

TSUNAMİ: YERKÜREMİZİN DEV DALGALARI

Selim ÖZALP*

Giriş

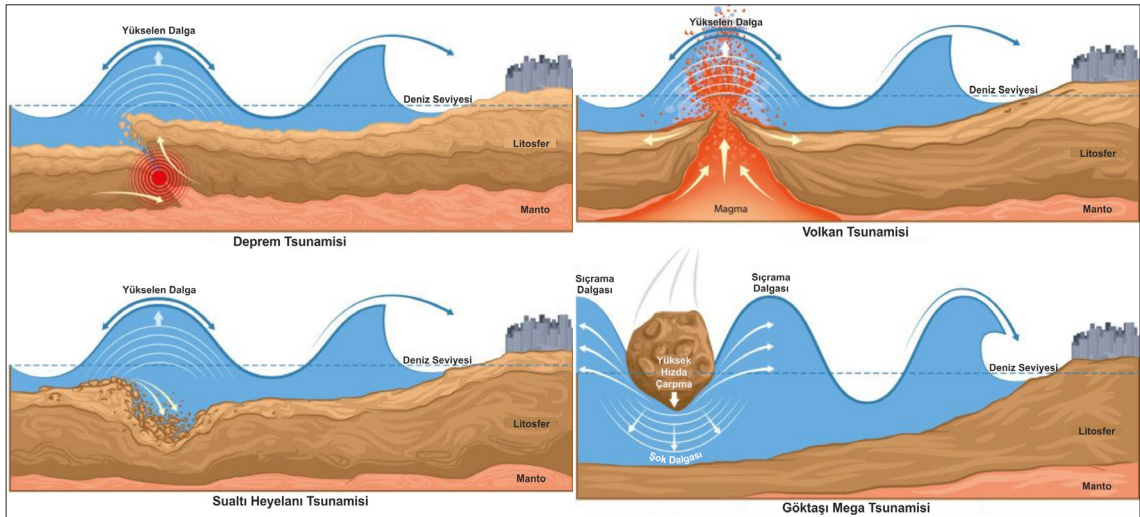
Tsunami, Japonca 津 (*tsu* = liman) ve 波 (*nami* = dalga) karakterlerinden türetilmiş bir terim olup, ilk kez 1896'da 27.000 kişinin hayatını kaybettiği Japonya'daki Büyük Meiji Sanriku tsunamisinden sonra kullanılmaya başlanmıştır (Yalçiner ve Ersoy, 2005). Tsunami, genellikle bir okyanus veya büyük gölde, büyük bir su kütesinin aniden yer değiştirmesinin neden olduğu yüksek genlikli bir dizi su dalgası olarak tanımlanmaktadır. Kaynağından yüksek enerjide serbest kalan çok büyük hacimdeki su kütesi nedeniyle, bir tsunami kıyı bölgelerini tahrip edebilir. Depremler, volkan püskürmesi, heyelanlar, sualtı heyelanları ve göktaşının okyanusa düşmesi gibi büyük kütle hareketlerinin tamamı bir tsunami oluşturma potansiyeline sahiptir (Şekil 1).

Örneğin 1883 Krakatau volkanik patlaması, deniz seviyesinden 40 m yüksekliğe ulaşan, binlerce insanı öldüren ve sahil köylerini yok eden yıkıcı bir tsunami oluşturmuştur. Yaklaşık son 100 yılda meydana gelen 58 büyük tsunami, toplamda 250.000'den fazla can almıştır (Guha-Sapir vd., 2015). Bu oran,

fırtına (tropik siklonlar gibi), sel veya deprem gibi diğer doğa kaynaklı afetlerden çok daha yüksektir. Çizelge 1'de Dünya tarihinin yaklaşık son 3500 yılı boyunca kayıt altına alınmış bazı önemli tsunamilere ilişkin bilgiler verilmiştir.

Tsunami Nasıl Meydana Gelir?

Birçok tsunami, yitim zonunda üzerleyen levhanın altına dalan okyanusal levhada meydana gelen depremlerin bir sonucu olarak ortaya çıkar (Şekil 1). Dalan levha ile üzerleyen levha arasındaki sürtünme, levhalar arasında bir gerilme (stres) oluşmasına neden olur. Bu gerilim genellikle iki plaka arasındaki kesimde onlarca veya yüzlerce yıl süresince birikir. Sonuçta biriken bu gerilim belli bir sınıra ulaştığında faylanma ile aniden serbest bırakılır. Okyanus derinliklerinde sıkı kabukta meydana gelen bu ani yırtılma, deniz tabanını yükseltme veya çökme şeklinde deformasyona uğratar ve geniş hacimdeki su kütesinin yer değiştirmesi de tsunamiye neden olur. Su yüzeyinin yer değiştirmesi, sismik kaynak parametreleri ve odak mekanizmaları ile tanımlanan "tsunami kaynağı" olarak adlandırılmaktadır (Aki ve Richards, 2002). Deniz içindeki her depremde tsunami oluşmayabilir. Tsunaminin büyüklüğü onu meydana getiren depremin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Depremin büyüklüğünün artması, daha büyük tsunami oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 1- Tsunami oluşturabilecek doğal olaylar (Humanities Lab web sitesinden (<http://auhumanitieslab.com/>) değiştirilerek alınmıştır).

*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Çizelge 1- Dünya tarihindeki önemli tsunamiler.

Tarih	Kaynak Bölgesi	Dalga Yüksekliği	Oluşum Sebebi	Açıklama
MÖ 1630	Santorini	?	Yanardağ Patlaması	Akdeniz ve Yunan kıyılarını harap etmiştir.
20.09.1498	Enshunada Denizi, Japonya	17 m	Deprem	31.000 kişi
28.10.1707	Nankaido, Japonya	25 m	Deprem	3.000 kişi
01.11.1755	Lizbon, Portekiz	5-10 m	Deprem	60.000 kişi
24.04.1771	Ryukyu Adası, Japonya	85 m	Deprem	25.400 kişi
06.02.1783	Messina Boğazı, İtalya	16 m	Deprem	32.000 kişi
13.08.1868	Peru-Şili	>10 m	Deprem	Havaii'ye zarar vermiş ve Yeni Zelanda da gözlenmiştir.
27.08.1883	Krakatau	40 m	Yanardağ Patlaması	30.000 kişi
15.06.1896	Sanriku, Honshu	24 m	Deprem	27.000 kişi
02.03.1933	Honshu	>20 m	Deprem	3.000 kişi
01.04.1946	Aleutian Adası	10 m	Deprem	165 kişi
22.05.1960	Şili	>10 m	Deprem	Şili kıyıları boyunca 909 kişi hayatını kaybetmiş ve 834 kişi kaybolmuştur. Japonya'da ise 120 kişi hayatını kaybetti.
28.03.1964	Alaska	6 m	Deprem	Kaliforniya'da 119 kişi
12.12.1992	Endonezya	6 m	Deprem	1000 den fazla kişi
02.09.1992	Nikaragua	10 m	Deprem	170 can kaybı, 500 yaralı ve 13.000 insan evsiz kalmıştır.
12.07.1993	Okushiri	29 m	Deprem	239 kişi
03.06.1994	Doğu Java	14 m	Deprem	238 kişi
02.10.1994	Kuril Adaları	9 m	Deprem	9 kişi
14.11.1994	Mindoro, Filipinler	9m	Deprem	62 kişi
09.10.1995	Mondorillo, Meksika	11 m	Deprem	40 kişi
01.01.1996	Sulawesi Adası	3,4 m	Deprem	9 kişi
17.02.1996	Biak, Endonezya	8 m	Deprem	161 kişi
21.02.1996	Peru Kıyıları	5 m	Deprem	12 kişi
17.07.1998	Papua Yeni Gine	10 m	Deprem	3000 kişi
26.12.2004	Banda Aceh, Endonezya, Sendai,	30 m	Deprem	228.000 kişi
11.03.2011	Japonya	56 m	Deprem	16.000 kişi
28.09.2018	Sulawesi, Endonezya	7 m	Deprem	2.100 kişi

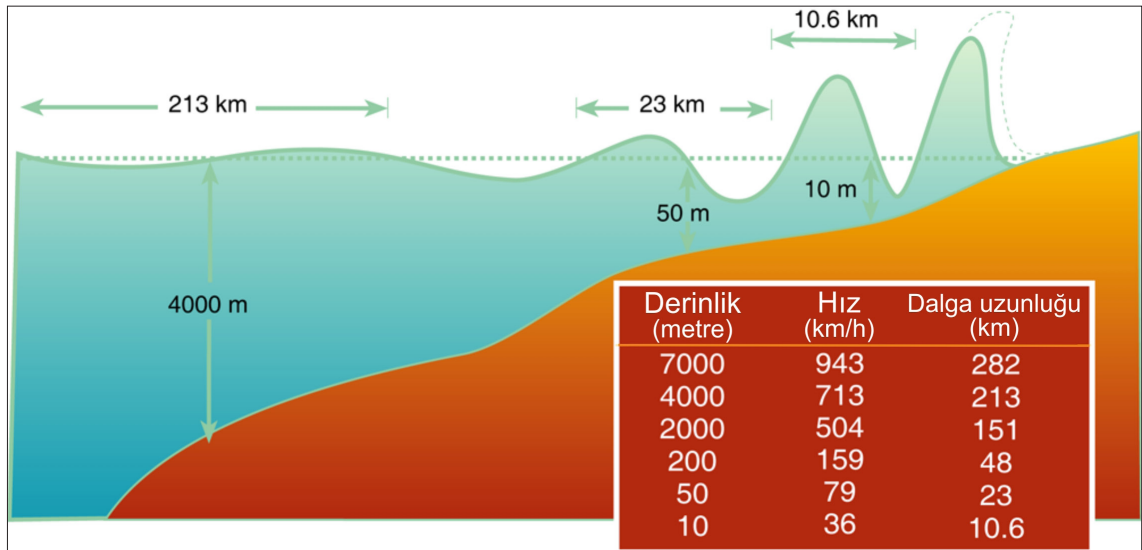
Tsunami ilk olarak genellikle tek bir dalga biçiminde oluşur. Ancak kısa sürede 4 veya 5 dalgaya bölünür ve kıyılara doğru hareket eder. Önde giden dalga "centilmen dalga" olarak tanımlanmaktadır. Ancak ikinci ve üçüncü dalgalar daha etkili olabilecek niteliktedir. Bunların gerisinden gelen diğer dalgalar ise daha küçük ve dolayısıyla daha az etkilidirler (Yalçiner ve Ersoy, 2005). Tsunaminin hızı, bulunduğu derinliğin karekökü ile doğru orantılıdır. Derin sularda hızlı, sığ sularda yavaş hareket eder (Yalçiner ve Ersoy, 2005). Örneğin Pasifik Okyanusunda derinliği 7.000 metreyi bulan kesimlerde, bir tsunaminin yayılma hızı saatte 900 km'yi bulabilmektedir (Şekil 2). Bu hız değeri normal bir okyanus dalgasının hızından neredeyse 10 kat daha fazladır. Tsunamilerde dalga uzunluğu 200 km'ye kadar çıkabilirken, normalde okyanus dalgaları ortalama 100 m dalga uzunluğunda olurlar. Kıyıya gelen tsunami, denizin önce geri çekilmesi, sonrasında ise karaya dalga tırmanması şeklinde gelişir. Bunun sonucunda kıyılarda şiddetli akıntılar ve deniz seviyesi değişimleri meydana gelir. Dalga sığ sulara eriştiğinde yavaşlama eğilimindedir, ancak dalga yüksekliği zayıf bile olsa genellikle liman, mendirek ve küçük tekne barınaklarında etkili olur. Japonca'da "liman dalgası" olarak tanımlanmasının nedeni de budur (Yalçiner ve Ersoy, 2005).

Tsunami tehlikesi, yalnızca deprem oluşturan faya yakın olan sahiller için söz konusu değildir. Tele-tsunami veya uzak-alan tsunamisi olarak adlandırılan dev dalgalar okyanusları bir uçtan

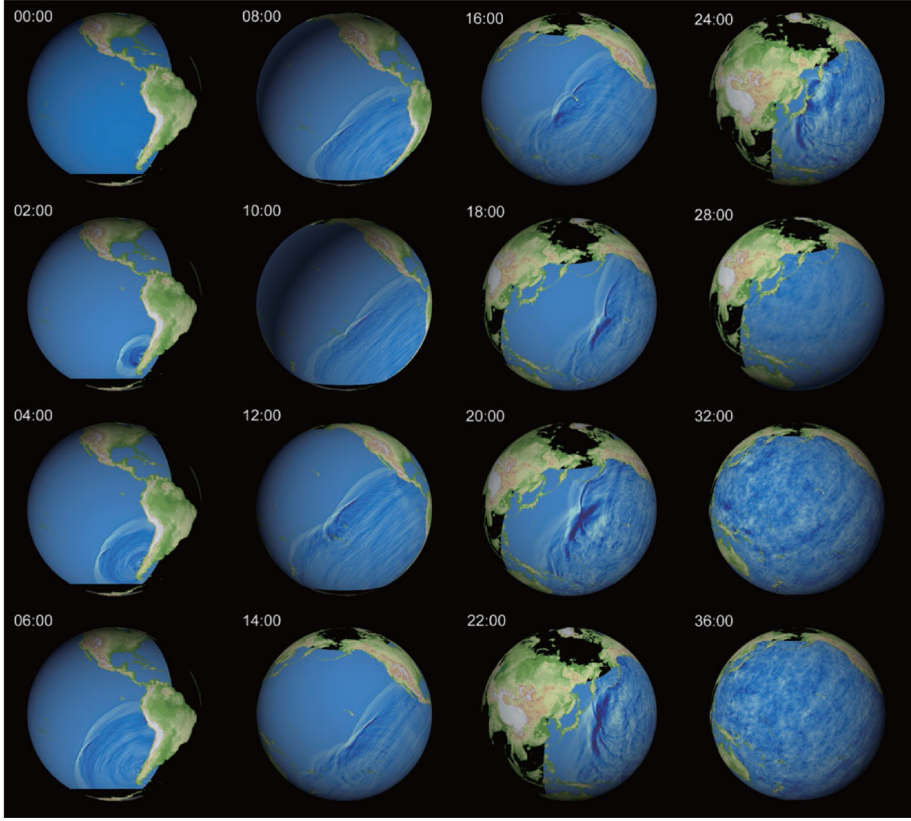
diğer uca aşabilirler. Tele-tsunami, kaynağından 1000 km'den fazla bir mesafede oluşan tsunami olarak tanımlanmaktadır (Koshimura, 2018). Güney Şili açıklarında 22 Mayıs 1960 tarihinde meydana gelen deprem (Mw 9,5) tüm Pasifik'te yıkıcı bir tsunami üretmiştir (Şekil 3). Pasifik Okyanusu boyunca yayılan tsunami, 10 metreyi aşan yüksekliği ile Hawaii adalarına çarparak 61 kişinin ölmesine ve 24 milyon Amerika Birleşik Devletleri (ABD) doları tutarında ekonomik zarara (NOAA-NGDC) yol açmıştır. Sonrasında Japonya'ya ulaşan 6 metreyi aşan tsunami dalgaları 142 kişinin ölümüne sebep olmuştur. Benzer şekilde, 2011 Tohoku tsunamisi (Şekil 4) Pasifik boyunca yol almış, ABD batısında yer alan Oregon ve Kaliforniya kıyılarındaki limanlarda birkaç teknenin batmasına, sonrasında kurtarılacak dört kişinin okyanusa sürüklenmesine ve tsunami dalgalarının fotoğrafını çeken bir kişinin ölmesine neden olmuştur (Chock vd., 2013).

Türkiye Kıyılarında Tsunami Tehlikesi

Yıkıcı tsunamiler, tüm dünyadaki okyanuslarda ve denizlerde insanlık tarihi boyunca birçok kıyı toplumunu etkilemiştir. Ege Denizi ve Karadeniz dâhil olmak üzere Doğu Akdeniz, birçok antik kayıta beklenmedik felaket dalgalarının tasvir edildiği bölgelerden birisidir. Bu bölgenin aktif tektoniği, kuzeye doğru hareket eden Afrika ve Arap levhaları ile Erken Pliyosen'den bu yana göreceli olarak sabit olan Avrasya Levhası arasındaki etkileşimin bir



Şekil 2- Tsunami dalgalarının ilerlemesi (Cuypers, 2004).



Şekil 3- Pasifiği geçerek Hawaii adaları ve Japonya'da ağır hasara neden olan 1960 Şili tsunamisinin modellenmesi (Koshimura, 2018).



Şekil 4- 11 Mart 2011 Tohoku tsunamisinden etkilenen Higashi-Matsushima şehrinin tsunamiden hemen sonra (solda) ve 5 yıl sonraki (sağda) durumunu gösteren fotoğraflar (Fotoğraf Euronews web sitesinden (<https://www.euronews.com/>) alınmıştır).

6,6) sonrasında Bodrum yarımadasının güney sahilinde gözlenmiştir. Gumbet Körfezi'ndeki küçük kuru dere yatağında dalga yükselmesi yaklaşık 1,9 metre olarak rapor edilmiştir (Yalçın vd., 2017).

Sonuç olarak, tarihsel kayıtlardan bilinen ve arazi araştırmaları ile doğrulanan bilgiler geçmişte meydana gelmiş tsunamilerin kıyılarımızı etkilediğini göstermektedir. Gelecekte deprem, heyelan, sel veya fırtına kadar sık olmasa da, doğa kaynaklı afetler arasında yer alan tsunaminin, kıyılarımız için önemli bir tehlike kaynağı olduğu gerçeği ortadadır. Günümüzde özellikle kıyı bölgelerimizde izlenen yoğun yapılaşma ve sanayi yatırımları ile paralel olarak izlenen nüfus artışı, gerekli önlemler alınmadığı takdirde tsunami tehlikesinin bir afete dönüşmesini kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu nedenle vakit geçirmeden üç yanı denizlerle çevrili ülkemizin kıyılarında tsunami tehlikesini tam anlamıyla ortaya koymak için gerekli bilimsel ve zarar azaltma çalışmaları hayata geçirilmelidir.

Değınilen Belgeler

- Aki, K., Richards, P. 2002. Quantitative seismology. University Science Books, 704 s., Sausalito, CA.
- Altınok, Y. Ersoy, Ş., 2000. Tsunamis Observed on and Near the Turkish Coast. *Natural Hazards*, 21, 185-205.
- Altınok, Y., Alpar, B., Özer, N., Akyurt, H. 2011. Revision of the tsunami catalogue affecting Turkish coasts and surrounding regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 273-291.
- Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 3-30.
- Chock, G., Robertson, I., Kriebel, D., Francis, M., Nistor, I. 2013. Tohoku Japan Tsunami of March 11, 2011 performance of structures. ASCE/SEI Tohoku Tsunami Reconnaissance Report, 366 s.
- Cuyper, K. 2004. Breakwater stability under tsunami attack for a site in Nicaragua. Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands.

Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadıroğlu, F.T., Başarır Baştürk, B., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R.F., Kalafat, D., Karakaya, F., Eroğlu Azak, T., Özel, N.M., Ergintav, S., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A., Kurt, A.İ. 2017. Türkiye Sismotektonik Haritası ve veri tabanı. In: Türkiye Sismotektonik Haritası Ölçek 1:500.000 (Ed. T.Y. Duman). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-34, 139-164, Ankara

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. 1:1.250.000 ölçekli, VI+89s.+bir pafta, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara.

Euronews, https://static.euronews.com/articles/326592/880x495_326592.jpg

Guha-Sapir, D., Below, R., Hoyois, P. 2015. EM-DAT: International Disaster Database. Retrieved from <https://www.emdat.be>

Humanities Lab, A Research Center for the Humanities at American University, <http://aumanitieslab.com/wp-content/uploads/2015/08/tsunami2.jpg>

Koshimura, S. 2018. Tsunami. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 3rd Edition, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 1-10, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11568-4>

Kuran, U., Yalçın, A.C. 1993. Crack propogations earthquakes and tsunamis in the vicinity of Anatolia. in: Fifteenth International Tsunami Symposium (ed. S. Tinti), 1991, Tsunamis in the World, Kluwer Academic Publishers, 159-175, Holland.

NOAA-NGDC, National Oceanic and Atmospheric Administration - National Geophysical Data Center, <https://www.ngdc.noaa.gov/>

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadırov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G. 2006. GPS constraints

- on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.* 111, B05411.
- Soysal, H. 1985. Tsunami (deniz taşması) ve Türkiye kıyılarını etkileyen tsunamiler. İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni, 2, 59–67.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. 1981. Türkiye ve çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (MÖ 2100–MS 1900). TÜBİTAK, TBAG Proje No. 341, İstanbul.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-Slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: *Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation*, K.T. Biddle and N. Christie-Blick (Eds.), *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub.*, 37, 227-264.
- Yalçiner, A.C., Ersoy, Ş. 2005. Depreşim dalgası (Tsunami) tanım ve korunma yöntemleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 438, 18-24.
- Yalçiner, A.C., Annunziato, A., Papadopoulos, G., Doğan, G.G., Güler, H.G., Çakır, T.E., Sözdinler, C.O., Ulutaş, E., Arikawa, T., Süzen, L., Kanoğlu, U., Güler, I., Probst, P. ve Synolakis, C. 2017. 20 Temmuz 2017 (22:31 UTC) Bodrum-Kos depremi ve tsunamisi; Tsunami sonrası yapılan gözlem ve araştırma raporu. 73 s., <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.26703.18081>.

