

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURSA BÖLGESİ DEPREMLERİ ve YERLEŞİMLER  
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yelçin UTKUCU**

**Afet Yönetimi Anabilim Dalı**

**OCAK 2025**



**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURSA BÖLGESİ DEPREMLERİ ve YERLEŞİMLER  
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yelçin UTKUCU**

**Afet Yönetimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. İsmail Hakkı DEMİR**

**OCAK 2025**



Yelçin UTKUCU tarafından hazırlanan “Bursa Bölgesi Depremleri ve Yerleşimler Üzerindeki Etkileri” adlı tez çalışması 29.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Afet Yönetimi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Tez Jürisi**

**Jüri Başkanı :** **Doç.Dr. İsmail Hakkı DEMİR** (Danışman)  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** **Doç.Dr. Tahir AKGÜL**  
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** **Dr. Öğr. Üyesi Şefik RAMAZANOĞLU**  
Sakarya Üniversitesi



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Bursa Bölgesi Depremleri ve Yerleşimler Üzerindeki Etkileri” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(19/12/2024).

Yelçin UTKUCU





*Kıymetli eşim Murat UTKUCU'ya ve çocuklarım Mustafa Ekrem ve Yavuz Selim'e*



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde çok değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, kıymetli vaktini ayırıp desteğini esirgemeyen, çalışmanın başlangıç ve bitişine kadar yardımcı ve yol gösterici olan kıymetli hocam sayın Doç.Dr.İsmail Hakkı DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmadaki haritaların çizdirilmesi sırasında Dr.Murat UTKUCU'dan ve tezin enstitü yazım şablonuna göre düzenlenmesinde Dr. Fatih UZUNCA'dan yardım alınmıştır. Her iki araştırmacıya da teşekkürü borç bilirim.

Haritalar Generic Mapping Tool (GMT) yazılımı (Wessel ve Smith 1998) kullanılarak çizdirilmiştir.

Her konuda olduğu gibi bu süreçte de daima yanımda olan, desteğini esirgemeyen, beni yüreklendiren eşim Murat UTKUCU'ya ve varlıklarıyla her zaman yükümü hafifleten, mutluluk vesilem canım çocuklarıma teşekkür ederim.

Yelçin UTKUCU



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....                              | v     |
| TEŞEKKÜR .....                                                                 | ix    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                              | xi    |
| KISALTMALAR .....                                                              | xiii  |
| SİMGELER .....                                                                 | xv    |
| TABLO LİSTESİ .....                                                            | xvii  |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                            | xix   |
| ÖZET .....                                                                     | xxi   |
| SUMMARY .....                                                                  | xxiii |
| 1. GİRİŞ.....                                                                  | 1     |
| 1.1. Çalışmanın Amaç ve Önemi .....                                            | 1     |
| 1.2. Türkiye'nin genel tektoniği .....                                         | 2     |
| 1.3. Marmara Bölgesi'nin tektoniği .....                                       | 3     |
| 1.4. Marmara Bölgesi'nin Deprem Etkinliği .....                                | 4     |
| 2. YÖNTEM.....                                                                 | 7     |
| 2.1. Tarihi Depremlerin Derlenmesi .....                                       | 7     |
| 2.2. Deprem İstatistiği .....                                                  | 7     |
| 3. BULGULAR .....                                                              | 11    |
| 3.1. Bursa Bölgesi Tarihi Depremleri .....                                     | 11    |
| 3.1.1. Eylül 1065 İznik Depremi ( $M_S=6.8$ ) .....                            | 11    |
| 3.1.2. 26 Kasım 1143 Bursa Depremi ( $M_S=6.4$ ) .....                         | 11    |
| 3.1.3. 12 Mayıs 1327 Karacabey Depremi ( $M_S=6.4$ ) .....                     | 11    |
| 3.1.4. 15 Mart 1419 Bursa Depremi ( $M_S=7.2$ ) .....                          | 12    |
| 3.1.5. 10 Eylül 1509 İstanbul Depremi ( $M_S=7.2$ ) .....                      | 12    |
| 3.1.7. 25 Mayıs 1719 İzmit Depremi ( $M_S=7.4$ ) .....                         | 12    |
| 3.1.8. 2 Eylül 1754 İzmit Depremi ( $M_S=6.8$ ) .....                          | 13    |
| 3.1.9. 22 Mayıs 1766 Doğu Marmara Denizi-İstanbul Depremi ( $M_S=7.1$ ) .....  | 13    |
| 3.1.10. 5 Ağustos 1766 Batı Marmara Denizi-Gelibolu Depremi ( $M_S=7.4$ ) .... | 13    |
| 3.1.11. 28 Şubat 1855 Bursa Depremi ( $M_S=7.1$ ) .....                        | 13    |
| 3.1.12. 11 Nisan 1855 Bursa Depremi ( $M_S=6.3$ ) .....                        | 14    |
| 3.1.13. 10 Temmuz 1894 İstanbul Depremi ( $M_S=7.3$ ) .....                    | 14    |
| 3.1.14. 6 Ekim 1964 Manyas Depremi ( $M_S=6.8$ ) .....                         | 15    |
| 3.2. Bölgede Depremlerin Yerleşimler Üzerindeki Etkilerine Örnekler .....      | 15    |
| 3.3. Deprem İstatistiği .....                                                  | 20    |
| 3.3.1. Kullanılan veri .....                                                   | 20    |
| 3.3.2. Bursa Bölgesi G-R bağıntısı ve deprem tehlikesi .....                   | 25    |
| 3.4. Fay Hendeği Çalışmaları .....                                             | 28    |
| 3.5. Tartışma .....                                                            | 29    |
| 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                  | 33    |
| KAYNAKLAR .....                                                                | 35    |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                 | 41    |



## KISALTMALAR

|                      |                                                      |
|----------------------|------------------------------------------------------|
| <b>AD</b>            | : Anna Domina (Milattan Sonra)                       |
| <b>BBZ</b>           | : Bitlis Bindirme Zonu                               |
| <b>CSSB</b>          | : Cumhuriyet Başkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı |
| <b>DAFZ</b>          | : Doğu Anadolu Fay Zonu                              |
| <b>G-R</b>           | : Gutenberg-Richter                                  |
| <b>GTU</b>           | : Gebze Teknik Üniversitesi                          |
| <b>ISC</b>           | : International Seismological Centre                 |
| <b>KAFZ</b>          | : Kuzey Anadolu Fay Zonu                             |
| <b>KD</b>            | : Kuzey Doğu                                         |
| <b>KRDAE</b>         | : Kandilli Rasthane Deprem Araştırma Enstitüsü       |
| <b>M<sub>c</sub></b> | : Tamamlılık magnitudü veya büyüklüğü                |
| <b>M<sub>h</sub></b> | : Hedeflenen magnitudü veya büyüklük                 |
| <b>M<sub>s</sub></b> | : Yüzey dalgası magnitudü veya büyüklüğü             |
| <b>MS</b>            | : Milattan Sonra                                     |
| <b>M<sub>w</sub></b> | : Moment magnitudü veya büyüklüğü                    |
| <b>NEIC</b>          | : Ulusal Deprem Bilgi Merkezi                        |
| <b>USGS</b>          | : Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu              |



## SİMGELER

|                         |                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>*</b>                | : Çarpma işlemi                               |
| <b>/</b>                | : Bölme işlemi                                |
| <b>≥</b>                | : Büyük ya da eşit                            |
| <b>%</b>                | : Yüzde Oranı                                 |
| <b>a</b>                | : a-değeri (sabit parametre)                  |
| <b>b</b>                | : b-değeri (sabit parametre)                  |
| <b>ΔT</b>               | : Katalog zaman aralığı                       |
| <b>N</b>                | : Kümülatif deprem sayısı                     |
| <b>M</b>                | : Magnitüd veya büyüklük                      |
| <b>M<sub>h</sub></b>    | : Hedeflenen magnitüd veya büyüklük           |
| <b>M<sub>mean</sub></b> | : Ortalama magnitüd veya büyüklük             |
| <b>M<sub>min</sub></b>  | : Minimum tamamlılık magnitüdü veya büyüklüğü |
| <b>M<sub>s</sub></b>    | : Yüzey Dalgası magnitüdü veya büyüklüğü      |
| <b>M<sub>w</sub></b>    | : Moment magnitüdü veya büyüklüğü             |
| <b>TR</b>               | : Deprem tekrarlanma zamanı                   |
| <b>R</b>                | : Deprem Riski                                |
| <b>T</b>                | : Hedeflenen gelecekteki zaman dilimi         |



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1.1.</b> Marmara Bölge'sinde MS1000 yılından sonra meydana gelmiş üçü hariç büyüklüğü $M_s \geq 6.8$ olduğu düşünülen depremlerin dağılımı (Ambraseys ve Finkel,1991; Papazachos ve Papazachou, 1997; Ambraseys, 2000; Ambraseys, 2002'den derlenmiştir). Dış merkez dağılım haritası için Şekil 1.2'ye bakınız. .... | 5  |
| <b>Tablo 3.1.</b> Keskin (2015)'in çalışmasında verilen bilgilerden hareketle derlenen Bursa'da deprem hasarı almış yapılar. ....                                                                                                                                                                                              | 18 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Tarihi kaynak ve belgelerden Özaydın (2017) tarafından derlenen 1855 Bursa depremlerinde yıkılmış ve az-çok hasar görmüş camiler-mescitler, türbeler, mektepler-medreseler, hanlar, çarşılar, dergahlar-tekke ve zaviyeler, kaplıcalar ve kamu yapıları. ....                                                | 19 |
| <b>Tablo 3.3.</b> Bursa Bölgesi'nde G-R bağıntısından belirlenen a-değeri ve b-değeri kullanılarak hesaplanan hedeflenen 3 büyüklük değeri için deprem tekrarlanma aralıkları ve önümüzdeki 30 ve 50 yıl içinde gerçekleşme olasılıkları.....                                                                                  | 28 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

- Şekil 1.** Türkiye'nin genel tektonik unsurlarını gösteren harita. Kırmızı dikdörtgen çalışmada odaklanılan bölgeyi çevrelemektedir. Oklar levha hareket yönlerini göstermektedir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BBZ: Bitlis Bindirme Zonu. .... 3
- Şekil 2.** Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara Bölgesi içinde uzanımı ve MS1000 yılından sonra meydana gelmiş üçü (kırmızı yıldızlar) hariç büyüklüğü  $M_S \geq 6.8$  depremlerin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları. Kırmızı dikdörtgen çalışmada odaklanılan Bursa Bölgesi'ni çevrelemektedir. Depremlerin odak parametreleri Tablo 1.1'de listelenmiştir. .... 4
- Şekil 3.** USGS NEIC deprem kataloğundaki kayıtlı 1968-1997 dönemi tüm  $M_S \geq 5.0$  depremler için belirlenen G-R bağıntısı. b-değeri yaklaşık 1'dir. (Stein and Wyssession (2003)'den değiştirilmiştir). .... 8
- Şekil 4.** 6 Ekim 1964 Manyas Depremi eşşiddet haritası (Erentöz ve Kurtman 1964'den alınmıştır). .... 14
- Şekil 5.** MS117-138 yılları arasında imparator Hadrianus zamanında yapılan İznik'deki İstanbul Kapı'da deformasyon izleri (Adatepe Arşivi, Adatepe ve Erel 2006'dan alınmıştır). .... 16
- Şekil 6.** İznik yerleşimi Güney sur duvarlarındaki düşey ötelenmeler (Adatepe Arşivi, Adatepe ve Erel 2006'dan alınmıştır). .... 17
- Şekil 7.** Kullanılan ham katalogdan 1970 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_W \geq 2.5$  depremlerin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları. .... 20
- Şekil 8.** Kullanılan ham katalogdan 1970 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_W \geq 2.5$  depremlerin (a) kümülatif sayı (cumulative number)- ve (b) büyüklük-zaman (time) dağılımları. Her iki grafik de yaklaşık 1977 yılı sonrası kataloğun daha homojen hale geldiğini göstermektedir. .... 21
- Şekil 9.** Kullanılan katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_W \geq 2.5$  depremlerin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları. .... 22
- Şekil 10.** Kullanılan katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_W \geq 2.5$  depremlerin (a) kümülatif sayı (cumulative number)-zaman (time) ve (b) tamamlılık büyüklüğü ( $M_C$ ) zaman evrimi. Zaman evrimi 150 depremlik kayan bir zaman penceresinden hesaplanmıştır. .... 22
- Şekil 11.** Kullanılan katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_W \geq 2.8$  depremlerin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları. .... 23
- Şekil 12.** Kullanılan katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_W \geq 2.8$  depremlerin (a) kümülatif sayı (cumulative number)- ve (b) büyüklük-zaman (time) dağılımları. .... 24
- Şekil 13.** 1977 yılı sonrası  $M_W \geq 2.8$  depremleri içeren arındırılmış katalogda yer alan 1536 depremin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları. .... 24
- Şekil 14.** 1977 yılı sonrası  $M_W \geq 2.8$  depremleri içeren arındırılmış katalogda yer alan deprem sayılarının (a) kümülatif sayıları (cumulative number)-zaman

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| (time) dağılımı ve (b) magnitüd-sayı (number) ve (c) zaman-sayı histogramları.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 25 |
| <b>Şekil 15.</b> 1977 yılı sonrası $M_w \geq 2.5$ depremleri içeren ham katalogda yer alan depremlerin magnitüd-sayı (number) histogramı. Katalogdaki depremlerin dış merkez dağılımları için Şekil 3.6'ya bakınız. ....                                                                                                                                                                                                                               | 26 |
| <b>Şekil 16.</b> Bursa Bölgesi için 1977-2020 yılları arasını kapsayan arındırılmış katalogdan belirlenen G-R bağıntısı ve hesaplanan parametreleri. Hesaplama En Büyük Olasılık Yöntemi (Maximum Likelihood Method) kullanılmış ve çözüm (solution) grafik altında sunulmuştur. Magnitude of completeness: tamamlılık büyüklüğü, Cumulative number: kümülatif sayı, b-value: b-değeri, a-value: a-değeri ve a-value (annual): a-değeri (yıllık). .... | 27 |
| <b>Şekil 17.</b> Bursa Bölgesi için 1977-2020 yılları arasını kapsayan arındırılmış katalogdan belirlenen G-R bağıntısı b-değerinin (b-value) hesaplanan zaman (time) içindeki değişimleri. Kesikli çizgiler b-değeri standart sapma ( $\delta b$ ) aralığına karşılık gelmektedir. ....                                                                                                                                                               | 27 |
| <b>Şekil 18.</b> Literatür taramasında ulaşılan Bursa Bölgesi'nde yapılmış fay hendeği çalışmaları ve konumları. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 29 |
| <b>Şekil 19.</b> 27 Ocak 2025 Nilüfer (Bursa) depremi ( $M=4.0$ ) ve artçı depremlerinin dış merkez dağılımları. Konumlar KRDAE'den alınmıştır. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 31 |

## BURSA BÖLGESİ DEPREMLERİ ve YERLEŞİMLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

### ÖZET

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) olarak adlandırılan iki önemli fay sistemi Türkiye’de deprem tehlikesinin en önemli kaynağı olan tektonik unsurlar olup gerek tarihsel (1900 yılı öncesi) dönemde gerekse aletsel (1900 yılı sonrası) dönemde büyük ve yıkıcı depremler üretmişlerdir. Kuzey Anadolu Fay Zonu, Marmara Bölgesi’nde Kuzey, Orta ve Güney kollar olarak isimlendirilen üç kol halinde uzanmaktadır. Bu kollardan özellikle Kuzey Kol’un diğer kollara göre çok daha diri-aktif olduğu ve Orta ve Güney kolların da birbirine benzer diriliğe-aktifliğe sahip oldukları önceki çalışmalarda belirlenmiştir.

Marmara Bölge’sinde MS1000 yılından sonra meydana gelmiş 26 Kasım 1143 Bursa ( $M_S=6.4$ ), 12 Mayıs 1327 Karacabey ( $M_S=6.4$ ) ve 11 Nisan 1855 Bursa ( $M_S=6.3$ ) depremleri hariç, büyüklüğü  $M_S \geq 6.8$  olduğu düşünülen 31 depremin meydana geldiği belirlenmiştir. Bu depremlerin büyük çoğunluğu dirilik farkını doğrular şeklinde Kuzey Kol üzerinde meydana gelmiştir.

Bu çalışmada Türkiye’de deprem riskinin en yüksek olduğu Marmara Bölgesi’nde Bursa ve İznik gibi önemli iki tarihsel yerleşimi ve yakın çevresini içeren ve burada Bursa Bölgesi olarak isimlendirilen bölgede deprem tehlikesi ve depremlerin yerleşimler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bursa Bölgesi olarak seçilen alan  $39.8^\circ$ - $40.6^\circ$  Kuzey enlemleri ile  $27.75^\circ$ - $30.25^\circ$  Doğu boylamları arasında kalan bölgedir. Seçilen bölgede Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun Orta ve Güney kolları uzanmaktadır. Özellikle MS1000 sonrası Bursa Bölgesi’ni etkileyen önemli depremler ve oluşturdukları etkiler tarihi deprem çalışmalarından derlenmiştir. Ayrıca 1970 yılı sonrası aletsel dönem deprem etkinliğinin istatistiksel analizi yapılarak deprem tehlikesi matematiksel olarak değerlendirilmiştir.

Kuzey Kol üzerindeki depremlerin Bursa Bölgesi’nde görece daha az etki oluşturduğu belirlenmiştir. MS1000 yılı sonrası Bursa Bölgesi’nde görece büyük etki oluşturan depremlerin Orta ve Güney kolları üzerinde oluşan 1065 İznik, 1143 Bursa, 1327 Karacabey, 1419 Bursa, 1556 Güney Marmara Denizi-Erdek ve Şubat-Nisan 1855 Bursa depremlerinin olduğu görülmüştür. Büyük depremlerin bölgedeki yerleşimlerde refah seviyesini etkileyen ve hatta oluşturdukları sosyal ve ekonomik zayıflıkla düşman işgaline yol açan sonuçlar doğurduğuna dair bilgilere ulaşılmıştır. Bölgedeki yerleşimlerdeki tarihi ve kültürel eserlerinin gördükleri hasarlar ve onarımlara dair aralarında Bursa Ulu Camii ve İznik’deki bir su kemerinin olduğu birçok örnek sunulmuştur.

Bursa Bölgesi’ndeki faylar boyunca açılan fay hendeklerinden sıralanan depremlere kanıtlar önceki çalışmalardan elde edilmiştir. Manyas civarındaki fay hendeğinden son iki deprem arasında  $1964-1327=637$  yıl deprem tekrarlanma aralığı olduğu anlaşılmıştır. Bursa’nın hemen batısındaki fay hendeğinden son iki deprem arasında  $1855-1143=712$  yıl bir zaman aralığı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla fay hendeği

alışmaları Güney Kol boyunca bir konumda 650-700 yıl civarı bir zaman aralıklarıyla büyük depremlerin oluştuğu önerilmiştir.

Bursa Bölgesi'nde deprem istatistiği için başlangıçta 1970 ile 2020 yılları arasını kapsayan  $M_W \geq 2.5$  depremlerden oluşan bir veri önceki bir çalışmada verilen Türkiye homojen depremsellik kataloğundan seçilmiştir. İstatistiksel hesaplamalar öncesi depremsellik kataloğu ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiş ve kataloğun 1977 yılı sonrası daha homojen hale geldiği ve  $M_W \geq 2.7$  depremler için tam olduğu grlmştir. Büyük olasılıkla 1977 yılı sonrası deprem izleme ve kayıt ağında bir iyileşme olduğu değerlendirilmiştir. Bundan dolayı daha da güvenilir bir istatistiksel analiz için 1977 yılı sonrası  $M_W \geq 2.8$  depremleri içeren yeni bir katalog oluşturularak arındırma işlemi uygulanmıştır. Arındırma işlemiyle nc ve artçı depremler olabildiğince matematik olarak ayıklanarak sadece normal deprem etkinliği elde edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle toplamda 1536 adet deprem içeren sonuç deprem kataloğu inceleme bölgesi için deprem istatistiğinin temel bağıntısı Gutenberg-Richter bağıntısının elde edilmesinde kullanılmıştır.

Hesaplanan Gutenberg-Richter bağıntısından a-değeri (yıllık) 4.81 ve b-değeri 1.17 olarak belirlenmiştir. Gutenberg-Richter bağıntısındaki a-değeri (yıllık) ve b-değeri kullanarak Bursa Bölgesi'nde hedeflenen 3 büyüklük değeri ( $M_h=6.5, 6.8$  ve  $7.0$ ) için deprem tekrarlanma aralıkları 624, 1399 ve 2398 yıl olarak hesaplanmıştır. Bursa Bölgesi'nde belirtilen büyüklüklerdeki depremlerin istatistiki olarak önümüzdeki 30 yıl içinde olma olasılıklarının sırasıyla %5, %2 ve %1 olduğu belirlenmiştir.

Fay hendeği çalışmalarından belirlenen 650-700 yıllık tekrarlanma zamanının deprem istatistiğinden  $M_W=6.5, 6.8$  ve  $7.0$  büyüklükleri için hesaplanan sırasıyla 624, 1399 ve 2398 yıllık deprem tekrarlanma zamanları ile karşılaştırılabilir olduğu değerlendirilmiştir. Orta Kol boyunca oluşan 1419 Bursa depreminden bu yana 605 yıl ve 1556 Güney Marmara Denizi-Erdek depreminden bu yana 468 yıl geçtiği düşünüldüğünde büyük deprem tekrarlanma aralığının dolmaya yakın olduğu önerilmiştir. Hesaplanan b-değeri zaman değişimlerinin 2006 yılı sonrası gösterdiği düşüş bu artan deprem tehlikesinin bir belirteci olarak yorumlanmıştır.

Bursa Bölgesi'ndeki büyük depremlerin önemli ölçüde afetlere yol açtığı ve gelecekte de bir deprem tehlikesinin olduğu düşünüldüğünde afet yönetimi bağlamında deprem tehlikesinin yapılacak çalışmalarla devamlı güncellenmesi, güncellenen tehlike temelli deprem senaryolarının hazırlanması ve deprem riskinin azaltılması gerektiği önerilmiştir.

## **BURSA REGION EARTHQUAKES AND THEIR IMPACTS ON THE SETTLEMENTS**

### **SUMMARY**

The main cause of tectonic activity in Türkiye is due to the northward movement of the Arabian and African plates relative to the Anatolian Plate. As a result, the Anatolian Plate moves westward along two strike-slip fault systems called the North Anatolian Fault Zone and the East Anatolian Fault Zone. The former is a right-lateral strike-slip fault between the Eurasian and Anatolian plates and the latter is a left-lateral strike-slip fault between the Arabian and Anatolian plates.

Being major fault systems and constituting the plate boundaries the North Anatolian Fault Zone and the East Anatolian Fault Zone are the tectonic elements that are the most important source of earthquake hazard in Türkiye. They produced frequent large and destructive earthquakes both in the historical (before 1900) and instrumental (after 1900) periods.

The North Anatolian Fault Zone extends in three fault branches in the Marmara Region, called as the Northern, Middle and Southern branches. The Northern Branch passes Akyazı, Sapanca, Gölcük, Karamürsel, south of Princess Islands, offshore İstanbul, Silivri and Tekirdağ, Gelibolu Peninsula and reaches Saros Gulf in the Northern Aegean Sea.

The Middle Branch passes Geyve, İzmit, Gemlik, Bandırma, Karabiga and reaches to the Northern Aegean Sea. The Southern Branch passes Yenişehir, Bursa, Manyas, Gönen, Yenice, Edremit and reaches to the Northern Aegean Sea.

It has been previously determined that especially the Northern Branch is much more active than the other branches, and that the Middle and Southern branches have similar activity rate.

Excluding the earthquakes of the 26 November 1143 Bursa ( $M_s = 6.4$ ), the 12 May 1327 Karacabey ( $M_s = 6.4$ ) and the 11 April 1855 Bursa ( $M_s = 6.3$ ) earthquakes, 31 earthquakes which were considered to have magnitude  $M_s \geq 6.8$  occurred in the Marmara Region after AD1000. The majority of these earthquakes occurred on the Northern Branch, confirming its major role in plate kinematics and the difference in the activity rates among the fault branches.

In this study, the earthquake hazard and earthquake impacts on the settlements were investigated in the region (called as the Bursa Region here) that contains two important historical settlements such as Bursa and İzmit and their immediate surroundings within the Marmara Region, where the earthquake risk is highest in Türkiye. The area selected as the Bursa Region is the region between 39.8°-40.6° Northern latitudes and 27.75°-30.25° Eastern longitudes. The Middle and Southern branches of the North Anatolian Fault Zone extend in the selected region, causing high seismic activity that include large and destructive earthquakes.

The important earthquakes and their impacts, especially after AD1000, were compiled from the historical earthquake studies and the earthquake catalogues . In addition, the earthquake hazard was mathematically assessed from the statistical analysis of the seismic activity after 1970. It was determined that the earthquakes on the Northern Branch have relatively less impact on the Bursa Region compared to the earthquakes on the Middle and Southern fault branches.

It was further determined that the earthquakes that had relatively large impacts on the Bursa Region after AD1000 were the September 1065 İznik, the 26 November 1143 Bursa, the 12 May 1327 Karacabey, the 15 March 1419 Bursa, the 10 May 1556 Southern Marmara Sea-Erdek and the 28 February-11 April 1855 Bursa earthquakes, which occurred on the Middle and Southern fault branches.

The effects of the March 1855 Bursa earthquake were most documented one in the historical sources. Some of these effects were presented here to exemplify the impact of the earthquakes in the study area. Information was obtained related to the major earthquakes, which had produced consequences that affect the welfare level of the settlements in the region and even lead to enemy occupation due to the social and economic weakness they caused.

Many examples of the damages and repairs to historical and cultural monuments in the settlements in the region, including the Bursa Grand Mosque and an aqueduct in İznik, were presented.

Evidence from the fault trenches along the faults for the listed earthquakes in the Bursa Region were obtained from the previous studies. Traces of the 1419 Bursa and 1857 Gemlik earthquakes were found in a trench excavated along the Middle Branch in the east of Gemlik. Traces of the 14 earthquakes in the last 2000 years were presented within the sediments under the Lake İznik, through the analysis of the taken sediments cores. A fault displacement of 0.5 meter belonging to the 1065 İznik earthquake was also documented.

Traces of the fault ruptures of the 1327 Karacabey and 1964 Manyas earthquakes were obtained in a trench along the Southern Branch digged near Manyas. It was understood from this fault trench that there was an earthquake recurrence interval of  $1964-1327 = 637$  years between the last two earthquakes along the Southern Branch.

In a trench excavated in the immediate west of Bursa along the Southern Branch, traces of the 1143 and 1855 Bursa earthquakes were documented. A time interval of  $1855-1143 = 712$  years between the last two earthquakes were obtained from this fault trench along the Southern Branch.

Therefore, the fault trench studies suggested that the major earthquakes may have occurred along the Southern Branch at average time intervals of 650-700 years. Considering the similarity of fault activity between the Middle and Southern fault branches and that the last earthquakes that occurred along the Middle Branch were 1419 Bursa and 1556 Bandırma earthquakes the average large earthquake time interval is close to be completed.

For earthquake statistics in the Bursa Region, a data consisting of  $M_w \geq 2.5$  earthquakes covering the period between 1970 and 2020 was initially selected from the homogeneous Türkiye seismicity catalogue given in a previous study. This catalogue had been generated from the catalogues of The Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute and International Seismology Center.

Before statistical calculations, the seismicity catalogue, which include 4809  $M_w \geq 2.5$  earthquakes, was analysed in detail and it was seen that the catalogue became more homogeneous after 1977 and was complete for  $M_w \geq 2.7$  earthquakes. It has been evaluated that there was probably an improvement in the earthquake monitoring and recording network after 1977.

Therefore, for a more reliable statistical analysis, a new catalogue containing  $M_w \geq 2.8$  earthquakes after 1977 was generated and a declustering process was applied. With the declustering process, foreshocks and aftershocks were mathematically eliminated as much as possible and only normal earthquake activity was strived to be obtained.

Thus, the resulting earthquake catalogue, which includes a total of 1536 earthquakes, was used to obtain the Gutenberg-Richter Relationship, the basic and widely known relationship of earthquake statistics, for the study region. Gutenberg-Richter Relationship is the relation between the magnitudes and numbers of earthquakes.

The Gutenberg-Richter Relationship is defined as  $\log N(M) = a - bM$ . Here,  $N$  is cumulative number of earthquakes with a magnitude exceeding a given magnitude  $M$  while  $a$ -value and  $b$ -value are constants.  $a$ -value is related to seismic activity level and  $b$ -value is inversely related to the crustal stresses.

After determining  $a$ -value and  $b$ -value in Gutenberg-Richter Relationship recurrence times and the statistical probability of occurrence of the earthquakes of given magnitudes within a given future time interval can be determined. This analysis allows statistical determination of the earthquake hazard.

From the calculated Gutenberg-Richter relationship, the  $a$ -value (annual) and  $b$ -value were determined to be 4.81 and 1.17, respectively. Using the  $a$ -value (annual) and  $b$ -value in the Gutenberg-Richter relationship, earthquake recurrence intervals for the 3 targeted magnitudes ( $M_h = 6.5, 6.8$  and  $7.0$ ) in Bursa Region were calculated as 624, 1399 and 2398 years, respectively.

Using the estimated  $a$ -value and  $b$ -value of Gutenberg-Richter relationship it was determined that the statistical probability of occurrence of the targeted earthquakes (e.g.  $M_h = 6.5, 6.8$  and  $7.0$ ) in the Bursa Region in the next 30 years to be 5%, 2% and 1%, respectively.

The 650-700 years recurrence time determined from the fault trench studies is comparable to the earthquake recurrence times of 624, 1399 and 2398 years calculated from the earthquake statistics for the magnitudes  $M_w = 6.5, 6.8$  and  $7.0$ , respectively.

Considering that 605 years have elapsed since the 1419 Bursa earthquake and 468 years since the 1556 South Marmara Sea-Erdek earthquake along the Middle Branch, it is suggested that the large earthquake recurrence interval is close to be fulfilled. The decline in the calculated  $b$ -value time variations after 2006 was interpreted as an indication of this increasing earthquake hazard, regarding its inverse relation with the crustal stresses.

Taking into account that major earthquakes in the Bursa Region caused significant disasters in the history and that there is a serious earthquake hazard in the future, it has been suggested that the earthquake hazard should be continuously updated in the context of disaster management. Updated hazard-based earthquake scenarios should be prepared to have an idea about earthquake risk.

The large number of historical and cultural monuments, population density and industrial development in the settlements in the region would cause high earthquake

risk, which was also pointed out in the previous studies. Therefore it necessary to prioritize earthquake disaster mitigation activities in the region. All of these activities require better and integrated disaster mangement approaches to mitigate earthquake losses in the study area.



## 1. GİRİŞ

### 1.1. Çalışmanın Amaç ve Önemi

Depremler en fazla tekrarlayan afetler arasında yer almaktadır (Smith, 2000). Artan nüfus ve gelişen endüstri ve teknoloji ile bağlantılı olarak Dünya'nın gelişmiş ve şehirleşmiş bölgelerinde meydana gelen depremlerin oluşturdukları afetlerin boyutları da önceden görülmemiş bir şekilde artmış ve sosyal ve ekonomik hayatta önemli kesintilere yol açmıştır (Ambraseys, 2009; Bilham, 2012). Modern dünyada, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, depremler ekonomik ve siyasi krizlere, vergi artışlarına ve beklenmedik durumlara neden olmaktadır. Günümüzdeki teknoloji seviyesinde depremleri tamamen önlemek mümkün olmadığından deprem riskinin azaltılmasının önemi artmaktadır.

Deprem riski hem doğal faktörlerle hem de tehlikeli alanlardaki insan yapılaşmasıyla ilgilidir (Smith, 2000; Ambraseys, 2009). Dolayısıyla deprem riski aşağıdaki basit formülle ifade edilebilir;

$$\text{Deprem Riski} = \text{Deprem Tehlikesi} * \text{Yapısal Hasar Görebilirlik} * \text{Fiziksel Maruziyet} / \text{Hazırlık}$$

Deprem riskinin elemanlarının belirlenmesi multidisipliner bir yaklaşımı gerektirmektedir. Özellikle sismotektonik, mühendislik sismolojisi, inşaat mühendisliği, deprem mühendisliği, zemin mühendisliği, afet yönetimi, şehir planlama gibi bilim dalları bu bağlamda öncelikle ifade edilebilir (Kramer, 1996). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde fakirlik, rüşvet ve cehaletin, can kayıplarının artmasında önemli unsurlar oldukları belirlendiğinden (Bilham, 2012), ekonomi, sosyoloji, psikoloji ve kamu yönetimi bilim dalları da ifade edilmelidir.

Türkiye'de 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Pazarcık ( $M_w = 7.8$ ) ve Elbistan ( $M_w = 7.6$ ) depremleri büyük depremlerin modern yaşamda ne kadar etkili olabileceklerini göstermiş (Zilio ve Ampuero, 2023; GTU, 2023; Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı-CSBB, 2023) ve 17 Ağustos 1999 İzmit ( $M_w = 7.4$ ) ve 12 Kasım 1999 Düzce ( $M_w = 7.1$ ) depremleri ile oluşan felaketi (Aktürk ve Albeni, 2002) gölgede

birakacak bir felaket oluşmuştur. Sosyal ve ekonomik hayattaki kesinti sadece deprem bölgesi ile sınırlı kalmamış tüm Türkiye alanına yayılan bir etki göstermiştir.

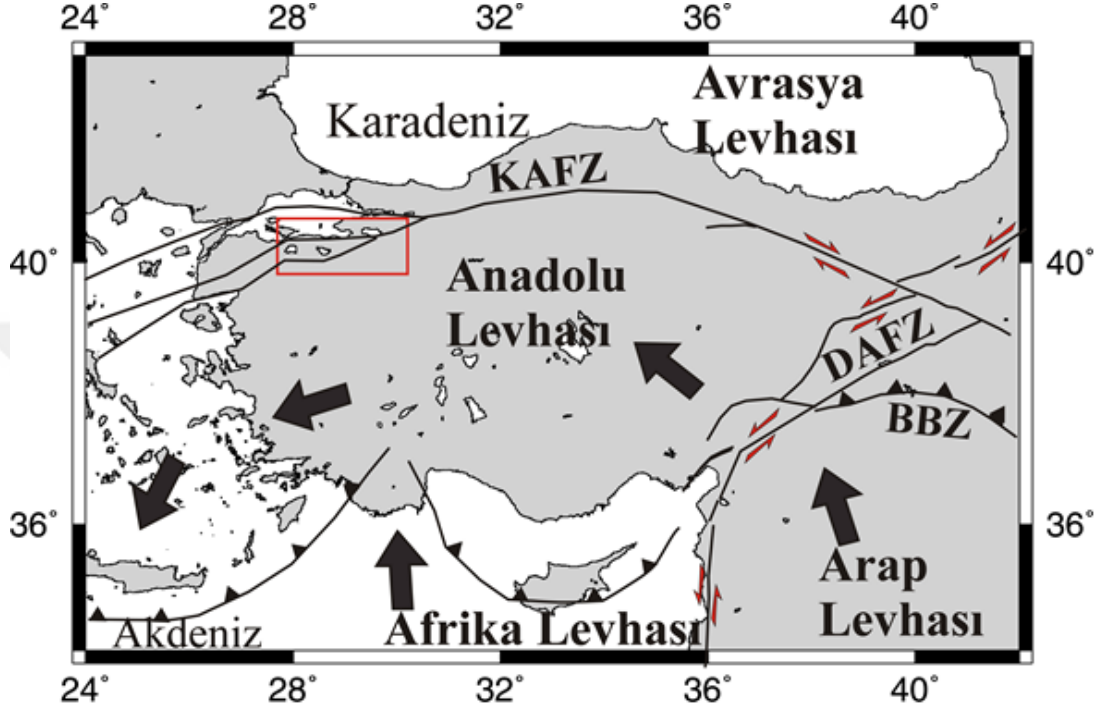
Alp-Himalaya Tektonik / Deprem Kuşağı (Alptekin, 1978; Jackson ve McKenzie, 1984) üzerinde yer alan Türkiye gerek tarihsel (1900 yılı öncesi) dönemde gerekse aletsel (1900 yılı sonrası) dönemde büyük depremlerin yaşanması sonucu can ve mal kayıplarının devamlı yaşandığı bir ülke olmuştur (Ambraseys, 2009). Yukarıda sıralanan depremlere ilave olarak sadece son 25 yılda meydana gelen ve büyüklüğü  $M_w \geq 6.4$  olan 2002 Çay-Eber ( $M_w=6.4$ ), 2003 Bingöl ( $M_w=6.4$ ), 2011 Van ( $M_w=7.1$ ), 2014 Kuzey Ege-Gökçeada ( $M_w=6.8$ ), 2017 Bodrum-Kos ( $M_w=6.6$ ), 2020 Sivrice ( $M_w=6.7$ ), 2020 İzmir ( $M_w=7.0$ ), 2023 Kahramanmaraş ( $M_w=7.8$ ) ve 2023 Elbistan ( $M_w=7.6$ ) depremleri Türkiye'nin nasıl bir deprem tehdidi ile yüzleştiğini gözler önüne sermektedir. Tüm bu anlatılanlar deprem tehlike ve deprem afet çalışmalarının Türkiye için ne kadar önemli olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada Türkiye'de deprem riskinin en yüksek olduğu Marmara Bölgesi'nde Bursa ve İzmit gibi önemli iki tarihsel yerleşimi ve yakın çevresini içeren ve burada Bursa Bölgesi (Şekil 1.1 ve 1.2) olarak isimlendirilen bölgede deprem tehlikesi ve depremlerin yerleşimler üzerindeki etkileri irdelenecektir. Bursa Bölgesi olarak adlandırılan  $39.8^\circ$ - $40.6^\circ$  Kuzey enlemleri ile  $27.75^\circ$ - $30.25^\circ$  Doğu boylamları arasında kalan bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu bağlamda MS1000 yılı sonrası Bursa ve İzmit yerleşimlerini etkileyen önemli depremler ve oluşturdıkları etkiler tarihi deprem çalışmalarından derlenecektir. Ayrıca 1970 yılı sonrası aletsel dönem deprem etkinliğinin istatistiksel analizi yapılacak ve deprem tehlikesi matematiksel olarak değerlendirilecektir. Elde edilen bulgular ve sonuçlardan Bursa Bölgesi'nde gelecekteki depremlerin oluşturacakları zararları azaltmak amaçlı olarak önerilerde bulunulacaktır.

## **1.2. Türkiye'nin genel tektoniği**

Türkiye'deki tektonik etkinliğin esas sebebini Arap ve Afrika levhalarının Anadolu Levhası'na göre kuzeye doğru hareketi oluşturmaktadır (Şekil 1.1) (Alptekin, 1978; Jackson ve McKenzie, 1984; Reilinger ve ark, 2006). Arap ve Afrika levhalarının bu hareketleri sonucu Anadolu Levhası batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareket, Kuzey Anadolu (KAFZ) ve Doğu Anadolu (DAFZ) fay zonları olarak adlandırılan sırasıyla sağ ve sol yönlü iki doğrultu atımlı fay sistemi boyunca gerçekleşmektedir

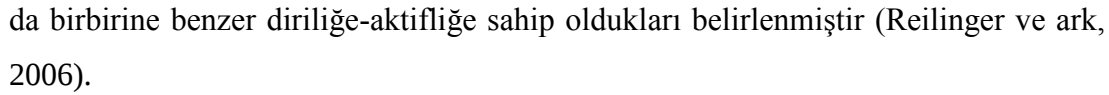
(Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Şengör, 2005; Emre ve ark, 2013). Anadolu'nun batıya doğru hareketi KAFZ ve DAFZ'nu Türkiye'de deprem tehlikesinin en önemli kaynağı olan tektonik unsurlar olarak ortaya koymaktadır. 1999 İzmit ve Düzce depremleri ile 2023 Pazarcık ve Elbistan depremleri bunun yakın geçmişteki kanıtlarıdır (Aktürk ve Albeni, 2002; Zilio ve Ampuero, 2023; GTU, 2023).



**Şekil 1.** Türkiye'nin genel tektonik unsurlarını gösteren harita. Kırmızı dikdörtgen çalışmada odaklanılan bölgeyi çevrelemektedir. Oklar levha hareket yönlerini göstermektedir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, BBZ: Bitlis Bindirme Zonu.

### 1.3. Marmara Bölgesi'nin tektoniği

KAFZ, Marmara Bölgesi'nde Kuzey, Orta ve Güney kollar olarak isimlendirilen üç kol halinde uzanmaktadır (Şekil 1.2) (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Emre ve ark, 2013). Kuzey Kol, Akyazı, Sapanca, Gölcük hattını takip ederek Marmara Denizi kuzey sahilleri açıklarından ve Gelibolu kuzeyinden Saroz Körfezi'ne uzanmaktadır. Orta Kol Geyve güneyi-Mekece-İznik-Gemlik-Mudanya-Bandırma-Çan-Bayramiç hattında uzanarak Ege Denizi'ne girmektedir. Güney Kol Yenişehir-Bursa-Ulubat Gölü güneyi-Manyas-Gönen-Yenice-Edremit hattını takip ederek Edremit Körfezi kuzey sahilleri boyunca Ege Denizi'ne girmektedir. Sıralanan kollardan özellikle Kuzey Kol'un diğer kollara göre çok daha diri-aktif olduğu ve Orta ve Güney kolların



**Şekil 2.** Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun Marmara Bölgesi içinde uzanımı ve MS1000 yılından sonra meydana gelmiş üçü (kırmızı yıldızlar) hariç büyüklüğü  $M_S \geq 6.8$  depremlerin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları. Kırmızı dikdörtgen çalışmada odaklanılan Bursa Bölgesi’ni çevrelemektedir. Depremlerin odak parametreleri Tablo 1.1’de listelenmiştir.

#### 1.4. Marmara Bölgesi'nin Deprem Etkinliği

Marmara Bölge’inde MS1000 yılından sonra meydana gelmiş 26 Kasım 1143 Bursa ( $M_S=6.4$ ), 12 Mayıs 1327 ( $M_S=6.4$ ) Karacabey ve 11 Nisan 1855 Bursa ( $M_S=6.3$ ) depremleri hariç, büyüklüğü  $M_S \geq 6.8$  olduğu düşünülen depremlerin dağılımı KAFZ kolları arasındaki dirilik farkını ortaya koymaktadır (Şekil 1.2; Tablo 1) (Ambraseys ve Finkel,1991; Papazachos and Papazachou, 1997; Ambraseys, 2002, 2009; Guidoboni ve Comastri, 2005). Ambraseys (2002)’nin Marmara Bölgesi’nde MS1000 yılı sonrası ve  $M_S \geq 6.8$  depremler için tarihsel deprem kataloğunun tam ya da tama yakın olduğunu ifade ettiğinden Marmara Bölgesi için Şekil 1.2’de gösterilen deprem dağılımı bölgede önemli bir deprem tehlikesinin varlığına ve depremlerin çoğunun Kuzey Kol üzerinde oluştuğuna işaret etmektedir. Sadece, 20.yüzyıl içinde meydana gelen 1912 Mürefte-Şarköy, 1953 Yenice-Gönen, 1957 Bolu-Abant, 1964 Manyas, 1967 Adapazarı-Mudurnu Vadisi ve 1999 İzmit ve Düzce depremleri bile tehlikenin büyüklüğünün bir işareti olarak ele alınabilir.

**Tablo 1.1.**Marmara Bölge'sinde MS1000 yılından sonra meydana gelmiş üçü hariç büyüklüğü  $M_s \geq 6.8$  olduğu düşünülen depremlerin dağılımı (Ambraseys ve Finkel,1991; Papazachos ve Papazachou, 1997; Ambraseys, 2000; Ambraseys, 2002'den derlenmiştir). Dış merkez dağılım haritası için Şekil 1.2'ye bakınız.

| No | Tarih      | Enlem | Boylam | $M_s$ | Yer       |
|----|------------|-------|--------|-------|-----------|
| 1  | 08.01.1010 | 40.6  | 27.0   | 7.4   | Gelibolu  |
| 2  | 23.09.1063 | 40.8  | 27.4   | 7.4   | Barbaros  |
| 3  | ??09.1065  | 40.4  | 30.0   | 6.8   | İznik     |
| 4  | 26.11.1143 | 40.11 | 29.04  | 6.4   | Bursa     |
| 5  | ??00.1231  | 41.0  | 28.6   | 6.9   | İstanbul  |
| 6  | 01.06.1296 | 40.5  | 30.5   | 7.0   | Geyve     |
| 7  | 12.05.1327 | 40.12 | 28.26  | 6.4   | Karacabey |
| 8  | 18.10.1343 | 40.7  | 27.1   | 6.9   | Ganos     |
| 9  | 18.10.1343 | 40.9  | 28.0   | 7.0   | Ereğli    |
| 10 | 01.03.1354 | 40.7  | 27.0   | 7.4   | Gelibolu  |
| 11 | 15.03.1419 | 40.4  | 29.3   | 7.2   | Bursa     |
| 12 | 10.09.1509 | 40.9  | 28.7   | 7.2   | İstanbul  |
| 13 | 10.05.1556 | 40.6  | 28.0   | 7.1   | Erdek     |
| 14 | 18.05.1625 | 40.3  | 26.0   | 7.1   | Saros     |
| 27 | 17.02.1659 | 40.5  | 26.4   | 7.2   | Saros     |
| 15 | 25.05.1719 | 40.7  | 29.8   | 7.4   | İzmit     |
| 16 | 06.02.1737 | 40.0  | 27.0   | 7.0   | Biga      |
| 17 | 29.07.1752 | 41.5  | 26.7   | 6.8   | Edirne    |
| 18 | 02.09.1754 | 40.8  | 29.2   | 6.8   | İzmit     |
| 19 | 22.05.1766 | 40.8  | 29.0   | 7.1   | Marmara   |
| 20 | 05.08.1766 | 40.6  | 27.0   | 7.4   | Ganos     |
| 21 | 28.02.1855 | 40.1  | 28.6   | 7.1   | Bursa     |
| 22 | 11.04.1855 | 40.2  | 28.9   | 6.3   | Bursa     |
| 23 | 21.08.1859 | 40.3  | 26.1   | 6.8   | Saros     |
| 24 | 09.02.1893 | 40.5  | 26.2   | 6.9   | Saros     |
| 25 | 10.07.1894 | 40.7  | 29.6   | 7.3   | İzmit     |
| 26 | 09.08.1912 | 40.7  | 27.2   | 7.4   | Ganos     |
| 27 | 18.03.1953 | 40.1  | 27.4   | 7.1   | Gönen     |
| 28 | 26.05.1957 | 40.7  | 31.0   | 7.1   | Abant     |
| 29 | 06.10.1964 | 40.1  | 28.2   | 6.8   | Manyas    |
| 30 | 22.07.1967 | 40.7  | 30.7   | 7.2   | Mudurnu   |
| 31 | 17.08.1999 | 40.7  | 29.9   | 7.4   | İzmit     |



## **2. YÖNTEM**

### **2.1. Tarihi Depremlerin Derlenmesi**

Sismoloji (Deprem Bilim) 19. yüzyıl sonlarına doğru sismografin icadı ve depremlerin kayıtlarının alınması ile bağımsız bir bilim dalı olarak ortaya çıkan; deprem kaynak özelliklerinin, deprem sırasında üretilen deprem dalgalarının ve bu dalgaların içinde yol aldıkları ortamların anlaşılması için uğraş veren bir bilim dalıdır (Agnew, 2002). 19. yüzyıl sonları ve 20. yüzyıl başlarında küresel sismograf ağların kurulması ile sismoloji bilimi yaygınlaşmıştır. Dolayısıyla aletsel deprem kayıtları genel olarak 1900 yılı sonrası için mevcuttur. 1900 yılı sonrası sismolojide “aletsel dönem”, öncesi de “tarihsel dönem” olarak isimlendirilmektedir (Agnew, 2002; Frechet, 2008). Dolayısıyla, sismograf kayıtlarının bulunmadığı tarihsel dönem depremleri için tarihsel belgelerin incelendiği tarihsel sismoloji, faylar boyunca fay hendeği (paleosismoloji) ve arkeolojik kalıntıların incelendiği arkeosismoloji çalışmalarından yararlanılmaktadır (Nur, 2002; Grant, 2002; Frechet, 2008).

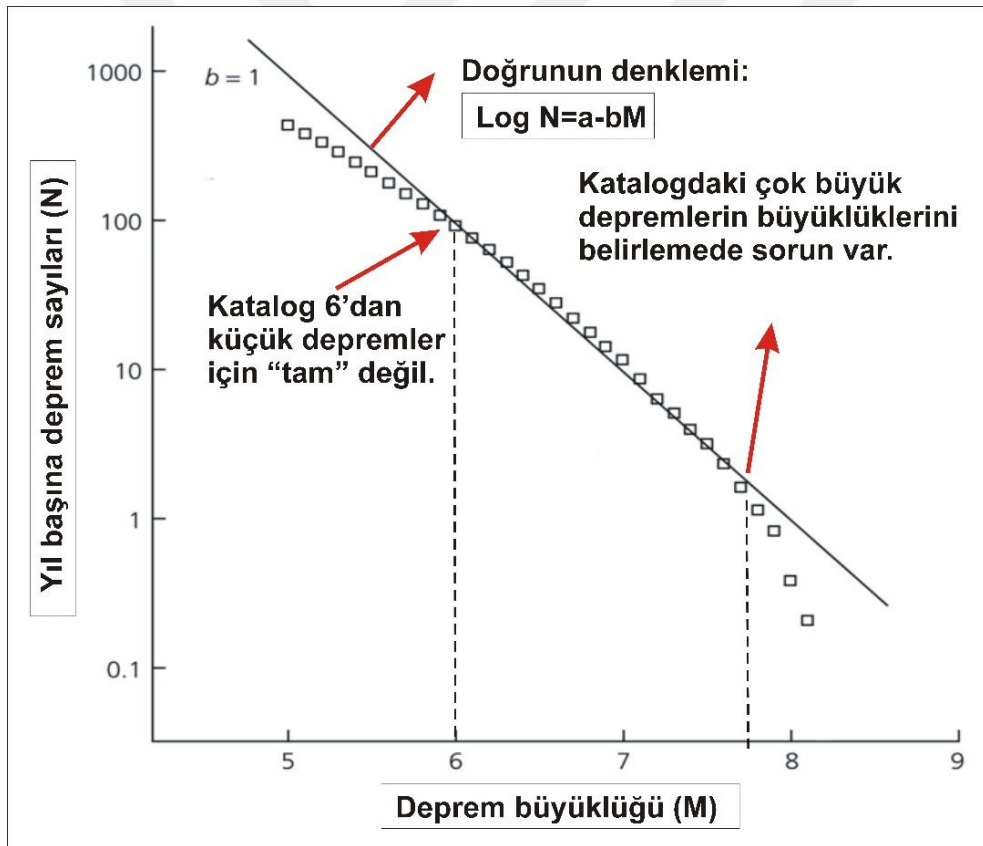
Bu çalışmada da Bursa Bölgesi'nin MS1000-1900 dönemi depremlerin hangileri olduğunun belirlenmesi ve yerleşimler üzerindeki etkilerinin derlenmesi için literatür taraması yolu kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, tarihsel sismoloji (Ambraseys ve Finkel, 1991, 1995; Papazachos and Papazachou, 1997; Utsu, 2002; Ambraseys, 2000, 2002, 2009; Guidoboni ve Comastri, 2005), fay hendeği (Doğan, 2010; Özalp, 2013; Kürçer, 2017; Gastineau, 2020; Karabacak, 2021; Civico, 2021) ve arkeosismoloji (Aybek ve Öz, 2004; Adatepe ve Erel, 2006; Çetinkaya, 2021) çalışmalarından yararlanılmıştır.

### **2.2. Deprem İstatistiği**

Deprem istatistiğinin temel bağıntısını depremlerin sayıları ile büyüklükleri arasındaki ilişkiyi açıklayan Gutenberg-Richter (G-R) bağıntısı oluşturmaktadır (Gutenberg and Richter, 1944). Herhangi bir bölgenin depremsellik özelliklerinin ve deprem tehlikesinin belirlenmesinde önemli yer tutan bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$\text{Log } N(M) = a - bM \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda  $M$  deprem büyüklüğünü,  $N$  belli bir büyüklük değerinden daha büyük depremlerin kümülatif sayısını temsil etmektedir.  $a$ -değeri ve  $b$ -değeri ise sabit değerler olup depremsellik özelliklerinin ve deprem tehlikesinin belirlenmesinde önem arz ederler.  $a$ -değeri depremselliğin yoğunluğu ile doğru orantılı ve  $b$ -değeri ise depremlerin gerçekleştiği yer kabuğundaki gerilme ile ters orantılıdır (Wiemer and Wyss, 1997; Çetin, 2004). Küresel ölçekte çalışmalar G-R bağıntısından belirlenen  $b$ -değerinin ortalama 1 civarında olduğuna işaret etmektedir (Stein and Wyssession, 2003) (Şekil 2.1). Bu durumda deprem büyüklüğü bir birimlik azalırsa deprem sayıları 10 kat artacaktır manasına gelmektedir. Yani magnitüd değerinde bir birimlik azalma ile deprem sayısı 10 kat artmaktadır.



**Şekil 3.** USGS NEIC deprem kataloğundaki kayıtlı 1968-1997 dönemi tüm  $M_s \geq 5.0$  depremler için belirlenen G-R bağıntısı.  $b$ -değeri yaklaşık 1'dir. (Stein and Wyssession (2003)'den değiştirilmiştir).

Şekil 2.1'de gösterilen ve deprem sayılarının logaritmalarının büyüklükle değişimine karşılaştırılan doğrunun denklemi olan G-R bağıntısı ilişkisi Amerikan Jeolojik

Araştırmalar Kurumu Ulusal Deprem Bilgi Merkezi (USGS NEIC) deprem kataloğunda (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>) yer alan 1968-1997 dönemi  $M_S \geq 5.0$  depremlerden belirlenmiştir (Stein and Wyssession, 2003). b-değeri yaklaşık 1 olarak bulunmuş olup dünya üzerinde yılda, bir adet  $M_S=8.0$ , 10 adet  $M_S=7.0$ , 100 adet  $M_S=6.0$  ve 1000 adet  $M_S=5.0$  deprem meydana geldiğini ifade etmektedir. Dikkat edilirse deprem büyüklükleri  $M_S=6.0$  büyüklüğü altına indikçe G-R bağıntısının belirlediği doğrudan sapma başlamaktadır. Depremler küçüldükçe artan bu sapma 1968-1997 döneminde  $M_S=6.0$ 'dan küçük depremlerden bir kısmının küresel sismograf ağlarının, sismograf hassasiyetinin ya da kayıtları değerlendirici operatörlerin yetersizliği gibi sebeplerle kataloğa geçirilemediğine işaret etmektedir. Yani, söz konusu katalog belirtilen zaman aralığı için  $M_S=6.0$ 'dan büyük depremler için tamdır ve bu büyüklük değeri tamamlılık büyüklüğü (magnitude of completeness,  $M_C$ ) olarak bilinir. Güvenilir bir deprem istatistiği için  $M_S=6.0$ 'dan küçük depremler hesaplamalarda kullanılmamalıdır. Dolayısıyla deprem istatistiğinde kullanılacak katalogların tamamlılık büyüklükleri belirlenmelidir. Bu işlem tamamlılık analizi olarak bilinmektedir (Wiemer and Wyss, 1997; Çetin, 2004). Yine  $M_S=7.5$  büyüklüğünden sonra gözlenen doğrudan sapma da çok büyük depremlerin büyüklüklerini tam ölçmede yaşanan zorluklarla alakalıdır (Stein and Wyssession, 2003). Aletsel dönemde Bursa Bölgesi'nde meydana gelmiş çok büyük deprem olmadığından bu çalışmada yapılacak deprem istatistiğinde bu durumun sorun oluşturmayacağı açıktır.

G-R bağıntısındaki a-değeri ve b-değeri matematikte iyi bilinen ve yaygın kullanılan En Küçük Kareler Yöntemi ve En Büyük Olasılık Yöntemi gibi yöntemlerle belirlenebilir (Aki, 1965; Sönmez, 2008). Bu çalışmada bağıntısı aşağıda verilen En Büyük Olasılık Yöntemi kullanılmıştır.

$$b = \frac{\log_{10} e}{(M_{mean} - M_{min})} \quad (3.2)$$

Burada  $M_{mean}$  ortalama büyüklük ve  $M_{min}$  kullanılan deprem kataloğundaki minimum tamamlılık büyüklüğüdür.

a-değeri ve b-değeri belirlendikten sonra hedef alınan bir deprem büyüklüğü ( $M_h$ ) için o bölgedeki deprem tekrarlanma zamanı (TR),  $\Delta T$  depremselik kataloğunun kapsadığı zaman aralığını temsil etmek üzere aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$TR = \Delta T / 10^{(a-bM_h)} \quad (3.3)$$

Hedef alınan herhangi bir büyüklükteki depremin varsayılacak gelecekteki belli bir T zaman dilimi içinde olma olasılığı da yüzde (%) olarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir.

$$R = 1 - e^{-N(M_h)T} \quad (3.3)$$

Deprem istatistiğinde kullanılacak aletsel dönem verisi esas olarak Bulletin of the International Seismological Centre (ISC 2020) kataloğundaki parametrelerden belirlenmiş ve 1900-Ekim 2018 yılları arasını kapsayan Türkiye homojen deprem kataloğudur (Tan, 2021). Bu katalog yine KRDAE kataloğundan (Kalafat, 2000, 2007) yararlanılarak Temmuz 2020 tarihine kadar genişletilmiştir. Deprem istatistiği için yapılan hesaplamalarda ve grafiksel gösterimlerde Zmap6.0 paket yazılımı kullanılmıştır (Wiemer, 2001). MATLAB tabanlı bu yazılım ayrıntılı bir kullanım kılavuzuyla birlikte internet üzerinden serbestçe indirilebilmektedir (<http://www.seismo.ethz.ch/en/research-and-teaching/products-software / software/ZMAP>). Deprem istatistiğinde kullanılan verinin seçim ve analizine gelecek bölümde değinilecektir.

### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Bursa Bölgesi Tarihi Depremleri**

Marmara Bölgesi'nde MS1000 sonrası meydana gelen ve 26 Kasım 1143 Bursa, 12 Mayıs 1327 Karacabey ve 11 Nisan 1855 Bursa depremleri hariç büyüklükleri  $M_s \geq 6.8$  olan depremler tarihsel sismoloji çalışmalarından derlenmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1991, 1995; Papazachos and Papazachou, 1997; Utsu 2002; Ambraseys, 2000, 2002, 2009; Guidoboni ve Comastri, 2005). Bu depremlerden çalışmada Bursa Bölgesi olarak adlandırılan alan ve çok yakınında meydana gelip bölgede önemli etkisi görülenler ile ilgili aşağıda bilgiler verilecektir. Bu bilgiler daha çok Ambraseys ve Finkel (1991, 1995), Ambraseys (2000) ve Guidoboni ve Comastri (2005)'den alınmıştır. Her ne kadar yukarıda belirtilen 1143 Bursa, 1327 Karacabey ve 1855 Bursa depremlerinin büyüklükleri  $M_s=6.8$ 'den küçük oldukları düşünülse de çalışma alanında önemli etki gösterdikleri ve tarihi kaynaklarda kayda değer yer bulmuş depremler olmalarından dolayı burada yer verilmiştir. Depremlerin hasara dayalı ya da aletsel olarak belirlenen dış merkezleri ve büyüklükleri Tablo 1.1'de listelenmiştir.

##### **3.1.1. Eylül 1065 İznik Depremi ( $M_s=6.8$ )**

Bu deprem özellikle Bizans döneminde Nicaea olarak bilinen İznik'i vurmuştur. Çok sayıda kilise, şehir surları ve çok sayıda ev bu depremde harabeye dönmüştür.

##### **3.1.2. 26 Kasım 1143 Bursa Depremi ( $M_s=6.4$ )**

Bu deprem Bursa'da kayda değer yıkıma ve can kayıplarına yol açmış ve İstanbul'da da hissedilmiştir. Bursa şehri içinden geçen nehrin 3 gün akmadığı ve 3 gün sonra meydana gelen bir artçı depremden sonra tekrar aktığı tarihi bir kayıta yer almaktadır.

##### **3.1.3. 12 Mayıs 1327 Karacabey Depremi ( $M_s=6.4$ )**

Bu deprem Karacabey (Miletopolis) ve Ulubat'da (Lopadium) ciddi hasar oluşturmuştur. Ulubat'da surların zarar gördüğü ve bunun Osmanlılar tarafından alınmasına yol açtığı rapor edilmiştir.

#### **3.1.4. 15 Mart 1419 Bursa Depremi ( $M_s=7.2$ )**

Bu deprem büyük bir gürültü ile Bursa ve çevresindeki kasabalarda ağır hasara yol açmış ve şehrin surları zarar görmüştür. Şehirdeki tüm evlere zarar vermiştir. Artçı depremlerin 40 gün boyunca her gün hissedildiği ve bir yıla kadar devam ettiği ve halkın şehrin dışında 3 ay çadırlarda kaldığı tarihi kayıtlarda not edilmiştir. Yerel yıkıcı bir deprem olarak nitelendirilemeyecek kadar büyük bir deprem olduğu düşünülmektedir. Dağdan büyük kayalar düşmüş yeni su pınarları ortaya çıkmıştır.

#### **3.1.5. 10 Eylül 1509 İstanbul Depremi ( $M_s=7.2$ )**

Bu depremden sonra özellikle İstanbul'da çok şiddetli bir yer sarsıntısıyla can ve mal kayıplarından söz edilmektedir. Çalışma alanı dışında kalmasına rağmen depremin Bursa, Gelibolu ve Edirne'de etkileri görüldüğünden burada değinilmiştir. Deprem sonrası halk açık alanlarda ve meydanlarda konaklamıştır. Zamanın Osmanlı Sultanı önce saray bahçesinde çadırda kalmış ve daha sonra Edirne'ye gitmiştir. İstanbul'da 10000 evin yıkıldığı not edilmiştir. O zamanlar 35000 nüfuslu Bursa'daki kayıplar ile ilgili bilgiler eksik olsa da şehirdeki hamamların Aralık 1510'daki tamiratları bu depremle ilişkilendirilmiştir.

#### **3.1.6. 10 Mayıs 1556 Güney Marmara Denizi-Erdek Depremi ( $M_s=7.1$ )**

Marmara Denizi'nin özellikle Güneydoğu kesimlerinde etkili olan bu depremin başta Erdek civarındaki Aydıncık (Edincik) gibi birçok yerleşimi harabeye çevirdiği ve çok sayıda ölüme yol açtığı not edilmiştir. Bursa ve İstanbul'da çok sayıda ev, cami ve surların bir kısmı yıkılmıştır. Bursa'da Ertuğrul Camii'nin minaresi yıkılmıştır.

#### **3.1.7. 25 Mayıs 1719 İzmit Depremi ( $M_s=7.4$ )**

Doğu Marmara Denizi ve İzmit Körfezi'ni etkileyen büyük ve yıkıcı bir depremdir. İstanbul, İzmit, Karamürsel, Orhangazi, Kazıklı (Karamürsel'in 15 km doğusunda bir yerleşim), Yalova, Sapanca, Düzce yerleşimlerinde büyük yıkımlar oluşmuş ve 6000 üzerinde can kaybı yaşanmıştır. İstanbul'da evlerde oluşan önemli miktardaki yıkım ve hasarların yanı sıra surlar, 40 cami ve 27 kule yıkılmıştır. Karamürsel tamamen yıkılmış, yıkıntılar altında kalan ölümlerin cenaze namazları Karabali Camii'nde oluşan hasarlar nedeniyle kılınamamıştır. Yalova'nın yarısı yıkılmıştır. Orhangazi ilçesinde Sultan Orhan Camii yıkıntı haline gelmiştir. Silivri'de bir camideki hasar ve Çatalca'da bir değirmenin yeniden inşası hasarın Trakya Yarımadası'na ulaştığını

göstermektedir. Ayrıca Bursa’da bir un değirmeni hasar görmüş ve tamir edilmek zorunda kalmıştır.

#### **3.1.8. 2 Eylül 1754 İzmit Depremi ( $M_s=6.8$ )**

İzmit Körfezi ve İstanbul’da yıkıma yol açmış büyük bir depremdir. İstanbul’da çoğunlukla eski taş ve tuğla yapılar hasar görmüş ahşap yapılar daha az hasar almıştır. Surlarda yıkımlar oluşmuştur. Fatih, Bayezid ve Küçük Ayasofya camilerinde hasarlar oluşmuştur. Ancak İzmit’de İstanbul’dan daha fazla hasar olduğu belirtilmiştir. Bursa ve İznik’de hasar ve can kayıpları görece az olup halk açık alanlarda çadırlarda kalmıştır. Geyve’de de hasar olduğu söylenmektedir.

#### **3.1.9. 22 Mayıs 1766 Doğu Marmara Denizi-İstanbul Depremi ( $M_s=7.1$ )**

Bu depremin sebep olduğu hasar İzmit’den Tekirdağ’a, Edirne’den Bursa’ya uzanan bir alanda yoğunlaşmıştır. İstanbul’da her türden yapılarda yıkım ve göçmeler gözlenmiştir. Deprem İstanbul Boğazı ve Gemlik Körfezi’nde güçlü olan bir tsunamiye neden olmuştur. 4000-5000 arasında can kayıplarından bahsedilmektedir. İstanbul’da surlarda yıkımlar oluşmuş Fatih Camii külliyesi ile birlikte hasar görmüş ve kubbesi çökmüştür. Sultanahmet Camii’nin bir minaresi devrilmiştir. Topkapı Sarayı’ndaki hasar nedeniyle Sultan çadırda konaklamıştır. İzmit Körfezi sahillerindeki İzmit, Karamürsel ve Hersek’i de içeren yerleşimlerde ciddi hasarlar gözlenmiştir. Bursa’da Emir Sultan Camii ve türbesi hasar görmüştür.

#### **3.1.10. 5 Ağustos 1766 Batı Marmara Denizi-Gelibolu Depremi ( $M_s=7.4$ )**

Bu deprem özellikle Gelibolu Yarımadası ve çevresinde yıkıma neden olmuştur. Yıkım ve hasar kuzeyde Edirne’ye, doğuda Tekirdağ ve İstanbul’a, güneyde de Bursa ve Biga’ya ulaşmıştır.

#### **3.1.11. 28 Şubat 1855 Bursa Depremi ( $M_s=7.1$ )**

Bursa Bölgesi’ni etkileyen ve hakkında çok geniş bilgi bulunan bir depremdir. Özellikle Ulubat Gölü etrafındaki Kemalpaşa, Ulubat gibi yerleşimlerde en büyük kayıplara neden olmuştur. Bursa ve Mudanya’da büyük yıkımlar yaşanmıştır; Ulubat Gölü ve Bursa şehir merkezi arasında 300 ölüden bahsedilmektedir.

Bursa şehrinde çok sayıda kamu yapısı, cami, türbe, kilise ve 3300 ev ve dükkân göçmüştür. Bursa Ulu Cami’nin 3 ya da 7 kubbesi hasar görmüş ve kısmen yıkılmıştır.



hasar görmüştür. Ancak, İznik ile Sapanca Gölü arasında kayda değer can ve mal kayıpları yaşanmamıştır. Heybeliada'da tüm yığma yapılar harabeye dönmüş ve yararlananlar olmuştur. İstanbul'da Çatalca'dan Kadıköy'e her yerde hasarlar oluşmuştur. Tekirdağ, Mürefte ve Şarköy'de hasar görece hafiftir. Marmara Denizi güneyinde Bandırma, Erdek, Bursa, Karacabey ve Kemalpaşa'da da hasarlar not edilmiştir.

#### **3.1.14. 6 Ekim 1964 Manyas Depremi ( $M_s=6.8$ )**

Özellikle Balıkesir'in Manyas ilçesine bağlı köyler bu depremden büyük zarar görmüştür (Acar, 2022). Karacabey, Gönen, Bandırma ve Mustafakemalpaşa'da da büyük yıkım ve hasar oluşmuş, çok sayıda vatandaş yaralanmıştır. Depremin etkileri Susurluk'ta da görülmüştür. Depremin Erentöz ve Kurtman (1964) tarafından hazırlanan eş şiddet haritası Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

#### **3.2. Bölgede Depremlerin Yerleşimler Üzerindeki Etkilerine Örnekler**

Adatepe ve Erel (2006), İznik'de depremlerden etkilenmiş yapılar hakkında bilgiler sunmuştur. MS117-138 yılları arasında imparator Hadrianus zamanında yapılan ve birçok kez onarılan İstanbul Kapı'da deformasyon izleri görülmüştür (Şekil 3.2). Yine MS259 yılında yapılan ve sonrasında çok kez tadilat geçiren güney sur duvarlarında düşey ötelenmeler mevcuttur (Şekil 3.3). Ayrıca İznik'in 5 km doğusunda MS 2. yüzyılda inşa edilen ve halk arasında "Obelisk" ya da "Dikilitaş" olarak isimlendirilen toplam 12 m yüksekliğindeki Beştaş Mezar Anıt'ın sivri ucunun bir deprem sonrası düştüğü belirtilmiştir. Tarihi yapıların bu hasar ve deformasyonlara rağmen tamamen yok olmamaları ve İznik yerleşiminin kuruluşundan bu yana değişmeyen şehir planı tarihsel dönem depremlerin yerleşimi tamamen yıkıp yok etmediği şeklinde yorumlanmıştır (Adatepe ve Erel, 2006).

Ulubat Gölü KD sahilinde yer alan Gölyazı Köyü'nün (Apollonia) Bizans döneminde 2. yüzyıl başlarına kadar refah içinde olduğu ve MS124 yılında meydana gelen bir depremde şiddetli bir şekilde etkilendiği söylenmiştir (Aybek ve Öz, 2004). Refah döneminin bir depreme kadar devam etmesi ilginçtir ve tarihteki örneklerini hatırlatmaktadır (Nur, 2002). Bu deprem İzmit, İznik ve Erdek'i de etkilemiştir.

İznik'de Koimesis ve Ayasofya kiliseleri ile İstanbul Kapı ve Yenişehir Kapı yanındaki kiliseler 1065 depreminde hasar görmüşlerdir (Çetinkaya, 2021). MS325

yazında Birinci Ekümenik Konsül'ün (First Ecumenical Council) toplandığı yapının MS362 yılındaki bir depremde hasar gördüğü ve sonrasında MS368 yılında tamamen yerle bir edildiği (Çetinkaya, 2021) kabul edilmekle birlikte, İznik Gölü sahilinden 50 m uzaklıkta ve 2-3 m su altında bulunan, ilk inşasının MS 4. yüzyıl sonu ve 5. yüzyıl başında olabileceği değerlendirilen ve Birinci Ekümenik Konsül'ün toplandığı iddia edilen bazilika kilise (Şahin ve ark, 2014; Şahin ve Fairchild, 2018; Şahin, 2021, 2022) İznik yerleşimindeki önemli tarihi yapılardan biri olarak görülmektedir.

Şahin ve ark, (2014) yapının MS740 depreminde yıkılarak göl sularına gömüldüğünü iddia etmişlerdir. Bununla birlikte, sonraları yapının MS13.yüzyılda su altında kalmış olabileceğine dair ipuçları bulunmuştur (Şahin, 2022). Ayrıca MS1010-1182 arasına tarihlendirilen deformasyon belirlenmiş ve bunun 1065 İznik depremi ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Yerleşimdeki su kemerinin de (aquaduct) 11. yüzyılda büyük bir yeniden inşa-onarım geçirdiğinin ortaya çıkarılması 1065 depreminin yerleşimi çokça etkilediğinin diğer bir kanıtıdır (Benjelloun ve ark, 2018).

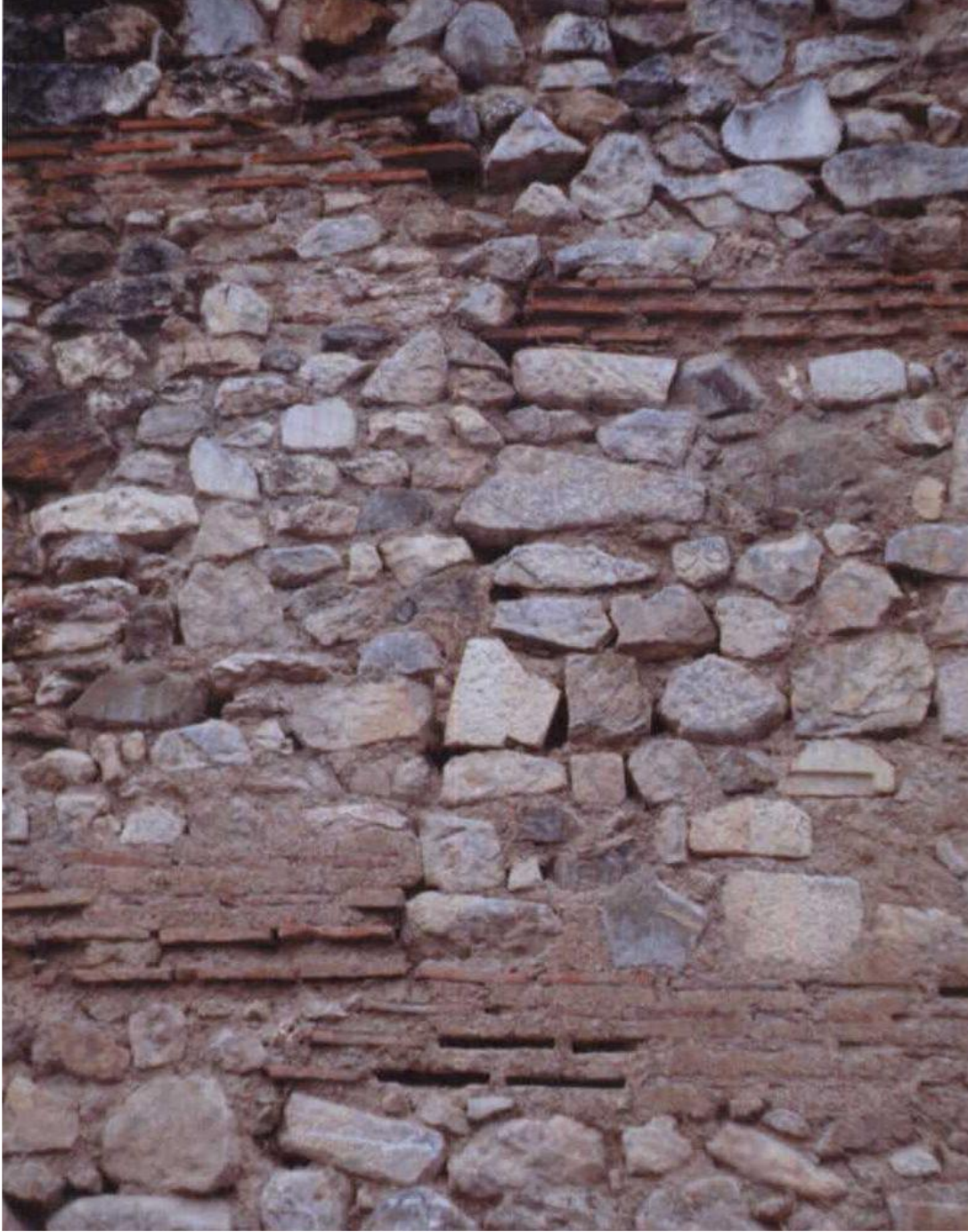


**Şekil 5.** MS117-138 yılları arasında imparator Hadrianus zamanında yapılan İznik'deki İstanbul Kapı'da deformasyon izleri (Adatepe Arşivi, Adatepe ve Erel 2006'dan alınmıştır).

Osmanlı hakimiyeti öncesi 1326 yılında Bursa'nın açılığa teslim olduğu ve 1327 yılındaki depremde surlarının yıkılmasıyla Ulubat'ın Osmanlılar tarafından alındığı rapor edilmiştir (Ambraseys, 2009).

Keskin (2015), tarihte büyük depremlere maruz kalmış Bursa'daki tarihi ve kültürel eserlerin gördükleri hasarlar ve onarımlardan bahsederek bir sivil toplum örgütünün

bu eserlerin restorasyon çalışmalarındaki rolünü incelemiştir. Bu çalışmada verilen bilgilerden hareketle deprem hasarı alan yapılar derlenmiş ve Tablo 3.1’de sıralanmıştır.



**şekil 6.** İznik yerleşimi Güney sur duvarlarındaki düşey ötelenmeler (Adatepe Arşivi, Adatepe ve Erel 2006’dan alınmıştır).

Özaydın (2017) tarihi kaynak ve belgelerle 1855 Bursa depremlerinin verdiği hasar, afet sonrası müdahaleler ve iyileşme-yeniden yapılanma çalışmaları hakkında ayrıntılı bilgiler vermiştir. Bu kaynağın Gökmenzade’nin İşaretnüma isimli eserinden alıntıyla

verdiği bilgilere göre ölü sayısı 294'tür. Özaydın (2017)'ye göre meydana gelen yapısal hasarlar Tablo 3.2'de listelenmiştir. Tablo 3.2, 1855 Bursa depremlerinin çoğu günümüzde tarihi ve kültürel değerler olarak sınıflanan yapılar üzerinde oluşturduğu hasarları açıkça göstermektedir.

**Tablo 3.1.** Keskin (2015)'in çalışmasında verilen bilgilerden hareketle derlenen Bursa'da deprem hasarı almış yapılar.

| Deprem          | Deprem hasarı açıklaması                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1654<br>Depremi | <p>Nalbantoğlu Camii'nin revakları, kalkan duvarı, ayakları yıkılmış. Bundan dolayı geçirdiği esaslı onarımda uydurma ahşap bir revak yapılması gibi onarımlarla karakterini kaybetmiştir.</p> <p>Hocahasan Camii deprem sonrası yeniden inşa edilmiş.</p> <p>Kayan Camii'nin kubbesi yıkılmış.</p> <p>Şehadet Camii büyük hasar görmüş ve 2 kubbeli olarak yeniden inşa edilmiş.</p> <p>Bursa'nın en eski camisi Alaüddin Camii hasar görmüş ve Rum işçiler tarafından orijinalliğini kaybedecek şekilde onarılmış. Kalkan duvarı yerine Rum ustalar tarafından yapılan üçgen alınlıklı duvar camiye manastır etkisi vermiş.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1855<br>Depremi | <p>Reyhan (Acemler) Camii'nin minaresi yıkılmış ve revakları karakterini kaybetmiş.</p> <p>Yeni Bezzaz Camii'nin kubbe ve revakları çökmüş ve bundan dolayı üstüne ahşap çatı yapılarak kurşunla kaplanmış.</p> <p>Hocahasan Camii yıkılmış ve sonradan sıradan bir yapı olarak inşa edilmiş.</p> <p>Namazgah Camii'ni kubbesi gitmiş ve sonradan ahşap çatılı olarak onarılmış.</p> <p>Hacılar Camii gördüğü hasar nedeniyle 1860 yılında büyük bir onarımdan geçirilmiş.</p> <p>Molla Arap Camii kubbeleri çökmüş, minaresi, iki kubbenin duvarları ve kemerlerinin bir kısmı kalmış.</p> <p>Kargir bir yapı olan Ertuğrul Camii'nin kubbesi hasar görerek üzeri ahşap çatı ve kiremit ile kaplanmıştır.</p> <p>Kanberler Camii minaresi yıkılmış ve sonra yeniden yapılmıştır.</p> <p>Başçı İbrahim Camii beden duvarları kısmen taklidi olarak Ampir uslubuyla onarılmış, cami karakterini kaybederek bir depo haline gelmiştir.</p> <p>Karaali (Yer Kapı) Camii'nin kubbesi ve son cemaat yeri çökmüş.</p> <p>Kagir bir yapı olan Molla Fenari Camii büyük hasar görmüş ve üstü kiremitle kaplanmış.</p> <p>Mecnun Dede (Çakırağa) Camii'nin maksure ve mahfelin zemininin yapıldığı belirtilmiştir.</p> |

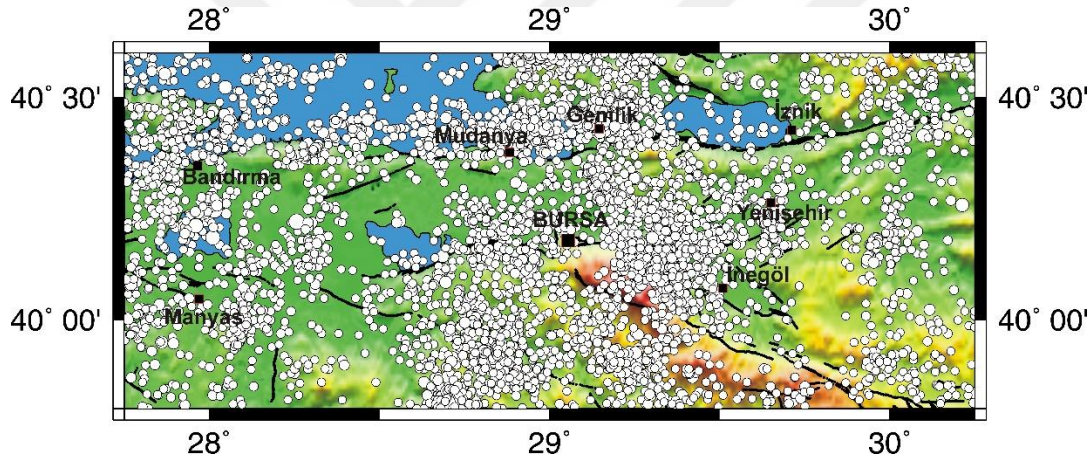
**Tablo 3.2.** Tarihi kaynak ve belgelerden Özaydın (2017) tarafından derlenen 1855 Bursa depremlerinde yıkılmış ve az-çok hasar görmüş camiler-mescitler, türbeler, mektepler-medreseler, hanlar, çarşılar, dergahlar-tekke ve zaviyeler, kaplıcalar ve kamu yapıları.

| Cami ve mesitir                           |                                          |                                           |                                        |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1. Mücellidî Camii                        | 19. Yiğid Köhne Camii                    | 38. Şehadet Camii                         | 55. Altıparmak Camii                   |
| 2. Çukur Mahalle Mescidi                  | 20. Hacı İlyas Camii                     | 39. Hançerli Camii                        | 56. Bayezid Paşa Mahallesindeki Mescid |
| 3. Selimzâde Camii                        | 21. Hacı Yunus Mescidi                   | 40. Dikili Camii                          | 57. Sarayoğlu Mahallesi Camii          |
| 4. Bayezid Paşa Mescidi                   | 22. Tavuk Pazarı Camii                   | 41. Oruç Bey Camii                        | 58. Veled-i Kazzaz Mescidi             |
| 5. Hoca Taşkın Mescidi                    | 23. Sarı Abdullah Mescidi                | 42. Azeb Bey Camii                        | 59. Tavuk Pazarı Camii                 |
| 6. Hasan Efendi Mescidi                   | 24. Maksem Camii                         | 43. Bâb-ı Zemîn Camii                     | 60. Şehreküstü Camii                   |
| 7. İncirlice Mahallesi Mescidi            | 25. Çakır Ağa Camii                      | 44. Üftade Camii                          | 61. Veled-i Enbiya Mahallesi Mescidi   |
| 8. Hacı Sevindik Mescidi                  | 26. Veled-i Vezîrî Camii                 | 45. Ebû İshak Kâzerûnî Mescidi            | 62. Zâğferânlık Mahallesi Mescidi      |
| 9. Kız Yakup Mescidi                      | 27. Vezîrî Mescidi                       | 46. Hayreddin Paşa Camii                  | 63. Reyhan Paşa Mescidi                |
| 10. Timurtaş Camii                        | 28. Yeşil Türbe Mescidi                  | 47. Tekye Mescid                          | 64. Yeni Bezzâz Camii                  |
| 11. Cami-i Kebîr                          | 29. Sürmeli Mescid                       | 48. Kiremitçi Mahallesi Camii             | 65. Simkeş Mescidi                     |
| 12. Hacı Baba Mescidi                     | 30. İsa bin Fenârî Mescidi               | 49. Simitçi Mescidi etraf duvarları       |                                        |
| 13. Namazgâh Camii                        | 31. Şeyh Kutub Mescidi                   | 50. Doğan Bey Mescidi                     |                                        |
| 14. Umurbey Camii                         | 32. Molla Fânari Mescidi                 | 51. Enarlı Mescidi                        |                                        |
| 15. Nureddin Efendi Konağı yanındaki cami | 33. Üç Kuzular Camii                     | 52. Veled-i Mizan Mescidi                 |                                        |
| 16. Hoca Tayyib Mescidi                   | 34. Ali Paşa Camii                       | 53. Attar Husam Mescidi                   |                                        |
| 17. Kayhan Camii                          | 35. Araplar Mahallesi Mescidi            | 54. Şehabeddin Paşa Camii                 |                                        |
| 18. Davud Paşa Camii                      | 36. Kademeri Camii                       |                                           |                                        |
|                                           | 37. İsa Bey Camii                        |                                           |                                        |
| Türbeler                                  | Mektepler/Medreseler                     | Hanlar                                    |                                        |
| 1. Orhan Gazi Türbesi                     | 1. Kasım Paşa Vakfı'ndan Medrese         | 1. Eski Yeni Han                          |                                        |
| 2. Gazi Hudâvendigâr (I. Murad)           | 2. Zeyniye Mektebi                       | 2. Karacabey Hanı                         |                                        |
| 3. Çelebi Sultan Mehmed,                  | 3. Fazlullah Paşa Mahallesi mektebi      | 3. Demir Han                              |                                        |
| 4. Hazret-i Emir Sultan                   | 4. Molla Yegân Medresesi (çamaşırhanesi) | 4. Kayan Han                              |                                        |
| 5. Üftade,                                | 5. Hacı Seyfeddin Mektebi                | 5. Tahtakale                              |                                        |
| 6. Sultan II. Murad                       | 6. Sultan Yıldırım Mektebi               | 6. Mudanya                                |                                        |
| 7. Abdülatif Kudsî türbesi,               | 7. Abdü'l-Vâsi' Efendi Vakfı Mektebi     | 7. Harir Hanı                             |                                        |
| 8. Eşrefzâde Dergâhı Türbesi,             | 8. Ali Paşa Vakfı'ndan Medrese           | 8. Emir Hanı                              |                                        |
| 9. Hündî Sultan Türbesi çevre duvarları   | 9. Meydancık Mektebi                     | 9. Simkeş Hanı                            |                                        |
| 10. Hacı Sevinç Türbesi,                  | 10. Tavuk Pazarı Medresesi               | 10. Mahmud Paşa Hanı                      |                                        |
| 11. Osman Gazi Türbesi                    | 11. Başcı Medresesi                      | 11. Piriç Hanı                            |                                        |
| 12. Pars Bey Hazretleri                   | 12. Maksem Mektebi                       | 12. Geyve Hanı                            |                                        |
|                                           |                                          | 13. İpek Han                              |                                        |
|                                           |                                          | 14. Simkeş Han                            |                                        |
|                                           |                                          | 15. Piriç Han                             |                                        |
| Çarşılar                                  | Dergâhlar, Tekke ve Zaviyeler            | Kaplıcalar                                |                                        |
| 1. Gelincik Çarşısı                       | 1. Enarlı Dergâhı                        | 1. Yeni Kaplıca                           |                                        |
| 2. Haffaflar Çarşısı                      | 2. Münzevî Hacı Abdullah Efendi Dergâhı  | 2. Eski Kaplıca                           |                                        |
| 3. Sipahi Çarşısı                         | 3. Ahmet Baba Dergahı                    | 3. Kara Mustafa Paşa Kaplıcası ve hamamı. |                                        |
| 4. Kazzazlar Çarşısı                      | 4. Ruffai Dergahı                        | 4. Emir Sultan Hamamı                     |                                        |
| 5. Harir Bedestanı                        | 5. Sa'dî Dergahı                         | 5. Yeşil Hamamı                           |                                        |
|                                           | 6. Mısıri Dergahı                        | 6. Bit Pazarı Hamamı                      |                                        |
|                                           | 7. Nakşibendi Dergahı                    | 7. Nalıncılar Hamamı                      |                                        |
|                                           |                                          | 8. Çömlek Hamamı                          |                                        |
|                                           |                                          | 9. İbrahim Paşa Hamamı                    |                                        |
|                                           |                                          | 10. Yolaltı Hamamı                        |                                        |
| Köprüler                                  | Hapishaneler                             | İdari Binalar                             |                                        |
| 1. İrgandı Köprüsü                        | 1. Atık Hapishanesi                      | 1. Vali (Hükümet) Konağı                  |                                        |
| 2. Sedbaşı Köprüsü                        |                                          |                                           |                                        |
| 3. Boyacıku Köprüsü                       |                                          |                                           |                                        |
| 4. Maksem Köprüsü                         |                                          |                                           |                                        |
| 5. Mandarca ve Abdal Murad Köprüleri      |                                          |                                           |                                        |

### 3.3. Deprem İstatistiği

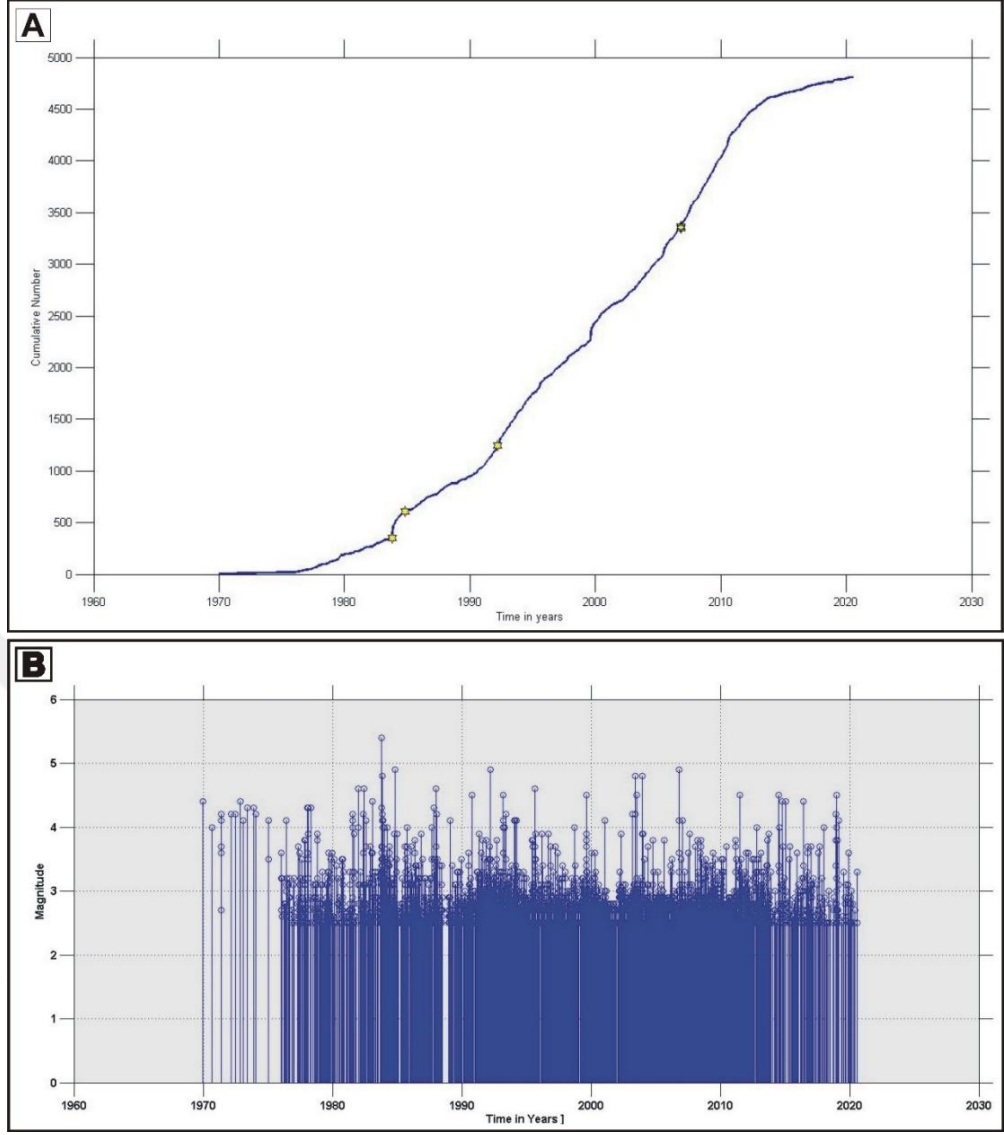
#### 3.3.1. Kullanılan veri

Deprem istatistiğinde kullanılan veri 1900 yılı ile Temmuz 2020 yılları arasını kapsamakta ve Tan (2021) tarafından verilen homojen deprem kataloğu ile KRDAE kataloğundan (Kalafat ve ark, 2000, 2007) yararlanılarak oluşturulmuştur. Bu katalogdan ilk olarak, çalışmada Bursa Bölgesi olarak isimlendirilen  $39.8^{\circ}$ - $40.6^{\circ}$  Kuzey enlemleri ile  $27.75^{\circ}$ - $30.25^{\circ}$  Doğu boylamları arasında kalan alana düşen 1970 yılı sonrası oluşan ve büyüklükleri  $M_w \geq 2.5$  olan depremler istatistiksel analizler için seçilmiştir. Bu alan Bursa ve İznik yerleşimleri çevresinde KAFZ'nun Orta ve Güney kollarını örtmektedir. KAFZ Kuzey Kol'u, Orta ve Güney kollara göre Bursa ve İznik yerleşimlerine daha uzaktan geçmektedir. Dolayısıyla bu yerleşimler üzerinde Orta ve Güney Kollardaki depremler daha etkilidir. Bu yüzden KAFZ Kuzey Kol'u kaynaklı depremleri içermeyecek şekilde çalışma alanı belirlenmiştir.



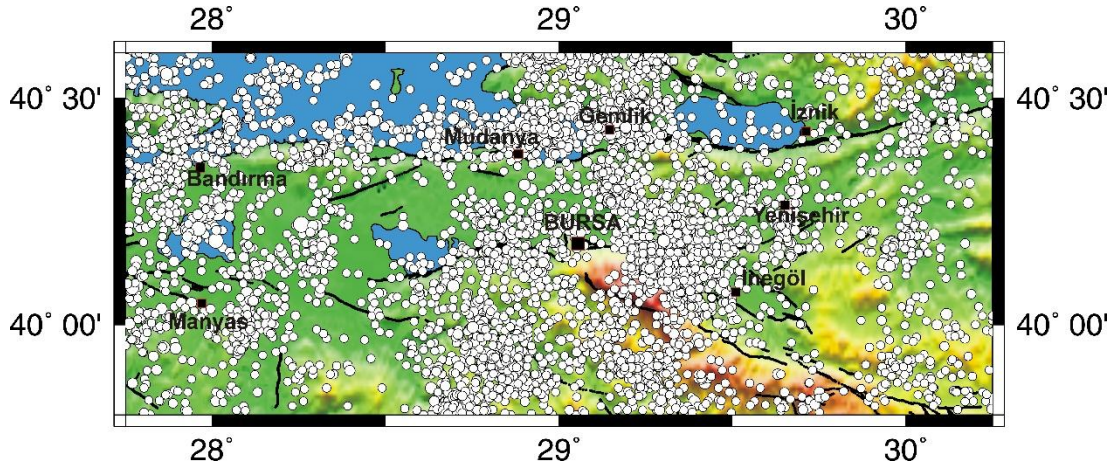
**Şekil 7.** Kullanılan ham katalogdan 1970 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_w \geq 2.5$  depremlerin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları.

1970 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_w \geq 2.5$  depremlerin seçilmesi ile oluşturulan ham katalog 4809 adet deprem içermekte olup dış merkez dağılımları Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Depremlerin kümülatif sayıları ve büyüklük-zaman dağılımları sırasıyla Şekil 3.5a ve 3.5b'de gösterilmiştir. Her iki grafik de yaklaşık 1977 yılı sonrası katalogun daha homojen hale geldiğine işaret etmektedir. Büyük olasılıkla deprem izleme ve kayıt ağında bu yıl ile başlayan bir iyileşme söz konusudur. Deprem sayılarında yaklaşık 2013 yılında başlayan düşüş genel olarak her geçen gün iyileşmeler görüldüğünden deprem izleme ve kayıt ağı ile ilişkili değil yerkabuğundaki deprem oluşumlarının doğasındaki değişim ile ilişkili olmalıdır. Bu yüzden 1977 yılı sonrası veriler seçilerek çalışma için bir deprem katalog verisi oluşturulmuştur.

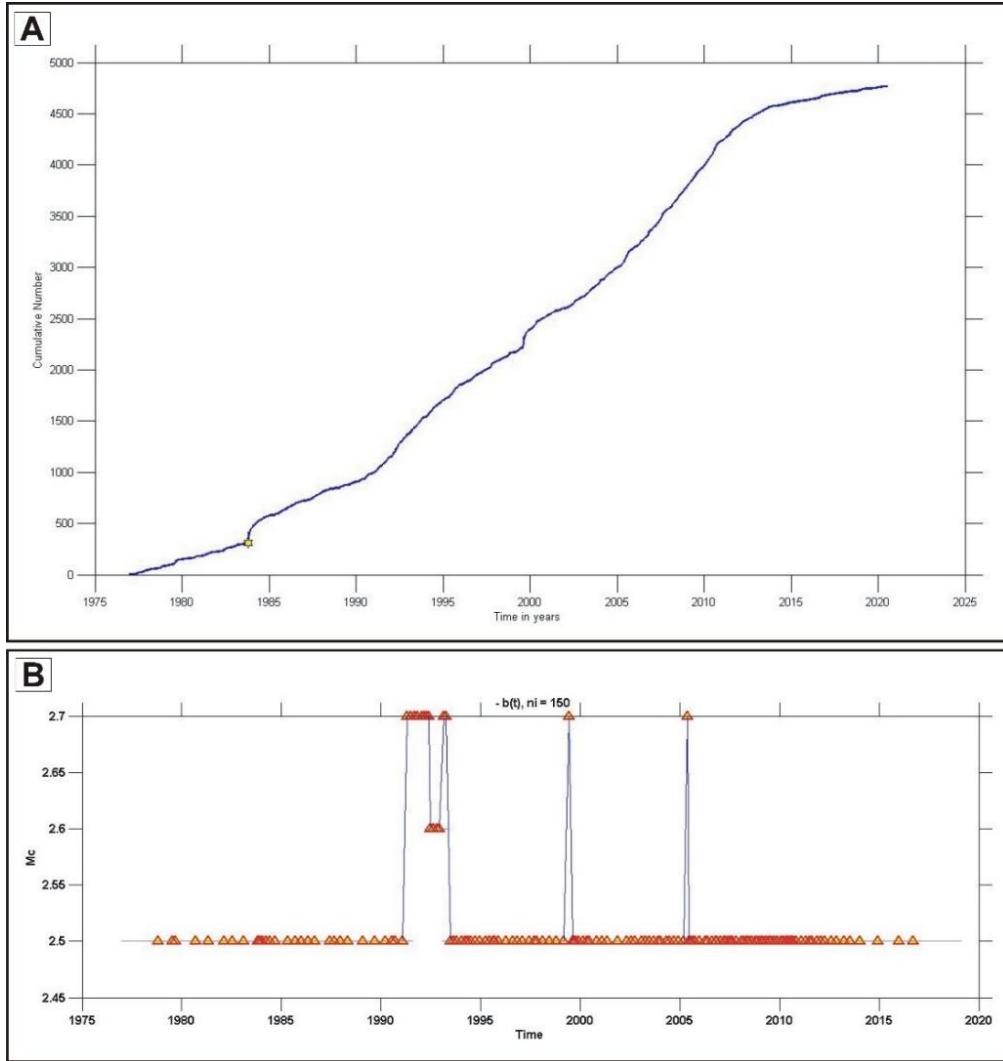


**Şekil 8.** Kullanılan ham katalogdan 1970 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_W \geq 2.5$  depremlerin (a) kümülatif sayısı (cumulative number)- ve (b) büyüklük-zaman (time) dağılımları. Her iki grafik de yaklaşık 1977 yılı sonrası katalogun daha homojen hale geldiğini göstermektedir.

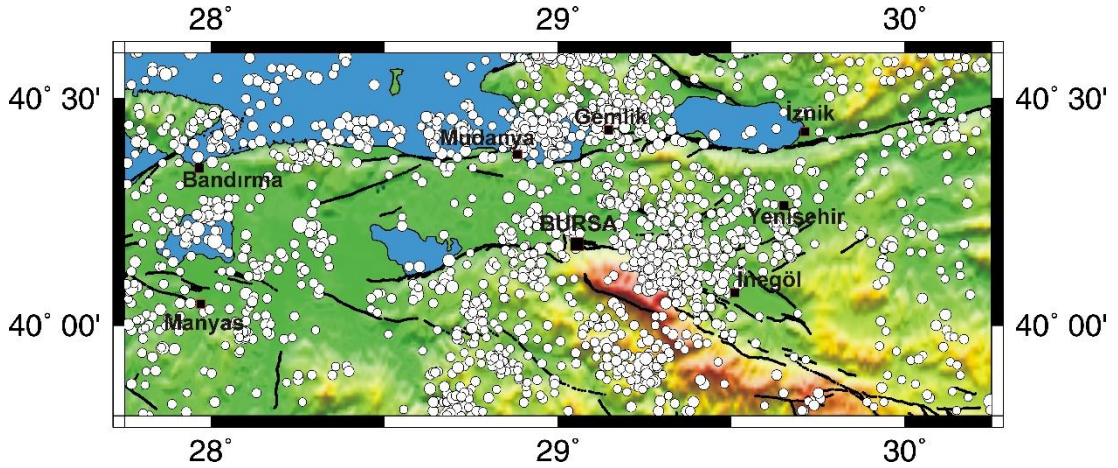
1977 yılı sonrası  $M_W \geq 2.5$  depremlerin seçilmesi ile oluşturulan ham katalog 4768 adet deprem içermekte olup dış merkez (beyaz daireler) dağılımları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.7a'da gösterilen depremlerin kümülatif sayıları artık daha homojen bir dağılıma işaret etmektedir. Ardından zaman içinde kayan bir pencere içine düşen depremlerden tamamlılık büyüklüklerinin ( $M_C$ ) zaman içindeki değişimleri belirlenmiştir. Şekil 3.7b'de gösterilen değişim 1977 yılı sonrası deprem katalogunun  $M_W \geq 2.7$  depremler için tam olduğuna işaret etmektedir. Bundan dolayı daha da güvenilir ve tam olan bir deprem verisi elde etmek için  $M_W \geq 2.8$  depremleri içeren yeni bir katalog oluşturulmuştur.



**Şekil 9.** Kullanılan katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_w \geq 2.5$  depremlerin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları.



**Şekil 10.** Kullanılan katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_w \geq 2.5$  depremlerin (a) kümülatif sayısı (cumulative number)-zaman (time) ve (b) tamamlılık büyüklüğü ( $M_c$ ) zaman evrimi. Zaman evrimi 150 depremlik kayan bir zaman penceresinden hesaplanmıştır.

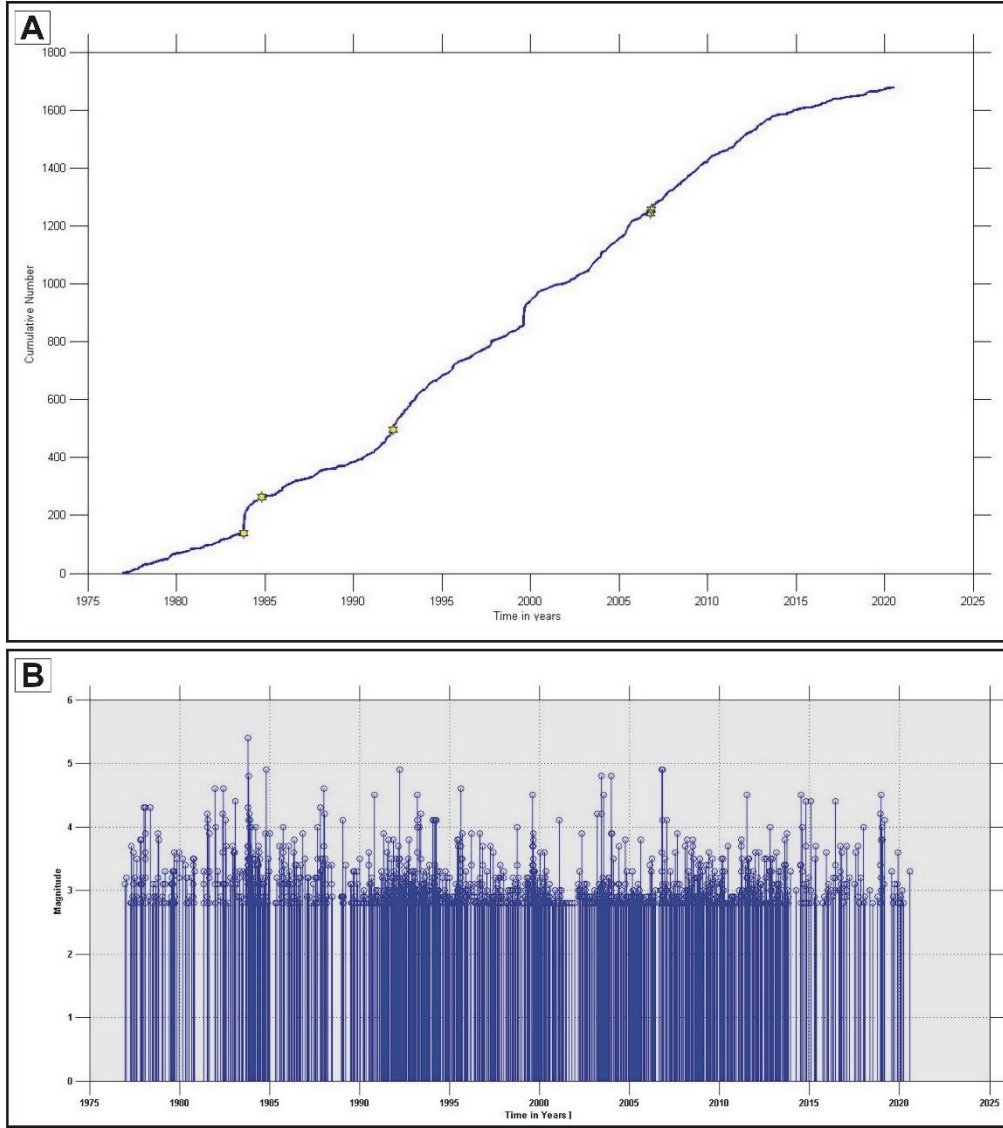


**Şekil 11.** Kullanılan katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_w \geq 2.8$  depremlerin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları.

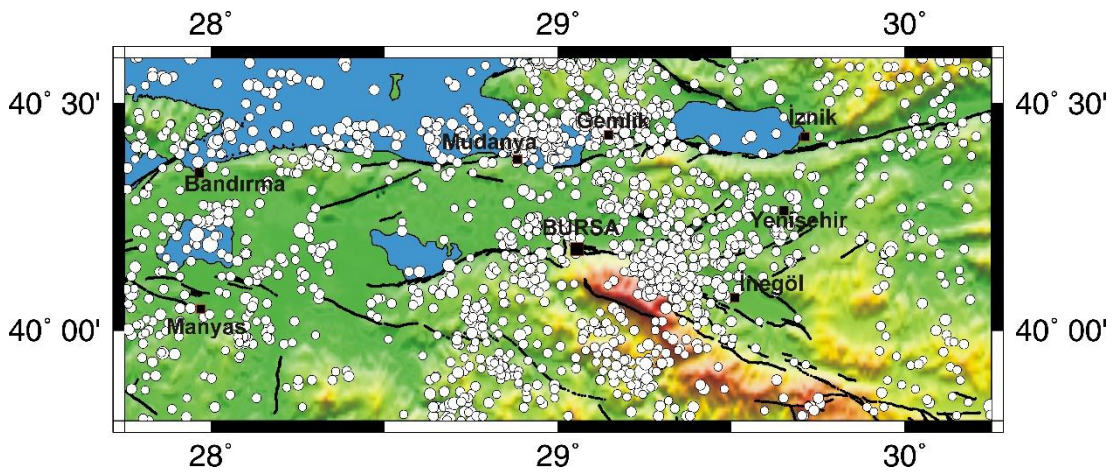
Bu yeni katalogdaki depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 3.8’de gösterilmiş olup 1677 adet deprem içermektedir. Depremlerin kümülatif sayıları ve büyüklük-zaman dağılımları da sırasıyla Şekil 3.9a ve 3.9b’de gösterilmiştir. Depremlerin kümülatif sayılarının Bursa Bölgesi’nde meydana gelen görece büyük depremler ve bölge dışında Kuzey Kol boyunca meydana gelen 1999 İzmit ve Düzce depremleri sonrası kısa süreli anomali deprem sayısı artışları hariç homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir.

Bunun ardından katalogdaki öncü ve artçı depremlerin olabildiğince matematik olarak ayıklanarak sadece normal deprem etkinliğinin elde edilmesi için bir arındırma (Reasenber, 1985) işlemi uygulanmıştır. Arındırma işlemi sonucunda katalogdan 141 adet deprem ayıklanarak toplamda 1536 adet deprem içeren arındırılmış deprem kataloğu elde edilmiş ve inceleme bölgesi için G-R bağıntısının elde edilmesinde kullanılmıştır.

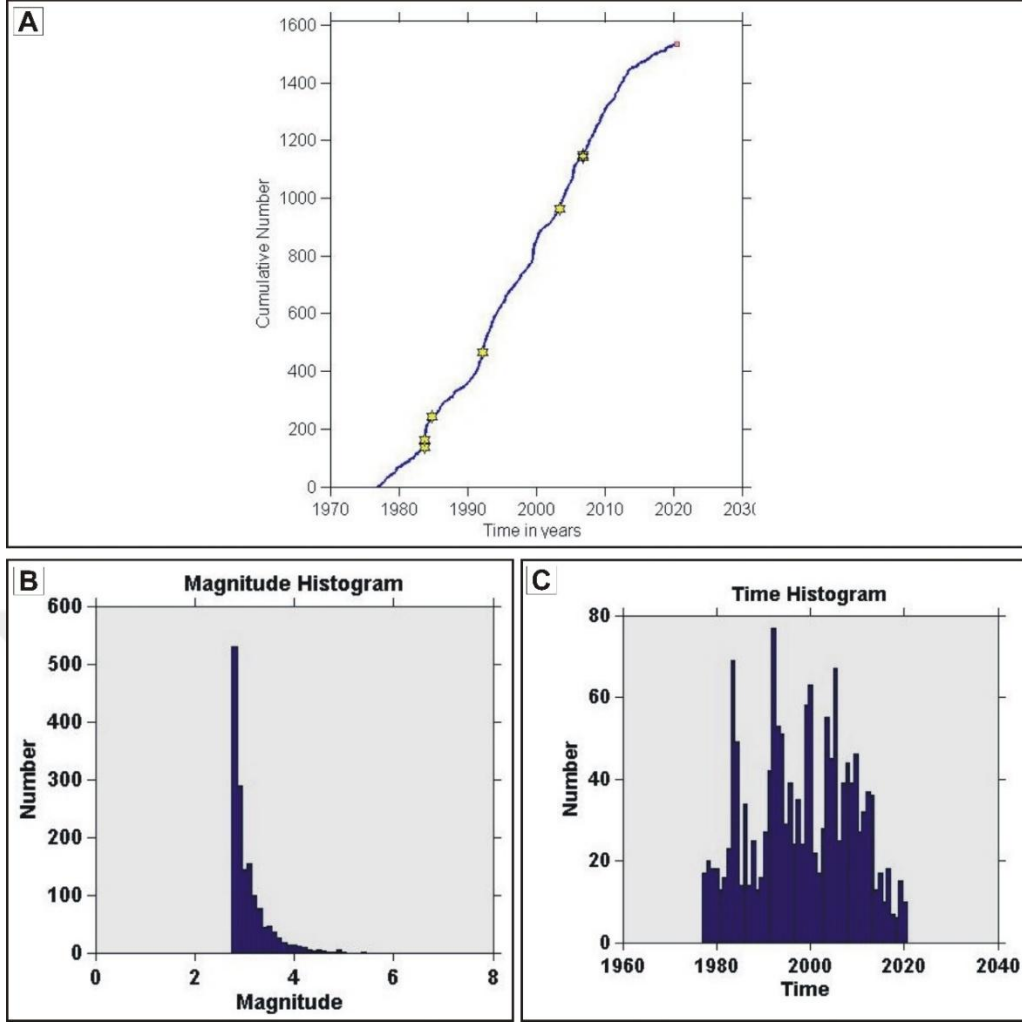
Arındırma işlemi sonucunda elde edilen deprem kataloğunun bu son hali içinde yer alan depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Arındırılmış katalogdaki depremlerin kümülatif sayılarının zaman içindeki dağılımı Şekil 3.11a’da gösterilmiştir. Şekil 3.11a’da gösterilen dağılım arındırma işlemi öncesi dağılımla (Şekil 3.9a) karşılaştırıldığında Bursa Bölgesi’nde meydana gelen görece büyük depremler ve 1999 İzmit ve Düzce depremleri sonrası deprem sayılarındaki kısa süreli anomali değişimlerin daha yumuşak hale geldiğini göstermektedir. Ayrıca Şekil 3.5a ve 3.7a’da verilen deprem sayılarının kümülatif dağılımları karşılaştırıldığında kataloğun ham haline göre çok daha homojen hale geldiği görülmektedir.



**Şekil 12.** Kullanılan katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_w \geq 2.8$  depremlerin (a) kümülatif sayı (cumulative number)- ve (b) büyüklük-zaman (time) dağılımları.



**Şekil 13.** 1977 yılı sonrası  $M_w \geq 2.8$  depremleri içeren arındırılmış katalogda yer alan 1536 depremin dış merkez (beyaz daireler) dağılımları.



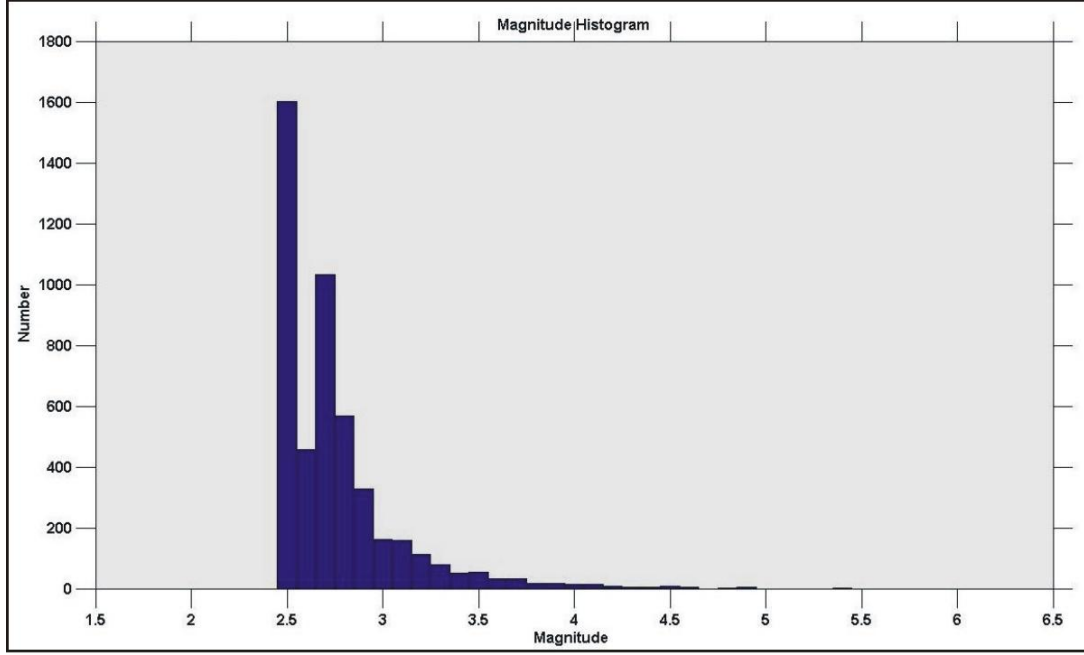
**Şekil 14.** 1977 yılı sonrası  $M_w \geq 2.8$  depremleri içeren arındırılmış katalogda yer alan deprem sayılarının (a) kümülatif sayıları (cumulative number)-zaman (time) dağılımı ve (b) magnitüd-sayı (number) ve (c) zaman-sayı histogramları.

Şekil 11b’de verilen büyüklük histogramındaki büyüklükle deprem sayılarının üstel azalımı katalogun tatmin edici bir homojenliğe ulaştığına işaret ederken Şekil 11c’de gösterilen zaman histogramı 2013 yılı sonrası deprem sayılarının azaldığına işaret etmektedir. Şekil 3.12’de verilen ve ham katalogdan 1977 yılı sonrası seçilen ve çalışma alanına düşen  $M_w \geq 2.5$  depremlerin büyüklük histogramı ile Şekil 11b’deki arındırılmış katalog büyüklük histogramı karşılaştırıldığında daha homojen bir dağılım görülebilir. Dolayısıyla, katalogun deprem istatistiğinin temel bağıntısı G-R bağıntısının belirlenmeye uygun hale geldiğine karar verilmiştir.

### 3.3.2. Bursa Bölgesi G-R bağıntısı ve deprem tehlikesi

Yukarıda verilen katalog işlemlerinden sonra hazır hale getirilen deprem verisinden belirlenen G-R bağıntısı ve hesaplanan parametreleri Tablo 3.4 ve Şekil 3.13’de

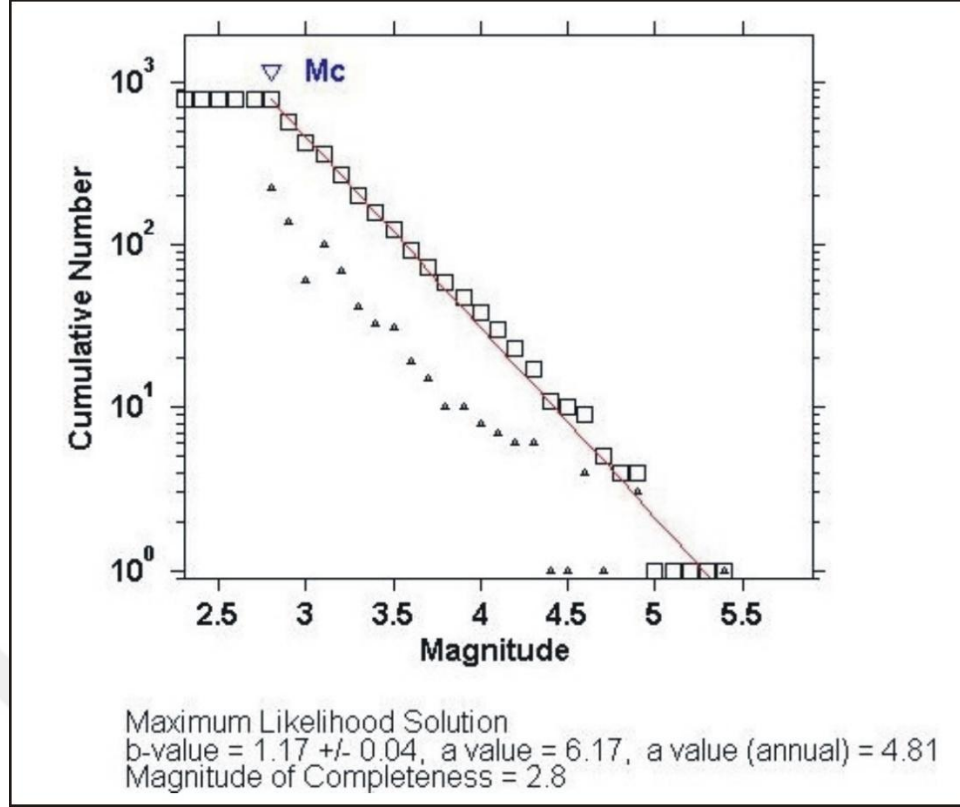
verilmiştir. Bağıntıdaki b-değeri 1.17 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte çalışmada kullanılan Zmap paket yazılımı b-değerinin zaman içindeki değişimini de hesaplayabildiğinden bu parametrenin zaman içindeki değişimi de hesaplanmıştır. Hesaplanan b-değerinin zaman içindeki değişimi Şekil 3.14’de verilmiştir. Görüldüğü gibi her ne kadar tüm veriden b-değeri 1.17 olarak hesaplanmışsa da zaman içinde 150 deprem genişliğinde kayan bir zaman penceresinden hesaplanan b-değerleri 0.9-2.4 aralığında değişimler göstermektedir.



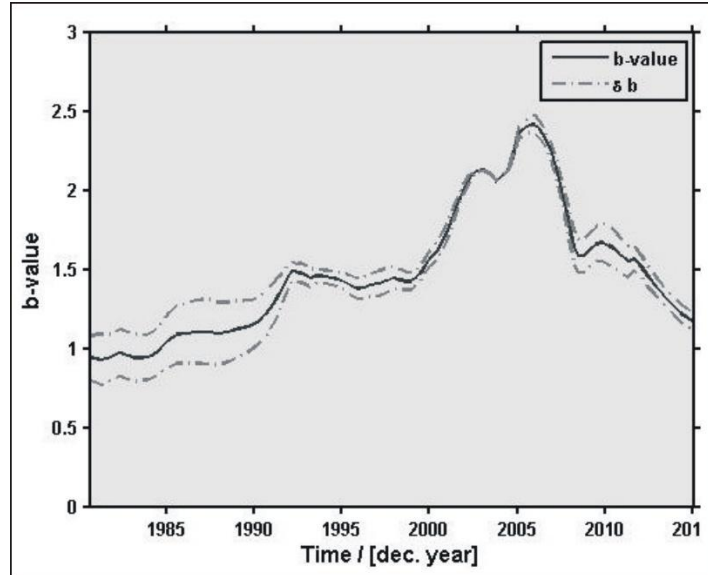
**Şekil 15.** 1977 yılı sonrası  $M_W \geq 2.5$  depremleri içeren ham katalogda yer alan depremlerin magnitüd-sayı (number) histogramı. Katalogdaki depremlerin dış merkez dağılımları için Şekil 3.6’ya bakınız.

G-R bağıntısının belirlenmesi istatistiki olarak Denklem 3 ve 4 kullanılarak deprem tehlikesinin hesaplanmasına da olanak sağlamaktadır. G-R bağıntısından belirlenen a-değeri ve b-değeri kullanılarak Bursa Bölgesi’nde hedeflenen 3 büyüklük değeri ( $M_h=6.5, 6.8$  ve  $7.0$ ) için deprem tekrarlanma aralıkları ve bu büyüklükteki depremlerin önümüzdeki 30 ve 50 yıl içinde gerçekleşme olasılıkları el ile hesaplanmıştır.

Hesaplama sonuçları Tablo 3.3’de verilmiştir. Hesaplanan değerler Bursa Bölgesi’nde istatistiki olarak  $M_W = 6.5$  büyüklükteki bir depremin 624 yılda bir tekrarladığını ve önümüzdeki 30 yıl içinde %5 olma olasılığına sahip olduğunu göstermektedir. İstatistiki bu sonuçlar çalışmada derlenen diğer bilgilerle birlikte bölgedeki deprem tehlikesi bağlamında aşağıda tartışılacaktır.



**Şekil 16.** Bursa Bölgesi için 1977-2020 yılları arasını kapsayan arındırılmış katalogdan belirlenen G-R bağıntısı ve hesaplanan parametreleri. Hesaplama En Büyük Olasılık Yöntemi (Maximum Likelihood Method) kullanılmış ve çözüm (solution) grafik altında sunulmuştur. Magnitude of completeness: tamamlılık büyüklüğü, Cumulative number: kümülatif sayı, b-value: b-değeri, a-value: a-değeri ve a-value (annual): a-değeri (yıllık).



**Şekil 17.** Bursa Bölgesi için 1977-2020 yılları arasını kapsayan arındırılmış katalogdan belirlenen G-R bağıntısı b-değerinin (b-value) hesaplanan zaman (time) içindeki değişimleri. Kesikli çizgiler b-değeri standart sapma ( $\delta b$ ) aralığına karşılık gelmektedir.

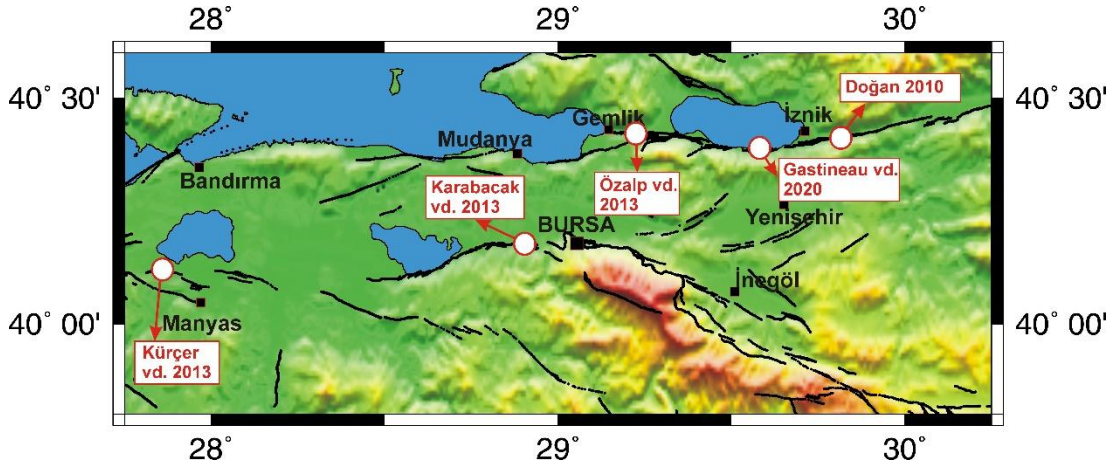
**Tablo 3.3.** Bursa Bölgesi'nde G-R bağıntısından belirlenen a-değeri ve b-değeri kullanılarak hesaplanan hedeflenen 3 büyüklük değeri için deprem tekrarlanma aralıkları ve önümüzdeki 30 ve 50 yıl içinde gerçekleşme olasılıkları.

|      | a-<br>değeri | b-<br>değeri | $10^{a-bM}$ | $T_R$<br>(yıl) | R<br>(gelecek 30 yıl<br>içindeki olasılık<br>) |      |      | R<br>(gelecek 50 yıl<br>içindeki olasılık %) |      |      |
|------|--------------|--------------|-------------|----------------|------------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------|------|------|
| 1977 | 4.81         | 1.17±        | M           | 0.001603       | M                                              | M    | M    | M                                            | M    | M    |
| -    |              | 0.04         | 6.5         |                | 6.5                                            | 6.8  | 7.0  | 6.5                                          | 6.8  | 7.0  |
| 2020 |              |              |             |                |                                                |      |      |                                              |      |      |
|      |              |              | M           | 0.000714       | 624                                            | 1399 | 2398 | 4.69                                         | 2.12 | 1.24 |
|      |              |              | 6.8         |                |                                                |      |      | 7.70                                         | 3.50 | 2.06 |
|      |              |              | M           | 0.000416       |                                                |      |      |                                              |      |      |
|      |              |              | 7.0         |                |                                                |      |      |                                              |      |      |

### 3.4. Fay Hendeği Çalışmaları

Faylar boyunca açılan hendekler tarihi depremlerin ve oluştukları fayın belirlenmesinde değerli bilgiler sağlarlar (Grant, 2002). Bu bilgiler tarihi belge ve kayıtlardan yararlanılan tarihsel dönem deprem katalogları (Ambraseys ve Finkel, 1991, 1995; Papazachos and Papazachou, 1997; Ambraseys, 2000, 2002, 2009; Guidoboni ve Comastri, 2005) ile karşılaştırılarak tarihi depremlerin zaman, yer ve bazen de büyüklükleri aydınlatılmaya çalışılır.

Bu çalışmada yapılan literatür taraması ile Bursa Bölgesi'nde yapılmış fay hendeği çalışmalarına (Doğan, 2010; Özalp ve ark, 2013; Kürçer ve ark, 2017; Gastineau ve ark, 2020; Karabacak ve ark, 2021) ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda incelenen fay hendeklerinin konumları Şekil 3.15'de verilmiştir. Doğan (2010), İznik doğusunda 1486 ile 1778 yılları arasında bir depremin izine rastlamıştır. Bu depremin 1419 depremi olma olasılığı düşünülebilir. Özalp ve ark. (2013) Gemlik doğusunda 1419 ve 1857 depremlerinin izlerini rapor etmişlerdir. 1857 depreminin büyüklüğü  $M_s=6$  civarında olduğundan (Ambraseys, 2000), yaklaşık  $M_s=7.2$  büyüklüğünde olan 1419 depreminin bir sonraki deprem olarak dikkate alınmamıştır. Kürçer ve ark. (2013) Manyas ilçesi KB'ında ve Manyas Gölü GB'sında açtıkları fay hendeklerinde 1327 ve 1964 depremlerinin izlerini belirlemişlerdir. Gastineau ve ark. (2020), İznik Gölü tabanındaki çökellerde son 2 bin yıl içinde 14 depremin etkilerini ve 1065 depremine ait bir fay hareketini belgelemişlerdir. Karabacak ve ark. (2021) Bursa'nın hemen batısında 1143 ve 1855 depremlerinin izlerine rastlamışlardır. Dolayısıyla, bu çalışmalar 1065, 1143, 1327, 1419, 1855 ve 1964 depremlerinin Bursa Bölgesi içinde olduklarının kanıtlarıdır.



**Şekil 18.** Literatür taramasında ulaşılan Bursa Bölgesi'nde yapılmış fay hendeği çalışmaları ve konumları.

### 3.5. Tartışma

Tarihi deprem kataloglarından elde edilen bilgiler özellikle 1065 İznik, 1143 Bursa, 1327 Karacabey, 1419 Bursa, 1556 Güney Marmara Denizi-Erdek ve 1855 Bursa depremlerinin Bursa Bölgesi'nde görece daha fazla etki oluşturduklarını göstermektedir (Şekil 1.2.). Bu depremlerin hepsi KAFZ Orta ve Güney kolları üzerinde oluşmuştur. KAFZ'nun İzmit Körfezi ve İstanbul açıklarından geçen Kuzey Kolu depremleri Bursa Bölgesi'nde görece daha az etki göstermiştir.

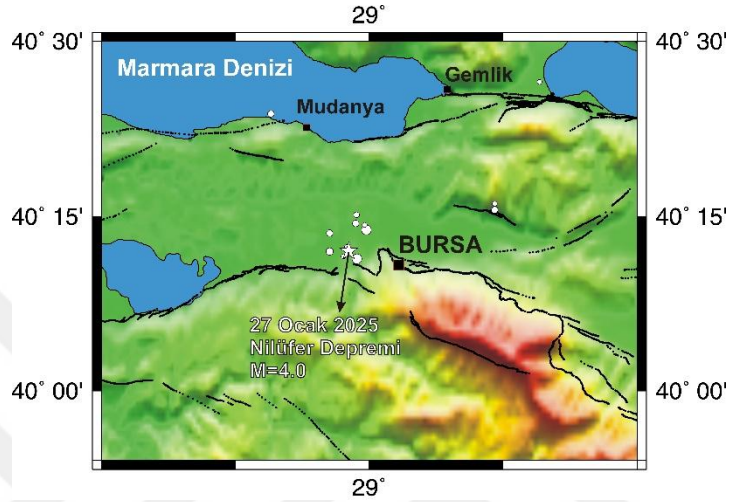
Adatepe ve Erel (2006)'nın çalışmalarında sunduğu verilerden tarihsel dönem depremlerin İznik yerleşimini tamamen yıkıp yok etmediği şeklinde bir değerlendirme yapması depremlerin bu yerleşim üzerinde pek etkili olmadığı biçiminde yorumlanmamalıdır. Doğancı (2007) İznik yerleşimini etkileyen önemli depremler ve bu depremler sonrası yeniden inşa çalışmaları hakkında verdiği bilgiler bu yerleşimde depremlerin çok etkili olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada verilen bilgilere göre MS34 yılında meydana gelen bir depremde şehrin büyük bölümü yıkılmıştır. Bithynia (bugünkü Kocaeli Yarımadası ve yakın civarı) valisi Plinius (Gaius Plinius Caccilius Secundus, MS62-113, Benek (2016)) MS34 yılında bu yerleşimde meydana gelen deprem sonrası kötü planlanmış, yumuşak zeminler üzerinde yer seçimi yapılmış, yeterinden çok para harcanmış ve iyi yönetilemeyen inşaat projelerinden bahsetmiştir. Bu yapılar MS120 yılında meydana gelen depremde yıkılmıştır. Bunlara ilave olarak MS362 ve 368 tarihlerinde meydana gelen depremler İznik'in büyük bölümünü harabeye çevirmiş ve ciddi hasarlara neden olmuştur. Dolayısıyla İznik'de depremler tarihte büyük etki oluşturmuştur.

İznik Gölü'nde su altında kalmış bazilika kilisenin MS740 ya da MS1065 depremleri sonucu yıkıldığı ve su altında kaldığı öne sürülmüştür (Şahin ve ark, 2014; Şahin, 2022). Bununla birlikte Erginal ve ark. (2021) bu yapının depremlerde yükselen kaya zemin üzerinde bulunduğunu ve yapının su altında kalmasının depremler sonucu olamayacağını iklim kaynaklı süreçler sonucu gelişen bir su yükselmesi sonucu olabileceğini önermiştir. İznik surları güney duvarları boyunca belirlenmiş düşey ötelenmelerin (Adatepe ve Erel, 2006) İznik Gölü içinde (Gastineau ve ark, 2021) ve güney sahilleri boyunca (Erginal ve ark, 2021) uzanan faylar boyunca belirlenen 0.5 m'lik düşey yer değiştirmelerle benzerliği de ilginçtir.

Keskin (2015)'nin çalışmasında Bursa'daki Nalbantoğlu Camii'nin 1654 depremi sonrası esaslı onarım gördüğünü belirtmesi üzerine bu yıl bir deprem olup olmadığı tarihi deprem kataloglarından araştırılmış ve 1654 yılında Marmara Bölgesinde oluşmuş bir deprem bulunamamıştır. Ambraseys (2009) 1656 yılında meydana gelmiş İstanbul depreminden bahsetmektedir. Bunun yanı sıra 1648 yılında meydana gelmiş bir İstanbul depremi vardır. Bu depremler yukarıda etkileri anlatılan depremlere göre küçük depremlerdir. Papazachos and Papazachou (1997), 1648 depreminin büyüklüğünü  $M_S=6.4$  olarak vermektedir. 1653 yılında Aydın'da meydana gelen ve büyüklüğü yaklaşık  $M_S=7.1$  olan bir deprem vardır (Papazachos and Papazachou, 1997; Ambraseys, 2009). Tarihi kayıt ve belgelerdeki deprem tarihlerinde farklılıklar olabildiği gibi takvimler arası dönüşümlerden dolayı da farklılıklar olabilmektedir. Dolayısıyla, Keskin (2015)'in çalışmasında belirtilen deprem 1648 ya da 1656 İstanbul depremleri olabilir.

Kürçer ve ark. (2013)'nin çalışması Manyas civarında son iki deprem arasında 1964-1327=637 yıl zaman aralığına işaret etmektedir. Karabacak ve ark. (2021) çalışması ise Bursa'nın hemen batısında son 2 deprem arasında 1855-1143=712 yıl bir zaman aralığı önermektedir. Özalp ve ark. (2013) çalışmasında belirlenen 1857 depreminin büyüklüğü  $M_S=6$  civarında olduğundan (Ambraseys, 2000), yaklaşık  $M_S=7.2$  büyüklüğünde olan 1419 depreminin bir öncesi deprem olarak dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla fay hendeği çalışmaları Orta Kol boyunca bir konumda 650-700 yıl civarı bir zaman aralıklarıyla büyük depremlerin oluştuğuna işaret etmektedir. Fay hendeği çalışmalarından belirlenen 650-700 yıllık tekrarlanma zamanının yukarıda deprem istatistiğinden  $M_W=6.5$ , 6.8 ve 7.0 büyüklükleri için hesaplanan deprem tekrarlanma zamanları olan sırasıyla 624, 1399 ve 2398 yıl ile karşılaştırılabilir olduğu görülür.

Hesaplanan bu deprem tekrarlanma zamanları önceki çalışmalarda (Öncel ve Wyss, 2000; Utkucu ve ark, 2022) belirlenenlerle de benzerdir. Gemlik-Geyve arasındaki fayda oluşan 1419 Bursa depreminden (Özalp ve ark, 2013) bu yana 605 yıl ve Gemlik-Bandırma arası fay boyunca olduğu düşünülen 1556 depreminden (Ambraseys, 2002) bu yana 468 yıl geçtiği düşünüldüğünde büyük deprem zaman aralığının dolmaya yakın olduğu söylenebilir.



**Şekil 19.** 27 Ocak 2025 Nilüfer (Bursa) depremi ( $M=4.0$ ) ve artçı depremlerinin dış merkez dağılımları. Konumlar KRDAE'den alınmıştır.

Gerek tarihi deprem katalogları, gerek fay hendeği çalışmaları gerekse deprem istatistiği Bursa Bölgesi'ndeki büyük depremlerin önemli ölçüde afetlere yol açtığını ve gelecekte de bir deprem tehlikesinin olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, gelecekteki bu deprem tehlikesinin devamlı güncellenerek deprem senaryolarının hazırlanması ve deprem riskinin azaltılması önem arz etmektedir. Bu bağlamda yapılmış bazı çalışmalar (Karanci ve Aksit, 1998; Ünal ve ark, 2017) olmasına rağmen bunların yeterli olduğunu ve bir deprem tehlike-afet farkındalığının oluştuğunu söylemek zordur. Nitekim 27 Ocak 2025 tarihinde Bursa'nın Nilüfer ilçesinde oluşan ve KRDAE tarafından büyüklüğü  $M=4.0$  olarak verilen deprem ve artçı depremlerinin oluşturduğu korku ve panik bu çıkarımı destekler niteliktedir (Şekil 3.16) (<https://www.hurriyet.com.tr/gundem/bursada-deprem-panigiyle-fenalasti-42672691>). Böyle küçük büyüklükteki bir depremde yaşanan korku ve paniğin derecesi deprem tehlike-afet farkındalığının düşük olduğunu ve insanların depremler karşısında kendilerini güvende hissetmediklerini göstermektedir. Dolayısıyla Bursa Bölgesi'nde deprem tehlike-afet farkındalığının oluşturulması ve deprem afet zararlarının azaltılması çalışmalarına öncelik verilmelidir.



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Bursa ve İznik gibi önemli iki tarihsel yerleşimi ve yakın çevresini içeren ve Bursa Bölgesi olarak isimlendirilen alanda deprem tehlikesi ve tarihi depremlerin yerleşimler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda tarihi çalışmalar ve tarihi deprem katalogları araştırılarak ve aletsel dönem depremlerinden deprem istatistiği yapılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- MS1000 yılı sonrası Bursa Bölgesi'nde özellikle etki gösteren depremlerin 1065 İznik, 1143 Bursa, 1327 Karacabey, 1419 Bursa, 1556 Güney Marmara Denizi-Erdek ve Mart-Nisan 1855 Bursa depremlerinin olduğu görülmüştür. Bu depremler KAFZ Orta ve Güney kolları üzerinde oluşan depremler olup KAFZ'nun İzmit Körfezi ve İstanbul açıklarından geçen Kuzey Kolu depremlerinin Bursa Bölgesi'nde görece daha az etki oluşturduğu belirlenmiştir.
- Tarihi kaynaklardan bölgedeki önemli yerleşimler olan Bursa ve İznik'in gerek MS1000 yılı sonrası gerekse öncesi bazı depremlerden dolayı büyük ölçüde harabeye döndüğü anlaşılmıştır. Bu bağlamda Bursa'nın Mart-Nisan 1855 ve İznik'in de MS362 ve 368 depremlerinden sonraki durumları gösterilebilir.
- Bölgedeki faylar boyunca açılan fay hendeklerinden bölge içinde Orta ve Güney kollar boyunca büyük depremlerin 650-700 yıllık zaman aralıklarıyla oluştuğu anlaşılmıştır.
- Bölge içinde 1977 ile 2020 yılları arası dönemde meydana gelen  $M_w \geq 2.8$  depremlerden belirlenen G-R bağıntısındaki a-değeri (yıllık) ve b-değeri En Büyük Olasılık Yöntemi kullanılarak sırasıyla 4.81 ve 1.17 olarak hesaplanmıştır. Hedeflenen 3 büyüklük değeri ( $M_h=6.5, 6.8$  ve  $7.0$ ) için G-R bağıntısından hesaplanan deprem tekrarlanma aralıkları sırasıyla 624, 1399 ve 2398 yıldır.  $M_w=6.5$  büyüklükteki bir depremin önümüzdeki 30 yıl içinde olma olasılığının %5 olduğu hesaplanmıştır. Fay hendeği çalışmalarından elde edilen büyük deprem tekrarlanma zaman aralıklarıyla kullanılan deprem kataloğunun istatistiksel analizi sonucunda elde edilen büyük deprem tekrarlanma zaman aralıklarının benzerlik göstermesi dikkat çekici bulunmuştur.

- Gemlik-Geyve arasındaki Orta Kol boyunca oluşan 1419 Bursa depreminden bu yana 605 yıl ve Gemlik-Bandırma arası fay boyunca olduğu düşünülen 1556 depreminden bu yana 468 yıl geçtiğinden büyük deprem tekrarlanma aralığının dolmaya yakın olduğu ve deprem tehlikesinin kaygı verici olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan b-değeri zaman değişimlerinin 2006 yılı sonrası gösterdiği düşüş bu artan deprem tehlikesinin bir belirteci olarak yorumlanmıştır.
- Bölgedeki yerleşimlerdeki tarihi ve kültürel eserlerinin gördükleri hasarlar ve onarımlara dair tarihi-arkeolojik-jeofizik çalışmalardan derlenen çok sayıda örnek sunulmuştur. Bunlar arasından Bursa Ulu Camii ve İznik'deki su kemeri gösterilebilir.
- Büyük depremlerin bölgedeki yerleşimlerde refah seviyesini etkileyen ve hatta oluşturdukları sosyal ve ekonomik zayıflıkla düşman işgaline yol açan sonuçlar doğurduğuna dair bilgilere ulaşılmıştır.
- Bursa Bölgesi'ndeki büyük depremlerin önemli ölçüde afetlere yol açtığı ve gelecekte de bir deprem tehlikesinin olduğu düşünüldüğünde afet yönetimi bağlamında deprem tehlikesinin yapılacak çalışmalarla devamlı güncellenmesi, güncellenen tehlike temelli deprem senaryolarının hazırlanması, deprem tehlike-afet farkındalığının oluşturulması ve deprem riskinin azaltılması gerekliliği ortaya konulmuştur. Bölgedeki yerleşimlerdeki tarihi ve kültürel değerlerin sayıca çokluğu, nüfus yoğunluğu ve sanayinin gelişmişliği deprem afet zararlarının azaltılması çalışmalarının öncelik verilmesini lüzumlu kılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Acar, E. (2022). (1964) Manyas Depreminin Yansımaları ve Etkileri. *International Social Sciences Studies Journal*, (e-ISSN:2587-1587) Vol:8, Issue:105; pp:4400-4405
- Adatepe, F. ve Erel, L. (2006). İznik tarihsel dönem deprem verilerinin irdelenmesi. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C. 19, S. 2, SS. 131-150.
- Agnew, D.C. (2002). *History of Seismology. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Part A. 1st Edition, Volume 81A. Editors: William H.K. Lee, Paul Jennings, Carl Kisslinger, Hiroo Kanamori. Academic Press ISBN 0-12-440652-1.
- Aki, K. (1965). Maximum likelihood estimate of b in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits. *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 43, 237-239.
- Aktürk, İ. ve Albeni M (2002). *Doğal Afetlerin Ekonomik Performans Üzerine etkisi: 1999 Yılında Türkiye’de Meydana Gelen Depremler ve Etkileri*, [Yüksek lisans tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 7(1), 1-18.
- Alptekin, Ö. (1978). Batı Anadolu depremlerinin odak mekanizmaları ve bunların aktif tektonik ilişkileri, 2. Odak mekanizmaları ve plaka tektoniği modeli, *Jeofizik*, 3, 30-57.
- Ambraseys, N.N. (2000). The seismicity of the Marmara Sea Area 1800-1899. *Journal of Earthquake Engineering*, 4, 377-401.
- Ambraseys, N.N. (2002). ‘‘The seismic activity of the Marmara Sea Region over the last 2000 years’’, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 1-18.
- Ambseys, N.N.(2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press., ISBN: 978-0-521-87292-8.
- Ambraseys NN, Finkel ,CF .(1991). Long-term seismicity of İstanbul and of the Marmara Sea region. *Terra Nova* 3:527-539.
- Ambraseys NN, Finkel, CF. (1995) . *The seismicity of Turkey and adjacent areas: a historical review, 1500-1800*. Eren Publication, İstanbul, ISBN 975-7622-38-9, 240 pp
- Barka, A. A. ve Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(3), 663-684.
- Aybek S. ve Öz, A.K. (2004). Preliminary report of the archaeological survey at Appolonia Ad Rhyndacum in Mysia. *Anatolia* 27, 1-25.
- Benek, M.S. (2016). Genç Plinius’un Anadolu Mektupları Işığında Traianus Döneminde Bithynia Eyalet Yönetimi, *Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi*, Bahar 2016-Cilt 17-Sayı 36.

- Benjelloun, Y., Dessales, H., Sigoyer, J., Garambois, S. and Şahin M. (2018). Construction history of the aqueduct of Nicaea (Iznik, NW Turkey) and its on-fault deformation viewed from archaeological and geophysical investigations. *Journal of Archaeological Science: Reports, Elsevier*, 2018, 21, pp.389-400. doi:10.1016/j.jasrep.2018.08.010
- Bilham, R. Societal and observational problems in earthquake risk assessments and their delivery to those most at risk, *Tectonophysics* (2012), doi:10.1016/j.tecto.2012.03.023.
- Binan, D. (2000) .Altı asırlık bir belge: Bursa Ulucamisi, *Mimarlık Tarihi*, July 2000, 146-155.
- Civico, R., Smedile, A., Pantosti, D., Cinti, F. R., De Martini, P. M., Pucci, S. and Şentürk, S. (2021). New trenching results along the İznik segment of the central strand of the North Anatolian Fault (Turkey): an integration with preexisting data. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 3(1), 115-128.
- Çetin, C. (2004). *Marmara Bölgesinde artçı depremlerin istatistiksel analizi* [Yüksek Lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2004, 103 sayfa.
- Çetinkaya, H. (2021). Byzantine Churches of Nicaea, *Nis and Byzantium Symposium XIX*, 55-76. <http://www.nisandbyzantium.org.rs/srpski.php>.
- CSBB (2023) *Kahramanmaraş And Hatay Earthquakes Report*, Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 143p.
- Doğan, B. (2010). *Kuzey Anadolu Fay Sistemi Güney Kolunun Geyve-Gemlik Arasındaki Kesiminin Morfotektonik, tektonostratigrafik ve Paleosismolojik Evrimi* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 325 sayfa.
- Doğancı, K. (2007). *Roma Principatus Dönemi (MÖ. 27-MS284) Bithynia eyaleti valileri (prosografik bir inceleme)*. [Doktora Tezi] ,375 sayfa. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., and Şaroğlu, F. (2013). "Active fault map of Turkey with explanatory text", General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, 30. Ankara, Turkey
- Engdahl, E.R. and Villaseñor, E.R. (2002). *Paleoseismology. History of Seismology. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Part A. 1st Edition, Volume 81A, pp665-690. Editors: William H.K. Lee, Paul Jennings, Carl Kisslinger, Hiroo Kanamori. Academic Press ISBN 0-12-440652-1.
- Erentöz, C. ve Krutman F. (1964). 1964 Yılı Manyas Depremi Üzerine Rapor, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 63(63), 1-5.
- Erginal, A. E., Erenoğlu, R. C., Yıldırım, C., Selim, H. H., Kıyak, N. G., Erenoğlu, O. and Karabıyıklıoğlu, M. (2021). Co-seismic beachrock deformation of 8th century AD earthquake in middle strand of north Anatolian fault, lake Iznik, NW Turkey. *Tectonophysics*, 799, 228690.

- Frechet, J., Meghraoui, M. and Stucchi, M. (2008). *Preface. Historical Seismology, Interdisciplinary Studies of Past and Recent Earthquakes*. Editors J. Frechet, M. Meghraoui and Massimiliano Stucchi, Springer. ISBN: 978-1-4020-8221-4.
- Gastineau, R., De Sigoyer, J., Sabatier, P., Fabbri, S. C., Anselmetti, F. S., Develle, A. L. and Gebhardt, A. C. (2021). Active subaquatic fault segments in Lake Iznik along the middle strand of the North Anatolian Fault, NW Turkey. *Tectonics*, 40(1), e2020TC006404.
- Grant, L.G. (2002). *Paleoseismology. History of Seismology. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Part A. 1st Edition, Volume 81A, pp719-732. Editors: William H.K. Lee, Paul Jennings, Carl Kisslinger, Hiroo Kanamori. Academic Press ISBN 0-12-440652-1.
- GTU (2023). *6 Şubat 2023 Maraş Depremleri (Pazarcık Mw7.7 ve Elbistan Mw7.6) Sonrasında Kuvvetli Yer Hareketi, Geoteknik, Üst Yapı ve Altyapılara İlişkin Saha Gözlemleri. Ön İnceleme Raporu-GTU/MARTEST 2023-1*, Gebze Teknik Üniversitesi Marmara Afetlerle Baş Edebilir Yapılar İçin Uygulama ve Araştırma Merkezi (MARTEST), 7 Mart 2023, 80 sayfa.
- Guidoboni, E. and Comastri, A. (2005). *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th Century Rome, Italy*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, p 1037.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F.,(1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.
- ISC (2020) International Seismological Centre: On-line Bulletin, doi: 10.31905/D808B830, 2020.
- Jackson, J. and McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan, *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 77, 185-264.
- Kalafat, D., Öz, N., Kara, M., Ögütçü, Z., Kılıç, K., Pınar, A. Ve Yılmaz, M. (2000). *An earthquake catalogue for Turkey and surrounding area*. Boğaziçi University, İstanbul, Turkey, 236 pp.
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kara, M., Pınar, D., Kekovalı, K., Kuleli, S., Gulen, L., Yılmaz, M., Özel, N.M., (2007). *Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2005;  $M \geq 4.0$ ): A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 ( $M \geq 4.0$ )*, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları No: 977, 558s., Bebek-İstanbul.
- Karabacak, V., Sancar, T., Sağlam Selçuk, A. and Büyükdeniz, Y. (2021). Ulubat Fayı'nın Paleosismisitesi: Kuzey Anadolu Fay Zonu Güney Kolunun Deprem Davranışı Üzerine Çıkarımlar, *Güney Marmara Turkish Journal of Earthquake Research* 3 (1), 1-19.
- Karancı N.A. and Aksit, B. (1998). Strengthening community participation in disaster management by strengthening governmental and non-governmental organisations and networks: A case study from Dinar and Bursa (Turkey). Presented at the Disaster Management: Crisis & Opportunity: Hazard Management and Disaster Preparedness in Australasia and the Pacific Region Conference, James Cook University, Centre for Disaster Studies, November 1–4, 1998, Cairns, Queensland.

- Keskin, D. (2015). *Türkiye’de yerel sivil toplum kuruluşlarının mimari korumaya katkıları: Bursa eski eserleri sevenler kurumu ve restorasyon faaliyetleri* [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2015, İstanbul, 243 sayfa.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering, Prentice-Hall civil engineering and engineering mechanics series*). ISBN 0-13-374943-6
- Kürçer, A., Özaksoy, V., Özalp, S., Göldoğan, Ç. U., Özdemir, E. ve Duman, T. Y. (2017). The Manyas fault zone (southern Marmara region, NW Turkey): active tectonics and paleoseismology. *Geodinamica Acta*, 29(1), 42-61
- Nur, A. (2002). *Earthquakes and archaeology. History of Seismology. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Part A. 1st Edition, Volume 81A, pp765-774. Editors: William H.K. Lee, Paul Jennings, Carl Kisslinger, Hiroo Kanamori. Academic Press ISBN 0-12-440652-1.
- Öncel, A.O. and Wyss, M. (2000). The major asperities of the 1999 MW=7.4 İzmit earthquake defined by the microseismicity of the two decade before it. *Geophys J Int* 143:501-506.
- Özalp S., Emre Ö. ve Doğan A. (2013). Kuzey Anadolu fayı Güney Kolu’nun segment yapısı ve Gemlik Fayının paleosismik davranışı, *KB Anadolu, MTA Dergisi*, 147, 1-17.
- Özaydın, N. (2017). *Arşiv belgeleri ışığında 1855 depremi ve Bursa yapılarına etkisi*. [Doktora Tezi ].Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa, 260 sayfa.
- Papazachos, B.C. and Papazachou, C.B. (1997). ‘‘The earthquakes of Greece. Ziti Publication’’, *Thessaloniki*, 304.
- Reasenber, P.A. (1985). Second-order moment of Central California seismicity. *J. Geophys. Res.* 90, 5479-5495.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Özener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, SV., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. and Karam, G. (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: Solid Earth*, 111(B5).
- Smith, K. (2000). *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*, Routledge, 420 pp, ISBN-10: 0415224640.
- Sönmez, M. (2008). Sayısal Analiz ders notları, Aksaray Üniversitesi, 90 sayfa.
- Stein, S. and Wyession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. xi + 498 pp. Oxford: Blackwell Science, (paperback). ISBN 0 865 42078 5
- Şahin, M. (2021). *İznik Gölü sualtı yüzey araştırması, Türkiye’de Bizans Çalışmaları-Yeni Araştırmalar Farklı Eğilimler*. Editörler: K.Durak, N. Necipoğlu, T. Uyar. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları 2021, istanbul. ISBN 978-625-429-193-7.

- Şahin, M. (2022). Underwater Excavation at the Basilica Church in İznik Lake – 2019. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(2), 71-80. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.790313>
- Şahin, M., Tok, E. ve Kılıç, S., (2014). İznik, Göldeki Bazilika. *Atlas*, Mart 2014, Sayı 252. <https://www.atlasdergisi.com/kesfet/arkeoloji/iznik-goldekibazilika.html>.
- Şahin, M. and Fairchild, M.R. (2018). Nicea's underwater basilica. *Biblic. Archaeol. Rev.* 44,30–38.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. ve Rangin, C. (2005). "The North Anatolian Fault: A New Look", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences.*, 33, 37-112.
- Tan, O. (2021) A homogeneous earthquake catalogue for Turkey. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 21; 2059–2073.
- Utkucu, M., Uzunca, F., Durmuş, H., Kızılbuğa, S. and Nalbant, S. (2022). Seismicity of the Southern Marmara Region (Türkiye) before and after the August 17, 1999 İzmit earthquake *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management* 4(1), 22-33, 2023 DOI: 10.52114/apjh ad.1218427.
- Utsu, T. (2002). A list of deadly earthquakes in the World: 1500-2000. History of Seismology. *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Part A*. 1st Edition, Volume 81A, pp691-717. Editors: William H.K. Lee, Paul Jennings, Carl Kisslinger, Hiroo Kanamori. Academic Press ISBN 0-12-440652-1.
- Ünal, B., Aşkan A. and Selçuk-Kestel, A.S. (2017). Simulation of large earthquakes and its implications on earthquake insurance rates: a case study in Bursa region (Turkey) *Nat Hazards* (2017) 85:215–236. DOI 10.1007/s11069-016-2578-4
- Wessel, P., and Smith, W. H. (1998). "New, improved version of Generic Mapping Tools released", *EOS, Transactions American Geophysical Union*,79(47), 579-579
- Wiemer, S. ve Wyss, M. (1997). Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: an improved technique to calculate recurrence times? *Journal of Geophysical Research*, 102, 15115-15128.
- Wiemer, S. (2001). A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letter*, 72(2), 374-383.
- Yavaş, D. (2009). Bursa Ulucamii'nin geçirdiği tamirler. *Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Sosyal Bilimler Dergisi*, Yıl: 10, Sayı: 17, 2009/2, 217-235.
- Zilio, L.D. and Ampuero, J-P. (2023).Earthquake doublet in Turkey and Syria.*Communications Earth and Environment*, (2023) 4:71 | <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00747-z>.



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yelçin UTKUCU

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2003, İstanbul Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü
- **Yükseklisans** : 2025, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afet Yönetimi (devam ediyor)

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2003-2015 Matematik Öğretmeni (özel sektör)
- 2016- Matematik Öğretmeni (Milli Eğitim Bakanlığı)

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Utkucu Y. ve Demir İ.H. (2024) Bursa Yöresi'nde (KB Türkiye) Deprem Etkinliği ve Deprem Tehlikesi Üzerine Çıkarımlar. *4th International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies (ISSRIS'24)*, Balıkesir, Türkiye.

### DİĞER ESERLER:

- Utkucu, M., Uzunca, F., Utkucu, Y., Durmuş, H. and Kırım, S. (2023). The September 26, 2019 Silivri Earthquake (Mw=5.6), NW Türkiye. *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management* 4(2) 2023: 65-75, DOI: 10.52114/apjhad.1219257