

İSTANBUL BOĞAZI RİSK HARİTASI

Emre N. OTAY
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

Şafak ÖZKAN
Cornell Üniversitesi
Ithaca-NY, ABD

ÖZET

İstanbul Boğazı'ndaki gemi trafiği, rassal yapısı ve olayı kontrol eden fiziksel etkenler gözönünde bulundurularak matematiksel yöntemlerle modellenmiştir. Modelde Boğaz'ın coğrafi yapısı, akıntıların rassal dağılımı, gemi geçiş istatistikleri, gemilerin boyutları, ve pilotaj hataları gözönüne alınarak, her iki yönde seyreden gemilerin rassal pozisyon dağılımları, çarpışma, oturma ve bindirme olasılıkları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar eşliğinde İstanbul Boğazı'ndaki transit gemi trafiği için kaza olasılıklarının coğrafi dağılımını gösteren risk haritaları oluşturulmuştur. Çarpışma, karaya oturma ve sahile vurma için ayrı ayrı yapılan model çalışmaları sonucunda pilotaj kabiliyetinden bağımsız olarak kaza riskinin yoğunlaştığı bölgeler tespit edilmiştir.

GİRİŞ

Boru hattı ile Baku'den Ceyhan'a bir varil petrolün taşıma maliyeti 1-2 Amerikan Doları iken, aynı noktalar arasında denizden tanker ile taşıma 20 cent'in altına malolmaktadır (Brito, 2000). Bu nedendir ki, aradaki deniz yolu üzerinde kalan İstanbul Boğazı (yazıda bundan böyle "Boğaz" olarak adlandırılacaktır), Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı'nı içine alan Türk Boğazları "*daha ucuz bir boru hattı*" görünümündedir. Son rakamlara göre yılda 50,000 gemi Boğaz'dan transit geçiş yapmakta olup, bunların 4,500 tanesi yanıcı ve/veya patlayıcı madde taşıyan tankerlerdir. Karadeniz limanlarından çeşitli türde akaryakıt yükleyen ticari bandıralı tankerler, bu değerli yüklerini Boğaz'dan geçerek Akdeniz üzerinden dünya pazarlarına taşırlar.

Bugüne kadar Boğaz 200'ü aşan sayıda deniz kazası geçirmiştir. Bu kazalar çarpışma, karaya oturma, karaya bindirme ve yangın şeklinde oluşmuştur. Oğuzülgen (1995) Boğaz'daki kazaların nedenlerini şu şekilde açıklamaktadır:

- Pilotaj eksikliği
- Boğaz'ın doğal yapısı
- Yüzey akıntıları
- Kısıtlı görüş mesafesi
- Yerel şartlar
- Gemideki mekanik arıza ve teknik yetersizlikler

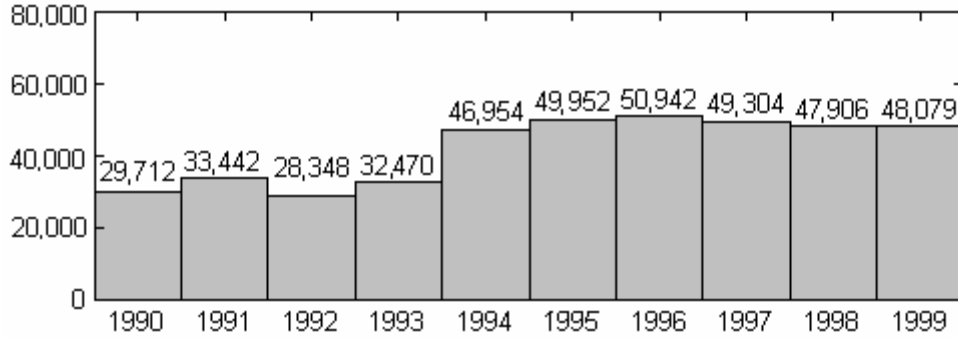
Yukardaki nedenler genel olarak dar su yollarında kaza riskini farklı mekan ve şartlarda, farklı derecelerde etkilemektedirler. Diğer bir deyişle, kaza belli yer ve zaman için deterministik olarak tahmin edilememektedir. Buradan yola çıkarak, dar su yollarındaki gemi kazalarını modelleyebilmek için Otay ve Tan (1998) kaza nedenlerini belirli olasılık dağılımlarına sahip rassal bilinmeyenler olarak tanımlamışlardır. Şu andaki çalışmanın amacı ise Boğaz'daki kaza riskini yüzey akıntıları, gemi boyutları, gemilerin manevra özellikleri ve kaptanların pilotaj kabiliyetlerini de hesaba katacak şekilde matematiksel olarak modellemek, analiz ve tahmin etmektir.

YÖNTEM

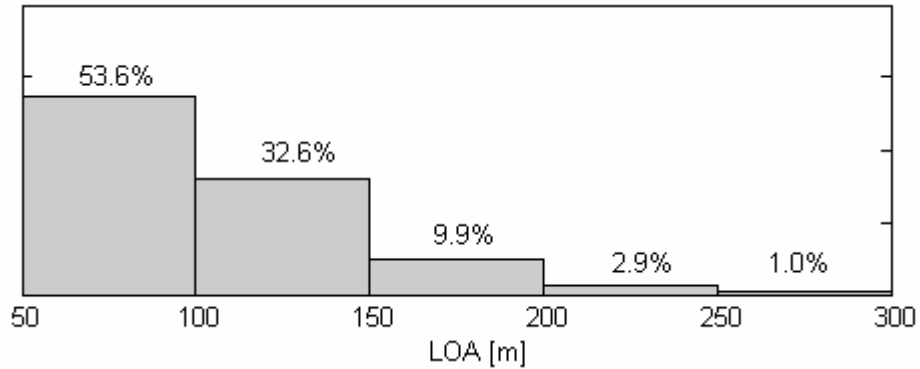
Özkan (2003) gemilerin yüzey akıntısının da etkisiyle rotadaki veya rota dışındaki hareketlerini üç derece uzaysal serbestlik içeren akım denklemlerini çözerek hesaplayan bir otopilot geliştirmiştir. Geminin manevrası pilotaj kabiliyetine göre mükemmelden hatalı sürüşe kadar değişen mümkün olduğunca gerçekçi bir dağılımda incelenmiştir. İdeal rotadan sapmalara yolaçan bu dağılım sonucunda Boğaz boyunca belirlenen kesitlerde gemilerin pozisyon dağılımları hesaplanmıştır. Tek bir gemi için yapılan bu hesaplar daha sonra geçiş yapan tüm gemileri ve akıntı dağılımlarını kapsayacak şekilde bir rassal süreç modeliyle hesaplanmıştır. Bunun sonucunda elde edilen pozisyon dağılımları sığılık veya karşılıklı çarpışma noktaları için karaya oturma ve çarpışma olarak belirlenmiştir. Tüm bu veriler eşliğinde Boğaz'daki kaza olasılığının coğrafi dağılımı bulunmuştur.

Mevcut Trafik Yüğü ve Kaza İstatistikleri

Boğaz'daki mevcut transit trafik yükünü inceleyen Gören (2002), yılda geçen gemi sayısını 1990-1999 yılları için Şekil 1'de, gemi tam boylarının (LOA) dağılımını ise 1996-1999 yılları için Şekil 2'de vermiştir. Şekil 1'deki transit gemi sayısında 1994'te ani bir büyüme göze çarpmaktadır.



Şekil 1. Boğaz'dan transit geçen yıllık gemi sayıları (Gören, 2002)

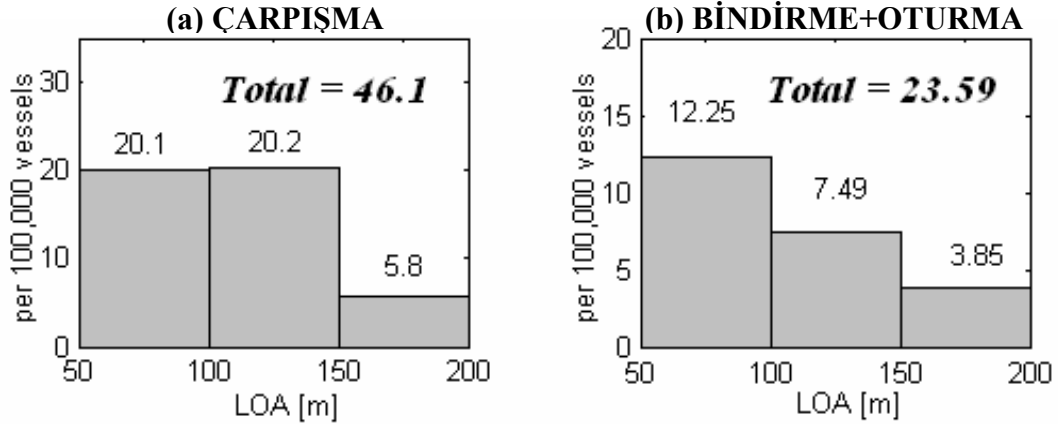


Şekil 2. Boğaz'dan 1996-1999 arası transit geçen gemilerin boy dağılımı (Gören, 2002)

Denizcilik dilinde *kaza* sözcüğü geminin normal hareketini bozan çarpışma, bindirme, oturma, yangın ve mekanik arıza gibi olaylara denmektedir. *Çarpışma* iki geminin birbirlerine temas etmesi, *bindirme* geminin rıhtım, iskele, kıyı, duvar veya bina gibi sabit bir nesneye çarpması, *oturma* ise gemi gövdesinin dibe değmesi olarak tanımlanır.

Gören (2002)'in raporladığı Boğaz kazalarının (çarpışma-bindirme-oturma) gemi boylarına göre dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre transit geçen her 100,000 gemiden

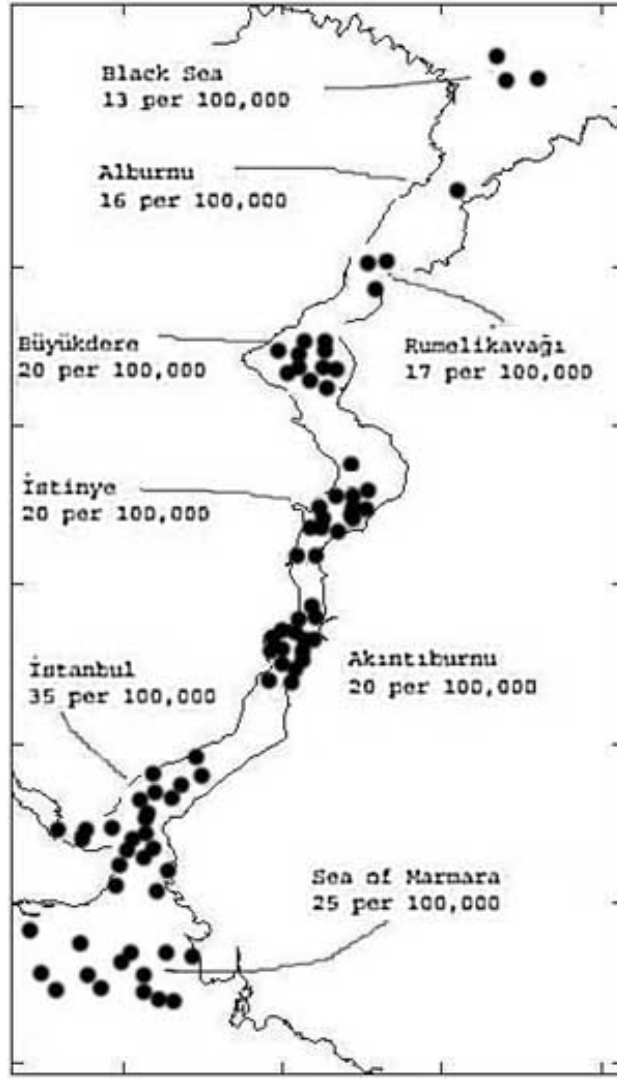
46 tanesi çarpışma, 23 tanesi de bindirme veya oturma yoluyla kazaya maruz kalmıştır. Adet olarak küçük gemilerin büyüklere göre daha fazla kaza yaptığı görülmektedir.



Şekil 3. Boğaz'daki 1991–1999 arası olan kazaların gemi boylarına göre dağılımı. (a) Çarpışma; (b) Bindirme + Oturma. (Gören, 2002)

Kornhauser ve Clark (1995) geçmiş yıllarda Boğaz'da meydana gelen kazaların coğrafi dağılımını Şekil 4'te vermiştir. Buna göre yoğunlaşma olan yerler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Boğaz'ın Karadeniz ve Marmara giriş - çıkışları
- Eminönü – Karaköy – Kadıköy arası (yerel trafiğin yoğun olduğu güzergahlar)
- Akıntıburnu
- İstinye
- Büyükdere
- Rumelikavağı
- Alburnu

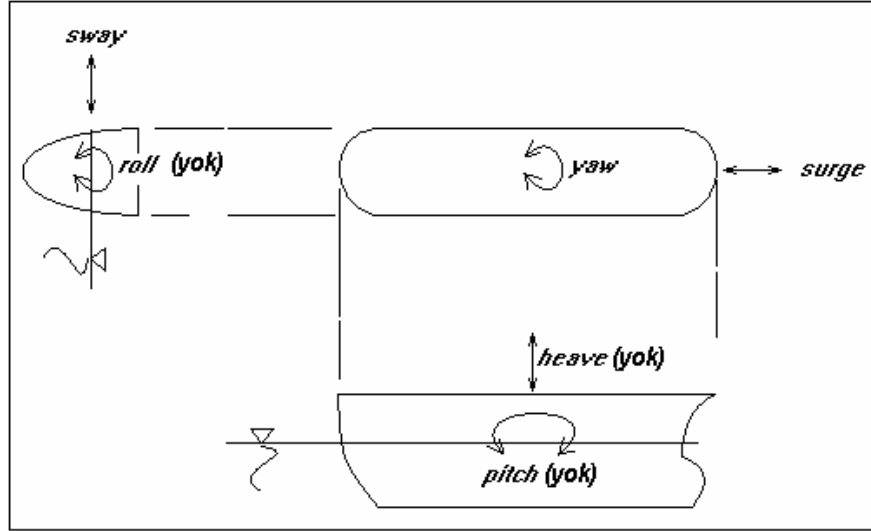


Şekil 4. Geçmişteki Boğaz kazalarının coğrafi dağılımı (Kornhauser ve Clark, 1995)

Gemi Hareket Modeli

Rotası üzerinde ilerlerken yüzey akıntısına maruz kalan bir gemi rijid bir kütle olarak kabul edildiğinde, altı uzaysal serbestiye sahiptir (Şekil 5). Bunlar surge (ileri-geri hareket), sway (yanal ötelenme), heave (dalıp çıkma), roll (yalpa), pitch (baş-kıç vurma), ve yaw (dervişleme) hareketleridir.

Baş-kıç vurma, yalpa ve dalıp çıkma daha çok rüzgar ve dalganın etkisiyle oluştuğu için dar bir boğazda hız limiti altında seyreden gemileri fazla etkilemezler. Bu nedenle de mevcut modelde sadece ileri-geri hareket, yanal ötelenme ve dervişleme serbestileri kullanılmıştır.



Şekil 5. Modelde kullanılan ve kullanılmayan hareket serbestlikleri

Gemi hareket denklemlerini çözebilmek için gövdeye etki eden hidrodinamik kuvvetlerin, dümen ve pervane kuvvetlerinin matematiksel olarak modellenmesi gerekmektedir. Ne var ki, yüksek Reynolds değerlerinde oluşan turbulans çözümü güçleştirmektedir. Bu zorluklardan dolayı, mevcut modelde bir takım teorik ve deneysel bulgulardan yararlanılarak differansiyel denklemler sadeleştirilme yoluna gidilmiştir.

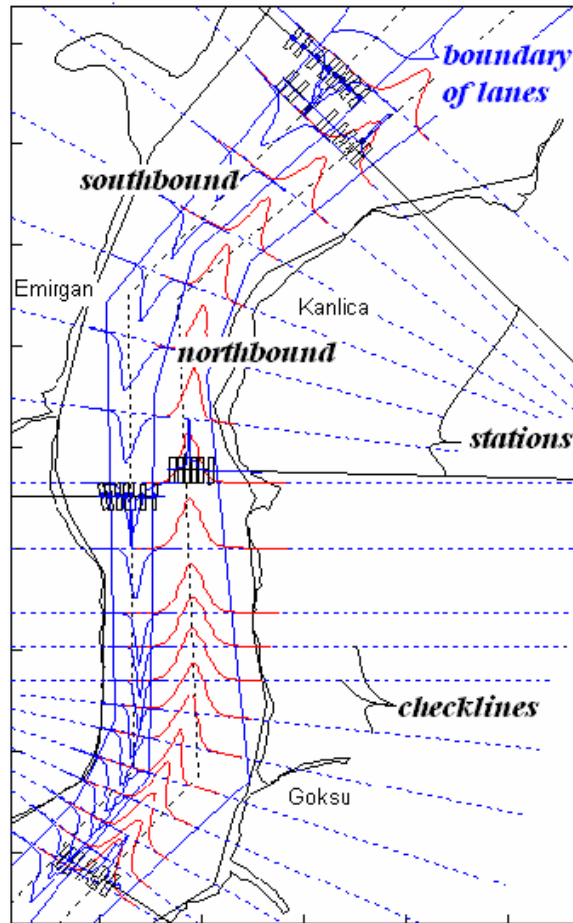
Transit Trafik Modeli

Boğaz'daki transit gemi geçişleri 1994 yılında yürürlüğe giren uluslararası bir düzenlemeyle iki şerit üzerinden yapılmaktadır. Modelde de gerçek şeritlerin koordinatları kullanılarak, gemilerin kendilerine ayrılan rotayı takip edecek şekilde bir dizilimle Boğaz'a giriş yapmaları sağlanmıştır. Geminin akıntı ve pervane kuvvetleri altında hareketi, dümenin gemi rotasını orta şeritte tutmaya çalışacak şekilde verdiği tepkilere göre hesaplanmıştır. Seyir esnasında görülen pilotaj hatalarını modellemek için ise dümene ideal matematiksel çözümden değişik ölçülerde sapan tepkiler verecek şekilde bir otopilot tasarlanmıştır. Bu hatalar pilotun reaksiyon süresi ve dümen açısının idealden sapma derecesi olarak sayısallaştırılmıştır.

Modelde yüzey akıntılarının dağılımı rassal bir süreç olarak tanımlansa da Boğaz'a uygulama testlerinde tipik sınır şartları altında Örs (1998) tarafından sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanmış tipik bir akıntı dağılımı kullanılmıştır.

Öncelikle gemiler boylarına göre bir olasılık dağılımı içinde Boğaz'a giriş yaparlar. Gemilerin Boğaz boyunca önceden belirlenmiş istasyonlar arasında akıntılara maruz kalarak izledikleri yol, gemi dağılımının içindeki her ayırık gemi grubu için hareket denklemlerinin sürekli şekilde çözülmesiyle hesaplanır. Daha sonra bu istasyonlarda enkesit üzerindeki gemilerin sayısal dağılımları ayrıştırılır. Diğer bir deyişle, Boğaz boyunca ilerleyen gemilerin bir enkesit üzerindeki rassal pozisyon dağılımı, matematiksel bir algoritma ile bir sonraki enkesite taşınır (Şekil 6).

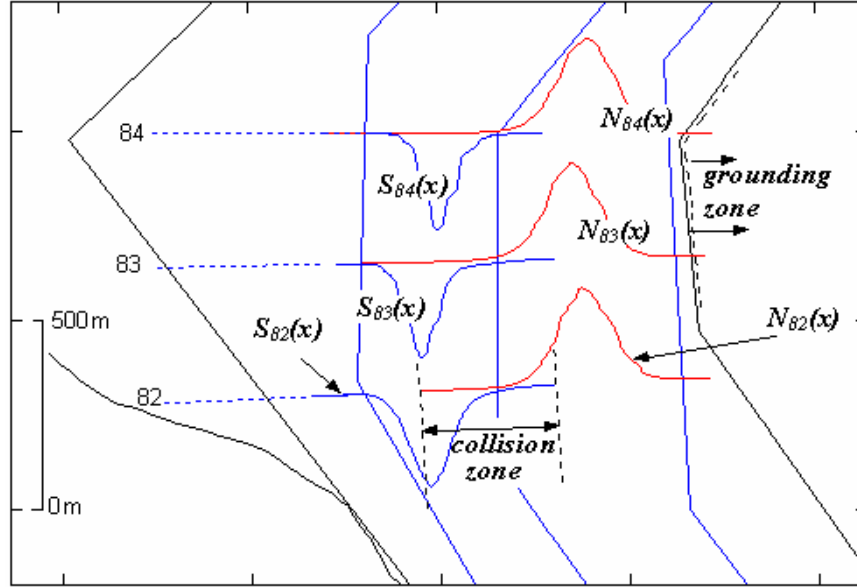
Modelde kullanılan rassal değişkenler gemi boyu, pilotaj hatası ve gemilerin pozisyonudur. Pilotaj hatasının sıfır olması, o andaki akıntının gemi üzerindeki etkisinin otopilot tarafından doğru algılanıp, gerekli rota değişimiyle tepkilendirilmesi anlamına gelir. Bu ideal durumdan sapan her türlü rota değişimi gemilerin enkesit üzerinde farklı dağılımlar göstermesine neden olur.



Şekil 6. Kuzey ve güney yönünde ilerleyen gemilerin Boğaz boyunca enkesitler üzerinde hesaplanmış pozisyonlarının olasılık dağılımları (125 m boyundaki gemiler için)

Kaza Modeli

Kaza modeli, geri kalan kısımdan bağımsız olarak çalışan bir post-processing ünitesidir. Trafik modelinde Boğaz boyunca her iki yönde seyreden gemilerin enkesitler üzerindeki bulunma olasılıkları hesaplanmıştır. Bu dağılımlarda aynı noktada hem kuzeye hem de güneye giden gemi bulunma olasılığı sıfırdan büyükse, o kesitte karşılıklı gelen gemilerin çarpışma olasılığı var demektir (Şekil 7). Benzer şekilde, bindirme ve oturma olasılıkları da pozisyon dağılımlarının Boğaz'ın Doğu ve Batı kıyılarındaki sığlık alanlarla (derinlik < 10m) örtüşme olasılığından hesaplanır. Böylece sırasıyla her kesitte hesaplanan kaza olasılıklarının Boğaz boyunca dağılımı çizildiğinde, farklı gemi boyları ve kaza türleri için *risk haritaları* elde edilmiş olur.



Şekil 7. Her iki yönde seyreden gemilerin enkesitlerdeki pozisyon dağılımları ve kesişme alanlarından hesaplanan kaza olasılıkları

BULGULAR

Çarpışma, karaya oturma ve sahile vurma için ayrı ayrı yapılan model çalışmaları sonucunda pilotaj kabiliyetinden bağımsız olarak kazaların Boğaz'ın belli noktalarında yoğunlaştığı görülmüştür. Şekil 8'de Boğaz'ın gemi çarpışmalarına göre hesaplanan risk haritası ve aynı şeklin içinde her 100,000 gemi için çarpışma olasılıklarının yaklaşık 35

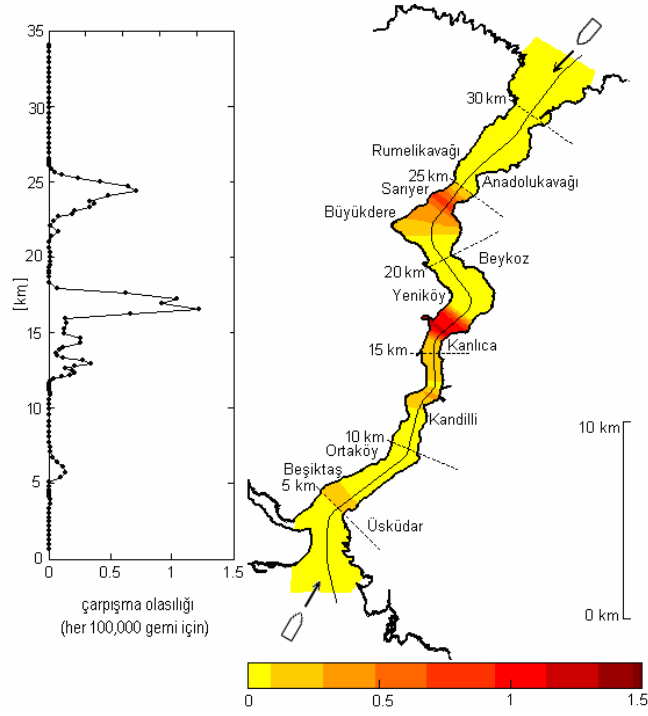
km'lik Boğaz aksı boyunca dağılımı görülmektedir. Şekil 9 ise sahile vurma ve karaya oturma olasılıklarını içeren risk haritasını göstermektedir.

Türlerine göre kazalar karşılaştırıldığında, çarpışma sonucu oluşan kazaların sahile bindirme ve karaya oturma şeklinde oluşan kazalara oranla daha sık olduğu görülmektedir.

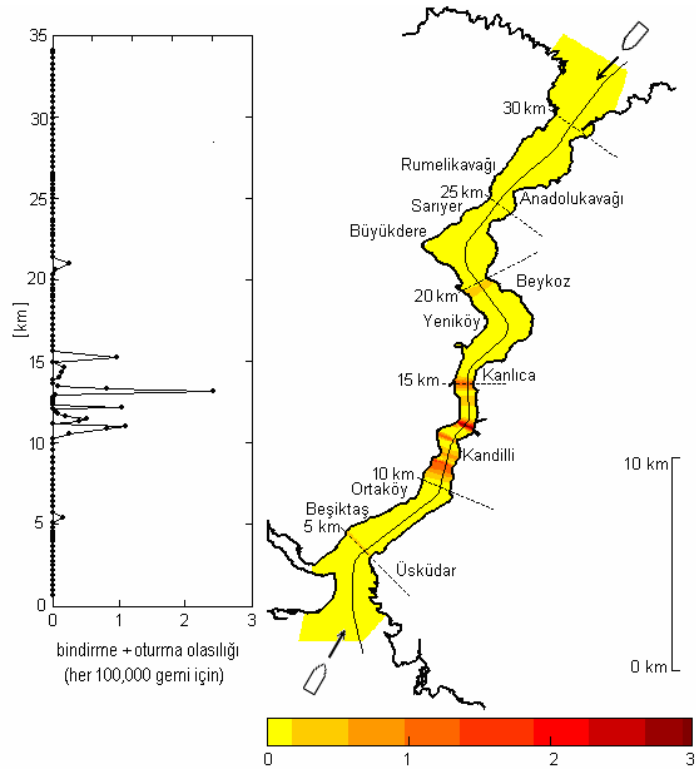
Farklı gemi boyları için yapılan model çalışmaları raporlanan kaza istatistiklerinde olduğu gibi (Şekil 2) küçük gemilerin daha sık kaza yaptığını ortaya koymuştur. Diğer ilginç bir bulgu da güneye doğru seyreden gemilerin kuzeye gidenlere oranla daha çok kazaya neden olmalarıdır. Akıntıyla birlikte hareket eden gemilerin daha zor dümen tutmasından kaynaklanan bu sonuç otopilot modelini de bir bakıma doğrulamaktadır.

Geçmiş kazaların coğrafi dağılımı (Şekil 4) model bulgularıyla karşılaştırıldığında (Şekil 8 ve 9) 13. ve 17. kilometreler dışında oldukça benzer bir dağılım görülmektedir. Bu noktalarda herhangi bir geçmiş kaza kaydı olmamasına rağmen, model yüksek kaza riski tahmin etmektedir. Bu noktalardan 17. kilometrede Kornhauser ve Clark (1995) istatistiklerinde herhangi bir kaza gözükmezken, daha sonra 2002 yılında Gotia isimli bir gemi Emirgan iskelesine bindirmiş ve Boğaz'da petrol kirliliğine yolaçmıştır (Otay ve Yenigün, 2003). Bu örnekte de görüldüğü gibi sistem parametrelerinin zaman içinde değiştiği doğrusal olmayan rassal süreçlerde geleceği salt eski bilgilerde aramak yanıltıcı olabilmektedir. Buradaki gibi bir sistem modeli geleceğe daha çok ışık tutabilmektedir.

Boğaz'ın Kuzey ve Güney giriş-çıkışları model kapsamı dışında bırakıldığından buralardaki kazalar modelde tahmin edilememiştir. Geçmişte buralarda gözlemlenen pek çok kazanın nedeni pilotaj hatasından ziyade Boğaz'a giriş izni bekleyen gemilerin oluşturduğu yoğunluktur (Oğuzülgen, 1995). Bu nedenle giriş-çıkış noktalarının dar kanal trafik modelinden daha farklı bir yöntemle incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 8. Çarpışma için risk haritası
(olasılıklar transit geçen her 100,000 gemi içindir)



Şekil 9. Karaya bindirme ve oturma için risk haritası
(olasılıklar transit geçen her 100,000 gemi içindir)

SONUÇ

Boğaz'daki gemi trafiği matematiksel yöntemlerle modellenmiştir. Modelde Boğaz'ın coğrafi yapısı, akıntıların rassal dağılımı, gemi geçiş istatistikleri, gemilerin boyutları, ve pilotaj hataları hesaplanarak, gemilerin Boğaz boyunca olasılık dağılımları iki boyutlu olarak bulunmuştur. Daha sonra her iki yönde seyreden gemilerin pozisyon dağılımları kullanılarak gemilerin çarpışma, karaya oturma ve sahile vurma olasılıkları hesaplanmıştır. Sonuçlar eşliğinde İstanbul Boğazı için risk haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen bulgulardan şu sonuçlar çıkartılmıştır:

- ❖ Çarpışma riski, sahile bindirme veya karaya oturma olasılığından daha yüksektir.
- ❖ Kazaya bulaşan gemiler arasında küçük gemiler, büyüklere oranla daha fazladır.
- ❖ Güneye gidiş kuzeye gidişten kaza olasılığı açısından daha risklidir.
- ❖ Çarpışma açısından yüksek risk taşıyan bölgeler: Sarıyer, Emirgan-Kanlıca, R.Hisarı-Kandilli.
- ❖ Sahile bindirme ve karaya oturma açısından yüksek riskli bölgeler: Emirgan, K.Bebek, Kuruçeşme.

Bulgular göstermiştir ki, sistem parametrelerinin zaman içinde değiştiği doğrusal olmayan rassal süreçlerde geleceği eski bilgilere dayanarak tahmin etmek yerine, sistemin rassal özelliklerini kullanarak farklı şartlar için modelleme yapmak daha doğru bir yaklaşımdır. Şimdiye kadar hiç yaşanmamış ama değişen şartlar altında olması muhtemel yeni bir oluşum ancak bu yöntemle önceden tahmin edilebilir.

KAYNAKLAR

Brito, D. L. (2000), "Congestion of the Turkish Straits: A Market Alternative", *World Congress of the Econometric Society*, Seattle, WA.

Gören, G. E. (2002), "Investigation of Maritime Accidents in the Istanbul Channel via Logistic Regression and Simulation", M.S. Thesis, Boğaziçi University.

Kankotan, E. İ. and E. Orhan (2002), "Optimization Time for the Ships Entering the Strait of Istanbul", Boğaziçi University.

Kornhauser, A. L. and W. A. Clark (1995), "Quantitative Forecast of Vessel Casualties Resulting from Additional Tanker Traffic through the Bosphorus", ALK Associates Inc. Report, Princeton, New Jersey.

Oğuzülgen, S. (1995), "The Importance of Pilotage services in the Turkish Straits for the Protection of Life, Property and the Environment", *Turkish Straits: New Problems New Solutions*, Istanbul, pp. 105 – 125.

Otay, E.N. ve Tan, B. (1998), "Stochastic Modeling of Tanker Traffic through Narrow Waterways," Proc. 1st Intl. Conf. on Oil Spills in the Mediterranean and Black Sea Regions, Istanbul, 85-96.

Otay, E.N. ve Yenigun, O. (2003), "An Oil Spill in the Bosphorus: The Gotia accident," Proc. 3rd Intl. Conf. on Oil Spills in the Mediterranean and Black Sea Reg., Istanbul, 27-42.

Özkan, Ş. (2003), "Stochastic Modeling of Transit Vessel traffic through the Strait of Istanbul" Master Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

Örs, H. (1998), "Shallow Water Model for the Bosphorus Current", Industrial and Environmental Applications of Direct and Large Eddy Simulation: Proceedings of a Workshop held in Istanbul, Turkey, 5-7 .

Tan, B. ve Otay, E.N. (1999), "Stochastic Modelling and Analysis of Vessel Casualties Resulting from Tanker Traffic through Narrow Waterways," *Naval Research Logistics*, 46[8], 871-892.

STOCHASTIC PREDICTION OF MARITIME ACCIDENTS IN THE STRAIT OF ISTANBUL

Emre N. OTAY
Boğaziçi University
Istanbul, Turkey

Şafak ÖZKAN
Cornell University
Ithaca-NY, USA

ABSTRACT

A physics based mathematical model is developed to simulate the random transit maritime traffic through the Strait of Istanbul. Based on the geographical characteristics of the Strait and random distributions of surface currents, arrival of transit vessels, vessel sizes and pilotage error in the Strait, the model computes probability distributions of northbound and southbound vessel positions within the Strait. When the pilotage error is zero, the perception of the surface currents and the handling of the ship is perfect. Deviating from this condition, the autopilot fails to handle the ship and perceive the surface currents perfectly. Hence, the deflection of ships from their original routes cause a distribution of vessel positions along established checklines. The results indicate that the effect of pilotage on the casualty risk depends on the vessel size and the position in the waterway. Using the geographical characteristics of the Strait, the model estimated the probability distribution of vessel casualties. Risk maps showing the expected number of accidents in different sections of the Strait are generated for different vessel sizes and casualty types including collision, ramming and grounding.