

DOĞA BİLİMLERİ VE MATEMATİKTE
POPÜLER YAKLAŞIMLAR
*POPULAR APPROACHES TO NATURAL
SCIENCE AND MATHEMATICS*

Editör

Doç. Dr. Ali ÖZDEMİR



DOĞA BİLİMLERİ VE MATEMATİKTE POPÜLER YAKLAŞIMLAR
POPULAR APPROACHES TO NATURAL SCIENCE AND MATHEMATICS
Editör:Doç. Dr. Ali ÖZDEMİR

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Baskı: HAZİRAN 2024
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-6069-24-4

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Bölüm 14

**Bir Çevre Felaketine Sebep, Sonuç ve
Çözüm Önerileri Bağlamında Yaklaşım
(Marmara Denizi Müsilaj Afeti Örneği)**

Ahmet AYAZ, İbrahim KOÇ

Bölüm 246

Kodlamayan RNA'lara Genel Bakış

Melike KARAMAN

Chapter 3 57

On the Markovian Structure of Earthquakes Occurring in Türkiye

Salih ÇELEBİOĞLU, Merve TÜZER

Bölüm 1

Bir Çevre Felaketine Sebep, Sonuç ve Çözüm Önerileri Bağlamında Yaklaşım (Marmara Denizi Müsilaj Afeti Örneği)

**Ahmet AYZ¹
İbrahim KOÇ²**

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Rahva/Bitlis, ayaz.ahmet64@gmail.com, ORCID: 0009-0004-5520-8148

²Doç. Dr.; Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Artuklu/Mardin, ibrahimkoc@artuklu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0803-6801

³Bu çalışma, “Marmara Denizinde oluşan afet niteliğindeki müsilajın etkileri ve çözüm yolları üzerine bir araştırma” adlı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ

Yeryüzünde, deprem, sel, yanardağ patlaması, heyelan, savaşlar ve nükleer kazalar gibi sebeplerden ötürü doğa ve insan kaynaklı (antropojenik) afetler meydana gelmektedir. Bu afetlerden bir tanesi de yakın zamanda şahit olduğumuz Marmara Denizi'nde gerçekleşen müsilaj afetidir. Marmara Denizi, İstanbul, Çanakkale, Bursa, Balıkesir, Kocaeli, Tekirdağ, Yalova, Kırklareli, Edirne illerini kapsayan ve 23.084,6 km² alana sahip Marmara Havzası'nda yer almaktadır (Garipağaoğlu, 2016). Bu havza, ülkemizin yaklaşık %3'ünü oluşturmakla birlikte yıllık su potansiyeli 5.85 milyar m³ tür (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Marmara havzası, Marmara Denizi'ne dökülen Susurluk Nehri haricindeki tüm akarsuların yağış alanlarını kapsamaktadır (Garipağaoğlu, 2016). Havzada, 355 fitoplankton, 117 makroalg, 157 fitobentoz, 62 makrofit, 700 bentik makroomurgasız ve 45 balık türü tespit edilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Havzada, balıkçılık, taşıma, turizm, ticaret ve rekreasyonel gibi amaçlar ile kullanılan ve yakın zamanda müsilaj ile kendisinden söz ettiren Marmara Denizi önemli bir yere sahiptir. Komşusu olduğu denizlere (Ege ve Karadeniz) oranla, daha yakın tarihte (10 milyon yıldan az) oluşmuştur (Artüz vd., 2007). Marmara Denizi, önemli bir iç deniz (Kavzoğlu vd., 2021) olup, 11.500 km² yüzölçümüne, 3.378 km³ hacme, 927 km uzunluğunda kıyı şeridinde sahiptir. Doğu-batı yönünde 280 km uzunluğunda iken, kuzey-güney yönünde 80 km genişliğine ulaşabilmektedir. Yüzeysel su katmanı, 15-20 m derinliklerine kadar tuzluluk oranı %0.22 iken, 30 m ve üzeri derinliklerde %0.36-37 civarına ulaşmaktadır (Artüz vd., 2007).

Küçük yüzölçümüne oranla, bin metre derinlikleri aşan Marmara Ereğlisi, Çınarcık ve Tekirdağ çukurlarına sahiptir (Sönmez, 2008). Ege Denizi'nden gelen dip akıntılar ve Kara Deniz'den gelen üst akıntılar, burada daha fazla canlılığın barınmasına vesile olmuştur (Artüz vd., 2007).

Kara Deniz'den gelen üst akıntı tabakası 6-7 ayda yenilenirken, Ege Denizi'nden gelen dip akıntı tabakası, çeşitli sebeplerden dolayı (kot farkı, su kütlelerinin büyüklüğü ve akıntı hızının düşük olması) kendini yenilemesi 6-7 yılı bulabilmektedir (Baykut vd., 1987). Marmara Denizi, 1950'lerden sonra hızla sanayileşme ve kentleşmeden kaynaklı, evsel ve sanayi kaynaklı atık sular ile kirlenmiştir (Garipağaoğlu, 2016). Koncagül vd. (2022), Marmara Denizi'nin, kendisine komşu olan illerin, yoğun nüfusa sahip olması, endüstriyel tesislerin ve tarımsal faaliyetlerin fazla olması gibi durumlardan kaynaklı doğrudan veya dolaylı olarak kirlendiğini bildirmiştir. Bu kirliliğin, bazen iklim değişikliğinden kaynaklı deniz suyu sıcaklığının artması ile birlikte müsilaj olayı ile gün yüzüne çıktığını ortaya koymuşlardır. Müsilaj, deniz karı veya deniz salyası olarak ta bilinmektedir (Koncagül vd., 2022). Yapısı itibarıyla

yapışkan ve köpüğümsü görünümüne sahip olan bu madde, deniz yüzeyini kaplamasından ötürü deniz ekosistemine, turizm alanlarına, balıkçılık sektörüne ve deniz araçlarına zarar vermektedir (Yüksek, 2021; Koncagül vd., 2022). Ayrıca, oluşturduğu görüntü kirliliği ve yaydığı koku nedeniyle insan psikolojisi üzerinde de olumsuz etki oluşturmaktadır (Yüksek, 2021). Müsilaj oluşumunu tetikleyen önemli etkenler arasında, denizin oşinoğrafik (dalgalar, akıntı, sıcaklık, yoğunluk ve gel-git vb.) ve meteorolojik (rüzgâr, hava ve yağış vb.) yapıları da yer almaktadır. Müsilaj, ekosistemi tehdit eden bir çevre felaketidir (Koncagül vd., 2022). Ülkemiz, jeolojik, jeomorfolojik, meteorolojik ve klimatolojik gibi parametreler bakımından doğal afetleri sıklıkla geçirmektedir (Uğur & Işık, 2020). Bu afetlerin yanı sıra, insan nüfusun artması ile birlikte Marmara Havzası örneğinde havzalar üzerindeki antropojenik baskılar artmış ve bu bölgelerde oluşacak bir değişim bütün havzayı etkileyecek problemlere yol açabilir (Garipağaoğlu & Uzun, 2021). Bu problemlerden olan afetlerle mücadele edebilmenin en etkili yolu, afetlerden önce gerekli önlemleri almakla mümkündür (Ulaş-Kadıoğlu & Uncu, 2018).

Bu kitap bölümü, “Marmara Denzinde oluşan afet niteliğindeki müsilajın etkileri ve çözüm yolları üzerine bir araştırma” adlı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır. Çalışma, “Giriş”, “Çevre Kirliliği ve Çevre Kirliliği Türleri”, “Afet ile İlgili Tanımlar ve Afet Türleri”, “Marmara Denzinin Özellikleri”, “Marmara Denzinde Müsilaj Oluşumu ve Sebep Olabilecek Kirleticiler” ve “Marmara Denzindeki Müsilajın Giderilmesi ve Çözüm Yolları” bölümlerinden oluşmaktadır. Çalışmanın, gerek ulusal ve gerekse uluslararası alanda önemli olan Marmara Denizi’nin müsilaj afeti örnekleminde maruz kaldığı kirlilik kaynaklarının belirlenmesi, korunması ve sürdürülebilirliği bakımından yapılacak araştırmalara katkı sunacağı öngörülmektedir.

2. ÇEVRE KİRLİLİĞİ VE ÇEVRE KİRLİLİĞİ TÜRLERİ

2.1. Çevre Kavramının Tanımı

Çevre, “Bir canlı organizmayı veya bir canlı topluluğunu yaşama süresince etkileyen her türlü, biyotik ve abiyotik (sosyal, kültürel, tarihsel, iklimsel ve fiziksel) faktörlerin tümü” olarak tanımlanmaktadır (Yücel & Morgil, 1998). Çevre, canlı ve cansız tüm etmenleri bünyesinde barındırmakta ve bu etmenler, uyum içinde hareket etmektedir. Canlı etmenler; üreticiler, tüketiciler ve ayrıştırıcılar şeklinde sıralanırken, cansız etmenler ise organik, inorganik ve fiziksel etmenler olarak sıralanabilir (Başoğlu, 2013) (Fotoğraf 2.1.).



Fotoğraf 2.1. Çevre kavramı ile ilgili örnek görüntü

(<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/cevre-kirliligiyle-mucadelede-organizmalar-nasil-kullanilir>, 2023).

2.2. Çevre Kirliliği ve Türleri

Çevre kirliliği; “Çevrede meydana gelen ve canlıların sağlığını, çevresel değerleri ve ekolojik dengeyi bozabilecek her türlü olumsuz etki” şeklinde tanımlanmaktadır (Çevre Kanunu, 2872, 09.08.1983, Tertip:5, Cilt:22). Bu etki, toprak, su ve hava alıcı ortamlarında (Malkoç vd., 2018), insan kaynaklı ve doğal kirlilik şeklinde gruplandırılabilir (Appannagari, 2017) (Fotoğraf 2.2.). Bu kirlilik çeşitlerinden, araştırma konusu ile ilgili olanlar (toprak, su ve hava kirliliği gibi) üzerinde durulmuştur.



Fotoğraf 2.2. Çevre kirliliği kavramı ile ilgili örnek görüntü

(<https://www.cekud.org.tr/tr/cevre-kirliligi/> , 2023).

2.2.1. Toprak kirliliği

Toprak, insan ile diğer canlıların yaşamında temel teşkil ve gezegenimizi oluşturan hava, su ile kara bileşenleri arasında yer alan çok önemli bir kaynaktır (Karaca & Turğay, 2012). Yümün vd. (2023), Rodriguez vd.’e atfen toprağın, özellikle insanların yerleşik hayata geçtikten sonra önem kazandığı ve toprağın işlenme sürecinin aynı zamanda da kirlenme serüveninin başlangıcı olarak

görüldüğünü bildirmişlerdir. Sanayileşme ve modern tarım öncesi, toprak kirliliğinin bu denli tehlike ve risk teşkil etmediğini ifade etmişlerdir. Toprak kirliliği, savaşlar, madencilik, sanayileşme, nüfus artışı ve modern tarım gibi faaliyetler ile hız kazanmıştır (Ertürk, 1998; Rodriguez vd., 2006) (Fotoğraf 2.3.). Toprağın kirlenmesi durumu, direkt veya dolaylı olarak suyun da kirlenmesine neden olmaktadır. Toprakta oluşan kirlilik, sızıntıyla yer altı sularına veya deniz, nehir ve göl gibi su kaynaklarına karışarak ciddi sorunlara yol açabilmektedir (Gürpınar, 1995; Mentеше, 2017).



Fotoğraf 2.3. Toprak kirliliği için örnek görüntü

(<https://ekovar.com.tr/h/toprak-kirliligi-noktasal-kaynakli-kirlenmis-sahalar/>, 2023).

2.2.2. Su kirliliği

Su (H₂O), insanoglu başta olmak üzere tüm canlıların hem besin kaynağı hem de yaşamsal devamlılığı için olmazsa olmaz ihtiyaçlardan biridir (Güler & Çobanoğlu, 1994; Aksungur & Firidin, 2008; Akın & Akın, 2017). Dünyanın, %75'i sularla kaplı olmasına karşın içilebilir özellikteki su oranı yaklaşık %1 civarındadır (Yılmaz, 2015; Akın & Akın, 2017). Sanayileşme, şehirleşme, endüstriyel atıklar, tarımsal sulamalar ve evsel atıklar, su kaynaklarına (okyanus, deniz, göl, nehir ve akarsu gibi) organik, inorganik, biyolojik ve radyoaktif maddelerin karışmasına neden olmaktadır. Bu durum, sucul canlıların normal yaşamını değiştirecek şekilde kirlenmesine neden olmakla kalmayıp, su canlıların yaşamını riske atmakta, temel yaşam alanının kirlenmesine ve bozulmasına neden olmaktadır (Uslu, 2001: 3) (Fotoğraf 2.4.).



Fotoğraf 2.4. Su kirliliği için örnek görüntü

(<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/okyanus-kirliliginin-canlilara-etkisi> , 2023).

2.2.3. Hava kirliliği

Hava, atmosferde var olan gazların karışımı ile oluşan gaz kütesidir. Atmosferin %78'i azot, %21'i oksijen ve %1'i de diğer gazlara kaynaklık etmektedir. Atmosferdeki partikül, gaz, koku ve su buharı gibi kirletici miktarlarının artması ile hava kirliliği oluşmaktadır (Akyüz, 2020). Gaz kirleticiler, kükürt bileşikler (H_2SO_4 , SO_2 ve SO_3), azot bileşikler (NO_2 ve NO), oksijen bileşikler (O_3 , CO ve CO_2) ve hidrokarbonlardan (C_6H_6 ve C_2H_4) oluşur. Partikül kirleticiler ise kimyasal dumanlar, ince tozlar, kimyasal buharlar, yanma sonucu oluşan duman ve spreylere meydana gelmektedir. Sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve kentleşme ile toz, gaz, duman kokusu, su buharı gibi kirleticileri açığa çıkartarak atmosfere karıştırmakta ve atmosferin doğal yapısını bozmaktadır (Özdemir, 1997). Hava kirliliğine, insan kaynaklı (nüfus artışı, şehirleşme, sanayi, ulaşım, ısınma ve enerji üretimi) kirleticiler ve doğa kaynaklı (depremler, orman yangınları, volkanik patlamalar) kirletici faktörler sebep olmaktadır (Hava Kirliliği Raporu, 2019) (Fotoğraf 2.5.).



Fotoğraf 2.5. Hava kirliliği için örnek görüntü

(<https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/makale/hava-kirliligi-kemikleri-eritiyor> , 2023).

2.2.4. Radyoaktif kirliliği

Radyoaktif kirlilik, hava yolu ile yayılabilen temizlenmesi zor ve uzun süreç gerektiren bir kirliliktir. Nükleer silah fabrikaları ve nükleer enerji santrallerinin oluşturduğu radyoaktif madde atıklarında meydana gelen kirlilik olarak tanımlayabiliriz (Fotoğraf 2.6.) (Açma, 2005).



Fotoğraf 2.6. Radyoaktif kirlilik için örnek görüntü

(<https://www.haberturk.com/dunya/haber/634357-japonya-denizleri-radyoaktif-kirlilik-altinda> , 2023).

3. AFET İLE İLGİLİ TANIMLAR VE AFET TÜRLERİ

3.1. Afet ve İlgili Kavramların Tanımı

Arapça kökenli olan afet kavramı (Kahraman vd., 2021) ile son zamanlarda çok sık karşılaşmaktayız. Türk Dil Kurumu Sözlükleri (2023)’ne göre afet, “Çeşitli doğa olaylarının sebep olduğu yıkım”, “Kıran” ve “Çok kötü” şeklinde tanımlanmaktadır. Afet, insanların can ve mal kayıplarına neden olan, normal yaşam akışını bozan olaylardır. Afet, geniş tanım yelpazesine sahip bir kavramdır. Bu tanımlardan bir diğeri ise sel, deprem, kasırga, tsunami, su taşkını, kıtlık, kuraklık, volkanik patlamalar, yangın, kar, fırtına, bulaşıcı hastalıklar, ulaşım kazaları, terör saldırısı gibi olayların canlılarda ve doğada

büyük yıkımlara neden olan ve onarılmasında yardıma ihtiyaç duyulan olayların tümü şeklindedir (Börühan vd., 2012). Afet kavramı, birçok merci tarafından farklı şekilde tanımlanmıştır. IFRC (The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies)'ye göre afet; “Bir topluluğun veya toplumun işleyişini ciddi şekilde bozan ve topluluğun veya toplumun kendi kaynaklarını kullanarak başa çıkma yeteneğini aşan insani, maddi ve ekonomik veya çevresel kayıplara neden olan ani, feci bir olaydır. Afetler, genellikle doğanın neden olduğu felaketler olmakla birlikte insan kaynaklıda olabilmektedir (Fotoğraf 3.1.). Afet, “Düşük olasılıklı/yüksek etkili” olaylar olarak görülmekte, belirli sayıda bir can kaybı ile değil, olayın kendisi ve meydana geldiği yer ile tanımlanmaktadır (Hogan & Burstein, 2007).



Fotoğraf 3.1. Afet ve afet türleri için örnek görüntü

(<https://www.sosyalbilgiler.biz/534-dogal-afetler-ve-cevre-sorunlari-online-slayt.html> , 2023).

3.1.1. Tehlike kavramının tanımı

Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1950) tehlike kavramını, “Bir nesne ya da belli koşulların, etkenlerin insan sağlığı ve çevre için olumsuzluk içermesi” şeklinde tanımlamıştır (İncesu, 2019). Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO, 1991) tehlike kavramını, “Canlıları, çevreyi ve/veya malı, tesisleri tehdit eden, kapsamı belirlenmemiş kaza ve zarar potansiyeli” olarak vermiştir (Özkılıç vd., 2008). Türk Dil Kurumu Sözlükleri (2023)'e göre tehlike kavramı “Büyük zarar veya yok olmaya yol açabilecek durum ya da gerçekleşme ihtimali bulunan fakat istenmeyen sakıncalı durum” olarak tanımlanmıştır.

3.1.2. Risk kavramının tanımı

Bilgi güvenliği ISO Rehber 73'e göre, risk kavramı; “Bir olayın ve bu olayın sonucunun olasılıklarının birleşimi” olarak tanımlanmaktadır (Canbek & Sağiroğlu, 2006: 165). Türk Dil Kurumu Sözlükleri (2023)'ne göre, risk kavramı; “Zarara uğrama tehlikesi; riziko” şeklinde ifade edilmiştir.

3.1.3. Kaza kavramının tanımı

Türk Dil Kurumu Sözlükleri (2023)'ne göre, kaza; “İstem dışı veya umulmayan bir olay dolayısıyla bir kimsenin, bir nesnenin veya bir aracın zarara uğramasıdır” şeklinde tanımlanmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, DSÖ), kaza kavramını “İnsan iradesi dışında ani ortaya çıkan, bedensel ve ruhsal hasara yol açan beklenmeyen bir olaydır” şeklinde ifade etmiştir (Karatepe & Ekerbiçer, 2017).

3.1.4. Acil durum kavramının tanımı

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) (2021), acil durum kavramını “Büyük, fakat genellikle yerel imkânlarla baş edilebilen çapta, ivedilik gerektiren tüm durum ve hâller” şeklinde ifade etmiştir. Ayrıca bu kavram, 5902 sayılı kanunda; “Toplumun tamamının veya belli kesimlerinin normal hayat ve faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan ve acil müdahaleyi gerektiren olaylar ve bu olayların oluşturduğu kriz hâli” olarak tanımlanmıştır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri, 5902 Sayılı Kanun).

3.1.5. Acil yardım kavramının tanımı

Acil yardım; kurtarma ekiplerinin, mesul oldukları alanlarda karşılaştıkları acil durumların büyüklüğü fark etmeksizin afet anında hayati tehlikesi olan insanları kurtarma için müdahale etme durumunu ifade eder (Esin vd., 2001).








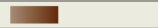












3.2. Afet Türleri ve Oluşturduğu Kirlilik

İnsanların, afetlerle mücadelesinde oluşabilecek tehlike ve riskleri önceden algılama ve tahmin etme kabiliyetleri son derece önem arz etmektedir. Toplumun oluşabilecek afetleri önceden algılaması ve tahmin etmesi, oluşabilecek can ve mal kayıplarının azalmasını sağlayacaktır. Toplumda risk algı düzeyinin düşük olduğu durumlarda, afetlerin etkilerinin arttığı görülmektedir (Kadıoğlu, 2008; Kadıoğlu, 2011). Afetler, doğal afetler (kuraklık, kıtlık, sel, deprem, yangın gibi) ve insan kaynaklı afetler (endüstriyel kazalar, nükleer-kimyasal ve biyolojik kazalar, taşımacılık kazaları gibi) olarak iki sınıfa ayrılır (AFAD, 2022).

3.2.1. Doğal afetler

Doğal afetler; insan kontrolünün olmadığı doğal nedenler sebebiyle meydana gelen felaket olaylarıdır (Erdur-Baker vd., 2015). Türk Dil Kurumu Sözlükleri (2023)'e göre Doğal afet; “İnsan eliyle önlenemeyen sel, fırtına, deprem, dolu vb. felaketlerin her biri” şeklinde tanımlanmıştır. Afet Komisyonu (2023),

Emergency Events Database-EM-DAT-2020'a atfen Dünyada 2000-2019 yılları arasında oluşan on büyük felaketi açıklamıştır (Şekil 3.1.).

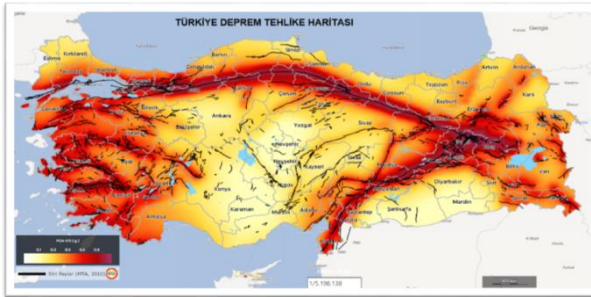
	Deprem & Tsunami	Hint Okyanusu	2004	226.408	
	Deprem	Haiti	2010	222.570	
	Fırtına	Myanmar	2008	138.366	
	Deprem	Çin	2008	87.476	
	Deprem	Pakistan	2005	73.338	
	Sıcak hava dalgası	Avrupa	2003	72.210	
	Sıcak hava dalgası	Rusya	2010	55.736	
	Deprem	İran	2003	26.716	
	Deprem	Hindistan	2001	20.005	
	Kuraklık	Somali	2010	20.000	

Şekil 3.1. 2000-2019 yılları arasında dünya üzerinde meydana gelen on büyük afet sıralaması

(Afet Komisyonu, <https://tad.org.tr/afet/afet-yazi-dizisi/2020de-turkiye-ve-dunyada-en-sik-gorulen-dogal-afetler/>).

3.2.1.1. Deprem

Deprem kavramı; yer kabuğu içindeki faylar üzerinde biriken enerjinin aniden ortaya çıkmasıyla beraber, katmanların kırılması veya yer değiştirmesi sonucu yeryüzünde oluşan sarsıntılar şeklinde açıklanmıştır (Özguven, 2006).



Harita 3.1. Türkiye deprem bakımından risk haritası (AFAD, 2021)

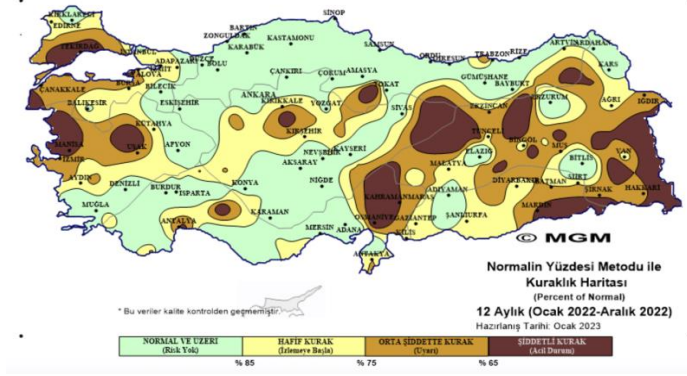
Türk Dil Kurumu Sözlükleri (2023)'e göre deprem; “Yer kabuğunun derin katmanlarının kırılıp yer değiştirmesi veya yanardağların püskürme durumuna geçmesi yüzünden oluşan sarsıntı, yer sarsıntısı, hareket, zelzele” şeklinde tanımlanmıştır. Türkiye, oluşum yönünden yeni bir ülke olmasından kaynaklı hareketli yapıya sahiptir. Bu durum Türkiye genelinde depremlerin oluşmasına neden olmaktadır (Harita 3.1.) (AFAD, 2021) (Fotoğraf 3.2.).



Fotoğraf 3.2. Gölçük deperemi ve denize etkisi ile ilgili örnek görüntü
(<https://www.indyturk.com/node/228971/%C3%A7evre/g%C3%B6lcük-depreminin-21-y%C4%B1l-d%C3%B6n%C3%BCm%C3%BCnde-siyasilere-seslenen-prof-dr-g%C3%B6lcük-bu-%C3%BCkeyi> , 2023).

3.2.1.2. Kuraklık

Yağış miktarının azalması ve suyun yetersiz olması nedeniyle kuraklık oluşmaktadır (Fotoğraf 3.3.). Kuraklık, gıda üretimini azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, yeterli beslenmeyi engellemekte olup, devamında açlık ve ölümlere neden olmaktadır (Şahin & Sipahioğlu, 2003). Türkiye 2022 yılı kuraklık analizi Harita 3.2.'de verilmiştir.



Harita 3.2. Türkiye 2022 yılı kuraklık analizi
(Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

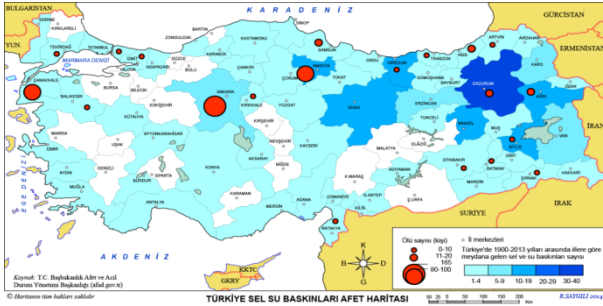


Fotoğraf 3.3. Kuraklık afeti ile ilgili örnek görüntü

(<https://cem.csb.gov.tr/genel-mudurumuz-dr.-ahmet-ipek-in-5-aralik-dunya-toprak-gunu-mesaji-haber-266809> , 2023).

3.2.1.3. Sel

Sel kavramı, “Sürekli yağın yağmurdan veya eriyen kardan oluşan, geçtiği yerlere zarar veren taşkın su, su taşkını” olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu Sözlükleri, 2023). Türkiye’de, 1900 yılları sonrasında oluşan su baskını ve sel sayıları Harita 3.3.’te verilmiştir. Doğal afetler sınıfında bulunan sel, fazla miktarda yağış olması, kar veya buzların erimesi sonucu, havzalardan veya yan derelerden gelen suyun bir noktada birleşerek eğim doğrultusunda hızla akması durumudur (Aksoy, 2021) (Fotoğraf 3.4.).



Harita 3.3. 1900 yılları sonrasında Türkiye’de oluşan su baskını ve sel sayıları (AFAD, 2023)

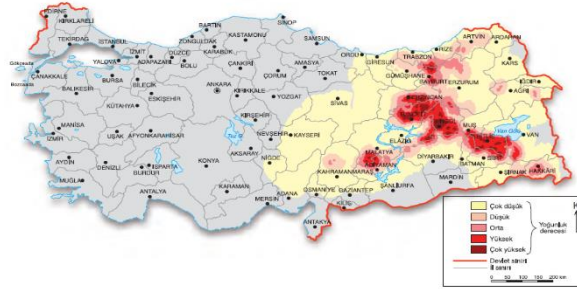


Fotoğraf 3.4. Sel afeti ile ilgili örnek görüntü

(<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/uydu-verileriyle-sel-tahmini> , 2023)

3.2.1.4. Çığ düşmesi

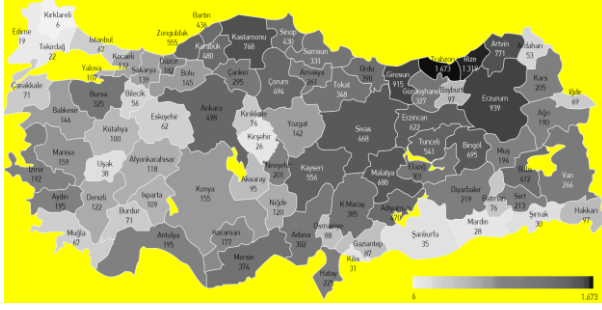
Dağlık ve engebeli alanlarda fazla kar yağışı ile beraber dik yamaçlarda biriken kar kütlelerinin, herhangi bir uyarıcı etkiyle beraber yer değiştirmesi olayına çığ düşmesi denir. Türkiye, geniş dağlık alanlara sahip olmasından ötürü çığ olayının sık görüldüğü yerler arasındadır (Şahin, 2002). Türkiye’de Çığ olayının yoğun olarak yaşandığı yerler Harita 3.4.’te verilmiştir.



Harita 3.4. Türkiye’de Çığ olayının yoğun olduğu alanlar
(AFAD, 2023)

3.2.1.5. Heyelan/ kaya düşmesi

Dik yamaçtaki kayaların yağmur, donma, erime, ısınma, soğuma gibi faktörlerden etkilenerek bulunduğu yere tutunamayıp aşağı doğru yuvarlanması olayına kaya düşmesi denilmektedir (Şahin, 2002). Türkiye’de, 1950-2019 yılları arasında oluşan heyelan/kaya düşmesi olayları Harita 3.5.’te verilmiştir.



Harita 2.5. 1950-2019 yılları arasında Türkiye’de oluşan heyelan/kaya düşmesi olaylarının sayıları (AFAD, 2023).

3.2.2. İnsan kaynaklı afetler

AFAD (2023), insan kaynaklı afetleri; 1) kimyasal, nükleer ve biyolojik kazalar, 2) endüstriyel kazalar, 3) taşımacılık kazaları, 4) göçmenler ve yerlerinden edilenler ve 5) aşırı kalabalıktan meydana gelen kazalar vs. şeklinde sınıflandırmıştır. İnsan kaynaklı afetler ile ilgili örnek olay ve görüntüler Fotoğraf 3.5., Fotoğraf 3.6., Fotoğraf 3.7. ve Fotoğraf 3.8.’de verilmiştir.



Fotoğraf 3.5. Fukushima Daiichi nükleer santral kazası ve soğutma çalışmalarından örnek görüntü (AFAD, 2023).



Fotoğraf 3.6. Kimyasal olaylar ile ilgili örnek görüntü
(AFAD, 2023).

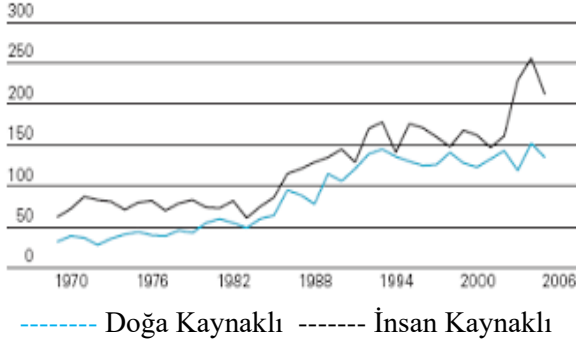


Fotoğraf 3.7. Endüstriyel kazalar için örnek görüntü
(<https://bartin.csb.gov.tr/buyuk-endustriyel-kaza-risklerinin-azaltilmasina-yonelik-dahili-acil-durum-plani-tebliği-yayimlandi-duyuru-89342> , 2023).



Fotoğraf 3.8. Taşımacılık kazaları ile ilgili örnek görüntü
(<https://theconversation.com/sanchi-oil-tanker-disaster-how-spills-and-accidents-can-make-ships-safer-90207> , 2023).

Yeryüzünde, 1970-2006 yılları arasında görülen afetler Şekli 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. 1970-2006 yılları arası insan-kaynaklı ve doğal afetlerin sayısı (Re, 2007).

Toplumlar, enerji ihtiyaçlarını karşılamak için, birçok endüstriyel kuruluşlar ve nükleer santrallerden faydalanmaktadır. Nükleer enerji oluşumu ile beraber basınç, radyasyon ve yüksek sıcaklıklar ortaya çıkmaktadır. Bu yan oluşumların, ortaya çıkması daha önce Çernobil Nükleer Santrali'nde oluşan kaza gibi telafisi mümkün olmayan sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. 1944 yılından bu güne kadar, 500'e yakın nükleer kaza meydana gelmiş olup, milyonlarca insanın maddi ve manevi zarara uğramasına yol açmıştır (TAEK, 2010) (Fotoğraf 3.5.). Dünya Bankasının 1975-2008 yılları arasındaki verilerinde, afet sayılarında bir artışın olduğu ve 1975 yılındaki afet sayısının 60'ı geçmezken 2005 yılında bu sayı 450'ye kadar çıkmıştır. Son 55 yılın içinde, afet sayısında yaklaşık 10 katlık bir artışın olduğu tespit edilmiştir (Ersoy, 2009). 1980-2000 yılları arasında, dünya nüfusunun yaşadığı alanların yaklaşık %75'inde en az bir kez kasırga, taşkın, deprem veya kuraklık gibi doğal afetlerin olduğu saptanmıştır (Dölek, 2016). Doğa kaynaklı afetlerin, ülkemizin de dâhil olduğu Avrupa ve merkezi Asya ülkelerinde oluşturduğu yıllık ekonomik zarar 2 milyar ABD dolarıdır. Bu rakam, 30 yıl içinde 70 milyar ABD doları bulmuştur (Ersoy, 2009). Ülkemiz, can, mal ve ekonomik kayıplar bakımından OECD ülkeleri arasında ilk sıralarda yer almakta, aktif volkanlar ve tropikal fırtınalar haricinde dünyada görülen 31 doğal afetin büyük bir kısmı görülmektedir (Dölek, 2016).

3.2.3. Afetlerin oluşturduğu kirlilik

Afetlerden dolayı, çevrede birden çok problem oluşabilmekte ve sıvı, katı ile gaz kirleticiler çevre felaketlerine kaynaklık etmektedir. Aşağıda verildiği gibi

afetlerden sonra oluşan kirlilik ve çevresel sorunlar üç grupta ele alınabilir (Özel, 2020).

- 1.) Büyük Marmara (Türkiye) depremi ve Sumatra (Endonezya) depremi ile tsunamisi örnekleri bağlamında şehir, ülke ve kıtaların etkilendiği doğa kaynaklı sel, deprem, volkanizma, fırtına, heyelan ve tsunami gibi afetlerin yol açtığı kirlilik ve çevre sorunlarıdır (Özel, 2020),
- 2.) Meksika körfezi petrol sızıntısı, Fukuşima (Japonya) santrali ile Çernobil (Ukrayna) santrali patlamaları ve yangınlarından kaynaklı örnekler bağlamında, yapay kaynaklı afetlerin yol açtığı kirlilik ve çevre sorunlarıdır (Özel, 2020) ve
- 3.) Ortadoğu, Balkanlar ve Afrika'daki savaşlarda kullanılan gaz ve katı kimyasal atıklar bağlamında oluşan kirlilik ve çevre sorunlarıdır (Özel, 2020).

4. MARMARA DENİZİNİN ÖZELLİKLERİ

Marmara Denizi, Dünyada bir ülkenin sınırları içerisinde olan tek denizdir. Denizciliğe elverişli klimatolojik ve oşinografik yapısı, limanları, körfezleri, yerleşim alanları, jeopolitik ve jeoekonomik konumuyla tarih boyunca hep milletlerin ve devletlerin ilgisini çekmiştir. Yazar, Roodenberg (1990)'a atfen Marmara Denizi'nin, "Marmara" adını, Yunanca kökenli marmaron-μάρμαρον sözcüğünden almakla birlikte, tarihi kaynaklarda Marmaros, Marmora, Propontis ve Propontidos olarak geçtiğini ifade etmiştir. Denizin, çevresine ilk yerleşimlerin M.Ö. 6000 yıllarında Bursa ili yakınlarında olduğu bildirilmiştir (Koca-Nemlioğlu, 2016).

4.1. Marmara Denizinin Tarihi

İlhan vd. (2023), çalışmalarında Görür vd. (1997a; 1997b)'e ve birkaç bilimsel araştırmaya atıfta bulunarak aynı şekilde Koca-Nemlioğlu (2016) çalışmasında birkaç araştırmaya dayanarak Marmara Denizi oluşumunun, uzun bir zaman sürecinde meydana geldiğinden dolayı net bir tarihinin olmadığını ve "Marmara Denizi, KB Graben sistemin su altında kalmış bir parçası" olduğunu bildirmişlerdir.

4.2. Marmara Denizinin Jeolojik Özellikleri

Marmara Denizi, konumu, iklimi, doğası ve florası ile yeryüzündeki nadir denizlerden biridir. Ege Denizi ve Kara Denizi birbirine bağlanmasından dolayı uluslararası bir su yolu statüsündedir. "Denizin K-G doğrultusunda en geniş yeri 80 km, B-D doğrultusunda en geniş yeri 280 km dir. Yaklaşık yüzölçümü 11.350 km² , toplam su hacmi 3.377 km³ ve kıyı şeridi 1.000 km den fazladır.

En derin yeri -1.390 m. olan Marmara Denizi'nde genel olarak normal deniz ve okyanuslardaki dairesel tür yerine, D-B yönünde, Boğazlar'da ise birbirine ters Akdeniz-Karadeniz çift yönlü akıntı sistemi görülür. Bu akıntılar Marmara Denizi'nin üst katmanlar Karadeniz özelliğini taşıırken alt katmanlar ise Ege denizi özelliği taşıdığından dolayı farklı sıcaklıkta, farklı tuzlulukta ve farklı oksijene sahip su kütleleri oluşturmaktadır (Artüz vd., 2007). Marmara Denizi, taban yüksekliği farklılık göstermesinden kaynaklı birçok ada ve adacık oluşturmaktadır (Yalçınlar, 2000). Marmara Denizi, Avrupa ve Asya kıtasının bir birine en yakın oldu yerlerden biri olması ve Marmara Bölgesi'nin Türkiye'nin en kalabalık nüfus yoğunluğuna sahip bölgesi olması ile beraber Ekonomi merkezi haline gelmiştir. Bu durum, Marmara Denizi üzerinde hem olumlu hem de olumsuz bir sürecin başlamasına neden olmaktadır (Ayaz, 2022).

4.3. Marmara Denizinin Ekolojik Özellikleri

Ekoloji, “Canlıların hem kendi aralarında hem de fiziksel çevre ile olan ilişkilerini tek tek inceleyen bilim dalıdır” şeklinde tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu, 2023). Marmara Denizi'nin ekolojik dengesinde son yarım asırdır kontrolsüz avlanma, Ege Denizi ve Karadeniz'den kaynaklı üst-alt akıntılar, deniz taşımacılığının yarattığı kirlilik, nüfus yoğunluğunun artması, meydana gelen kazalar ve en son olarak müsilaj oluşumu ile önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Bu değişime, adapte olan canlılar çoğalırken adapte olamayanlar ise ortamdaki kaybolmuş ya da sayılarında önemli değişiklikler meydana gelmiştir (İşinbilir vd., 2008). Çeşitli yollarla, Marmara Denizi'ne ulaşan bazı türler ortama uyum sağlayarak çok büyük sayılara ulaşabilmektedir (İnanmaz vd., 2002). Örneğin; 1980 yıllarında ABD'nin kargo gemilerinin aracılığı ile taşınan taraklı medüz (*Mnemiopsis leidyi*) canlısı Karadeniz'den gelen üst akıntı ile Marmara Denizi'ne geçmiş ve buradaki ekosistemi etkilemiştir (Shigonova vd., 1995). Yine, Marmara Denizi'nde 2007 yılı ekim ayında meydana gelen müsilaj afeti, yaklaşık bir yıl varlığını sürdürmüş ve bu bölgede fitoplanktonların aşırı derecede artması gözlemlenmiştir (Aktan vd., 2008). Marmara Denizi, Ege Denizi ve Karadeniz'de yaşayan canlıların ortak alanı olduğundan ötürü birçok canlıya ait yumurtlama alanı bulunmaktadır. Bu alanlardan, Erdek körfezi, Marmara Ada'sı ve Tekirdağ-Şarköy bölgeleri önemli yumurtlama alanlarıdır (BSGM, 2021). Artüz (2002), Marmara ve Boğazları sisteminin, kısa bir zaman diliminde ciddi bir kirlenme yükü ile karşı karşıya bırakıldığını bildirmiştir. Bu kirliliğin, ayrıştırma kapasitesi çok düşük olan bu su kütlelerinde hiç bir arıtmaya tabi tutulmaksızın deşarjı yapılan atıklardan kaynaklı ve beş duyumuzla bile algılayabileceğimiz bir düzeye

ulaşmıştır. Marmara Denizi, özellikle 1960'tan sonra İzmit, Gemlik ve Bandırma Körfezleri çevresinde artan şehirleşme ve sanayileşme ile birlikte kirlenmeye başlamıştır. Bu durumdan ötürü, sularında oksijen miktarı azalmış ve canlı yaşamı önemli ölçüde zarar görmüştür (Koca-Nemlioğlu, 2016).

4.4. Marmara Denizi'nin Hidrolojik Özellikleri

Marmara Denizi, Atlas Okyanusu'na bağlantısını sağlayan Çanakkale ve kapalı havza olan Karadeniz'e bağlantısını sağlayan İstanbul Boğazı'na sahip bir iç deniz konumundadır. Bundan dolayı Marmara Denizi'nin hidrolojik özelliklerini iki kısımda incelenebilir. Bunlardan ilki boğazla ilişkisi olan iç denizin yağış, buharlaşma ve akarsuların debisi, ikincisi ise denizin genişliği ve derinliği hidrolojik özellikleri belirleyen etmenlerdir (Yümün vd., 2023). Marmara Denizi, tuzluluk oranı değerlendirildiğinde su sirkülasyonunun aktif olduğu gözlemlenmektedir. Karadeniz'den gelen 15-20 m derinliğinde olan su kütlelerin tuzluk oranı 0.022 iken, derinlere inildikçe bu değerler 0.036-0.037 kadar arttığı gözlenmektedir. Marmara Denizi'nin yüzey suyu sıcaklığının mevsimsel değişimlerle beraber kış aylarında 8-10 °C, yaz aylarında ise 24-26 °C aralıklarında seyretmektedir. Bu sıcaklıklar Marmara Denizi ve adalarının kıyıları boyunca yazlıkları, kamp alanlarının ve turistik yapıların oluşmasına neden olmakta ve bu durum deniz suyunun kirlenmesine sebep olmaktadır (Türkiye Barolar Birliği, 2007).

5. MARMARA DENİZİNDE MÜSİLAJ OLUŞUMU VE SEBEP OLABİLECEK KİRLETİCİLER

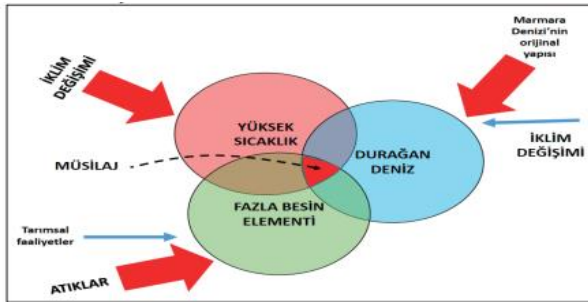
5.1. Marmara Denizinde Müsilaj Oluşumu

5.1.1. Müsilaj kavramının tanımı

Müsilaj, denizin yüzeysel su tabakasında sıcaklık ve karbondioksit artması gibi sebeplerden dolayı mikroskobik canlıların (virüs, bakteri, plaktonlar ve algler gibi) su yüzeyini köpüksü, jölemsi ve yapışkan topaklar halinde kaplayan malzemelerdir. Müsilaj, ilk olarak 1729 yılında Adriyat Denizi'nde görülmüş olup dünyanın en büyük müsilaj olayı yaz ayında bu denizde görülmüştür (Tüfekçi vd., 2010). Danovaro vd. (2009) müsilajı, “stresli koşullar altında fotosentetik olarak üretilen karbonhidratların fazlasının su ortamına salınması, hücre kalıntılarının ölümü ve ayrışmasıyla büyük miktarlarda polisakkaritin alıcı ortama karışması, hücre lizi sonrasında yüksek miktarda çözünmüş organik madde içeriğinin deniz ortamına karışması, bakteriyel hidroliz ve bozunmanın kısıtlı olması sebebiyle yüksek molekül ağırlıklı organik bileşiklerin zamanla birikmesi, prokaryotların ve fitoplanktonların hücre lizi sonucu hücre içeriğindeki organiklerin deniz ortamına karışması” şeklinde tanımlamıştır.

5.1.2. Müsilaj oluşumunu tetikleyen etmenler

Deniz salyasının, çıkış nedenleri tam bilinmemekle beraber birçok etmenin sebep olduğu belirlenmiştir (Danovara vd., 2009). Bunlar, iklimsel değişiklikler ve insan kaynaklı kirleticilerin deniz canlılarının üzerindeki olumsuz etkilerin dışı vurumu olduğu görülmektedir (Purcell vd., 2007) (Şekil 5.1.). Oşinoğrafik ve Meteorolojik etmenler müsilaj oluşumuna kaynaklık edebilmekte ve deniz üzerindeki kirliliğin yayılmasına sebep olarak, kirliliğin rüzgar, akıntı ve dalgalar aracılığıyla başka bölgelere taşınmasına, daha fazla canlının zarar görmesine, görüntü kirliliğine, deniz araçlarını ve turistik tesisleri olumsuz etkileyerek ekonomik zararların artmasına neden olabilmektedir (Pompei vd., 2003; Sampedro vd., 2007). Deniz suyu sıcaklığının artması, denizdeki çözülmüş oksijen miktarının azalmasına ve karbondioksit miktarının artması neden olarak ötrifikasyon olayının gerçekleşmesine zemin hazırlamaktadır. Müsilaj problemini tetikleyen bir başka etmen ise denizlerde aktif akıntıların bulunmaması, denizlerin durağan olması ve rüzgarların olmaması olarak sıralayabiliriz (Cozzia vd., 2004).

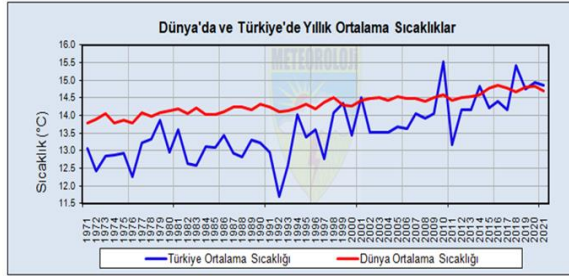


Şekil 5.1. Müsilaja neden olan temel etmenler
(TBMM Raporu, 2021).

5.1.3. Marmara Denzinde oluşan müsilaj kirliliği

Türkiye’de ilk müsilaj oluşumu, 1992 yılında Erdek Körfezi’nde su altında gözlemlenmiştir (Tüfekçi vd., 2010). Türkiye’de ikinci müsilaj olayı, 2007 yılında İzmir Körfezi’nde gözlenmiştir (Okyar vd., 2015). Türkiye’nin ilk ciddi tehlike arz eden müsilaj oluşumu, Çanakkale Boğazı’ndan başlayarak İzmit Körfezi’ne kadar yayılım göstermiştir (Aktan vd., 2008). Son olarak, 2021 yılı Mayıs ayında Marmara Denizi’nde görülmüş ve çoğunluğu İstanbul ve Yalova illeri sınırları içinde yayılarak toplam 12741,964 ha. alana yayılım göstermiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021). Marmara Bölgesi, 25 milyon nüfusu ile Türkiye’nin yoğun bölgesidir. Marmara Denizi’nin etrafını saran 7 ilden (Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli, Yalova, Bursa, Balıkesir, Çanakkale)

oluşan bölge, ülke sanayisinin %50 sini karşılamaktadır. Günlük 500 bin şehir iç hatları ve yıllık 41 bin transit geçişlerin olduğu gemi trafiğine sahiptir (Birpınar, 2021). Bu durum, Marmara Denizi'nin kirlenmesine neden olmakta ve müsilaj oluşumunu tetiklemektedir. Marmara Denizi, çevresinde birçok yerleşim yeri, sanayi kuruluşu ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklı atık suların arıtıma tabi tutulmadan deşarj edildiği bir yerdir. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından yürütülen MARAAT Projesi verilerine göre Marmara Denizi Havzası, atık su arıtma tesislerinin debi bakımından büyük bir kısmının kentsel atık su olduğu belirlenmiştir. Buna paralel olarak, toplam atık su kaynaklı kirlilik yükünün %96'sı kentsel atık suların kaynaklanmaktadır. Projede, kentsel atık suyun yaklaşık %43 gibi azımsanmayacak bölümünün yalnızca fiziksel arıtmaya tabi tutularak deşarj edildiği, %4.9 oranında ileri arıtma yapıldığı, %51.8'lik kısmının ise biyolojik arıtma uygulanarak deşarj edildiği belirlenmiştir (Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı, 2021). Marmara Denizi'ndeki müsilaj oluşumunun kuvvetli ihtimalleri arasında, iklim değişikliklerine bağlı olarak sıcaklıkların artması ile deniz suyu sıcaklığının artmasıdır. Şekil 5.2.'de gösterildiği üzere, 2010 yılında Türkiye ortalama sıcaklık değerleri diğer yıllara nazaran artış göstermektedir. Bu durum, Ege ve Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumunu tetiklediği gözlenmiştir (Aydın, 2021).



Şekil 5.2. 1971-2021 Yılları Arası Dünya ve Türkiye Sıcaklık Ortalamalarının Karşılaştırılması

(Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021).

5.2. Müsilaj Oluşum Kaynakları

Müsilaj oluşumu birçok sebep kaynaklık etmekle beraber komplike bir oluşuma sahiptir (Çizelge 5.1.).

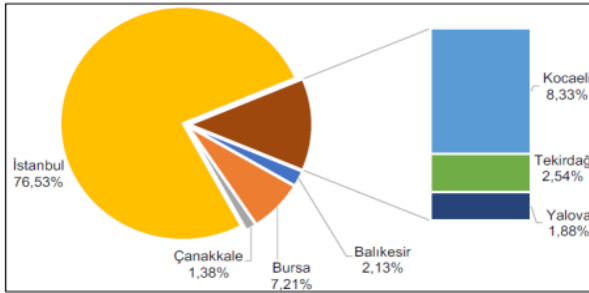
Çizelge 5.1. Müsilaj oluşumuna neden olan kirleticilerin sınıflandırılması*

Kara kökenli kirleticiler		Diğer kirleticiler
Yayılı kaynaklar	Noktasal kaynaklar	
Termal ve yoğun su deşarjları	Hayvansal atıklar	Mikrobiyolojik kirlilik
Endüstriyel atıksular	Zirai (tarımsal) atıklar	Kıyı düzenlemeleri, dip taramaları
Düzenli depolama alan sızıntı suları	Meskun bölgelerden gelen yüzeyel akış ve sürüklenmeler	Gemi kaynaklı kirleticiler
Kentsel atıksular	Atmosferik taşınım kaynaklı kirleticiler	Deniz çöpleri

*Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Müsilaj Sorunu Araştırma Komisyonu Toplantısı, (2021).

5.2.1. Evsel kaynaklı kirleticiler

Marmara Denizi'nde, Deniz salyasına kaynaklık eden kirleticilerden bir tanesi de yapısında kimyasal ve zehirli madde bulunmayan, ortamdaki fosfor ve azot miktarını artıran Evsel atık sularıdır. Bu kirleticiler, mutfak, banyo ve tuvalette kullanılan atık sulardır (Özgür, 2006). 25 milyon nüfusa ev sahipliği yapan Marmara bölgesi, ciddi miktarlarda evsel atık su oluşturmaktadır. Atık suların arıtılmadan veya bilinçsizce denize deşarjı durumunda, ortamdaki organik madde miktarı artış göstermektedir (Şekil 5.3.). Denize organik madde girişinin fazla olması, alglerin veya bazı türlerin fazla çoğalmasına neden olup, ötrifikasyona neden olmaktadır (Artüz vd., 2007) (Fotoğraf 5.1.).



Şekil 5.3. Marmara Denizi'ne çevre illerden yapılan atık su deşarj oranları (m³/gün) (MBB, 2021)



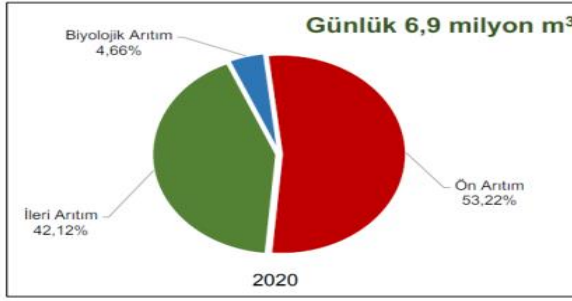
Fotoğraf 5.1. Erie Gölü'ndeki mavi-yeşil alg çoğalması ile ilgili görünüm (Fondriest Environmental, 2014).

5.2.2. Sanayi kaynaklı kirleticiler

Marmara bölgesi'nde ulaşım kolaylığı, ucuz iş gücü, pazarlama ve hammadde gibi koşullar elverişli olduğundan dolayı birçok sanayi kuruluşun bu bölgede faaliyete geçmesine olanak tanımıştır. Bu sanayi tesisleri, soğutma suyuna ihtiyacını karşılamak ve deniz üzerinden ulaşım kolaylığı sağlamak amacıyla daha çok Marmara Denizi etrafında veya denize bağlanan akarsular ve dereler çevresine kurulmuştur. Bu tesislerde, oluşan endüstriyel atıklar, kullanılan soğutma suları ve kimyasal atıklar arıtılmadan veya kısmen arıtılarak denize deşarj edilmektedir. Bu durum hava, kara ve deniz canlıları için son derece tehlike arz etmekte olup birçok canlının yok olmasına veya özellikle denizlerde bazı tek hücreli canlıların tehlikeli bir şekilde artarak baskın güç haline gelerek müsilaj oluşumuna sebep olmaktadır (Tüfekçi vd., 2010).

5.2.3. Endüstriyel kaynaklı kirleticiler

İnsan nüfusunun, yoğun olduğu yerleşim bölgelerinde insanların ihtiyacını karşılamak amacıyla yoğunluğa paralel olarak endüstriyel işletme sayısında artış olmaktadır. Marmara Deniz'i çevresi yoğun bölgeler arasında yer almaktadır. Bu durum, Marmara Denizi çevresinde birçok endüstriyel tesislerin plansız ve yeterli altyapı düşünülmeden endüstri merkezlerinin kurulmasına sebep olmuştur. Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atık suların arıtılmasından sonra denizlere veya denizlere ulaşan kanallara boşaltılması gerekirken birçok kuruluş arıtım işlemi yapmadan veya kısmi arıtım yapılarak deşarj yapıldığı saptanmıştır (Şekil 5.4.). Bu durum, denizin kendini temizleme hızının da düşük olması ile birlikte denizdeki oksijen miktarında oluşan düşüş vs. durumlar bazı plankton veya alglerin kontrolsüz bir şekilde artarak müsilaj oluşumuna neden olduğu görülmektedir (Yasama Komisyon Raporları, 2022).



Şekil 5.4. Marmara Denizi çevresinde bulunan işletmelerin günlük arıtım oranları (MBB, 2020).

5.2.4. Gemi kazaları

Marmara Denizi, gerek konumuyla (Karadeniz’i okyanuslara bağlaması ve uluslararası ticaret yolu olması), gerek nüfus yoğunluğu ile hareketli bir yapıya sahiptir. Bu hareketlilik ve yoğunluk, her geçen gün artmaktadır. İstanbul Boğazı’nda günde 700’ün üzerinde deniz aracı seferleri düzenlenmekte ve günlük milyonlarca insanın iki yaka arasında deniz yolu ile geçişi sağlanmaktadır (Akten, 2005). Bu trafik yoğunluğu, Marmara Denizi’nde birçok kazaya ve beraberinde kirliliğe sebep olmaktadır. Deniz taşımacılığında, yolcu atıklarının direk denize verilmesi, petrol gemileri kazalarında petrolün deniz yüzeyine yayılması ile beraber çevreye kötü koku yayılımı, petrolün deniz canlılara yapışarak ölümüne sebep olması, ışık geçirgenliğinin azalarak fotosentez oluşumunun engellenmektedir (Topakoğlu, 2004). Ayrıca, gemi balast sularının, kontrolsüz ve arıtılmadan denize boşaltılması gibi durumlar deniz ekosisteminin bozulmasına neden olarak “Deniz Salyası” olayını tetiklemektedir (Öğüt, 1999).

5.2.5. Tarımsal kaynaklı kirleticiler

Marmara Bölgesi (67000 km² alana sahip), engebeli olmamasından dolayı yüzölçümüne kıyasla %30 ile en fazla ekili-dikili alana sahip ve tarımsal ürün çeşitliliği bakımından en zengin bölgemizdir (Marmara Bölgesi, 2023). Son 60 yılda, tarımda verimlilik dalgalanmasını önlemek ve ürün verimliliğini artırmak amacıyla modern tarım teknikleri uygulanmaya başlanmıştır. Bu tekniklerden bazıları, inorganik gübre kullanımı ve sulama aletlerinin kullanımınıdır. Bitki gelişimi için kullanılan gübrelerin yapısında bulunan azot, fosfor ve nitrat’ın fazla kullanılmasından ötürü toprakta birikmekte ve toprak kirlenmektedir. Sulama veya fazla yağmurun yağmasıyla, topraktaki bu maddeler çözünerek akarsu, nehir ve denizlere akarak su kaynaklarında inorganik ve organik madde

girdisi sağlayarak su ortamındaki ekosistemin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu maddeler, sadece yeryüzündeki sularda değil aynı zamanda yeraltı sularına sızarak yeraltı suların kirlenmesine kaynaklık etmektedir (Köseoğlu, 1995). Su kaynaklarının kirlenmesinde zirai faaliyetlerden kaynaklı nitrat kirlenmesi, son dönemlerde öncü kirleticiler haline geldiği gözlenmiştir. Ayrıca, tarım alanlarında kullanılan hayvan gübresi ve bitkilerin gelişimini olumsuz etkileyen haşere ve yabancı otların giderilmesi amacıyla kullanılan pestisitler son derece ölümcül ve kirletici yapıya sahiptir. Bu kimyasalların, kullanımına dikkat edilmeli ve atık olan ambalajları su ortamlarına atılmayarak uygun bir şekilde imha edilmelidir (Liu vd., 1997).

5.3. Marmara Denizindeki Müsilajın Çevreye Etkileri

5.3.1. Ekosistem üzerindeki etkileri

Bir ortamdaki tüm canlı ve cansız varlıklar bir birleriyle etkileşim içindedir. Bu durum, deniz canlıları için de geçerliliğini devam ettirmekte olup, binlerce canlıyı kapsayan bu oluşum kendi aralarında bir besin döngüsü oluşturmaktadır. Canlı ve cansız varlıklar arasındaki denge de ekosistemi oluşturmaktadır. Marmara Denizi, Karadeniz ile oluşturduğu üst akıntılar ve Ege denizi ile arasında oluşturduğu dip akıntılar sebebiyle kendine has Oşinoğrafik, biyotik ve abiyotik özelliklere sahiptir. Bu akıntılar, Marmara Denizi'ndeki biyoçeşitliliğinin artmasını sağlamaktadır (Salihoğlu, 2021). Nüfus sayısının artması ve sanayi tesislerinin artmasıyla birçok atık, arıtılmadan veya kısmi arıtmayla denize deşarj edilmesi popülasyonun bozulmasına neden olmaktadır. Canlı çeşitliliğinin daha fazla bulunduğu 40-50 metre derinliklere yapılan deşarjlar daha fazla tehlike arz etmektedir (TBMM Komisyon Tutanağı, 2021). TBMM Komisyon Tutanağı (2021), Salihoğlu vd.'e atfen Marmara Denizi'nde balıkçılık durumundan söz ederken, son yarım asırdaki kirlilik ve iklimsel değişimlerle beraber denizdeki biyolojik çeşitliliğin sürekli farklılaşmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu değişimle, bazı istilacı türlerin ortama adaptasyon sağlayarak besin zincirine dâhil olduğu görülmüştür. İstilacı türlerin başında algler, bakteriler ve planktonlar gelmektedir. Zararlı alg patlamalarının neden olduğu olumsuzluklar iki yönlü incelenebilir. Birincisi, alglerle beslenen deniz canlılarında toksik madde birikimine sebep olup, besin zincirinde en sonlarda bulunan canlıların zehirlenmesine sebep olabilmektedir. İkinci olumsuzluk ise zararlı planktonların sayıca fazla artış göstermesi balıkların ve omurgasız canlıların hareket alanlarının azalmasına veya solungaçlarının kapanmasına sebep olup, oksijensiz kalarak ölümlerine neden olmaktadır (Bedikoğlu vd., 2019).



Fotoğraf 4.2. *Karenia brevis* bakteri türünün balıklar üzerindeki ölüm etkisi (Burkholder vd., 2008).

Fitoplanktonlardan olan siyanobakterileri, su ortamında geniş alanlara yayılarak ortamın asidik değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Asidik değerlerin artması balıkların doğrudan ölümüne neden olmakla birlikte, deniz canlıların bünyesinde birikerek onları tüketen insanlar için tehlike arz edebilmektedir. Florida kıyılarında oluşan *K. brevis* türünün sebep olduğu Red Tide olayında toksik maddelerin partiküller halinde hava ortamına bulaştığı ve birtakım solunum rahatsızlığına sebep olduğu gözlenmiştir (Eren, 2018) (Fotoğraf 5.2.).

5.3.2. İnsanlar üzerindeki etkileri

TBMM Komisyon Tutanağı (2021), Funari & Ade'e atfen Marmara Denizi'ne, kıyısı olan şehirlerde 25 milyon civarında insan yaşamasının, yoğun deniz trafiğine sahip olmasının ve endüstriyel ile zirai kaynaklı kirleticilerin dâhil olmasının Marmara Denizi'nin kirlilik yükünü artırdığı ve artan bu kirlilik ile deniz salyasının oluşmasına zemin hazırlayarak insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini saptamıştır. Marmara Denizi'nde, istavrit, hamsi ve sardalya başta olmak üzere ekonomik değere sahip, avlanılan veya yetiştirilen 62 tür balık bulunmaktadır. Bu türler, iç piyasada tüketimi fazla olan canlılar olmasından kaynaklı binlerce haneye gelir kaynağı olmaktadır. Bu durum, müsilaj kaynaklı zarar gören deniz canlıların insanlar tarafından tüketilmesi insan sağlığı bakımından risk teşkil edebilmektedir (Pakdemirli, 2021). Marmara Denizi'nde, son görülen deniz salyası olduğu deniz suyuna maruz kalan kişilerde herhangi bir şikâyet veya fiziksel vakaya rastlanılmamıştır. Ancak, müsilajın oluşturduğu görüntü bozukluğu ve koku insanlar üzerinde rahatsızlık oluşturmuştur. Marmara Denizi'nde, 2021 yılında oluşan müsilaj olayının etkilerinin ve zararlarının belirlenmesi amacıyla Marmara Denizi Eylem Planı çerçevesi içerisinde Bursa, Balıkesir, İstanbul, Yalova, Kocaeli, Çanakkale ve Tekirdağ'da tespit edilen, 23 bölgede 15 günlük

periyotlar şeklinde balık örnekleri alınmış ve akredite laboratuvarlarda analiz edilmiştir. Toplamda alınan 248 numunede; PAH, dioksin, kurşun, civa, kadmiyum, koagulaz pozitif stafilokoklar ve sülfid indirgeyen anaerob bakteriler analiz edilmiştir. Sonuç olarak; Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği ve Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliğine göre uygun olduğu saptanmıştır. Bu analizler, göz önünde bulundurulduğunda son dönemde görülen müsilaj vakası insanlar üzerinde ciddi olumsuzluklar oluşturmadığı saptanmıştır.

5.3.3. Turizm üzerindeki etkileri

İnsanlar, yoğun çalışma hayatı ile oluşan stresten arınmak ve dinleme ihtiyacının karşılamak amacıyla sahilleri ve plajları tercih etmektedir. Çizelge 5.2.'de görüldüğü gibi Marmara Denizi'ne kıyısı olan birçok şehirde, A ve B sınıfı kalitesine sahip plajların olması ile su altı kültür mirası açısından zengin olması turistlerin ilgi odağı haline gelmiştir (Demir, 2004). Ayrıca, Marmara Denizi su sporları, tüplü dalış ve yelkenli teknelerin kullanımına elverişli olması, insanların daha çok rağbet ettiği alan haline gelmiştir (Demiroğlu, 2017). Kültür ve Turizm Bakanlığınca, turizmin teşvik ve canlandırılması kapsamında Marmara Denizi'ne kıyısı olan bir adet “Kültür-Turizm koruma ve Geliştirme Bölgesi (KTKGB)” ve on adet “Turizm Merkezi (TM)” kurulmuştur. Kurulan bu tesisler ile Marmara Denizi'nde oluşabilecek müsilaj olayının turizme olan zararlarını en aza indirmek istenmektedir (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2021).

Çizelge 4.2. Marmara Denizi kıyısındaki plajlar ve sıhhi sınıflandırmaları *

İl Adı	A sınıfı	B sınıfı	C sınıfı	D sınıfı	Toplam
İstanbul	25	16	16	-	57
Tekirdağ	17	11	5	1	34
Çanakkale	18	2	-	-	20
Balıkesir	21	-	-	-	21
Bursa	8	15	1	-	24
Yalova	7	7	4	-	18
Kocaeli	7	5	-	1	13

*Çevre Sağlığı Dairesi Başkanlığı, (2023).

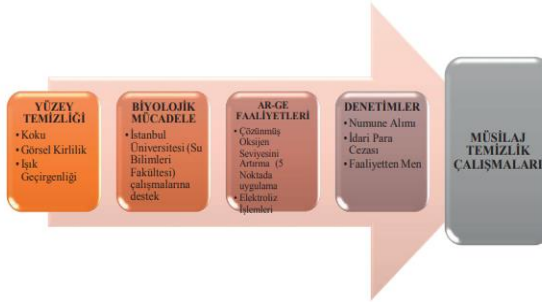
Deniz salyası, oluştuğu alanlarda fiziksel görüntü kirliliği oluşturarak su berraklığını bozmakta ve oluşturduğu kötü koku ile turistik cazibenin kaybolmasına neden olmaktadır (Özdelice vd., 2021). Deniz yüzeyinin müsilaj ile kaplanması denizaltı fotoğrafçılığı, tüplü dalış, balık tutma ve tekne turları gibi etkinliklerin yapılmasını engellemektedir (Hürriyet, 15 Haziran 2021).

Müsülaj, deniz yüzeyinde oluşturduğu tehdidi sualtı turizmi içinde oluşturmaktadır. Sualtı harabeleri, batık gemileri kaplamakta ve sualtı bulanıklığı oluşturup, turizmin zarar görmesine neden olmaktadır (Karakaş, 2021).

6. MARMARA DENİZİNDEKİ MÜSİL AJIN GİDERİLMESİ VE ÇÖZÜM YOLLARI

6.1. Müsülajın Bertarafı ve Denetlenmesi

Marmara Denizi'nde, 6 Haziran 2021 tarihinde görülen deniz salyasının temizlenmesi ve müsülaj oluşumunu engellemek amacıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Marmara Denizi Koruma Eylem Planı oluşturularak çözüm sağlanması amaçlanmıştır. Bu çerçevede, müsülaj kirliliğinin giderilmesinde Şekil 6.1.'de verilen yol haritası özet bir şekilde izlenmektedir (Birpınar, 2021). Marmara Denizi Eylem Planı Çerçevesinde, deniz yüzeyinde bulunan müsülajın toplanması ve bertarafı için, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Türkiye'de daha önce görülmemiş çevre temizliği hareketi başlatılmıştır. Marmara Denizi'ne, kıyısı olan yedi il bu seferberliğe dâhil olup iş birliği içinde hareket edilmiştir (TBMM Komisyon Raporu, 2022). Marmara denizine kıyısı olan yedi ilde toplam çalışma bölgesi ve toplanan müsülaj miktarları Çizelge 6.1. gösterilmiştir. Marmara Denizi Eylem Planı çerçevesinde, yürütülen müsülaj temizleme çalışmaları başarılı olmuştur (Fotoğraf 6.2.) (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021).



Şekil 6.1. Müsülaj kirliliğinin giderilmesinde izlenen yol şeması.

Çizelge 6.1. Marmara Denizi'ne sınırı olan illerde toplanan müsilaj miktarı *

İl adı	Çalışılan bölge sayısı	Kümülatif toplanan müsilaj miktarı (m ³)
Kocaeli	59	746,1
İstanbul	356	6440,6
Tekirdağ	21	154
Çanakkale	73	919,1
Balıkesir	38	841
Yalova	52	2118
Bursa	24	180,5
Toplam	623	11129,3

*Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2021)

Müsilaj temizleme çalışmaları, 7 ili kapsayan 623 bölgede yapılmış olup, toplamda 11129,3 m³ müsilaj toplanmıştır (Çizelge 6.2.). Toplanan müsilajın bertafı, belirlenen alanlara sızdırmaz araçlarla taşınarak gerçekleştirilmiştir. Alınan müsilaj örnekleri, laboratuvar ortamında incelenmiştir. Laboratuvar sonuçları müsilajın zehirli ve toksik özellik göstermediği, tuzluluk değerlerinin fazla olduğu, %94-99 oranında nem içerdiği saptanmıştır (TBMM Komisyon Raporu, 2022).



Fotoğraf 6.1. Müsilaj temizlik çalışmaları öncesi-sonrası değişimi (CSB, 2021).

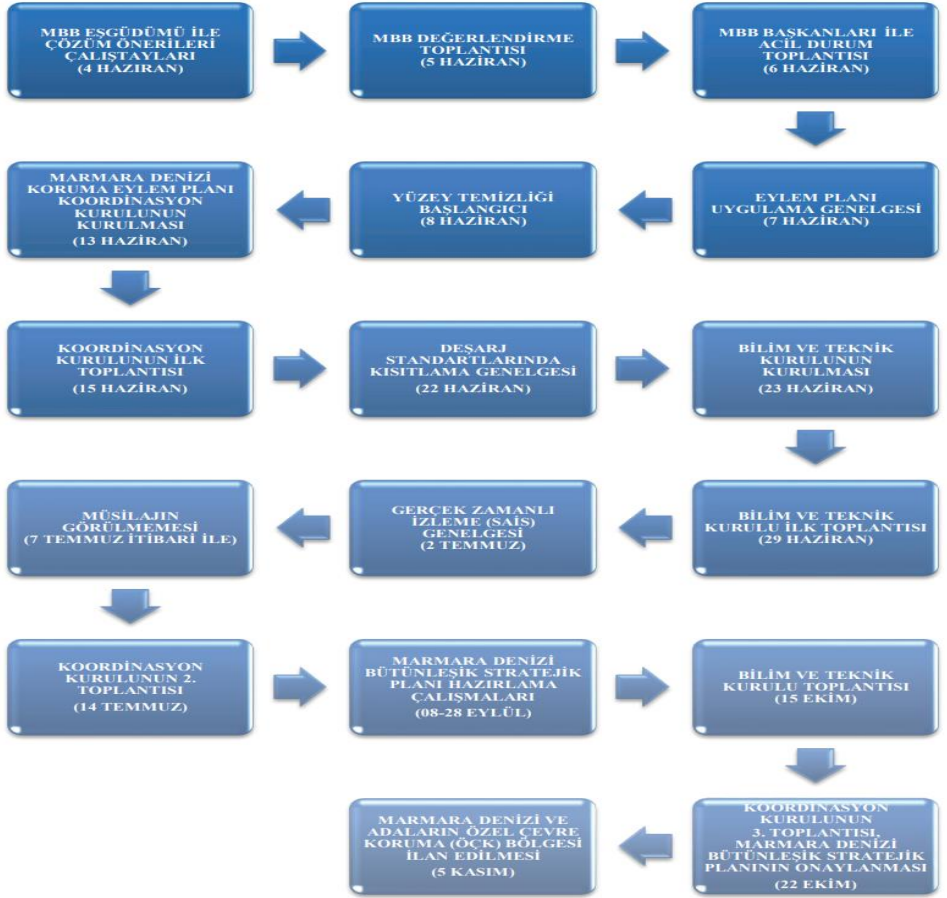
Çizelge 6.2. Toplanan müsilaj miktarı (m³) ve bertaraf alanı *

İlin adı	Miktar (m ³)	Bertaraf alanı
İstanbul	6440,60	İBB İstaç Kömürçüoda Düzenli Depolama Tesisi
Yalova	2118	Yalova İli Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği
Çanakkale	919,10	Çanakkale Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi
Tekirdağ	154	PANAB Tekirdağ Enerji A.Ş. Düzenli Depolama Sahası
Balıkesir	841	Balıkesir Düzenli Depolama Katı Atık Entegre Tesisi
Kocaeli	476,12	İzaydaş Düzenli Depolama Sahası
Bursa	180,50	Hamitler Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi
Toplam	11129,3	

*Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2021)

6.2. Marmara Denizi Koruma Eylem Planı

Marmara Denizi'nin kirlilik oranının ne kadar çok arttığı 2021 yılında meydana gelen müsilaj olayı ile gün yüzüne çıkmıştır. Müsilaj oluşum nedenlerinin belirlenmesi, müsilaj oluşumunu engellemek ve kalıcı çözümlerin oluşturulması için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı denetiminde gerekli alt yapıların kurulması ve denetlenmesi amacıyla kurulan 22 maddeden oluşan Marmara Denizi Koruma Eylem Planı, Marmara Denizinde müsilaj oluşumuna çözüm niteliğindedir. Bu eylem planı, müsilajın kontrol altına alınması, oluşumunun engellenmesi, çevreye ve canlılara verilen tahribatın önlenmesi için; kentsel, tarımsal, endüstriyel, insan kaynaklı ve denizcilik gibi faaliyetlerden oluşan kirliliğin ortaya konması, kirlilik kaynaklarının etkisi ve kirlilik miktarının en aza indirgenmesi amacıyla su kalitesi parametrelerinin yeniden düzenlenmesi, atık ve atık su arıtım yöntemlerinin belirlenmesi ve denetlenmesi, küresel iklim değişikliklerin izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması, AR-GE çalışmalarının artırılması, denetleyici kurumlara ceza verme yetkilerinin verilmesi gibi faaliyetleri içermektedir (TBMM, 2022). Bakanlığın, Marmara Denizi'nde oluşan müsilajın temizleme ve mücadele çalışmaları içeren plan Şekil 6.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Müsilaj ile mücadele süreci
(Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021).

SONUÇ

Marmara Bölgesi, 67000 km² yüzölçümü ile Türkiye yüzölçümünün %8.5 oranına tekabül etmektedir. 1950'lerden sonra kentleşme ve sanayileşme ile beraber 1965'te 3.146.100 nüfusa sahip olan bölge, günümüzde 26.650.405 kişiye ev sahipliği yapmaktadır (TUİK, 2022). Marmara denizi, gerek jeopolitik konumuyla gerek mavi bayraklı plajlara sahip olması, ilgi çekici batık şehir ve batık gemilerin bulunması, tüplü dalış sporlarına elverişli olması ile merakları üzerine çeken, ilgi çekici bir yapıya sahiptir (Bayatlıoğlu, 2014). Marmara Denizi, yoğun nüfusa sahip ve sanayinin geliştiği şehirlere (İstanbul, Kocaeli, Bursa, Sakarya ve Balıkesir) komşu olmasından kaynaklı, endüstriyel atık sularına, evsel atık sularına, tarımsal kaynaklı kirleticilere, gemi balans sularının doğrudan veya dolaylı maruz kalarak su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Marmara Denizi'ne, uzun yıllar boyunca arıtım yapılmadan deşarj

edilen kirli sular, denizin kirlilik yükünü taşıyamaz hale geldiği 2021 yılında ortaya çıkan müsilaj olayı ile görülmüştür (Albay, 2023). Türkiye ve dünya ticareti açısından son derece öneme sahip olan Marmara Denizi'nin su kalitesinin korunması ve sürdürülebilirlik açısından birden fazla plan ve proje hayata geçirilmeye çalışılmıştır. Bunlardan en önemlisi ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2021 yılında yayınlanan "Marmara Denizi Koruma Eylem Planı" dır. Bu plan ile Marmara Denizi'nin fiziki ve ekolojik olarak kirlenmenin önlenmesi amaçlanmıştır. Marmara Denizi'nin korunması amacı ile yapılabilecek faaliyetler;

1. Marmara Denizi'nde, kirlilik yükünün azaltılması ve denetleme çalışmalarının yürütülmesi amacıyla; Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı, Sanayi Odaları, Üniversite ve Sivil Toplum kuruluşlarında tarafından Müttesekil Kordinasyon Kurulunu oluşturmak (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021),
2. Marmara Belediyeler Birliği bünyesinde Bilim ve Teknik Kurulu oluşturulmalıdır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021),
3. Marmara Denizi'nin tümü, Koruma Alanı olarak ilan edilmeli ve bu kapsamdaki çalışmalar en kısa sürede hayata geçirilmelidir (TBMM, 2022),
4. Müsilajın, çevreye ve deniz ekosistemine verilen zararın minimum seviye indirmek amacıyla deniz yüzeyindeki ve deniz içindeki müsilajın toplanması ve bilimsel teknikler aracılığıyla bertarafı sağlanmalıdır (CSB, 2021),
5. Deniz kirliliğini azaltmak amacıyla vatandaşların bilinç ve duyarlılığının artırılmasına yönelik kamuoyu çalışmaları yapılmalı ve bu çalışmalar teşvik edilmelidir (Özel, 2020),
6. Marmara Denizi çevresinde bulunan tesislerin, arttırılmış atık suların amaca uygun tekrar kullanılarak denize deşarj miktarının minimum seviyeye indirilmelidir (Çakmak vd., 2007),
7. Deniz ekosisteminde, oluşan tahribatın iyileştirilmesi ve ekosistemin korunmasına yönelik çalışmalarda bulunulmalı ve balık türlerinin azalmasına veya balık stokları üzerinde oluşturulan baskının artmasına neden olacak uygulamalardan kaçınılmalıdır (Demirel vd., 2020),
8. Marmara havzasının ilgili kurumlar tarafından izleme noktalarının artırılması, uzaktan algılama sistemleri, insansız hava araçları, erken uyarı sistemleri ve radar sistemleri kurularak denetimler sıklaştırılmalı ve ihlaller sonucunda caydırıcı yüksek miktarda cezalar yazılmalıdır (TBMM Komisyon Raporu, 2022),
9. Marmara Denizi'ne, dere ve akarsular yoluyla ulaşan kirliliği azaltmak amacıyla tampon alanlar oluşturulmalı veya file gibi araçlar kullanılmalıdır (TBMM, 2022),

10. Tersane faaliyetleri kaynaklı kirli suların ve gemi balans suların denize boşaltılması önlenmelidir (Battal vd., 2005),
11. Organize Sanayi Bölgelerindeki kirliliğin Marmara Denizi'ne olan zararlı etkisinin azaltılması amacıyla tüm işletmelerin ileri arıtım tekniklerin kullanılması sağlanmalı ve teşvik edilmelidir (Kentsel Atıksu Arıtım yönetmeliği, 2006),
12. Marmara Denizi'ne deşarj edilen atık suların tamamının ileri biyolojik arıtım tekniklerin kullanıldıktan sonra deşarj işleminin yapılmalı ve bu işlem yetkili kurumlar tarafından online 7/24 izlenerek denetimler sağlanmalıdır (TBMM, 2022),
13. İklim değişikliklerin deniz üzerindeki olumsuz etkilerin ortaya çıkarılması ve bu olumsuzlukların giderilmesi sağlanmalıdır (IPCC, 2009),
14. İyi tarım uygulamaları, Marmara Denizi Havzası'ndaki tüm bölgede yaygınlaştırılmalıdır (Aydın, 2021) ve
15. Tarımsal alanda kullanılan kimyasalların (pestisit ve gübre gibi) kullanımı konusunda çiftçilere eğitimler verilmeli ve kontroller yapılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

- Açma, B. (2005). *Kentleşme ve çevre sorunları*, 1. Baskı, Anadolu Üniversitesi Yayınları, s:314.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri, 5902 Sayılı Kanun. https://www.jmo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=160
Erişim Tarihi: 05.07.2023.
- Afet Komisyonu, (2023). Dünya genelinde 2000-2019 yılları arasında en fazla can kaybına neden olan 10 büyük doğal afet. <https://tatd.org.tr/afet/afet-yazi-dizisi/2020de-turkiye-ve-dunyada-en-sik-gorulen-dogal-afetler/>
Erişim tarihi: 07.08.2023.
- Aksoy, İ. (2021). *19 farklı doğal afet türlerinin sentinel uydu verileriyle izlenebilirliğinin güvenilirlik analizi* [Yüksek lisans tezi]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- Aksungur, N., & Firidin, Ş. (2008). Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik. *Aquaculture Studies*, 2008(2), 9-11.
- Akten, N. (2005). Risk of collision: How far are the rules satisfactory. *European Journal of Navigation*, 3, 1-3.
- Appannagari, R. R. (2017). Environmental pollution causes and consequences: A study. *North Asian Int Res J Soc Sci Humanit*, 3(8), 151-161.
- Aydın, M. E. (2021). Musilage formation in Marmara Sea Possible causes and recommendations, 51-67. https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/bilim-ve-dusun/Marmara%20Deniz%20Salyasi/TUBA-978-605-2249-73-4_Ch2.pdf
- Artüz, M. L., Okay, I. A., Mater, B., Artüz, O. B., Gürseler, G., & Okay, N. (2007). *Bilimsel Açıdan Marmara Denizi*. Türkiye Barolar Birliği Yayınları, Sevinç Erdal İnönü Vakfı.
- Akın, M., & Akın, G. (2017). Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47(2), 105-118.
- Aktan, Y., Artuğ, G., Topaloğlu, B., & İşinibilir, M., (2008). İzmit Körfezi Müsilaj Çalışması Sonuç Raporu. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Aralık, 2008, pp.72. <https://iupress.istanbul.edu.tr/en/book/marmara-denizinin-musilaj-sorunu/chapter/musilaj-olusumunda-bakteriyolojik-yaklasimlar-marmara-denizi-ornegi>
- Akyüz, E. (2020). *Çevre Biliminin ABC’si*. Seçkin Yayıncılık. s.52.
- Albay, M. (2023). Marmara Denizi’nin müsilaj sorunu. İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, Deniz ve İçsu Kaynakları Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye. <https://iupress.istanbul.edu.tr/en/book/marmara-denizinin-musilaj-sorunu/home>

- Artüz, M. L. (2002). Marmara ve boğazların ekolojisi ve değişimler. *BÜ Deniz Teknolojisi Sempozyumu*.
- Ayaz, Ç. E. (2022). Musilaj sorununun idari boyutu: İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi özelinde bir inceleme. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, 12 (1), 176-204. Doi: 10.18074/ckuiibfd.989631.
- Bayathoğlu, G. (2014). *Marmara denizi'nde çevresel şartların yıllara göre değişimi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Başoğlu, B. (2013). *Çevre zararlarından doğan hukuki sorumluluk* [Doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Battal, K. (2005). Gemilerden kaynaklanan deniz kirliliğinin önlenmesi ve türk boğazlarına yönelik çözüm önerileri [Yüksek lisans tezi]. Çanakkale 18 Mart Üniversitesi.
- Baykut, F., Aydın, A., & Baykut, S. (1987). *Çevre Sorunları ve Korunma*. İstanbul Üniv. Yayın No: 3449, Mühendislik Fakültesi Yayın No: 73, Güray Matbaacılık, 42-60.
- Bedikoğlu, D., Yılmaz, İ. N. & Demirel, N. (2019). Marmara Denizi'nin 2019 yılı mevsimsel zooplankton dağılımı. *II. Ulusal Denizlerde İzleme ve Değerlendirme Sempozyumu*, 11 – 13 Aralık 2019, Ankara.
- Birpınar, M. E. (2021). Mavi vatan denizlerimizde yeni kabus; Müsilaj. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- Börühan, G., Ersoy P., & Tek Ö. (2012). *Afet yönetiminde lojistik planlama ve kontrol listesi yönteminin önemi*, Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi Bildiriler Kitabı. Konya Üniversitesi, Cilt 1, Konya, Aybil Yayınları, s:376-383.
- BSGM (2021), *Müsilajın Marmara Denizi Balıkçılığa Etkisi Eylem Planı Gelişmeleri Bilgi Notu*. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ekim 2021. Ankara, s.17.
- Burkholder, J., P. Glibert & Skelton, H. (2008). Mixotrophy, a major mode of nutrition for harmful algal species in eutrophic waters. *Harmful Algae* 8, 77–93.
- Canbek, G., & Sağıroğlu, Ş. (2006). Bilgi, bilgi güvenliği ve süreçleri üzerine bir inceleme. *Politeknik Dergisi*, 9(3), 165-174.
- Cred, U. N. D. R. R. (2020). Human Cost of Disasters. An Overview of the last 20 years: 2000–2019. *CRED, UNDRR, Geneva*.
- Cozzia, S., Ivancic, I., Catalano, G., Djakovac, T., Degobbi, D. (2004). Dynamics of the oceanographic properties during mucilage appearance in the Northern Adriatic Sea: analysis of the 1997 event in comparison to

- earlier events. *Journal of Marine Systems* 50, 223– 241. Elseve Publishers.
- Çakmak, B., Ucar, Y., & Akuzum, T. (2007). Water Resources Management, Problems and Solutions for Turkey. In *International Congress on river basin management*, 867-880.
- Çevre Kanunu-2872, 09.08.1983, Tertip: 5, Cilt: 22.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021, 1971-2021 Yılları Arası Dünya ve Türkiye Sıcaklık Ortalamalarının Karşılaştırılması.
- Danovaro, R., Fonda Umani, S., Pusceddu, A., 2009. Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE*, 4(9), e7006. doi:10.1371/journal.pone.0007006
- Demir, C. (2004) A profile of Turkish tourism. *International Journal of Contemporary Hospitality Management* 16(5), 325-328,
- Demirel, N., Yıldız, T., Ulman, A., Zengin, M., Akoğlu, E., Saygu, İ., Ertör-Akyazı, P., Gül, G., Bedikoğlu, D., & Yılmaz, İ .N. (2020). Marmara denizi'nin müsilaj sorunu. *Marmara Denizi Ekosistemi ve Balıkçılık Kaynaklarının Durumu: Müsilaj Olayları ve Sürdürülebilir Balıkçılık İçin Öneriler*. İstanbul Üniversitesi Yayınevi. 221-236.
- Demiroğlu, O. C., Akbas, A., Turp, M. T., Ozturk, T., & Kurnaz, M. L. (2017). Case study Turkey: climate change and coastal tourism: impacts of climate change on the turquoise coast. In: *Global Climate Change and Coastal Tourism* (eds., Jones, A., Philips, M.), Springer, Netherlands.
- Dölek, İ. (2016). Türkiye'nin Fiziki Coğrafyası. *Türkiye'de doğal afetler*. (ss. 1-54).
- EM-DAT, The international disasters database, <https://www.emdat.be/explanatory-notes>, (Erişim Tarihi 11.08.2022)
- Erdur-Baker, Ö., Kasapoğlu, K., & Yılmaz, E. (2015). The objectives of disaster education from teachers' perspectives. *Journal of Human Sciences*, 12(1), 975-990.
- Ersoy, Ş. (2009). Afetler Çağı. YTÜ Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi. 1-4. https://www.researchgate.net/publication/268740404_Afetler_Cagi
- Ertürk, H. (1998). *Çevre Bilimlerine Giriş*, 3. Baskı, Vipaş A.Ş. Yayınevi, Bursa, s:74
- Fondriest Environmental, Inc. (2014). Algae, Phytoplankton and Chlorophyll. Fundamentals of Environmental Measurements. <https://www.fondriest.com/> Erişim Tarihi: 6.07.2021

- Garipağaoğlu, N. (2016). Marmara havzası'nda kentleşme-atık su ilişkileri ve alıcı ortam üzerindeki etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (34), 147-159.
- Garipağaoğlu, N., & Uzun, M. (2021). Development stages of basin management and different models. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 43, 338-357.
- Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z. (1994). Su Kirliliği. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*.
- Gürpınar, E., (1995:46). *Çevre Sorunları*, Genişletilmiş 4. Baskı, Der Yayınları, İstanbul,s:66
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası (2019). Hava Kirliliği Raporu <https://www.tmmob.org.tr/sites/default/files/2019.pdf> 16.06.2023
- Hogan, D. E., & Burstein, J. L. (Eds.). (2007). *Disaster medicine*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Hürriyet Gazetesi (2021, 15 Haziran). <https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/musilaj-turizmi-de-vurdu-41834204/>
- <https://theconversation.com/sanchi-oil-tanker-disaster-how-spills-and-accidents-can-make-ships-safer-90207> Taşımacılık kazaları ile ilgili örnek görüntü. Erişim tarihi: 10.09.2023.
- <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/cevre-kirliligiyle-mucadelede-organizmalar-nasil-kullanilir> Erişim tarihi: 16.08.2023
- <https://www.cekud.org.tr/tr/cevre-kirliligi> Erişim tarihi: 16.03.2023
- <https://ekovar.com.tr/h/toprak-kirliligi-noktasal-kaynakli-kirlenmis-sahalar/> Erişim tarihi: 16.03.2023
- <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/okyanus-kirliliginin-canlilara-etkisi> Erişim tarihi: 16.03.2023
- <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/makale/hava-kirliligi-kemikleri-eritiyor> Erişim tarihi: 16.03.2023
- <https://www.haberturk.com/dunya/haber/634357-japonya-denizleri-radyoaktif-kirlilik-altinda> Erişim tarihi: 16.03.2023
- <https://www.sosyalbilgiler.biz/534-dogal-afetler-ve-cevre-sorunlari-online-slayt.html> Erişim tarihi: 16.03.2023
- <https://www.indyturk.com/node/228971/%C3%A7evre/g%C3%B6lc%C3%BCk-depreminin-21-y%C4%B1-d%C3%B6n%C3%BCm%C3%BCnde-siyasilere-seslenen-prof-dr-g%C3%B6r%C3%BCr-bu-%C3%BCIkeyi> Erişim tarihi: 16.03.2023
- <https://cem.csb.gov.tr/genel-mudurumuz-dr.-ahmet-ipek-in-5-aralik-dunya-toprak-gunu-mesaji-haber-266809> Erişim tarihi: 16.03.2023

- <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/uydu-verileriyle-sel-tahmini> Erişim tarihi: 16.03.2023
- <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>, Erişim tarihi: 12/03/2023
- http://www.cevreorman.gov.tr/co_00.htm, Erişim tarihi: 24/06/2023
- https://www.tbmm.gov.tr/Yasama/KomisyonRaporlari_sira_no:325, 2022:8)
- IFRC (The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies). (1919), <https://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/aboutdisasters/what-is-a-disaster/>, Erişim Tarihi: 25/03/2023.
- IPCC, (2009). Technical Summary. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (eds. Pörtner, H.O., Roberts, D.C., MassonDelmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M.)
- İşinibilir, M., Kıdeyş, A. E., Tarkan, A. N., & Yılmaz, I. N. (2008). Annual cycle of zooplankton abundance and species composition in Izmit Bay (the northeastern Marmara Sea), 78: 739-747.
- İlhan, R., Doğan, M., Karadaş, A., Vardar, S., & Öner, E. (2023). Daskyleion antik kenti ve manyas gölü çevrelerinde delgi sondaj yöntemli paleocoğrafya-jeoarkeoloji araştırmalarının ilk sonuçları (Manyas-Balıkesir). *Erciyes Akademi*, 37(1), 261-289.
- İncesu, E. (2019). Sağlık Hizmetlerinde Kurumsal Risk Yönetim Modeli Önerisi. *Sağlık Kalite ve Akreditasyon Dergisi*, 2(1), 47-54.
- İnanmaz, Ö. E., Bekbolet, M., & Kıdeyş, A. E. (2002). A new scyphozoan species in the Sea of Marmara: *Chrysaora hysoscella* (Linne, 1766). Proceedings of the "Second International Conference on Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: Similarities and Differences of Two Interconnected basins", 857-859.
- Kadioğlu, M. (2008). *Toplumda Afet Bilincini Artırma Yöntemleri*. Ankara: İsmat.
- Kadioğlu, M. (2011). Afet Yönetimi Beklenilmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek. İstanbul: Marmara Belediyeler Birliği.
- Kahraman, S., Polat, E., & Korkmazyürek, B. (2021). Afet yönetim döngüsündeki ana terimler. *Avrasya Terim Dergisi*, 9(3), 7-14.
- Karaca, A., & Turgay, O. C. (2012). Toprak kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 13-19.

- Karakaş, G., 2021, Marmara'nın derinliklerinde hidrojen sülfür, Deniz Kartalı: <https://denizkartali.com/marmaranin-derinliklerinde-hidrojen-sulfur.html>, Erişim Tarihi: 25.03.2023.
- Karatepe, T. U., & Ekerbiçer, H. Ç. (2017). Çocuklarda ev kazaları. *Sakarya Tıp Dergisi*, 7(1), 1-1.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Sefercik, U. G., & Öztürk, M. Y. (2021). Marmara Denizi'ndeki müsilaj oluşumlarının çok zamanlı optik ve termal uydu görüntülerinden makine öğrenme algoritması ile tespiti ve analizi. *Harita Dergisi*, 166, 1-9.
- Kentsel Atıksu Arıtım Yönetmeliği, 08.01.2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmî Gazete.
- Koca-Nemlioğlu, Y. (2016). Marmara Denizi tarihi haritaları ve portolanları. VIII. Türk Deniz Ticareti Tarihi Sempozyumu. 30 Mayıs 2016. <https://marmara.gov.tr/uploads/marmara-denizi-tarihi-haritalar-ve-portolanlar-koca-2017.pdf> Erişim tarihi: 16.09.2023.
- Koncagül, M., Dülger, N. E., & Yinanç, A. (2022). Dünyada ve Marmara Denizi'nde Müsilaj Oluşumu ve Etkileri. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(2), 73-79.
- Liu, Z. J., Hallberg, G. R., & Malanson, G. P. (1997). Structural equation modeling of dynamics of nitrate contamination in ground water. *Journal of The American Water Resources Association*. 33, 1219-1235.
- Malkoç, S., Günkaya, Z., Çiçek, A., Göncü, S., & Gaga, E. E. (2018). *Ekoloji ve Çevre Bilgisi*. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını.
- Marmara Bölgesi, (2023, Eylül). Yüzölçümü, https://tr.wikipedia.org/wiki/Marmara_Bölgesi, Erişim tarihi: 05.09.2023.
- MBB (2021), Marmara Denizi ile ilişkili Atıksu Altyapı Durumu ve Deniz Deşarjları.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2023). Türkiye kuraklık analizi. https://www.google.com/search?sca_esv=53a8062f3e87ad60&sca_upv=1&rlz=1C1PNBB_enTR1029TR1029&sxsrf=ACQVn083K8olhecrv4v1Xa_B7w8BufqimQ:1708399889641&q=kurakl%C4%B1k+meteoroloji+genel+m%C3%BCd%C3%BCr%C4%9F%C3%BC&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwjjqLnE_bieAxW1gf0HHZmXAwI00pQJegQIDhAB&biw=1536&bih=730&dpr=1.25#imgrc=a9DYsh7ZfNTQbM Erişim tarihi: 06.10.2023
- Menteşe, S. (2017), Çevresel sürdürülebilirlik açısından toprak, su ve hava kirliliği: teorik bir inceleme. *Journal of International Social Research*, 10(53), 381-389.

- Öğüt, A. A. (1999). *Denizlerin gemi kaynaklı kirlenmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Okyar, M. İ., Üstün, F., & Orun, D. A. (2015). Changes in abundance and community structure of the zooplankton population during the 2008 mucilage event in the northeastern Marmara Sea. *Turkish Journal of Zoology*, 39(1), 28-38.
- Özdemir, Ş. (1997). *Temel Ekoloji Bilgisi ve Çevre Sorunları*, Hatiboğlu Yayınları, Ankara, s:119-123
- Özgül, B. (2006). *İlköğretim öğrencilerine verilen temel afet bilinci eğitiminin bilgi düzeyine etkisi* [Doktora tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Özgür, S. (2006). *Marmara denizi havzası kirlilik yüklerinin araştırması* [Yüksek lisans tezi]. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- Özel, S. (2020). Afetlerden sonra kirlilik ve ikincil kirliliği afet olarak değerlendirmek için bir tartışma. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 39-48.
- Özkılıç, Ö., Müh, K. Y., Başkanlığı, İ. T. İ. G., & İşmüfettişi, Ç. E. B. (2008). Tehlike Ve Risk Kavramları–Terminoloji. <http://www.onderakademi.com/blog/sempozyum-sunumlar/terminoloji.pdf> Erişim tarihi: 20.08.2023
- Pakdemirli, B., (2021). Tarım ve Orman Bakanı 3 Kasım Dinleme Tutanağı, TBMM Tutanak Hizmetleri Başkanlığı.
- Pompei, M., Mazziotti, C., Guerrini, F., Cangini, M., Pigozzi, S., Benzi, M., Palamidesi, S., Boni, L., & Pistocchi, R. (2003). Correlation between the presence of *Gonyaulax fragilis* (Dinophyceae) and the mucilage phenomena of the Emilia-Romagna coast (northern Adriatic Sea). *Harmful Algae*, 2, 301–316. Elsevier Publishers.
- Purcell, J. E. (2007). Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan *Aurelia labiata*. *Mar Ecol Prog Ser.*, 348, 183–196.
- Re, S. (2007). “Natural Catastrophes and Man-Made Disasters in 2006: Low Insured Losses”, Sigma.
- Rodriguez, D. J., Angula-Sanchez, J. L., Silva, J. A. T., & Aguilar-Gonzalez, C. N. (2006). “Review of aloe species’ medicinal properties and bioactive compounds floriculture”, *Ornamental and Plant Biotechnology*, 4(51), 460-471.
- Shigonova, T., Tarkan, A.N., Dede, A., & Cebeci, M. (1995). Distribution of the ichthyoplankton *Mnemiopsis leidyi* in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Marine Science*, 1, 3-12.

- Salihoğlu, B., Öztürk, B. (Ed.) 2021, *İklim Değişikliği ve Türkiye Denizleri Üzerine Etkileri*. Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayın No: 60, İstanbul, s.43
- Sampedro, I., Marinari, S., D'annibale, A., Grego, S., Ocampo, J.A., & Garcia-Romera, I. (2007). Organic matter evolution and partial detoxification in two-phase olive mill waste colonized by white-rot fungi. *Int Biodeterior Biodegrad*, 60, 116–125.
- Sönmez, Y. S., Hisar, O., Karataş, M., Arslan, M., & Aras, M. S. (2008).“Sular Bilgisi” Nobel yayın Dağıtım, 157-158,79-91.
- Şahin, C., & Sipahioğlu, Ş. (2003). *Doğal Afetler ve Türkiye*. (2. Baskı). Gündüz Eğitim ve Yayıncılık, Ankara. 472.
- Şahin, C. (2002). *Doğal afetler ve Türkiye*. Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- TAEK, (2010), Atom Enerjisi Komisyonu Kurulması hakkında Kanun". Resmi Gazete. 4 Eylül 2010. 31 Aralık 2022 tarihinde kaynağından, 1.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2023), <https://bartin.csb.gov.tr/buyuk-endustriyel-kaza-risklerinin-azaltilmasina-yonelik-dahili-acil-durum-plani-tebliği-yayimlandi-duyuru-89342> Erişim tarihi: 12.08.2023.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, (2023). Marmara Havzası. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20tan%C4%B1t%C4%B1m%2023.03.2023/t%C3%BCrk%C3%A7e/Marmara%20Havza_s%C4%B1t%C4%B1t%C4%B1m.pdf Erişim tarihi: 02.10.2023.
- TBMM, (2022). Başta Marmara denizi olmak üzere denizlerdeki müsilağ sorununa sebeplerinin araştırılarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla kurulan 325 sıra sayılı Meclis Araştırma Komisyonu raporu,364-367.
- TBMM, (2022). Başta Marmara denizi olmak üzere denizlerdeki müsilağ sorununa sebeplerinin araştırılarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla kurulan 325 sıra sayılı Meclis Araştırma Komisyonu raporu, 159-167.
- TBMM, (2021). 3 Ağustos Dinleme Tutanağı, TBMM Tutanak Hizmetleri Başkanlığı.
- T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2021, Şubat), <https://www.afad.gov.tr/afet-turleri>.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024, Kasım 2021, <https://cygm.csb.gov.tr/marmara-denizi-butunlesik-stratejikplani-haber-265668>.

- Topakoğlu, L. (2004). *İstanbul Boğazında Deniz Yolu ile Petrol Taşımacılığının Çevresel Risk Değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Türkiye Barolar Birliği Yayınları, (2007). 119 Kültür Serisi: 2,22.
- Türk Dil Kurumu Sözlükleri, (2023). <https://sozluk.gov.tr>. Erişim tarihi: 03.05.2023.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2022). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685> Erişim tarihi: 12.05.2023
- Tüfekçi, V., Balkıs, N., Polat-Beken, Ç., Ediger, D., & Mantıkçı, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34, 199–210.
- Uğur, A., & Işık, M. (2020). Türkiye'nin afetlere hazırlık politikalarının toplum algısı üzerinden karşılaştırmalı analizi: Van-Bitlis illeri örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(1): 98-118.
- Ulaş-Kadıoğlu, B., & Uncu, F. (2018). Disaster awareness research in family health centers: The case of Elazig. *Journal of Current Researches on Health Sector*, 8(2), 1-10.
- Uslu, O. (2001). *Su Kirliliği, Türkiye'nin Çevre Sorunları*. Ankara: TÇ SV Yayını.
- World Health Organization International classification of diseases and related health problems, (ICD-X) <http://www.who.int/classifications/icd/en> (Erişim Tarihi:18/11/2022)
- Yasama Komisyon Raporları, sıra no:325, 2022:8.
- Yalçınlar, İ. (2000). Marmara Denizinin jeolojik yapısı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 5-6.
- Yılmaz, A. (2015). Küresel ısınmanın dünya su rezervleri üzerindeki etkileri. *Kent Akademisi*, 8(22), 63-72.
- Yücel, S., & Morgil, F. İ. (1998). Yüksek öğretimde çevre olgusunun araştırılması. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(14), 84-91.
- Yüksek, A. (2021). Marmara denizi'nde deniz salyası/müsilajı oluşturan sebepler, Marmara Denizi'nin Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri. 87-104.
www.tdk.gov.tr (Erişim Tarihi 18/11/2022).
- Yümün, Z., Kam, E., & Önce, M. (2023). Marmara Denizi'nde deniz salyası (müsilaj) oluşma nedenleri ve alınması gereken önlemler. *Çevre şehir ve İklim Dergisi*, 2(3), 98-115.

Bölüm 2

Kodlamayan RNA'lara Genel Bakış

Melike KARAMAN¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum/Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-0973-2561

GİRİŞ

Kodlamayan RNA'lar keşfedilmeden önce, RNA'ların DNA'daki gen bölgeleri ile işlevsel ürünler olan proteinler arasında sadece haberci bir molekül olduğu kabul edilmiştir. İlk olarak kodlamayan mikroRNA'ların keşfedilmesiyle birlikte ise bu görüş değişmiş ve RNA'ların düzenleyici yani işlevsel özelliklerinin olduğu bulunmuştur. Kodlamayan RNA (non-coding RNA, ncRNA) terimi, genellikle bir proteini kodlamayan veya çok az protein kodlama potansiyeli olan düzenleyici RNA'lar için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, organizma genomlarının çoğunun ncRNA'lara kopyalandığını ve bunların birçoğunun alternatif splayz ile düzenlendiğini veya daha küçük ürünler halinde işlendiğini göstermektedir. Bu RNA'lar; mikroRNA'lar, endojen küçük müdahaleci RNA'lar (Endogenous short interfering RNAs, endo-siRNAs), PIWI ile ilişkili RNA'lar dahil olmak üzere birçok diğer olası küçük ve uzun düzenleyici RNA'ları içermektedir. Düzenleyici RNA'ların; transkripsiyon, RNA splayzı, translasyon, gelişim, kromatinin düzenlenmesi gibi birçok biyolojik süreçlerde ve ilgili genlerin ekspresyon seviyelerinin kontrol edilmesinde iç sinyaller olarak rol oynadığı bildirilmektedir (Mattick & Makunin, 2006; Yang, Rastetter, & Wilhelm, 2016).

Tarihçe

1900'lerin başlarında, DNA ve RNA için kimyasal bileşimleri ve ilk yapıları hakkında önermeler bildirilmiştir. 1939'da Torbjörn Caspersson ve Jean Brachet, sitoplazmanın RNA açısından çok zengin olduğunu göstermiştir. 1950'lerin sonlarında Elliot Volkin ve Lawrence Astrachan RNA'yı DNA'dan sentezlenen DNA benzeri bir molekül olarak ayrıntılı olarak tanımlamıştır. Rosalind Franklin tarafından gerçekleştirilen X-ışını kristalografisine ait araştırmalara ek olarak James Watson ve Francis Crick tarafından 1953'te DNA'nın çift sarmal yapısının oluşturulmasıyla birlikte 1961 yılında DNA'dan proteinlere bilgi akışı sırasında RNA'nın haberci bir molekül olabileceği bildirilmiştir. Protein üreten hücrelerde RNA miktarının fazla olması, protein sentezi sırasında RNA'nın gerekliliği ve DNA-proteinler arasındaki rolü için ilk ipucu olmuştur. 1955'te Georges Palade, bol miktarda bulunan sitoplazmik ribonükleoprotein (RNP) kompleksinin bir parçası olan ilk ncRNA'yı (rRNA) tanımlanmıştır. 1957'de Mahlon Hoagland ve Paul Zamecnik tarafından ikinci ncRNA sınıfı (tRNA) bulunmuştur. 1960'da François Jacob ve Jacques Monod ilk olarak messenger RNA (mRNA) terimini kullanmıştır. 1960'ların sonlarında, mRNA'lardan oldukça farklı, kısa ömürlü heterojen nükleer RNA'lar (hnRNA) bulunmuştur. Bu dönemde, splayzozomun bir parçası olan küçük nükleer RNA'lar (snRNA) ve nükleolusdaki ribozomal RNA'ların işlenmesi ve olgunlaşmasında rol oynayan küçük nükleolar RNA'lar

(snoRNA) keşfedilmiştir. Katalitik RNA'nın keşfi ile RNA'nın sadece aracı molekül olmadığı birçok biyolojik süreçte yer aldığı anlaşılmıştır. RNA'ların hücre biyolojisindeki rollerinin kapsamlı çalışılması üzerine, RNA'nın DNA replikasyonu için gerekli olduğu ve ribonükleotitlerinin, DNA'nın deoksiribonükleotitleri için öncü olarak kullanıldığı bulunmuştur (Jarroux, Morillon, & Pinskaya, 2017).

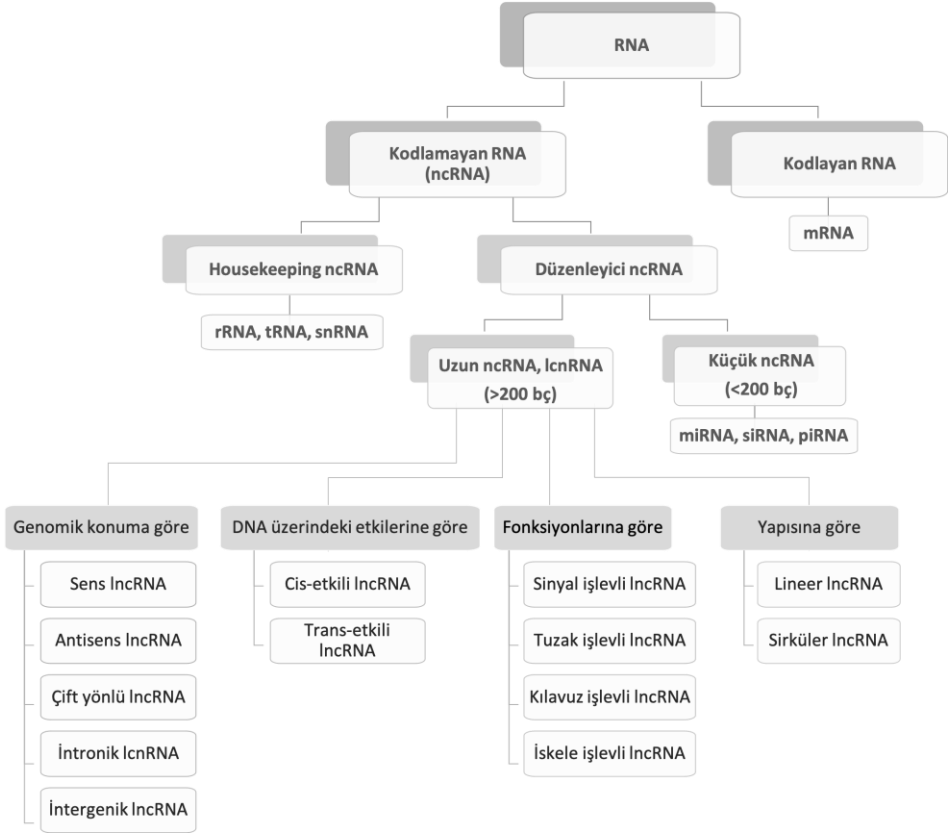
Önceden biyolojik katalizörlerin sadece proteinler olduğu düşünülmüştür. RNA'nın ise protein sentezi için bir şablon görevi görerek DNA'da kodlanan genler ile hücrenin işlevsel birimleri olan proteinler arasında bir haberci olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle de sadece protein kodlayan RNA'ların (mRNA'ların) özellikleri ve biyolojik fonksiyonları üzerine odaklanmıştır. 1980'lerde Thomas Cech ve Sidney Altman, bazı RNA'ların transfer RNA'nın biyogenezi veya mesajcı RNA'nın splayz işlemi gibi diğer RNA moleküllerinin işlenmesinde rol oynayan ve ribozimler adı verilen enzimler olarak işlev görebileceğini göstermiştir. mikroRNA olarak adlandırılan ilk küçük kodlamayan RNA'nın keşfi ile birlikte protein kodlama potansiyeli olmayan veya çok az olan düzenleyici RNA'lar alanı ortaya çıkmış ve sonrası birçok yeni düzenleyici kodlamayan RNA sınıfı tanımlanmıştır. Pek çok biyolojik süreçte ekspresyonlarını, biyogenezlerini, mekanizmalarını ve fonksiyonlarını açıklamada büyük ilerleme kaydedilmiştir (Jarroux et al., 2017; Yang et al., 2016).

Sınıflandırma

Kodlamayan RNA'lar (noncodingRNAs, ncRNAs), proteinlere dönüştürülmeyen bir açık okuma çerçevesine (Open Reading Frame, ORF) sahip RNA molekülleri olarak tanımlanmaktadır. Birden fazla biyolojik işlemin ana düzenleyicisi olarak ortaya çıkmaktadırlar. Kodlamayan RNA dünyası, yeni ncRNA sınıflarının keşfi ya da işlevleriyle ilgili çalışmalar sayesinde genişlemektedir. ncRNA'lar, rRNA ve tRNA gibi housekeeping RNA'ları ve düzenleyici RNA'ları içermektedir. Düzenleyici RNA'lar ise transkript uzunluklarına göre yaygın olarak iki ana katagoriye ayrılmaktadır (Redis & Calin, 2014).

- Küçük ncRNA'lar (small ncRNAs, sncRNAs, <200 nt)
- Uzun ncRNA'lar (long ncRNAs, lncRNAs, >200 nt)

RNA'ların sınıflandırılması genel olarak aşağıdaki gibi şematize edilebilir:



Küçük ncRNA'lar sınıfı, özellikle mikroRNA'lar (miRNA'lar) sınıfı olarak algılanmaktadır. Ancak küçük müdahaleci RNA'lar (small interfering RNA, siRNAs), PIWI etkileşimli RNA'lar (Piwi-interacting RNAs, piRNAs), küçük nükleolar RNA'lar (small nucleolar RNAs, snorRNAs) ve küçük nükleer RNA'lar (small nuclear RNAs, snRNAs) küçük düzenleyici ncRNA'ların diğer üyeleri arasındadır. Bu sınıfın üyeleri; uzunluklarına, biyogenez yollarına ve ilgili proteinler ile etkileşimine bağlı olarak tanımlanmış ve genomdaki lokalizasyonlarına veya işlevlerine göre adlandırılmıştır. Ayrıca net bir şekilde belirtilmemiş olsa da DICER'e bağlı ve DICER'den bağımsız gibi biyogenez mekanizmalarına göre de sınıflandırma yapılmıştır. Küçük ncRNA'lar, hedefleriyle spesifik baz eşleşmeleri sayesinde transkripsiyonel ve post-transkripsiyonel olarak gen sessizleştirilmesinde rol oynamaktadır (Jarroux et al., 2017; Redis & Calin, 2014; Yang et al., 2016).

Uzun kodlamayan RNA'lar (lncRNA'lar), genellikle 200 nt'den uzun, protein kodlamayan transkriptlerin heterojen sınıfını oluşturur. Bu transkriptler; kromatin modifikasyonu, proteinlerin lokalizasyonu veya aktivitesinin

düzenlenmesi ve küçük ncRNA'ların öncüsü olarak sayısız mekanizma yoluyla çeşitli biyolojik işlemlere katılır (Jarroux et al., 2017; Santosh, Varshney, & Yadava, 2015). LncRNA'ların farklı özellikleri dikkate alınarak genomik konumlarına, etki mekanizmalarına ve DNA dizileri üzerindeki etkilerine göre gibi çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Örneğin genomik konumlarına göre protein kodlayan genlerle aynı iplikçikten ve aynı yönde kopyalanan sense lncRNA'lar, protein kodlayan genlerin komplementer iplikçiğinden kopyalanan antisens lncRNA'lar, protein kodlayan bir genin intronik bölgelerinde bulunan intronik lncRNA'lar, iki protein kodlayan gen arasında bulunan intergenik lncRNA'lar ve bir protein kodlayan genin promotör bölgesinin 1 kb'si içinde bulunan çift yönlü lncRNA'lar şeklinde sınıflandırılmıştır (Hermans-Beijnsberger, van Bilsen, & Schroen, 2018). LncRNA'lar etki mekanizmalarına göre uyarana bağlı olarak genleri uyarabilen veya susturabilen sinyal modeli (signal), diğer RNA'lara veya proteinlere müdahale eden tuzak modeli (decoy), belirli proteinlere bağlanarak ilgili hedeflere taşıyan kılavuz modeli (guide) ve bağlandığı proteinleri hedef ile etkileşebilecek yakınlığa getiren iskele modeli (scaffold) şeklinde sınıflandırılmıştır. DNA dizisi üzerindeki etkilerine göre ise genomik olarak yakın genleri etkileyen cis-acting ve uzak genleri etkileyen trans-acting şeklinde sınıflandırılmıştır (Sriyothi, Ponne, Prathama, Ashok, & Baluchamy, 2018).

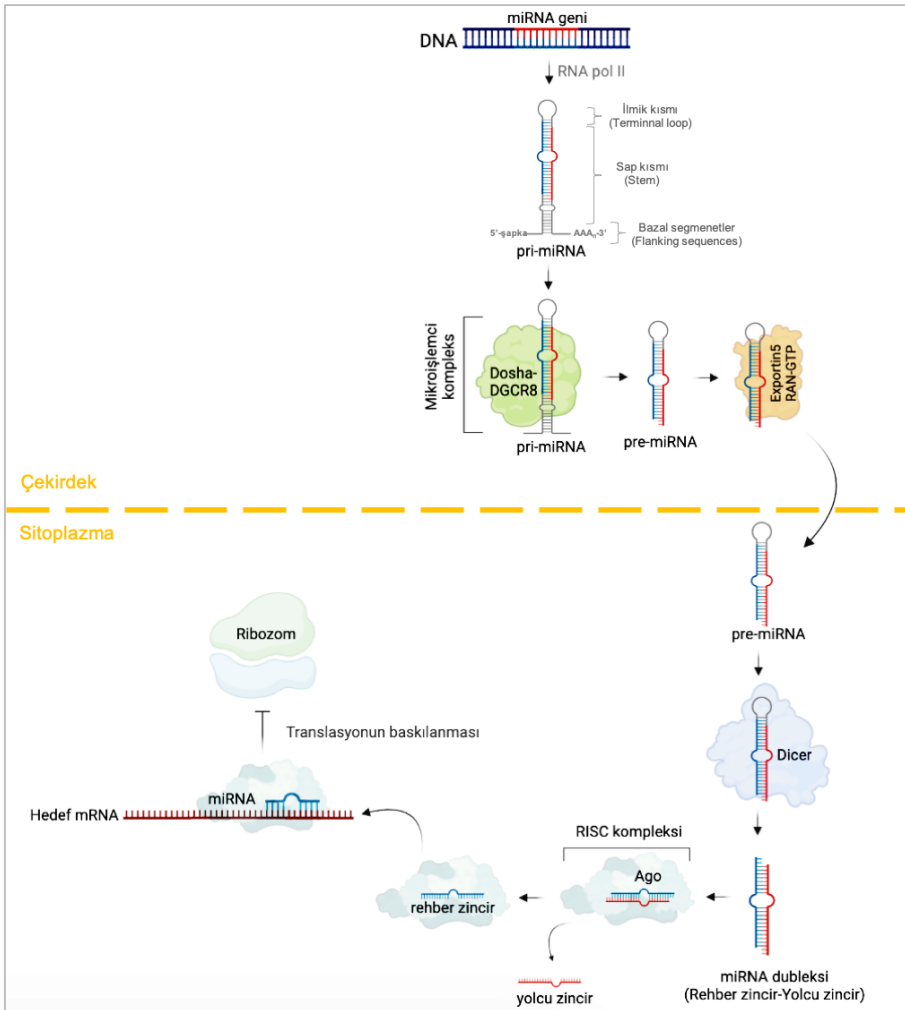
lncRNA'ların özellikleri şunlardır (Sriyothi et al., 2018):

- Protein kodlayan RNA'lara kıyasla az sayıda fakat daha uzun ekzonlara sahip olması
- Omurgalılar arasında iyi korunmuş promotör bölgelere sahip olması
- Benzersiz promotörlerinin, DNA bağlayıcı motiflerinin ve tercih edilen transkripsiyon faktörlerinin olması
- Türler arasında daha az korunmuş ekzonlara sahip olması
- Dokuya özgü ifade profillerinin olması

Biyogenezi

miRNA'lar, bağımsız veya kümelenmiş transkripsiyonel birimler olarak genom içinde çeşitli yerlerden kopyalanır. Yaygın olarak miRNA'lar, önce DNA'dan birincil miRNA'lara (primary miRNA, pri-miRNA) transkribe edilir, ardından öncü miRNA'lara (precursor-miRNA, pre-miRNA) dönüştürülür ve daha sonra olgun miRNA'ları oluşturmak üzere işlenir. Bu kanonik biyogenez yolağında genomdaki miRNA genleri tipik olarak RNA polimeraz II tarafından eşleştirilmiş gövdeli karakteristik bir saç tokası (hairpin) yapısına sahip birincil transkriptlere kopyalanır (Şekil 1). Daha sonra RNaz III tipi endonükleaz olan DROSHA ve kofaktöründen (memelilerde DGCR8 ve sineklerde PASHA)

oluşan mikroişlemci kompleksi, çekirdekte pri-miRNA'ları keserek 3' çıkıntılı pre-miRNA'lar oluşturulur. Oluşan pre-miRNA'lar, Ran-GTPaz yoluyla 3' çıkıntısını tanıyan exportin 5 ile Daha sonra pre-miRNA'lar sitoplazmada başka bir RNase III endonükleaz enzimi olan DICER ve onun RNA-bağlayıcı proteini TRBP tarafından işlenir (loop yapısı uzaklaştırılır). Oluşan miRNA dubleks, Argonaute (AGO) proteinine yüklenerek miRISC kompleksi oluşur. Ardından miRNA dubleksindeki rehber (guide) zincir tutulurken yolcu (passenger) zincir uzaklaştırılır. Daha sonra AGO ve ilişkili faktörler ile kompleks halindeki miRNA (miRISC), hedef mRNA'nın nükleotitleri ile baz eşleşmesi yaparak işlev görür (O'Brien, Hayder, Zayed, & Peng, 2018; Yang et al., 2016).



Şekil 1. miRNA Biyogenez

Kanonik olmayan biyogenez yollarında ise başta Drosha, Dicer, exportin 5 ve AGO olmak üzere kanonik yoldaki proteinlerin farklı kombinasyonlarından faydalanarak üretim gerçekleşir. Drosha/DGCR8-bağımsız yol tarafından üretilen pre-miRNA'lara örnek olarak, sprints sırasında mRNA'nın intronlarından üretilen mirtronlar ve 7-metilguanosa (m7G) eklenmiş pre-miRNA verilebilir. Bu yolla pre-miRNA'lar, Drosha kesimi olmaksızın sitoplazmaya aktarılırlar (Yang et al., 2016). Endojen kısa hairpin RNA (shRNA, short hairpin RNA) transkriptleri Drosha ile işlenerek Dicer'dan bağımsız miRNA'lar oluşturulur. Bu pre-miRNA'lar, sitoplazma içinde Dicer olmadan direk AGO2 ile olgunlaşmasını tamamlar (Harwig, Kruize, Yang, Restle, & Berkhout, 2017).

lncRNA'lar; intergenik bölgelerden, promotör bölgelerinden, gen intronlarından, mRNA'ların karşıt zincirlerinden veya Psödogenlerden transkribe edilebilir. lncRNA'lar, kodlanan genler gibi RNA polimeraz II ile transkribe edilir. Daha sonra 5' şapka ekleme, alternatif sprints, RNA düzenlenmesi ve poliadenilasyon dahil olmak üzere posttranskripsiyonel modifikasyonlar geçirir. Ancak, kodlayıcı RNA'ların aksine sitoplazmik lncRNA'lar genellikle proteinleri kodlamaz (Wu & Yang, 2015). Bazı lncRNA'lar, endonükleolitik kesim ve transkript stabilitesi için gerekli olan poliadenilasyon yerine bozulmalarını önleyen 3' uçlarında üçlü helikal yapıya sahiptir. Ayrıca daireselleşme yaparak alternatif bir stabilizasyon mekanizması gerçekleştiren lncRNA'lar da vardır (Yang et al., 2016).

Fonksiyonları

Küçük kodlanmayan RNA'ların en önemli işlevleri gen susturulmasında rol oynamalarıdır. miRNA'lar, hedef mRNA'lardaki tamamlayıcı olan sekanslara baz eşleşmeleri yaparak post-transkripsiyonel seviyelerde gen ekspresyonunu düzenlenirler. Hedef mRNA'daki eşleşmeye bağlı olarak ya hedef mRNA'ların 3' UTR bölgelerine bağlanarak transkripsiyonel baskılamaya yapar ya da hedef mRNA'yı bozarak gen ekspresyonunun azaltılmasına neden olur. Ayrıca miRNA'ların 5' UTR, gen promotörleri ve kodlama sekansı gibi diğer genomik bölgelerle de etkileşim yaptığı bildirilmiştir (O'Brien et al., 2018; Wu & Yang, 2015).

Canlıların normal gelişiminde önemli olan miRNA'lar çeşitli biyolojik süreçlerde yer aldığı için ekspresyonlarında meydana gelen anormallikler, birçok insan hastalıkları ile ilişkilendirilmiştir (Alsharafi, Luo, Long, Xie, & Xiao, 2017). Ayrıca, hücre dışı sıvılara salınabilen miRNA'ların çeşitli hastalıklar için potansiyel biyo-belirteçler olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda hücre-hücre iletişimine aracılık etmek için sinyalleme molekülleri olarak da hizmet etmektedir (O'Brien et al., 2018).

ncRNA'ların tamamlayıcı dizileri ile hedefleri tanıma kabiliyetleri sayesinde sprints, düzenleme, taşıma, translyasyon ve degradasyon dahil olmak üzere mRNA'ların transkripsiyon sonrası işlemindeki çeşitli aşamaların düzenlenmesi için spesifik etkileşimler yaparlar (Mercer, Dinger, & Mattick, 2009).

Uzun kodlamayan RNA'lar farklı biyolojik süreçlerin düzenlenmesinde rol oynamaktadır. Çoğu uzun lncRNA'ların ekspresyonu, belirli gelişim aşamalarıyla sınırlıdır ve doku spesifik ekspresyona sahiptir. LncRNA'lar, transkripsiyonel aktivatörlerle etkileşime girerek hedef gen aktivasyonuna neden olabildiği gibi represörlerle etkileşime girerek hedef genin baskılanmasına da neden olabilir. Gen arttırıcılardan (eRNA'lar) kopyalanan lncRNA'lar, soy-spesifik kompleksleri hedef bölgeye çekerek sinyalleşmeyi düzenleyebilir. Kromatin yeniden şekilleme komplekslerini hedef bölgeye çekerek iskele (scaffold) proteinleri olarak görev yapabilir. Ayrıca ya sprints faktörleriyle etkileşime girerek ya da pre-mRNA'nın sprints bağlantılarını bağlayarak RNA'ların sprints işlemini düzenleyebilir. LncRNA'lar, miRNA'lar için bağlanma bölgeleri barındırarak ve onları mRNA hedeflerinden uzaklaştırarak moleküler süngerler olarak işlev görebilir (Malik & Feng, 2016; Santosh et al., 2015). LncRNA'lar ayrıca mRNA bozulmasının, protein stabilitesinin ve translyasyonun düzenlenmesinde de rol oynayabilir (Wu & Yang, 2015).

LncRNA'ların görev aldığı biyolojik süreçler şunlardır:

- Epigenetik modifikasyonlar
- Küçük RNA öncüsü
- Yapısal organizasyon modifikasyonları
- Alternatif splayz modülasyonu/düzenlenmesi
- Translyasyonel değişiklikler
- Transkripsiyonel interferans işlemi
- İkincil/Endo-siRNA üretimi
- Telomer bakımı
- Baskılama (İmprinting) işlemi
- Hücre farklılaşması ve gelişimi

Sirküler RNA'lar (Circular RNAs, CircRNA'lar), gen ekspresyonunu transkripsiyon ve translyasyon seviyelerinde düzenleyebilir. İlk tanımlanan fonksiyonu, circRNA'ların hedef mRNA'nın transkripsiyonunu dolaylı olarak düzenlediği miRNA süngeri olarak iş görmesidir. miRNA süngeri olarak hizmet etmekten başka, ayrıca circRNA'lar; RNA-bağlama proteinlerini engeller veya RNA ile baz çiftleri de oluşturabilir. Bazı circRNA'lar, transkripsiyon bölgesine biriktirilir ve RNA Pol II ile bağlanır ve böylece RNA Pol II transkripsiyonunun pozitif bir regülatörü olarak görev yapar. İlginç bir şekilde, bu transkripsiyon

bölgelerinin yanı sıra, circRNA'lar diğer hedef genler için trans düzenleyici bir etki de yapabilir (Wu & Yang, 2015).

LncRNA aracılı transkripsiyonel düzenlemede farklı etkileşim mekanizmaları bildirilmiştir (Bhat et al., 2016):

- Kromatin değiştirici enzimler ile etkileşimi ve hedef gen lokusuna alınması (Guide): LncRNA'lar, histon metilazlar, asetilazlar ve deasetilazlar gibi kromatin değiştirici enzimler ile etkileşime girerek bunların hedef gen lokusuna alınmasını sağlayabilir. Sonuçta hedef genler ya aktive olur ya da baskılanır.
- RNA-protein kompleksleri oluşturmak için diğer RNA bağlayıcı faktörlerle etkileşim (Scaffold): LncRNA'lar, RNA-protein kompleksleri oluşturmak için diğer RNA bağlayıcı faktörlerle etkileşime girebilir. Böylece hedef proteinlerin promotörlerinde ilgili proteinleri tutarak transkripsiyonu destekleyebilir veya mevcut gen represörlerine bağlanarak gen transkripsiyonunu baskılayabilir.
- LncRNA'ların transkripsiyon faktörlerini, hedef gen bölgesine çekmesi (Signal): LncRNA'lar, transkripsiyonu desteklemek için ilgili proteinleri hedef gen lokusuna çekebilir.
- LncRNA'ların transkripsiyon faktörü için tuzak olarak davranması ve genlerin baskılanması. (Decoy): LncRNA'lar, transkripsiyon faktörü için bir tuzak gibi davranarak bazı pro-apoptotik genlerin baskılanmasında rol oynarlar.

LncRNA'ların kromozomların boyutsal konformasyonuna etki ederek veya pre-mRNA splayzını etkileyerek gen ekspresyonunu düzenleyebildiği bildirilmiştir. Ayrıca sitoplazmik lncRNA'ların mRNA stabilitesini ve mRNA translasyonunu düzenleyerek veya mikroRNA bağlanması için rekabet ederek de gen ekspresyonunu düzenleyebildiği belirtilmiştir (Morlando, Ballarino, & Fatica, 2015).

SONUÇ

Uzun yıllar boyunca genomun sadece protein kodlayan kısmına ait özelliklere ve biyolojik fonksiyonlarına odaklanılmış ve genomun geriye kalan kısmı ise hurda (junk) DNA olarak kabul edilmişti. Öte yandan RNA'nın sadece DNA'da kodlanan genler ile proteinler arasında bir haberci olduğu varsayılmıştı. Ancak işlevsel RNA'ların keşfedilmesiyle birlikte bu görüşler değişmiş ve düzenleyici RNA'lar alanı oluşmuştur. Kodlamayan RNA çeşitleri bazı gelişimsel aşamalarda, belirli dokularda veya hastalık durumlarında çok spesifik ekspresyonları ile karakterize edilmekte ve birçok biyolojik işlemin ana düzenleyicisi olarak tanımlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Alsharafi, W. A., Luo, Z., Long, X., Xie, Y., & Xiao, B. (2017). MicroRNA in glutamate receptor-dependent neurological diseases. *Clinical Science*, 131(14), 1591–1604. <https://doi.org/10.1042/CS20170964>
- Bhat, S. A., Ahmad, S. M., Mumtaz, P. T., Malik, A. A., Dar, M. A., Urwat, U., ... Ganai, N. A. (2016). Long non-coding RNAs: Mechanism of action and functional utility. *Non-Coding RNA Research*, 1(1), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.ncrna.2016.11.002>
- Harwig, A., Kruize, Z., Yang, Z., Restle, T., & Berkhout, B. (2017). Analysis of AgoRNA maturation and loading into Ago2. *PLOS ONE*, 12(8), e0183269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183269>
- Hermans-Beijnsberger, S., van Bilsen, M., & Schroen, B. (2018). Long non-coding RNAs in the failing heart and vasculature. *Non-Coding RNA Research*, 3(3), 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.ncrna.2018.04.002>
- Jarroux, J., Morillon, A., & Pinskaya, M. (2017). History, Discovery, and Classification of lncRNAs. In M. R. S. Rao (Ed.), *Long Non Coding RNA Biology* (Vol. 1008, pp. 1–46). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5203-3_1
- Malik, B., & Feng, F. (2016). Long noncoding RNAs in prostate cancer: overview and clinical implications. *Asian Journal of Andrology*, 18(4), 568. <https://doi.org/10.4103/1008-682X.177123>
- Mattick, J. S., & Makunin, I. v. (2006). Non-coding RNA. *Human Molecular Genetics*, 15(suppl_1), R17–R29. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddl046>
- Mercer, T. R., Dinger, M. E., & Mattick, J. S. (2009). Long non-coding RNAs: insights into functions. *Nature Reviews Genetics*, 10(3), 155–159. <https://doi.org/10.1038/nrg2521>
- Morlando, M., Ballarino, M., & Fatica, A. (2015). Long Non-Coding RNAs: New Players in Hematopoiesis and Leukemia. *Frontiers in Medicine*, 2. <https://doi.org/10.3389/fmed.2015.00023>
- O'Brien, J., Hayder, H., Zayed, Y., & Peng, C. (2018). Overview of MicroRNA Biogenesis, Mechanisms of Actions, and Circulation. *Frontiers in Endocrinology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00402>
- Redis, R. S., & Calin, G. A. (2014). Beyond miRNAs: Role of Other Noncoding RNAs in Cancer. In *Non-coding RNAs and Cancer* (pp. 247–264). New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8444-8_10
- Santosh, B., Varshney, A., & Yadava, P. K. (2015). Non-coding RNAs: biological functions and applications. *Cell Biochemistry and Function*, 33(1), 14–22. <https://doi.org/10.1002/cbf.3079>

- Sriyothi, L., Ponne, S., Prathama, T., Ashok, C., & Baluchamy, S. (2018). Roles of Non-Coding RNAs in Transcriptional Regulation. In *Transcriptional and Post-transcriptional Regulation*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76125>
- Wu, N., & Yang, B. B. (2015). The Biological Functions of Non-coding RNAs: From a Line to a Circle. *Discoveries*, 3(3), e48. <https://doi.org/10.15190/d.2015.40>
- Yang, J. X., Rastetter, R. H., & Wilhelm, D. (2016). Non-coding RNAs: An Introduction. In D. Wilhelm & P. Bernard (Eds.), *Non-coding RNA and the Reproductive System* (Vol. 886, pp. 13–32). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7417-8_2

Chapter 3

On the Markovian Structure of Earthquakes Occurring in Türkiye

Salih ÇELEBİOĞLU^{1*}
Merve TÜZER²

¹ Eskişehir Osmangazi University, Department of Statistics, Faculty of Science, Eskişehir, Türkiye, celebicik@yahoo.com

* Corresponding Author

² Eskişehir Osmangazi University, Department of Statistics, Faculty of Science, Eskişehir, Türkiye, mervetuzer123@gmail.com

Abstract

In this study, the earthquakes with a magnitude of 3 and above that occurred in and around Türkiye, between 35-42 North latitudes and 26-45 East longitudes, in the years 1900-2021, were discussed. First of all, the Markovian structure of earthquakes with a magnitude of 3 and above in the four regions given in Ünal and Çelebioğlu (2011) that are formed by considering the seismic zones map of Türkiye, and then the aforementioned earthquakes in the subregions of these four regions were examined. By making use of the discrete parameter Markov chains, it is tried to give the Markovian structure of earthquakes occurring in Türkiye by the mean recurrence frequencies between the earthquakes of magnitude from 6 or higher to less in the studied regions and subregions, and some observed asymptotic results and interpretations.

Keywords: Earthquakes, Türkiye, Markov chain, Markovian structure.

Türkiye'de Meydana Gelen Depremlerin Markoviyen Yapısı Üzerine Öz

Bu çalışmada, 1900-2021 yılları arasında 35-42 Kuzey enlemleri ve 26-45 Doğu boylamları arasında kalan, şiddeti 3 ve üzeri olan, Türkiye ve civarındaki depremler ele alınmıştır. Önce Türkiye'nin sismik zonları haritası göz önüne alınarak Ünal-Çelebioğlu (2011)'da oluşturulmuş olan dört bölgedeki magnitüdü 3 ve üzeri olan depremlerin, daha sonra da bu dört bölgenin alt bölgelerindeki söz konusu depremlerin Markoviyen yapısı incelenmiştir. Markoviyen yapıdan yararlanarak, ele alınan bölge ve alt bölgelerde özellikle magnitüdü 6 ve üzeri olan depremlerin zaman bakımından öncesinde ve sonrasında ortaya çıkan depremler üzerine gözlenen bazı asimptotik sonuçlarla deprem magnitüdüleri bakımından ortalama tekrarlanma sıklıkları yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Depremler, Türkiye, Markov zinciri, Markoviyen yapı.

1. Introduction

Türkiye is located in the Mediterranean-Alpine-Himalayan seismic belt, which is one of the most active seismic belts of the world. Earthquakes are the most effective natural disasters in Türkiye. 92% of Türkiye's land is located in the earthquake zone. 95% of the population lives under the risk of earthquakes. Our country Türkiye, which is in an earthquake geography, ranks third in the world in terms of human death in earthquakes and eighth in terms of the number of people affected by earthquakes. Earthquakes are in the first place of natural disasters with 61% in terms of their effects in Türkiye, and they make a big difference proportionally to other disaster types (Aslangiri, 2019, p. 3 and see the references given there). According to another two sources, there were 252 earthquakes in the disaster category in Türkiye between the years 1970 - 2012 (Genç, 2007), (Özşahin, 2013). For the criteria regarding natural disasters, see (Özşahin, 2013, p.2). Considering that in the earthquakes that have occurred in Türkiye for the last 70 years, an average of 1000 people lost their lives, 2100 people were injured and 7000 buildings were damaged in every year, the importance of pre-earthquake precautions becomes evident (Genç, 2007, p. 204 and the references given there). For the detailed information on deaths and damages caused by earthquakes in Türkiye between the years 1900 – 2014, see (Bikce, 2016).

In these days when the biggest earthquake of the last century and an earthquake with a magnitude of more than 7 in 9 hours were experienced in our country, we deeply feel the catastrophic pain of earthquakes. Especially after the 1999 Marmara earthquake, the number of studies on earthquakes increased in Türkiye. Although the earthquake studies related to Türkiye are very diverse, the geological studies are dominant in this area. Sociological and psychological studies examining the effects of the earthquake on society and human mental health are among these studies. In this sense, see (Kasapoğlu and Ecevit, 2004) for some types of studies.

As in other fields, there are statistical estimation, examination and evaluation studies with various techniques on both past earthquakes (Rockwell et al., 2009) and future earthquakes, including the historical aspect. The diversity in these studies stems from their approaches to earthquake generation. Despite more than a century of research on earthquakes in the modern era, the earthquake prediction research is plagued by controversy, and remains an outstanding problem. (Votsi; 2013). There are many studies on earthquakes occurring in Türkiye as well. As an example, in (Gürten, 2000) the earthquake data with a magnitude of ≥ 4 that occurred in the Marmara Region between 1900 - 2000 were analyzed statistically by magnitude, depth, time of occurrence, frequency of occurrence according to

magnitudes, and the probability density function of earthquakes according to magnitude is found. Also, see (Kasap and Gürlen, 2003) for the recurrence times of earthquakes in the Marmara Region according to magnitude. Some other studies on earthquakes in Türkiye will be mentioned in the relevant sections.

In this study, earthquakes with an magnitude of 3 and above between 35 – 42 North latitudes and 26 – 45 East longitudes, in Türkiye and its vicinity, in the years 1900 – 2021, were discussed. In the study, the Markovian structure was examined in terms of the occurrence times of earthquakes with a magnitude of 3 and above, first in four regions which were created by taking into account the seismic zones map of Türkiye, and then in their subregions. By making use of the Markovian structure, the average recurrence frequencies of earthquakes with a magnitude of 6 or greater, as well as low-magnitude earthquakes of up to 4 – 5 magnitudes, and some asymptotic results have been interpreted in the regions and their subregions.

1.1 Main Earthquakes, Aftershocks and Foreshocks

The earthquake with the largest magnitude in an earthquake group is called the *main shock*, the earthquakes having smaller magnitude than the main shock and occur before the main shock are called *foreshocks*, and the earthquakes that occur after the main shock are called *aftershocks* for a prespecified time of main shock. Aftershocks can also be thought of as the earthquakes triggered either on the main shock fault or at a certain distance from the main shock fault. Aftershocks are very important in seismicity studies and hazard assessments. Before a major earthquake (main shock), seismic quiescence, gap and foreshocks may occur. The classification of earthquakes as foreshocks, aftershocks and main shocks requires the explanation of the mechanism related to each earthquake type. By applying different distribution algorithms, the differences between the statistical and physical properties of the main shock, aftershocks and foreshocks can be revealed. Virtually, foreshocks tend to be less numerous than aftershocks (Öztürk, 2009). After this study, Öztürk made the regional and temporal analyzes of various regions of Türkiye or fault lines (Öztürk, 2011; Öztürk, 2014; Öztürk, 2017; Öztürk, 2019).

In the earthquake catalog development studies, the determination of aftershocks and foreshocks gains importance (Kadirioğlu et al., 2018). However, determining the types of earthquakes is not a must in the study of earthquakes. Intensities of earthquakes have a special importance in the sequential ordering of earthquakes over time. In this study, the earthquakes in the regions and their subregions are discussed in this sense, that is, in terms of their magnitudes, and

the subregions are compared in terms of their similarities and differences within the region they are located and the other subregions.

1.2 Time Dependence and Time Independence in Earthquakes

Time-dependent models of earthquake occurrence are based on the assumption that the probability of an earthquake occurrence in a given period depends on the time elapsed since the last event and these models include distributions that provide a time-dependent hazard rate (Votsi, 2012, p.6). In brief, Votsi classifies earthquake occurrence models as stress release models, renewal models, stress-based models, Markov and Semi-Markov models, Markov and hidden Semi-Markov models, taking into account the time-dependent or non-existent earthquake occurrences. This classification is very similar to that in (Anagnos and Kiremidjian, 1988). For another reference, one can refer to (Schaefer, 2014), who also mentions about several national and international projects where prediction methods have been developed and tested for earthquake occurrence models and classification.

In their article published in 1988, Anagnos and Kiremidjian emphasize that time-dependent models have not yet been tested for their sensitivity to data variability and are generally limited to large, infrequent earthquakes (p.9), although the results from some recent studies are also quite noteworthy. One of these results (Marzocchi and Taroni, 2014, p.1838) states that the probability of exceedance and ground motion parameters should be less than 10% in a time interval of 50 years indicated by π and ϵ_t respectively, which are used in many Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) applications. In this case, it is said that the model can be assumed to be independent of time. (Udias and Rice, 1975, p.825) states that the dependence on longer time can be explained by the slow changes of the time characteristics of the process, which is not significant in the year-by-year analysis, in which the short time dependence is dominant. Another study used the spherical correlogram instead of the exponential correlogram to estimate time-dependent seismic hazard and compare the results with time-independent seismic hazard, and the probabilities of earthquake occurrence in the next 30 years were estimated by analyzing every possible rupture in the fault model sections (Ceferino et al., 2020). In addition, in this study, the ratio of estimated time-dependent probabilities to the probabilities obtained from time-independent analysis is used, and it is emphasized that time-dependent analysis should be given importance when this ratio reaches a significant level. In (Ceferino et al., 2020), the probabilistic earthquake rupture formation models, which were initially based on the experimental observations or the theories of earthquake rupture interactions on the seismic faults, are divided into classes as

the time-independent, time-interaction, time and magnitude interaction, space and time interaction models.

1.3 Regional Dependence

In the earthquake prediction studies, it is particularly interesting to examine the sensitivity of the models in determining the regional division, and in the slight perturbation of earthquake magnitudes. For providing more accurate forecasting results one more way is the inclusion of uniquely defined tectonic features (Votsi, 2013, p.134). Regional dependence in earthquakes is mostly discussed with the concept of ground motion dependence.

Regional hazard analyzes are considered when there is more than one fault line in the region or, equivalently, when there is a complex seismic structure in the region. In such cases, taking into account the earthquakes that have occurred in the past, it is tried to analyze how an earthquake that will occur on one fault can affect other faults by considering the interaction of the faults in pairs or the whole region. As examples of studies of this sense, see (Ceferino et al., 2020), (Votsi, 2013) and (Yolsal-Çevikbilen et al., 2014).

In (Ceferino et al., 2020) the seismic hazard associated with the rupture occurrence of large earthquakes at the interface of the subduction zone (i.e., in the interplate zone) along the Peru-Lima Coast is analyzed. (Votsi, 2013) has applied discrete hidden Markov models (HMMs) and hidden Semi-Markov models (HSMMs) as well as continuous Semi-Markov models in seismic hazard assessment in the North Aegean Sea. In (Yolsal-Çevikbilen et al., 2014), the source characteristics of the earthquakes and seismotectonic structures are investigated by analyzing focal mechanism solutions and finite-fault slip distributions. This study was applied to the vicinity of three gulfs and Simav graben in the Aegean region.

1.4 Data

In this study, we used the earthquake data of magnitude $M \geq 3$ in our country, which lies between the latitudes 36°N and 42°N and the longitudes 26°E and 45°E . The data for the period of 1900 - August 31, 2021 were obtained from Boğaziçi University Kandilli Observatory Earthquake Research Institute (KOERI) Regional Earthquake-Tsunami National Earthquake Monitoring Center (RETMTC).

In the data obtained from the Kandilli Observatory, earthquakes are given in six different magnitudes as xM , MD, ML, Mw, Ms and Mb, and xM is taken as the largest of the other five magnitudes. In addition, uncalculated quantities are recorded as 0.0 (zero). In the study, ML values were taken from the earthquake

magnitude values. Instead of ML values of 0.0 in the observatory records, the corresponding xM values were taken by the recommendation of Dr. Doğan Kalafat who is a member of Kandilli Observatory Earthquake Research Institute.

2. Materials and Methods

2.2 Markovian Dependence

The theory of Markovian processes comprises of the largest and most important types in the theory of stochastic processes; this importance increases with the many applications it finds in both physical, biological and social sciences as well as engineering and commerce (Çınlar, 1975, p.106). In fact, Markov chain has been widely used in machine learning in recent years. In machine learning, for example, link prediction problem is a long-standing challenge in modern information science, and a lot of algorithms have been proposed based on Markov chains and machine learning processes by computer science community (Lü et al., 2009; see the references given there).

Markov chains have a wide variety of applications in earthquake studies. In these applications, there are processes showing various Markovian dependency properties such as Markov renewal processes, Bayesian Markov processes, hidden Markov models, semi-Markov processes, i.e. from discrete parameter Markov chains to continuous parameter Markov chains.

In some applications, which we will give as examples in our country and abroad, the earthquakes in the northern and western regions of our country with the semi-Markov model and the conditional copula approach in (Ünal-Karaçam, 2019), the discrete Markov chain approach among the magnitudes of earthquakes occurring in Türkiye in (Yalçın, 2017), and the seismicity among four regions in Türkiye in (Ünal and Çelebioğlu, 2011), and the seismicity in Türkiye among the three neotectonic regions in (Özel and Solmaz, 2012), the earthquakes around Bilecik were handled with the hidden Markov model in (Can et al., 2014), the discrete Markov chain approach among the subregions of earthquakes within the Marmara region in (Karaca, 2012), the semi-Markov model approach in western Anatolia in (Altınok, 1991), a semi-Markov model approach in North Anatolia in (Altınok and Kolçak, 1999) and a semi-Markov model approach in North Anatolian fault zone in (Altınok, 1988), a discrete Markov chain approach among four different regions in China in (Li, 2016) and as an abroad study, a discrete Markov chain approach among three classes of earthquakes that occurred in the Southwest of China in (Li and Çelebioğlu, 2016).

3. Findings and Discussion

As in Markov renewal processes, the order of occurrence of events in time in semi-Markov processes creates a Markov chain, and the waiting distributions of the time elapsed between events depend only on the types of the last and subsequent event (Alvarez, 2005). In this study, the Markovian structure of earthquakes with a magnitude of 3 and above in Türkiye, which we have divided into four regions, is discussed, and then the Markovian structure of the earthquakes in the subregions of these four regions is examined. Then, the average frequencies of recurrence in terms of earthquake magnitudes was interpreted with some results observed on the earthquakes that occurred before and after the earthquakes, especially those with a magnitude of 6 or greater, in the subregions of these four regions.

In this application, the earthquakes occurring in Türkiye are divided into four categories in terms of their magnitude (X), $3 \leq X < 4$, $4 \leq X < 5$, $5 \leq X < 6$ and $6 \leq X$, and these categories constitute the states 1,2,3 and 4 of the Markov chain, respectively.

In the analysis, firstly, four regions elaborated using the Earthquake Zones Map of Türkiye published by the Ministry of Public Works and Settlement as in 1996 (Ünal and Çelebioğlu, 2011) and then their subregions were used. The reason for dividing Türkiye into regions is to estimate the probabilistic dependence of the earthquakes in terms of the different fault structures in the regions and their magnitudes over time, and to reveal the similarities and differences of the regions and subregions in this sense.

The coordinates of the regions are limited as follows:

Region 1: $39.5 - 42^\circ$ North latitudes, $26 - 45^\circ$ East longitudes;

Region 2: $36 - 39.5^\circ$ North latitudes, $26 - 31^\circ$ East longitudes;

Region 3: $36 - 39.5^\circ$ North latitudes, $36 - 45^\circ$ East longitudes, and

Region 4: $36 - 39.5^\circ$ North latitudes, $31 - 36^\circ$ East longitudes.

The subregions are elaborated as follows:

Region 1 is divided into four subregions with East longitudes $31, 36$ and 41° ;

Region 2 and Region 4 are divided into two subregion each with North latitude 38° ;

The 3rd Region is also divided into two subregions with East longitude 41° which is parallel

to the 1st Region (see Fig. 1 on the next page).

The reason for dividing the regions into subregions is that earthquakes can be seen independently of each other in terms of their occurrence in large regions, that is, they do not affect each other, but if there is, it is possible to estimate

probabilistically their dependence with each other in terms of magnitudes over time in subregions as well as in regions.

3.1 Analysis of Regions

First, let's take a look at the joint distribution of regions-magnitudes for earthquakes given in Table 1 to observe the general character of earthquakes in Türkiye. According to the information in Table 1, we see that 28 (approximately 40%) of earthquakes with magnitude $6 \leq X$ were in the 1st Region, 24 (34,3%) in the 2nd Region (Aegean region), 6 (8,57%) in the 3rd Region and 5 (7,14%) of them occur in the 4th Region. In addition, we observe that approximately half of all earthquakes (49,89%) are also in the Aegean region, 22,89% are in the 1st Region, 19,95% are in the 3rd Region (East, Southeast Anatolia regions) and the least (7,27%) of them occur in the 4th Region. That is, the regions follow the order of 1,2,3 and 4 proportionally from the largest to the smallest, in the earthquakes of $6 \leq X$ magnitude.

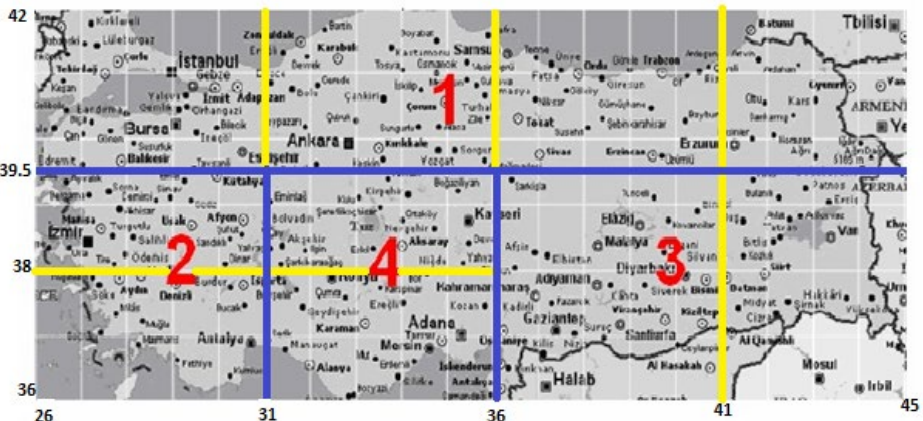


Figure 1. Regions and subregions under study. The blue lines indicate the boundaries of regions and the yellow lines of subregions.

Table 1. Region-Magnitude distribution of earthquakes occurring in Türkiye.

REGION	M A G N I T U D E									
	$3 \leq X < 4$		$4 \leq X < 5$		$5 \leq X < 6$		$6 \leq X$		Total	
	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%
1	10.899	20,232	1.202	2,231	204	0,379	28	0,052	12.333	22,894
2	24.437	45,364	2.156	4,002	258	0,479	24	0,045	26.875	49,890
3	9.429	17,504	1.152	2,139	151	0,280	12	0,022	10.744	19,945
4	3.568	6,623	304	0,564	39	0,072	6	0,011	3.917	7,271
Total	48.333	89,723	4.814	8,936	652	1,210	70	0,130	53.869	100,00

The transition frequency matrix between states of the 1st region, called as North Anatolian Fault Zone in the earthquake literature, with North latitudes 39.5 – 42 and East longitudes 26 – 45, obtained from the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute data is determined as

$$F_1 = \begin{bmatrix} 10.153 & 670 & 58 & 5 \\ 677 & 423 & 83 & 17 \\ 55 & 94 & 50 & 5 \\ 0 & 14 & 13 & 1 \end{bmatrix},$$

and then the transition matrix is estimated by the Least Squares Method by dividing the frequencies of F_1 to the row sums as

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0,93266 & 0,06155 & 0,00533 & 0,00046 \\ 0,56417 & 0,35250 & 0,06917 & 0,01416 \\ 0,26961 & 0,46078 & 0,24510 & 0,02451 \\ 0,00000 & 0,50000 & 0,46429 & 0,03571 \end{bmatrix}.$$

By using the *QSB* package program, the limit distribution of this transition matrix was obtained as (0,8836; 0,0975; 0,0166; 0,0023). From this distribution, we can deduce that it can be encountered the earthquakes with magnitude of 3 – 4 in approximately 88,4% of the time, with magnitude of 4 – 5 in 9,8% of the time, with magnitude of 5 – 6 in 1,7% of the time, and with magnitude 6 or greater in 2,3‰ of the time.

Utilizing this limit distribution, it can be calculated that the mean first recurrence periods (frequencies of earthquakes) from each state to itself respectively as $1 \rightarrow 1: 1,13$; $2 \rightarrow 2: 10,26$; $3 \rightarrow 3: 60,24$; $4 \rightarrow 4: 434,78$ to occur. In other words, it is expected that an average of 1,13 earthquake of magnitude 3 – 4 occurs again after an earthquake of magnitude 3 – 4, and an average 10,26 earthquakes of magnitude 4 – 5 occur again after an earthquake of magnitude 4 – 5, and an average of 60,24 earthquakes of magnitude 5 – 6 occur again after an earthquake of magnitude 5 – 6, and finally after an average of 434,78 earthquakes of magnitude 6 or greater, that is, approximately 435 earthquakes are expected to occur again after an earthquake of magnitude $6 \leq X$.

Using the limit distribution, it is also obtained the average number of entries to state k between two entries to state j via the ratio π_k/π_j . In short, it can be estimated how many earthquakes in k magnitude will be expected between two earthquakes of magnitude j . In this way, it is expected to be an average of 9,06

or approximately 9 earthquakes of magnitude 3 – 4 occur between two earthquakes of magnitude 4 – 5, according to the ratio $\pi_1/\pi_2 = 9,06$; and an average of 53,23 or approximately 53 earthquakes of magnitude 3 – 4 occur between two earthquakes of magnitude 5 – 6, according to the ratio $\pi_1/\pi_3 = 53,23$; and similarly an average of 384,17 or approximately 384 earthquakes of magnitude 3 – 4 occurs between two earthquakes of magnitude 6 or greater, according to the ratio $\pi_1/\pi_4 = 384,17$. The same estimations and calculations were made for the 2nd, 3rd and 4th Regions and the aggregated results are given in Table 16.

Table 2. Transition frequency matrices between states for four regions*

$$F_1 = \begin{bmatrix} 10.153 & 670 & 58 & 5 \\ 677 & 423 & 83 & 17 \\ 55 & 94 & 50 & 5 \\ 0 & 14 & 13 & 1 \end{bmatrix} \quad F_2 = \begin{bmatrix} 22.937 & 1.371 & 98 & 5 \\ 1.383 & 650 & 105 & 16 \\ 87 & 120 & 48 & 2 \\ 3 & 14 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} 8.687 & 665 & 59 & 6 \\ 661 & 416 & 65 & 5 \\ 62 & 64 & 24 & 1 \\ 3 & 6 & 3 & 0 \end{bmatrix} \quad F_4 = \begin{bmatrix} 3.366 & 188 & 11 & 2 \\ 189 & 98 & 14 & 3 \\ 12 & 14 & 12 & 1 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

* F_i shows the transition frequency matrix between states of the Region i .

Table 3 shows the transition matrices calculated by the Least Squares method for each of the four regions, and the limit distributions and mean recurrence times obtained from the *QSB* package program. Similar analyzes were made for all subregions using the same package program.

The quantities in this table can naturally be interpreted as similar to the quantities given for Region 1 above. Further more detailed comments can be given by comparing the probabilities in the transition matrices individually, as follows.

Table 3. Transition matrices, limit distributions and mean recurrence times for the four regions.

Transition Matrices

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0,93266 & 0,06155 & 0,00533 & 0,00046 \\ 0,56417 & 0,35250 & 0,06917 & 0,01416 \\ 0,26961 & 0,46078 & 0,24510 & 0,02451 \\ 0,00000 & 0,50000 & 0,46429 & 0,03571 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 0,93962 & 0,05616 & 0,00401 & 0,00021 \\ 0,64206 & 0,30176 & 0,04875 & 0,00743 \\ 0,33852 & 0,46693 & 0,18677 & 0,00778 \\ 0,12500 & 0,58333 & 0,25000 & 0,04167 \end{bmatrix}$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 0,92248 & 0,07062 & 0,00626 & 0,00064 \\ 0,57629 & 0,36268 & 0,05667 & 0,00436 \\ 0,41060 & 0,42384 & 0,15894 & 0,00662 \\ 0,25000 & 0,50000 & 0,25000 & 0,00000 \end{bmatrix}$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 0,94365 & 0,05271 & 0,00308 & 0,00056 \\ 0,62171 & 0,32237 & 0,04605 & 0,00987 \\ 0,30769 & 0,35898 & 0,30769 & 0,02564 \\ 0,16667 & 0,66666 & 0,16667 & 0,00000 \end{bmatrix}$$

Limit Distributions*

$$\pi^1 = (0,8836; 0,0975; 0,0166; 0,0023)$$

$$\pi^2 = (0,9092; 0,0803; 0,0096; 0,0009)$$

$$\pi^3 = (0,8773; 0,1075; 0,0141; 0,0011)$$

$$\pi^4 = (0,9114; 0,0775; 0,0096; 0,0015)$$

Mean Recurrence Times*

$$r^1 = (1,13; 10,25; 60,33; 439,51)$$

$$r^2 = (1,10; 12,46; 104,46; 1112)$$

$$r^3 = (1,14; 9,30; 70,90; 890,13)$$

$$r^4 = (1,10; 12,91; 104,45; 657,69)$$

* QSB package program was used to obtain Limit Distributions and Mean Recurrence Times.

The probabilities of the occurrence of earthquakes of the highest (6 or greater) magnitudes after the earthquakes of the lowest (3 – 4) magnitude are all less than 1% in all regions, and increase from 2,1 up to 6,4 in ten thousand for Regions 2,1,3 and 4, respectively. The probabilities of the occurrence of earthquakes with the highest magnitude after the earthquakes of the 2nd low, that is, the earthquakes of magnitude 4 – 5 also vary between 4,36% – 1,416% in the regions and follow the order of the 3rd, 2nd, 4th and 1st Regions. Similarly, the probabilities of occurrence of the earthquakes of the highest magnitude after the earthquakes of magnitude 5 – 6 vary in the range of 6,62% – 2,564% and follow the 3rd, 2nd, 1st and 4th Regions order. While the earthquakes with the highest magnitude do not follow each other in the 3rd and 4th Regions, the probability

of their succession in the 1st and 2nd Regions is approximately 3,6% and 4,2%, respectively. In addition, another feature observed from the transition matrices after the highest magnitude earthquakes is that the earthquakes of magnitude 4 – 5 are estimated above 50% in all regions, and with a higher probability (66,7%) in Region 4.

3.2 Analysis of Subregions[§]

As in the analysis of regions, the state definitions of the Markov chain are kept the same and for the analysis of the Markovian dependence structure in the analysis of subregions, the distribution of subregions according to states, the transition frequency matrices and transition matrices between states, the limit distributions and mean recurrence times to subregions within the region were obtained for each subregion and tabulated as follows.

Table 4. Region-Magnitude distribution of earthquakes occurring in subregions of Region 1.

SUB- REGION	M A G N I T U D E									
	$3 \leq X < 4$		$4 \leq X < 5$		$5 \leq X < 6$		$6 \leq X$		Total	
	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%
1	5.553	45,026	497	4,030	75	0,608	11	0,089	6.136	49,753
2	2.550	20,676	274	2,222	48	0,389	7	0,057	2.879	23,344
3	1.903	15,430	163	1,322	33	0,268	7	0,024	2.106	17,076
4	893	7,241	268	2,173	48	0,389	3	0,011	1.212	0,227
Total	10.899	88,372	1.202	9,746	204	1,654	28	0,227	12.333	100,00

When the subregions of the 1st Region are examined carefully, it is observed that the 1st subregion (Marmara Region) is in the forefront in terms of all magnitude classes (states), and almost half of the

earthquakes that occur in the 1st Region occur in this subregion. The number of earthquakes with the highest magnitude (6 or greater magnitude) decreases from the west to east of the region.

Similar to the observations in the Region 1, we can make various interpretations by making comparisons within and between the subregions. Except for the 3rd subregion of the Region 1, it is seen that only 1 earthquake of magnitude 6 or larger occurs in the three subregions after the 3 – 4 magnitude

[§] Although it is logically thought that the sum of the transition frequencies in the subregions should give the corresponding frequency in the region, there is a variation in the frequencies. To give an example, the earthquakes with the highest magnitude in the data obtained from the Kandilli Observatory are not counted in the transitions between states if they are in the first rank (in the record), and are counted in the transitions if they are in the last rank. A second reason is that the width of the examined region naturally affects the data in terms of occurrence.

earthquakes. Similarly, it is observed that the earthquakes of magnitude 6 or more occur with the frequencies 6,5,3 and 1, respectively after earthquakes of magnitude 4 – 5. After the earthquakes of magnitude 5 – 6, it is seen that 3 subregions, all of which are of magnitude 6 or more. In the same sense, as a final observation, the earthquakes

Table 5. Transition frequency matrices between states for the subregions of Region 1*

$$F_{11} = \begin{bmatrix} 5.231 & 290 & 23 & 1 \\ 289 & 169 & 32 & 6 \\ 25 & 32 & 15 & 3 \\ 0 & 5 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$F_{12} = \begin{bmatrix} 2.403 & 137 & 7 & 1 \\ 138 & 111 & 20 & 5 \\ 8 & 20 & 19 & 1 \\ 0 & 5 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$F_{13} = \begin{bmatrix} 1.817 & 75 & 8 & 0 \\ 77 & 69 & 14 & 3 \\ 7 & 17 & 5 & 4 \\ 0 & 2 & 5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$F_{14} = \begin{bmatrix} 823 & 61 & 4 & 1 \\ 62 & 174 & 31 & 1 \\ 5 & 32 & 10 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

* F_{ij} shows the transition frequency matrix between the states of j th subregion of i th Region.

with a magnitude of 4 – 5 in the 1st and 2nd subregions tend to occur more than the earthquakes with a magnitude of 5 – 6 after earthquakes of magnitude 6 or greater, while the number of earthquakes with a magnitude of 5 – 6 in the 3rd subregion is 1 more than the ones with a magnitude of 4 – 5, and 1 earthquake of magnitudes 4 – 5 and 5 – 6 each occurred in the 4th subregion. Again, except for the 1st subregion of Region 1, it is observed that in the other three subregions no earthquakes of magnitude 6 or greater occur after the earthquakes of magnitude 6 or greater.

When it is looked at the earthquake frequencies of magnitude 6 or greater in the subregions of Region 1, we see that 3, 7, 7 and 12 earthquakes occur from east to west, that is, they increase from east to west. It is seen a similar trend in all earthquake frequencies from east to west in these subregions: 1.212, 2.106, 2.879, 6.136.

Considering the mean recurrence times of the subregions, it is seen that after the occurrence of an earthquake of magnitude 6 or more it is expected to be encountered approximately an average of 309 earthquakes in the 3rd subregion, 408 earthquakes in the 4th subregion, 413 in the 2nd subregion, and 557 in the 1st subregion, and then again an earthquake of magnitude of 6 or greater. Similarly, after an earthquake of magnitude 5 – 6 in the 4th subregion, it is expected to be encountered approximately an average of 26 earthquakes in the

4th subregion, 60 earthquakes in the 2nd subregion, 67 earthquakes in the 3rd subregion, and 82 in the 1st subregion, and then again an earthquake of 5 – 6 magnitude. Similar comments can be made regarding other magnitudes. After an earthquake with a magnitude of 4 – 5, it is expected to occur approximately 12 earthquakes in the 1st subregion, 11 earthquakes in the 2nd subregion, 13 earthquakes in the 3rd subregion, and approximately 5 earthquakes in the 4th subregion, which are followed by an earthquake of magnitude 4 – 5. Finally, in all subregions after an earthquake of magnitude 3 – 4, it is expected to occur an earthquake of magnitude 3 – 4 about 1 earthquake later. From this information, as we live in our daily lives, we see that earthquakes of magnitude 3 – 4 are the most frequent earthquakes and as the magnitude increases, the number of earthquakes expected to occur in order to encounter an earthquake of the same magnitude increases.

Table 6. Transition matrices, limit distributions and mean recurrence times for subregions of Region 1.

Transition Matrices

$$P_{11} = \begin{bmatrix} 0,94337 & 0,05230 & 0,00415 & 0,00018 \\ 0,58266 & 0,34072 & 0,06452 & 0,01210 \\ 0,33333 & 0,42667 & 0,20000 & 0,04000 \\ 0,00000 & 0,45455 & 0,45454 & 0,09091 \end{bmatrix}$$

$$P_{12} = \begin{bmatrix} 0,94309 & 0,05377 & 0,00275 & 0,00039 \\ 0,50365 & 0,40511 & 0,07299 & 0,01825 \\ 0,16667 & 0,41667 & 0,39583 & 0,02083 \\ 0,00000 & 0,71429 & 0,28571 & 0,00000 \end{bmatrix}$$

$$P_{13} = \begin{bmatrix} 0,95632 & 0,03947 & 0,00421 & 0,00000 \\ 0,47239 & 0,42331 & 0,08589 & 0,01841 \\ 0,21212 & 0,51515 & 0,15152 & 0,12121 \\ 0,00000 & 0,28571 & 0,71429 & 0,00000 \end{bmatrix}$$

$$P_{14} = \begin{bmatrix} 0,92576 & 0,06862 & 0,00450 & 0,00112 \\ 0,23134 & 0,64926 & 0,11567 & 0,00373 \\ 0,10417 & 0,66667 & 0,20833 & 0,02083 \\ 0,00000 & 0,33333 & 0,66667 & 0,00000 \end{bmatrix}$$

Limit Distributions

$$\pi^{11} = (0,9050; 0,0810; 0,0122; 0,0018)$$

$$\pi^{12} = (0,8863; 0,0947; 0,0166; 0,0024)$$

$$\pi^{13} = (0,9048; 0,0769; 0,0150; 0,0032)$$

$$\pi^{14} = (0,7392; 0,2199; 0,0384; 0,0024)$$

Mean Recurrence Times

$$r^{11} = (1,10; 12,35; 81,67; 556,96)$$

$$r^{12} = (1,13; 10,56; 60,19; 413,37)$$

$$r^{13} = (1,11; 13,00; 66,66; 309,16)$$

$$r^{14} = (1,35; 4,55; 26,07; 408,48)$$

Considering the limit distributions of the subregions, it is seen that earthquakes with magnitude 6 or greater appear in the 3rd subregion in 3,2% of all times, in the 4th and 2nd subregions in 2,4% of the time, and in the 1st subregion in 1,8% of the time. Similar interpretations can also be given for other magnitudes.

When the subregions of the 2nd Region in Table 7 are carefully examined, it is observed that the 1st subregion (south of the Aegean Region) of this region precedes the 2nd subregion except for the magnitude class $3 \leq X < 4$, and both subregions cover approximately half of the earthquakes occurring in the 2nd Region. Again, it is noteworthy that these leading earthquake frequencies in the 1st subregion -except for the lowest magnitude earthquakes- are about 40% higher than the earthquake frequencies in the 2nd subregion.

Table 7. Region-Magnitude distribution of earthquakes occurring in subregions of Region 2.

	M		A		G		N		I		T		U		D		E	
SUB-REGION	$3 \leq X < 4$		$4 \leq X < 5$		$5 \leq X < 6$		$6 \leq X$		Total									
	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%
1	11.977	44,566	1.286	4,785	150	0,558	14	0,052	13.427	49,961								
2	12.460	46,363	870	3,237	108	0,402	10	0,037	13.448	50,039								
Total	24.437	90,928	2.156	8,022	258	0,960	24	0,089	26.875	100,00								

Subregion 1 of Region 2 is the southern part of the region and subregion 2 is the northern part. When we look at the transition frequency matrices in Table 8, it is seen that the earthquakes in the whole magnitude group occur after each other in both the 1st subregion and the 2nd subregion, with the exception of the earthquakes of magnitude 6 or greater in the 1st subregion. If the frequencies are looked at with some attention, it can be told that the frequencies in the 1st subregion have occurred in numbers exceeding 1,5 times the frequencies of the 2nd subregion except for earthquakes of magnitude 6 or greater after the earthquakes of magnitude $3 \leq X < 4$, and all earthquakes that occur after the earthquakes of magnitude 6 or greater. In other words, when it is looked at the earthquake frequencies, it can roughly thought that the 1st subregion of the 2nd Region is approximately twice as seismic as the 2nd subregion. However, when it is looked at the transition matrices of the subregions of the 2nd Region, it is observed that the result in the previous sentence is not correct, because this misleading situation is eliminated in terms of transition probabilities between the states obtained by dividing the folded frequencies by the row sums in which they are located.

Table 8. Transition frequency matrices between states for subregions of Region 2.

$$F_{21} = \begin{bmatrix} 11.879 & 522 & 43 & 4 \\ 532 & 293 & 43 & 2 \\ 36 & 49 & 19 & 4 \\ 2 & 6 & 2 & 0 \end{bmatrix} \quad F_{22} = \begin{bmatrix} 5.228 & 289 & 25 & 1 \\ 290 & 169 & 32 & 5 \\ 23 & 32 & 15 & 5 \\ 2 & 6 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

Table 9. Transition matrices, limit distributions and mean recurrence times for subregions of Region 2.

Transition Matrices

$$P_{21} = \begin{bmatrix} 0.92809 & 0.06723 & 0.00443 & 0.00025 \\ 0.62986 & 0.31182 & 0.05054 & 0.00778 \\ 0.33557 & 0.46980 & 0.19463 & 0.00000 \\ 0.07143 & 0.71428 & 0.14286 & 0.07143 \end{bmatrix} \quad P_{22} = \begin{bmatrix} 0.95429 & 0.04194 & 0.00345 & 0.00032 \\ 0.61149 & 0.33678 & 0.04943 & 0.00230 \\ 0.33333 & 0.45370 & 0.17593 & 0.03704 \\ 0.20000 & 0.60000 & 0.20000 & 0.00000 \end{bmatrix}$$

Limit Distributions

$$\pi^{21} = (0.8920; 0.0958; 0.0111; 0.0010)$$

$$\pi^{22} = (0.9266; 0.0647; 0.0079; 0.0007)$$

Mean Recurrence Times

$$r^{21} = (1.12; 10.44; 90.06; 958.86)$$

$$r^{22} = (1.08; 15.46; 125.95; 1352)$$

From the limit distributions of the subregions, it is expected to occur the earthquakes of magnitude 6 or greater in the 1st subregion of the 2nd Region in 1% of all times and in the 2nd subregion in 0,7% of times; the earthquakes of 5 – 6 magnitudes in the 1st subregion in 1,11% of times and in the 2nd subregion in 7,9% of times; the earthquakes of 4 – 5 magnitudes in the 1st subregion in 9,58% of times and in the 2nd subregion in 6,47% of times; and the earthquakes of 3 – 4 magnitudes in the 1st subregion in 89,2% of times and in the 2nd subregion in 92,66% of times.

From the mean recurrence times of the subregions, it is expected to occur an earthquake of its own class after an average of 959 earthquakes in the 1st subregion of the 2nd Region, and after an average of 1352 earthquakes in the 2nd subregion for an earthquake of magnitude of 6 or greater; and after an average of 90 earthquakes in the 1st subregion, and after an average of 126 earthquakes in the 2nd subregion for an earthquake of magnitude 5 – 6; and after an average of 10 earthquakes in the 1st subregion, and after an average of 15 earthquakes in the 2nd subregion for an earthquake of magnitude 4 – 5; and after only an average of 1 earthquake in the 1st and 2nd subregions for an earthquake of magnitude of 3 – 4.

Table 10. Region-Magnitude distribution of earthquakes occurring in the subregions of Region 3.

SUB- REGION	M A G N I T U D E									
	$3 \leq X < 4$		$4 \leq X < 5$		$5 \leq X < 6$		$6 \leq X$		Total	
	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%
1	5,338	49,684	549	5,110	84	0,782	7	0,065	5,978	55,640
2	4,091	38,077	603	5,612	67	0,624	5	0,047	4,766	44,360
Total	9,429	87,761	1,152	10,722	151	1,405	12	0,112	10,744	100,00

When the subregions of Region 3 are examined carefully, it is observed that subregion 1 is ahead in terms of all magnitude classes (states) and contains more than half (55,64%) of the earthquakes occurring in Region 3.

Table 11. Transition frequency matrices between states for subregions of Region 3.

$$F_{31} = \begin{bmatrix} 4,980 & 307 & 41 & 4 \\ 310 & 206 & 31 & 2 \\ 40 & 33 & 11 & 0 \\ 3 & 3 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad F_{32} = \begin{bmatrix} 3,723 & 338 & 20 & 1 \\ 337 & 229 & 32 & 2 \\ 22 & 31 & 13 & 1 \\ 0 & 3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Subregion 1 of the 3rd Region constitutes the western part of the region and subregion 2 constitutes its eastern part. Looking at the transition frequency matrices in Table 11, it is seen that no earthquakes of the same class did not occur after earthquakes of magnitude 6 or greater in both subregions, and also that the lowest-class earthquakes did not occur in the 1st subregion. After the earthquakes of magnitude 5 – 6, no earthquakes of magnitude 6 or greater occurred in the 1st subregion, while only 1 earthquake occurred in the 2nd subregion. After the earthquakes of magnitude 4 – 5, 2 earthquakes of magnitude 6 or greater occurred in both subregions, and after the earthquakes of magnitude 3 – 4, 4 earthquakes occurred in the 1st subregion with 6 or greater magnitude, and 1 earthquake of magnitude of 6 or more in the 2nd subregion. In addition, it is occurred only 1 earthquake of magnitude 5 – 6 in the 1st subregion and 2 earthquakes of magnitude 5 – 6 in the 2nd subregion after the earthquakes of magnitude 6 or greater. In a sense, this shows that there were no destructive earthquakes after big earthquakes in the 1st and 2nd subregions.

Table 12. Transition matrices, limit distributions and mean recurrence times for subregions of Region 3.

Transition Matrices

$$P_{31} = \begin{bmatrix} 0,93398 & 0,05758 & 0,00769 & 0,00075 \\ 0,56466 & 0,37523 & 0,05647 & 0,00364 \\ 0,47619 & 0,39286 & 0,13095 & 0,00000 \\ 0,42857 & 0,42857 & 0,14286 & 0,00000 \end{bmatrix}$$

$$P_{32} = \begin{bmatrix} 0,91205 & 0,08280 & 0,00490 & 0,00025 \\ 0,56167 & 0,38167 & 0,05333 & 0,00333 \\ 0,32836 & 0,46269 & 0,19403 & 0,01492 \\ 0,00000 & 0,60000 & 0,4000 & 0,00000 \end{bmatrix}$$

Limit Distributions

$$\pi^{31} = (0,8931; 0,0918; 0,0140; 0,0010)$$

$$\pi^{32} = (0,8589; 0,1263; 0,0140; 0,0008)$$

Mean Recurrence Times

$$r^{31} = (1,12; 10,89; 71,25; 995,91)$$

$$r^{32} = (1,16; 7,92; 71,44; 1185)$$

It is seen that the limit probabilities of the subregions of this region are quite close to each other, especially for the earthquakes of magnitude 5 and greater. These limit probabilities can be interpreted individually, as in Region 2. This phenomenon can also be seen from the fact that the mean recurrence times are quite close to each other.

Table 13. Region-Magnitude distribution of earthquakes occurring in the subregions of Region 4.

SUB- REGION	M A G N I T U D E									
	$3 \leq X < 4$		$4 \leq X < 5$		$5 \leq X < 6$		$6 \leq X$		Total	
	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%	f_i	%
1	1.619	41,333	199	5,080	23	0,587	4	0,102	1.845	47,102
2	1.949	49,757	105	2,681	16	0,408	2	0,051	2.072	52,898
Total	3.568	91,090	304	7,761	39	0,996	6	0,153	3.917	100,000

When the subregions of the 4th Region are examined, it is seen that the 1st subregion (south) precedes the 2nd subregion in earthquake frequencies except for the $3 \leq X < 4$ magnitude class, and that the 2nd subregion contains more than half of the earthquakes (52,90%) of the 4th Region. In addition, it is seen that the Region 4 and its subregions generally contain a small number of earthquakes with the largest magnitudes from the other regions and subregions. If we continue our analysis by examining the statistics for the transition frequencies and the transition probabilities between states, the corresponding limit distributions and the mean recurrence times of the subregions of Region 1,

we get the opportunity to compare regions and subregions with each others in these respects.

Table 14. Transition frequency matrices between states for subregions of Region 4.

$$F_{41} = \begin{bmatrix} 1.498 & 113 & 6 & 1 \\ 115 & 72 & 10 & 2 \\ 6 & 10 & 6 & 1 \\ 0 & 3 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad F_{42} = \begin{bmatrix} 1.868 & 74 & 6 & 1 \\ 75 & 26 & 2 & 1 \\ 5 & 4 & 7 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

The 1st subregion of the 4th Region is the southern part of the region, and according to the Türkiye Seismic Zones Map, it includes most of the 5th degree earthquake zone and the 2nd subregion constitutes the northern part. We observe that there are a total of 6 earthquakes of magnitude 6 or greater, 4 of which are in the southern part and 2 of them are in the northern part. However, when we look at the frequencies of the 4th Region, there are 9 earthquakes with a magnitude of 6 or above, and in the subregions 1 earthquake belonging to the $6+ \rightarrow [4 - 5)$ transition and 2 earthquakes belonging to the $6+ \rightarrow [5 - 6)$ transition are missing and not recorded. Similarly, there is a 1 frequency loss in each of the transitions $[3 - 4) \rightarrow 6+$, $[4 - 5) \rightarrow 6+$ and $[5 - 6) \rightarrow 6+$. For this, see footnote on page 11.

Table 15. Transition matrices, limit distributions and mean recurrence times for subregions of Region 4.

Transition Matrices

$$P_{41} = \begin{bmatrix} 0,92583 & 0,06984 & 0,00371 & 0,00062 \\ 0,57789 & 0,36181 & 0,05025 & 0,01005 \\ 0,26087 & 0,43478 & 0,26087 & 0,04348 \\ 0,00000 & 0,75000 & 0,25000 & 0,00000 \end{bmatrix} \quad P_{42} = \begin{bmatrix} 0,95844 & 0,03797 & 0,00308 & 0,00051 \\ 0,72115 & 0,25000 & 0,01923 & 0,00962 \\ 0,31250 & 0,25000 & 0,43750 & 0,00000 \\ 0,50000 & 0,50000 & 0,00000 & 0,00000 \end{bmatrix}$$

Limit Distributions

$$\pi^{41} = (0,8783; 0,1071; 0,0124; 0,0022) \quad \pi^{42} = (0,9415; 0,0506; 0,0069; 0,0010)$$

Mean Recurrence Times

$$r^{41} = (1,14; 9,34; 80,50; 462,70) \quad r^{42} = (1,06; 19,76; 145,23; 1034)$$

From the limit distributions of the subregions in the 4th Region, it can be told that earthquakes of magnitude 6 or greater are expected to occur in 2,2‰ of all times in the 1st subregion, and in 1‰ of all times in the 2nd subregion. Similarly, it can be told that the earthquakes of magnitude 5 – 6 are expected to occur

1,24% of all times in the 1st subregion and 6,9% in the 2nd subregion. For the earthquakes of magnitude 4 – 5, it can be told that it is expected to occur in 10,71% of all times in the 1st subregion and 5,06% in the 2nd subregion. Finally, for the earthquakes of magnitude 3 – 4, it can be told that it is expected to occur 87,83% of all times in the 1st subregion and 94,15% in the 2nd subregion.

From the mean recurrence times of the subregions, it is expected to occur an earthquake of its own magnitude class for an earthquake of magnitude of 6 or greater after approximately, 463 earthquakes in the 1st subregion, and after 1034 earthquakes in the 2nd subregion; for an earthquake of magnitude 5 – 6 after approximately, 81 in the 1st subregion, and after 145 in the 2nd subregion; for an earthquake of magnitude 4 – 5 after 9 earthquakes in the 1st subregion, and after approximately, 20 earthquakes in the 2nd subregion, and for an earthquake of magnitude 3 – 4 after approximately, 1 earthquake in the both of 1st and 2nd subregions.

In what follows in this subsection, in addition to the results we obtained in the previous sections, it will be continued to provide descriptive statistics by giving estimates of how many small-magnitude earthquakes are expected to occur among larger earthquakes.

Table 16. By regions, the expected number of earthquakes of magnitude 3 – 4 to occur between two earthquakes of magnitude 4 – 5, 5 – 6 and, 6 or greater.

REGION	M A G N I T U D E		
	4 – 5	5 – 6	6 +
1	9,06	53,23	384,17
2	11,32	94,71	1.010,21
3	8,16	62,22	797,55
4	11,76	94,94	607,60

When Table 16 is examined, it can be seen that the numbers of earthquakes of magnitude 3 – 4 expected between two earthquakes of magnitude 4 – 5 and 5 – 6 in Regions 2 and 4 are very close to each others, but the difference is rising up to 11 between two earthquakes of magnitude 5 – 6 in Regions 1 and 3.

Table 17. By regions, the expected number of earthquakes of magnitude 4 – 5 to occur between two earthquakes of magnitude 5 – 6, and 6 or greater.

REGION	MAGNITUDE	
	5 – 6	6 +
1	5,87	42,39
2	8,36	89,22
3	7,62	97,73
4	8,07	51,67

From Table 17, it can be told that the numbers of earthquakes of magnitude 4 – 5 between two earthquakes of magnitude 5 – 6 are very close to each other in the 2nd and 4th Regions, and that the numbers of earthquakes in the 1st and 3rd Regions are somewhat close, but not between 6 or greater.

Table 18. By regions, the expected number of earthquakes of magnitude 5 – 6 to occur between two earthquakes of magnitude 6 or greater.

REGION	MAGNITUDE
	6 +
1	7,22
2	10,67
3	12,82
4	6,40

From Table 18, it can be told that the numbers of earthquakes of magnitude 5 – 6 between two earthquakes of magnitude 6 + are quite close to each other in the 1st and 4th Regions, and similarly, the numbers of earthquakes in the 2nd and 3rd Regions are also somewhat close.

Similarly, the same observations given above was made on the subregions of these regions and the following results were obtained.

Tablo 19. By the subregions of Region 1, the expected number of earthquakes of magnitude 3 – 4 to occur between two earthquakes of magnitude 4 – 5, 5 – 6 and 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E		
	4 – 5	5 – 6	6 +
1	11,17	74,18	502,78
2	9,36	53,39	369,29
3	11,77	60,32	282,75
4	3,36	19,25	308,00

When Table 19 is examined, by the subregions of the 1st Region, it can be told that especially the earthquake frequencies in the 1st and 3rd subregions are very close to each other between the two earthquakes of magnitude 4 – 5, and differ considerably from each others in other cases.

Table 20. By the subregions of Region 1, the expected number of earthquakes of magnitude 4 – 5 to occur between two earthquakes of magnitude 5 – 6 and 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E	
	5 – 6	6 +
1	6,64	45,00
2	5,70	39,46
3	5,13	24,03
4	5,73	91,63

When Table 20 is examined, it can be told that the expected earthquake frequencies of magnitude 4 – 5 between two earthquakes of magnitude 5 – 6 are very close to each other in the 2nd and 4th subregions, while they diverge a little in the 1st and 3rd subregions, and they differ considerably between two earthquakes of magnitude 6 +.

Table 21. By the subregions of Region 1, the expected number of earthquakes of magnitude 5 – 6 to occur between two earthquakes of magnitude 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E
	6 +
1	6,77
2	6,92
3	4,69
4	16,00

It can be seen from Table 21 that the number of earthquakes of magnitude 5 – 6 between two earthquakes of magnitude 6 or greater are very close to each other in the 1st and 2nd subregions, and it appears to be expected the lowest frequency in the 3rd subregion and the highest in the 4th subregion.

Table 22. By the subregions of Region 2, the expected number of earthquakes of magnitude 3 – 4 to occur between two earthquakes of magnitude 4 – 5, 5 – 6 and 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E		
	4 – 5	5 – 6	6 +
1	9,31	80,36	892,00
2	14,32	117,29	1.373,71

From Table 22, it is seen that the expected earthquake frequencies of magnitude 3 – 4 in the 2nd subregion of the 2nd Region are approximately 1,5 times the ones in the 1st subregion.

Table 23. By the subregions of Region 2, the expected number of earthquakes of magnitude 4 – 5 to occur between two earthquakes of magnitude 5 – 6 and 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E	
	5 – 6	6 +
1	8,63	95,80
2	8,19	92,43

When Table 23 is examined, it is seen that the expected numbers of earthquakes of magnitude 4 – 5 between two earthquakes of magnitude 5 – 6 and 6 or greater are quite close to each others in both subregions of the 2nd Region.

Table 24. By the subregions of Region 2, the expected number of earthquakes of magnitude 5 – 6 to occur between two earthquakes of magnitude 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E
	6 +
1	11,10
2	11,29

When Table 24 is examined, it is seen that the expected numbers of earthquakes of magnitude 5 – 6 between two earthquakes of magnitude 6 or greater are quite close to each others in both subregions of the 2nd Region.

Table 25. By the subregions of Region 3, the expected number of earthquakes of magnitude 3 – 4 to occur between two earthquakes of magnitude 4 – 5, 5 – 6 and 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E		
	4 – 5	5 – 6	6 +
1	9,73	63,79	893,10
2	6,80	61,35	1073,63

From Table 25, while the expected earthquake frequencies of magnitude 3 – 4 in the 2nd subregion are lower between two earthquakes of magnitudes 4 – 5 and 5 – 6 compared to the 1st subregion, it is about 20% more than the 1st subregion for the earthquakes of magnitude 6 or greater.

Table 26. By the subregions of Region 3, the expected number of earthquakes of magnitude 4 – 5 to occur between two earthquakes of magnitude 5 – 6 and 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E	
	5 – 6	6 +
1	6,56	91,80
2	9,02	157,88

According to the frequencies in Table 26, the ratio of the frequency in the 2nd subregion to the frequency in the 1st subregion is 37.5% higher than that of 5 – 6 column, while this ratio is more than 71.98% in the 6 + column.

Table 27. By the subregions of Region 3, the expected number of earthquakes of magnitude 5 – 6 to occur between two earthquakes of magnitude 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E
	6 +
1	14,00
2	17,50

From Table 27, it is seen that the expected number of earthquakes of magnitude 5 – 6 in the 2nd subregion of the 3rd Region is 25% higher than in the 1st subregion.

Table 28. By the subregions of Region 4, the expected number of earthquakes of magnitude 3 – 4 to occur between two earthquakes of magnitude 4 – 5, 5 – 6 and 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E		
	4 – 5	5 – 6	6 +
1	8,20	70,83	399,23
2	18,61	136,45	941,50

In Table 28, it is seen that the expected earthquake frequencies in the 2nd subregion are 126,95%; 92,64% and 135,83% higher than that the earthquake frequencies in the 1st subregion, in the column order.

Table 29. By the subregions of Region 4, the expected number of earthquakes of magnitude 4 – 5 to occur between two earthquakes of magnitude 5 – 6 and 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E	
	5 – 6	6 +
1	8,64	48,68
2	7,33	50,60

According to the frequencies in Table 29, it is observed that the expected earthquake numbers of magnitude 4 – 5 are more or less close to each others in both subregions and in both cases.

Table 30. By the subregions of Region 4, the expected number of earthquakes of magnitude 5 – 6 to occur between two earthquakes of magnitude 6 or greater.

SUB- REGION	M A G N I T U D E
	6 +
1	5,64
2	6,90

According to the frequencies in Table 30, it is observed that the expected earthquake numbers of magnitude 5 – 6 are close to each other with a difference of almost 1 earthquake in the two subregions.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, the earthquake data of magnitude 3 and greater that occurred between the years 1900-2021 in and around Türkiye, which is between 35-42 North latitudes and 26-45 East longitudes, were used and the earthquakes that divided into four states by their magnitudes were examined in respect of their Markovian dependence structure over four regions and their subregions.

In the earthquake researches, naturally, the time between earthquakes is as important as the other earthquake frequencies between earthquakes of different magnitudes. In this sense, some studies have been done and are being carried out in the earthquake literature, as mentioned before and these studies form the dimensions of different modeling of Markovian dependence such as Semi-Markov, Hidden Markov and stationary Markov processes. In this study, it is aimed to draw the attention of researchers who make earthquake researches with different backgrounds on earthquake frequencies that can be easily understood.

As a final word in this study, it is necessary to draw attention to the following. The February 6 Earthquake, which is known as the 2023 Türkiye-Syria earthquake in the world earthquake literature, and the earthquake data September 2021 – January 2023 is not included in the data we are considering. When a study similar to this study is expanded to include these data, it is clear that some results will naturally change, primarily for the third Region and for the second subregion of Region 4.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- Altınok, Y. (1988). Semi -Markov modelinin Kuzey Anadolu fay zonunda deprem riskine uygulanması, *Jeofizik*, 2, 44-58.
- Altınok, Y. (1991). Batı Anadolu deprem riskinin semi-Markov model ile değerlendirilmesi, *Jeofizik*, 5, 135-140.
- Altınok, Y., Kolcak, D. (1999). An application of semi-Markov model for earthquake occurrences in North Anatolia, Turkey, *J. Balkan Geophysical Society*, 2(4), 90-99.
- Alvarez, E.E. (2005). Estimation in stationary Markov renewal processes, with application to Earthquake forecasting in Turkey, *Methodol. Comput. Appl.* 7, 119–130.
- Anagnos, T., Kiremidjian, A.S. (1988). A review of earthquake occurrence models for seismic hazard analysis, *Probab Eng Mech*, 3(1), 3-11.
- Aslangiri, F. (2019), *Reconstruction Process in Rural Areas After the 2011 Van Earthquakes*, Graduate Thesis, Karamanoğlu Mehmetbey University, Institute of Social Sciences, Karaman.
- Bikçe, M. (2016). A database for fatalities and damages due to the earthquakes in Turkey (1900–2014), *Nat Hazards*, 83:1359-1418.
- B.U. KRDAE REGIONAL EARTHQUAKE-TSUNAMI MONITORING AND ASSESSMENT CENTER (2022). Retrived 20 December 2021 from <http://koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- Can, C.E., Ergün, G., Gokceoglu, C. (2014), Prediction of earthquake hazard by Hidden Markov Model (around Bilecik, NW Turkey), *Cent. Eur. J. Geosci.*, 6(3), 403-414.
- Ceferino, L., Kiremidjian, A., Deierlein, G. (2020), Probabilistic space- and time-interaction of main-shock earthquake rupture occurrence, *B. Seismol. Soc. Am.*, 110(5), 2498-2518.
- Çınlar, E. (1975). Introduction to Stochastic Processes, New Jersey, Prentice-Hall, Inc.
- Genç, F.N. (2007). Türkiye’de doğal afetler ve doğal afetlerde risk yönetimi, *Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9, 201-226.
- Gürten, Ü. (2001). Statistical Analysis of Earthquake Occurrences in Marmara Region, Graduate Thesis, Gazi University, Institute of Science and Technology, Ankara.
- Kadirioğlu, F., Kartal, R., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T., Eroğlu Azak, T., et al. (2018). An improved earthquake catalogue ($M \geq 4.0$) for Turkey and its near vicinity (1900–2012). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3317–3338.

- Karaca, H. (2012), An Investigation into the Earthquake Migration Patterns in Marmara Region, Turkey, *Physics of the Solid Earth*, 57(6), 878-885.
- Kasap, R., Gürten, Ü. (2003). Obtaining the return period of earthquake magnitudes: as an example Marmara region, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 4(2), 157-166.
- Kasapoğlu, A., Ecevit, M. (2004), Impact of Several Worry Factors on Responsible Behavior: The Case of the 1999 Earthquake in Turkey, *International Journal of Mental Health*, 33:1, 13-30.
- Li, T. (2016). Time Series of Earthquakes in China and Modeling with Markov Chain, Graduate Thesis, Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Li, T., Çelebioğlu, S. (2016). On the co-occurrence of different magnitude earthquakes: Southwestern China case, *GU J Sci*, 29(3), 635-644.
- Lü, L., Lin, C.H., Zhou, T. (2009). Similarity index based on local paths for link prediction of complex networks, *Phys. Review E*, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.80.046122>.
- Marzocchi, W., Taroni, M. (2014). Some thoughts on declustering probabilistic seismic-hazard analysis, *B. Seismol. Soc. Am.*, 104(4), 1838-1845.
- Özel, G., Solmaz, A. (2012). Türkiye’de deprem tekrarlanma zamanının tahmini ve neotektonik bölgelere göre depremselliğin Markov zinciri ile incelenmesi, *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 9(2), 125-138.
- Özşahin, E. 2013, An Evaluation of Natural Disasters Experienced in Turkey (1970-2012), *2nd Türkiye Earthquake Engineering and Seismology Conference*, (September, 2013), Mustafa Kemal University, Hatay, p.1-8.
- Öztürk, S. (2009). An Application of the Earthquake Hazard and Aftershock Probability Evaluation Methods to Turkey Earthquakes, Doctoral Thesis, Karadeniz Technical University, Institute of Science, Trabzon.
- Öztürk, S. (2011). Characteristics of seismic activity in the Western, Central and Eastern parts of the North Anatolian Fault Zone, Turkey: Temporal and spatial analysis, *Acta Geophysica*, 59(2), 209-238.
- Öztürk, S. (2014). A study on Earthquake Statistics and the Forecasting for the Intermediate-Term Locations of Possible Strong Earthquakes for the Western Anatolian Region of Turkey, *Gümüşane Üni. FBE Dergisi*, 4(1), 75-93.
- Öztürk, S. (2017), Regional and Temporal Analyses of the Current Earthquake Activity in and around the North Anatolian Fault Zone, *Yerbilimleri*, 38(2), 193-228.

- Öztürk, S. (2019). Region-Time-Magnitude Analyses of the Seismicity in and around the Central Anatolian Region and Current Earthquake Potential, *Turk. J. Earthq. Res.* 1 (2), 148-166.
- Rockwell, T., Ragona, D., Seitz, G., Langridge, R., Aksoy, M.E., Uçarkuş, G., Ferry, M., Meltzner, A.R., Klinger, Y., Meghraoui, M., Satır, D., Barka, A., Akbalık, B. (2009). Palaeoseismology of the North Anatolian Fault near the Marmara Sea: implications for fault segmentation and seismic hazard, *Geological Society, London, Special Publications*, 316(1), 31-54.
- Schaefer, A.M., (2014), State-of-the-Art Review and Analysis in Earthquake Forecasting, Graduate Thesis, Ludwig-Maximilians University, München, Germany.
- Udias, A., Rice, J. (1975). Statistical analysis of microearthquake activity near San Andreas geophysical observatory, Hollister, California, *B. Seismol. Soc. Am.*, 65(4), 809-827.
- Ünal, S., Çelebioğlu, S. (2011). A Markov chain modelling of the earthquakes occurring in Turkey, *GUJ Sci*, 24(2), 263-274.
- Ünal-Karaçam, S. (2019). Investigation of dependence structure in seismic hazard analysis: an application for Turkey, *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Ser. A1 Math. Stat.*, 68(2), 1528-1542.
- Votsi, E. (2013). Seismic Hazard Assessment through Hidden Markov and Semi-Markov Modeling and Statistical Estimation, Doctoral Thesis, University of Thessaloniki and Universite de Technologie de Compiègne, Thessaloniki, Greece.
- Yalçın, U. (2017). The Examination of Seismicity Trend in Turkey in respects of Occurring Earthquake Numbers and Mean Earthquake Magnitude by Markov Chain, Graduate Thesis, Gazi University, Ankara, Türkiye.
- Yolsal-Çevikbilen, S., Taymaz, T., Helvacı, C. (2014). Earthquake mechanisms in the Gulfs of Gökova, Sığacık, Kuşadası, and the Simav Region (western Turkey): Neotectonics, seismotectonics and geodynamic implications, *Tectonophysics*, 635, 100-124.