Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Tsunami Özel Sayısı, 50/2005-4,438

TSUNAMİ MODELLERİ

Ayşen Ergin[1] Can Elmar Balas[2]

[1] *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölüm, Ankara.*
[2] *Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.*

Doğanın karşı konulmaz yıkıcı gücü, zaman zaman çok büyük can ve mal kaybına neden olmakta ve acı sonuçları ile insanlığı sarsmaktadır. 26 Aralık 2004 tarihinde Endonezya'nın Sumatra adasının batı kısmında meydana gelen ve Richter ölçeğine göre 9 büyüklüğündeki deprem, yanlız önemli bir tarihsel deprem olarak kalmamış, denizde yarattığı depreşim nedeniyle oluşan dalgalarla da, Hint Okyanusunun tüm kıyılarına acımazca saldırmış 27 milletten çeyrek milyondan fazla insanın ölümüne neden olmuş ve 12 ülkenin kıyılarında kilometrelerce geniş kıyı bandında yapı ve canlı bırakmamıştır. Bu felaketi yaşayan bu nesil doğal afetler tarihinin en acı örneklerinden birine tanık olmuştur. Bu acımasızlığı nedeniyle Güney Asya depreşim dalgası (tsunamisi), dünyada sosyal, psikolojik, politik, bilimsel değerler için uluslararası ölçekte yeni anlayış ve düzenlemeler gerektiğini de ortaya çıkarmıştır. Doğanın bir parçası olan insan bu ezici güç karşısında ne yapabilir sorusu beraberinde "doğaya karşı değil doğayla birlikte' kavramı ile gündeme gelmiştir. Doğayla birlikteliğin temel kavramı ise doğal olayları bilimsel yöntemlerle anlamak ve açıklayabilmekte odaklanmaktadır. Yıkıcı doğa gücüne karşı koruyucu insan beyninin gücü diye adlandırabileceğimiz bu yaklaşım, insan-doğa etkileşiminde temel yaklaşım olmaktadır.

Özellikle son yıllarda, mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları, karmaşık ve yüksek derecede belirsizlikler içeren deniz mühendisliği problemlerine başarı ile uygulanmaya başlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, yapay sinir ağlarının klasik yöntemlere alternatif olarak uygulanabileceğini ortaya koymuştur [1,2].

DEPREŞİM DALGASI (TSUNAMİ) MODELLERİ

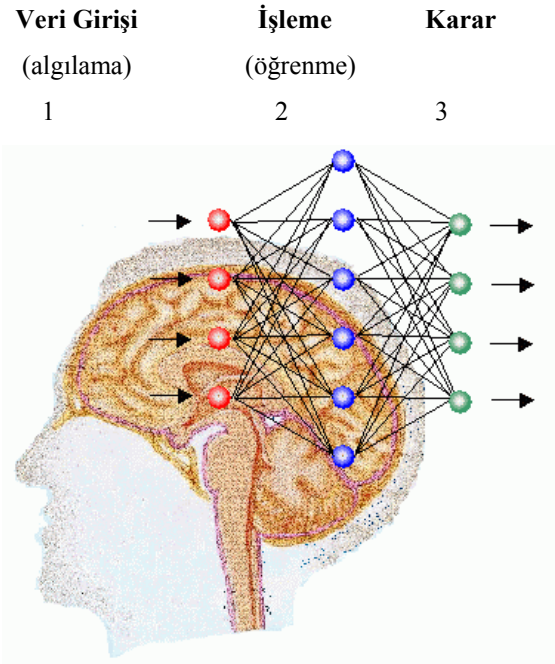
Tsunami ile ilgili bilimsel çalışmalar temelde yer bilimcileri ve deniz mühendislerinin ortak çalışmaları ile bütünleşmelidir. Depremlerin oluşmasına ilişkin çalışmalar yerbilimcilerin alanına girerken, deniz mühendisliğinin tsunami üzerine bilimsel çalışmaları ise üç ana modelde toplanabilir:

1- **Tsunami Tahmin Modelleri:**
2- **Tsunami Senaryo Modelleri**
3- **Yapısal Hasar ve Risk modelleri:**

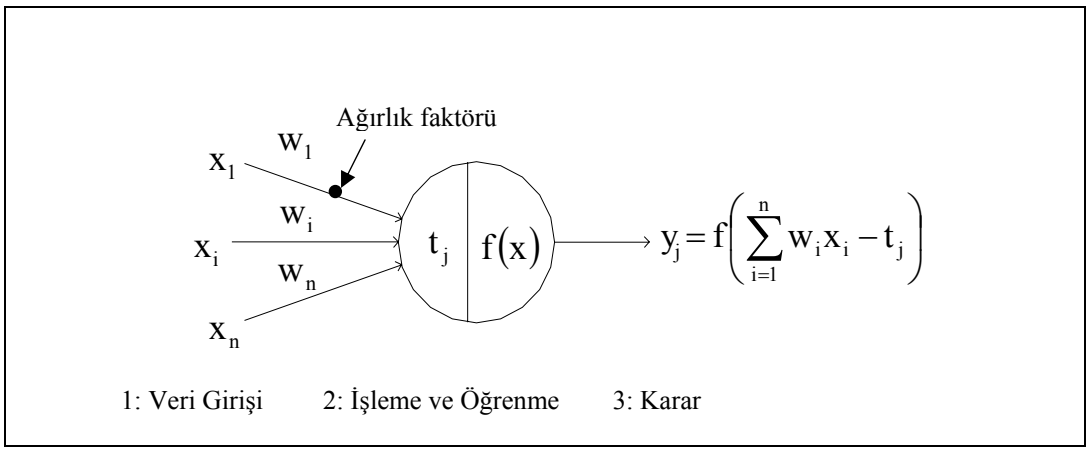
1-**Tsunami Tahmin Modelleri:** Bu modeller, tsunami oluşma olasılığını verecek modellerdir. Tsunami yaratabilecek bir depremin oluşma olasılığı ancak geçmiş deprem kayıtlarına dayanarak yapılacak tahminlerle bulunabilir. Bunun için istatistiksel tahmin modelleri kullanılabilir.

Yazarlar, **dünyada ilk kez yapılan bir çalışma ile** yapay zeka tekniklerinden "Yapay Sinir Ağları" kullanarak bir tsunami tahmin modeli geliştirmişlerdir. Yapay zeka, insan beyninin algılama, değerlendirme, alternatif sonuçlar üretme ve karar verme davranışlarını taklit eden sistemler bütünüdür. Matematik modeller olarak geliştirilen bu bütünleşik sistemde, alt yapı sistemleri, örneğin algılama değerlendirme gibi, çok bilinmeyenli matematik sistemler olarak oluşturulur.

Yapay sinir ağları esas olarak biyolojik nöronların basitleştirilmiş bir şekilde matematiksel olarak modellenmesine dayanmaktadır. Biyolojik ve yapay sinir hücreleri arasındaki benzeşim (Çizim 1 ve 2), hücreler arasındaki bağlantılar (hücreye gelen ve hücreden çıkan uyarılar) akson ve dendritlere; ağırlık faktörleri (w_i) sinapslara ve sınır değerler (t_j) hücre içi kararlılık haline karşılık gelecek şekilde oluşturulmaktadır (Çizim 3).



Çizim 1. Beynin çalışma sistemi



Çizim 2. Yapay sinir hücresinin matematiksel modeli

Yapay sinir hücresinde, öncelik ve önemine (ağırlık faktörü) bağlı olarak (w_1, $w_2..w_n$) hücreye gelen veriler (uyarılar: x_1, $x_i..x_n$) hücre içi denge durumu veya sınır değer (t_j) de dikkate alınarak doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu [f(x)] yardımıyla çıktı şeklinde kararlara (y_j) dönüştürülür. Yapay sinir hücrelerinin genellikle katmanlı bir yapı gösterecek biçimde birbirine bağlanmasıyla yapay sinir ağları meydana getirilir ve yapay sinir hücreleri arasında kurulan bağlantılara ait ağırlık faktörlerinin, verilerle uyumlu olacak şekilde değiştirilmesi benzer şekilde biyolojik "öğrenme" sürecine karşılık gelir.

Yapay sinir ağları kullanımındaki aşamalar bir akış şeması ile gösterilebilir (Çizim 3). Bu modelde, ilk aşama mevcut verilerin sisteme girilmesi, ikinci aşama ise yapay beynin (matematik beynin) eğitimidir (öğrenme aşaması). Buna göre, beynin girdilerle (veri) çıktılar (sonuç) arasındaki ilişkiyi insan beynine benzer şekilde matematiksel olarak denklem silsileleri ile kurması sağlanır. Son aşama ise, beynin öğrendiği matematiksel ilişkilerle ileriye dönük tahmini (karar) mevcut verilere dayanarak yapmasıdır. Bu tahmin çıktıları (karar) mevcut verilere (girdi) dayanılarak yapıldığı için, tahmin değerlerinin güvenilirliği sağlanmış olur.

Çizim 3. Yapay Sinir Ağları Modeli Akış Şeması

Yapay sinir ağları çok karmaşık matematik modelleri, çok sayıda parametrenin bu modellere doğru tanımlanarak verilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, yapay sinir ağlarının kullanımı ile model üretmek çok zordur ve deneyim gerektirmektedir.

Tsunami tahmini için yazarlarca geliştirilen bu yapay zeka modeli ile, Marmara Denizi'ndeki mevcut tsunami verilerine dayanarak, bu denizde yüz yıllık bir yinelenme dönemi ile oluşabilecek 1 şiddetindeki (Sieberg Sismik Deniz Dalgası Ölçeği ile) tsunaminin kıyıda yaratacağı dalga yüksekliği 3 metreden daha düşük

olacağı tahmin edilmiştir. Bu dalga oluştuğu bölgedeki kıyı şekillerine, deniz tabanı ve kıyı alanı eğimlerine bağlı olarak daha büyüyebilir ve karada içerilere yayılabilir.

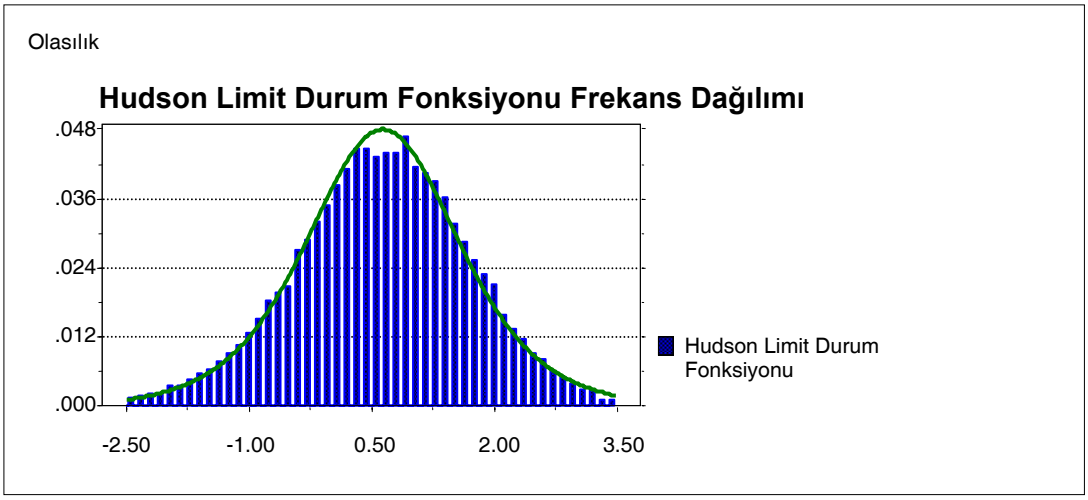
2- Tsunami Senaryo Modelleri: Oluşma olasılığına göre (örneğin 50 yılda bir, 100 yılda bir gibi) tahmin edilen tsunamilerin oluşma, yayılma, kıyılara ulaşma ve kıyıya ulaştığında karada ne kadar içerilere doğru ilerleyeceği matematiksel modellerle belirlenebilir [3].

Depreşim dalgasının hareketi, derin denizde küçük genlikli dalga teoresine göre çıkarılan dalga denklemlerinin, başlangıç değer problemi şeklinde sayısal yollarla çözülmesi, sığ su derinliğinde ise (30 metreden küçük derinliklerde) taban sürtünmesi de gözetilerek, sayısal çözümün kıyıya kadar devam ettirilmesi amaçlanmaktadır. Bu modeller denizdeki depreme (büyüklüğüne, konumuna ve tipine) bağlı olarak, su düzeyi değişimine ilişkin verileri girdi olarak alıp, işleyebilmekte ve **kıyılara ne zaman ve ne biçimde ulaşabileceği** konusunda bilgiler üretmektedir. 26 Aralık 2004'de kuzey Sumatra tsunaminisinin dağılımı ve ilerleme süreleri ODTU İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezinde geliştirilmiş olan matematik modelin çıktısı bu sayı içinde Yalçıner ve diğ. (2006)'de gösterilmiştir.

3- Yapısal Hasar ve Risk modelleri: Tsunami kıyı bölgelerinde depremin şiddetine ve kıyı şekillerine ve deniz tabanı eğimine baplı olarak can kaybına ve büyük hasarlara neden olabilmektedir. Kıyı alanları sundukları ekonomik potansiyel nedeni ile yoğun yerleşim merkezleridir. Kıyı alanlarındaki deniz yapıları (limanlar, iskeleler, kıyı koruma yapıları, dalgakıranlar) tsunami etkisi ile yıkılmalarına neden olacak kadar büyük hasar görebilirler.

Bu yapıların onarımı veya yeniden inşası ise çok büyük yatırımları gerektirdiği için ülke ekonomisine darbe vurabilir. Liman ve dalgakıranların yıkılması aynı zamanda ulaşım zincirinin kopmasına neden olur. Son 26 Aralık 2004 tarihli Hint Okyanusu tsunamisi kıyılardaki yoğun yerleşim nedeni ile büyük can ve mal kaybına yol açmıştır. Bu kıyıların yeniden yapılaşması onlarca yıllık bir süreyi ve çok büyük bir yatırımı gerektirecektir. Yazarların bu konuda yaptıkları özgün çalışma ile "**Tsunami Hasar Riski Modeli**"ni geliştirmişlerdir. Bu model ile, bir deniz yapısının rüzgar dalgaları ve dünyada ilk kez tsunami etkisi altındaki yıkılma riski **Monte Carlo benzeşimleri** kullanarak elde edilmiştir. Bu benzeşimlerde doğada oluşabilecek tsunamilerin yapısal etkileri bilgisayar ortamındaki deneylerle binlerce kere tekrarlanmakta ve yapısal risk belirlenmektedir.

Geliştirilen model yardımıyla, İstanbul'un halen en önemli ikmal merkezlerinden ve Türkiye'nin en önemli ticari limanlarından biri olan Haydarpaşa Limanı ana dalgakıranının güvenirliği, yapının dayanımı ile birlikte yapıya etkiyebilecek rassal yüklerin bileşik etkisi gözetilerek hesaplanmıştır. Bu çalışmada Hudson Limit durum Fonksiyonu kullanılarak 30000 kez tekrarlanan bileşik rassal yükler (dalga, tsunami gibi) altında dalgakıranın yıkılma riski hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları Çizim 4'da, yıkılma olasılığına karşı Hudson Limit durum fonksiyon değerleri olarak verilmiştir. Bu çizimde limit durum fonksiyonunun negatif değerleri yıkım riskini vermektedir. Buna göre, Marmara Denizi'nde 3 m dalga yüksekliği yaratacak bir tsunaminin (yinelenme dönemi 100 yıl) de katıldığı birleşik rastsal yüklerin etkisi altında, Haydarpaşa Limanı dalgakıranlarındaki yıkılma riskinin %10 düzeyinde kalacağı belirlenmiştir [6].



Bu üç model bütünleşik olup, Yapay Sinir Ağları ile tsunami tahmini ve yapısal risk analizi ilk defa Türkiye'de yazarlarca geliştirilmiştir. Tsunami senaryo modeli ise, dünyada geliştirilmiş ilk üç model arasına girmektedir. Dolayısı ile Türkiye bu modellerin tümüne sahip olan ender ülkelerden biridir. Bir deprem kuşağında olan ülkemizde, Anadolu ve çevreleyen denizlerdeki fay hatları, tsunami oluşumuna elverişli özellikler göstermektedir. Türkiye kıyılarındaki tsunamiler konusunda, geliştirilen bu modeller yardımıyla bir "uzman bilgi sistemi" kurulmasının önemi ortaya çıkmıştır. Bu nedenle son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalarda yer, deniz ve atmosfer bilimleri araştırmacıları bu konuda ağırlıklı olarak çalışmalarını sürdürmektedirler.

TSUNAMİ GÖZLEMLERİ

Hint Okyanusu Depreşim Dalgasının Kuzey Sumatra'da İzleri

26 Aralık 2004 tarihinde Endonezya'nın Sumatra adasının batı kısmında meydana gelen ve Richter ölçeğine göre 9 büyüklüğündeki deprem, kendi adına önemli bir tarihsel deprem olarak kalmamış, denizde yarattığı depreşim nedeniyle oluşan dalgaların, Hint Okyanusunun tüm kıyılarına acımazca saldırmış ve 12 ülkenin kıyılarında kilometrelerce geniş kıyı alanında yapı ve canlı bırakmamıştır.

Depreşim dalgasının (tsunami) etkilerini bilimsel olarak yerinde incelemek üzere Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçıner başkanlığında Prof. Dr. Şükrü Ersoy ve Prof Dr. Doğan Perinçek'le birlikte UNESCO IOC (Uluslararası Okyanus Komisyonu) örgütünün de desteği ile oluşturulan Uluslararası Tsunami Araştırma Grubu, Endonezya Hükümetinin daveti ile 16-31 Ocak 2005 tarihleri arasında Sumatra adası ve kuzeybatı kıyısında yeralan Meulaboh ve Çalang şehirleri arasındaki kıyı bölgesinde, Medan kenti ve Simeulue adası kıyılarında bilimsel incelemeler yapılmıştır. Yerli halkla ve tanıklarla yapılan görüşmeler ve incelemelerde, deprem ve depreşim dalgalarının karakteri belirlenmiş ve tsunami etkisi ile hem limanlar hem de kıyıya yakın olan tüm köprülerin yıkılmış olduğu; kıyıdaki dolum tesislerinin, havalanı gibi önemli altyapı tesislerinin büyük zarar gördüğü ve içme suyu ile atık su şebekesinin yok olduğu saptanmıştır. Yapılan gözlemler ve ölçümlerde, depreşim dalga yüksekliğinin kıyının şekline bağlı olarak 3 metre ile 20 metre arasında değiştiği gözlenmiştir.

Deniz kıyıdan 5 km kadar içeriye girerek bereketli toprakları çamur alanlarına çevirmiş ve etkili olduğu bu kıyı şeridindeki bitkileri deniz suyundaki tuz nedeniyle kurutmuştur. Bazı kıyılar yükselirken bazı kıyılarda da kalıcı olarak çökmüştür (Fotoğraf 1).

TSUNAMİ ERKEN UYARI SİSTEMİ

Bir deprem kuşağında bulunan ülkemizde yapılacak bilimsel çalışmaların ışığında, medyada ve ilköğretim düzeyinden itibaren tüm öğretim kurumlarında bilgilendirme çalışmalarına başlanmalıdır. Bu çalışmaların başarılı olabilmesi ancak; üniversitelerin, ilgili kamu ve yerel kuruluşların ve gönüllü kuruluşların bütünleşik çalışması ile mümkündür. Tsunami bilgilendirmesi ve alınacak önlemler için bir ortak politika geliştirilmelidir. Bu çalışmalar, can kaybını çok büyük ölçüde önleyecektir. Tsunami erken uyarı sistemine örnek olarak, 19 Ocak 2005 günü Japon Hachijyo Adası'nın 230 km doğusunda (06:10 GMT'de) 6.8 büyüklüğünde oluşan depremin, Pasifik Okyanusu Japon İzu Adaları zincirinde 50 cm yüksekliğinde tsunami yaratacağı hesaplanması verilebilir. İzu Oşima Adasında bulunan "Doğal Afetleri Önleme ve Korunma Merkezi" depremden hemen sonra açık alanlarda "Tsunami Erken Uyarı Sistemi" için kurulmuş hoparlörlerle halkı kıyılardan uzaklaşarak yükseklere çıkmaları için uyarmıştır.

Ülkemiz kıyılarında tsunaminin kıyıya ulaşma süresi depremin denizdeki merkez üssünün konumuna bağlı olarak dakikalarla sınırlı olabilir. Tsunaminin ölümcül etkilerini önlemek için, bilimsel çalışmaların ışığında Türkiye kıyılarında çok pahalı olan erken uyarı sistemlerinin yerleştirilmesi gereken tsunami riskinin yüksek olduğu yerlere doğru karar verilmeli ve bu çalışmalara da hızla başlanmalıdır. Bu çalışmaların başlangıç noktası ise ülkemizin tüm kıyıları için bilimsel olarak hazırlanacak **tsunami risk haritalarıdır (TRH)**.

SONUÇ

Doğadaki olayların nedenlerini anlamak, sonuçlarını görebilmek ve "doğaya karşı değil doğa ile birlikte" ilkesinin ışığında doğanın bize sunduğu kaynaklardan yararlanmak ancak bilimsel bir yaklaşımla gerçekleşebilir. İnsan beynini örneklemeye çalışan modellerin yardımıyla yapılan bilimsel çalışmalar ilerisi için büyük bir ümit vadetmektedir. Bu bağlamda yapay zeka modelleri çok önem kazanmaktadır. Belirtilen modellerle oluşabilecek doğal felaketlerin, örneğin depremlerin ve tsunamilerin tahminini yaparak ülkemiz tüm kıyıları için tsunami risk haritalarının hazırlanması ve gerekli önlemeleri alabilmek için de, bu haritalar ışığında erken uyarı sistemlerinin en doğru biçimde yerleştirebilmesi gerekmektedir. İnsan, beynin çalışma sitemine benzer modeller üreterek kendi geleceğini koruma altına alma çabasındadır.

Bütün insanlığı sarsan bu büyük felakatler hem bilimsel araştırmaların önemini vurgulamakta, hem de uluslarası yardımlaşma, paylaşma gibi evrensel değerlerin önemini ortaya koymaktadır. Binlerce kilometre ötedeki insanların acısını paylaşmak ve yardım elini uzatmak, yanlızca sosyal platformlarda değil, bilim adamlarının oluşturacağı ortak platformlarla güç kazanacağı olgusunun geliştirilmesi ile sağlanabilir.

(a)

(b)

Fotoğraf 1. Endonezya'da Bande Aceh kıyısının tsunamiden (a)önceki (b)sonraki durumu [7].

Kaynaklar

[1] *Balas C.E., Koç L., Balas L.,(2004), "Predictions of Missing Wave Data by Recurrent Neuronets", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Cilt 130, No 5, sayfa: 256-265.*

[2] Erdurmaz, M. S., (2001), "Neural Network Prediction of Tsunami Parameters in the Aegean and Marmara Seas", A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University Ankara.

[3] Yalçıner, A.C., Alpar B, Altınok Y, et al. (2002). Tsunamis in the Sea of Marmara - Historical documents for the past, models for the future, Marine Geology, 190 (1-2): 445-463.

[4] Yalçıner, A.C. (1994). "Denizin Kıyıya Taşıdığı Felaket: Tsunami" Bilim ve Teknik, TÜBİTAK,Ekim Sayısı 48-56.

[5] Taymaz T. Yolsal S. Tan O. Yalçıner, A.C. Karakuş H., Özer C., (2005). "Bizde de Olur mu?" Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Ocak 2005 Sayısı 48-56.

[6] Ergin A., Balas C.E.,Williams A.T. (2006) "Reliability-based RiskAssessment of Rubble Mound Breakwaters under Tsunami Attack" Journal of Coastal Research SI (baskıda).

[7] Digitalglobe Fotoğraf Galerisi, http://www.digitalglobe.com/tsunami_gallery.html