki alanda, GNSS gözlemlerini kullanarak blok hareketlerini ve deformasyonları araştırmıştır. Bu bölgeden elde edilen veriler Reilinger vd. (2006)'dan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bölgenin 5 farklı mikro blokla temsil edildiği ve hareketinin güneybatı yönünde olduğu görülmektedir. Bu hareketin yıllık 15-35 mm arasında değiştiği ve güneybatı yönüne doğru ilerledikçe artarak devam ettiği ifade edilmektedir. Bu durum ise Anadolu Plakası'nın saat yönünün tersine olan hareketinin bir sonucu olarak yorumlanmaktadır. Ayrıca çalışmadan elde edilen sonuçların karşılaştırılan diğer çalışmalarla uyum içinde olduğu vurgulanmaktadır.

Emre vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin diri fay veritabanı oluşturulmuş ve bölgenin depremselliğinin daha iyi anlaşılabilmesini sağlamak amacıyla bölgedeki plaka etkileşimiyle ilişkili aktif tektoniğin ve deformasyonların tanımlanması sağlanmıştır. Çalışmada ana jeolojik bölgeler tanımlanmıştır. Batı Anadolu graben sistemleri, Dış Isparta Açısı, İç Isparta Açısı ve Kuzeybatı Anadolu Geçiş Bölgesi; Batı Anadolu genişleme bölgesi içinde bulunan bölümler olarak tanımlanmış ve sınırları ifade edilmiştir. Bununla beraber Orta Anadolu Bölgesi, Doğu

Anadolu Sıkışma Bölgesi, Kuzey Anadolu Bölgesi ile beraber Güneydoğu Anadolu Bölgesi tektonik olarak tanımlanmış ve çalışmada sınırları ifade edilmiştir. Plaka sınırları boyunca fay zonları ile beraber plaka hareketlerine de bu çalışmada yer verilerek gösterilmiştir.

Şaroğlu ve Güler (2020) ise, Türkiye'nin neotektoniğine vurgu yaptıkları araştırmasında önerilen neotektonik modellere ilişkin yeni bir yaklaşım modeli üzerinde durarak Batı Anadolu Tektonik Kaması'nı tanımlanmıştır. Bu tektonik bölge Bursa, Eskişehir ve Afyon boyunca KB-GD uzanımında ve Muğla, Afyon boyunca KD-GB uzanımında olan fay zonları arasında batıya doğru genişleyen devrik bir V şeklinde tanımlanmıştır. Batıya doğru genişleme gösteren bu devrik V şeklindeki yapıda farklı jeolojik yapılar dikkat çekmektedir. Bununla beraber bu kama içinde kalan bölgelerde bloklu yapılar ifade edilmiştir. Bu blokları ayıran temel farklılıklar bölgenin aktif deformasyona uğradığını açıkça gösterir durumdadır. Bloklar arasında meydana gelen deformasyonlar ile bölgede çok sayıda ve karmaşık halde bulunan normal, ters ve doğrultu atım özelliği gösterir faylar ile beraber açılma çatlaklarının meydana geldiği ifade edilmiştir. Bu yapılarla şekillenen blokların hareketinin ise B-GB yönünde olduğu sunulmuştur. Ayrıca çalışmada, D-B uzanımına sahip grabenlerin, K-G yönündeki genişlemenin bir sonucu olmadığının altı çizilmiştir. Devrik V şeklindeki yapının doğu sınırında ise en fazla açılmanın hakim olduğu görülmektedir.

Seyitoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, Anadolu Plakası ve çevresindeki sismik aktiviteleri açıklayabilmek amacıyla yeni bir model sunulmuştur. Bu modelde Anadolu Plakası'nı kapsayan ana neotektonik yapılar elastik diskolasyon modeli ile değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra çalışma bölgesi için araştırmada 25 blok önerilmiştir. Önerilen bloklar içinde kullanılan GNSS nokta sayısı 1498 adettir. 1980'li yılların başında neotektonik olarak değerlendirilmeye başlanan Anadolu Plakası için modelde yeni tanıtılan yapılar da dikkate alınarak 9 farklı bölge önerilmektedir. Bu bölgeler; Kuzey Anadolu Bölgesi, Doğu Anadolu Daralma Bölgesi, Kuzeybatı Orta Anadolu Bölgesi, Kırşehir Yozgat Bölgesi, Batı Anadolu Genişleme Bölgesi, Pliny-Strabo Bölgesi, Antalya Körfezi Daralma Bölgesi, Anadolu Diyagonal Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Zagros Bölgesi olarak isimlendirilmiştir. Önerilen bölgelerin

sınırları dikkate alınarak hem jeolojik hem de istatistiki olarak anlamlı, yalnızca istatistiki olarak anlamlı olup jeolojik olarak anlamlı olmayan, istatistiksel olarak anlamsız sınırlar ayrıca belirtilmiştir.

Jeodezik veriler üzerine Unsupervised kümeleme analizi çalışmaları Granat ve Donnellan (2000) ile başlamıştır. Günümüze kadar geçen sürede jeodezik çalışmalar üzerinde Unsupervised kümeleme analizi yöntemleri uygulanmıştır. Bu çalışmalardan biri olan Simpson vd. (2012)'de bir bölgede bulunan yoğun bir GPS ağındaki deformasyon alanlarını tanımlamak için kümeleme analizi kullanılmıştır. Bu çalışmada aktif faylar ile sınırlanan bölgenin analiz sonucunda tutarlı bloklar ile tanımlanabileceği vurgulanmıştır. Fakat blokların seçiminin, kaç blok olacağının ve blok boyutlarının seçiminde öznel yaklaşım olabileceği belirtilmiştir. Öyle ki başlangıçta bilinmeyen küme sayısının belirlenebilmesi ve doğru karar verilip yorumlanabilmesi için blokların seçiminde bölgenin yapısının iyi bilinmesi esastır. Buradan hareketle kümeleme analizinde GPS hızları haricinde herhangi bir jeolojik ön bilgi olmamasına rağmen, blok sınırlarının üç ana fay boyunca uzandığı ifade edilmiştir.

Savage ve Simpson (2013a), Mojave Bloğu'nda GPS istasyonlarından elde edilen hızlardan yararlanarak bölgeye kümeleme analizi uygulamışlardır. Bölge farklı sayıda kümeler ile test edilmiş ayrıca en uygun küme sayısını belirleyebilmek için testler yapılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen farklı küme ve küme sayılarında, bölgede; daha önce yapılan jeolojik ve jeodezik çalışmalar ile bir çok alanda uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Savage ve Simpson (2013b) ise Sierra Nevada Bloğu, Walker Lane Kuşağı ve Merkezi Nevada Sismik Kuşağı boyunca uzanan alanda etkin olan deformasyonu gösterebilmek için kümeleme analizinden yararlanmıştır. Kümeleme analizi ile tanımlanan GPS istasyonları bölgenin fay haritası üzerine eklendiğinde, küme sınırlarının bilinen önemli fay sistemleri ile çakıştığı tespit edilmiştir. Çalışmada kümeleme analizinin tektonik olarak aktif bölgelerde bulunan GPS hızlarından yararlanarak bunları gruplamanın mümkün olabileceği vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra kümeleme analizi sonucunda elde edilen kümelerin, bölgenin blok benzeri davranışını ifade edebileceği söylenmiştir.

Ancak blok davranışının ifade edilebilmesi için elde edilen kümelerin dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gerektiğinin altı çizilmiştir. Kümeleme analizinin blok davranışlarının belirlenmesinde önemli bir görsel ve sezgisel başlangıç olduğunun da önemine değinilmiştir.

Thatcher vd. (2016) Güney Kaliforniya'da sadece GPS hız verilerinden yararlanarak jeolojik ve fiziksel herhangi bir model kullanmadan bölgede kümeleme analizi uygulamışlardır. Çalışma sonucu elde edilen kümeleme analizi verilerinde bölgenin kinematığının iki farklı hız gradyanı sınırı ile çok iyi şekilde tanımlandığı ifade edilmektedir.

Özdemir ve Karşhoğlu (2019), Türkiye'de 10 yıllık GPS gözlemlerinden elde edilen jeodezik hız alanından yararlanarak farklı kümeleme analizi yöntemleri ile bölgeyi test etmiştir. Ana fay hatları boyunca uzanan sınırların net şekilde belirlenebildiğinin altı çizilerek en uygun küme sayısının Türkiye için 5 olduğu vurgulanmıştır. Yine Türkiye farklı küme sayılarında test edilerek; bu küme sayıları için Batı Anadolu bölgesindeki sınırlar, Nyst ve Thatcher (2004), Reilinger vd. (2006) ile Aktuğ vd. (2009) tarafından ifade edilen blok sınırları ile karşılaştırılmıştır. Kümeleme analizinin Türkiye için tektonik çalışmalarda önemli bir tamamlayıcı analiz olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Granat vd. (2021), GNSS istasyonlarından elde edilen hız verileri, yer değiştirmeler veya analize eklenebilecek diğer bir takım özelliklerden yararlanarak kümeleme analizi için veri odaklı bir yaklaşım ifade etmişlerdir. Çalışma Kaliforniya ve Batı Nevada bölgesindeki hız alanında uygulanmıştır. Kümeleme analizi sonucu elde edilen kümelerin; fayları ve jeolojik sınırları takip eden bölümleri gösterdiğinin altı çizilmiştir.

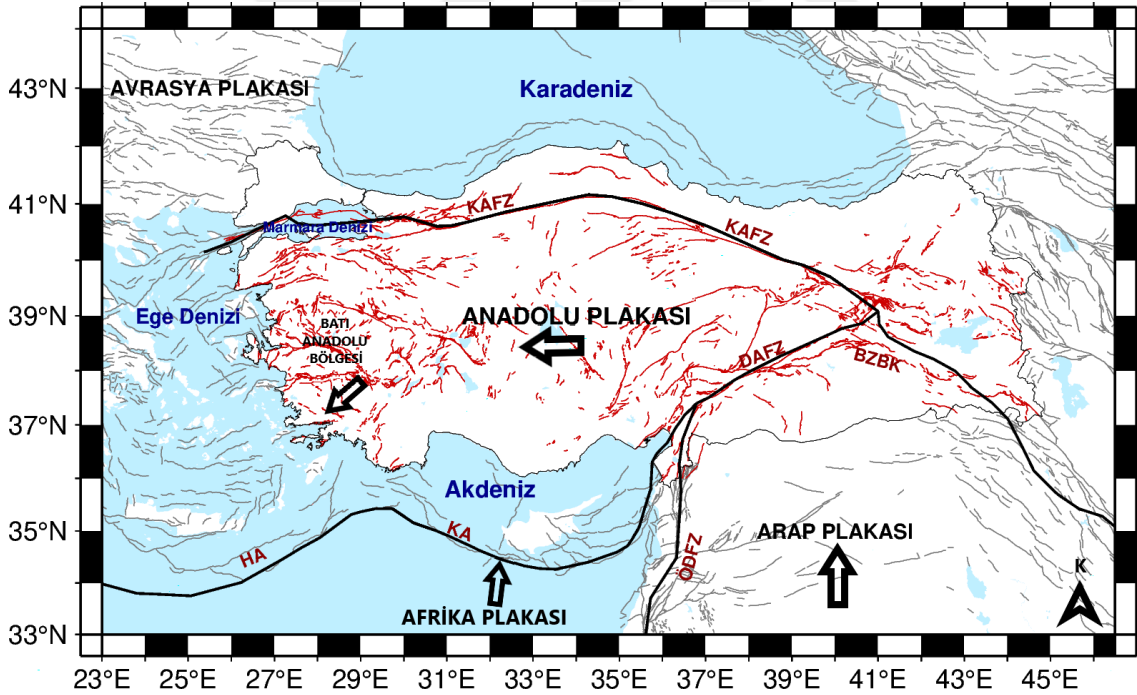
Kılıç ve Özarpacı (2022) tarafından yapılan çalışma dikkate alındığında ise farklı kümeleme teknikleri ile Türkiye hız alanı değerlendirilerek blok model sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada giriş verisi olarak GNSS istasyonlarından elde edilen hız verileri kullanılmıştır. En uygun küme sayısını ise belirlemek içinse GAP istatistik algoritmasından yararlanılmıştır. En uygun küme sayısı bu çalışmada 5 olarak

elde edilmiştir. Elde edilen 5 küme sayısında GNSS hız verileri test edilerek çalışmanın sonuçları Reilinger vd. (2006) çalışmasında ifade edilen blok model sınırları ile karşılaştırılmıştır.



3. TÜRKİYE TEKTONİĞİ VE BLOK MODELLER

Anadolu Plakası'nın jeolojik yapısının, karmaşık çeşitli süreçler neticesinde şekillendiği görülmektedir. Özellikle bu noktada Anadolu Plakası'nın konumu, farklı plakaların etkisi altında bulunmasıyla tektonik açıdan dikkat çekici bir özelliğe sahiptir. Bu plaka dünyanın önde gelen üç deprem kuşağından biri olan Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı'nda bulunmaktadır. Alp-Himalaya Orogenik Kuşağı; Avrasya Plakası, Afrika Plakası, Arap Plakası ile Hindistan Plakası'nın etkileşimi sonucu oluşmuştur. Afrika, Arap ve Hindistan plakalarının Avrasya Plakası'na doğru olan kuzey yöndeki hareketiyle; Anadolu Plakası saatin tersi yönünde hareket etmektedir. Kıtasal ölçekteki bu hareketin sonucunda 'tektonik kaçış modeli' olarak adlandırılan bir tektonik rejim oluşmuştur. Bu nedenle Anadolu Plakası, kıtasal deformasyonun en iyi örneklerine ev sahipliği yapan bir konumda yer almaktadır (McClusky vd. 2000, Emre vd. 2018).



Şekil 3.1 Plaka hareketleri ve fay zonları.

Şekil 3.1'de kırmızı çizgiler Emre vd. (2013) çalışmasından temin edilen fayları, açık gri çizgiler Zelenin vd. (2022) çalışmasından temin edilen fayları göstermektedir. Siyah kalın oklar ana plakaların hareket yönlerini gösterirken; siyah kalın çizgiler ise ana plaka sınırlarını temsil etmektedir. Şekilde KAFZ; Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ;

Doğu Anadolu Fay Zonu, BZBK; Bitlis Zagros Bindirme Kuşağı, ÖDFZ; Ölüdeniz Fay Zonu, HA; Helenik Ark, KA; Kıbrıs Ark'ını göstermektedir.

Anadolu Plakası'nda; Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Bitlis-Zagros bindirme fayı ile birlikte Helenik ve Kıbrıs arkları, ana tektonik plakaların sınırlarını şekillendiren temel yapılar olarak kabul edilmektedir (McClusky vd. 2000, Jolivet 2001, Jimenez-Munt vd 2003, Thatcher 2003, Nyst ve Thatcher 2004, Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, Özener vd. 2010, Aktuğ vd. 2013).

Bu noktada Anadolu Plakası'nda literatürde tanımlanan blok sınırları boyunca devam eden Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Avrasya ile Anadolu plakalarını birbirinden ayırmaktadır. Bu zon, sağ yanal doğrultu atım özelliği gösteren transform bir fay sisteminden meydana gelmektedir. Doğu Akdeniz Bölgesi'nin en aktif fay zonlarından biri olma özelliğine sahip olan zon, tarihsel süreç içinde çok sayıda yıkıcı depreme ev sahipliği yapmıştır. Anadolu Plakası boyunca yaklaşık D-B uzanımına sahiptir ve Anadolu Plakası'nın batısında bulunan Marmara Denizi'nden başlayıp plakanın doğusuna kadar uzanmaktadır. Yaklaşık 1500 km uzunluğa sahiptir. Neotektonik dönemde oluşan bu fay, yaklaşık 11 milyon yıl önce başlayan bir sürecin ürünü olarak görülmektedir. KAFZ, Arabistan Plakası'nın kuzeye doğru hareketi sonucu ortaya çıkmıştır. Anadolu Plakası, Avrasya Plakası ile çarpışarak bu süreç etkilenmiştir (Bozkurt 2001, Emre vd. 2013, 2018). KAFZ boyunca doğrultu atım özelliğinin etkilerine bağlı olarak çok sayıda havza gözlenmektedir. Erzincan, Adapazarı, Marmara Denizi ve Saros Körfezi'nde bulunan bazı havzalar bu özelliğin en güzel örneklerini sağlamaktadır (Şengör vd. 2005, Emre vd. 2018). Temelde üç ana bölüme ayrılarak değerlendirilen KAFZ'nin Doğu ve Orta bölümünü oluşturan kısım dar bir deformasyon zonu ile temsil edilirken, Batı bölümü ise geniş bir deformasyon zonu ile temsil edilmektedir.

KAFZ'nin doğu bölümü Karlıova eklemi ile Niksar boyunca yaklaşık 400 km boyunca devam etmektedir. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip Karlıova Ekleminin aksine Erzincan'ın doğusu boyunca uzanan bölüm doğrusal ve belirgin vadiler boyunca dar bir zonda devam etmektedir. KAFZ'nin orta bölümü ise Niksar ile Dokurcun arasında yer

almakta ve yaklaşık 500 km boyunca uzanmaktadır. Dokurcun Vadisi'nde iki kola ayrılarak batıda bu bölüm son bulmaktadır. Bu bölüm yirminci yüzyılda çok sayıda deprem ile parçalı olarak kırılmıştır (Emre vd. 2018). Batıda ise Dokurcun ile Saros Körfezi boyunca uzanmaktadır. Batı bölümünde iki kola ayrılan zon kuzey ve güney kolları şeklinde değerlendirilmektedir. Kuzey kolu, Marmara Denizi ile Ege Çukuru boyunca uzanmakta olup, literatürde tanımlanan; Avrasya ve Anadolu plakalarını birbirinden ayıran blok sınırıdır (Le Pichon 2001, 2003, Şengör vd. 2005, Reilinger vd. 2006, Emre vd. 2018, Seyitoğlu vd. 2022). Güney kolu ise Dokurcun Vadisi'nde Gemlik Körfezi boyunca batıya doğru devam ederek Biga Yarımadası çevresindeki KD-GB uzanımında olan doğrultu atımlı fay sistemleri ile bütünleşir (Şengör vd. 2005, Emre vd. 2010, 2011a, b, 2013, 2018). Tarihsel ve aletsel deprem kayıtları incelendiğinde KAFZ boyunca çok sayıda yıkıcı ve yüzey kırığına sebebiyet veren deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri $M_w:7.4$ ile $M_w:6.3$ arasında değişmektedir (Emre vd. 2013, 2018). Ayrıca aletsel dönem deprem kayıtları incelendiğinde KAFZ ile ilişkili olabilecek fakat yüzey kırığı oluşturmeyen 32 adet orta büyüklükte deprem meydana gelmiştir (Kadiroğlu vd. 2016, Emre vd. 2018). Tüm bunlarla beraber aletsel ve tarihsel dönem deprem kayıtları incelendiğinde KAFZ boyunca depremlerin daha yoğun olarak meydana geldiği bölge Marmara Denizi ve çevresi olmuştur. Buna bağlı olarak Marmara Denizi'nin gerilme birikimine sahip olma eğiliminde olduğu açıktır. Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki önümüzdeki 30 yıllık bir süreç içinde KAFZ'nin büyük bir deprem üretme potansiyeli yüzde elli civarındadır (Şengör vd. 2005, Emre vd. 2018).

Anadolu Plakası üzerinde var olan tarihsel ve aletsel deprem kayıtlarında yıkıcı ve yüzey kırığına sebep olan depremlerin bir kısmının ise Doğu Anadolu Bölgesi'nde meydana geldiği görülmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi güneyinde Güneydoğu Anadolu, kuzeyinde ise Kafkasya tarafından sınırlandırılan bir alanda yer almaktadır. Arap Plakası'nın neden olduğu kuzey yöndeki hareket sonucunda bölgede K-G doğrultusunda sıkışmalı bir tektonik rejim hakimdir. Bölgede KB-GD ve KD-GB uzanımına sahip doğrultu atımlı fayların yanı sıra, D-B ve K-G uzanımında ters ve normal faylar da bulunmaktadır (Şengör vd. 1985, Şaroğlu ve Güner 1981, Emre vd. 2018). Bunun yanı sıra bölgede volkanik faaliyet özelliği gösteren Kuvaterner yapısal özellikler de mevcuttur (Emre vd. 2018). Dünyanın en aktif fay zonlarından biri

olan ve Anadolu Plakası'nın da oluşumunda rol oynayan bu bölgedeki önemli bir zon Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'dur. Bu zon KD-GB doğrultusunda ve yaklaşık 600 km uzunluğunda ve literatürde 7 fay segmenti şeklinde tanımlanmaktadır. Bu zon Arap ve Anadolu plakalarının sınırını temsil etmektedir. Karmaşık bir sol yanal doğrultu atım özelliği göstermektedir (McKenzie 1970, Arpat ve Şaroğlu 1972, Westaway 1994, Aktuğ vd. 2016, Emre vd. 2018, Duman vd. 2018). DAFZ'nin doğu bölümü tek fay şeklinde yaklaşık 300 km boyunca uzanmaktadır. Fakat daha batıda kuzey ve güney kolları şeklinde 2 farklı fay yapısına ayrılan zon yaklaşık 65 km genişliğinde bir deformasyon bölgesi oluşturmaktadır. Zonun ana kolu güney koludur ve Karlıova ile Antakya arasında yaklaşık 600 km boyunca KD-GB uzanımında devam etmektedir. Bu kol Ölüdeniz Fay Zonu'na bağlanmaktadır. DAFZ'nin kuzey kolu ise KD-GB uzanımında Çelikhan ile İskenderun Körfezi arasında yaklaşık 400 km boyunca uzanmaktadır. Bu kol İskenderun Körfezi'nden Misis-Girne Kuşağı'na bağlanmaktadır. Tarihsel ve aletsel deprem kayıtları incelendiğinde ise bu zon üzerinde yıkıcı depremlerin meydana geldiği ve aynı zamanda yüzey kırıkları olduğu gözlemlenmektedir (Emre vd. 2013, 2018).

Anadolu Plakası'nın güneydoğu bölümünde ise en dikkat çeken tektonik yapıların başında Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı gelmektedir. Bu kuşak Anadolu Plakası'nın güneydoğusundan başlamakta ve İran'da bulunan Zagros Dağları'na kadar uzanmaktadır. Bu sınır D-B uzanımında karmaşık bir kıta-okyanus ve kıta-kıta çarpışmasının bir sonucudur (Şengör ve Yılmaz 1981, Hempton 1985, Şengör vd. 1985, Yılmaz vd. 1993, Şengör 1979a, b, Yiğitbaş ve Yılmaz, Emre vd. 2018).

Eskişehir Fayı'nın doğusunda KAFZ ve DAFZ ile Tuzgölü Fay Zonu arasında kalan bölge Anadolu Plakası'nın iç bölümünü oluşturan İç Anadolu ya da Orta Anadolu olarak tanımlanmaktadır (Emre vd. 2018). KAFZ'den ayrılarak Anadolu Plakası'nın içine doğru uzanan ve literatürde balık kılıcı yapısı olarak geçen yapı bu bölgede yer almaktadır. Bu yapı KD-GB uzanımında doğrultu atım özelliği gösteren fay yapıları ile karakterize edilmektedir. Bu bölgenin batı bölümünde ise KB uzanımında farklı fay segmentleri bulunmaktadır (Şengör vd. 1985, Emre vd. 2018). Bölgede KAFZ ana koluna paralel şekilde sağ yanal doğrultu atımlı faylar DKD-BGB uzanımındadır

(Şengör vd. 1985, 2005). Orta Anadolu'nun en büyük tektonik yapılarının başında gelen Ecemiş, Erciyes ve Deliler Fay Zonu burada bulunmaktadır (Emre vd. 2018). Bunların yanı sıra literatürde Orta Anadolu Bölgesi olarak tanımlanan bölgenin kuzeybatısında bir çok aktif fay Emre vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ifade edilmiştir. Orta Fayı, Çankırı ve Karakeçili fayları bu faylara örnek olarak verilmektedir.

Anadolu Plakası'nın orta bölümünü oluşturan kabukta yirminci yüzyılda deprem kayıtları incelendiğinde iki büyük deprem göze çarpmaktadır. Bu depremlerden ilki, sağ yanal doğrultu atım özelliği gösteren Akpınar Fayı üzerinde 1938 yılında meydana gelen Ms: 6.8 büyüklüğünde olan Kırşehir Depremi'dir. Bir diğeri ise Orta Fayı üzerinde meydana gelen Mw: 6.0 büyüklüğünde olan Orta Depremi'dir. Bu depremler sonucunda KAFZ'ye kadar uzanan çok ince yüzey çatlaklarının meydana geldiği tespit edilmiştir (Emre vd. 2001, 2018).

Orta ve Batı Anadolu'yu birbirinden ayıran yapılar diğer önemli fay zonları olan; Eskişehir ve Tuz Gölü Fay zonları olarak ifade edilmektedir (Koçyiğit ve Özacar 2003, Emre vd. 2018). Eskişehir Fay Zonu BKB-DGD uzanımında İnegöl'den Tuzgölü'ne kadar uzanmakta ve farklı segmentlerinde normal fay ve doğrultu atımlı fay özelliklerini göstermektedir (Bozkurt 2001). Tuzgölü Fay Zonu ise normal faylanma özelliği göstererek 6 segmentten oluşmakta ve KB-GD uzanımında yaklaşık 200 km boyunca devam etmektedir (Emre vd. 2013, 2018).

Anadolu Plakası'nın batıya rejimi içinde önemli bir konumda Isparta Açısı yer almaktadır (McKenzie 1978, Koçyiğit 1983, Boray vd. 1985, Şengör vd. 1985, Barka vd. 1995, Robertson 1998, Koçyiğit ve Özacar 2003, Dolmaz 2007, Över vd. 2010, Tiryakioğlu vd. 2013). Isparta Açısı, Blumenthal (1963) tarafından yapılan çalışmada ilk kez tanımlanmıştır. Ters V yapısı şeklinde, V'nin uç kısmı güneye bakmakta, tepe noktası ise Sultandağı Fayı kıvrımına uzanmaktadır (Emre vd. 2003, 2018). Isparta Açısı'nın ana tektonik unsuru Şengör vd. (1985) tarafından yapılan çalışmada Sultandağı Fayı olarak nitelendirilmiştir. Bu fay zonunda 3 Şubat 2002 meydana gelen Mw: 6.5 büyüklüğündeki Sultandağı Depremi ile bu fay zonunun eğim atımlı normal fay olduğu anlaşılmıştır. Depremde ayrıca yüzey kırılmaları da meydana gelmiştir

(Emre vd. 2002, 2018). Bu açı kuzeyde Sultandağı Fay Zonu ile sınırlanırken, batıda Karamuk Fayı, doğuda ise Tuzgölü-Konya havzasından Fethiye-Burdur Fay Zonu'na bağlanmaktadır (Barka vd. 1995, Emre vd. 2018).

Isparta açısı karmaşık halde bulunan graben sistemlerinden meydana gelmektedir. Fakat İç ve Dış Isparta Açısı sınırlarında grabenlerin geometrileri değişkenlik göstermektedir. Ayrıca bölgenin dışında kalan Afyon-Akşehir Graben Sistemi'nde görülen jeotermal bölgeler bu alandaki gerilmenin bir sonucu olarak görülmektedir. Herşeyden önemlisi Anadolu Plakası'nın batı kanadını oluşturan Batı Anadolu'nun saat yönünün tersine olan hareketi Isparta Açısı ile açıklanmaktadır (McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 1997, 2006, Aktuğ vd. 2009, Tiryakioğlu 2013).

Ülkenin batısına bakıldığında ise Batı Anadolu ayrı bir bölge konumunda kabul edilmektedir. Batı Anadolu Bölgesi KAFZ'nin güneyinde ve Türkiye'nin batısını oluşturan bir bölümde bulunmaktadır. Bu bölge Emre vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada; kuzeyinde sağ yanal atımlı Simav Fayı, doğusunda ise Burdur-Fethiye Fay Zonu ile sınırlandırılarak belgelenmektedir. Bölgede karmaşık bir şekilde normal, ters, yanal, doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlakları gibi farklı yapısal özelliklere sahip alanlar bulunmaktadır. Gediz Graben Sistemi, Müyük Menderes, Denizli, Acıgöl, Çivril-Dinar ve Burdur grabenleri bölgenin en belirgin yapısal özellikleri olduğu söylenebilir (Emre vd. 2018, Şaroğlu ve Güler 2020).

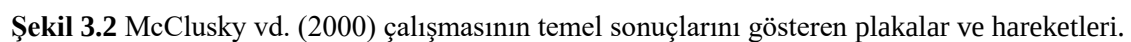
D-B uzanımında yaklaşık 170 km boyunca uzanan ve Ege Denizi ile Denizli Grabeni arasında kalan alan Büyük Menderes Graben Sistemi'ni oluşturmaktadır. Büyük Menderes Graben Sistemi'ne göre oldukça karmaşık bir tektonik yapıdan meydana gelen Gediz Graben Sistemi ise KB-GD uzanımlı 150 km boyunca devam etmektedir. Bu graben sistemi yoğun bir depresellik oluşturma potansiyeline sahip olsa da bu sistem üzerinde yirminci yüzyılda yüzey kırığı oluşturan tek deprem 1969 yılında Ms:6.9 büyüklüğünde meydana gelen Alaşehir Depremi'dir. Bu sistem 17 fay segmentine ayrılarak belgelenmiştir. Büyük Menderes Graben Sistemi ile Gediz Graben Sistemi'nin doğusu ise Denizli Graben Sistemi'ne ulaşmaktadır. Bu sistemde ise oldukça parçalı normal fayların hakim olduğu görülmektedir (Emre vd. 2018). Bölgede yüzey

kırıklarına sebebiyet veren önemli depremler; 1955 yılında meydana gelen Ms:6.8 büyüklüğündeki Söke Depremi, 1969 tarihinde meydana gelen Ms: 6.9 büyüklüğünde Alaşehir Depremi ve 1995 yılında gerçekleşen Mw:6.4 büyüklüğündeki Dinar Depremi olarak ifade edilebilir (Emre vd. 2013, 2018). Bölgedeki depremlerin dağılımına bakıldığında ise kabuğun aktif bir deformasyona uğradığı açıktır. GNSS ölçümleri ile yapılan çalışmalarda yıllık 20 mm/yıl hızla Batı Anadolu dünyanın en hızlı genişleyen tektonik bölgelerinden biri konumunda bulunmaktadır (Aktuğ vd. 2009). Bölgenin jeolojik olarak gelişimi incelendiğinde ise bazı sorunların hala çözülmediği aşıkardır. Bu noktada Batı Anadolu Bölgesi ayrıca incelenmesi gereken önemli bir bölge olarak görülmektedir (Yılmaz 2017, Şaroğlu ve Güler 2020).

Anadolu Plakası'nın kuzeybatısı ise Kuzeybatı Anadolu olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgenin kuzeyinde KAFZ plaka sınırı olarak yer almaktadır. Güney sınırında ise Simav, Soma ve Zeytindağ fay zonları bulunmaktadır. Güney sınırının doğu bölümünü oluşturan KB-GD uzanımlı ve yaklaşık 200 km boyunca uzanan Simav Fay Zonu bulunmaktadır. Sağ yanal doğrultu atım özelliği gösteren bu zon daha doğuda Afyon-Akşehir Graben Sistemi'ne ulaşmaktadır (Emre vd. 2018). Bu bölgede bulunan fay kıvrımları çok segmentli fay sistemleri tanımlanmaktadır. Bölgede 1953 yılında meydana gelen Yenice-Gönen Depremi Ms:7.2, 1964 yılında gerçekleşen Manyas Depremi Ms:7.0 ve 1970 yılında Ms:7.2 büyüklüğünde gerçekleşen Gediz Depremi'nde yüzey kırılmaları gözlenmiştir (Emre vd. 2013, 2018).

Günümüz teknolojisinde önemli bir yere sahip olan GNSS teknolojisi ile tektonik araştırmalar için yüksek konum ve hız bilgisinin sağlanabildiği aşıkardır (Şafak vd. 2020). Bu teknoloji kullanılarak yapılan çalışmalarda, Arap Plakası'nın Avrasya Plakası'na göre kuzey yöndeki yaklaşık 20 mm/yıl hızla hareketiyle bu doğrultu boyunca Doğu Anadolu'daki Bitlis ve Zagros Bindirme Kuşağı yaklaşık 20 mm/yıl hızla sıkışmaktadır. Anadolu Plakası'nın ise batıya doğru saat yönünün tersine olan hareketi yaklaşık 20-25 mm/yıl olarak ifade edilmektedir. Batı Anadolu Plakası'nın hareketi ise Afrika Plakası'nın Avrasya Plakası'na doğru yaklaşık 5-10 mm/yıl hızla hareketiyle birlikte Helen Yayını'na dalması sonucu yaklaşık 30-40 mm/yıl hızla B-GB yönünde hareket ettiği görülmektedir (Reilinger vd. 2006).

Bu çalışmalardan biri olan McClusky vd. (2000), 189 adet GNSS noktasında Avrasya Plakası'nın güney ucundan Afrika Plakası'nın kuzey ucuna kadar kabuk hareketlerini 1988 ile 1997 yılları arasında incelemiştir. Bu çalışmanın temel sonuçları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



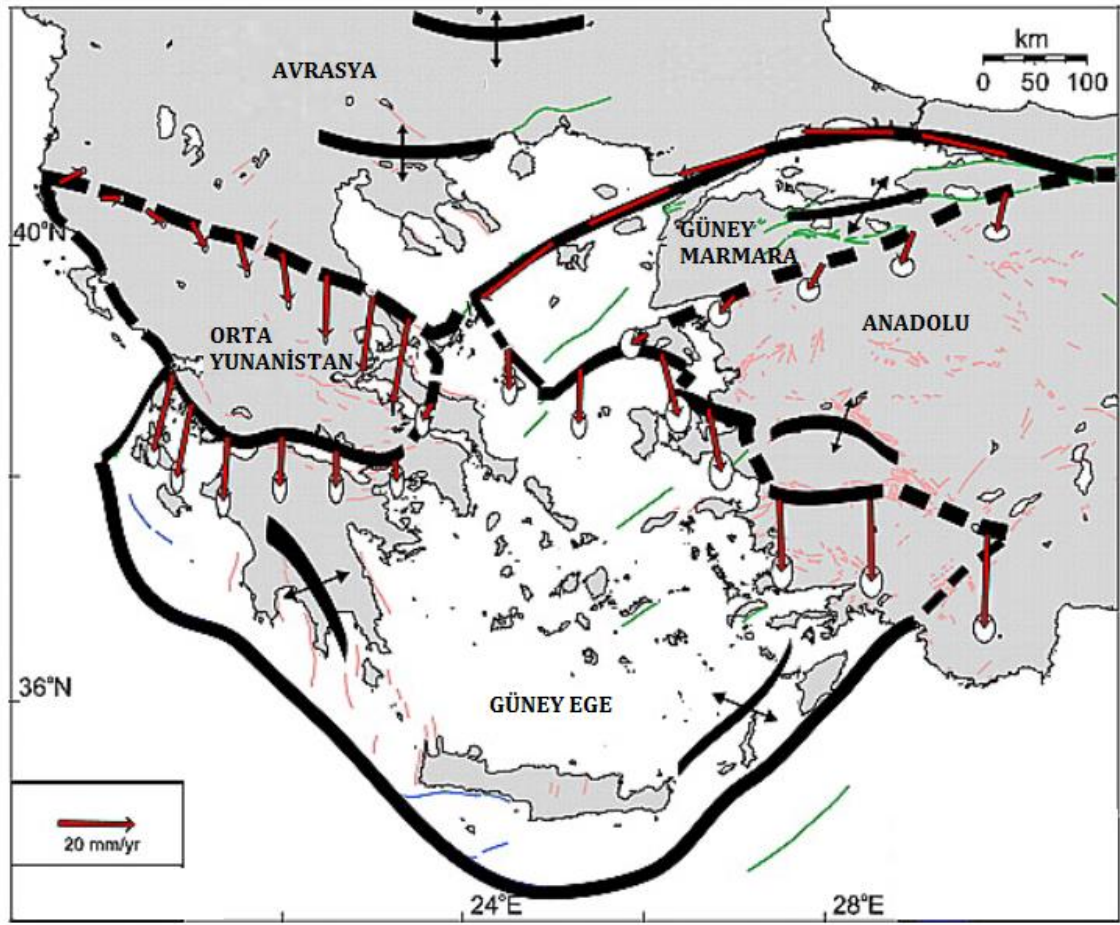
Bu çalışmada Arap Plakası'ndaki noktalar K-KB yönünde Avrasya Plakası'na göre 18 ± 2 mm/yıl olan hareketini devam ettirmektedir. Afrika Plakası'nın ise hareketinin 6 ± 2 mm/yıl ile kuzey yönünde olduğu görülmektedir (Şekil 3.2).

Çalışmada Anadolu Plakası'nın deformasyonu, plakanın farklı bölgelerinde hakim olan dağınık bir deformasyon ile karakterize edilmiştir. Bunun yanı sıra Orta Anadolu'nun batıya doğru olan hareketi ve plakadaki saat yönünün tersine olan hareket ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Anadolu Plakası'nın ise sağ yanal doğrultu atım özelliği gösteren KAFZ ile Avrasya'dan ayrıldığı belirtilmiştir. Çalışmada B-GB yönünde Avrasya'ya göre 30 ± 1 mm/yıl ile Orta ve güney Ege'nin hareketi belirtilmiştir (Şekil 3.2).

Yapılan bu çalışmada GNSS hızlarına dayalı olarak ana plakaların hızları ve hareket yönleriyle beraber sınırları da belirtilmiştir. Anadolu Plakası'ndaki blok sınırlarının ise ana fay zonlarını takip ederek ayrıldığı görülmektedir. Çalışmada Orta Anadolu, Batı Anadolu ve Doğu Anadolu'nun farklı karakteristik özelliklere sahip olduğunun da altı çizilmiştir (McClusky vd. 2000).

Nyst ve Thatcher (2004) tarafından yapılan çalışmada tüm Ege Plakası'nı kapsayan Orta Yunanistan, Güney Ege, Anadolu ve Marmara Denizi'ni kapsayan bir alanda GNSS verilerini kullanılarak hız dağılımını haritalandırmıştır. Aynı zamanda hız verisiyle elde edilen sonuçları, geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda sunulan kinematik modeller ile karşılaştırmış ve uyumlu sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışmalar McKenzie vd. (1972), 1978, McKenzie ve Jackson (1983), Le Pichon vd. (1995) ve McClusky vd. (2000) olmuştur.

Nyst ve Thatcher (2004) çalışmasında plaka sınırları boyunca öngörülen bağlı hareketleri, güney sınır bloğunun kuzey sınır bloğuna göre hareketinin sonucu olduğunu göstermiştir. Ege bölgesinde meydana gelen deformasyonun dört farklı mikropakanın birbirlerine göre hareketlerinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Bu sonuçlarla beraber daha önceki yapılan çalışmalarda Ege bölgesinin çok büyük bir alanını oluşturan geniş deformasyon zonlarının önceki çalışmalarda önerilmediğinin vurgusu yapılarak sunulmuştur. Çalışmada belirtilen plaka sınırları ise Şekil 3.3'de verilmiştir.



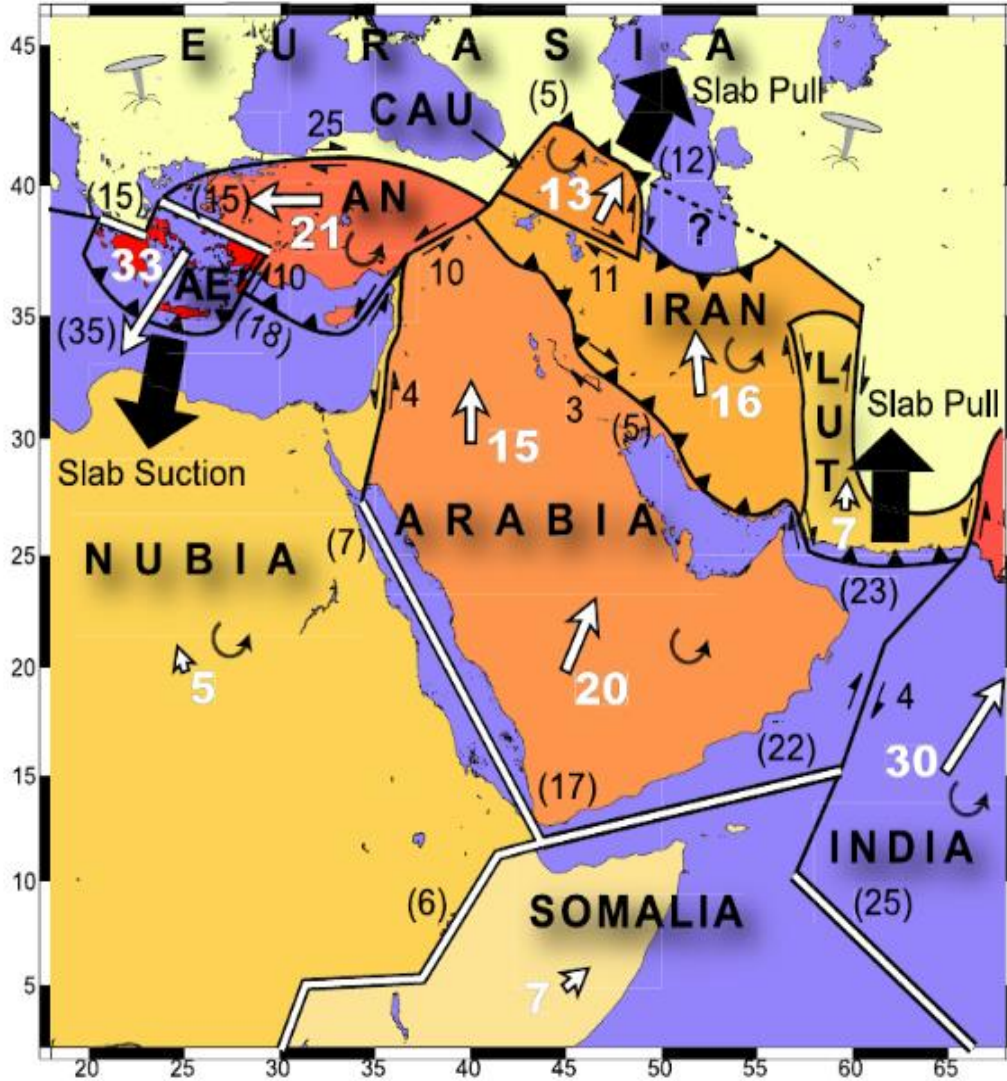
Şekil 3.3 Nyst ve Thatcher (2004) tarafından yapılan çalışmada ifade edilen blok sınırları.

Şekil 3.3'de kırmızı, yeşil ve mavi çizgiler ile aktif faylar gösterilmiştir. Kırmızı çizgiler normal fayları, yeşil çizgiler doğrultu atımlı fayları, mavi çizgiler ise Helenik Ark'ı ifade etmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçların, sismisite, aktif faylanma, fay jeomorfolojisi ve deprem çözümlerinden elde edilen aktif kıtasal deformasyonun tanımıyla uyumlu olduğu elde edilmiştir. Oldukça karmaşık bir kıtasal deformasyonun hüküm sürdüğü bu alanda elde edilen sonuçların aynı zamanda küresel plaka tektoniğine oldukça benzer olduğu ve kinematik tanımlara uyduğu gösterilmiştir. Tüm bu sonuçlarla beraber çalışmada Ege bölgesindeki aktif faylanma ve sismisitenin vurgusu yapılarak bölgenin sismik tehlikesinin altı çizilmiştir.

Tüm Anadolu Plakası'nı ve çevresini kapsayarak yapılan blok model çalışmalarından bir diğeri ise Reilinger vd. (2006) tarafından yapılmıştır. Çalışmada kullanılan GNSS

gözlemleri 1988 ile 2005 yılları arasındadır. Bu gözlemlerin değerlendirilmesiyle Arap, Afrika ve Avrasya plakalarının etkileşim bölgesinde bulunan Dünya'nın geniş bir bölgesinin; Avrasya Plakası'na göre 20-30 mm/yıl aralığında bir hızla; saat yönünün tersine olan dönüşü ifade edilmiştir. Çalışmada Anadolu Plakası ve çevresini de içeren blok model önerilerek, bölge 19 blok sayısında gösterilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Blok sınırları ve hızları (Reilinger vd. 2006).

Çalışmada 19 plakanın hangi yönde ve yıllık ne kadarlık bir hız ile hareket ettikleri ifade edilmiştir. Bu çalışmaya göre Anadolu Plakası'nı etkileyen Arap Plakası'nın hareketi yıllık 15 mm/yıl ile kuzey yöndedir. İran Plakası ise Arap Plakası'na benzer şekilde kuzey yöndeki hareketini yıllık 16 mm/yıl ile devam ettirmektedir. Anadolu

Plakası'nın yıllık 21 mm hız ile batı yönde hareket ettiği görülmekle birlikte Ege Bölgesi'nin güneybatı kanadının yıllık 33 mm hız ile GB yönünde hareket ettiği ifade edilmektedir. Anadolu Plakası KAFZ boyunca Avrasya Plakası'ndan ayrılmaktadır. Bununla beraber çalışmada Arap ve İran Plaka sınırlarının DAFZ boyunca olduğu görülmektedir. Ayrıca kuzeybatı Ege'nin Anadolu Plakası ile olan bütünleşik yapısı dikkat çekmektedir (Şekil 3.4).

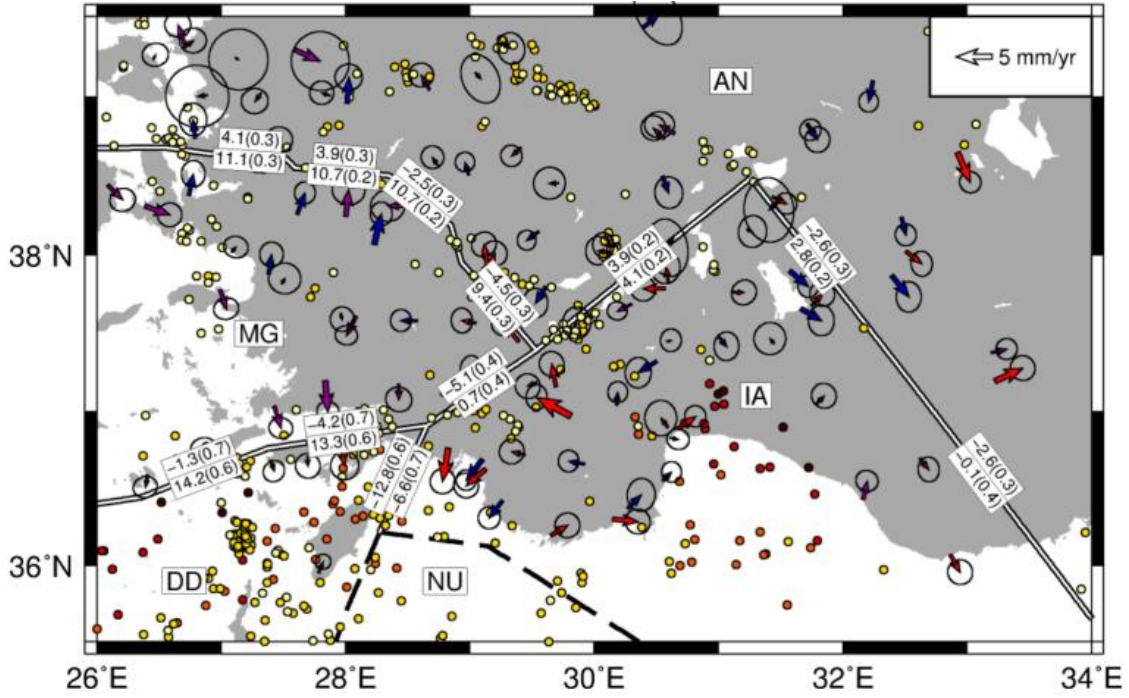
Batı Anadolu bölgesi için Aktuğ vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada ise Anadolu Plakası'nın batısını oluşturan Batı Anadolu Bölgesi hem sabit GPS istasyon hızları hem de kampanya tipinde yapılan ölçümler ile değerlendirilmiştir. Bu tarihe kadar Batı Anadolu Bölgesi bu denli bir nokta sayısı kullanılarak çalışılmamıştır.

Yapılan çalışmada bu bölgedeki 1997 ile 2005 yılları arasındaki ölçümler ile jeodezik hız alanı sunulmuştur. Elde edilen jeodezik hız alanındaki doğruluğun 1 mm/yıl olduğu görülmektedir. Bu hız alanı değerlendirildiğinde, Anadolu Plakası'nın batısında; Orta Anadolu sınırından Ege kıyılarına doğru hızı artan bir genişleme rejiminin hakim olduğu görülmektedir. Anadolu Plakası'nın en batısındaki Ege kıyılarındaki genişlemenin yıllık 20 mm/yıl olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Batı Anadolu'nun kuzeybatı ve güneybatısındaki genişleme yönünün değişimi jeodezik verilerde ve odak mekanizma çözümlerinde görülmüştür. Bu genişleme hızıyla Batı Anadolu; dünyadaki en hızlı genişleme alanlarından biri olduğunu göstermektedir. Bölgede hem büyük depremlerin oluşu hem de GNSS verileri ile elde edilen gerinim oranları yardımıyla, gerinimin önceki çalışmalarda önerilmiş olan blok sınırları ile sınırlı olmadığı bu çalışmada gösterilmiştir.

Nyst ve Thatcher (2004) ile Reilinger vd. (2006) çalışmalarında Orta Anadolu ve Batı Anadolu az sayıda bloktan oluşan bir bölge konumunda ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra az sayıdaki bu blokların birbirlerine göre hareketlerinden yola çıkılarak bu bölgedeki hareketin basit bir şekilde modellenebileceğini ifade etmelerine karşın Aktuğ vd. (2009) sadece Batı Anadolu bölgesini 7 blok sayısında incelemiştir (Şekil 3.5).

Şekil 3.5'de Aktuğ vd. (2009) tarafından yapılan çalışmadaki elastik blok modelinin blok sınırları koyu gri çizgiler ile belirtilmiştir. Modelde sunulan oklar ise artık hızları

edilen sonuçlar Isparta Açısı olarak tanımlanan alanın Anadolu'ya göre saatin tersi yönünde hareket ettiğini göstermiştir. Çalışmada tanımlanan sınırlar Şekil 3.6'da verilmiştir.



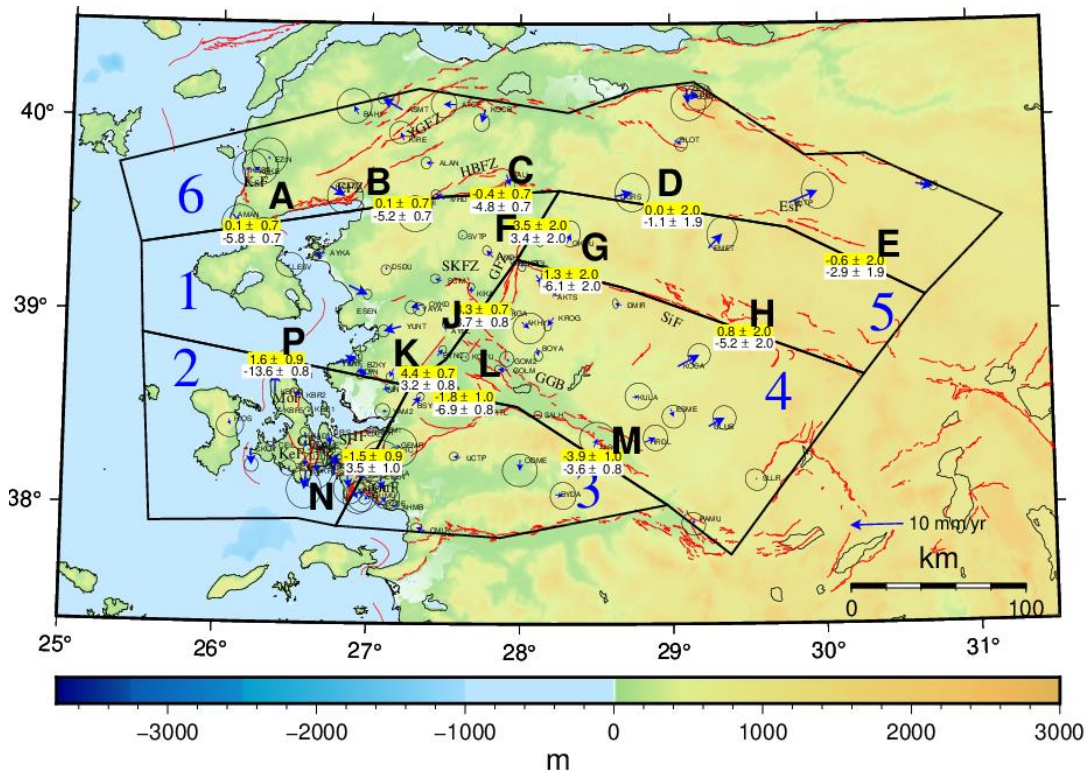
Şekil 3.6 Güneybatı Anadolu'daki Isparta Açısı sınırları (Tiryakioğlu vd. 2013).

Şekil 3.6'da Isparta Açısı'nın doğu kanadı Sultandağı Fay Zonu civarında başlayarak KB-GD uzanımında Akdeniz'e kadar devam ettiği görülmektedir. Tanımlanan bu sınır Isparta Açısı'nın doğu kanadını oluşturur niteliktedir. Sınırın batı kanadının ise Sultandağı Fay Zonu civarında başlayarak KD-GB uzanımında yaklaşık Dalaman yerleşim alanına kadar devam ettiği görülmektedir. Burada tanımlanan sınırın kuzey kolunun Datça Yarımadası'nın kuzeyi ile Bodrum'un güneyinden olacak şekilde Ege Denizi içinde uzandığı da dikkat çekmektedir (Şekil 3.6). Emre vd. (2018), Anadolu Plakası üzerinde var olan aktif fay yapılarını ifade etmiş ve bölgenin neotektonik çerçevesini çalışmasında sunmuştur. Önemli fay zonları boyunca plaka sınırları ifade edilmiştir (Şekil 3.7).

Şekil 3.7'de HA; Helenik Yayı, CA; Kıbrıs Yayı, DSFZ; Ölü Deniz Fay Zonu, EAFZ; Doğu Anadolu Fay Zonu, NAFZ; Kuzey Anadolu Fay Zonu, SATZ; Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu olarak gösterilmiştir. 1 numaralı blok Batı Anadolu'daki

Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. 1 numaralı alt tektonik bloğun kuzey sınırı, Tatarlı Fay Zonu civarında kuzeybatı yönünde Simav Fay Zonu'nu takip etmiş daha sonra güneybatı uzanımında devam ederek Bergama Fayı ile Yenifoça Fay sınırlarını izleyip Seferihisar Fayı'na bağlanarak Ege Denizi'ne ulaşmıştır (Şekil 3.7).

Solak (2020) ve Solak vd. (2024) çalışmasında Batı Anadolu'daki deformasyon modelini belirlemek için İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) ile uyumlu bir blok model çalışması yapmıştır (Şekil 3.8).

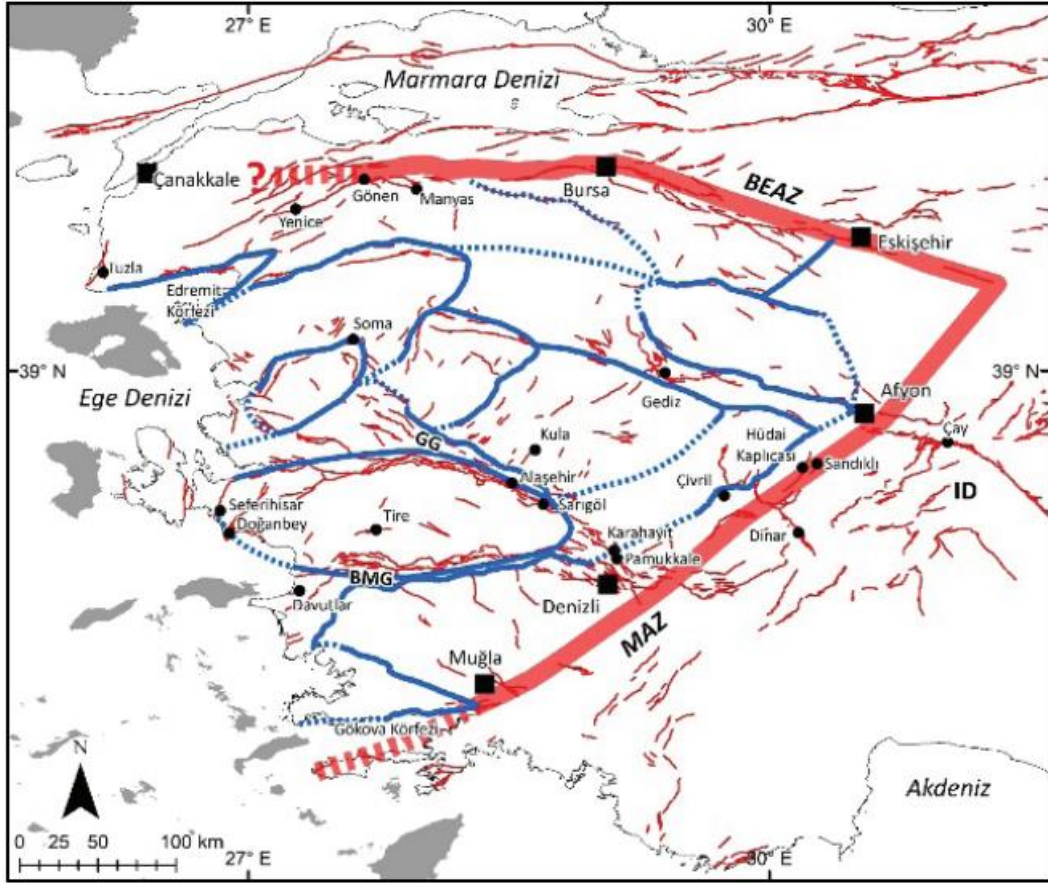


Şekil 3.8 Solak vd. (2024) çalışmasında önerilen blok model (Solak vd. 2024).

Modelde 111 adet GNSS noktası kullanılmıştır. Bu GNSS noktalarından elde edilen veriler akademik yazılımlardan biri olan GAMIT/GLOBK ile değerlendirilerek jeodezik hız alanı elde edilmiştir. Elde edilen hız alanı, bu bölgenin Avrasya Plakası'na göre 18-28 mm/yıl hız ile güneybatı yönündekini hareketini göstermiştir.

Bölgede genişleme rejiminin daha baskın olduğu ifade edilmiş ve 6 blok ile çalışma alanı temsil edilmiştir. Bu çalışmada önerilen blok model Şekil 3.8'de verilmiştir.

Anadolu Plakası üzerinde karmaşık yapılara ev sahipliği yapan Batı Anadolu, Şaroğlu ve Güler (2020) çalışmasında tektonik kama şeklinde incelenmiştir. Şaroğlu ve Güler (2020), Batı Anadolu Tektonik Kaması tanımlaması ile bu kama içindeki blok hareketlerini incelemiştir. Bu kama ve içinde tanımlanan bloklar Şekil 3.9'da verilmiştir.



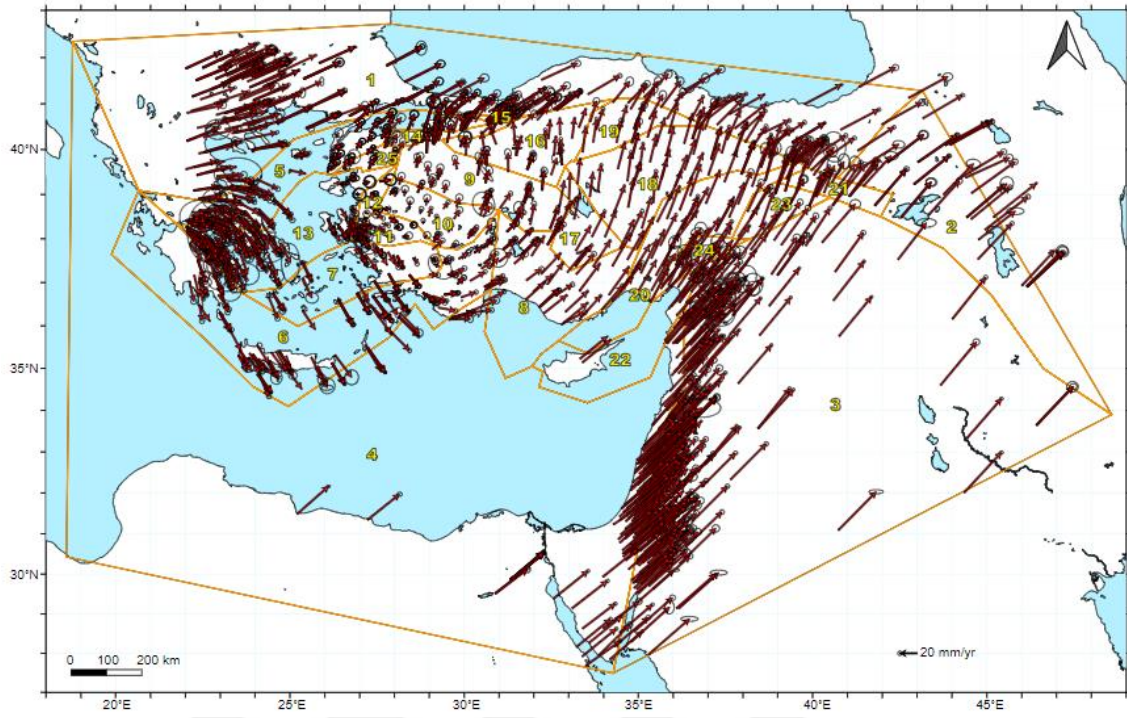
Şekil 3.9 Batı Anadolu bölgesi için ifade edilen tektonik kama ve içinde yer alan bloklar (Şaroğlu ve Güler 2020).

Özellikle bu tektonik kama içerisinde yer alan yapıların kendine özgü bir deformasyonu olduğu savunulmuştur. Batı Anadolu'nun ayrıca incelenmesi gereken tektonik bir bölge olduğunun altı çizilmiştir. Çalışmada tanımlanan bu tektonik kama batıya doğru genişleyen bir geometrik şekil ile tanımlanmıştır. Tanımlanan bu alanın tamamının GNSS verilerinden yola çıkılarak B-GB yönünde hareket ettiği ifade edilmiştir. Şekil 3.9'de Şaroğlu ve Güler (2020) tarafından tanımlanan tektonik kama ve içerisinde yer alan bloklu yapılar gösterilmektedir. Şekilde kırmızı kalın çizgiler çalışmada tanımlanan tektonik kama sınırını ifade ederken, içindeki mavi sürekli ve kesikli çizgiler bloklu

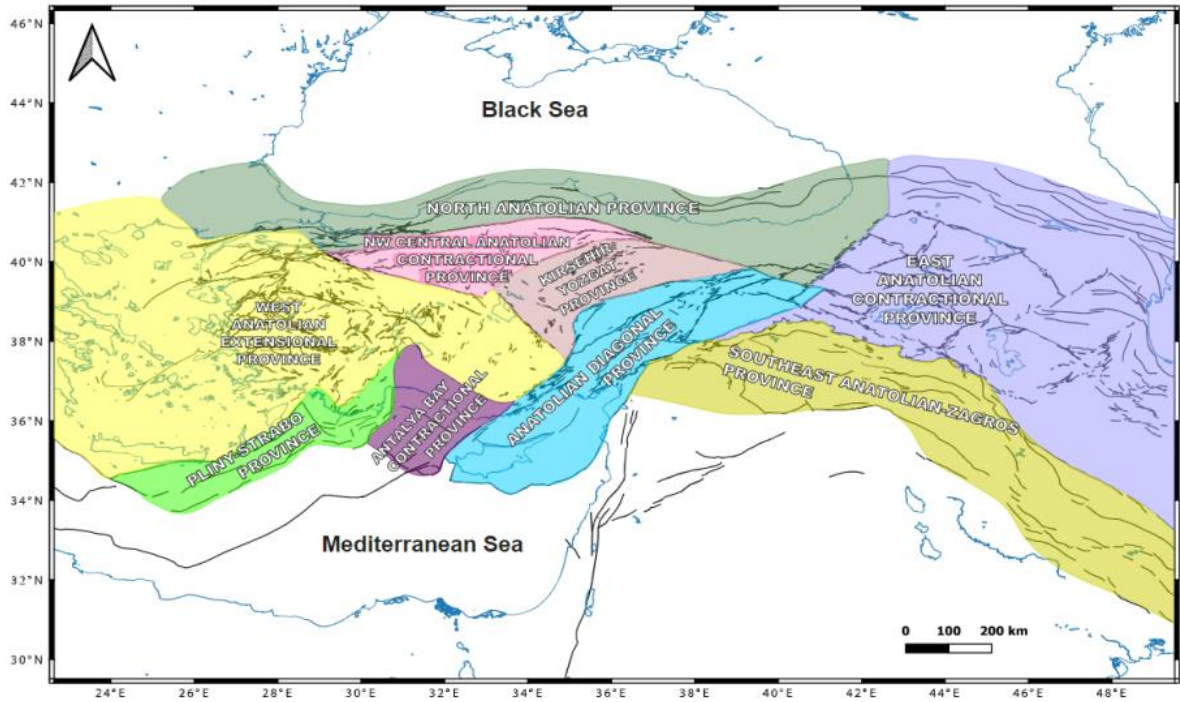
yapıları ifade etmektedir. Çalışmada, Batı Anadolu'nun daha önce sunulmuş olan birçok makalede K-G yönünde hakim olan aktif bir gerilme ile yorumlanabilecek yeterli verinin olmadığı verilmiştir. GNSS verilerinden yararlanılarak açıklanan bölgenin hareketinde Aktuğ vd. (2009) ile Reilinger vd. (2006) çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu çalışmalarda Avrasya Plakası sabit alınarak sunulan hız alanları kullanılarak, farklı hareket eden bloklar arasında meydana gelen çöküntü alanları ifade edilmiştir. Gravite, paleomanyetizma, bölgede oluşan depremlerin çözümleri ile kabuk kalınlığı verileri de analiz edilmiştir. Tüm bu verilerin de çalışmada sunulan modelin hareketini desteklediği görülmüştür. Bununla beraber Şaroğlu ve Güler (2020), Batı Anadolu'daki K-G yönde genişleme hareketini gösteren herhangi bir jeodinamik etkenin bulunmadığının da altını çizmiştir.

Şaroğlu ve Güler (2020), modeldeki bazı alanların ayrıntılı çalışılması gerektiğini belirterek bu bölgelerin Simav, Edremit Körfezi ve Söke olduğunu söylemiştir. Sunulan tektonik kamanın oluşmasında temelde üç ana faktörün etken olduğu ifade edilerek bu ana föktörlerin; Isparta Açısı, KAFZ ile DAFZ gibi önemli fay zonlarının arasında kalan Orta Anadolu Plakası'nın batıya doğru olan kaçış hareketiyle birlikte bölgenin güneybatısındaki dalma-batma zonu olduğudur.

Anadolu Plakası üzerinde yapılan bir diğer çalışma Seyitoğlu vd. (2022) çalışması olmuştur. Anadolu Plakası ve çevresinde sismik aktiviteler ile uyumlu yeni neotektonik bölgeler bu çalışmada sunulmuştur. Çalışma bölgesinde 1498 GNSS istasyonundan elde edilen 2996 gözlem verisi kullanılarak bölgenin GNSS hız alanı elde edilmiştir. Bu hız alanı bölgede devam eden deformasyon hakkında bilgi sahibi olmayı sağlarken aynı zamanda ana fay zonları boyunca kayma oranlarındaki değişiminde çok iyi bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır. Bölgeyi kapsayan bir blok modeli de bu çalışmada önerilmiştir. Modelde çalışma bölgesi 25 bloğa ayrılarak gösterilmiştir (Şekil 3.10). Şekil 3.10'da kırmızı oklar GNSS noktalarındaki hızları gösterirken turuncu çizgiler ise blok sınırlarını temsil etmektedir. Blok sınırlarının yanısıra çalışmada Anadolu Plakası üzerinde dokuz farklı neotektonik bölge önerilmiştir. Şekil 3.11'da önerilen bu neotektonik bölgeler gösterilmiştir. Bu sınırların önemli fay zonları boyunca devam ettiği görülmektedir. Belirlenen neotektonik bölgeler elastik diskolasyon modeli ile değerlendirilmiştir.



Şekil 3.10 Seyitoğlu vd. (2022) çalışmasında önerilen blok sınırları (Seyitoğlu vd. 2022).

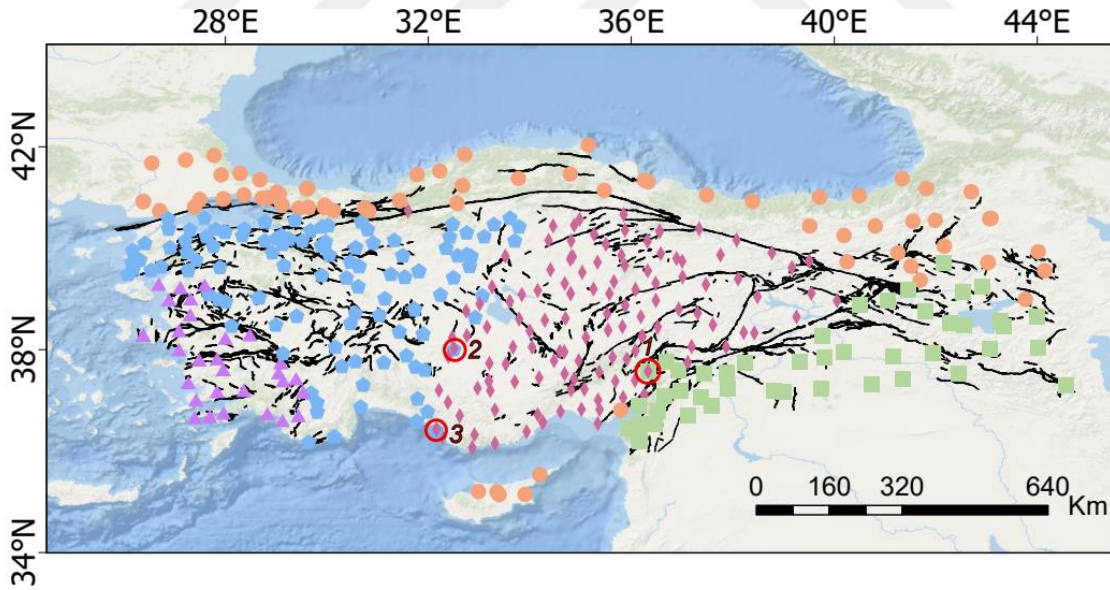


Şekil 3.11 Türkiye'nin neotektonik bölgeleri (Seyitoğlu vd. 2022).

Güneydoğu Anadolu Kaması, Anadolu Plakası'nın güneydoğu bölgesinde Suriye ve Kuzey Irak'taki bindirme ve asimetrik dalma ilişkisi ile açıklanmıştır. Anadolu

Diyagonal olarak belirtilen bölgenin sınırları ise KAFZ ve DAFZ ile olan bağlantıları ile tanımlanmaktadır. Anadolu Plakası'nın B-GB yönündeki hareketinin Ege ve Kıbrıs yayları ile olan ilişkisi verilmiştir. Elmadağ, Eldivan ve Abdüsselam kamaları ile Beypazarı Bindirme Zonu'nun geliştiği Anadolu'nun kuzeyinde, Eskişehir ve Kırıkkale - Erbaa fay zonları arasında KB-GD daralma yönünde bir neotektonik bölge verilmiştir. KAFZ güney kolunda, Balıkesir, Mudurnu, Bursa ve İzmir üzerinden Bolu ile Ege Denizi'ndeki Değirmenlik Adası arasında yeni bir sınır Seyitoğlu vd. (2022) tarafından önerilmiştir.

Özarpacı vd. (2023) GPS'ten elde edilen hız alanlarında blok geometrisi oluşturabilmek amacıyla kümeleme analizinden yararlanmıştır. Buradan yola çıkarak Anadolu Plakası üzerindeki hız alanında en uygun küme sayısını belirleyebilmek için Davies-Bouldin, Elbow, GAP ve Silhouette eğrilerinden yararlanmışlar ve optimum küme sayısını 5 olarak elde etmişlerdir. Elde edilen 5 küme sayısında kümelenmiş veri Anadolu Plakası üzerinde Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12 5 küme sayısında yapılan kümeleme analizi sonuçları (Özarpacı vd. 2023).

Şekil 3.12 incelendiğinde, aletsel dönem deprem kayıtlarında büyük ve yıkıcı depremlere ev sahipliği yapan ana fay zonları olan KAFZ ve DAFZ sınırlarının iyi bir şekilde ifade edildiği görülmektedir. KAFZ'nin kuzeyi ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde bulunan GNSS noktalarının aynı kümeye atandığı yine bu çalışmada

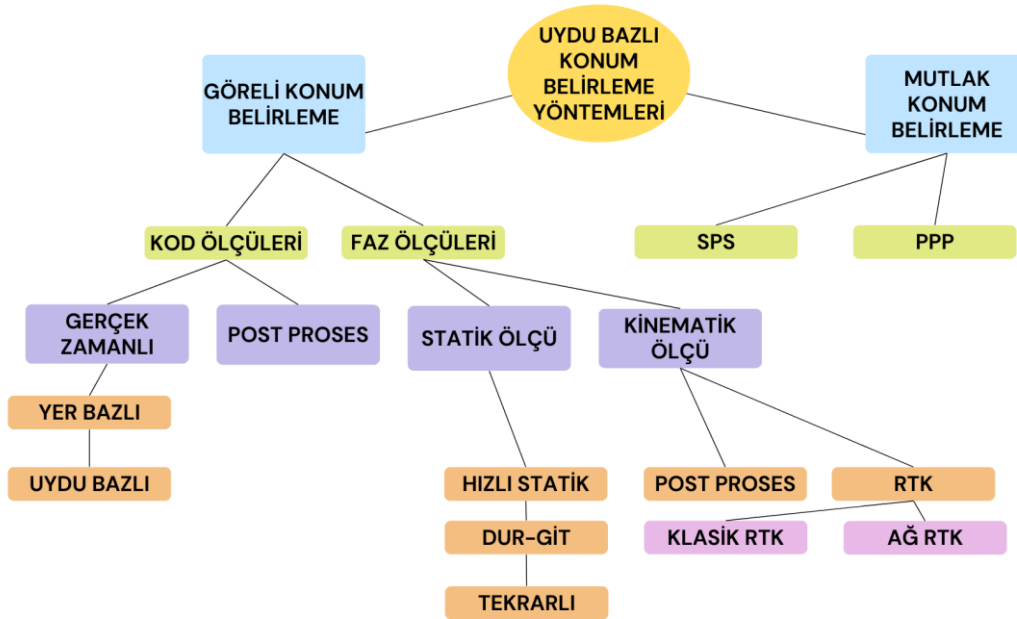
verilmiştir. Konum olarak oldukça farklı alanlarda bulunan bu noktaların farklı kümelerde yer alması gerekirken aynı kümeye atanması olası düşünülmemektedir. Bu sebeple nokta hızlarının yanısıra nokta konumlarının da kümeleme analizine dahil olabileceği düşünülmektedir. Bazı çalışmalarda jeodezik hız alanında, yalnızca yatay hız verisinin küme sınırlarının belirlenmesinde kullanılabilir olduğu görülürken, diğer taraftan karmaşık tektonik yapılara sahip alanlarda farklı parametrelerin de analize dahil edilmesi gerektiği düşünülmektedir (Granat vd. 2021).



4. GNSS VE GNSS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 GNSS (Küresel Konumlama Sistemleri)

Küresel Konumlama Sistemleri (GNSS- Global Navigation Satellite System), dünya genelinde kullanılan; konumlandırma, zaman senkronizasyonu ve hız verisi sağlama gibi amaçlar için tasarlanan uydu tabanlı bir navigasyon sistemini ifade etmektedir. En çok bilinen ve kullanılan GNSS sistemlerinden biri GPS (Global Positioning System)'dir. Diğer yaygın olarak bilinen GNSS sistemleri ise GLONASS, Galileo ve Beidou olarak sıralanabilir. GNSS ile konum belirleme işlemleri uydudan gönderilen sinyallerin alıcı tarafından alınması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması adımlarından oluşmaktadır. GNSS alıcısı, en az dört uydudan iletilen sinyalleri işleyerek yeryüzünde üç boyutlu konumlandırma yapabilmektedir. GNSS ile anlık konum belirlemelerinde başlangıçta doğruluk genellikle santimetre seviyesinde olmaktadır. Ancak hem gelişen uydu teknolojisi sayesinde hem de ölçüm yöntemleri ve ölçümlerin değerlendirmelerine bağlı olarak çok daha yüksek doğruluklar sağlanabilmektedir (Tiryakioğlu 2012, Şafak vd. 2020, Solak 2020). Şekil 4.1'de uydu bazlı konum belirleme yöntemleri sunulmuştur.



Şekil 4.1 Uydu bazlı konum belirleme yöntemleri.

Günümüzde GNSS (Global Navigation Satellite System-Küresel Konumlama Sistemleri) teknolojisi, tektonik çalışmalarda kullanım açısından bir çok avantaj sağlamaktadır. GNSS sayesinde yer değiştirme, plaka hareketleri, volkanik aktiviteler ve deprem olasılığı gibi önemli tektonik süreçleri incelemek ve izlemek mümkün hale gelmiştir. Özellikle plaka hareketlerinin incelenmesi için yüksek konum ve hız doğruluğuna gereksinim duyulduğu düşünüldüğünde GNSS ile post proses işlemlerinde milimetre ve üstü doğruluğa ulaşılabilmektedir (Eckl vd. 2001, Şafak vd. 2020).

4.1.1 Global Positioning System (GPS)

Amerika Birleşik Devletleri tarafından oluşturulan Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System - GPS) tüm kullanıcılarına konumlandırma, navigasyon ve zamanlama gibi bilgileri sağlayan bir sistemdir. Bu sistem üç ana bölümden meydana gelmektedir. Bu bölümler; uzay, kontrol ve kullanıcı bölümlerinden oluşmaktadır (İnt. Kyn. 1).

Üç ana bölümden biri olan uzay bölümü uydulardan oluşmaktadır. Bu uydular GPS'de dünyayı çevreleyen altı eşit aralıklı yörünge düzleminde tasarlanmıştır. Her yörünge düzleminde ise aktif halde bulunan dört uydu bulunmaktadır. Böylece dünyanın herhangi bir yerindeki kullanıcı en az dört uyduyu görebilmektedir. Bununla beraber sadece yirmidört uydudan bu sistem oluşmamakta, bu uydulara ek; aktif olmayan diğer uydular da bulunmaktadır. Ancak bu yirmidört uydu ana uydular olarak nitelendirilmekte, diğer uydular ise ana uydular bakıma alındığında veya hizmet dışı kaldığında bunların yerine sistemin hatasız bir şekilde çalışmasını sağlamaktadırlar. Diğer taraftan Haziran 2011'e kadar yirmidört ana uyduyla çalışmasına devam eden sistem; bu tarihten itibaren yirmiyedi ana uydusuyla etkin bir şekilde çalışmaya devam etmiştir. 3 Temmuz 2023 itibarıyla ise GPS'de hizmet dışı kalan ve yörüngelerdeki yedek uydular hariç olmak üzere toplam otuzbir adet faal durumda uydu görevine devam etmektedir (İnt. Kyn. 1).

Bir diğer bölüm ise kontrol bölümüdür. Bu bölüm sistemi tamamıyla kontrol etmektedir. Öyleki; GPS uydularını izleyerek takip eden, çeşitli analizler yapan ve

bununla beraber çeşitli komutlar ve veriler de gönderecek şekilde tasarlanmış yeryüzündeki bir ağdan meydana gelmektedir. Şuanda Operasyonel Kontrol Segmenti'nde (Operational Control Segment - OCS) bir adet ana kontrol istasyonu, alternatif bir ana kontrol istasyonu, onbir adet kontrol anteni, onaltı adet de izleme istasyonu bulunmaktadır. Bu kontrol bölümünün modernizasyon işlemleri halen devam etmektedir. Temelde modernizasyon işlemleri GPS uydularına komut vermek ve kontrol etmekle beraber sistemin güvenliğini artırma amaçlı çalışmalardan oluşmaktadır. Örneğin Yeni Nesil Operasyonel Kontrol Sistemi (The Next Generation Operational Control System - OCX), kontrol bölümünün gelecekteki bir versiyonu olarak tasarlanmaya devam etmektedir (İnt. Kyn. 1).

Üçüncü bölüm ise kullanıcıların oluşturduğu kullanıcı bölümüdür. Bilindiği üzere GPS'in kullanımı günümüzde çok çeşitlidir. Özellikle bu sistemin sağlamış olduğu bazı avantajlar, modern yaşamın her alanında kullanılabilen bir çok uygulamanın gelişmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca sadece sivil kullanım için değil askeri bir kullanım içinde tasarlanan bu sistem Amerika Birleşik Devletleri'nin askeri güvenliği için de kritik bir öneme sahiptir (İnt. Kyn.1).

4.1.2 GLONASS Uydu Sistemi

Ruslar tarafından geliştirilen bu sistemin uçuş testleri Ekim 1982'de başlamıştır. GLONASS 1993 yılında ise resmen operasyonel olarak sunulmuş, 1995 yılında ise tam operasyonel bir hale getirilmiştir. Bu sistem üç yörünge düzlemine eşit olarak dağıtılmış 24 uydudan oluşacak şekilde planlanmıştır. Uyduların yörüngedeki periyodu ise 11 saat 15 dakika 44 saniye olarak planlanmıştır. Kullanılan bu üç yörünge ve yörünge periyot süresinin GPS'e göre daha avantajlı bir kullanım sunması amaçlanmıştır. Ancak bu noktada en önemli eksiklik sistemin sivil kullanıcılarının az olması olmuştur. 2002 yılına gelindiğinde ise GLONASS yedi uydudan meydana gelmiştir. Bu yedi uydunun kullanımı sınırlı olmakla beraber yalnızca Rusya topraklarında aktif şekilde çalışmıştır. Bu noktada özellikle sistemin doğruluğu GPS'in oldukça gerisinde olmakla birlikte aynı zamanda uydularının aktif ömrü ise 3-4 yıl ile sınırlı kalmıştır. 2002-2011 için Küresel Navigasyon Sistemi programının kabul edilmesiyle beraber sistemin iyileştirilme

alışmaları da başlamıştır. Bu yıl aralığında, GLONASS'ın sistemi modernize edilmiş ve yeni uydular sistem için operasyonel hale getirilmiştir. Kısıtlı ve yetersiz olan doğruluğu artırılarak GPS sistemiyle eşdeğer bir doğruluk sistemi oluşturulmuştur. Modernizasyon alışmaları kapsamında aynı zamanda çeşitli tanımlama tesisleri modernize edilerek ekipmanlar ve sistemler tasarlanmıştır. 2012 yılından itibaren ise bu sistem yakın ve uzak gelecekte ülkenin savunma, güvenlik, sosyal ve ekonomik bir çok alanında kullanılabilecek şekilde gelişmeye devam etmiştir. Günümüzde ise Rusya ve çevresinde oldukça iyi bir konumlandırma hizmeti sağlamasının yanısıra küresel bir kapsama alanına sahiptir. Diğer uydu konum belirleme sistemleri ile entegre olarak çalışabilecek şekilde tasarlanan sistemin, bunlarla birlikte kullanımı, kullanıcılarına daha güvenilir ve yüksek doğrulukta konum belirleme imkanın sağlamaktadır (İnt. Kyn. 2).

4.1.3 Galileo Uydu Sistemi

Galileo Uydu Sistemi'nin, Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilen GPS'e bir alternatif olarak 2001 yılında Avrupa Birliği tarafından temelleri atılmıştır. Bu sistemin de temel amacı diğer tüm GNSS sistemlerinde olduğu gibi yüksek doğruluklu konumlandırma ve zaman bilgisi elde edebilmektir. Sistemin 2001'de atılan temelleri 2002-2005 yılları arasında geliştirilmiştir. 2006-2013 yılları arasında ise uzaya uydu gönderme aşamasına geçilmiş aynı zamanda bu yıllarda alt yapı çalışmaları da tamamlanarak yer istasyonları kurulmuştur. 2014 yılından itibaren ise sistemin işleimiyle beraber kullanıma açılması sağlanmıştır. 12 Mart 2013 tarihinde ise Galileo Uydu Sistemi kullanılarak yeryüzünde ilk kez konum belirlenebilmiştir (İnt. Kyn. 3, Gezgın 2020).

Sistemin tasarımı diğer uydu sistemlerine benzer şekilde uzay, yer kontrol ve kullanıcı bölümü olacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemin uzay bölümünü uydular oluşturmaktadır. 30 uydudan oluşacak şekilde tasarlanan sistemde uyduların yirmidört tanesi aktif çalışacak diğer altısının ise yedek olması planlanmıştır. Üç farklı yörünge düzlemi olarak tasarlanan sistemin her yörüngesine ise sekiz uydu konumlandırılmıştır. Bununla beraber her yörüngede iki adet de yedek uydu bulunacak şekilde tasarlanmıştır. Bu

uyduların kullanım ömürlerinin ise yaklaşık 10 yıl olması düşünülmüştür. Yer kontrol bölümünde ise Avrupa'da konumlandırılmış iki adet kontrol merkezi bulunmaktadır. Ayrıca küresel şekilde dağılmış üç farklı kontrol ağından oluşmaktadır. Bir çok alanda hizmet vermesi beklenen bu sistemin; sınırsız ulaşım, ticari kullanım, kamu hizmeti, güvenlik ve acil durum hizmeti, arama kurtarma hizmeti gibi alanlarda hizmet vermesi beklenmektedir. Şuanda ise Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı tarafından sistemin geliştirilmesi devam etmektedir (İnt. Kyn. 3, Gezgin 2020).

4.1.4 BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi (BDS)

Çin tarafından inşa edilerek işletilmeye devam eden BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi (BDS), temelde ülkenin ulusal güvenliğiyle beraber ekonomik ve sosyal kalkınma ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanarak oluşturulmuştur. Ana amacı diğer uydu sistemlerinde olduğu gibi kullanıcılarına her türlü hava şartında yüksek konum doğruluğu ve zamanlama hizmeti sağlayabilmektir. Bu sistem Çin tarafından tüm dünyaya küresel bir kamu hizmeti olarak yarar sağlamaktadır (İnt. Kyn. 4).

BDS; uzay, yer ve kullanıcı bölümünden oluşmaktadır. Sistemin uzay bölümü toplam otuzbeş uydudan oluşacak şekilde planlanmıştır. Toplam üç tür yörüngenin olması tasarlanmıştır. 2000 yılına kadar Çin'e hizmet sağlamak üzere BDS-1'in inşası, 2012 yılına kadar ise Asya-Pasifik bölgelerine hizmet sağlamak üzere BDS-2'nin inşası tamamlanmıştır. 2022 yılı itibariyle ise BDS-3'ün inşası tamamlanmıştır. BDS-3'ün tamamlanmasıyla beraber Çin'in sahip olduğu bu sistem dünya genelinde tüm kullanıcılarına yüksek doğrulukta konumlandırma ve zaman hizmeti vermeyi amaçlamıştır. Bununla beraber 2035 yılına kadar daha yaygın bir kullanım, daha entegre ve kapsamlı bir sistemin iyileştirme çalışmalarının tamamlanması beklenmektedir (İnt. Kyn. 4).

Yer bölümü; ana kontrol istasyonları, zaman senkronizasyon istasyonları, izleme istasyonları ve uydular arasında bağlantının sağlanabilmesine imkan veren işletme ve yönetim tesisleri olmak üzere çeşitli yer istasyonlarından meydana gelmektedir. Sistemin kullanıcı bölümünü ise çok çeşitli alanlar sağlamaktadır. Bu alanlar başlıca;

ulaşım, tarım, ormancılık, balıkçılık, hidrolojik izleme, meteorolojik tahmin, iletişim, enerji dağıtımı, afet yardımı, kamu güvenliği, navigasyon hizmetleri, e-ticaret işletmeleri ve bilimsel çalışmalar şeklinde ifade edilebilir (İnt. Kyn. 4).

4.2 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan hem ticari hem de akademik veya bilimsel olarak isimlendirilen çeşitli yazılımlar mevcuttur. Kullanıcı ihtiyaçlarına odaklanarak ortaya çıkan ticari yazılımlar GNSS alıcısı üreticileri tarafından geliştirilmektedir ve doğrudan kullanıcıların kolay bir şekilde GNSS verilerini işlemesine olanak sağlamaktadır. Bu yazılımlar akademik/bilimsel yazılımlardan genelde farklı olarak işleyiş ve algoritmaları, geliştirilen üretici tarafından saklı tutulmaktadır. Ticari yazılımlar aynı zamanda kullanıcıya gelişmiş kullanıcı arayüzleri ile kullanım esnasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu yazılımlar daha çok temel mühendislik uygulamaları ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde tasarlanmışlardır. Buna karşılık akademik/bilimsel yazılımlar üniversiteler gibi çeşitli araştırma kurumları tarafından geliştirilmektedir.

GNSS verileri akademik/bilimsel değerlendirme yazılımlarına GAMIT/GLOBK, BERNESE, ve GIPSY gibi yazılımlar örnek olarak verilebilir. Bu yazılımlar GNSS verilerini çok daha detaylıca analizlerini yapmak isteyen kullanıcılar için özel olarak geliştirilmiştir. Böylece kullanıcılar, bu yazılımların altında var olan algoritmaları daha derinlemesine anlayarak kullanabilmektedirler. Ayrıca algoritmaları geliştirerek ve özelleştirerek çalışmalarına daha işlevsel olarak adapte edebilmektedirler.

Bu yazılımların temel geliştirilme amaçları yüksek doğruluk ve hassasiyet gerektiren uygulamalar olduğu için özel ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Bir çok akademik yazılımın genellikle eğitim ve araştırma kurumlarına daha düşük bir ücret karşılığında veya ücretsiz lisanslar sağladığı görölmektedir. Bu yazılımlar yüksek doğruluk ve hassasiyet gerektiren yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi gibi çalışmalarda tercih edilmektedir. (Tiryakioğlu 2012, şafak 2019, Gezgin 2020, Solak 2020).

4.2.1 GAMIT/GLOBK

Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılım takımı günümüzde aktif bir şekilde bilimsel araştırmalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Unix işletim sisteminde çalışan yazılım kullanıcıları tarafından komut satırı ile kontrol edilmektedir. Yazılım herhangi bir arayüze sahip değildir. Kullanıcıların tüm komutları manuel olarak komut satırına girmesi ve yazılımda gerekli işlem sürecini başlatması gerekmektedir. Bu sebeple GAMIT/GLOBK yazılımının kullanımı hem öğrenme sürecinde hem de uygulama sırasında diğer ticari yazılımlara oranla çok daha fazla dikkat, özveri ve bilgi gerektirmektedir. Sonuçta GAMIT/GLOBK akademik ve bilimsel araştırmalar için güçlü bir yazılım takımı olmasına karşın kullanıcıların bu yazılımı verimli ve etkili bir şekilde kullanabilmesi için komut satırı odaklı bir yaklaşımı uygulaması zorunludur.

GNSS verilerinin GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilebilmesi için bu verilerin RINEX (Receiver Independent Exchange) adı verilen bir formatta olması istenmektedir. Standardize bir veri formatı olan RINEX; GNSS alıcı tipinden bağımsız bir veri seti düzeni sunmaktadır. GNSS alıcılarından elde edilen ham veriler bu formatta GAMIT/GLOBK'de değerlendirilmektedir. GNSS alıcıları RINEX formatında veri sunmamasına karşın; elde edilen veriler çeşitli yazılımlar aracılığıyla bu formata dönüştürülerek değerlendirme sürecine dahil edilmektedir. GNSS ölçümlerinden elde edilen verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve farklı alıcılar arasında format dönüşümü yapılabilmesine olanak veren RINEX yaygın şekilde kullanılan bir veri standardı olarak karşımıza çıkarken; formatın başlangıcı Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü'ne dayanmaktadır. Zaman içinde gelişimi yine bu enstitü tarafından sağlanmıştır (Herring vd. 2009, Tiryakioğlu 2013, Şafak 2019, Gezgin 2020, Solak 2020).

RINEX veri dosyaları ile yalnızca UNIX işletim sisteminde komut satırı ile kullanılabilen GAMIT/GLOBK iki temel modülden meydana gelmektedir. Bu modüllerden biri; MIT, SIO (Scripps Oşinografi Enstitüsü), CfA (Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezi) ile birlikte Avustralya Ulusal Üniversitesi tarafından geliştirilen GAMIT (GNSS at MIT)'tir. GAMIT yer istasyonlarının ve uydu yörüngelerinin üç

boyutlu göreceli konumlarını, atmosferik zenit gecikmelerini ve dünya rotasyon parametrelerini kestirebilmek için faz verilerini işleyen yazılımdır. Bu yazılımda parametreleri kestirebilmek için birçok algoritma kullanılmaktadır. GAMIT'i çalıştıran ana komut sh_gamit'ten sonra sh_setup komutuyla başlayan işlem akışına başlanmadan önce düzenlenmesi gereken bazı dosyalar bulunmaktadır. Algoritmaların doğru ve etkin bir şekilde çalışabilmesi değerlendirme öncesi hazırlanan girdi dosyalarına bağlıdır (Herring vd. 2009, Tiryakioğlu 2013, Şafak 2019, Gezgin 2020, Solak 2020).

Düzenlenmesi gereken en önemli dosyalardan biri olan station.info yapılan her ölçüm oturumu için alıcı bilgisi, anten markası, anten modellerine ait bilgiler, ölçünün başlama ve bitiş süreleri, anten yükseklikleri gibi çeşitli bilgileri içermektedir. Titizlikle ve özenle hazırlanması gereken bir dosyadır. sites.defaults dosyasında stabilizasyon ve tekrarlılık için gerekli olan nokta isimleri bulunmaktadır. Burada bulunan noktalar ile analizde hangilerinin değerlendirmeye alınacağı kontrol edilebildiği gibi hangi IGS istasyonlarına ait dosyaların indirileceği de kontrol edilebilir. process.defaults dosyası ise işlem kontrollerini içermektedir. Bu dosya içinde değerlendirmeye ait başlama ve bitiş gibi dosyalardan hangilerinin saklanıp hangilerinin silineceği gibi farklı kontrolleri barındırmaktadır. sestbl. ise oturum kontrol tablolarını içermektedir. sittbl. dosyası değerlendirme öncesinde nokta koordinatlarının hassasiyetinin belirtildiği kontrol bilgilerinden oluşmaktadır. İlgili dosyalar düzenlendikten sonra çalıştırılan komutlar aracılığıyla değerlendirme işlemi otomatik olarak başlamaktadır.

Değerlendirme işlemi esnasında herhangi bir hata durumu ile karşılaşılabilir. Çözüm dosyaları içinde bulunan hangi güne ait değerlendirmede hata var ise o günün dosyasının içine GAMIT.fatal adında bir dosya oluşmaktadır. Bu durum diğer bir ifadeyle ilgili günün değerlendirmesi tamamlanmamış anlamına gelmektedir. Bu dosya incelendiğinde hatanın hangi sebepten kaynaklandığı ve hangi aşamada meydana geldiği görülebilmektedir. Bu dosya aynı zamanda değerlendirme sürecindeki sorunların tanımlanmasına da olanak sağlayıp değerlendirme işleminin hatasız şekilde yürütülmesine yardımcı olmaktadır. Değerlendirme işlemi hatasız şekilde tamamlandığında q dosyaları içinde bulunan karesel ortalama hata değerleri kontrol edilmelidir. Bu hata değerinin 0.15 ile 0.25 arasında olması gerekmektedir. Karesel

ortalama hata değeri bu değerler arasında ise kurulan modelin doğru olduğu kabul edilebilir. Ayrıca 0.15 ile 0.25 arasında kalan karesel ortalama hata değerinden ölçülerin gürültü düzeylerinin de kabul edilebilir olduğu anlaşılmaktadır (Tiryakioğlu 2013, Gezgin 2020).

Değerlendirme işlemi sonrasında GNSS ölçümlerinin alındığı noktaların günlük ve yıllık zaman serilerinin üretilmesi gerekmektedir. Değerlendirme sonucu oluşan gsoln klasörü içinde sh_glred komutu çalıştırılarak günlük tekrarlılıklar ile birlikte GLOBK değerlendirmesinde girdi verisi olarak kullanılan H dosyaları da üretilmektedir. Bu dosyalar her oturum için özel olarak elde edilmektedir. Elde edilen günlük tekrarlılıklar incelenerek ölçülerdeki çeşitli hataların tespiti yapılabilmektedir.

Bir diğer temel modül ise GLOBK (Global Kalman Filter)'dir. GNSS, VLBI ve SLR gibi çeşitli yersel veya uzaysal ölçümleri Kalman Filtreleme'yi kullanarak birleştirmektedir. Yapılan değerlendirme işleminde GLOBK modülünde ilk aşama; yıllık tekrarlılık olarak adlandırılan uzun dönem zaman serilerinin elde edilmesidir. Zaman serilerinin elde edilebilmesi için yıl klasörlerinin olduğu klasöre vsoln klasörü oluşturulmaktadır. Oluşturulan klasör içinde sh_plotcrd komutu aracılığıyla uzun dönem zaman serileri elde edilmektedir. Elde edilen uzun dönem zaman serileri incelenerek ölçüm noktalarının tektonik açıdan incelemesi yapılmaktadır. Böylece noktaların uzun dönem davranışları ile ilgili bilgi sahibi olunabilmektedir (Herring vd. 2009, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2013, Gezgin 2020).

5. KÜMELEME ANALİZİ

İstatistiksel bir teknik olan kümeleme analizi, bir veri grubunda bulunan nesneleri benzer özellik parametrelerine göre ayırmakta ve bunları gruplandırmaktadır. En temel amacı veri grubundaki benzer parametreleri bir araya getirerek homojen özellikte kümeler oluşturmaktır. Bununla beraber benzer parametreleri bir araya getirirken kümeler arasında ise maksimum heterojenliği sağlamak temel amacdır. Kümeleme analizleri istatistik alanı ve veri madenciliği gibi bir çok alanda kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

Kümeleme analizi, veri grubundaki nesneler arasındaki uzaklık ölçütlerine göre verileri gruplandırmaktadır. Analizde kullanılan uzaklık ölçütleri ise veriler arasındaki benzer özellikleri veya farklı özellikleri ölçmeyi sağlayan çeşitli matematiksel ifadelerdir. Kümeleme analizlerinde tercih edilen uzaklık ölçütleri; Öklidyen Mesafesi, Manhattan Mesafesi, Minkowski Mesafesi ve Chebyshev Mesafesi olarak sıralanabilir. Öklidyen Mesafesi, iki veri arasındaki en kısa mesafeyi ölçmeye yarayan klasik bir ölçüttür ve sıklıkla tercih edilmektedir. Aynı zamanda L1 uzaklığı olarak da bilinen Manhattan Mesafesi iki veri arasındaki yatay ve dikey doğruların uzunluklarının toplamını ifade etmektedir. Öklidyen ve Manhattan Mesafesi'ni genelleştirerek kullanılan diğer bir uzaklık ölçüsü ise Minkowski Mesafesi'dir. Chebyshev Mesafesi ise iki veri arasındaki en büyük farkı ölçmekte ve özellikle en büyük farkın bir özellik olduğu durumlarda oldukça güzel sonuçlar vermektedir.

Günümüzde gelişen yazılım teknolojisiyle beraber çok çeşitli kümeleme analizi algoritmaları kullanılmaktadır. Bu algoritmaların kullanımı veri setine ve bu veri setindeki ihtiyaca göre seçilmektedir. Başlıca yaygın olarak kullanılan kümeleme analizi algoritmalarını K-Means, Hierarchical Clustering, DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) ve Gaussian Mixture Models (GMM) olarak sıralamak mümkündür.

Bu çalışmada ise Denetimsiz Makine Öğrenmesi ile K-Means kümeleme algoritması kullanılmıştır.

5.1 Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi yapay zeka ve bilgisayar alanındaki çalışmaların ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilebilir. Bu terim yapay zeka uygulamalarının bir parçası şeklinde ortaya çıkarak geliştirilen algoritmalar ve öğrenme süreçleriyle ilişki olmuştur. Özellikle 21. yüzyılın başlarında büyük veri setlerinin hızla artışı ve bu veri setleri ile çalışma istemi neticesinde, makine öğrenmesi algoritmaları büyük bir ivme kazanarak yapay zeka uygulamaları, veri analitiği, veri madenciliği ve daha bir çok uygulamada odak merkezi haline gelmiştir. Temelde, denetimli makine öğrenmesi (supervised learning), denetimsiz makine öğrenmesi (unsupervised learning) ve pekiştirmeli makine öğrenmesi (reinforcement learning) şeklinde üç ana kategoriye ayrılmaktadır.

Denetimli makine öğrenmesi, verilerin bir algoritma tarafından öğrenmesi esasına dayanmaktadır. Algoritma öğrenmiş olduğu veriye göre tahminler yapmakta ve veriyi sınıflandırabilmektedir. Diğer bir ifadeyle bu öğrenme, eğitim verilerindeki girdi ve çıktı ilişkilerini öğrenerek yeni verilerle olası tahminler yapılmasını sağlamaktadır.

Makine öğrenmesi bilimindeki önemli bir bölümü temsil eden denetimsiz öğrenmesinin; veri analitiği ve madenciliği gibi alanlarda yaygın bir kullanıma sahip olduğu görülmektedir. Denetimsiz makine öğrenmesi ile veriler, veri bilimcileri tarafından daha iyi anlamlandırılabilir. Bununla beraber verilerdeki gizli ilişkiler hızlı bir şekilde keşfedilebilmektedir. Özellikle bu öğrenmenin karmaşık veriler ile başa çıkmada ve bu verilerdeki gizli özellikleri keşfetmede oldukça önemli bir araç olduğu söylenebilir. Denetimsiz öğrenmenin en yaygın kullanıldığı alanların başında veri kümeleme uygulamaları gelmekle beraber bir çok çalışmada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Makine öğrenmesinin bir diğer metodu olan pekiştirmeli öğrenmede deneme yanılma yapılarak öğrenme sağlanmaktadır. Bu öğrenmede Markov karar süreci olarak isimlendirilen bir modelden yararlanılmaktadır. Denetimli ve denetimsiz makine öğrenmesi arasında yer alan pekiştirmeli öğrenme türünde yer alan kuralların daha çok stokastik oluşu sebebiyle diğer öğrenme metotlarından ayrılmaktadır (Otterlo ve Wiering 2012).

5.2 Denetimsiz Makine Öğrenmesi ile Kümeleme Analizi

Denetimsiz makine öğrenmesi ile kümeleme analizi uygulamaları, büyük veriler içindeki gizli kalmış yapılara ulaşmak ve veri hakkında daha iyi kararlar verebilmek için önemli bir araç olarak görülmektedir. Kümeleme analizinin temel amacı veriyi benzer özelliklerine göre veri gruplarına yani kümelere ayırmaktır. Kümeler veri içindeki benzer yapıları ve kalıpları tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Böylece kümelemesi yapılan veriler çok daha anlaşılır olmaktadır.

Kümeleme analizindeki temel amaç; aynı küme içindeki verilerin birbiri ile benzerliğinin maksimum, kümeler arasındaki benzerliğin ise minimum olması koşuluna dayanarak çalışan algoritmalarından oluşmasıdır. Kümeleme analizi veriler arasındaki benzerliği ölçtüğünden dolayı yapılacak olan analizde hangi benzerlik ölçüsünün seçileceği de kimi çalışmalarda önemli olmaktadır. Öklidyen mesafe, Cosinüs Benzerliği, Manhattan Mesafe gibi farklı benzerlik ölçütlerinden bu noktada yararlanılmaktadır.

Günümüzde kümeleme analizlerinde kullanılan çok çeşitli algoritmalar bulunmaktadır. Algoritmaların seçimi çalışılacak veri setine ve yapılacak olan analizdeki amaca göre seçilmelidir. Veri setinin yapısı çalışılmak istenen algoritmanın seçimini etkileyen önemli bir parametredir. Bununla beraber bazı algoritmalar farklı küme şekillerini tanımlama konusunda daha iyi çalışmaktadır. Bu nedenle çalışmak istenen veriyi tanımak da oldukça önemli bir diğer konu olmaktadır.

Kümeleme analizinde en önemli konuların başında küme sayısına karar verme durumu gelmektedir. Bazı algoritmalar kümeleme analizine başlamadan otomatik olarak veriyi tanıyıp küme sayısı belirleyebilirken; bazı algoritmalarda durum daha farklı olmaktadır. Kullanıcının çalışılmak istenen küme sayısını bazı algoritmalara girdi verisi olarak işlemesi gerekmektedir. Bu algoritmalarda veriyi tanımak oldukça önemli olurken analizi yapacak kişinin konu ve veri seti hakkındaki bilgi birikimi de oldukça değerli görülmektedir. Daha çok bu algoritmalarından elde edilecek sonuç deneme yanılma mantığı ile ilerlerken, bu algoritmalarda elde edilen sonuçların doğru şekilde

yorumlanması da oldukça önem arz etmektedir. Küme sayısını kendi belirlemeyen kümeleme analizi algoritmalarında kullanıcı, küme sayısını çalıştığı veri setinin özelliklerine bağlı olarak kendi belirleyebileceği gibi en uygun küme sayısını belirlemeye yardımcı olan farklı algoritmalarından da destek alabilmektedir.

5.2.1 Kümeleme Analizinin Jeodezik Veriler Üzerine Önemi

Denetimsiz makine öğrenmesi yöntemlerinden bir olarak ifade edilebilen kümeleme analizi; günümüzde, büyük veri setlerini düzenleme, anlamaya çalışma ve gizli verileri keşfetme gibi özellikleri sayesinde birçok alanda kullanım imkanı sağlamaktadır. Ürün kategorizasyonu, müşteri segmentasyonu, tıp ve sağlık alanında çeşitli teşhis ve tetkikler, genetik bilimi, davranış analizleri, risk ve kredi analizleri, görüntü işleme ve tanıma, veri madenciliği, ulaşım ve lojistik gibi bir çok alanda yaygınca kullanılmaktadır.

Kümeleme analizi 2000'li yıllardan itibaren yer bilimleri alanında dikkat çekmeye başlamış ve günümüzde bu alanda büyük bir öneme sahip olmuştur. Jeodezik veriler üzerine kullanımı Granat ve Donnellan (2000)'a dayanan kümeleme analizi ile çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle deformasyon modellerinin belirlenebilmesi, tektonik incelemeler yapılması, blok sınırları ve blok model belirleme üzerine yapılan çalışmalarda önemli avantajlara sahip olmaktadır (Granat vd. 2021).

Uydu bazlı konum belirleme yöntemleri ile elde edilen hız alanlarının düzenlenip yorumlanabilmesi açısından da büyük kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bununla beraber büyük veri setlerinde yeni bilgileri keşfedebilme özelliği sayesinde jeodezik verilerde yeni tektonik bilgileri görsel olarak keşfetme fırsatı yaratabilmektedir. Özellikle tektonik alanda jeodezik veriler üzerine kümeleme analizinin kullanımı nesnel bir özellik göstermektedir. Çünkü noktalara ilişkin analizi etkileyebilecek jeolojik yapı ve fay geometrileri gibi bilgilerden yoksun şekilde kümeler oluşturulmaktadır. Ayrıca bu analizlerde veri setleri içinde artan küme sayısında çok daha küçük tutarlı hız grupları ve yeni tektonik bilgilerin keşfedilebilmesi sağlanmaktadır (Simpson vd. 2012, Özdemir vd. 2019, Takahashi vd. 2019, Granat vd. 2021).

5.2.2 K-Means Kümeleme Analizi

Denetimsiz kümeleme algoritmalarının en popülerlerinden biri olan K-Means algoritması MacQueen (1967) tarafından ilk kez kullanılmıştır. Diğer kümeleme analizi algoritmalarında olduğu gibi temel amacı, veri setini birbirine olan benzerliklerine göre kümelere ayırmaktır. Veri setinde bulunan gizli kalmış yapıları keşfetmek içinse çok iyi bir algoritma olarak kullanılmaktadır. Çalışma mekanizması temelde öklidyen mesafeyi kullanırken, kullanıcı bu mesafeyi kendi verisine uygun olacak şekilde de değiştirebilme esnekliği sağlamaktadır. Aynı zamanda kullanıcı analize başlamadan önce bu algoritmaya küme değerini girmek zorundadır. Girilen küme sayısında algoritma veriyi bölerek en uygun kümeleri oluşturmaktadır.

Temel olarak algoritma, başlangıçta rastgele olacak şekilde seçilen K adet küme sayısına göre küme başlangıç merkezleri belirlemektedir. Ardından veri setindeki her nokta kendine en yakın olan küme merkezine atanarak işlem devam etmektedir. Küme içindeki değişimler karesel ortalama hata ile kontrol edilmektedir. Veri setindeki tüm değerler en yakın kümelere atanana kadar işlem devam etmekte ve K tane küme merkezi hesaplanmaktadır. Küme merkezlerinde herhangi bir değişiklik olmayana kadar bu işlem devam ederek analiz tamamlanmaktadır. Bu analize ilişkin matematiksel ifadeler Denklem 5.1 ve 5.2'de verilmiştir.

$$d = (x_i, c_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - c_{jk})^2} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1'de d ; x_i veri noktası ile c_j küme merkezi arasındaki uzaklığı, x_i ; her veri noktasını, n ; veri sayısını, $(x_{ik} - c_{jk})^2$; her bir veri noktasının merkeze olan uzaklığının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$S_j = \{x_i: d(x_i, c_m) \leq d(x_i, c_n), \forall n \neq m\} \quad (5.2)$$

Denklem 5.2'de c_m ve c_n küme merkezlerini, x_i ; veri noktasını, S_j ; c_m 'ye ait veri noktalarının kümesini ifade etmektedir. Daha sonra S_j 'ye ait olan noktaların aritmetik ortalaması alınarak c_m yeni küme merkezi olarak belirlenmektedir.

5.2.3 Kümeleme Analizinde En Uygun Küme Sayısının Belirlenmesi

Kümeleme analizinde küme sayısını başlangıçta algoritma kendi belirlemiyorsa analize başlamadan önce uygun küme sayısı girdi verisi olarak kullanılmalıdır. Genellikle küme sayısının belirlenmesi deneme-yanılma işlemine dayansa da kullanıcı veriyi çok iyi tanımalı ve belirli tahminler yürüterek küme sayısını algoritmaya girmelidir. Bunun yanı sıra veri setini test ederek tahmini en uygun küme sayısını veren çeşitli algoritmalar da bulunmaktadır. Veri setinin doğasına, yapılacak olan analizin amaçlarına ve çeşitli diğer etmenlere bağlı olarak en uygun küme sayısını belirleme algoritmalarından biri veya birkaçı tercih edilebilir. Bu noktada en uygun küme sayısına karar verebilmek için birden fazla algoritmanın sonuçlarının karşılaştırılması daha yararlı olmaktadır. Bu algoritmalar, belirli değerler üzerinden en uygun olabilecek küme sayısını vermesine rağmen ifade edilen küme sayısının kesinliği yoktur. Örneğin en uygun küme sayısı 5 olarak elde edilen bir algoritmada 5'e en yakın diğer değerlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Aynı veri setini kullanan farklı algoritmalar, en uygun küme sayısını belirleme konusunda farklı sonuçlar üretebilir. Bu noktada kullanıcının analiz sonuçlarını iyi okuması, analiz etmesi ve değerlendirmesi oldukça önemlidir. Kullanıcı bu algoritmalar ile mevcut verisi hakkında en uygun küme sayısını belirlemeden önce fikir sahibi olabilmekte ve analizi daha doğru şekillendirebilmektedir.

5.2.3.1 Elbow Metot

Dirsek metodu olarak da bilinen Elbow metot kümeleme analizinde en uygun küme sayısını belirlemeye yardımcı olan bir metottur. Metot ile Inertia (WCSS - Within-Cluster Sum of Squares) değerleri farklı küme sayıları için hesaplanmaktadır. Bu değerler bir grafik üzerinde gösterilerek görsel bir analiz yapılması sağlanmaktadır. Düşük Inertia değeri, daha homojen kümeleri göstermekte ve daha iyi bir kümeleme sonucu olduğu anlamına gelmektedir. Bu yöntemle göre, her veri noktasının küme merkezlerine olan uzaklığının karelerinin değişim miktarının azaldığı bir nokta, dirsek noktasını ifade etmektedir. En iyi olabilecek küme sayısı ise bu dirsek noktası ile belirlenmektedir (Ketchen ve Shook, 1996).

$$WCSS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \|x_{ij} - c_i\|^2 \quad (5.3)$$

Denklem 5.3'de ifade edilen k ; küme sayısı, n_i ; i . kümedeki veri noktalarının sayısı, x_{ij} ; i . kümenin içindeki j . veri noktası, c_i ; i . kümenin merkezi, $\|x_{ij} - c_i\|$; her bir veri noktasının merkeze olan uzaklığının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Bu metotta genellikle bir dönemeç veya bükülme olarak görülen dirsek noktası zaman zaman net olmayabilir. Bu noktada dirsek noktasının; hangi WCSS değerinde ve küme sayısında olması gerektiğinin yorumunun yapılabilmesi uzmanlık gerektirmektedir.

5.2.3.2 Silhouette Skoru

Rousseeuw (1987) tarafından tanımlanan en uygun küme sayısını belirlemede kullanılan bir diğer metot ise Silhouette'dir. Her bir veri noktasının kendi kümesine ne kadar uygun olduğunu tanımlamakta kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle bir kümenin veri noktaları arasındaki benzerliğin ne kadar iyi olduğunu değerlendirmektedir. Silhouette skoru Denklem 5.4, 5.5, 5.6'da ifade edilmektedir.

$$a(i) = \frac{1}{|C_i|-1} \sum_{j \in C_i, i \neq j} d(i, j) \quad (5.4)$$

Denklem 5.4'de $a(i)$; veri noktası i 'nin kendi kümesindeki diğer veri noktalarına olan ortalama uzaklığıdır. Bu, veri noktası i 'nin kendi kümesi içindeki homojenliği ölçmede kullanılmaktadır. C_i ; i . veri noktasının ait olduğu kümedir. $|C_i|$; bu kümenin eleman sayısını temsil etmektedir. $d(i, j)$; veri noktaları olan i ve j arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

$$b(i) = \min_{k \neq i} \frac{1}{|C_k|} \sum_{j \in C_k} d(i, j) \quad (5.5)$$

Denklem 5.5'de $b(i)$; veri noktası i 'nin diğer kümelere olan ortalama en yakın uzaklığını ifade etmektedir. Burada $|C_k|$; i . veri noktasının ait olmadığı kümelerin eleman sayılarını ifade etmektedir.

$$s(i) = \frac{b(i)-a(i)}{\max\{a(i),b(i)\}} \quad (5.6)$$

Denklem 5.6 aracılığıyla Silhouette Skoru hesaplanmaktadır. Silhouette Skoru farklı küme sayıları için -1 ile +1 aralığında değişen değerlerden oluşmaktadır. Silhouette Skoru +1 değerine yaklaştıkça küme verilerinin kendi kümesi içinde oldukça benzer olduğu anlamına gelmektedir. Aynı zamanda verilerin ait olduğu kümenin farklı kümeler ile arasında olan benzerliğin ise azaldığını göstermektedir. Bu durum yapılan kümelemenin oldukça başarılı yapıldığını temsil etmektedir. Bununla beraber skorun 0 değerine yaklaşması, noktaların ait olduğu kümenin benzerlik değerinin, diğer kümeler arasındaki benzerlikle yaklaşık aynı olduğu anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle noktaların kendi kümesi ile diğer kümeler arasında benzerliklerinin dengeli olduğunu göstermektedir. Silhouette Skoru -1 değerine yaklaştıkça veri noktalarının farklı kümeler arasında daha benzer, kendi kümesi içinde ise ayrık olduğu anlamına gelmektedir. Böyle bir durum ile karşılaşıldığında verilerin yanlış kümelenebileceği düşünülmelidir. Eğer -1 değerine yaklaşan bir skor varsa kümeleme sonucunun kötü olduğu anlaşılmaktadır. Analizlerde Silhouette Skoru'nun +1 veya 0'a yakın bir değer olması beklenmektedir. Yani kümelemede veri noktalarının ait olduğu küme içinde oldukça birbirine benzeyen, farklı kümeler arasında ise daha az benzer olması gerekmektedir (Rousseeuw 1987).

5.2.3.3 Davies-Bouldin İndeksi

Davies-Bouldin İndeksi farklı kümelerin birbirine ne kadar benzediğini ölçmede kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle her bir kümeyi diğer kümeler ile olan benzerlik karşılaştırmasını yaparak kümelerin ayırt edilebilirliğini ölçmede kullanılan bir algoritmadır. Düşük bir Davies-Bouldin İndeksi daha iyi kümeleme sonucu olduğunu göstermektedir. Yani verilerin daha iyi bir şekilde ayrıştığını ifade etmektedir. Bu Index'in yüksek olması ise kümelerin birbirine oldukça benzediği ve kötü bir kümeleme yapıldığını göstermektedir (Davies and Bouldin 1979). Davies-Bouldin Index skoru Denklem 5.7 ile hesaplanmaktadır.

$$DB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max_{j \neq i} \left(\frac{R_i + R_j}{d(i,j)} \right) \quad (5.7)$$

Denklem 5.7'de n ; veri noktalarının toplam sayısı, $d(i,j)$; i . ve j . kümelerin merkezlerinin uzaklığı, R_i ; i . kümenin içindeki veri noktalarının merkezine olan ortalama uzaklık, $\max_{i,j}$; i .ve j . kümelerin merkezlerinin uzaklığının maksimumunu ifade etmektedir.

5.2.3.4 Calinski-Harabasz Skoru

Aynı zamanda Varyans Oran Skoru olarak da bilinen Calinski-Harabasz Skoru, kümeleme analizinde farklı kümelerin birbirine olan benzerliğini ve homojenliğini ölçerek en iyi kümeleme sonucunu belirlemek için kullanılmaktadır (Caliński and Harabasz 1974).

Bu skorun hesaplanması Denklem 5.8'de ifade edilmiştir.

$$CH\ Score(K) = \frac{B(K)}{W(K)} \times \frac{N-K}{K-1} \quad (5.8)$$

Denklem 5.8'de ifade edilen K ; küme sayısını, N ; veri noktalarının toplam sayısını, $B(K)$; farklı kümelerin merkezleri arasındaki uzaklıklar toplamının ölçüsünü, $W(K)$; her bir kümenin içindeki veri noktalarının kendi merkezlerine olan uzaklıkları toplamının bir ölçüsünü ifade etmektedir.

5.3 Sentetik Veri Testi

Temelde büyük veri gruplarını modellerken istatistiksel bir takım yöntemler ile modellemeyi test etmek gerekmektedir. Bilinen bir girdi modeli kullanılarak veriye ait çeşitli özellikler sorgulanabilmektedir. Sentetik testlerden, yapay veri setlerini kullanarak; kurulan bir algoritmanın veya bir modelin performansını değerlendirmek ve doğru bir şekilde çalıştığından emin olmak amacıyla yararlanılmaktadır. Bu test ile kullanıcılar algoritma veya modellerini kontrollü şekilde test edebilmektedir. Aynı zamanda bu testlerden çeşitli senaryoları simüle etmek amacıyla da yararlanılabilmektedir. Bu testler bir algoritma veya modelin performansını iyileştirmek için de kullanılmaktadır. Algoritma üzerinde yapılan değişikliklerin sonucu nasıl etkilendiğini belirleyebilmek için iyi bir araçtır (Liu vd. 2015).

Sentetik testlerden; makine öğreniminde özellikle kümeleme ve regresyon algoritmalarının performansını test etmek, veri madenciliğinde tahminsel çeşitli analizler yapmak, yazılım alanında hata ayıklama ve test süreçleri yönetmek gibi çok çeşitli alanlarda yararlanılmaktadır.

Bu testler sentetik üretilen veriler aracılığıyla yapılmaktadır. Gerçekte var olmayan ve yapay olarak oluşturulan veriler sentetik veri olarak adlandırılmaktadır. Gerçekte var olan verilere benzer şekilde fakat yapay olarak üretilmektedirler. Bu veriler genellikle rastgele şekilde oluşturulmaktadır.

Sentetik verileri kullanmanın çeşitli avantajları bulunmaktadır. Bu avantajların başında sentetik verilerin kolay ve hızlı bir şekilde üretilmesi gelmektedir. Aynı zamanda bu verilerin değişken olması özelliği sayesinde aynı algoritma üzerinde farklı sonuçların çıkarılması da bir diğer önemli avantajıdır. Ayrıca bu veriler ile yapılan testler görsel bir anlatım kolaylığı ile yaratıcı şekilde sunulabilmektedir.

6. UYGULAMA

Bu çalışmada kümeleme analizi ile iki blok model çalışması yapılmıştır. Bölge olarak Anadolu Plakası ve literatürde Anadolu Plakası'nın ayrıca inlenmesi önerilen Batı Anadolu Bölgesi'ne odaklanılmıştır. İlk olarak Anadolu Plakası üzerinde bulunan GNSS istasyonlarının yatay hız verileri kullanılarak denetimsiz makine öğrenmesi ile K-Means kümeleme analizi yapılmıştır. Anadolu Plakası için yatay hız verisi Özdemir ve Karslıoğlu (2019) ile Kurt vd. (2023) çalışmalarından temin edilmiştir. İkinci olarak Batı Anadolu için Tiryakioğlu vd. (2013, 2018), Solak (2020), Eyübagil vd. (2021) ve Yavaşoğlu vd. (2021) çalışmalarından temin edilen noktalar ile 841 adet noktadan kampanya ölçümleri ile üretilen yatay hız verileri kullanılarak K-Means ile kümeleme analizi yapılmıştır.

Anadolu Plakası'ndaki veri seti için kümeleme analizinde 841 GNSS istasyon verisinden yararlanılmıştır. Daha sonra Batı Anadolu Bölgesi'nde çeşitli çalışmalardan kampanya tipindeki GNSS ölçümleri temin edilmiştir. Bu ölçümler akademik yazılımlardan biri olan GAMIT/GLOBK yazılım takımı ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda bölgeye ait kampanya tipinde ölçülen 402 adet noktaya ilişkin yatay hız verisi elde edilmiştir. Elde edilen yatay hız verileri kullanılarak tıpkı tüm Anadolu Plakası'nı kapsayan istasyonlarda olduğu gibi bu bölgede de denetimsiz makine öğrenimi ile K-Means kümeleme analizi uygulanmıştır. Yapılan analizlerde K-Means kümeleme analizi öncelikle Anadolu Plakası üzerinde test edilmiş ardından aynı analiz Batı Anadolu için yapılmıştır.

Anadolu Plakası ve bu plaka üzerinde karmaşık tektonik yapılara ev sahipliği yapan Batı Anadolu Bölgesi'nde elde edilen veri seti için en uygun olabilecek küme sayısı çeşitli algoritmalar yardımıyla test edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda uygun görülen küme sayılarında, küme sınırları, tektonik blok sınırları olarak yorumlanmıştır. Bununla beraber literatürde yer alan bilgilerle kümeleme analizi sonuçları ile elde edilen blok sınırları karşılaştırılarak uygunluğu incelenmiştir. Literatürde var olan mevcut sınırlara ek olarak yeni blok sınırı önerileri sunulmuştur.

Bu çalışma Anadolu Plakası'nın ve Anadolu Plakası üzerinde bu plakasının batı bölümünü oluşturan Batı Anadolu Bölgesi'nin tektonik özelliklerini daha iyi anlamak, yorumlamak, deprem riski gibi konuları araştırmak, makro plaka ve mikro plaka sınırlarını keşfetmek için önemli bir adım oluşturmaktadır.

6.1 Anadolu Plakası Hız Alanında Kümeleme Analizi Uygulaması

6.1.1 Veri Seti

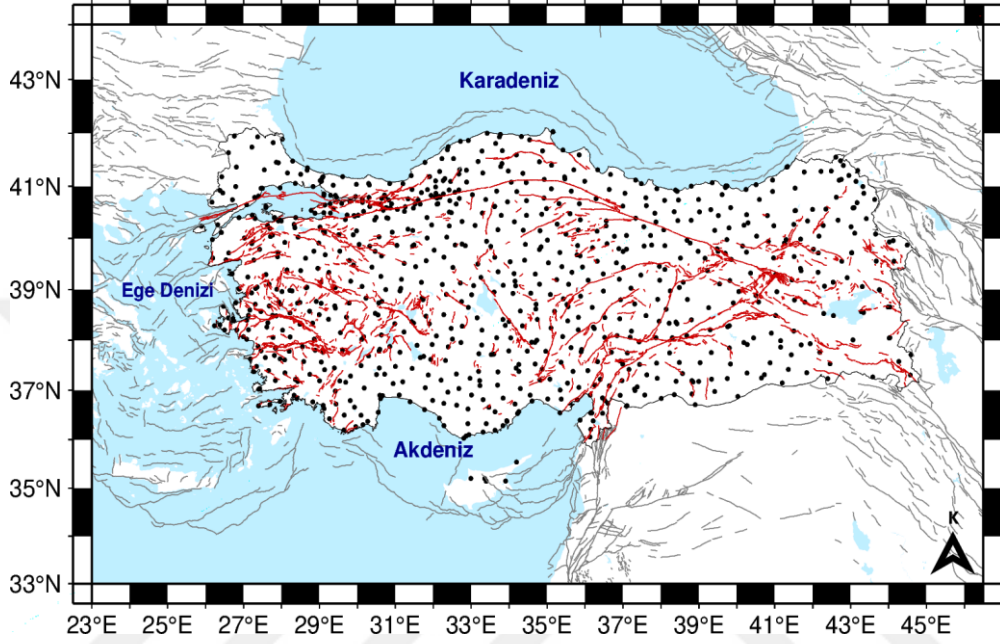
Bu çalışmanın Anadolu Plakası için olan bölümünde Özdemir ve Karşlıoğlu (2019) ile beraber Kurt vd. (2023) tarafından yapılan Türkiye'nin güncel hız alanı bilgisi veri seti olarak kullanılmıştır. İki çalışmada en fazla 28 yıllık bir zaman diliminde elde edilen hız alanı verileri sunulmuştur. Veri analizinde kullanılan tüm parametrelerin bilgisi Özdemir ve Karşlıoğlu (2019) ile Kurt vd. (2023) çalışmasında detaylı bir şekilde paylaşılmıştır.

Verilerin kıtasal deformasyonun kinematığının daha iyi tanımlanmasında, dinamik modeller için çok daha iyi sınır tanımlamalarında kullanılmasına ve Anadolu ile Ege Bölgesi'nin kinematığına ilişkin hipotezlerin test edilmesine yardımcı olabileceği vurgulanmıştır. Kurt vd. (2023) çalışmasında toplam nokta sayısı 836 olarak verilmiştir.

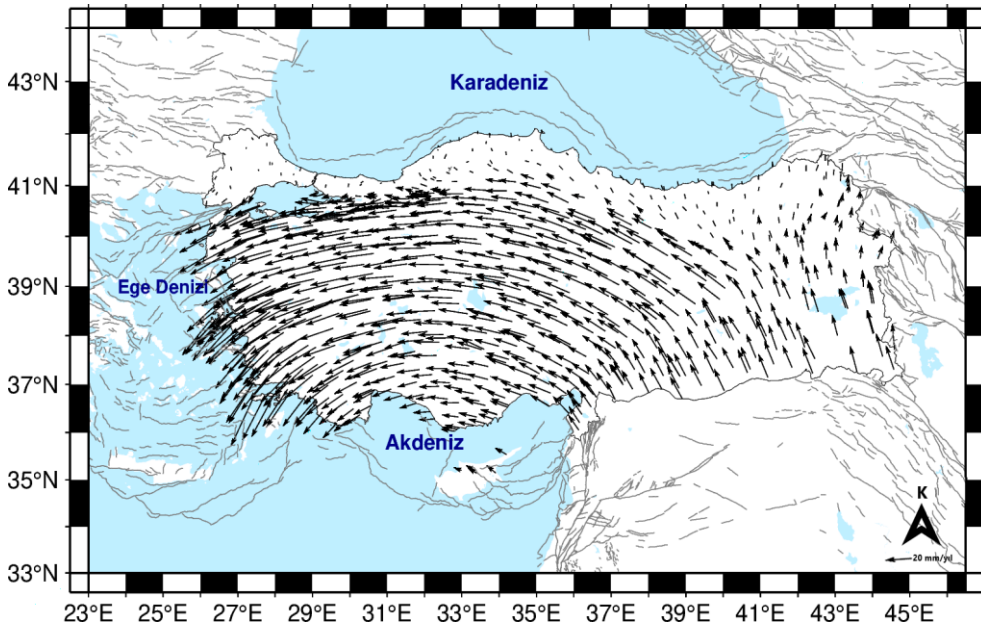
Kurt vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada sunulan veriler; Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA), Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-Aktif), Kampanya noktaları, Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA), TÜBİTAK Marmara Sürekli GPS Gözlem Ağı (MAGNET), Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES), Bursa Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Sabit GNSS Ağı (BUSAGA), Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü GNSS Ağı (SASKİ), İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Uydulardan Konum Belirleme Sistemi (İSKİ UKBS), Uluslararası GNSS Servisi (IGS) ağlarında var olan noktalara aittir.

Tüm bu verilere ek olarak bu tez çalışmasında kullanılan 836 noktaya Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde var olan 5 adet noktanın verileri Özdemir ve Karşlıoğlu (2019)

tarafından yapılan çalışmadan elde edilerek analizde kullanılmak üzere eklenmiştir. Toplam analizde değerlendirilmek üzere istasyonlara ait 841 adet yatay hız verisi elde edilmiştir. Bu noktaların konumları Şekil 6.1'de ve noktaların Avrasya sabit olarak temin edilen hızları Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Çalışmada kullanılan 841 adet GNSS istasyon dağılımı (Siyah noktalar istasyonları temsil etmektedir).



Şekil 6.2 Çalışmada kullanılan 841 adet noktaya ait Avrasya sabit hız alanı (Hızlar Özdemir ve Karşioğlu (2019) ile Kurt vd. (2023) çalışmalarından elde edilmiştir).

6.1.2 En Uygun Küme Sayısının Belirlenmesi

Kümeleme analizinde en önemli adımlardan biri küme sayısının belirlenmesidir. Küme sayısı rastgele belirlenebildiği gibi çeşitli algoritmalar yardımıyla veri seti değerlendirilerek de belirlenebilir. Böylece en uygun küme sayısı hakkında tahminler yapılabilir ve küme sayısının kaç olması gerektiğiyle ilgili ön bilgi sahibi olunabilir. Küme sayısı sonuçların yorumlanabilirliğini de önemli ölçüde etkileyen faktörlerden biridir. Çünkü analizde çok sayıda küme olması analizin çok daha karmaşık olmasını ve anlamlı bilgi elde edilmesini zorlaştırabilir. Bunun yanı sıra olması gerekenden çok daha az sayıda küme olması ise verileri yeteri kadar ayırtırmayabilir ve önemli farklılıklar gözden kaçabilir.

En uygun küme sayısına karar verebilmek için birden fazla algoritmanın sonuçlarının karşılaştırılması daha yararlı olmaktadır. Bu sebeple çalışmada en uygun küme sayısını belirleyebilmek için 4 farklı algoritma ile veri test edilmiştir. Bu algoritmalar Elbow Metot, Silhoutte Skoru, Davies-Bouldin İndeksi ve Calinski-Harabasz Skoru'dur.

6.1.2.1 Çalışma Alanında Elbow Metot ile Küme Sayısının Belirlenmesi

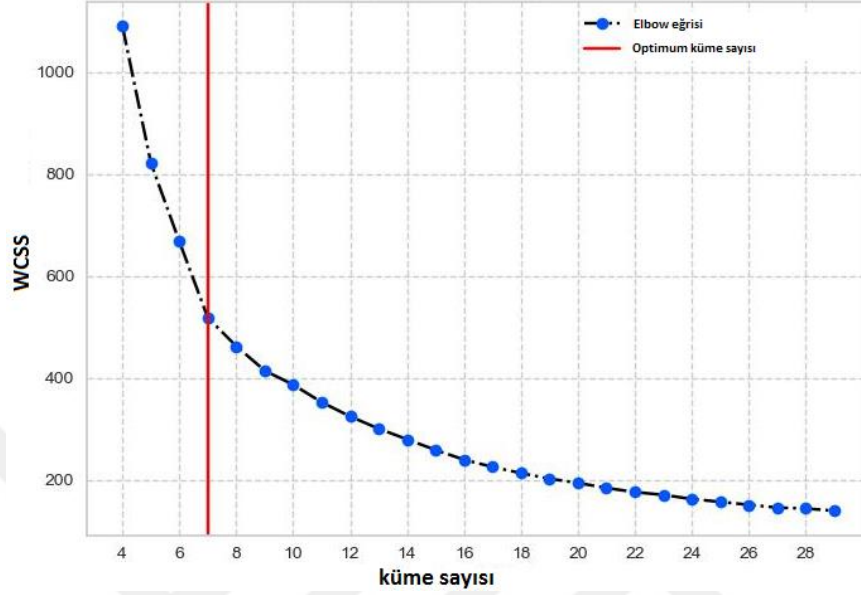
Kümeleme analizi çalışmalarında en uygun küme sayısını belirleme yöntemlerinden biri olan Elbow Metot ile 841 adet istasyona ait yatay hız verisi Python yazılımında değerlendirilmiştir. Bu metot veriyi farklı küme sayılarına bölmüştür ve her küme için Inertia değerlerini hesaplamıştır. Şekil 6.3'de 841 adet noktanın Elbow Metot ile hesaplanan en uygun küme sayısı gösterilmektedir.

Şekil 6.3 incelendiğinde değerlendirilen veri seti için en uygun küme sayısının 7 olabileceği görülmektedir. Ancak bu olabilecek en uygun küme sayısının kesin bir değeri değildir. Bu sebeple 7 küme sayısı da göz önünde bulundurularak farklı küme sayılarında K-Means algoritması ile değerlendirme yapılmıştır.

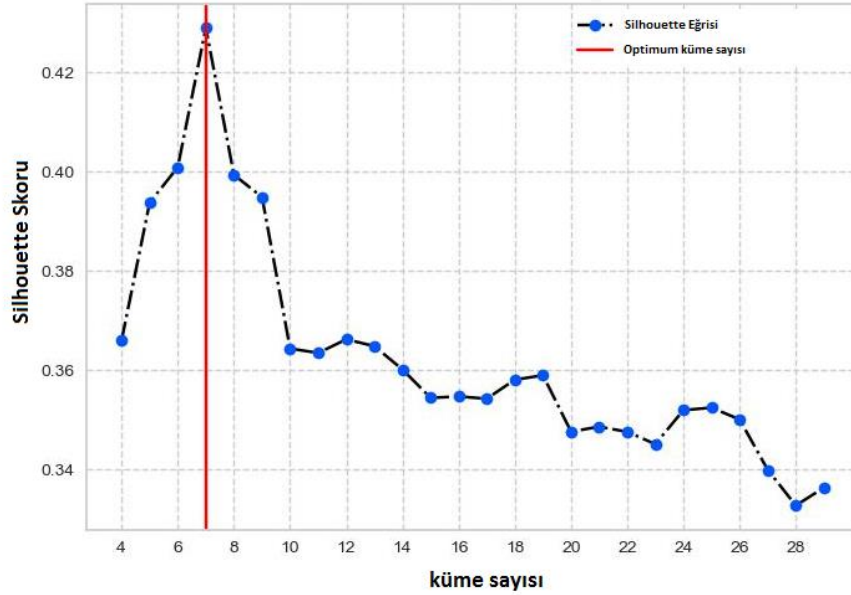
6.1.2.2 Çalışma Alanında Silhoutte Skoru ile Küme Sayısının Belirlenmesi

Olabilecek en uygun küme sayısının belirlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılan bir diğer algoritma ise Silhouette Skoru'dur. Bu yöntemde farklı küme sayıları için

Silhouette skorları hesaplanmıştır. Veri setine ait Silhouette skorlarını ve en uygun küme sayısını ifade eden grafik Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.3 841 noktanın yatay hız verisi için Elbow Eğrisi.



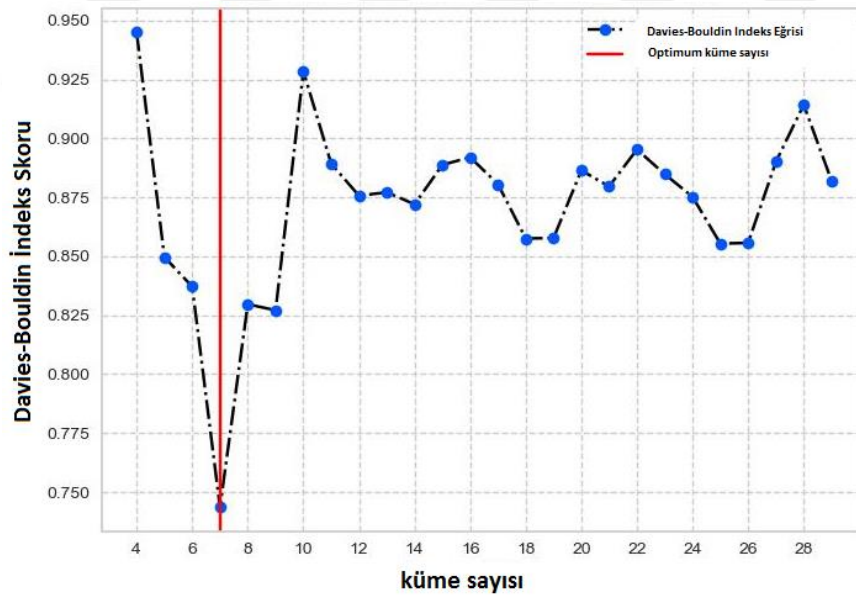
Şekil 6.4 841 noktanın yatay hız verisi için Silhouette Skor grafiği.

Bu algoritmada elde edilen en yüksek skor değeri, olabilecek en uygun küme sayısını göstermektedir. -1 ile +1 aralığında değer alan Silhouette Skoru'nda; Şekil 6.4 incelendiğinde, olabilecek en uygun küme sayısının 7 olduğu görülmektedir. Çünkü en

yüksek Silhouette Skoru'na 7 küme sayısında ulaşılmaktadır. Bu skorda Elbow Metot ile benzer sonuçların alındığı görülmektedir (Şekil 6.3). Ancak unutulmamalıdır ki elde edilen 7 küme değeri en uygun değer olmayabilir. Bu skorda olabilecek diğer en uygun küme değerlerinin ise 6, 8 ve 9 küme olduğu yorumu yapılabilir. Bu sebeple 7 küme sayısı da göz önünde bulundurularak farklı küme sayılarında K-Means algoritması ile veri setinde değerlendirme yapılmıştır.

6.1.2.3 Çalışma Alanında Davies-Bouldin İndeksi ile Küme Sayısının Belirlenmesi

Kümeleme analizi çalışmalarında farklı küme sayılarında hesaplanan ve veri noktalarını benzerliklerine göre karşılaştıran bir diğer ölçüt ise Davies-Bouldin İndeksi'dir. Veri noktalarının atandığı küme içindeki homojenliğini değerlendirerek çalışmaktadır. Bu çalışmada Davies-Bouldin İndeksi ile 841 adet noktanın en uygun küme sayısının belirlenmesi Python yazılımı kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen indeks skoru ve küme sayılarını gösterir grafik Şekil 6.5'de sunulmuştur.



Şekil 6.5 841 noktanın yatay hız verisi için Davies-Bouldin İndeks grafiği.

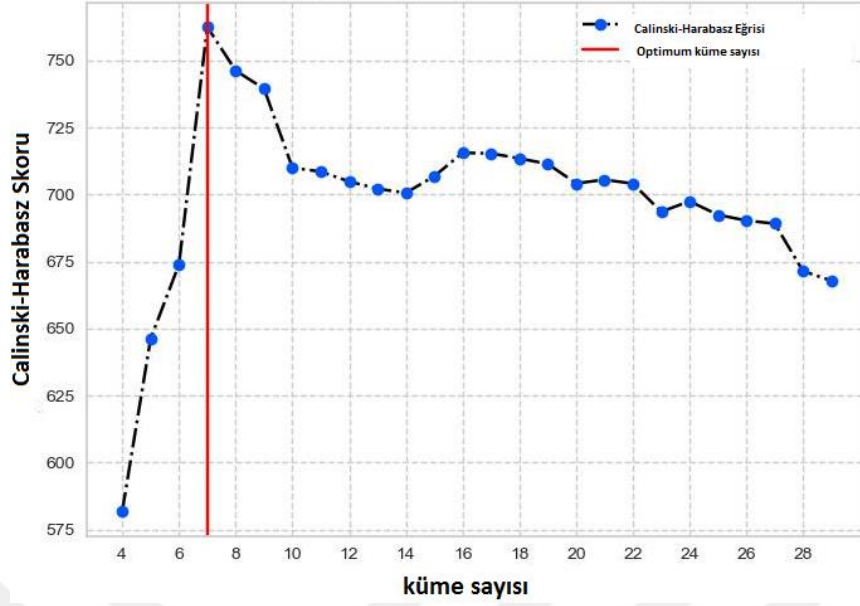
Davies-Bouldin İndeks değeri azaldığında iyileşen bir kümeleme performansı söz konusudur. İndeks değerinin sıfıra yaklaşması ideal bir kümeleme yapıldığını göstermektedir. Fakat bu noktada her veri kümesi birbirinden farklı olduğu için standar bir indeks aralığı vermek doğru olmayacaktır.

Şekil 6.5 incelendiğinde 841 noktanın yatay hız verilerinden oluşan veri setinde en uygun küme sayısının 7 olduğu görülmektedir. Çünkü en küçük Davies-Bouldin İndeks skoru 7 kümede elde edilmiştir. Elbow Metot ve Silhouette Skor'unda da buna benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 6.3, 6.4). Ancak diğer en uygun küme sayısını belirlemeye yönelik kullanılan algoritmalarda olduğu gibi bu değer kesin bir küme değeri değildir. Diğer olabilecek küme sayıları da göz önünde bulundurularak kümeleme analizi gerçekleştirilmelidir. Bu noktada Davies-Bouldin İndeks skoruna göre olabilecek en uygun küme sayılarının 8 ve 9 olduğu görülmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak 7 küme sayısı da göz önüne alınmış ve farklı küme sayılarında K-Means algoritması ile veri setinde değerlendirme yapılmıştır.

6.1.2.4 Çalışma Alanında Calinski-Harabasz Skoru ile Küme Sayısının Belirlenmesi

Varyans Oran Skoru olarak da bilinen Calinski-Harabasz Skoru küme içi benzerliklerin kümeler arasındaki benzerliklere oranını ifade etmektedir. Bu noktada yüksek skor değerinin en uygun küme sayısını temsil ettiği söylenebilir. Bu skor algoritması kullanılarak çalışma alanındaki 841 noktanın yatay hız verisi Python yazılımı kullanılarak test edilmiştir. Test edilen yatay hız verilerinde olabilecek en uygun küme sayısı ve Calinski-Harabasz Skoru'nu gösterir grafik Şekil 6.6'da verilmiştir.

Şekil 6.6 incelendiğinde Calinski-Harabasz Skoru'nun en yüksek olduğu küme sayısının 7 olduğu görülmektedir. Bu sonuç diğer üç algoritma olan Elbow Metot, Silhouette Skoru ve Davies-Bouldin İndeks ile aynıdır (Şekil 6.3, 6.4, 6.5). Ancak unutulmamalıdır ki diğer en uygun küme sayısını belirlemede kullanılan algoritmalarda olduğu gibi 7 değeri, kesin bir küme değerini temsil etmemektedir. Calinski-Harabasz Skoru'nda diğer olabilecek en uygun küme sayılarının ise 8 ve 9 küme olduğu görülmektedir. Bu sebeple K-Means algoritmasında diğer küme sayısı değerleri de göz önünde bulundurulmalıdır ve elde edilen küme sonuçlarının analizi çok iyi yapılmalıdır.



Şekil 6.6 841 noktanın yatay hız verisi için Calinski-Harabasz Skor grafiği.

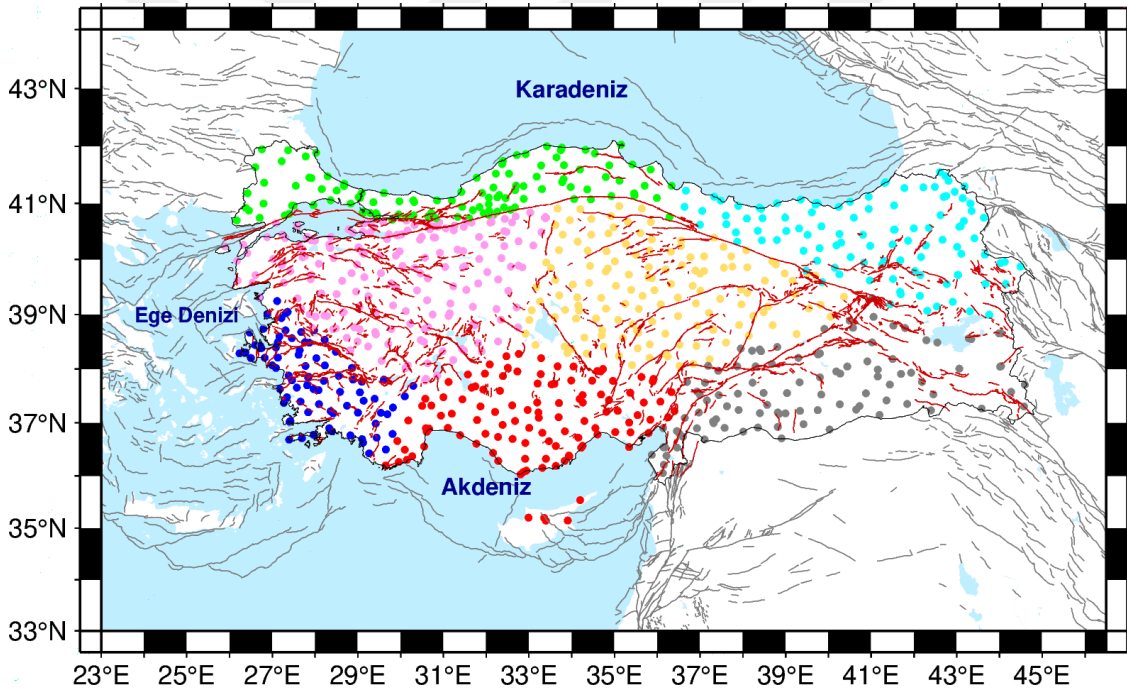
6.1.3 Anadolu Plakası Hız Alanında K-Means Kümeleme Analizi

Temel amacı veri noktalarını birbirine olan benzerliklerine göre gruplandırmak olan kümeleme analizi için bir çok algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmalarından en yaygın olarak bir çok alanda etkili ve verimli şekilde kullanılanlarından biri de denetimsiz makine öğreniminde K-Means kümelemedir.

Bu çalışmada K-Means kümeleme algoritması Python yazılımında kullanılmıştır. Yazılımda kullanılan veri seri 841 adet noktadan oluşmaktadır (Şekil 6.1). Veri seti parametrelerine yalnızca yatay hızlar ve nokta konumları dahil edilmiştir. Bu noktada literatürde, yazılım girdi parametrelerinde yalnızca hız verisi kullanılabildiği gibi farklı parametrelerin de elde edilen sonuçlara göre kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir (Granat vd. 2021). Bu sebeple böylesi bir hız alanında hızın konumuyla da ilişkili olabileceği düşünülerek nokta konumları da kullanılmıştır.

K-Means kümeleme analizinde kullanılan veri setindeki parametrelere bölgeye ait jeolojik yapı ve fay geometrisi gibi çeşitli bilgiler girdi parametresi olarak kullanılmamıştır. Bu sebeple önceden herhangi bir bilgi verilmeden değerlendirme yapılabildiğinden elde edilen kümeleme sonuçlarında nesnel bir yaklaşım elde edilmiştir.

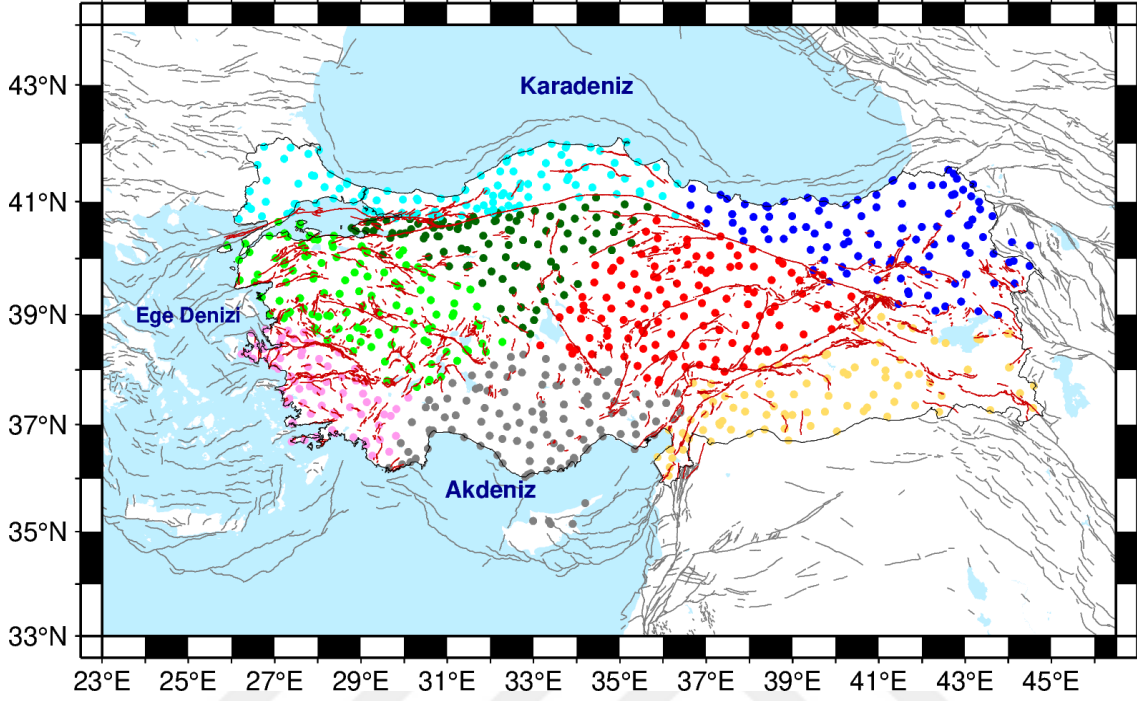
Bu algoritmaya başlangıçta veriyi kaç adet kümeye bölmesi gerektiği bir girdi olarak verilmektedir. Veri setine en uygun küme sayısının belirlenmesi deneme-yanılma yöntemleri ile yapılabildiği gibi bunun için kullanılan özel algoritmalar da geliştirilmiştir. En uygun küme sayısının belirlenmesi için birden fazla algoritmanın sonuçlarının karşılaştırılmasının daha uygun olacağı düşüncesinden yola çıkılarak Elbow Metot, Silhouette Skoru, Davies-Bouldin İndeksi ve Calinski-Harabasz Skoru ile veri seti test edilmiştir. Dört farklı algoritma ile test edilen 841 adet noktanın yatay hız verileri için en uygun küme sayısı 7 olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra bu algoritmalarda veri setinde olabilecek diğer en uygun küme sayılarının ise 8 ve 9 olduğu görülmüştür (Şekil 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6). Çalışmada 7, 8 ve 9 küme sayılarında, K-Means algoritması ile yapılan kümelemeler Şekil 6.7, 6.8 ve 6.9'da verilmiştir.



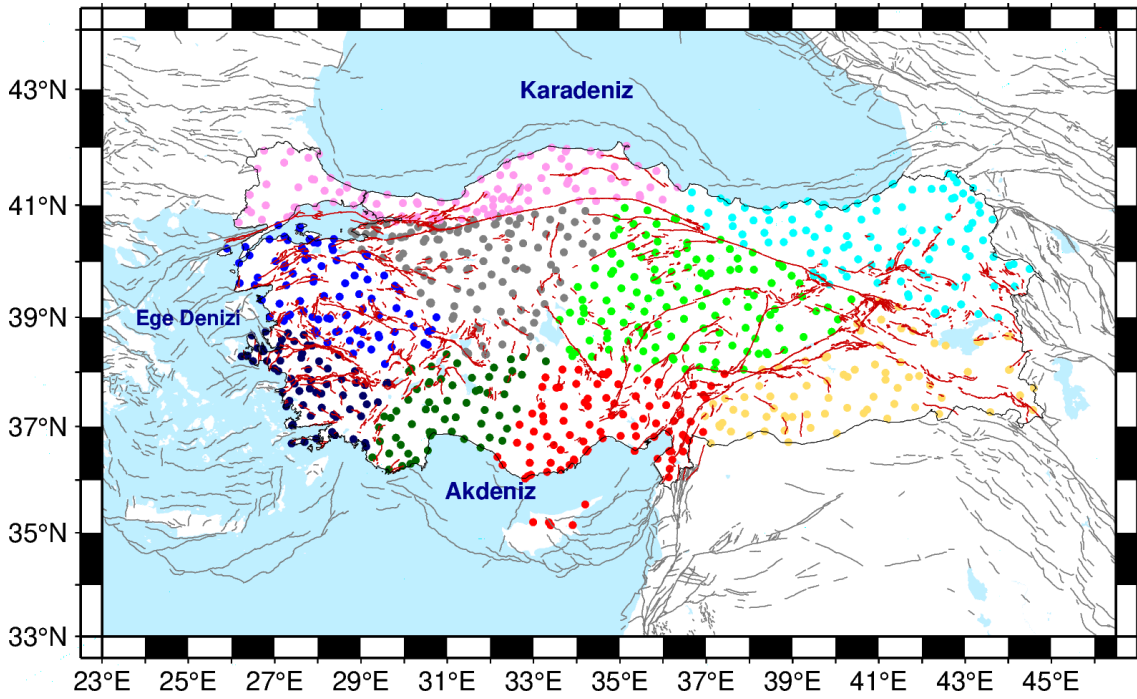
Şekil 6.7 K-Means ile 7 küme sonuçları.

Şekil 6.7, 6.8 ve 6.9'da ifade edilen K-Means kümeleme sonuçlarında koyu kırmızı renkli çizgiler Emre vd. 2013 çalışmasından temin edilen aktif fayları temsil etmektedir. Bunun yanı sıra her kümeye ait noktalar farklı renkler ile temsil edilmiştir. Şekil 6.7, 6.8 ve 6.9'da elde edilen kümeleme çalışmalarında küme sınırları blok sınırları olarak değerlendirilmiş ve Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12'de bu sınırlar ile beraber küme numaraları verilmiştir. Bu şekillerde görülen koyu siyah numaralar küme numaralarını

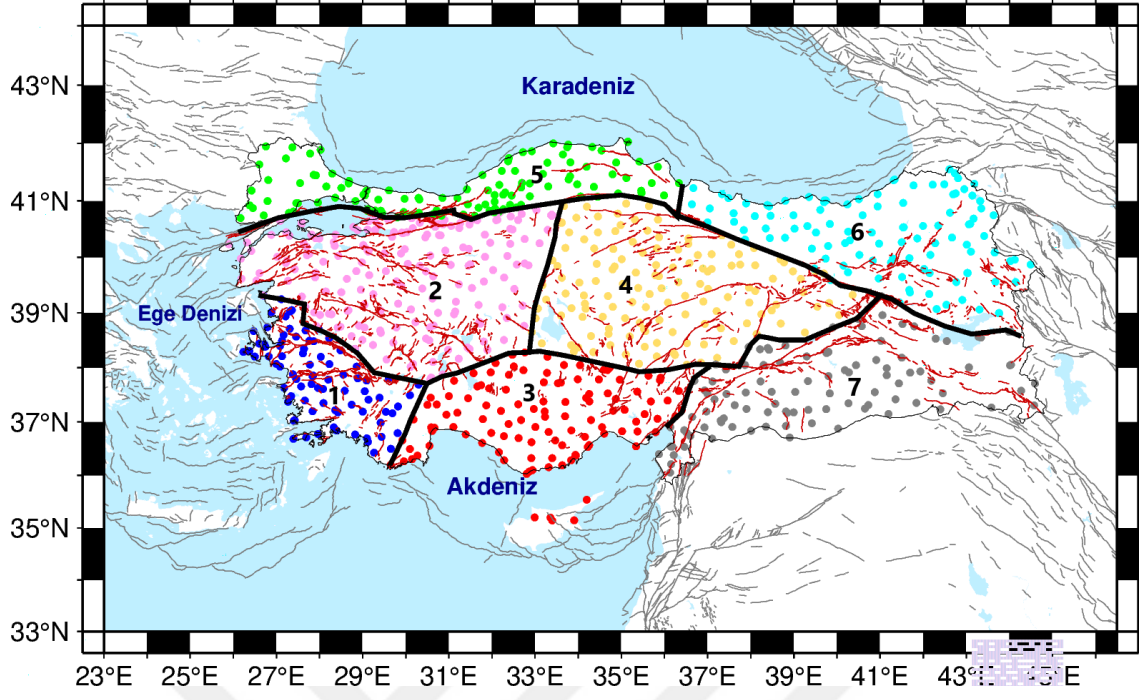
göstermektedir. Koyu turuncu çizgiler ise farklı küme sayılarında blok sınırları olarak gösterilen küme sınırlarıdır.



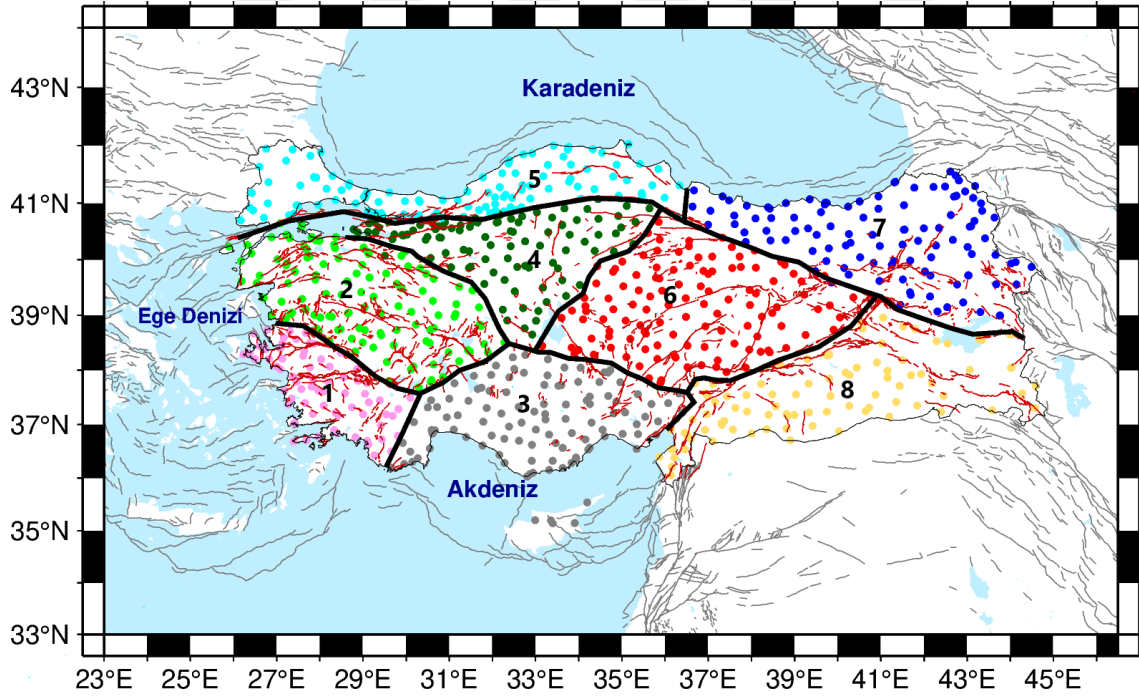
Şekil 6.8 K-Means ile 8 küme sonuçları.



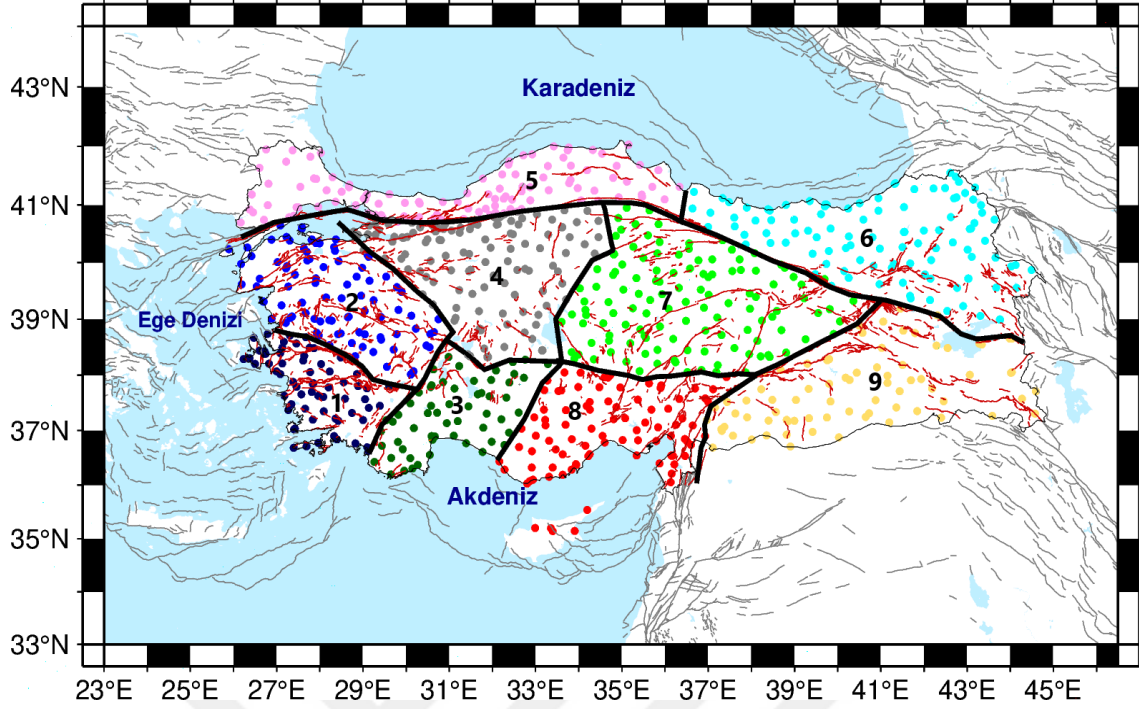
Şekil 6.9 K-Means ile 9 küme sonuçları.



Şekil 6.10 7 küme sonuçlarından elde edilen blok sınırları ve blok numaraları.



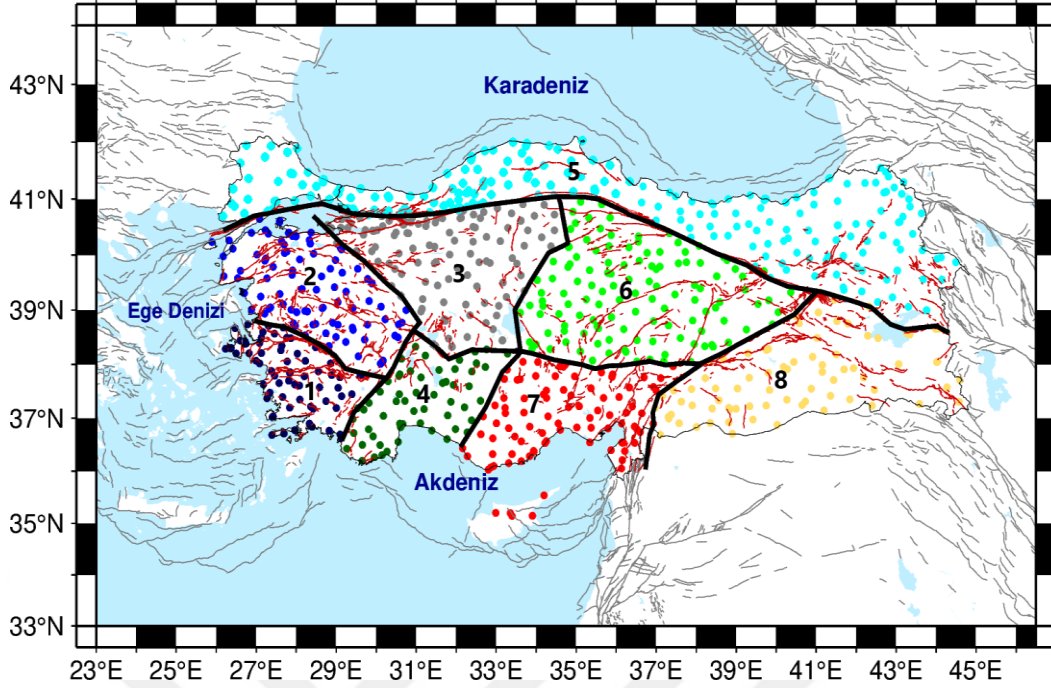
Şekil 6.11 8 küme sonuçlarından elde edilen blok sınırları ve blok numaraları.



Şekil 6.12 9 küme sonuçlarından elde edilen blok sınırları ve blok numaraları.

Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12 incelendiğinde 8 küme ve 9 küme sınırlarında büyük bir fark gözlenmediğinden dolayı bu çalışmada 7 küme ve 9 küme sınırları değerlendirilmiştir. Ayrıca 7 küme ile 9 küme arasında dikkat çeken iki sınır farkı bulunmaktadır. 7 küme sınırlarında Batı Anadolu'da bulunan 2 numaralı bloğun; 9 kümede ikiye bölünmesi olmuştur. Bu bölünmedeki sınır Afyon'dan başlayıp Kütahya ve Eskişehir il sınırları üzerinden Kütahya Fayı ile Eskişehir Fayı'nı takip ederek Bozüyük'te Dodurga Fayına kadar uzanmaktadır. Sınır burada Bursa'da bulunan Oylat Fayı, İnegöl Fayı, Bursa Fayı ve Soğukpınar Fay zonlarını takip ederek Marmara Denizine ulaşmaktadır. Bir diğer önemli fark ise 7 kümede bulunan 3 numaralı bloğun iki farklı kümeye bölünmesidir. Buradaki sınır ise Alanya'dan başlayıp Hatamış Fay Zonu'nu takip ederek Tuz Gölü Fay Zonu'na kadar uzanmaktadır. Bunun dışındaki blok sınır farkları birbirine paralel uzanan zon şeklindeki sistemlerde, sınırları takip edilen zon içinde değiştiği görülmektedir.

Tüm bu sonuçlarla beraber Anadolu Plakası üzerindeki aktif fay zonlarından biri olan KAFZ'nin kuzeyi 7 ve 9 küme sayılarında iki ayrı blok olarak değerlendirilmiştir. Ancak bu bölgenin tek bir blok olarak ele alınması gerektiği düşünüldüğünden Anadolu Plakası üzerinde önerilen bloklar ve sınırları Şekil 6.13'de verilmiştir.



Şekil 6.13 Anadolu Plakası için önerilen bloklar ve sınırları.

6.2 Batı Anadolu Hız Alanında Kümeleme Analizi Uygulaması

6.2.1 Veri Seti

Çalışma bölgesinde bulunan noktalar, Tiryakioğlu vd. (2013), Tiryakioğlu vd. (2018), Solak (2020), Eyübagil vd. (2021) ve Yavaşoğlu vd. (2021) çalışmalarından temin edilmiştir. Özellikle uzun yıl aralıklarında kampanyalar yapılmışsa; iki kampanya ölçünün hız doğruluğu hesaplamalarında yeterli olacağı düşünülmektedir. Yani eski bir ölçüsü olan noktada uzun bir yıl aralığında yapılan ikinci kampanya ölçünün iyi bir hız doğruluğu sağladığı görülmektedir (Şafak vd. 2020). Bu ifadeden hareketle bahsedilen çalışmalardan elde edilen noktaların yanı sıra TKGM'den geçmiş yıllara ait ölçüsü bulunan pilye noktaları temin edilmiştir.

Veri setini sıklaştırmak amacıyla belirlenen noktalarda arazi çalışmaları yapılmıştır. Muğla, Denizli, Kütahya, Balıkesir ve Manisa illerinde bu kapsamda 2022-2023 yıllarında 20 nokta ölçülmüştür. Bu noktalardaki arazi çalışmalarında kampanya tipinde ölçümler yapılarak güncel veriler toplanmıştır. Şekil 6.14 'de yapılan arazi çalışmaları görülmektedir.

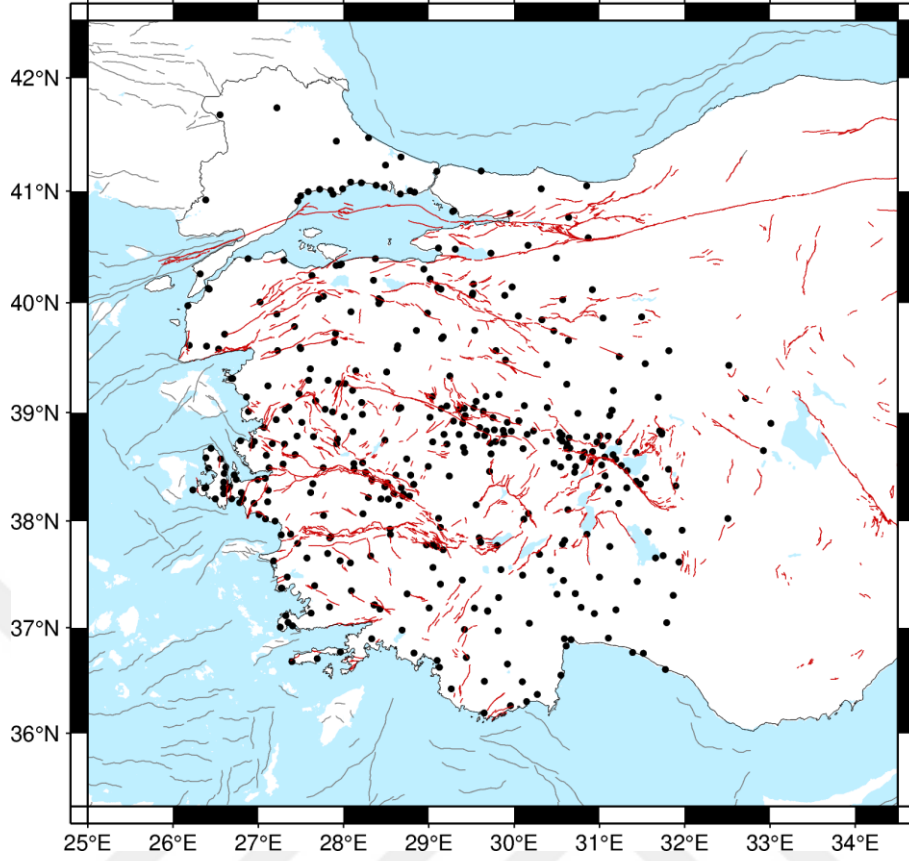


Şekil 6.14 Çeşitli noktalarda yapılan arazi çalışmalarına ait görseller.

Arazi çalışmaları ve çeşitli diğer çalışmalardan verileri elde edilen nokta sayısı 402 adettir. Bu noktalar ise Şekil 6.15'de gösterilmiştir. Çalışma bölgesindeki noktalar 2000-2023 yılları arasında 24 yıllık bir veri setinden oluşmaktadır.

6.2.2 Veri Setinin Değerlendirilmesi

İlgili çalışmalardaki Tiryakioğlu vd. (2013), Tiryakioğlu vd. (2018), Solak (2020), Eyübagil vd. (2021) ve Yavaşoğlu vd. (2021) nokta ölçümleri sonucu elde edilen veriler ve arazide kampanya tipi ölçümlerden elde edilen noktaların verileri kullanılarak bölgede güncel bir hız alanı oluşturulmuştur. Özellikle daha iyi hız doğruluğu sağlayabilmek için Şafak vd. (2020)'de ifade edilen kampanya sayısı, ölçü süresi ve kampanyalar arasında geçen süre parametreleri göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme işleminde UNIX işletim sisteminde çalışan akademik bir yazılım olan ve Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK kullanılmıştır.

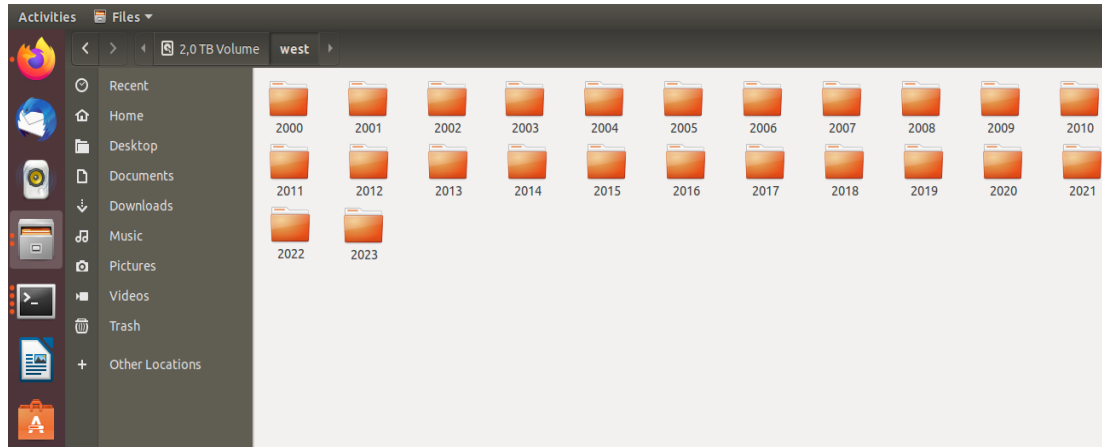


Şekil 6.15 Çalışmada kullanılan 402 adet nokta dağılımı (Siyah noktalar istasyonları temsil etmektedir).

GAMIT/GLOBK yazılım takımında ham veriler doğrudan işlenememektedir. Ham verileri bu yazılımda değerlendirebilmek için alıcıdan bağımsız standart bir veri dosyası formatı olan RINEX (Receiver Independent Exchange)'e dönüştürmek gerekmektedir. Bu dönüşümü sağlamak için bir çok yazılım mevcuttur. Bu çalışmada ise kampanya tipindeki GNSS ölçümlerinden elde edilen ham verilerin dönüşüm işlemi için 'RINEX Converter' adlı yazılım kullanılmıştır. Bu yazılım ile tüm veriler alıcıdan bağımsız bir yazılım formatı olan RINEX'e dönüştürülerek GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilmeye hazır hale getirilmiştir.

RINEX formatı hazırlanan verilerin GAMIT/GLOBK yazılımında değerlendirilmesi için uygun bir klasör yapısı oluşturulmuştur. Bu klasör yapısının en üst klasör isminde Türkçe karaktere yer verilmeyecek ve dört karakterden oluşacak şekilde bir isimlendirme yapılmaktadır. Bu çalışma için en üst klasör ismi 'west' olarak verilmiştir. 'west' klasörü değerlendirme adımımda tüm işlemlerin gerçekleştirildiği ana/merkez klasörü ifade etmektedir.

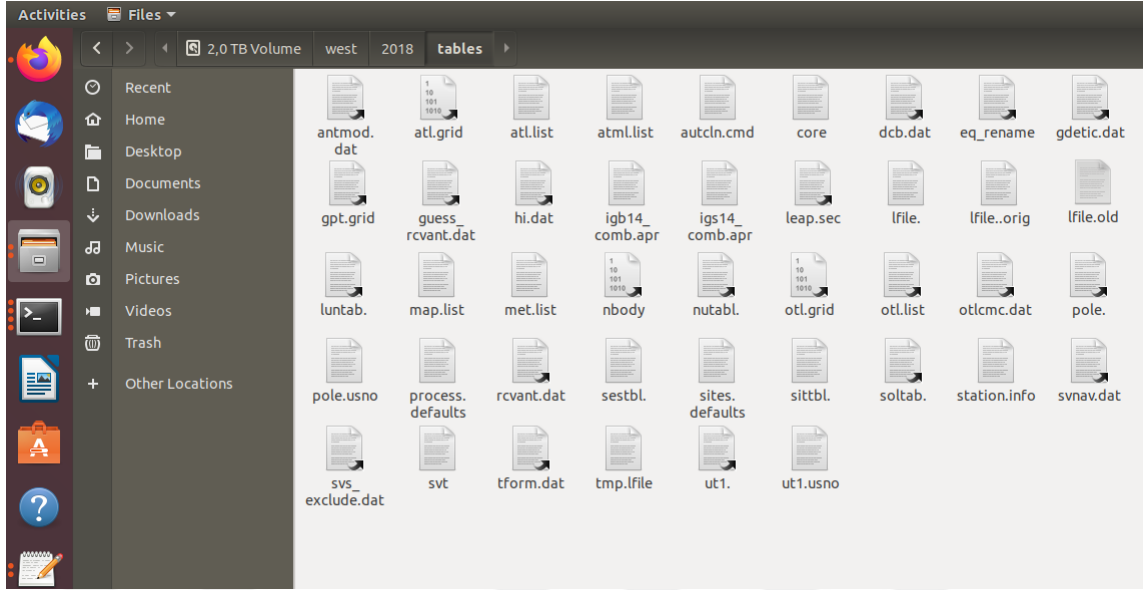
Ana/merkez klasör olan west klasörünün içine, ölçüm yapılan her yıl için bir yıl klasörü oluşturulmalıdır. Bu çalışmada 2000 ve 2023 yılları arasında GNSS ölçümü olan her yıl için alt klasörler oluşturulmuştur (Şekil 6.16). Ayrıca bu oluşturulan yıl klasörleri içine RINEX verilerini içerecek birer RINEX klasörü oluşturulmalıdır. 2000 ile 2023 yılları arasında her yıl için oluşturulan klasörlerin alt klasörlerine, RINEX klasörleri oluşturularak; GNSS ölçümü yapılan noktaların alıcıdan bağımsız formata dönüştürülen verileri yıllarına göre bu klasörlere eklenmiştir.



Şekil 6.16 Değerlendirme işlemi için oluşturulmuş yıl klasörleri.

Oluşturulan yıl klasörlerinin içine RINEX verilerinin değerlendirilebilmesi için 'tables' klasörünün de oluşturulması gerekmektedir. Bu klasör içinde değerlendirme işlemi için gerekli standart girdi dosyaları bulunmaktadır. Şekil 6.17'de bu çalışmanın 2018 yılına ait tables klasörü dosyaları görülmektedir.

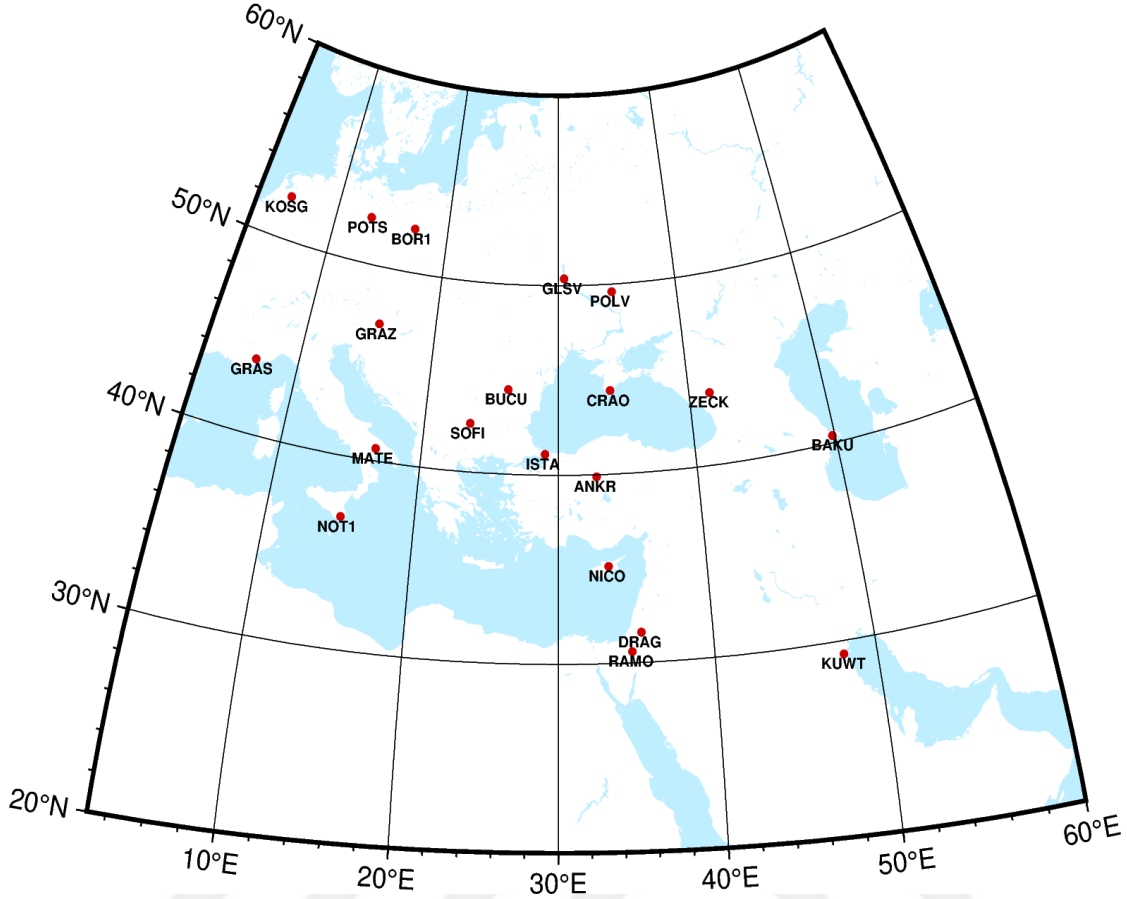
Tables klasörü içindeki bazı önemli dosyaların da düzenlenmesi gerekmektedir. Bu dosyalar station.info, lfile., sites.defaults dosyalarıdır. Bu dosyalardan en önemlisi olan 'station.info' dosyasına yapılan GNSS ölçümlerine alıcı bilgisi, anten markası, anten modellerine ait bilgiler, ölçünün başlama ve bitiş süreleri, anten yükseklikleri gibi çeşitli bilgileri dikkat ve titizlikle yazmak gerekmektedir. Çalışmada toplanan tüm GNSS ölçüm verilerinin bilgileri 'station.info' dosyalarına yazılmıştır. Bununla beraber yapılacak değerlendirmedeki tüm noktaları global bir ağ ile entegre etmek amacıyla belirlenen IGS (International GNSS Service) istasyonları değerlendirmeye dahil edilmiştir. Bu noktada belirlenen tüm IGS istasyonları 'sites.defaults' dosyasına yazılmıştır. Belirlenen IGS istasyonları Şekil 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.17 2018 yılı tables klasörü dosyaları.

Düzenlenmesi gereken bir diğer dosya ise noktalara ait başlangıç koordinatlarının yer aldığı 'lfile.' dosyasıdır. Bu dosyaya yapılan GNSS ölçümlerindeki noktaların başlangıç koordinatları RINEX dosyalarından elde edilerek düzenlenmiştir. Ardından GAMIT ile veri değerlendirilmesine geçilmiştir. Bu noktada yapılan değerlendirmeler otomatik yapılabileceği gibi işlem adımları takip ve kontrol edilerek de yapılabilinmektedir.

Son olarak değerlendirme tamamlandığında elde edilen sonuçların kontrolünün yapılması gerekmektedir. Kontrol işlemi için değerlendirme sonucu oluşan ölçüm yapılan gün klasörünün içinde kalite dosyaları oluşmaktadır. Bu dosyalar yapılan dengeleme sonucunda her bir gün dizininde üretilmekte ve değerlendirme sonuçlarını özet olarak sunmaktadır. Öncelikle kaç tane noktanın değerlendirmeye girdiğini görebilmek için 'Number of stations used' bölümü incelenmelidir. Bu bölümde değerlendirmeye giren toplam nokta sayısı ile kullanılan nokta sayısının aynı olması gerekmektedir. Eğer bu sayı aynı değilse yapılan değerlendirme kontrol edilmeli ve hangi noktanın değerlendirmeye neden girmediği tespit edilmelidir. Kalite dosyalarında kontrol edilmesi gereken bir diğer önemli nokta ise karesel ortalama hata (Postfit RMS) değerleridir. Genellikle karesel ortalama hata değerlerinin yapılan değerlendirme sonucunda 3 ile 10 mm arasında olması beklenmektedir. Fakat kullanılan alıcılara göre yapılan değerlendirmelerde en iyi yaklaşık 5 ile 8 mm arasında, en kötü ise 13 ile 25 mm arasında değişebilmektedir.



Şekil 6.18 Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları.

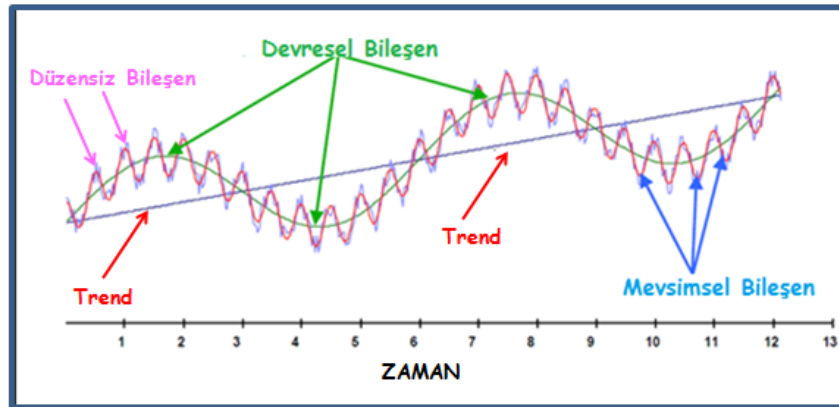
'Number of double differences for each satellite' bölümü de kontrol edilmesi gereken bir diğer önemli bölümdür. Bu bölümde tüm uydular için sıfır değerine sahip istasyonların kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğer tüm uydular için sıfır değerine sahip istasyon varsa genellikle 'lfile.' dosyasında noktaya ilişkin başlangıç koordinatında hata olabileceği veya yaklaşık konumun yeterli doğrulukta olmadığı anlamına gelebilmektedir. Bununla beraber değerlendirmede kullanılacak olan mevcut verisinde herhangi bir bozukluk olduğu anlamına da gelebilmektedir. Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda tüm istasyonlar değerlendirmeye dahil edilmiş, karesel ortalama hata değerleri beklenen değerler arasında elde edilmiş ve tüm uydular için herhangi bir noktada sıfır değerine sahip istasyon olmamıştır. Ardından GLOBK ile uzun dönem zaman serileri ile hızların elde edilmesi aşamasına geçilmiştir.

Zaman serileri tektonik incelemeler için oldukça önemlidir. Uzun dönem zaman serilerindeki hareketler incelenerek bu serilerle ilgili çeşitli çıkarımlar yapılabilir.

Bunun yanı sıra yapılan çıkarımlar neticesinde geleceği yönelik tahminler yapmak da mümkün olabilmektedir. Temelde zaman serilerinin 4 bileşenden oluştuğu söylenebilir. Zaman içinde veri setindeki genel yönelimi anlamak için trend bileşeninden yararlanılmaktadır. Bu bileşen ile uzun dönemde verinin artışı veya azalışı ile ilgili bilgi sahibi olunabilmektedir. Zaman serilerindeki bir diğer bileşen ise mevsimsel bileşendir. Bu bileşen belirli periyodik zamanlarda tekrarlayan değişimleri ifade etmektedir. Düzenli olarak ortaya çıkmaktadır.

Genellikle de mevsimlere, aylara ya da haftalara göre etkileri gözlemlenebilmektedir. Mevsimsel bileşen incelenerek gelecekteki hareket öngörülebilir. Diğer bir bileşen ise çevrimsel veya devresel olarak adlandırılan bileşendir. Bu bileşen mevsimsel bileşenden farklı olarak daha uzun aralıklarda meydana gelen dönemsel değişimleri ifade etmektedir.

Dördüncü bileşen ise düzensiz olarak isimlendirilen bileşendir. Bu bileşen rastgele şekilde meydana gelen, tahmin edilemeyen, anlık dalgalanmalardır. Herhangi bir düzende meydana gelmeyen değişimlerdir. Bu bileşenler Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



Şekil 6.19 Zaman serisi bileşenleri.

Çalışmada uzun dönem zaman serilerinin oluşturulması için merkez/ana klasör olan 'west' içinde 'vsoln' klasörü oluşturulmuştur. Oluşturulan klasör içinde ilgili komutlar çalıştırılarak uzun dönem zaman serileri elde edilmiştir. Daha sağlıklı bir hız alanı oluşturmak amacıyla elde edilen zaman serileri dikkatli bir şekilde incelenmiştir.

6.2.2.1 Verilerin Değerlendirilmesinde Göz Önünde Bulundurulanan Depremler

Noktalara ait zaman serileri incelenmiştir. İncelenen zaman serilerinde çalışmada kullanılan bölgede meydana gelen önemli ve büyük depremler ile lokal olarak bazı etkiler sebebiyle konumlarında değişim olan noktalar belirlenmiştir. Bu çalışmaya ait noktaların konumlarında değişime neden olan depremler aşağıda açıklanmıştır.

Batı Anadolu'nun genişleme bölgesinde bulunan Akşehir-Sultandağı Fay Zonu Türkiye'nin önemli zonlarından biridir. Bu zon Kuzeybatı-Güneydoğu (KB-GD) uzanımında bir dizi aktif normal fay zonlarından oluşmaktadır. Aynı zamanda bu fay zonu Afyon-Akşehir'de kuzeybatıdan güneydoğuya uzanan grabenlerin de oluşmasına neden olmuştur (Koçyiğit ve Deveci 2007, Tiryakioğlu vd. 2018).

Tarihsel ve aletsel deprem kayıtları incelendiğinde bu fay zonu üzerinde yüzey kırıklarına da sebebiyet veren çok sayıda deprem olduğu görülmektedir. 03 Şubat 2002 tarihinde bölgede yerel saat ile 09:11'de Mw:6.3 ve yerel saat ile 11:26'da Mw:6.0 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. Depremlerin merkez üsleri sırasıyla Bolvadin ve Eber Gölü'nün güneyi olmuştur. Literatürde bu depremlerin Akşehir-Sultandağı Fay Zonu'ndan kuzeybatı yönünde ilerleyen sismik bir göçün parçası olduğu düşünülmektedir (Tiryakioğlu vd. 2018).

Depremler bir çok ilden hissedilmesine karşın en etkili şekilde Afyon ve ilçelerinde hissedilmiştir. Özellikle Sultandağı, Çay, Bolvadin, Çobanlar, İşcehisar ve Şuhut ilçelerinde hissedilen depremlerde 42 kişi yaşamını yitirmiş buna karşılık 4400 bina ise kullanılamaz hale gelmiştir (İnt. Kyn.1). Depremin neden olduğu etkiler ise Şekil 6.20' de verilmiştir. Depremler sonrası bölgede yaklaşık 26 km uzunluğunda yüzey kırığı meydana gelmiştir (Tiryakioğlu vd. 2018, Emre vd. 2018).

Depremler sonucunda ise 300 mm'e ulaşan düşey yer değiştirme bölgede ölçülmüştür (Tiryakioğlu vd. 2018). Bununla beraber yaklaşık 100 mm'ye ulaşan yanal yerdeğiştirmeler de gözlemlenmiştir (Emre vd. 2003, Aktuğ vd. 2010, Şengel ve Doğan 2013).



Şekil 6.20 Akşehir-Sultandağı Fay Zonu üzerinde gerçekleşen 2002 yılına ait depremlerin etkileri (a: yüzey kırığı, b:depremin etkileri), (İnt. Kyn. 5, İnt. Kyn. 6).

İzmir ili ve çevresi, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu olarak adlandırılan ve doğrultu atımlı faylarla etkilenen bir konumda yer almaktadır. Bu zonun, meydana gelen 17-21 Ekim 2005 tarihlerinde Sığacık Körfezi'nde gerçekleşen depremler ile aktivitesi kanıtlanmıştır. Sığacık Körfezi'nde gerçekleşen bu depremlerin ilki 17 Ekim yerel saat 08:45'de Mw:5.4, ikincisi 17 Ekim saat 12:46'da Mw:5.8 ve üçüncüsü ise 21 Ekim saat 00:40'da Mw:5.9 olarak meydana gelmiştir (Sözbilir vd. 2009).

Ana şokların ardından çok sayıda artçı deprem Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından rapor edilmiştir. İlk iki depremin İzmir iline oldukça yakın bir konumda meydana gelmesi sebebiyle İzmir ve ilçelerinde yoğun olarak hissedilmiştir. Bunun yanı sıra depremler Aydın, Manisa, Balıkesir ve Ege Denizi'ndeki adalarda da hissedilmiştir. Bu iki depremde can kaybı yaşanmamıştır ancak Urla ve Seferihisar'da bazı yapılarda hasara sebep olmuştur. 21 Ekim tarihinde gerçekleşen depreminse gece olması ve özellikle İzmir ve çevresinde şiddetli bir şekilde hissedilmesinden dolayı birçok yurttaş yaralanmıştır (İnt. Kyn. 7, İnt. Kyn. 8). Bu depremlere ilişkin etkiler Şekil 6.21'de verilmiştir.



Şekil 6.21 17-21 Ekim 2005 tarihlerinde Sığacık Körfezi'nde gerçekleşen depremlerin etkileri (a,b: makaslanmış ve yıkılmış duvarlar, c:deprem sırasında meydana gelen kuzey-güney uzanımlı çatlaklar, d: Sığacık Limanı'nda meydana gelen çökme ve yükselmeler), (Sözbilir vd. 2009).

Batı Anadolu'nun genişleme bölgesinde yer alan en aktif tektonik yapılarından biri olan Simav Fay Zonu üzerinde 19 Mayıs 2011 tarihinde yerel saat ile 23:15'de yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü Mw: 5.9 olarak kaydedilmiştir (Tiryakioğlu 2015).

Deprem Kütahya ili başta olmak üzere Ege ve Marmara bölgelerinde şekilde hissedilmiştir. Depremin etkisi Yalova, İstanbul, Balıkesir, Bursa, İzmir, Manisa, Çanakkale, Afyonkarahisar, Eskişehir ve Ankara'ya kadar ulaşmıştır. Deprem 2 kişinin yaşamına yitirmesine sebep olmuştur. 100 kişi yaralanmıştır. Bir çok binada hasar meydana gelmiştir. Ana şokun ardından ise şiddetleri giderek azalan çok sayıda artçı deprem kaydedilmiştir (İnt. Kyn. 5).

Şekil 6.22'de depremin etkileri görülmektedir. Meydana gelen bu deprem Batı Anadolu'da var olduğu düşünülen genişleme rejiminin halen mevcut olduğunu gösteren bir kanıttır. Bununla beraber Simav Depremi merkez üssüne yakın GNSS istasyonlarında 2 mm'ye ulaşan yerdeğiştirmelere sebep olmuştur (Tiryakioğlu 2015).



Şekil 6.22 2011 Simav Depremi sonucunda bazı yapılarda meydana gelen hasarlar (İnt. Kyn. 9).

24 Mayıs 2014 tarihinde ise yerel saat ile 12:25'te Mw:6.8 büyüklüğünde Gökçeada açıklarında bir deprem meydana gelmiştir. Deprem 42 saniye boyunca devam etmiştir. Depremden sonra çok sayıda artçı meydana gelmiştir. Deprem sonucu oluşan kırık KD-GB uzanımına sahip olduğundan enerji bu uzanımda ortaya çıkmıştır. Bu sebeple depremin kuzey doğu bölümünde kalan alanlar depremi daha kuvvetli hissetmişlerdir. Deprem, Çanakkale, İstanbul, Edirne, İzmir başta olmak üzere Marmara ve Ege bölgeleri gibi geniş bir alanda hissedilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde bazı yapılarda hafif çaplı hasarlar da meydana gelmiştir, can kaybı yaşanmamıştır ancak yaralıların olduğu bildirilmiştir (İnt. Kyn. 10, İnt. Kyn. 11, İnt. Kyn. 12). Deprem sonucunda yaşanan hasar Şekil 6.23'de verilmiştir. Odak mekanizma çalışmaları depremin doğrultu atımlı bir fay nedeniyle meydana geldiğini göstermektedir. Oluşan bu depremin Ege Denizi içinde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun devamı üzerinde meydana geldiği düşünülmektedir (İnt. Kyn. 10, İnt. Kyn. 11, Yiğit vd. 2015). Bununla beraber depremin 30 mm'ye ulaşan yerdeğiştirmelere sebep olduğu elde edilmiştir (Tiryakioğlu vd. 2017).



Şekil 6.23 2014 Gökçeada depremi sonucunda bazı yapılarda meydana gelen hasarlar (İnt. Kyn. 12).

Batı Anadolu'nun güneybatı bölümü kuzey güney yönünde bir gerilme etkisi altında bulunmaktadır. Bölgede 21 Temmuz 2017 tarihinde yerel saat ile 01:31'de bir deprem meydana gelmiştir. Deprem Bodrum ve Kos Adası yakınlarında Gökova Körfezi'nde Mw:6.6 büyüklüğünde olmuştur. Deprem sonrası çok sayıda artçı meydana gelmiş ve artçı depremlerin büyüklüğü Mw:5.0'a kadar ulaşmıştır (Sözbilir vd. 2017a, Çınar ve Tiryakioğlu 2022).

Bu deprem sonrasında Bodrum ve Kos Adası'ndaki yapılarda hasarlar meydana gelmiştir. Depremin neden olduğu hasarlar Şekil 6.24'de verilmiştir. Kos Adası'nda ise iki kişi yaşamını yitirmiştir. Küçük çaplı bir tsunami oluşmuştur. Bu tsunaminin etkisiyle Bodrum güneyi ve Kos Adası kuzeyi kıyılarında hasarlar tespit edilmiştir (Sözbilir vd. 2017, Tiryakioğlu vd. 2018). Bodrum deniz seviyesi izleme istasyonu verilerine göre 13 cm dalga yüksekliği ölçülmüştür. Deprem sonrasında ise Bodrum kıyılarında 30 ile 40 cm arasında dalga yükseklikleri gözlenmiştir. Bu dalga yükseklikleri bazı bölgelerde 2 metreye ulaşan su baskınlarına neden olmuştur.

Odak mekanizma çözümleri ise bu depremin doğu batı uzanımına sahip normal bir faylanma sonucunda meydana geldiğini göstermektedir. Bu deprem GNSS istasyonlarında 160 mm'ye varan yerdeğiştirmeye neden olmuştur (Tiryakioğlu vd. 2018).



Şekil 6.24 2017 Bodrum Depremi'nin yapılarda meydana getirdiği hasarlar (İnt. Kyn. 13).

12 Haziran 2017'de yerel saat ile 15:25'de Midilli Adası ile Karaburun açıklarında Mw:6.2 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremde ülkemizde hayatını kaybeden vatandaş olmamıştır. Ancak bir çok ilde hissedilmiştir. Özellikle İzmir ilinde yoğun şekilde hissedilen bu depremde alüvyon zemin üzerinde yer alan yapılarda hasarlar meydana gelmiştir. Deprem İzmir başta olmak üzere Uşak, Aydın, Denizli, Eskişehir, Balıkesir ve İstanbul'da da hissedilmiştir.

Yunanistan'da da hissedilen bu depremde ülkede bazı yapılar zarar görmüş ve 1 kişi yaşamını yitirmiş, 10 kişi ise deprem nedeniyle yaralanmıştır. Deprem sonrası çok sayıda artçı deprem meydana gelmiştir (Sözbilir vd. 2017b, İnt. Kyn. 14). Depremin sebep olduğu hasarlar ise Şekil 6.25'de verilmiştir.



Şekil 6.25 Karaburun açıklarında meydana gelen depremin Lesbos'daki yapılara etkisi (Sözbilir vd. 2017).

Deprem aynı zamanda deniz seviyesi değişimlerine de neden olarak bir tsunami yaratmıştır. Sokaklarda su yükseklikleri 1.5 metreye kadar ulaşmıştır. Tsunami nedeniyle Sığacık Körfezi ve Karaburun Yarımadası'nın güneyinde bulunan sahil şeridinde hasarlar meydana gelmiştir. Tsunaminin neden olduğu hasarlar Şekil 6.26'da verilmiştir. 1000'in üzerinde kişinin yaralandığı bu depremde 100'ün üzerinde kişinin de yaşamını yitirdiği raporlanmıştır (İnt. Kyn. 15). Depremin neden olduğu yıkım Şekil 6.27'de gösterilmiştir.

Odak mekanizma çözümünde bu depremin D-B uzanımına sahip normal bir fay üzerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bununla beraber depremin neden olduğu yerdeğiştirme depremin merkez üssüne yaklaşık 10 km uzaklıktaki Samos Adası'ndaki istasyonun güney bileşeninde 372 mm olarak hesaplanılmıştır (Çetin vd. 2020/02, Ganas vd. 2020, Aktuğ vd. 2021). Seferihisar ve çevresinde kuvvetli şekilde hissedilen bu deprem, buradaki istasyonun kuzey bileşeninde ise 136,6 mm yerdeğiştirme meydana getirmiştir (Aktuğ vd. 2021).



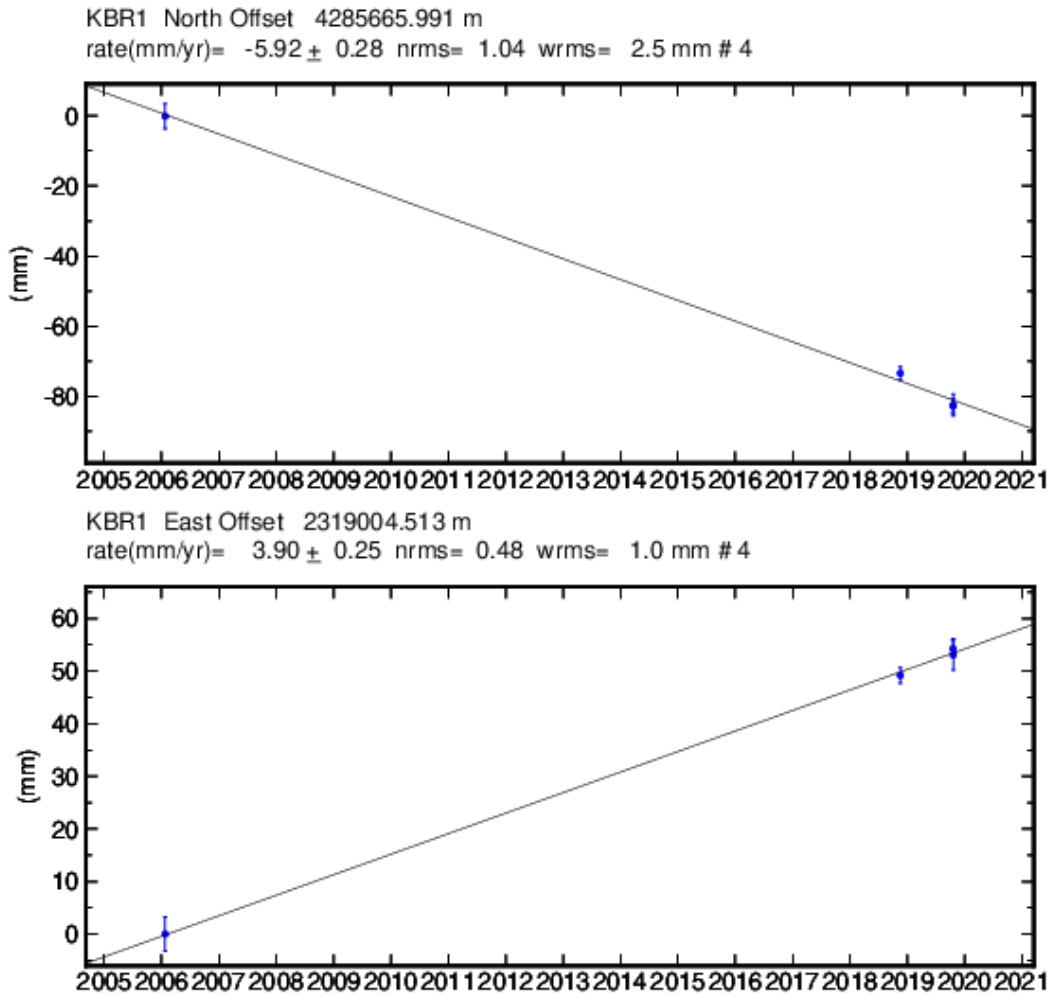
Şekil 6.26 Tsunami etkisiyle meydana gelen hasarlar (İnt. Kyn. 15).



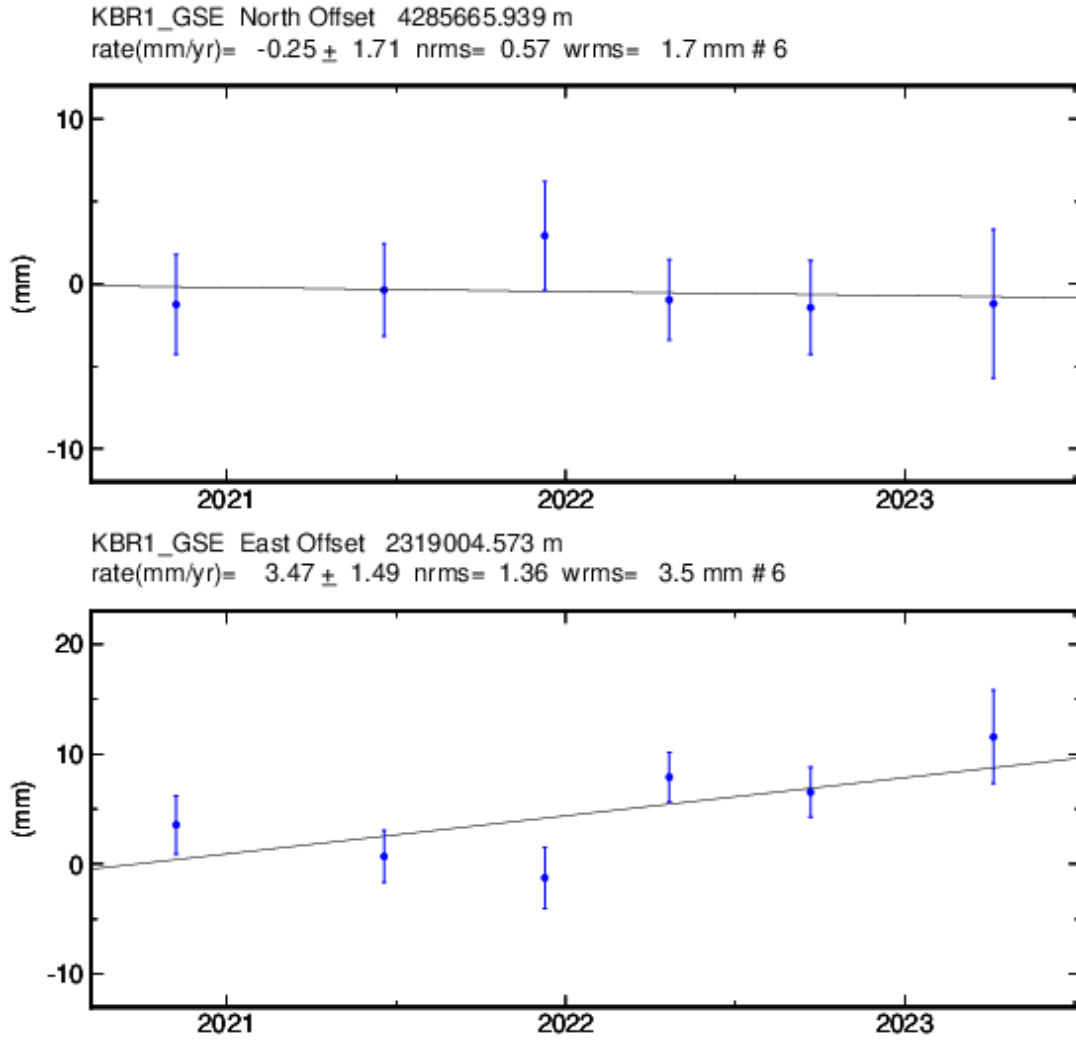
Şekil 6.27 Depremin neden olduğu yıkım ve yapılardaki hasarı (İnt. Kyn. 15, İnt. Kyn. 17).

Bu depremler nedeniyle veya herhangi bazı lokal etkiler sebebiyle çalışmada kullanılan bir takım istasyonların nokta konumlarında atım/değişim görülmüştür.

Daha sağlıklı bir hız alanı elde edebilmek amacıyla GAMIT/GLOBK yazılım takımında kullanılmak üzere yukarıda ayrıntıları ile açıklanan depremler göz önünde bulundurularak deprem dosyası hazırlanmıştır. Bu deprem dosyası ile konumlarında atım/değişim görülen istasyonların yeni zaman serileri oluşturularak deprem öncesi ve deprem sonrası hızları elde edilmiştir. Bu istasyonlardan olan KBR1 noktasına ilişkin deprem öncesi ve sonrasına ait zaman serisi örnekleri Şekil 6.28 ve 6.29'da verilmiştir.



Şekil 6.28 KBR1 noktası için 2020 yılı Ege Denizi içinde gerçekleşen Mw: 7.0 büyüklüğündeki deprem öncesi zaman serisi.



Şekil 6.29 KBR1 noktası için 2020 yılı Ege Denizi içinde gerçekleşen Mw: 7.0 büyüklüğündeki deprem sonrası zaman serisi.

rename	ESKI	ESKI_XCL	2000	01	01	12	00	2003	12	31	00	00
rename	GBHC	GBHC_GSE	2020	10	30	11	51	2100	12	31	00	00
rename	GKVA	GKVA_GBO	2017	07	20	22	31	2100	12	31	00	00
rename	GLTB	GLTB_GBO	2017	07	20	22	31	2100	12	31	00	00
rename	GMSL	GMSL_GBO	2017	07	20	22	31	2100	12	31	00	00
rename	GMD3	GMD3_GSE	2020	10	30	11	51	2100	12	31	00	00
rename	GORA	GORA_GSE	2020	10	30	11	51	2100	12	31	00	00
rename	HOBY	HOBY_GGA	2014	05	24	09	25	2017	06	12	12	28
rename	HOBY	HOBY_GKB	2017	06	12	12	28	2100	12	31	00	00
rename	HZUR	HZUR_GSE	2020	10	30	11	51	2100	12	31	00	00
rename	ILPN	ILPN_GSE	2020	10	30	11	51	2100	12	31	00	00
rename	IKAR	IKAR_GSE	2020	10	30	11	51	2100	12	31	00	00
rename	IZMI	IZMI_GSE	2020	10	30	11	51	2100	12	31	00	00
rename	KADI	KADI_GSE	2020	10	30	11	51	2100	12	31	00	00
rename	KCKR	KCKR_GGA	2014	05	24	09	25	2100	12	31	00	00
rename	KCMN	KCMN_GGA	2014	05	24	09	25	2100	12	31	00	00
rename	KMDL	KMDL_GSU	2002	02	03	07	11	2100	12	31	00	00
rename	KNID	KNID_GBO	2017	07	20	22	31	2100	12	31	00	00

Şekil 6.30 Çalışmada kullanılan deprem dosyasına ait görsel.

GAMIT/GLOBK yazılım takımında, deprem nedeniyle konumunda atım/değişim meydana gelen istasyona yeni isim verme özelliği sayesinde; belirli zaman aralıklarında hızlar bölünerek yeniden elde edilebilir. Bu özellik sayesinde nokta isminin son iki harfi değiştirilir. Bu değişim oluşturulan deprem dosyasına girilen deprem kodu ile belirlenir. Örneğin 2011 Simav Depremi iki karaktere ait kod SM ise, XXXX_GPS isimli noktanın ismi değiştirilerek XXXX_GSM olacaktır. Aynı durum deprem dosyasına yazılan tüm depremler için geçerlidir. Burada XXXX_GSM isimli noktanın hızı deprem dosyasında verilen tarihten itibaren bölünerek deprem öncesi ve sonrası şeklinde elde edilmektedir.

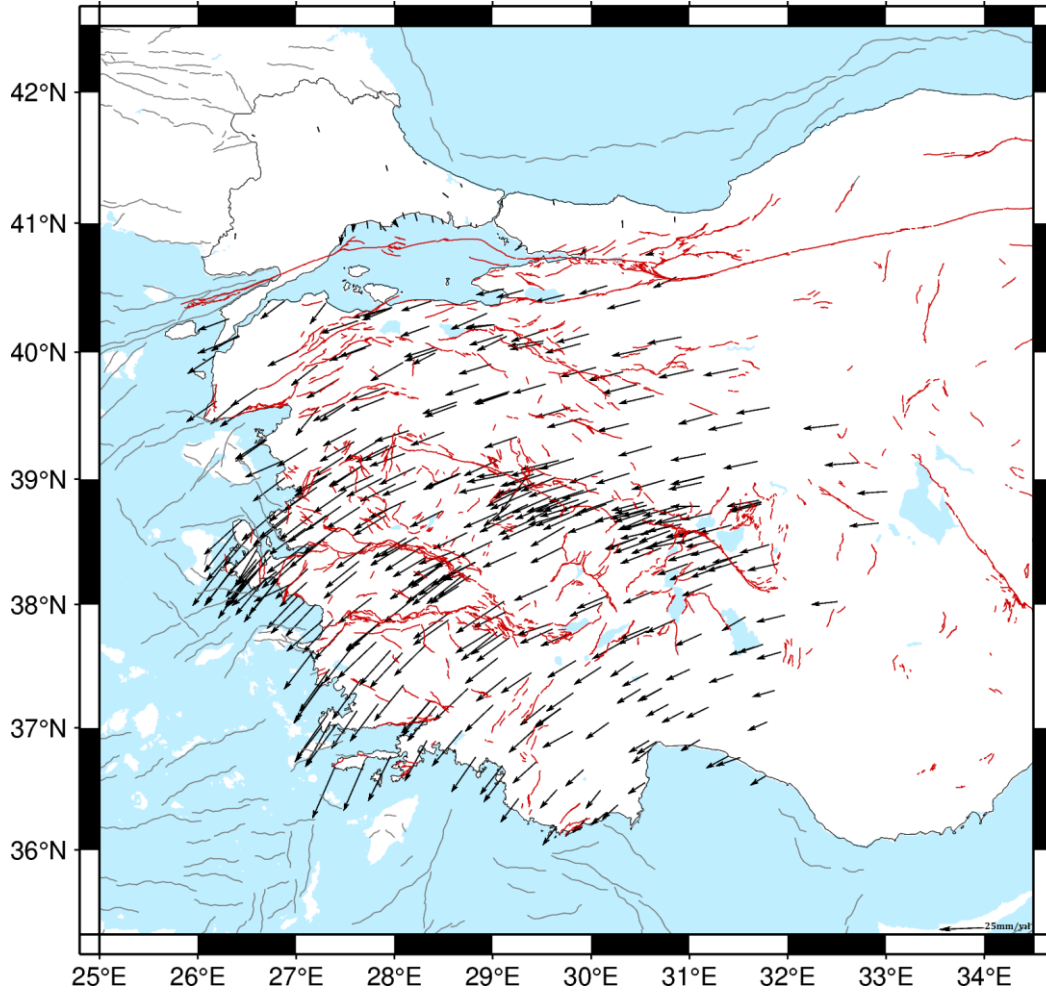
Tüm bunlarla beraber GAMIT/GLOBK yazılım takımında, meydana gelen bir depremin çeşitli parametreleri biliniyorsa çözümdeki noktaların depreme olan mesafesine göre otomatik şekilde isimlerinin değiştirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu parametreler deprem tarihi, enlem ve boylam değerleri, etki alanı yarıçapı ve derinliği gibi parametrelerdir. Meydana gelen depreme ilişkin bu parametre bilgilerinin deprem dosyasına yazılması ile işlem gerçekleştirilebilir. GAMIT/GLOBK yazılım takımında bu çalışma için hazırlanmış olan deprem dosyası görseli Şekil 6.30'da verilmiştir.

Önemli depremler öncesi ve sonrası hızları elde edilen noktaların kümeleme analizinde deprem sonrası hızları kullanılmak üzere alınmıştır. Ayrıca çalışma alanındaki depremlerden etkilenmeyen veya zaman serilerinde herhangi bir nedenle atım/değişim noktalarının hızları ise aynen kullanılmak üzere veri setine eklenmiştir. Veri setinde kullanılmak üzere belirlenen nokta hızlar Şekil 6.31'de verilmiştir.

6.2.3 Batı Anadolu Bölgesi'nde Yapılacak Kümeleme Analizi İçin En Uygun Küme Sayısının Belirlenmesi

Analize başlamadan önce; küme sayısı bir girdi verisi olarak verilen kümeleme analizi algoritmalarında, en uygun küme sayısının kaç olacağının belirlenmesi en önemli işlem adımlarından biridir. Bu noktada Anadolu Plakası üzerinde test edilen K-Means kümeleme algoritmasının Batı Anadolu'da kullanımında en uygun küme sayısını belirlemek için Elbow Metot'tan yararlanılmıştır. En uygun küme sayısını belirleme algoritmasının yanısıra; Batı Anadolu, Anadolu Plakası üzerinde karmaşık yapılardan

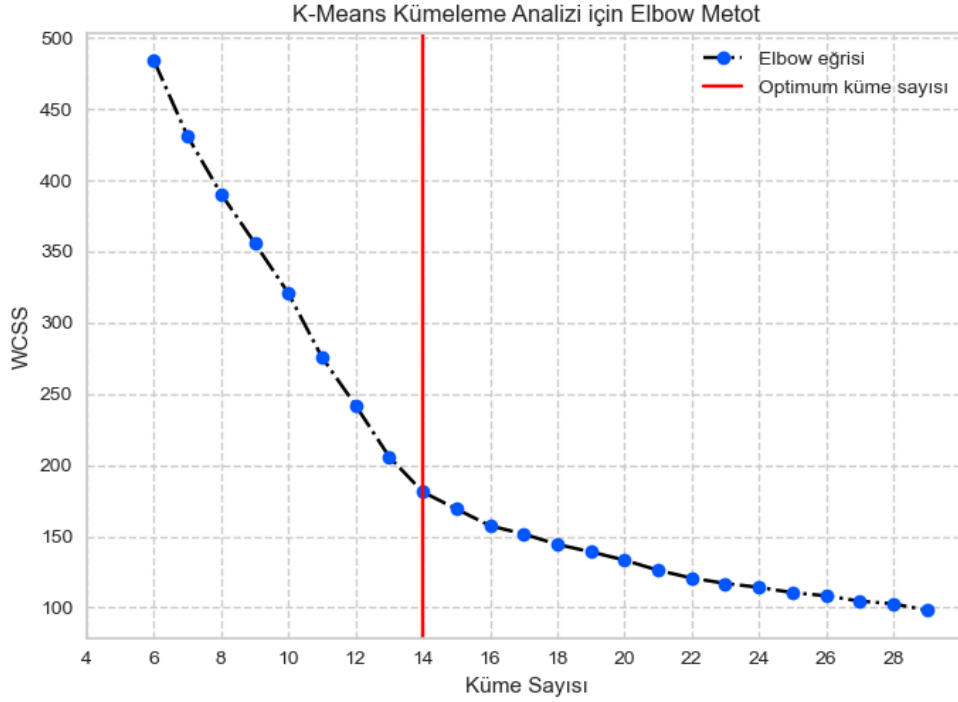
meydana gelen bir bölge olması ve bölgede yoğun bir veri seti olması sebebiyle kümeleme analizine başlamadan hemen önce sentetik veri testi yapılmıştır. Bu test ile algoritmanın kullanılan mevcut veri dağılımıyla ne kadar iyi çalışabildiği test edilmiştir.



Şekil 6.31 Çalışmada kullanılan 402 adet noktanın Avrasya sabit hız alanı.

6.2.3.1 Çalışma Alanında Elbow Metot ile Küme Sayısının Belirlenmesi

Kümeleme analizi çalışmalarında en uygun küme sayısını belirleme yöntemlerinden biri olan ve yaygınca kullanılan Elbow Metot ile Batı Anadolu'daki 402 adet noktanın kampanya tipinde ölçülerek elde edilen yatay hız verisi Python yazılımında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme işlemi ile farklı küme sayılarında gruplandırılan veri setindeki her grubun birbirleri ile olan heterojenliği değerlendirilmiştir. Böylece en uygun olabilecek küme sayısı belirlenmiştir. Batı Anadolu'da kullanılan veri setinin Elbow Metot ile hesaplanan en uygun küme sayısı Şekil 6.32'de gösterilmektedir.



Şekil 6.32 402 noktanın yatay hız verisi için Elbow Eğrisi.

Şekil 6.32 incelendiğinde Batı Anadolu'daki veri seti için en uygun küme sayısının 14 olabileceği görülmektedir. Ancak bu sayı, olabilecek en uygun küme sayısının kesin bir değeri değildir. Bu sebeple 14 küme sayısı da göz önünde bulundurularak farklı küme sayılarında K-Means algoritması ile değerlendirme yapılarak bölge analiz edilmiştir.

6.2.4 Sentetik Veri Testi Uygulaması: Dama Tahtası Testi

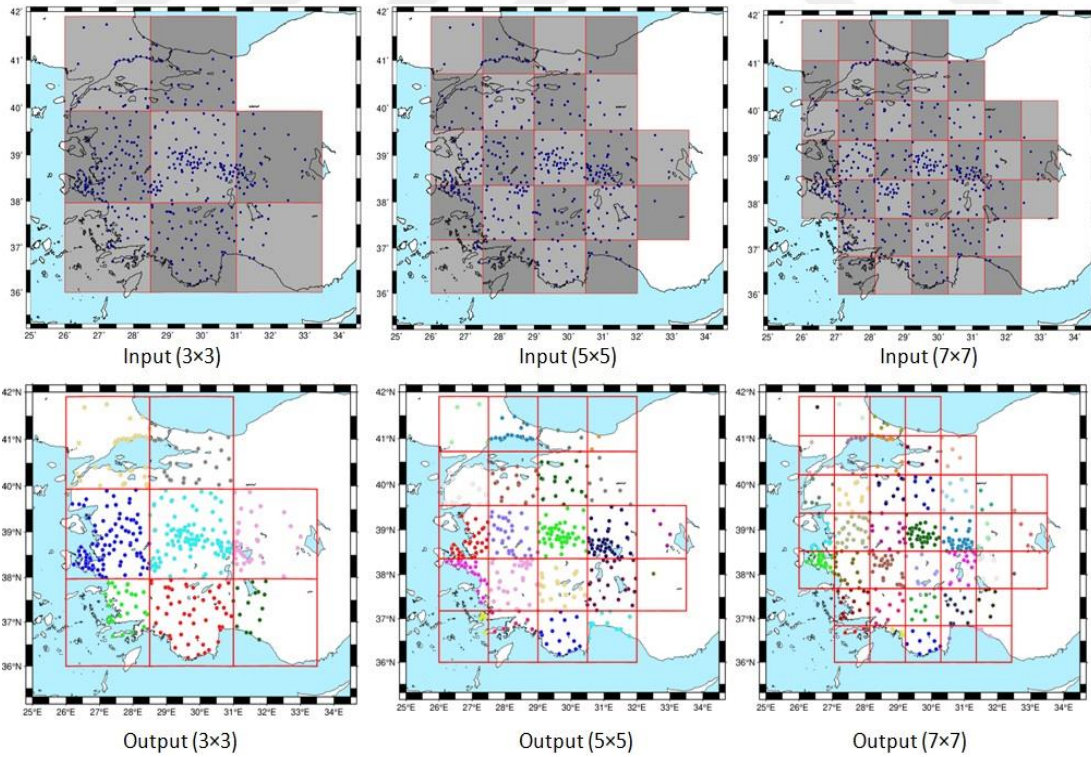
Jeodezik hız alanları üzerinde sentetik veri testi uygulama ile genellikle kullanılan algoritmanın veya yöntemin performansı değerlendirilmektedir. Aynı zamanda bu testlerden kurulan modelin doğruluğunu test etmek amacıyla da yararlanılmaktadır. Sentetik veriler gerçek verilerin bir modelini oluşturmak amacıyla üretilip kullanılan yapay verilerdir. Sentetik veri testlerinin en önemli adımlarından biri gerçek verilerin incelenmesidir. Bu sebeple sentetik veri setinin gerçek veriler ile benzer bir dağılım sergilemesi ve aynı zamanda benzer özelliklere de sahip olması gerekmektedir.

Bu çalışmada sentetik veri testlerinden biri olan dama tahtası testi kullanılmıştır. Dama tahtası testinde, bir tahta üzerinde var olan kareler gibi düzenli bir desen

oluşturulmaktadır. Daha sonra sentetik veriler bu karelere atanmaktadır. Ardından kullanılan algoritmanın bu oluşturulan düzenli desenleri ne kadar iyi ve doğru bir şekilde çözümleyebildiği test edilmektedir.

Dama tahtası testi için çalışmada kullanılan noktaların gerçek konumları üzerinde sentetik yatay hız verisi oluşturulmuştur. Oluşturulan desende karelerin köşe noktaları farklı grid aralıklarında belirlenmiştir.

Farklı grid aralıklarında belirlenen bu desenlerin her bir karesinde standart sapma değeri 1 olacak şekilde rastgele yatay hız verisi oluşturulmuştur. Böylece çalışma bölgesi için gerçek veriye benzer onu taklit eden yapay bir veri seti hazırlanmıştır. Hazırlanan veri seti K-Means algoritması ile farklı grid aralıklarında test edilmiştir. Yapay hız verisinin farklı grid aralıklarında girdi ve çıktı verisi Şekil 6.33'de sunulmuştur. Şekil 6.33'de 3x3, 5x5 ve 7x7 olan farklı boyutlarda yapay girdi verileri algoritma ile test edilerek ve çıktı verileri elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere farklı boyutlardaki küme sayısında kullanılan algoritma, veriyi çok iyi bir şekilde çözebilmektedir.



Şekil 6.33 402 noktanın yatay yapay hız verisinde uygulanan dama tahtası testi sonuçları.

6.2.5 Batı Anadolu Bölgesi Hız Alanında K-Means Kümeleme Analizi

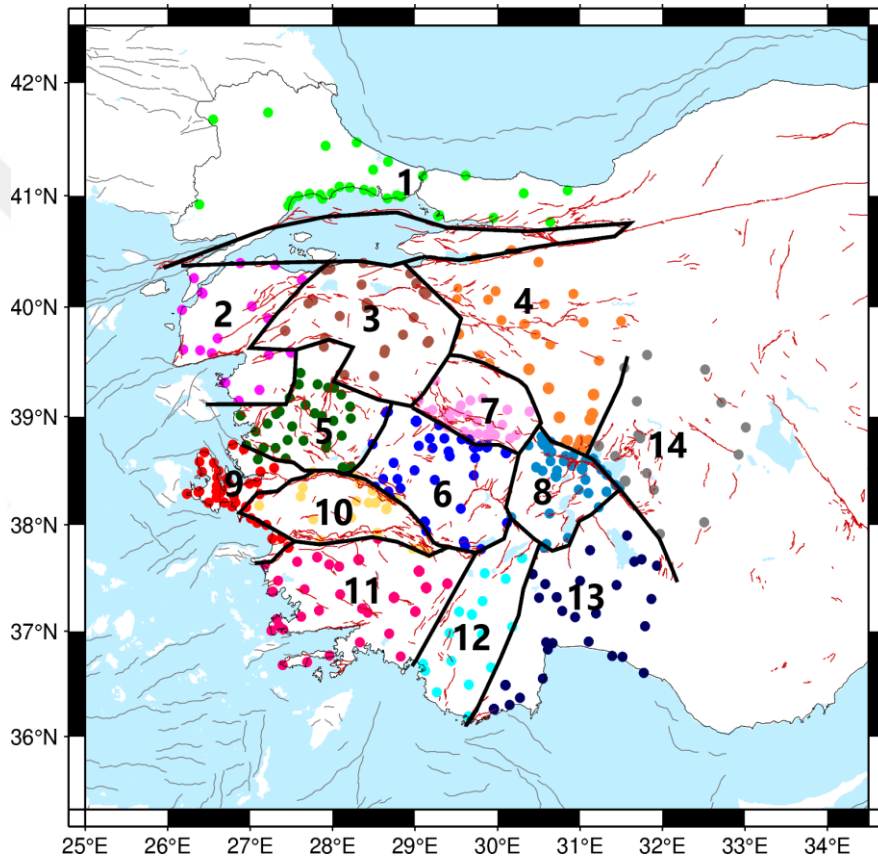
Sentetik veri testlerinden biri olan dama tahtası testi ile Anadolu Plakası jeodezik hız alanının kümelemesi için kullanılan algoritmanın etkinliği test edilmiştir. Görülmüştür ki 7x7 grid aralıklarında bile mevcut veri bu algoritma ile çok iyi bir şekilde analiz edilebilmektedir (Şekil 6.33). Bu sonuçtan yola çıkılarak aynı algoritmanın; Batı Anadolu'da kampanya tipinde yapılan ölçülerden elde edilen jeodezik hız alanında da kullanılması uygun görülmüştür. Çalışma bölgesi olan Batı Anadolu Elbow Metot ile test edilerek en uygun küme sayısı belirlenmiştir. Elbow Metot ile çalışma bölgesi için en uygun küme sayısı 14 olarak belirlenmiştir (Şekil 6.32).

Bu bilgiler ışığında Batı Anadolu K-Means kümeleme algoritması kullanılarak jeodezik hız alanı 14 kümeye ayrılmıştır. Yapılan kümeleme analizinde girdi parametreleri olarak Anadolu Plakası jeodezik hız alanında olduğu gibi yatay hız verilerinin yanı sıra noktaların konum bilgileri de analize dahil edilmiştir. Bu bilgilerin haricinde analize herhangi başka parametre eklenmemiştir. Ancak jeodezik hız alanı üzerine kümeleme analiz sonuçlarının bölgenin çok iyi bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. En uygun analiz çeşidi belirlenerek kullanılan yatay hız verisi ve konum bilgisi parametrelerine ek olarak başka parametrelerin de farklı çalışma alanlarında kullanılabilecek olduğu unutulmamalıdır.

Bu çalışma alanı için herhangi başka jeolojik, jeodezik ve sismik veri parametresi kullanılmamıştır. Bu sebeple yapılan analiz sonucu elde edilen veriler tıpkı Anadolu Plakası'nda olduğu gibi nesneldir. Analiz sonucu elde edilen kümelerin her biri ayrı bir blok olarak değerlendirilmiştir. Ayrı blok olarak değerlendirilen her kümenin sınırları ise blok sınırları olarak sunulmuş ve Şekil 6.34'de gösterilmiştir.

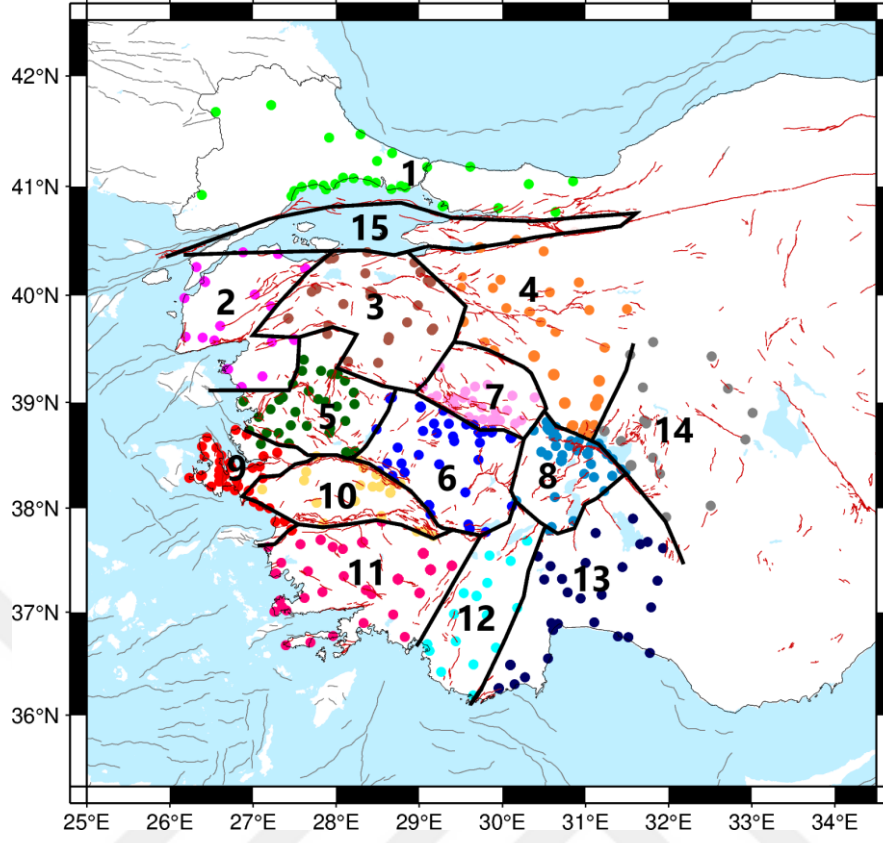
Şekil 6.34'de ifade edilen K-Means kümeleme sonuçlarında koyu kırmızı renkli çizgiler Emre vd. (2013) çalışmasından temin edilen aktif fayları temsil etmektedir. Koyu gri çizgiler ise Zelenin vd. (2022) çalışmasından temin edilen faylardır. Bunun yanı sıra her kümeye ait noktalar farklı renklerle temsil edilmiştir. Koyu siyah numaralar küme numaralarını göstermektedir. Koyu siyah çizgiler ise farklı kümelere ait blok sınırlarını ifade etmektedir.

Şekil 6.34'de verilen bu sınırlar çizildikten sonra 1, 2, 3 ve 4 numaralı blok sınırları tanımlandığında ise KAFZ'nin güney ve kuzey kolları arasında içine Marmara Denizi'ni de içine alan bir bölgede ara blok oluştuğu görülmektedir. Bu oluşan blok ile birlikte kümeleme analizi sonuçlarında Batı Anadolu için 15 adet mikro bloktan oluşan bir yapı Şekil 6.35'de verilmiştir. Şekil 6.35'de verilen sınırlara ek, jeolojik olarak var olduğu düşünülen bazı sınırlar ise öneri olarak Şekil 6.36'da verilmiştir. Şekil 6.36'da önerilen sınırlar ile beraber Batı Anadolu'da 18 adet mikro blok sınırı tanımlanmıştır.

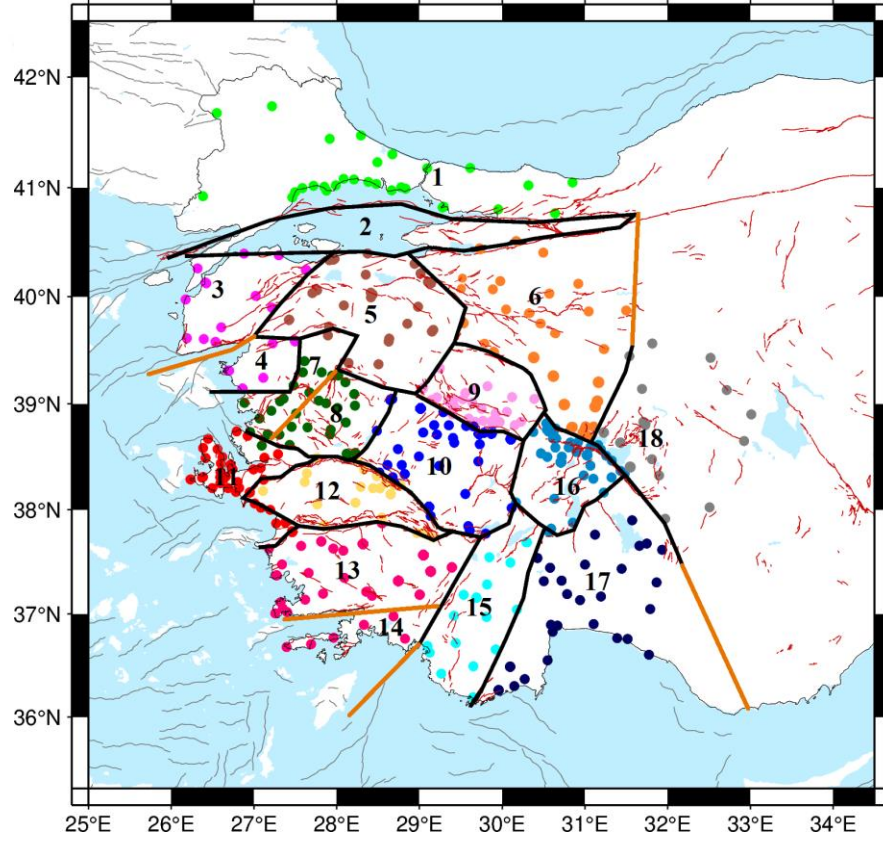


Şekil 6.34 Batı Anadolu K-Means kümeleme analizi sonucu 14 küme blok sınırları.

Şekil 6.36'da ifade edilen koyu kırmızı renkli çizgiler Emre vd. (2013) çalışmasından temin edilen aktif fayları temsil etmektedir. Koyu gri çizgiler ise Zelenin vd. (2022) çalışmasından temin edilen faylardır. Bunun yanı sıra her kümeye ait noktalar farklı renklerle temsil edilmiştir. Koyu siyah numaralar küme numaralarını göstermektedir. Koyu siyah çizgiler K-Means analizi sonucunda elde edilen farklı kümeler için blok sınırlarını ifade etmektedir. Koyu turuncu çizgiler ise jeolojik olarak önerilen blok sınırlarıdır.



Şekil 6.35 Batı Anadolu için 15 küme blok sınırları.



Şekil 6.36 Batı Anadolu için önerilen 18 adet blok sınırı.

7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bütün blok sınırları daha önce yapılmış olan çalışmalar ışığında karşılaştırılarak tartışılmıştır. Genel olarak kümeleme analiz sonuçlarında blok sınırlarını temsil edebilecek alanlarda daha önce literatürde tanımlanmış olan fayların ismi kullanılmıştır. Blok sınırlarında fay olmayan yerlerde ise sınırlar, yerleşim yeri isimleri ile yazılmıştır. Kümeleme analiz sonuçlarına göre tüm Anadolu Plakası üzerinde önerilen 7 ve 9 küme sonuçları ile beraber Batı Anadolu Bölgesi için 14 küme ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 6.10, 6.12, 6.34) . Elde edilen tüm kümeler ayrı bir blok olarak düşünülmüş ve sınırlar tanımlanmıştır.

Öncelikle Şekil 6.10'da verilen Anadolu Plakası için önerilen 7 blok sınırı tartışılmıştır.

1 ile 3 numaralı blokların sınırları güneybatıda Kaş'tan başlayıp kuzeydoğuya doğru sırasıyla Elmalı ve Korkuteli üzerinden Isparta'ya kadar ulaşmaktadır. Yaklaşık 190 km uzunluktaki bu blok sınırının güneybatı kısmı Emre vd. (2011) tarafından Kasaba Çizgiselliği olarak isimlendirilen yapısal sınıra karşılık geldiği görülmektedir. Bununla beraber blok sınırı boyunca Elmalı ile Isparta arasında kalan bölüm; literatürde tanımlanmış herhangi bir faya karşılık gelmemektedir. Elde edilen bulgular Kasaba Çizgiselliği'nin KD-GB'ya doğru devamlılığının olduğuna işaret etmektedir. Bu sınır boyunca aletsel dönem deprem etkinliği ise oldukça sınırlıdır.

1 ile 2 numaralı bloklar arasındaki sınır güneydoğuda Isparta ile kuzeybatıda Ayvalık arasında yaklaşık 400 km uzunluğunda ve KB-GD uzanımındadır. Bu sınır Emre vd. (2011) tarafından güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'nda morfolojik olarak belirgin ve iyi bilinen Batı Anadolu'daki bazı ana neotektonik yapılara karşılık gelmektedir. Güneybatıda aktif çöküntü alanlarından birisi olan Acıgöl Graben Sistemi'ni takip eder. Daha batıda Denizli Graben Sistemi boyunca KB-GD doğrultusunda uzanır. Yaklaşık Buldan civarından Gediz Grabeni'nin en doğu ucuna geçiş gösterir. Bu noktadan sonra Sarıgöl, Alaşehir ve Salihli boyunca Gediz Graben Sistemi'ni takip eder. Gölarmara Fayı üzerinden Saruhanlı'ya kadar uzanan sınır, bu bölgede olasılıkla KD-GB uzanımlı İzmir-Balıkesir Transfer Zonu etkisine girerek K-G doğrultusuna geçiş gösterir.

Kuzeyde Kırkağaç Graben Sistemi'nin doğuya eğimli fay kolları boyunca Soma'ya kadar devam eder. Bu bölgede tekrar yaklaşık K70 B doğrultusu ile Ayvalık'a kadar uzanır. Bu sınırdaki aletsel dönemde yoğun bir sismik aktivite olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bu sınırdaki yer alan Gediz Graben Sistemi'nin Alaşehir Segmenti'nde meydana gelen 1969 Alaşehir depreminde (Mw: 6.5) KB-GD uzanımlı 36 km yüzey kırığı oluşmuştur (Arpat ve Bingöl 1969, Ergin vd. 1971, Akyol vd. 2006, Tezel vd. 2010, Emre vd. 2018, Poyraz ve Hastaoglu 2020).

1 numaralı bloğun sınırlarının Aktuğ vd. (2009) ile Seyitoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada önerilen blok sınırına benzerlik göstermektedir. Bununla beraber sınırın Soma ile Ayvalık arasında kalan bölümü ise Solak (2020) ile benzerlik göstermektedir. Ancak Kasaba Çizgiselliği'nin devamı olarak düşünülmekte olan sınır ise daha önceki çalışmalarda tanımlanmamıştır.

2 numaralı bloğun kuzeyde kalan 2 ile 5 numaralı bloklar arasındaki sınır net olarak batıda Saroz Körfezi ile doğuda Ilgaz arasında Türkiye'nin sismik açıdan en aktif yapısı olan KAFZ'yi yaklaşık 630 km boyunca takip etmektedir. Sınır boyunca yüzey kırıklarına sebebiyet veren yoğun bir sismik aktivite bulunmaktadır. 1912 Şarköy Depremi'nde (Mw:6.9) 140 km yüzey kırığına, 1943 Tosya-Ladik Depremi'nde (Mw:7.6) 180 km yüzey kırığına, 1944 Bolu Gerede Depremi'nde (Ms:7.4) 280 km yüzey kırığına, 1957 Abant Depremi'nde (Ms:7.0) 40 km yüzey kırığına, 1967 Adapazarı Depremi'nde (Mw:6.8) 70 km yüzey kırığına, 1999 Gölcük Depremi'nde (Mw:7.4) 145 km yüzey kırığına, 1999 Düzce Depremi'nde (Mw:7.1) 40 km yüzey kırığına sebep olan bu bölgedeki önemli ve büyük depremlerdir (McClusky vd. 2000, Karabulut vd. 2002, Maede vd. 2002, Özalaybey vd. 2002, Flerit vd. 2004, Sato vd. 2004, Reilinger vd. 2006, Yavaşoğlu vd. 2011, Yolsal-Çevikbilen vd. 2012, Ergintav vd. 2014, Duman vd. 2017, Emre vd. 2018).

Aynı bloğun 2 ile 4 numaralı bloklar arasındaki sınırı yaklaşık K-G uzanımlı olup kuzeyde Ilgaz'dan başlayıp güneye doğru Çankırı Fay Zonu'nu izleyerek Kırıkkale batısından Bala fayını takip etmektedir. Daha da güneyde Tuzgölü güneybatısında Altınekin'e kadar yaklaşık 310 km uzunluğundadır. Bu sınır aynı zamanda Okay ve

Tüysüz (1999) çalışmasında sunulan Türkiye'nin paleotektonik birlikleri haritasında Kırşehir Masifi ile Sakarya Zonu arasındaki yapısal sınırı da karşılık gelmektedir. Çankırı Fayı boyunca aletsel dönem deprem etkinliği sınırlı olan bölgede Bala Fayı civarında yoğun bir deprem etkinliği görülmektedir.

Yine aynı bloğun, 2 ile 3 numaralı bloklar arasındaki sınırı; güneybatıda Isparta yerleşim alanı ile kuzeydoğuda Altınekin arasında yaklaşık 220 km uzunluğundadır. Sınır güneybatıdan Davras Fay Zonu'nu izleyerek GB-KD uzanımında Eğirdir Gölü'nün güneyi ve Beyşehir Gölü'nün kuzeyinden geçerek kuzeye doğru kavis yapar ve Altınekin'e bağlanır. Daha önceki çalışmalarda tanımlanmayan bu sınırda; aletsel dönemde yüzey kırığı oluşturacak herhangi bir deprem aktivitesine ise rastlanmamaktadır. Bloğun yaklaşık 630 km uzunluğuna sahip sınırı Özdemir ve Karşlıoğlu (2019) tarafından kümeleme analizi ile de ifade edilmektedir. Emre vd. (2018), Seyitoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalar ile de ifade edilen sınırın, yaklaşık 450 km kadar olan bölümü Aktuğ vd. (2009) tarafından yapılan çalışmayla da benzerlik göstermektedir. Bloğun Çankırı Fay Zonu'nu takip eden sınırı Seyitoğlu vd. (2022) tarafından istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Ankara'dan Sarayönü'ne kadar uzanan bölümü ise hem istatistiki hem de jeolojik olarak anlamlı kabul edilmiştir. Ayrıca bu sınırın Çankırı-Kırıkkale arasında kalan yaklaşık 110 km'lik bölümü Esat vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada önerilen blok sınırları ile uyumludur.

3 numaralı bloğun 3 ile 4 numaralı bloklar arasındaki sınırı, batıda Tuzgölü'nün güneyi ile doğuda Elbistan arasında yaklaşık D-B doğrultusu boyunca 400 km kadar devam etmektedir. Bu sınırın doğu bölümü 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri'nin (Mw:7.7, Mw:7.6) yüzey kırığına denk gelmektedir. Daha batıda literatürde tanımlanan bilinen bir fayı takip etmemekle birlikte Ecemiş Fay Zonu, Savrun ve Sarız faylarını verevine kesmektedir.

Aynı bloğun 3 ile 7 blokları arasında tanımlanan sınırı Düziçi İskenderun Fay Zonu'na ulaşip Toprakkale ve Karataş Fay'larını KD-GB doğrultusu boyunca yaklaşık 150 km takip etmektedir. Bu sınırın aletsel dönemde yoğun bir sismik aktiviteye maruz kaldığı görülmektedir. Sınır Emre vd. (2018)'de Orta Anadolu Bölgesi'nin güney sınırı

oluşturduğu ve Karataş ile Torakkale faylarını takip ettiği görülmektedir. Seyitoğlu vd. (2022)'de ise bu sınır istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Seyitoğlu vd. (2022) çalışmasında bu bloğun deniz içerisindeki güney bölümü Kıbrıs Adası kuzey kıyısı ile Anamur arasında çoklu blok olarak verilmiştir. Ancak bu çalışmada 3 numaralı bloğun güney sınırında Kıbrıs'ta bulunan noktalar da dahil edilmiştir. Bununla beraber bu sınır Aktuğ vd. (2013) tarafından yapılan çalışma ile de benzerlik göstermektedir.

4 numaralı bloğun kuzey sınırı olan 4-5 ve 4-6 numaralı bloklar arasındaki sınırları, KAFZ'i takip ederek Karlıova Ekleme'ne ulaşmaktadır. Karlıova Ekleme'ne ulaşan sınır yaklaşık 650 km uzunluğundadır. Bu sınırda aletsel dönemde oldukça yoğun bir sismik aktivite görülmekle beraber 330 km yüzey kırığına sebep olan 1939 Erzincan Depremi (Mw: 7.8) ile 48 km yüzey kırığına sebep olan 1942 Niksar-Erbaa Depremi (Ms:7.0) sınırdaki önemli sismik aktivitelerdendir (McClusky vd. 2000, Türkelli 2003, Zor vd. 2003, Vernant vd. 2004, Reilinger vd. 2006, Yavaşoğlu vd. 2011, Tatar vd. 2012, Yolsal-Çevikbilen vd. 2012, Duman vd. 2017, Emre vd. 2018).

Aynı bloğun 4 ile 7 numaralı bloklar arasında kalan sınırı Karlıova ekleme ile Elbistan arasında DAFZ'yi takip etmektedir. Aletsel dönemde oldukça yoğun bir sismik aktiviteye maruz kalan sınır üzerinde; 1971 Bingöl Depremi (Ms:6.8) sonrası yaklaşık KD-GB uzanımlı 37 km yüzey kırığı meydana gelmiştir.

Bloğun 4-5 ve 4-6 numaralı bloklar arasındaki sınırı Aktuğ vd. (2013), Emre vd. (2018), Özdemir ve Karlıoğlu (2019) tarafından yapılan çalışmalar ile de benzerlik göstermektedir. Ayrıca bu sınır Seyitoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada yer alan Kuzey Anadolu Bölgesi olarak adlandırılan bölgenin sınırını oluşturmaktadır. Bununla beraber 4 ve 7 numaralı bloklar arasındaki sınırın geçtiği bölüm Seyitoğlu vd. (2022)'de Anadolu Diyagonal Bölgesi olarak tanımlanan bölgede yer almaktadır. Ayrıca bu sınır Emre vd. (2018)'de Orta Anadolu Bölgesi'nin de doğu sınırını temsil etmektedir.

5 numaralı bloğun sınırı Türkiye'nin en aktif zonlarından biri olan KAFZ boyunca uzanmaktadır. Sınırdaki yoğun deprem aktivitesi 2 ve 4 numaralı blok sınırlarında

anlatılmıştır. 5 ve 6 numaralı bloklar hız farkları nedeniyle iki farklı blok olarak ele alınmasına rağmen tek bir blok olarak değerlendirilebilir. Bu sınırdaki literatürde tanımlanan herhangi bir jeolojik sınır bulunmamakla beraber önemli bir deprem aktivitesine ise rastlanmamaktadır. Bu bloklar kümeleme analizi yapılan ancak daha az sayıda blok ile temsil edilen Kılıç ve Arpacı (2022) ile Özdemir vd. (2019)'de tek blok olarak ele alınmıştır. Benzer şekilde bu sınır Reilinger vd. (2006)'da ifade edilirken, bölge; Emre vd. (2018) ile Seyitoğlu vd. (2022)'de Kuzey Anadolu Bölgesi olarak tanımlanmaktadır.

6 numaralı bloğun, 6 ve 7 numaralı bloklar arasındaki sınırları incelendiğinde batıda Karlıova'dan başlayan sınır doğuya doğru Varto Fayı ile Nazik Fayı'nı takip ederek Van Gölü'nü yaklaşık D-B uzantısı boyunca keser ve Van Fayı'na bağlanır. En doğuda ise Saray Fayı'na ulaşarak son bulur. Sınır boyunca sismik aktivite oldukça yoğun gözlenmektedir. 1966 Varto Depremi (Mw:6.5) 45 km yüzey kırığı ile 2011 Van Depremi (Mw:7.2) 27 km yüzey kırığı olan depremler ve kırıkları bu sınır üzerinde yer almaktadır (Duman vd. 2017, Emre vd. 2018). Bu sınır Türkiye için 5 blok sayısında Özdemir vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada da gözlemlenmektedir. Bu sınırın geçtiği bölge Emre vd. (2018) çalışmasında Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi olarak tanımlanırken; Seyitoğlu vd. (2022)'de Doğu Anadolu Kontraksiyon Bölgesi olarak tanımlanan alanda yer almaktadır.

Daha sonra Şekil 6.12'de sunulan Anadolu Plakası için 9 blok sınırı tartışılmıştır.

1 numaralı bloğun sınırının güneybatıda Fethiye'den başladığı görülmektedir. Fethiye'den başlayan 1 ve 3 blokları arasındaki sınır KD-GB uzanımında yaklaşık 160 km boyunca Burdur Gölü'ne kadar uzanmaktadır. Bu sınır ana hatlarıyla Burdur-Fethiye Fay Zonu'nu takip etmektedir. Sınır boyunca aletsel dönem deprem kayıtları incelendiğinde yoğun bir deprem aktivitesi görülmektedir. Bu sınır üzerinde aletsel dönem içerisinde 1914 (Mw: 7.1) Burdur Depremi ile yaklaşık 32 km uzunluğunda yüzey kırığının oluşmuştur (Tezel vd. 2010, Emre vd. 2018). Bu durum sınırın günümüzde aktif olduğuna işaret eden en önemli göstergelerden biridir.

Aynı bloğun yaklaşık 300 km boyunca KB-GD uzanımında devam eden 1 ve 2 blokları arasındaki sınırı; 7 blok sonuçlarındaki 1 ve 2 bloklar arasında tanımlanan sınıra benzer bir davranış göstererek, Gediz Graben Sistemi'nde Alaşehir ve Salihli segmentlerini takip ederek Gölarmara Fayı'na ulaşmaktadır. Manisa havzası içerisinde Saruhanlı civarında 7 blok sonuçlarından farklı olarak, yaklaşık BKB-DGD uzanımında Gölarmara Fayı'nı takip eden sınır, Yunt Dağları'nı keserek Güzelhisar Fayı üzerinden Aliağa'ya kadar devam eder.

1 ile 2 numaralı bloklar arasında tanımlanan sınır boyunca aletsel dönemde yoğun bir deprem aktivitesi görölmektedir. Ayrıca bu sınırda meydana gelen 1969 Alaşehir Depremi'nde (Mw:6.5) KB-GD uzanımına sahip 36 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşmuştur (Arpat ve Bingöl 1969, Ergin vd. 1971, Akyol vd. 2006, Tezel vd. 2010, Emre vd. 2018, Poyraz ve Hastaoğlu 2020). Bu sınır üzerinde yer alan Yeniköy ve Sarıgöl (Manisa) yerleşim alanları içerisinde gözlenen çizgisel gidişli asismik yüzey deformasyonlarının doğrultuları bu sınırın doğrultusu ile aynıdır.

1 numaralı blok sınırının Reilinger vd. (2006) ile yaklaşık olarak benzerlik gösterdiği söylenebilir. Sınırın Çameli (Denizli) civarından itibaren olan bölümü Seyitoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde Gediz Graben Sistemi boyunca devam etmektedir. Bu sınır aynı zamanda Aktuğ vd. (2009) tarafından yapılan çalışma ile de benzerlik göstermektedir. Bununla beraber Fethiye civarındaki sınır Seyitoğlu vd. (2022) çalışmasında sunulan Pliny Strabo Bölgesi'nin sınırını izlemektedir.

2 numaralı bloğun 2 ve 5 numaralı bloklar arasındaki sınırı, Türkiye'nin sismik açıdan en aktif yapısı olan KAFZ üzerinde yer almaktadır. Batıda Saroz Körfezi'nden itibaren yaklaşık 300 km boyunca yaklaşık D-B doğrultusunda uzanmaktadır. Sınır üzerinde aletsel dönem deprem kayıtları dikkate alındığında yoğun bir sismik aktivite söz konusudur. Sınır boyunca devam eden sismik aktivitede yüzey kırıklarına sebebiyet veren depremler 7 blok sonuçlarında verilmiştir. Bu sınırın doğudaki devamı niteliğinde olan segment üzerinde sismik boşluk olduğu kabul edilmekte ve yakın gelecekte bu zon üzerinde yıkıcı bir deprem beklenmektedir (Tan 2021). KAFZ'nin Marmara Denizi içerisinde uzanan kolları birçok araştırmacı tarafından yapılan blok model ilişkili

Çalışmalarda bir blok sınırı olarak gösterilmiştir (Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Emre vd. 2018, zdemir vd. 2019 ile Seyitoğlu vd.2022).

Aynı bloğun 2 ile 4 numaralı bloklar arasındaki sınırı Marmara Denizi içerisinde İmralı Adası kuzeyinden başlayarak; Bursa fayı, İnegöl Fay Zonu ve Dodurga Fay Zonu'nu takip ederek KB-GD uzanımında Bayat zerinden Isparta dirseğinin apex noktası olarak kabul edilen çay'a kadar devam etmektedir. Zonun kuzeybatısı boyunca yukarıda bahsedilen ve 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'nda diri fay statüsünde gösterilen çok sayıda fay ve bu faylar boyunca yoğun sismik aktivite gözlenmiştir (Emre vd. 2018, Duman vd. 2018). Bunların en son rneği 04 Aralık 2023 tarihli gerçekleşen Mw:5.0 büyüklüğündeki Kumkaya-Mudanya açıkları Gemlik Körfezi Depremi ile belirgindir. Bu depremin odak mekanizma çözümü ve artçı depremlerin dağılımı Mudanya ile İmralı Adası arasında KB-GD uzanımlı kırılmanın meydana geldiğine işaret etmektedir. Bu kırılma 2 ile 4 numaralı bloklar arasındaki sınırın kuzeybatı ucuna denk gelmektedir. Bununla beraber 3 şubat 2002 ay Depremleri (Mw:6.3 ve Mw:6.0) sırasında sınırın Afyon-Akşehir Grabeni içerisindeki GD ucunda yaklaşık 26 km uzunluğunda K20D uzanımlı ve güneydoğuya eğimli yüzey kırıkları gözlenmiştir (Emre vd. 2003, zden vd. 2003, Yürür vd. 2003, Akyüz vd. 2006).

Karaadili ve Tatarlı faylarını takip eden yaklaşık 150 km uzunluğundaki 2 ile 3 numaralı bloklar arasında tanımlanan sınır, Burdur Gölü civarında 1 numaralı blok sınırı ile birleşmektedir. Sınırın kuzeydoğu ucunda yukarıda bahsedilen 2002 ay Depremleri (Mw:6.3 ve 6.0) meydana gelmiştir. Bununla beraber sınırın güneydoğu ucunda da 1914 Burdur Depremi ile (Mw:7.1) KB-GD uzanımlı 32 km yüzey kırığı meydana gelmiştir (Tezel vd. 2010, Emre vd. 2018). Bununla beraber bu sınır boyunca Karamık Grabeni kenar fayları, Kaadilli Fayı, Tatarlı Fayı, Kobeyli Fayı, Arızlı Fayı gibi KD-GB uzanımlı diri faylar yer almaktadır.

2 numaralı bloğun sınırları Emre vd. (2018) alışmasında ifade edilen Kuzeybatı Anadolu geçiş bölgesi sınırını oluşturduğu görülmüştür. Afyon-Akşehir Graben Sistemi ile Acıgöl Graben Sistemi boyunca uzanan sınırın ise Reilinger vd. (2006), Aktuğ vd.

(2009) ile Seyitoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda ifade edilen sınırlar ile benzer olduğu görülmüştür. Ek olarak bu sınır Seyitoğlu vd. (2022) çalışmasında hem jeolojik hem de istatistiki olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3 ve 4 numaralı bloklar arasındaki sınır ise KD-GB uzanımını Sultandağı Fayı'nı takip ederek Doğanhisar üzerinden Kadınhanı'na doğru DKD-BGB uzanımına döner. Sarayönü'nden itibaren yaklaşık D-B doğrultusunda Tuzgölü güneyine kadar devam eder. Toplamda yaklaşık 250 km uzunluğunda olan bu sınırın Afyon-Akşehir Grabeni içerisinde kalan KB-GD uzanımını bölümü sismik açıdan oldukça aktif olmasına rağmen yaklaşık D-B uzanımını doğu bölümü sismik açıdan çok aktif değildir. Sınırın KB ucunda 3 Şubat 2002 Çay Depremleri (Mw:6.3 ve 6.0) ile yaklaşık 26 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşmuştur. İlk defa bu çalışmada tanımlanan 3-8 numaralı blok sınırı ise Alanya ile Tuzgölü güneyi arasında yaklaşık 250 km uzunluğundadır. Sınır boyunca 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'nda belirgin çizgisellik ya da fay bulunmamaktadır (Emre vd. 2018, Duman vd. 2018). Bu blok sınırı Emre vd. (2018) tarafından sunulan haritada Isparta açısının doğu kanadını oluşturur nitelikte, Alanya'ya doğru inen sınır ile benzerlik göstermektedir.

4 numaralı bloğun kuzey sınırı ise KAFZ'yi takip etmektedir. Yaklaşık 500 km boyunca bu sınır KAFZ'nin Darıca, Karamürsel, Gölcük, Tepetarla, Arifiye, Karadere, Düzce, Dokurcun, Taşkesti, Bolu, Yeniçağa, Gerede, İsmetpaşa, Bayramören, Sarıalan, Ilgaz, Kargı Segmentleri ile tanımlanmıştır (Duman vd. 2017, Emre vd. 2018). Sınır boyunca aletsel dönem deprem kayıtlarında yoğun bir sismik aktivite görülmekte ve yüzey kırıklarına sebebiyet veren önemli depremler 7 blok sonuçlarında ifade edilmiştir.

KAFZ boyunca devam eden 4 ile 7 numaralı bloklar arasında tanımlanan sınır Kargı Segmenti civarında K-G uzanımında yaklaşık 100 km boyunca Sungurlu Fayı'na kadar devam eder. Bu noktadan itibaren KD-GB uzanımına dönen sınır Sungurlu Fayı'nı takip eder. Buradan yaklaşık 190 km boyunca KD-GB uzanımında Tuz Gölü Fayı'nın Koçhisar Segmenti'ne ulaşmaktadır. Sınır boyunca yoğun bir sismik aktivite görülmemesine rağmen sınırın Sungurlu ile Tuz Gölü Fayı'nın Koçhisar Segmenti'ne ulaşan bölümünde aletsel dönem deprem kayıtlarında çizgisel şekilde devam eden

deprem aktivitesi görülmektedir. Sınırın Tuz Gölü Fay Zonu'nu takip eden bölümü bu sınıra benzer şekilde Seyitoğlu vd. (2022) ile Emre vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da ifade edilmiştir.

5 ve 6 numaralı blok sınırları incelendiğinde ise 7 blok sonuçlarında ifade edilen 5 ve 6 numaralı blok sınırları ile aynı olduğu görülmüştür.

7 numaralı bloğun kuzey sınırı olan 6 ile 7 numaralı bloklar arasındaki sınırı; D-B uzanımında KAFZ'nin Kargı Segmenti'nden Karlıova Ekleme'ne ulaşmaktadır. Sınır yaklaşık 600 km devam ederek 7 blok sonuçlarında ifade edilen 4-5 ve 4-6 blok sınırlarını takip etmektedir. Karlıova Ekleme'nden yaklaşık 300 km devam ederek KD-GB uzanımında Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Palu ve Pütürge Segmenti'nden Sürgü Fayı'na kadar uzanmaktadır (7-9 blok sınırı). Bu sınır boyunca aletsel dönemde yoğun bir deprem aktivitesi görülmekle beraber 37 km yüzey kırığı görülen 1971 Bingöl Depremi (Ms:6.8) bu sınır üzerindedir. Ayrıca bu sınırın Karlıova Ekleme'nden Pütürge Segmenti'ne kadar olan bölümü 7 blok sonuçları ile aynıdır.

300 km boyunca devam eden bu sınır Emre vd. (2018), Özdemir vd. (2019) tarafından yapılan çalışmalar ve Seyitoğlu vd. (2022) tarafından ifade edilen Anadolu Diyagonal Bölgesi'nin doğu sınırı ile benzerlik göstermektedir. Bu sınırın Sürgü Fayı'ndan itibaren olan bölümü ise yaklaşık 400 km kadar D-B uzanımında devam ederek 7 blok sonuçlarındaki 3 numaralı bloğun güney sınırı ile aynı olacak şekilde Sultanhanı'na (Konya) kadar uzanmaktadır.

8 numaralı bloğun doğu sınırı olan 8 ve 9 numaralı bloklar arasındaki sınırı ise Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Pütürge segmentinden başlayarak Erkenek ve Pazarcık segmentlerini yaklaşık 120 km boyunca KD-GB uzanımında izlemektedir. Buradan Ölüdeniz Fay Zonu'na bağlanan sınır Narlı ve Sakçagöz segmentlerini izleyerek yaklaşık 100 km boyunca K-G uzanımında devam etmektedir. Sınır boyunca aletsel dönemde deprem aktivitesi yoğundur. Son olarak Narlı Segmenti 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri (Mw:7.7, Mw:7.6) sırasında kırılarak depremlerde yaklaşık 300 km yüzey kırığı oluşturmuştur. Pütürge Segmenti'nden Ölüdeniz Fay Zonu'na kadar

bağlanan sınır Emre vd. (2018) çalışmasında ana fay zonlarını takip eden plaka sınırları ile uyumlu olarak belirtilmiştir. Bununla beraber sınır Reilinger vd. (2006) ile de benzerlik göstermektedir. Ayrıca bu sınır Seyitoğlu vd. (2022) çalışmasında hem jeolojik hem de istatistiki olarak anlamlı olarak sunulmuştur. Bu blok sınırı Seyitoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ifade edilen Anadolu Diyagonal Bölgesi içinde yer almaktadır.

9 blok sayısındaki 9 ile 6 numaralı bloklar arasındaki sınır ise 7 blok sayısında ifade edilen 7 ile 6 numaralı bloklar arasındaki sınır ile aynı olduğu görülmüştür.

Tüm bu sonuçlardan yola çıkılarak, Anadolu Plakası üzerinde en aktif fay zonlarından biri olan KAFZ kuzeyinin tek bir blok olarak değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmüş ve Şekil 6.13'de verilmiştir. Anadolu Plakası için önerilen blok sayısı 8 ve sınırları Şekil 6.13'de görüldüğü gibi bu çalışmada önerilmektedir.

Batı Anadolu için tıpkı Anadolu Plakası'nda olduğu gibi Şekil 6.34'de verilen 14 küme sınırları literatürde önerilen sınırlar ile karşılaştırılmıştır.

Batı Anadolu için 1 numaralı blok sınırının batıda Saros Körfezi civarında başlayıp KAFZ'yi 500 km boyunca takip edip Bolu'ya ulaşmaktadır. D-B uzanımında devam eden bu sınır KAFZ'nin sırasıyla Saros, Ganos, Tekirdağ, Kumburgaz, Avcılar, Çınarcık, Darıca, Karamürsel, Gölcük, Tepetarla, Arifiye, Karadere, Düzce ve Bolu segmentlerini takip etmektedir. Bu sınır üzerinde aletsel dönem deprem kayıtları incelendiğinde yüzey kırıklarına sebep olan çok sayıda depremin meydana geldiği görülmektedir. Bu depremler Anadolu Plakası üzerinde önerilen sınır bölümünde verilmiştir. Bu sınırın Nyst ve Thatcher (2004), Reilinger vd. (2006), Aktuğ vd. (2009), Emre vd. (2018), Özdemir ve Karşlıoğlu (2019), Seyitoğlu vd. (2022), Özarpacı vd. (2023) çalışmalarında sunulan sınırlar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra bu sınır, Anadolu Plakası için en uygun olduğu düşünülen 8 küme sınırı ile de aynıdır.

2 numaralı bloğun, batı sınırı KAFZ'nin Saros Segmenti'nden başlayarak D-B uzanımında Kapıdağı Yarımadası'nın güneyinden Edincik Fayı'na kadar yaklaşık 160

km kadar devam eder. Daha sonra sınır, 2 ve 3 numaralı bloklar arasında Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan Kapıdağı Yarımadası'nın güneyinde bulunan Edincik Fayı civarından Yenice-Gönen Fayı'ndan KD-GB uzanımında Ortaoba yerleşim alanına kadar yaklaşık 130 km boyunca devam etmektedir. Buradan sınır D-B uzanımına geçerek Havran-Balya Fay Zonu'nun Osmanlar Segmenti'ne kadar yaklaşık 50 km uzanarak 3 numaralı blok sınırı ile birleşmektedir. 2 ve 5 numaralı bloklar arasında kalan sınırın ise Osmanlar Segmenti'nden K-G uzanımına geçerek Soma-Kırkağaç Fay Zonu'nun en batı ucuna kadar yaklaşık 60 km kadar devam etmektedir. Sınır buradan tekrar D-B uzanımında yaklaşık 50 km kadar devam ederek Bergama Fayı'ndan Dikili yerleşim alanının kuzeyinden Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Ege Denizi'nin içinde bu sınırın Midilli Adası'na kadar devam ettiği düşünülmektedir.

Bu blok sınırları aletsel dönem deprem kayıtlarında yoğun bir sismik aktivite görülmektedir. Yenice-Gönen Fayı üzerinde 1953 yılında meydana Yenice-Gönen Depremi'nde (Ms:7.2) oluşan yaklaşık 70 km yüzey kırığı bu sınır üzerinde bulunmaktadır (Zhu vd. 2006, Djamour vd. 2011).

Bloğun Kapıdağı Yarımadası'ndan Yenice'ye kadar uzanan kısmı ile D-B uzanımında Havran-Balya Fay Zonu'nun Osmanlar Segmenti'nden 3 numaralı blok sınırı ile birleşen kısmı Seyioğlu vd. (2022) ile tutarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca K-G uzanımında devam eden bölümünün ise Bergama Fayı'na, buradan da Ege Denizi'ne ulaşan kısmı yine Seyioğlu vd. (2022) ile yaklaşık benzerdir. Bununla beraber Yenice-Gönen Fayı boyunca Aktuğ vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada önerilen sınır ile de aynı olduğu görülmektedir. Ortaoba yerleşim alanından Osmanlar Segmenti'ne ulaşan sınırın ise Solak (2020) ile aynı olduğu görülmektedir.

Tüm bunlarla beraber 2 numaralı bloğun Ortaoba yerleşim alanından Akçay yerleşim alanına, buradan ise Edremit Fay Zonu'nun güneyinden Midilli Adası'nın kuzeyi boyunca uzanabileceği düşünülmektedir.

Bu noktada alt bölümde kalan 2 ile 5 numaralı bloklar arasındaki sınırlar ile oluşan yaklaşık 250 kilometrekarelik alan mikro blok olarak önerilmektedir. Önerilen bu sınır

Reilinger vd. (2006), Aktuğ vd. (2009), Şaroğlu ve Güler (2020), Solak (2020) ve Seyioğlu vd. (2022) çalışmalarında önerilen sınırlar ile benzer olduğu görülmüştür.

3 numaralı bloğun kuzey sınırı Marmara Denizi'nin güneyi boyunca yaklaşık 80 km kadar uzanarak Bandırma Fayı ile Zeytinbağı Fayı'ndan Mudanya yerleşim alanına ulaşmaktadır. 3 ve 4 numaralı bloklar arasında kalan sınırı Mudanya civarında başlayarak GD-KB uzanımında Bursa Fayı ile Oylat Fayı boyunca uzanmaktadır. GD-KB uzanımında bu sınır yaklaşık 90 km boyunca devam etmektedir. Oylat Fayı'na ulaşan sınır GB uzanımında yaklaşık 40 km kadar uzanarak Domaniç'ten Tavşanlı yerleşim alanına varır. Tavşanlı yerleşim alanından KD-GB uzanımında Emet yerleşim alanından Simav Fay Zonu'nun Çaysimav Segmenti'ne ulaşır. Bu sınır ise yaklaşık 70 km'dir. Ardından sınır BKB uzanımında Simav Fay Zonu'nun Çaysimav Segmenti ile Sındırgı Segmenti boyunca devam ederek Gelenbe Fay Zonu'nun Batı Segmenti'ne ulaşmaktadır. Bu sınır 3 numaralı blok ile 6 numaralı ve 5 numaralı bloklar arasındadır ve yaklaşık 70 km uzunluğundadır. Sınır buradan KD-GB uzanıma geçip 40 km boyunca devam ederek Balıkesir Fayı'na ulaşır. Daha sonra Balıkesir Fayı'nın Kepsut ve Gökçeyazı segmentleri boyunca yaklaşık D-B uzanımında 60 km boyunca Havran-Balya Fay Zonu'nun Osmanlar Segmenti'ne vararak 2 numaralı blok sınırı ile birleşir.

3 numaralı bloğun önerilen sınırlarında aletsel dönem deprem kayıtları incelendiğinde yoğun bir sismik aktivite görülmekle beraber yüzey kırığı oluşturacak deprem bulunmamaktadır. Bloğun Çaysimav Segmenti'nden Balıkesir Fayı'na kadar olan önerilen sınırı Solak (2020), Şaroğlu ve Güler (2020) ve Seyitoğlu vd. (2022) çalışmalarında da sunulmuştur. Bununla beraber sınırın Çaysimav Segmenti'nden Sındırgı Segmenti'ne olan kısmı Aktuğ vd. (2009) ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca tanımlanan sınırın Mudanya civarında başlayıp Bursa Fayı ile Oylat Fayı'nı takip eden kısmı Anadolu Plakası için önerilen 8 küme sınırıyla aynıdır.

4 numaralı bloğun kuzey sınırı Mudanya civarında başlayıp buradan 240 km boyunca sırasıyla; Gençali Fayı, Gemlik Fayı, İznik-Mekece Fayı ve Geyve Fayı'nı takip ederek KAFZ'nin Dokurcun Segmenti'ne ulaşmaktadır. Buradan Taşkesti Segmenti'ne ulaşan sınır Bolu Segmenti'nde 1 numaralı blok sınırı ile birleşmektedir. Bu sınırda aletsel

dönem deprem kayıtlarında yoğun bir sismik aktivite görülmektedir. Ayrıca sınırın KAFZ segmentine denk gelen bölümünde aletsel dönem deprem kayıtlarında 40 km yüzey kırığına sebep olan 1957 Abant Depremi (Ms:7.0) bulunmaktadır Emre vd. 2018).

4 ve 14 numaralı bloklar arasındaki sınır incelendiğinde, batıda KAFZ'nin Bolu Segmenti'nden başlayarak yaklaşık K-G uzanımında 240 km boyunca Bolvadin Fayı'ndan Afyon-Akşehir Graben Sistemi'ne ulaştığı görülmektedir. Ancak bu sınırın doğusunda kalan bölümde nokta yetersizliği nedeniyle kesin olmamakla beraber bu güzergahta devam edebileceği düşünülmektedir. 4 ile 8 numaralı bloklar arasındaki sınır Afyon-Akşehir Graben Sistemi'ni takip ederek Gazlıgöl Fayı'na ulaşmakta ve KB-GD uzanımında yaklaşık 60 km boyunca devam ederek 4 ve 7 numaralı bloklar arasındaki sınırla birleşmektedir. 4 ve 7 numaralı bloklar arasındaki sınır ise Gazlıgöl Fayı'ndan KB-GD uzanımında bir kavis ile sırasıyla Kütahya Fayı, Şahmelek Fayı ve Tavşanlı Fayı'nı izleyerek Tavşanlı yerleşim alanına ulaşır. Bu sınırın yaklaşık 130 km devam ettiği görülmektedir. Tanımlanan 4 ve 7 ile 4 ve 8 numaralı bloklar arasındaki sınırlarda aletsel dönem deprem kayıtlarında sismik aktivite oldukça yoğundur. Bununla beraber sınır üstünde 3 Şubat 2002 Çay Depremleri'nde (Mw:6.3 ve Mw:6.0) 26 km uzunluğunda yüzey kırıkları gözlenmiştir (Emre vd. 2003, Özden vd. 2003, Yürür vd. 2003, Akyüz vd. 2006). 4 numaralı bloğun 4 ile 7 numaralı bloklar arasında kalan sınırı Şaroğlu ve Güler (2020) çalışmasında önerilmektedir. 4 ile 7 numaralı bloklar arasında kalan sınırın ise Aktuğ vd. (2009), Seyitoğlu vd. (2022) tarafında yapılan çalışmalarda önerildiği görülmektedir.

5 numaralı bloğun 5 ve 6 numara ile ifade edilen bloklar arasında kalan sınırı ise Simav Fay Zonu'nun Çaysimav Segmenti'nden KD-GB uzanımında Demirci yerleşim alanından Köprübaşı Fay Zonu'nu takip ederek Gediz Graben Sistemi'nde Salihli Segmenti'ne ulaşır. Sınırın yaklaşık 90 km devam ettiği söylenebilir. 5-10 ile 5-9 numaralı bloklar arasında kalan sınır sırasıyla; Gediz Graben Sistemi'nde bulunan Akçapınar Segmenti ve Manisa Fayı'nı izleyerek Güzelhisar Fayı ile Menemen Fay Zonu'ndan Ege Denizi'ne varır. Bu sınır ise yaklaşık 120 km uzunluğundadır. 5 numaralı bu bloğun tanımlanan sınırlarında aletsel dönem deprem kayıtları

incelendiğinde sismik aktivite görülmesine rağmen yüzey kırığı oluşturacak deprem bilgisine rastlanmamaktadır.

5 numaralı bloğun tanımlanan bu sınırları Şaroğlu ve Güler (2020) çalışması ile benzerlik göstermektedir. Bununla beraber sınırın Salihli Segmenti ile Manisa Fayı arasındaki bölümü Seyitoğlu vd. (2022) çalışması ile aynıdır. Aynı zamanda Salihli Segmenti ile Ege Denizi arasındaki bölümü ise Reilinger vd. (2006), Aktuğ vd. (2009) ile Solak (2020) çalışmalarında da ifade edilmiştir. İBTZ sınırının ise 5 numaralı bloğun içinde yer aldığı görülmektedir ve 5 numaralı blokta öneri şeklinde sunulmuştur (Solak 2020).

6 numaralı bloğun 7 numaralı blok ile olan sınırı KB-GD uzanımında yaklaşık 120 km boyunca Simav Fay Zonu'nun Çaysimav Segmenti'nden başlayarak sırasıyla Şaphane ile Abide segmentlerini izleyerek Banaz Segmenti ve buradan da Elvanpaşa Segmenti'nden Sinanpaşa Segmenti'ne ulaşarak 6 ile 8 numaralı bloklar arasındaki sınır ile birleşir. 6 ile 8 numaralı bloklar arasındaki sınır buradan başlayarak K-G uzanımında yaklaşık 65 km boyunca Akharım, Sandıklı, Örenkaya ve Düzbel faylarını takip ederek Dinar Fayı'na ulaşır. Sınır burada 6 ve 12 numaralı bloklar arasında kalan sınırla birleşir. Bu sınır ise Acıgöl Graben Sistemi'nin Gemiş Fayı boyunca yaklaşık 60 km devam ederek 6 ile 11 numaralı bloklar arasındaki sınır ile birleşir. Tanımlanan sınırlar üzerinde alsetsel dönem deprem kayıtlarında yoğun bir sismik aktivite görülmekle beraber 1995 Dinar Depremi'nin (Mw:6.4) 10 km uzunluğundaki yüzey kırığı bulunmaktadır (Altunel vd. 1999). Bu blok sınırının Çaysimav Segmenti ile Banaz Segmenti arasında kalan kısmı Emre vd. (2018), Şaroğlu ve Güler (2020) ile Seyitoğlu vd. (2022) çalışmalarında da ifade edilmektedir.

6 ve 11 ile 6 ve 10 numaralı bloklar arasında kalan sınır incelendiğinde ise KB-GD uzanımında batıya doğru kıvrılarak yaklaşık 160 km boyunca devam ettiği görülmektedir. Bu sınır Acıgöl Graben Sistemi'nden başlayarak Denizli Graben Sistemi'ne ulaşmaktadır. Bu graben sisteminde sırasıyla Kaklık Fayı, Pamukkale Fay Zonu ve Buldan Fay Zonu'nu takip ederek Gediz Graben Sistemi'ne varır. Gediz Graben Sistemi'nin ise Alaşehir ve Salihli segmentlerini takip ederek 5 numaralı bloğun güney

sınırı ile birleşir. Bu sınırda aletsel dönem deprem kayıtları incelendiğinde yoğun bir sismik aktivite görülmektedir. Aynı zamanda aletsel dönem deprem kayıtlarında bu sınır üzerinde 1969 Alaşehir depreminde (Mw: 6.5) KB-GD uzanımlı 36 km yüzey kırığı oluşmuştur (Arpat ve Bingöl 1969, Ergin vd. 1971, Akyol vd. 2006, Tezel vd. 2010, Emre vd. 2018, Poyraz ve Hastaoğlu 2020). Bu sınır Reilinger vd. (2006), Aktuğ vd. (2009), Şaroğlu ve Güler (2020) ile Seyitoğlu vd. (2022) çalışmalarında da sunulmuştur. Bunlarla beraber sınırın Acıgöl Graben Sistemi ile Gediz Graben Sistemi arasındaki kısmı Solak (2020) ile benzerlik göstermektedir.

7 ve 8 numaralı bloklar arasındaki sınır ise Afyon-Akşehir Graben Sistemi'nde Gazlıgöl Fayı'ndan KD-GB uzanımında yaklaşık 60 km boyunca Simav Fay Zonu'nun Sinanpaşa Segmenti'nin doğu ucuna varır. Bu sınırın Şaroğlu ve Güler (2020) çalışmasında ifade edilen sınırı yaklaşık olarak takip ettiği görülmektedir.

8 numaralı blok ile 14 numaralı bloklar arasındaki sınırın KB-GD uzanımında yaklaşık 50 km boyunca Afyon-Akşehir Graben Sistemi'nin Sultandağı Fayı'nı takip ettiği görülmektedir. Sınır buradan 8 ve 13 numaralı bloklar arasında kalan sınır ile birleşmektedir. Bu bloklar arasında sınırın Akşehir yerleşim alanında başlayarak KD-GB uzanımında yaklaşık 50 km boyunca devam ederek Gelendost Fayı'na varmaktadır. Gelendost Fayı'ndan sınır Mahmatlar, Sarıdris ve Davras faylarını takip ederek Eğirdir Gölü'nün güneyinden Isparta'ya ulaşmaktadır. Burada sınır 8 ve 12 numaralı bloklar arasındaki sınırla birleşmektedir. Bu sınır yaklaşık 40 km uzunluğunda KB-GD uzanımında tanımlanmıştır. Sınırın Isparta'dan Keçiborlu yerleşim alanına buradan da Dinar Fayı'na ulaştığı görülmektedir. Tanımlanan sınırlarda aletsel dönem deprem kayıtlarında deprem aktivitesi var olmasına karşın 1995 yılında gerçekleşen Mw:6.4 büyüklüğündeki Dinar Depremi'nin 10 km uzunluğundaki yüzey kırığı da bu sınırda yer almaktadır (Altunel vd. 1999, Emre vd. 2018). 8 numaralı bloğun Afyon-Akşehir Graben Sistemi boyunca olan sınırının Aktuğ vd. (2009) ile Seyitoğlu vd. (2022) çalışmalarında da tanımlandığı görülmektedir.

9 ile 10 numaralı bloklar arasındaki sınır ise Gediz Graben Sistemi'nin Akçapınar Segmenti'nden KD-GB uzanımında Armutlu ve Nif Dağı Segmenti'ni izleyerek Tuzla

Fayı boyunca yaklaşık 90 km devam eder. Daha sonra sınır KB-GD uzanımında yaklaşık 60 km daha devam ederek Gümüldür Fayı ve Selçuk yerleşim alanından Büyük Menderes Graben Sistemi'nin İncirliova Segmenti'nden 10 numaralı blok sınırı ile birleşir. 9 ve 10 numaralı bloklar arasındaki bu sınır boyunca aletsel dönem deprem kayıtlarında yoğun bir sismik aktivite görülmesine karşın yüzey kırığı oluşturan deprem kaydı bulunmamaktadır. Bu sınır Şaroğlu ve Güler (2020) ile Seyitoğlu vd. (2022) çalışmalarında da gösterilmektedir. Bunla beraber sınırın Tuzla Fayı boyunca uzanan bölümü Solak (2020) çalışmasında da ifade edilmiştir.

9 ve 11 numaralı bloklar arasında kalan sınır incelendiğinde sınırın Sisam Adası güneyinden Büyük Menderes Graben Sistemi'nde Söke Fayı boyunca KD-GB uzanımında yaklaşık 50 km boyunca devam ettiği görülmektedir. Buradan sınır yaklaşık D-B uzanımında Büyük Menderes Graben Sistemi'nin İncirliova, Umurlu, Atça ve Pamukören segmentleri boyunca devam ederek Denizli Graben Sistemi'ne bağlanır (10-11 blok sınırı). Denizli Graben Sistemi'nden Sarayköy ile Denizli Fay Zonu boyunca uzanarak Acıgöl Graben Sistemi'nin Gemiş Fayı'na bağlanır. Sınırın yaklaşık 220 km boyunca devam ettiği görülmektedir (11-6 blok sınırı).

Tanımlanan sınırın aletsel dönem deprem kayıtlarında yoğun bir deprem kaydına rastlanılmaktadır. Ayrıca bu sınırdaki Söke Fayı'nda meydana gelen 1955 Söke Depremi'nde (Ms:6.8) yüzey kırığı bulunmaktadır. Sınırın Büyük Menderes Graben Sistemi'nden Denizli Graben Sistemi'ne ulaşan bölümü Aktuğ vd. (2009), Solak (2020), Şaroğlu ve Güler (2020) ile Seyitoğlu vd. (2022) çalışmalarında sunulan sınırlar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

11 ve 12 numaralı bloklar arasında kalan sınırın ise Acıgöl Graben Sistemi'nin Gemiş Fayı civarında başlayarak KD-GB uzanımında Salda Gölü'nün batısından Kelekçi ve Çameli fayları boyunca ilerleyerek Tersane Adası'na ulaştığı görülmektedir. Sınır yaklaşık 200 km civarındadır. Sınırın Ege Denizi içinde kalan bölümünün Rodos Adası'nın güneyi boyunca uzandığı düşünülmektedir. Sınır boyunca sismik aktivite aletsel dönem deprem kayıtlarında görülmektedir ancak yüzey kırığına sebep olan deprem bu sınırdaki bulunmamaktadır. Tanımlanan bu sınır Emre vd. (2018) çalışmasında

da önerilmiştir. Aktuğ vd. (2009) ile Seyitoğlu vd. (2022) çalışmalarında ise Kelekçi ve Çameli fayları boyunca ilerleyen bir sınırın var olduğu görülmektedir. Reilinger vd. (2006) çalışmasında var olan sınır ile bu sınırın yaklaşık benzer olduğu söylenebilir.

11 numaralı blokta ayrıca Çameli Fayı civarından başlayarak Köyceğiz yerleşim alanının kuzeyinde ileryerek daha batıda Gökova Fay Zonu boyunca ilerleyen bir sınırın daha olabileceği düşünülmektedir. Önerilen bu blok sınırıyla beraber 11 numaralı bloğun 12 numaralı blok ile olan sınırının Tiryakioğlu vd. (2013) çalışmasıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Bununla beraber Akyaka, Köyceğiz ve Göcek yerleşim alanlarını içine alan Ege Denizi'ne doğru genişleyen bir mikro bloğun daha olabileceği düşünülmektedir.

12 ile 13 numaralı bloklar arasında kalan sınır ise yaklaşık 200 km boyunca KD-GB uzanımında Emre vd. (2011) tarafından Kasaba Çizgiselliği olarak tanımlanan yapısal sınırda devam ederek Isparta'ya ulaşmaktadır. Elde edilen bulgular Kasaba Çizgiselliği'nin KD-GB'ya doğru devamlılığının olduğuna işaret etmektedir.

13 numaralı bloğun 14 numaralı blokta yer alan noktalar ile arada kalan sınır ise Afyon-Akşehir Graben Sistemi'nin Sultandağı Fayı boyunca uzanarak Alacağdağ Fayı'na ulaştığı görülmektedir. Bu sınır KB-GD uzanımında bulunmakla beraber sınırın devamının buradan yaklaşık Anamur yerleşim alanına kadar devam edebileceği düşünülmektedir. Bu önerilen sınırın aynı zamanda Tiryakioğlu vd. (2013) çalışması ile uyum içinde olduğu görülmektedir. 14 numaralı blokta yeralan nokta sayısı ve dağılımı dikkate alındığında bu bloğun kuzey, doğu ve güneyinde yeteri kadar nokta var olmadığından dolayı blok sınırları önerilmemiştir. Bu bloğun yalnızca batı sınırları tanımlanmıştır.

1, 2, 3 ve 4 numaralı blok sınırları tanımlandığında ise KAFZ'nin güney ve kuzey kolları arasında içine Marmara Denizi'ni de içine alan bölgede bir adet ara blok oluştuğu görülmektedir. Bu oluşan blok ile birlikte kümeleme analizi sonuçlarında Batı Anadolu için 15 adet mikro bloktan oluşan bir yapı önerilmiş ve sınırları gösterilmiştir (Şekil 6.35).

Bununla beraber Şekil 6.36'da jeolojik bazı yapısal sınırları temsil ettiği düşünülen blok sınırları koyu turuncu renk ile ifade edilmiştir. Bu önerilen blok modeli ile Batı Anadolu'nun 18 adet mikro bloktan oluşan yapısı sunulmuştur.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ise aşağıda verilmiştir.

K-Means ile değerlendirilen verilerde; Anadolu Plakası için 7 ve 9 blok sınırları incelendiğinde her iki bloklardaki sınırların Reilinger vd. (2006), Aktuğ vd. (2009), Aktuğ vd. (2013), Emre vd. (2018), Özdemir ve Karslıoğlu (2019), Solak (2020), Esat vd. (2021), Seyitoğlu vd. (2022) ile benzer bölgelerinin olduğu görülmüştür. Hem 7 hem de 9'lu blok çalışması sonuçları değerlendirildiğinde ana fay zonlarını takip eden blok sınırlarının net bir şekilde ayrıldığı görülmektedir. KAFZ'nin kuzeyinde kalan bölge 7, 8 ve 9 blok çalışmalarında 2 ayrı blok olarak değerlendirilmiştir (Şekil 6.10, 6.11, 6.12). Bu durumun hız farklarından dolayı oluşmakta olduğu düşünülmüştür. Ancak KAFZ'nin kuzeyinin tek bir blok olarak da alınabileceği göz önüne alınmıştır (Şekil 6.13).

Kıbrıs'ta bulunan noktaların 9 blok sonuçlarında 8 numaralı bloğa ait olduğu görülmektedir (Şekil 6.12). 7'li blok sonuçlarında ise 3 numaralı bloğa ait olduğu görülmektedir (Şekil 6.10). Kıbrıs Yay 7 numaralı blok sonuçlarında Kıbrıs'ın kuzeyinden geçiyor olarak yorumlansa da 9 numaralı blokta güneyinden geçtiği görülmektedir. Kıbrıs'ta bulunan noktaların 9 blok sonuçlarında 8, 7 blok sonuçlarında 3 numaralı bloğa ait olması bu yayın Kıbrıs'ın güneyinden geçtiğini desteklemektedir.

7 blok sonuçlarında 1-3 numaralı blok sınırı bu çalışmada ilk kez tanımlanmıştır. Bu bölgede tanımlanan bir fay olmamakla beraber buradaki sınırın Kasaba Çizgiselliği'nin devamı niteliğinde bir sınır olabileceği düşünülmektedir. Bununla beraber 3-4 numaralı blok sınırının da literatürde tanımlanan herhangi bir fayı takip etmediği görülmekle birlikte ilk kez tanımlanmaktadır ve bu sınırın doğu ucu 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri (Mw:7.7, Mw:7.6)'nin yüzey kırığına denk gelmektedir.

Batı Anadolu bölgesi jeolojik oluşumlar neticesinde karmaşık bir bölge olmasına karşın Büyük Menderes Grabeni'ni takip eden sınır hem 7 hem de 9'lu blok sonuçlarında net şekilde görülmektedir (Şekil 6.10, 6.12).

7 ve 9'lu blok yapılarından oluşan sınırlar göz önüne alındığında KAFZ'nin kuzeyinin tek bir blok olarak ele alınarak Anadolu Plakası üzerinde 8 adet bloğun var olduğu bu çalışmada önerilmiştir (Şekil 6.13).

Batı Anadolu bölgesi çok daha karmaşık bir bölge olduğundan dolayı bölgenin mikro blok çalışmaları ile incelenmesinin daha doğru sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Ayrıca mikro blok çalışmalarında fazla nokta sayısı ile çalışılarak blok sayısı artırılabilir. Böylece daha küçük ve tutarlı hız gruplarının ortaya çıkması sağlanmaktadır. Bu düşünceden yola çıkılarak Batı Anadolu için mikro blok çalışması K-Means kümeleme analizi ile yapılmıştır.

Batı Anadolu için Tiryakioğlu vd. (2013, 2018), Solak (2020), Eyübagil vd. (2021) ile Yavaşoğlu vd. (2021) çalışmalarından elde edilen kampanya tipindeki ölçümler elde edilmiştir. Bunun yanısıra güncel hız alanı oluşturmak amacıyla arazi çalışmalarında kampanya tipinde 20 adet noktada statik ölçüm yapılmıştır. Elde edilen veriler akademik veri değerlendirme yazılımlarında biri olan GAMIT/GLOBK ile değerlendirilmiş ve Batı Anadolu için jeodezik hız alanı elde edilmiştir. Elde edilen hız alanında sentetik veri testlerinden biri olan dama tahtası testi uygulanarak kullanılacak algoritmanın mevcut veri dağılımıyla ne kadar iyi çalışabildiği test edilmiştir (Şekil 6.33). Ardından Elbow Metot ile çalışma bölgesi için en uygun küme sayısı araştırılmış ve 14 küme sayısında Batı Anadolu K-Means algoritması kullanılarak kümelenmiştir (Şekil 6.34).

Benzer şekilde Anadolu Plakası üzerinde yapılan kümeleme analizinde oluşan her küme bir blok olarak değerlendirilmiş ve sınırları çizilmiştir. Çizilen sınırlar Reilinger vd. (2006), Aktuğ vd. (2009), Tiryakioğlu vd. (2013), Emre vd. (2018), Solak (2020), Şaroğlu ve Güler (2020), Seyitoğlu vd. (2022) çalışmasındaki sınırlar ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Batı Anadolu karmaşık yapısal özellikleriyle dikkat çeken bir bölge olmasına karşın tanımlanan sınırların Anadolu Plakası için tanımlanan sınırlar ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle bu bölgedeki sınırların graben sistemleri boyunca devam

ettiği görülmektedir. Aletsel dönem deprem kayıtlarında yüzey kırıklarına sebep olan önemli depremlerin yine tanımlanan bu sınırlar üzerinde var olduğu dikkat çekmektedir.

Anadolu Plakası için en uygun olduğu d    n len  ekil 6.13'de ifade edilen 8'li blok modeldeki 2 numaralı bloğun sınırları içinde Batı Anadolu'da 5 adet mikro blok tanımlanmıştır. 3 numaralı bloğun içinde 2 adet mikro blok olduğu elde edilmiştir. Bununla beraber ana blok sınırlarının yaklaşık olarak Batı Anadolu'da tanımlanan mikro blok sınırları boyunca uzandığı görülmektedir.



8. KAYNAKLAR

- Aktuğ B, Kılıçoğlu A, 2006, Recent Crustal Deformation of İzmir, Western Anatolia And Surrounding Regions As Deduced From Repeated GPS Measurements and Strain Field, *Journal of Geodynamics*, 41, 471-484.
- Aktuğ B, Nocquet J M, Cingoz A, Parsons B, Erkan Y, England P C, vd., 2009, Deformation of Western Turkey From a Combination of Permanent and Campaign GPS Data: Limits to Block-like Behavior, *Journal of Geophysical Research*, 114, B10404.
- Aktuğ B, Kaypak B, Çelik R N, 2010, Source Parameters For The Mw = 6.6, 03 February 2002, Çay Earthquake (Turkey) and Aftershocks From GPS, Southwestern Turkey, *JSeismol*, 14, 445–456.
- Aktuğ B, Parmaksız E, Kurt M, Lenk O, Kılıçoğlu A, Gürdal M A, vd., 2013, Deformation of Central Anatolia: GPS Implications, *Journal of Geodynamics*, 67, 78-96, ISSN 0264-3707,
- Aktuğ B, Özener H, Dogru A, Sabuncu A, Turgut B, Halicioğlu K, vd., 2016, Slip Rates and Seismic Potential on The East Anatolian Fault System Using an Improved GPS Velocity Field, *Journal of Geodynamics*, 94-95, 1-12.
- Aktuğ B, Tiryakioğlu İ, Sözbilir H, Özener H, Özkaymak Ç, Yiğit C Ö, vd., 2021, GPS Derived Finite Source Mechanism of The 30 October 2020 Samos Earthquake, Mw =6.9, in The Aegean Extensional Region, *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol. 30: No. 8, Article 2.
- Altunel E, Barka A, Akyüz S, 1999, Palaeoseismicity of The Dinar Fault, SW Turkey, *Terra Nova*, 11/6, 297-302.
- Armijo R, Meyer B, Hubert-Ferrari A, Barka A, 1999, Westward Propagation of The North Anatolian Fault into The Northern Aegean: Timing And Kinematic, *Geology*, 27:267–270.
- Arpat E, Şaroğlu F, 1972, The East Anatolian Fault System: Thoughts on Its Development, *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey Bull*, 78, 33-39.

- Barka A, Reilinger R, Şaroğlu F, Şengör A M C, 1995, The Isparta Angle: Its Importance in The Neotectonics of Eastern Mediterranean region, IESCA-1995 Proceedings, 13–18.
- Blumenthal M M, 1963, Le Systeme Structural du Taurus sud Anatolies, Mem Soc Geol Fr, 1(2), 611–662.
- Boray A, Şaroğlu A, Emre Ö, 1985, Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde Doğu-batı Daralma İçin Veriler, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 23,9–20.
- Bozkurt E, 2001, Neotectonics of Turkey a Synthesis, Geodinamica Acta, 14:3–30.
- Calinski T, Harabasz J, 1974, A Dendrite Method for Cluster Analysis, Communications in Statistics, 3, 1-27.
- Çetin K Ö, Mylonakis G, Sextos A, Stewart J P, 2020, Seismological and Engineering Effects of The M 7.0 Samos Island (Aegean Sea) Earthquake, Hellenic Association of Earthquake Engineering: Report 2020/02 Earthquake Engineering Association of Turkey Earthquake Foundation of Turkey Earthquake Engineering Research Institute, (USA) Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Association: Report GEER-069.
- Çınar F, Tiryakioğlu İ, 2022, Deprem Sonrası Kadastral Noktaların Koordinatlarının Güncellenmesi: 20.07.2017 Bodrum Kos Depremi Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(3), 637-644.
- Davies D L, Bouldin D W, 1979, A Cluster Separation Measure, Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2, 224- 227.
- Djamour Y, Vernant P, Nankalı H R, Tavakoli F, 2011, NW Iran-Eastern Turkey Present-Day Kinematics: Results From The Iranian Permanent GPS Network, Earth and Planetary Science Letters, 307, 27–34.
- Dolmaz M N, 2007, An Aspect of The Subsurface Structure of The Burdur-Isparta Area, SW Anatolia, Based on Gravity and Aeromagnetic Data, and Some Tectonic Implications, Earth Planets Space, 59:5–12.
- Duman T Y, Çan T, Emre Ö, Kadirioğlu F T, Başarır Baştürk N, Kılıç T, Arslan S, Özalp S, Kartal R F, Kalafat D, Karakaya F, Eroğlu Azak T vd., 2018.

Seismotectonic Database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering 16 (8), 3277-3316.

Eckl M, Snay R, Soler T, Cline M W, Mader G L, 2001, Accuracy of GPS-derived Relative Positions As a Function of Interstation Distance and Observing-session Duration, Journal of Geodesy 75, 633–640.

Emre Ö, Duman T Y, Doğan A, Özalp S, 2002, 06 Haziran 2000 Orta (Çankırı) Depremi: Kaynak Fay ve Hasar Dağılımına Etki Eden Jeolojik Faktörler, 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 7–10 Mayıs 2001, Ankara, 54–57.

Emre Ö, Awata Y, 2003a, Surface Ruptures Associated with the August 17 August 1999 Izmit Earthquake, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publications-1, 51-280.

Emre Ö, Duman T Y, Dogan A, Özalp S, Tokay F, Kuşçu I, 2003b, Surface Faulting Associated With Sultandagı Earthquake (Mw6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey, Seismol Res Lett, 74:4.

Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, 2010, On The Source Fault of The 8 March 2010 Başyurt–Karakoçan (Elazığ) Earthquake (Mw:6.1), 63rd Geological Congress of Turkey, 59 April 2010, Ankara, 36–37.

Emre Ö, Doğan A, Özalp S, Yıldırım C, 2011a, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Bandırma (NK 35-11b) Paftası, MTA 1:250.000 Ölçekli Diri Fay Haritaları Serisi, Seri No: 3, 55 s, Ankara.

Emre Ö, Doğan A, Özalp S, 2011b, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, MTA 1:250.000 Ölçekli Diri Fay Haritaları Serisi, Seri No: 4, 35 s, Ankara.

Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F, 2013, Active Fault Map of Turkey With an Explanatory Text 1:1,250,000 scale, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series 30.

Emre Ö, Duman T Y, Özalp F, Şaroğlu F, Olgun Ş, 2018, Active Fault Database of Turkey, Bull. Earthq. Eng, 16(8), 3229-3275.

- Esat K, Seyitoğlu G, Aktuğ B, Kaypak B, Ecevitoglu B, 2021, The Northwest Central Anatolian Contractional Area: A Neotectonic Deformation Zone Bounded by Major Strike-slip Fault Zones in The Anatolian Plate, *Tectonophysics*, 805.
- Eyübagil E E, Solak, H İ, Kavak U S, Tiryakioğlu İ, Sözbilir H, Aktuğ B, vd., 2021, Present Day Strike-slip Deformation Within The Southern Part of the İzmir-Balıkesir Transfer Zone Based on GNSS Data and Implications For Seismic Hazard Assessment In Western Anatolia, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 143-160.
- Ganas A, Elias P, Briole P, Tsironi V, Valkaniotis S, 2020, Fault Responsible For Samos Earthquake Identified, *Temblor*.
- Gezgin C, 2020, GNSS ve InSAR Teknikleri ile Tuz Gölü Fay Zonu'nun (TGFZ) Kinematik Analizi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 171s, Aksaray.
- Glover C, Robertson A H F, 1998, Neotectonic Intersection of The Aegean and Cyprus Tectonic Arcs: Extensional and Strike-slip Faulting in The Isparta Angle, SW Turkey, *Tectonophysics*, 298, 103–132.
- Granat R, Donnellan A, 2000, Unsupervised Learning for Geophysical Data Exploration, Hakone, Japan, 2nd Int'l ACES Workshop.
- Granat R, Donnellan A, Heflin M, Lyzenga G, Glasscoe M, Parker J, vd., 2021, Clustering Analysis Methods for GNSS Observations: A Data Driven Approach to Identifying California's Major Faults, *Earth and Space Science*, 8(11), 1-19.
- Hempton M R, 1985, Structure and Deformation History of Bitlis Suture Near Lake Hazar, Southeastern Turkey, *Bull Geol Soc Am*, 96, 233–243.
- Herring T A, King R W, McClusky S C, 2009, GAMIT Reference Manual, Release 10.4. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- Herring T A, King R W, Floyd M A, McClusky S C, 2018, Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10, 7, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Mass. Inst. of Technol.

- Jackson J, McKenzie D, 1984, Active Tectonics of Tthe Alpine–Himalayan Belt Between Western Turkey and Pakistan, *Geophys J R Astr Soc*, 77,185–264.
- Jimenez-Munt I, Sabadini R, Gardi A, Bianco G, 2003, Active deformation in The Mediterranean From Gibraltar to Anatolia Inferred From Numerical Modeling and Geodetic and Seismological Data, *Journal of Geophysical Research*,108(B1), 2006.
- Jolivet L A, 2001, Comparison of Geodetic and Finite Strain Pattern in The Aegean, *Geodynamic İmplications*, *Earth and Planetary Science Letters*,187,95-104.
- Kadirioğlu F T, Kartal R F, Kılıç T, Kalafat D, Duman T Y, Eroğlu Azak T, Özalp S, Emre Ö, 2016, An Improved Earthquake Catalogue ($M > 4.0$) for Turkey and Its Near Vicinity, *Bull Earthq Eng*, 16, 3317-3338.
- Ketchen D, Shook C L, 1996, The Application of Cluster Analysis in Strategic Management Research: An Analysis and Critique, *Strategic Management Journal*, 17(6), 441-458.
- Kılıç B, Özarpacı S, 2022, Ensemble Clustering in GPS Velocities: A Case Study of Turkey, *Applied Sciences*, 12(24),12636.
- Koçyiğit A, 1983, Hoyran Gölü (Isparta Büklümü) Dolayının Tektoniği, *TJK Bült*, 26,1–10.
- Koçyiğit A, Özacar A, 2003, Extensional Neotectonic Regime Through The NE Edge of Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data, *Turkish J Earth Sci*, 12,67–90.
- Koçyiğit A, Deveci Ş, 2007, Çukurören - Çobanlar (Afyon) Arasındaki Deprem Kaynaklarının (Aktif Fayların) Belirlenmesi, *TÜBİTAK*, Proje No: 106Y209.
- Kurt A İ, Özbakır A D, Cingöz A, Ergintav S, Doğan U, Özarpacı S, 2023, Contemporary Velocity Field For Turkey Inferred From Combination of A Dense Network of Long Term GNSS Observations, *Turkish J Earth Sci*, 31, TÜBİTAK.
- Le Pichon X, Chamot-Rooke C, Lallemand S, Noomen R, Veis G, 1995, Geodetic Determination of The Kinematics of Central Greece With Respect to Europe:

- Implications For Eastern Mediterranean Tectonics, *J Geophys Res*, 100,12675–12690.
- Le Pichon X, Şengör A M C, Demirbağ E, Rangin C, İmren C, Armijo R, vd., 2001, The Active Main Marmara Fault, *Earth Planet Sci Lett*, 192,595–616.
- Le Pichon X, Chamot-Rooke N, Rangin C, Şengör A M C, 2003, The North Anatolian Fault in The Sea of Marmara, *J Geophys Res* 108(B4), 2179.
- Liu C, Zheng Y, Xiong X, Wang R, López A, vd., 2015, Rupture Processes of The 2012 September 5 Mw 7.6 Nicoya, Costa Rica Earthquake Constrained by Improved Geodetic and Seismological Observations, *Geophysical Journal International*, 203, 175–183.
- MacQueen J, 1967, Some Methods For Classification and Analysis of Multivariate Observations, In *Proceedings of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1(14), 281-297.
- McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Ergintav S, Georgiev I, vd., 2000, Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in The Eastern Mediterranean and Caucasus, *J. Geophys. Res*, 105(B3), 5695 – 5720.
- Mckenzie D, 1970, Plate Tectonics of the Mediterranean Region, *Nature*, 226, 239–243.
- McKenzie D, 1972, Active Tectonics of The Mediterranean Region, *Geophysical Journal*, 30,109–186.
- McKenzie D P, 1978, Active Tectonics of The Alpine Himalayan Belt, The Aegean Sea and Surrounding Regions, *Geophysical Journal International*, 55, 217 – 252.
- McKenzie D P, Jackson J A, 1983, The Relationship Between Strain Rates, Crustal Thickening, Paleomagnetism, Finite Strain and Fault Movements Within A Deforming Zone, *Earth and Planetary Science Letters*, 65, 182 – 202.
- Nyst M, Thatcher W, 2004, New Constraints on The Active Tectonic Deformation of the Aegean, *Journal of Geophysical Research*, 109.
- Över S, Pinar A, Özden S, Yılmaz H, Can U, Kamacı Z, 2010, Late Cenozoic Stress Field in The Çameli Basin, SW Turkey, *Tectonophysics*, 492 ,60–72.

- Özarpacı S, Kılıç B, Bayrak O C, Özdemir A, Yılmaz Y, Floyd M, 2023, Comparative Analysis of The Optimum Cluster Number Determination Algorithms In Clustering GPS Velocities, *Geophysical Journal International*, 232,70–80.
- Özdemir S, Karslıoğlu O M, 2019, Soft Clustering of GPS Velocities From A Homogeneous Permanent Network In Turkey, *Journal of Geodesy*, 93, 1171-1195.
- Özener H, Arpat E, Ergintav S, Dogru A, Cakmak R, Turgut B, vd., 2010, Kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone, *Journal of Geodynamics*, 49, 141-150.
- Poyraz F, 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140s, İstanbul.
- Reilinger R E, McClusky S C, Oral M B, King W, Toksöz M N, 1997, Global Positioning System Measurements of Present-day Crustal Movements In The Arabian–Africa–Eurasia Plate Collision Zone, *Journal of Geophys Research*, 102, 9983–9999.
- Reilinger R, McClusky S, Vernant P, Lawrence S, Ergintav S, Çakmak R, vd., 2006, GPS Constraints on Continental Deformation In The Africa - Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications For The Dynamics of Plate Interactions, *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411.
- Rousseeuw P J, 1987, Silhouettes: A Graphical Aid To The Interpretation and Validation of Cluster Analysis, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53–65.
- Savage J C, Simpson R W, 2013a, Clustering of GPS Velocities In The Mojave Block, Southeastern California, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 118(4), 1747–1759.
- Savage J C, Simpson R W, 2013b, Clustering of Velocities In A GPS Network Spanning The Sierra Nevada Block, The Northern Walker Lane Belt, and The Central Nevada Seismic Belt, California– Nevada, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 118(9), 4937–4947.

- Seyitoğlu G, Aktuğ B, Esat K, Kaypak B, 2022, Neotectonics of Turkey (Türkiye) and Surrounding Regions: A New Perspective With Block Modelling, *Geologica Acta*, 20, 1-21.
- Simpson R W, Thatcher W, Savage J C, 2012, Using Cluster Analysis to Organize and Explore Regional GPS Velocities, *Geophysical Research Letters*, 39,18.
- Solak H İ, 2020, İzmir Balıkesir Transfer Zonu ile Kuzey Anadolu Fay Zonunun Güncel Deformasyon İlişkisinin GNSS Yöntemi ile İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 163, Afyon.
- Solak H İ, Tiryakioğlu İ, Özkaymak Ç, Sözbilir H, Aktuğ B, Yavaşoğlu H H, vd., 2024, Recent tectonics features of Western Anatolia based on half-space modeling of GNSS Data, *Tectonophysics*, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230194>.
- Sözbilir H, Uzel B, Sümer Ö, Eski S, Softa M, Tepe Ç, 2017a, 21 Temmuz 2017 Gökova Körfezi Depremleri ve Bölgenin Depremselliği Raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Raporu, 14s.
- Sözbilir H, Sümer Ö, Uzel B, Eski S, Tepe Ç, 2017b, Haziran 2017 Midilli Depremi (Karaburun Açıkları) ve Bölgenin Depremselliği, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Raporu, 14s.
- Şafak Ş, 2019, GNSS Hız Doğruluklarına Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Afyon.
- Şafak Ş, Tiryakioğlu İ, Erdoğan H, Solak H İ, Aktuğ B, 2020, Determination of Parameters Affecting the Accuracy of GNSS Station Velocities, *Measurement*, 164, 108003.
- Şaroğlu F, Güner Y, 1981, Doğu Anadolu'nun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Ögeler: Jeomorfoloji, Tektonik, Volkanizma İlişkileri, *TJK Bült*, 24, 39–50.
- Şaroğlu F, 1985, Doğu Anadolu'nun Neotektonik Dönemde Jeolojik ve Yapısal Evrimi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 240s, İstanbul.
- Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A, 1987, Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremselliği, MTA Derleme, No: 8174.

- Şaroğlu F, Güler B, 2020, Batı Anadolu Tektonik Kaması'nın Güncel Deformasyonu: Batıya Doğru Kaçıştan Kaynaklanan Blok Hareketleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 63 (2), 161-194.
- Şengel S H, Dogan M, 2013, Failure of Buildings During Sultandagi Earthquake, Engineering Failure Analysis, 35, 1-15.
- Şengör A M C, 1979a, The North Anatolian Transform Fault: Its Age, Offset and Tectonic Significance, Journal of the Geological Society, 136, 269–282.
- Şengör A M C, 1979b, Mid-Mesozoic Closure of Permo-Triassic Tethys and Its Implications, Nature, 279, 590–593.
- Şengör A M C, Görür N, Şaroğlu F, 1985, Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation In Zones of Tectonic Escape: Turkey as A Case Study, Strike-slip deformation, Basin Formation and Sedimentation Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 37, 227–264.
- Şengör A M C, Tuysuz O, İmren C, Sakinc M, Eyidogan H, Gorur G, vd., 2005, The North Anatolian Fault: A New Look, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33, 37–112.
- Takahashi A, Hashimoto M, Hu J C, Takeuchi K, Tsai M C, Fukahata Y, 2019, Hierarchical Cluster Analysis of Dense GPS Data and Examination of The Nature of The Clusters Associated With Regional Tectonics In Taiwan, Journal of Geophysical Research Solid Earth, 124, 5174–5191.
- Thatcher W, 2013, GPS Constraints on The Kinematics of Continental Deformation, International Geology Review, 45, 191-212.
- Thatcher W, Savage J C, Simpson R W, 2016, The Eastern California Shear Zone As The Northward Extension of The Southern San Andreas Fault, Journal of Geophysical Research Solid Earth, 121, 2904–2914.
- Tiryakioğlu İ, 2012, GNSS Ölçüleriyle Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 173s, İstanbul.

- Tiryakioğlu İ, Floyd M, Erdoğan S, Güral E, Ergintav S, vd., 2013, GPS Constraints On Active Deformation In The Isparta Angle Region of SW Turkey, *Geophysical Journal International*, 195,1455–1463.
- Tiryakioğlu İ, 2015, Geodetic Aspects of The 19 May 2011 Simav Earthquake In Turkey, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1, 76–89.
- Tiryakioğlu İ, Yiğit C Ö, Yavaşoğlu H, Saka M H, Alkan R M, 2017, The Determination of Interseismic, Coseismic and Postseismic Deformations Caused By The Gökçeada-Samothraki Earthquake (2014, Mw: 6.9) Based On GNSS Data, *Journal of African Earth Sciences*, 133, 86-94.
- Tiryakioğlu İ, Baybura T, Özkaymak Ç, Yılmaz M, Uğur M A, Yiğit C Ö, vd., 2018a, Current Tectonic Movements Monitoring in Akşehir-Sultandagi Fault Zone After the February 2002 (Mw: 6.2) Earthquake, *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017*, 22-25 October 2017.
- Tiryakioğlu İ, Aktuğ B, Yiğit C Ö, Yavaşoğlu H H, Sözbilir H, Özkaymak Ç, vd., 2018b, Slip Distribution and Source Parameters of The 20 July 2017 Bodrum-Kos Earthquake (Mw6.6) From Gps Observations, *Geodinamica Acta*, 30,1-14.
- Van Otterlo M, Wiering M, 2012, Reinforcement Learning and Markov Decision Processes, *Reinforcement Learning*, 12, 3-42.
- Westaway R, 1994, Present-day Kinematics of The Middle East and Eastern Mediterranean, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 99(B6), 12071-12090.
- Yavaşoğlu H H, Tiryakioğlu İ, Karabulut M F, Eyübagil E E, Özkan A, Masson F, vd., 2021, New Geodetic Constraints to Reveal Seismic Potential of Central Marmara Region, Turkey, *Bulletin of Geophysics and Oceanography*, 62,513-526.
- Yılmaz Y, 1993, New Evidence and Model on The Evolution of The Southeast Anatolian Orogen, *The Geological Society of America*, 105,251–271.

- Yılmaz Y, Yiğitbaş E, Genç Ş C, 1993, Ophiolitic Assemblages and Metamorphic of Southeast Anatolia and Their Significance in The Geological Evaluation of The Orogenic Belt, *Tectonics*, 12, 1280–1297.
- Yılmaz Y, 2017, Major Problems of Western Anatolian Geology, *American Geophysical Union*, 141-187.
- Yiğit C Ö, Tiryakioğlu İ, Saka H M, Alkan R M, 2015, GNSS-Derived Coseismic Displacement of The Gökçeada Earthquake (2014, Mw: 6.9) Based On 1 Hz GNSS Data, *European Geosciences Union, General Assembly*, 12-17 April 2015, Vienna, Austria.
- Yiğitbaş E, Yılmaz Y, 1996, Post-Late Cretaceous Strike-slip Tectonics and Its Implications for The Southeast Anatolian Orogen, Turkey, *International Geology Review*, 38, 818–831.
- Zelenin E A, Bachmanov D M, Garipova S T, Trifonov V G, Kozhurin A I, 2022, The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): The Ontology and Design Behind the Continental-scale Dataset, *Earth System Science Data*, 14, 4489-4503.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.gps.gov/>, 10.10.2023
- 2- https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/, 11.10.2023
- 3- <https://galileognss.eu/>, 15.10.2023
- 4- <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>, 16.10.2023
- 5- <https://www.aksehirpostasi.com/sultandagi-depremi-unutulmadi/24425/>, 25.10.2023
- 6- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/deprem/pdf/sigacik-depremi.pdf>, 10.11.2023
- 7- http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/depremler/onemliler/17_21ekim2005sigacikseferihisardepremleri.pdf, 12.11.2023
- 8- http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/raporlar/19052011_Simav-depremi_Turkce.pdf

f, 13.11.2023

9- <https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/3929/xfiles/ege-denizi-depremi-on-raporu-r.pdf>, 14.11.2023

10-http://udim.koeri.boun.edu.tr/Depremler/onemliler/24052014_1225TSIKuzeyEgeDeniziDepremi_.pdf,9.12.2023

11-<https://www.cnnturk.com/turkiye/marmarada-deprem-1>,11-12-2018

12-<https://deprem.aku.edu.tr/2017/08/21/merkezimiz-2017-bodrum-depremi-mw6-6-sonrasi-saha-calismalari-gerceklestirdi-2/>,10.12.2023

13-http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wpcontent/uploads/2017/06/12_HAZIRAN_2017_EGE_DENIZI_DEPREMI.pdf , 12.12.2023

14-<https://daum.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2020/11/Samos-Deprem-Raporu.pdf>, 13.12.2023

15-http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wpcontent/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf, 15.12.2023

16-https://eski.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=15067&tipi=3&sube=0, 17.12.2023

2023, 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(1),160-76.

Özbulat Ö, Şafak Yaşar Ş, Tiryakioğlu İ, 2022, Hassas Nokta Konumlama Yönteminde GNSS Ölçü Süresi - Konum Doğruluğu İlişkisinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(4), 814-23.

Şafak Ş, Tiryakioğlu İ, Erdoğan H, Solak H İ, Aktuğ B, 2020, Determination of Parameters Affecting the Accuracy of GNSS Station Velocities, Measurement, 164, 108003.

Şafak Yaşar Ş, Eyübagil E E, Çakanşimşek E B, 2023, 23.11.2022 (Mw:5.9) Gölyaka-Düzce Depreminde TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Davranışlarının İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23 3, 712–721.

Tiryakioğlu İ, Solak H İ, Aktuğ B, Özener H, Yavaşoğlu H H, Yiğit C Ö, Uğur M A, Şafak Yaşar Ş, Baybura T, Yılmaz M, Poyraz F, Hastaoğlu K, Gülal V E, 2022, Batı Anadolu'daki Jeodezik Çalışmalar ve Ön Sonuçları, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2022 Yılı Bilimsel Toplantısı, 02-04 Kasım 2022, Gebze.