

## İstanbul'da deprem riski analizi

Seda KUNDAK\*, Handan TÜRKOĞLU

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir Planlama Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

### Özet

*Deprem risk analizi; sismik tehlike ve alana ilişkin verilerin bir arada incelenerek olasılıkların ortaya konulmasıdır. Deprem riskini etkileyen faktörler; deprem tehlikesi, arazi kullanımı, demografik yapı ve ekonomik yapı başlıkları altında incelenmektedir. Bu faktörlerin kendi grup ve alt gruplarındaki karşılaştırmaları ve değerlendirilmelerinin yanı sıra, birbirleriyle olan etkileşimleri de deprem risk haritalarının hazırlanmasında önem kazanmaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen İstanbul, tarih boyunca sayısız deprem yaşamıştır. Bunların arasında 1509, 1766 ve 1894 depremleri kent genelinde ve çevre yerleşmelerde büyük yıkımlara neden olmuştur. Bu depremlerin oluşumuna neden olan Kuzey Anadolu Fay'ının Marmara içinden geçen kollarının önümüzdeki yıllar içinde yine kırılarak büyük bir deprem oluşturması beklenmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin nüfus açısından en büyük şehri olan ve aynı zamanda Kuzey Anadolu Fay hattının batı kanadına yakınlığı nedeniyle deprem tehdidi altında bulunan İstanbul'un yapılaşmış, demografik ve ekonomik çevre değişkenleri ile mevcut potansiyelleri kapsamında deprem riski açısından değerlendirilmesidir. İstanbul'da depreme bağlı risk düzeylerinin hesaplanmasında kullanılan ana bileşenler analizi yöntemiyle belirlenen 5 temel faktörden arazi kullanımına ilişkin olan faktörlerin deprem tehlikesi değişkeninden daha yüksek değerler alması, risk değerlendirmede yerleşmelerin tehlikeye açıklık seviyelerinin ne kadar belirleyici olduğunun bir göstergesidir. Deprem tehlikesinin büyüklüğünün yanı sıra, İstanbul'un gelişmesindeki plansızlık deprem riskinin artmasında en büyük rolü oynamaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, hasar görebilirlik, risk analizi, İstanbul.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Seda KUNDAK. kundak@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 (2298).

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir Planlama Programı'nda tamamlanmış olan "İstanbul'da deprem risk parametrelerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 02.05.2006 tarihinde dergiye ulaşılmış, 15.08.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2008 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Earthquake risk assessment for Istanbul

### Extended abstract

*Seismic risk analysis can be described as the exploration of seismic hazard and data reflecting the current feature of the site in order to reveal all the probabilities which will trace the level of impact. In general terms, risk is the combination of probability of occurrence and the consequence of a specified hazardous event. In the other words, the value of risk depends on the severity of hazard and the vulnerability of the elements which will be affected by the hazardous event. Vulnerability can be described as inherent characteristics of a system that create the potential for harm but are independent of the probabilistic risk of the occurrence (event risk) of any particular hazard or extreme event. Vulnerability in urban areas can be investigated according to environmental, physical, socio-demographic and economic structures of settlements.*

*Istanbul faced several earthquakes such as it had experienced in 1509, 1799 and 1894. According to the recent scientific researches, in the next 30 year period, another major earthquake will likely occur and will cause vast damages in Istanbul. To examine the earthquake risk in Istanbul, 15 variables are used which represent hazard and urban exposure for 613 neighborhood of Istanbul Metropolitan Area. The methodology of the empirical part of this study is based on principle component analysis which provides to evaluate risk variables through the main factors.*

*Firstly, in order to calculate the earthquake risk of the city, the information on earthquake hazard was compiled according to the previous study developed by Japan International Cooperation Agency and Istanbul Greater Municipality in 2002. The hazard data referred from the earthquake scenario with the MW=7.7 of JICA and IBB project. Moreover, the areas with a slope more than %30 were also included into the database. Since earthquakes can trigger secondary hazards such as urban fires and explosions, hazardous land uses were also mentioned. Land use pattern and building density have been used in order to reveal the general built-up*

*structure of the city and to forecast the probable difficulties in search and rescue operations aftermath of the earthquake. In the demographic indicators, population density and vulnerable population rate according to the age groups have been presented as well. Furthermore, the number of students attending the neighborhood's schools is defined as vulnerable population. Beside earthquakes give damages to built-up environment; they can affect economic structure in long term period in region and nation wide. Therefore, fiscal indicators are integrated to the database as they embody the likelihood of future economic losses by earthquakes. The potentials comprehend all kind of elements which are able to reduce the negative effects of earthquake. Especially, open spaces and health care facilities are vital to prevent the increase of further losses rising in the short term period aftermath of the earthquakes.*

*Originally, 27 variables were collected, but after testing for multi-collinearity among the variables, 15 independent variables were used in the statistical analyses to calculate earthquake risk levels in Istanbul. These 15 independent variables form 5 main factors using the principal component analysis such as: (Factor 1) vulnerability, (Factor 2) density, (Factor 3) work places and hazardous land uses, (Factor 4) hazard and (Factor 5) potentials.*

*The 5 main components sort according to their explanation percentage of the total variance. The total variance presents the earthquake risk level in this study. The vulnerability component which explains about 18,9% of the total variance, is also the most explanatory factor among the others. In the other words, while describing earthquake risk level in Istanbul, the major indicators are highly related with the exposure and the vulnerability levels of the city. As far as Factor 2 and Factor 3 are also associated with the built-up area of the city, so that the general conditions of urban pattern explain about 47,1% of earthquake risk. In the principal component analysis, the fourth factor which refers earthquake hazards explains just 10,8% of the total variance of earthquake risk level.*

**Keywords:** Earthquake, vulnerability, risk analysis, Istanbul.

## **Giriş**

Son 100 yıllık süre içerisinde dünya nüfusunun hızla artması sonucunda insan yerleşmeleri sayıca artarken, kentsel alanlara hızlı göçün bir sonucu olarak büyük şehirler metropollere dönüşmüştür. 1950'lerde dünya nüfusunun yaklaşık %20'si dünyanın en büyük ilk 50 şehrinde yaşarken, bu oranın 2000'li yıllarda %17'lere düşmesi beklenmektedir. Dünya nüfusunun bu %17'lik kesiminde her iki kişiden birinin, yani %8.5'inin deprem tehlikesi altında bulunacağı tahmin edilmektedir. Dünyanın en büyük ilk 50 şehrinde ve deprem tehlikesi altında yaşayan her 10 kişiden 9'unun, yani dünya nüfusunun %7.6'sının gelişmekte olan ülkelerde yaşayacağı öngörülmektedir (Tucker vd., 1994).

20. yüzyıl içinde Türkiye'de yaşanan 130 adet yıkıcı depremde toplam 80633 kişi hayatını kaybetmiş, 54380 kişi yaralı olarak kurtulmuş ve 441611 konut ağır hasar görmüştür (Bağcı, 1994). 7.9 büyüklüğündeki 1939 Erzincan depremi Türkiye'de yaşanmış en büyük ve şiddetli depremdir. 32962 kişinin ölümüne ve 116720 binanın kullanılamaz hale gelmesine neden olan depremin şiddet anlamında bir benzeri de 17 Ağustos 1999'da 7.4 büyüklüğü ile Kocaeli'de yaşanmıştır. Kuzeybatı Anadolu'nun tümünde hissedilen Kocaeli depremi, Yalova, Kocaeli, Sakarya ve Bolu'da en fazla olmak üzere İstanbul, Eskişehir, Bursa, Zonguldak gibi çevre illerde de çok sayıda can kaybı ve hasara yol açmıştır. 12 Kasım 1999'da ise bir önceki depremi az ya da orta hasarlı olarak atlatmış binalar 7.2 büyüklüğündeki Düzce depreminde yıkılmış ve can kaybına neden olmuştur.

Kuzey Anadolu Fay hattının Marmara Denizi içinden geçen parçalarının kırılması sonucu oluşacağı düşünülen depremin başta İstanbul'un güney kesimleri olmak üzere, geniş bir coğrafyayı etkileyeceği tahmin edilmektedir. Önümüzdeki 30 yıllık dönem içinde, bu bölgede büyük bir deprem yaşanması %62 olasılığa sahiptir (Barka, 2000). Burton ve diğerleri (2004), önümüzdeki 50 yıllık süre içerisinde, Marmara Bölgesi'nde  $M_w=8.0$  dolaylarında bir depremin olma ihtimalinin %90 seviyelerinde olduğunu, Cisternas ve diğerleri. (2004) ise,  $M_w=7.9$  bü-

yüklüğündeki depremin oluşum periyodunun 550 yıl olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin nüfus açısından en büyük şehri olan ve aynı zamanda da Kuzey Anadolu Fay hattının batı kanadına yakınlığı nedeniyle deprem tehdidi altında bulunan İstanbul'un yapılaşmış, demografik ve ekonomik çevre değişkenleri ile mevcut potansiyelleri kapsamında deprem riski açısından değerlendirilmesidir. İstanbul'da deprem risk seviyelerinin belirlenmesinde ana bileşenler analizi uygulanmış ve sonuçlar bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS programı kullanılarak haritalandırılmıştır.

## **Deprem riski**

Genel anlamda risk, herhangi bir tehlikenin meydana gelme olasılığı ile bu tehlikenin neden olacağı sonuçların bileşkesidir. Başka bir deyişle, risk düzeyi tehlikenin büyüklüğü ve etkilenen elemanların savunmasızlığıyla orantılıdır (Okuyama ve Chang, 2004; Coburn ve Spence, 1992; Uitto, 1995; Reiter, 1990). Sismik risk; deprem ve deprem nedeniyle olması muhtemel toprak kaymaları, sıvılaşma ve benzeri etkiler; kent dokusunu oluşturan binalar, yollar, köprüler ve diğer yapılara bağlı olarak toplum can güvenliğini ifade eden tehlikeye açıklık; bu yapıların kalitesini ifade eden hassasiyet ve yoğunluğu ifade eden yerleşik alan bölgesi değişkenlerinin bir türevi olarak tanımlanmaktadır (Logario, 1990). Sismik risk depremin neden olacağı tahmin edilen zararın meydana gelme olasılığı şeklinde de ifade edilmektedir.

Sismik tehlike analizinde kullanılan veri tabanı depremin olma olasılığı, olası büyüklüğü ve yakın çevresinde yaratacağı şiddet gibi bilgilerden oluşmaktadır. Sismik risk analizinin çıktıları ise depreme bağlı can kayıpları başta olmak üzere yollar, köprüler, barajlar ve sanayi tesisleri gibi yapıların zarar görmesi nedeniyle oluşacak maddi kayıpların tahminlerini kapsamaktadır. Sismik risk analizi; sismik tehlike ve alana ilişkin verilerin bir arada incelenerek olasılıkların ortaya konulmasıdır (Reiter, 1990). Bendimerad (2001), risk analizi ve buna bağlı olarak kayıp tahmin modellerini depremin etkilerinin azal-

tımı için gerekli en önemli araç olarak tanımlanmaktadır. 1997’de Davidson tarafından geliştirilen “deprem afeti risk indeksi” (Earthquake Disaster Risk Index - EDRI), ekonomik, sosyal, politik ve kültürel açılardan analiz yapılan alanın toplam risk düzeyinin hesaplanmasını sağlamıştır (Davidson, 1997). Gupta ise yine 1997 yılında “strateji etkinliği tablosu” (Strategy Effectiveness Chart - SEC) geliştirerek konut, ticaret, yönetim ve acil durum yönetimi sektörlerinin deprem riski karşısındaki performanslarını ölçmeyi amaçlamıştır (Gupta, 1997). 1998’de ise, Kakhandiki, bu iki metodu (EDRI ve SEC) kullanarak Los Angeles Metropolitan Alanında çalışmıştır (Kakhandiki, 1998). Bu üç çalışmada da, sismik tehlike bileşenlerinin yanı sıra, yerleşim dokusunu tanımlayan diğer bileşenler bir arada kullanılmış ve bu şekilde deprem tehlikesi altında bulunan yerleşmelerin sadece yapısal hasar görülebilirliği değil, sosyal ve ekonomik hassaslığı da ortaya konulmuştur.

### **Deprem riskinin bileşenleri**

Deprem riskini etkileyen faktörler; deprem tehlikesi, arazi kullanımı, demografik yapı ve ekonomik yapı olarak 4 başlık altında değerlendirilebilir. Deprem tehlikesi, başta depremin büyüklüğü olmak üzere, deprem dalgalarının farklı zeminlerdeki yayılım hızları ve yarattıkları ivme değerleriyle ölçülebilmektedir. Ayrıca, depremin tetiklediği zemin sıvılaşması, heyelan ve tsunami gibi diğer tehditler de deprem tehlikesi kapsamında incelenmektedir. Arazi kullanım şekilleri ve yapısı, etkilenmesi beklenen bölgede yaşayan nüfusun demografik durumu ve yine bu bölgenin ekonomik gücü, deprem riskinin değerlendirilmesinde hasar görülebilirlik modülünü oluşturmaktadır. Arazi kullanımını oluşturan değişkenler sadece farklı kullanım dokularını değil, bu dokuları oluşturan öğelerin deprem karşısındaki davranış biçimlerini de içermektedir. Bina yoğunluğu, yapı tarzı, kat yükseklikleri ve altyapı sisteminin farklı noktalarındaki farklı özellikleri, yapılaşmış çevrenin deprem riski açısından değerlendirilmesinde temel başlıkları oluşturmaktadır. Genel arazi kullanım dokusu göz önüne alındığında barınma, kamusal hizmetler, ticaret, sanayi ve altyapı sistemleri şeklinde bir gruplama yapılabilir. Coburn ve

Spence’in (1992) çalışmasında, deprem riski açısından arazi kullanım örtüsünde yer alan faaliyetlerin kullanım nitelikleri, acil durumlarda olası görevleri, kayıp düzeyleri ve yenileme çalışmalarındaki rolleri sınıflandırılmıştır. Konut alanlarındaki yoğunluk ve kullanım süreleri, nüfus büyüklükleri ile doğru orantılıdır. Doğal tehlikeler açısından bakıldığında en hassas grubu konut alanları oluşturmaktadır. Yerleşimlerin %60-70’ini kaplayan konut alanlarının yapısal ve hassas özelliklerinin belirlenmesi özellikle kayıp tahminlerinin yapılmasında önem taşımaktadır (Comerio, 1998). Depremlerde can kayıplarının ve yaralanmaların %75’i binaların yıkılmasından kaynaklanmaktadır (Coburn ve Spence, 1992). Özellikle yığma binaların neden olduğu kayıplar %60 dolaylarındadır. Betonarme yapılar ise, yığma binalara göre daha güvenli olsalar da, kontrolsüz inşa edildiklerinde yığma binalardan daha öldürücü olabilmektedirler.

Nüfusun demografik yapısı, deprem anında ve sonrasında, insanların sırasıyla önce kendini koruma sonra da kendini kurtarma potansiyelini tanımlamaktadır. Literatürde, hassas nüfus olarak adlandırılan ve çok genç ve çok yaşlı nüfusu ifade eden bu grup gerek deprem gerekse herhangi bir diğer tehlike anında ancak başkalarında yardım alarak kendilerini kurtarabilmektedir. Hassas nüfus kapsamında yaş belirleyicisinin yanı sıra özürlü nüfus ve tedavi altında bulunan kişiler de değerlendirilme kapsamına alınmalıdır. Deprem açısından yerleşimin demografik yapısında dikkate alınabilecek değişkenlerden biri de, deprem anında kendisini kurtarma olasılığı düşük olan nüfusun belirlenmesidir. Küçük yaştaki çocuklar ve bebekler, hareket zorluğu çeken yaşlılar, evlerde bakım gören ağır hastalar ve fiziksel engelliler bu grubu oluşturmaktadır. Davidson çalışmasında, 0-4 ve 65 yaş üzeri nüfusu bu grup altında toplamıştır ve yerleşim nüfusuna oranını belirleyerek bir değişken olarak kullanmıştır (Davidson, 1997).

Ekonomik yapı, depremden en fazla etkilenen ancak etkileri daha uzun vadede görülen bileşenlerden biridir. Deprem anında, binaların ve can kayıplarının oluşturduğu doğrudan maddi zararın yanı sıra, deprem nedeniyle duran ya da

aksayan iş kolları nedeniyle ekonomiye katma değer sağlanamaması sonucunda dolaylı kayıplarla karşılaşılabilir. Özellikle, deprem tehdidi altında bulunan alanlar tek tip ya da çok güçlü bir ekonomik değer içermekteyse, bu alanlar ekonomik açıdan diğer alanlara göre daha kırılabilir olarak tanımlanmaktadır. Ekonomik göstergelerin seçimi, sismik riskin hesaplanabilmesi için gereken diğer belirleyicilerin seçiminde olduğu gibi, farklı ölçeklerde ifade edilebilmektedir. Makro ölçekte, bir ülkenin ya da bir bölgenin temel ekonomik göstergesinin gayrisafi yurtiçi hasıla olarak belirlenmesi bugüne kadar yapılmış çalışmalarda en sık kullanılan yöntem olarak öne çıkmaktadır (Chen vd., 2002; Chen vd., 2001; Chan vd., 1998; Chen vd., 1997).

### **İstanbul ve deprem risk düzeyleri**

İstanbul'da tarihi boyunca bir çok irili ufaklı, az ya da çok etkili deprem yaşanmıştır. Tarihsel verilere göre, İstanbul'u etkilediği bilinen en eski deprem M.Ö. 32 yılında yaşanmıştır (Ambrasseys ve Finkel, 1991). İstanbul yakınlarında meydana gelmiş ve kentin büyük kesiminde yıkımlara yol açmış depremlerle ilgili bilgilere de, bu depremleri yaşayanların anılarından yola çıkılarak ulaşılmaktadır. Ambraseys ve Finkel (1995), 1500'lü yıllardan itibaren Türkiye'yi etkilemiş depremleri inceleyerek bu depremlerin etkilerini döneme ait yazılı kaynaklardan faydalanarak derlemişlerdir. Bu çalışmanın büyük bir bölümünü Marmara Bölgesi ve civarında yaşanmış depremler ve başta İstanbul olmak üzere, diğer yerleşim alanlarındaki etkileri kapsamaktadır. Bunu nedeni, yukarıda da belirtildiği gibi yazılı kaynakların çoğunlukla İstanbul ve çevresi ile ilgili olması olarak açıklanabilir. Ambraseys ve Jackson (2000), 1500'lü yıllardan günümüze, Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiş depremleri etkileriyle incelemiş ve depremlerin merkez üsleriyle ilgili bilgileri haritalara işlemişlerdir. Başta İstanbul olmak üzere, en yıkıcı olan depremlerin 1509, 1766 ve 1894 depremleri olduğu ve bu depremlerin de Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın İstanbul yakınındaki segmentlerin kırılması sonucu meydana gelmiş olduğu görülmektedir.

### **Çalışmanın yöntemi ve kapsamı**

Bu çalışmada, İstanbul'da depreme bağlı risk analizi için, kentin doğal, yapılaşmış, demografik ve ekonomik özelliklerini içeren ve İstanbul'un 23 ilçesinin 613 mahallesini kapsayan detaylı bir veri tabanı oluşturulmuştur. Deprem riskinin hesaplanabilmesi için öncelikle, deprem kaynağına ilişkin bilgiler derlenmiştir. Çalışmada kullanılan senaryo deprem büyüklüğü ve bu büyüklükteki depremin oluşturacağı zemin tepkileri için Japon Uluslar arası İşbirliği Ajansı (JICA) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından geliştirilen dört deprem senaryosundan biri olan  $M_w=7.7$  büyüklüğündeki depreme ait veriler kullanılmıştır (JICA ve İBB, 2002). Ayrıca yine deprem tehlikesine bağlı olarak yüksek eğimli alanlar da veri tabanına eklenmiştir. Depremler, oluşumlarını takiben farklı ikincil tehlikeleri de tetiklemektedir. Bu tehlikelerin başında gelen yangınlar ve patlamalar, veri tabanında tehlikeli arazi kullanımı olarak tanımlanmıştır.

Arazi kullanım şekilleri ve bina yoğunlukları, deprem tehlikesi altında bulunan yerleşmenin genel yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve deprem sonrasındaki arama-kurtarma çalışmalarında karşılaşılabilecek zorlukların tahmin edilebilmesi için kullanılmıştır.

Demografik bileşenlerde, deprem tehlikesi altında bulunan toplam nüfusun yanı sıra, kendi kendini kurtarma olanağı bulunmayan, ikinci şahısların yardımına ihtiyaç duyan nüfus da temsil edilmiştir. Ayrıca, okullardaki öğrenci nüfusu da yine tehlikelere açık, hassas nüfus olarak tanımlanmıştır. Depremin yapılaşmış çevrenin yanında, uzun vadede, bölgenin ekonomik gücü üzerinde negatif etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle ekonomik bileşenler, deprem anından çok gelecekteki deprem etkilerinin temsili olarak kullanılmıştır.

Potansiyeller ise, depremin sonuçları ne boyutta olursa olsun, kente ait ve depremin etkilerini azaltmaları tahmin edilen öğeleri içermektedir. Özellikle, açık alanlar ve tıbbi malzeme sağlayan birimlerin varlığı, deprem sonrasındaki

ikincil kayıpların artmasını önlemede önem taşımaktadır.

### Risk bileşenlerinin değerlendirilmesi

İstanbul'da depreme bağlı risk düzeyleri için hazırlanan veri tabanının değerlendirilmesi aşamasında, betimleyici istatistiksel analizler sonucunda başta 27 adet olan değişken sayısı verilerin birbirleriyle olan ilişkileri, toplam içerisindeki açıklama düzeyleri ve güvenilirlikleri sınanmak suretiyle 15 bağımsız değişkene indirgenmiştir. Bu 15 değişken ana bileşenler analizi kullanılarak, "hasar görebilirlik", "yoğunluk", "işyeri ve yanıcı/patlayıcı kullanımlar", "tehlike" ve "potansiyeller" başlıkları altında olmak üzere 5 ana bileşen altında toplanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. İstanbul'da depreme bağlı risk düzeylerini oluşturan ana bileşenler

<b>Hasar Görebilirlik</b>
Mahallenin Yaşı
Mahalledeki Konut Adedi
Mahalledeki Plansız Yapılaşma Oranı
0-12 ve 65 yaş üzeri nüfusun mahalledeki oranı
Mahallenin ortalama arazi değeri
Mahalledeki okullara devam eden öğrenci sayısı
<b>Yoğunluk</b>
Mahalledeki nüfus yoğunluğu
Mahalledeki bina yoğunluğu
Mahalledeki yapılaşmamış alan oranı
<b>İşyeri ve Yanıcı/Patlayıcı Kullanımlar</b>
Mahalledeki yanıcı/patlayıcı kullanımların adedi
Mahalledeki iş yeri sayısı
<b>Tehlike</b>
7.7 büyüklüğündeki bir depremin yaratacağı ortalama ivme tepki spektrum değeri
Mahalledeki eğimi %30'un üzerinde olan alanların oranı
<b>Potansiyeller</b>
Mahalledeki sağlık tesisi sayısı
Mahalledeki sağlık tesislerinde bulunan hasta yatak kapasitesi

Ana Bileşenler Analizi, çok sayıda değişkene sahip bir veri tabanında, veriler arasındaki bağlantılar ve ilişkiler göz önüne alınarak yapılan bir indirgeme yöntemidir. Aralarında ilişki bulunan p sayıda değişkenin açıkladığı yapıyı, aralarında ilişki bulunmayan ve sayıca orijinal değişken sayısından daha az sayıda ( $p > k$ ) orijinal

değişkenlerin doğrusal bileşenleri olan değişkenlerle ifade etme yöntemine ana bileşenler analizi denir.

Bu yöntemle, araştırmada kullanılan değişkenlerle örneklem olarak seçilen İstanbul mahallelerindeki deprem bağlı risk seviyelerini %67.3 oranında açıklayan 5 ana bileşeni oluşturulmuştur. Analiz sonucu oluşan 5 ana bileşen, toplamı açıklama yüzdelerine göre sıralanmaktadır. Toplam değer, bu çalışma kapsamında, depreme bağlı risk düzeyini ifade etmektedir.

İlk ana bileşen mahallenin yaşı, konut sayısı, plansız yapılaşmış alanların yüzdesi, hassas yaş grupları, arazi değeri ve öğrenci sayısını kapsayan "hasar görebilirlik" bileşeni olarak tanımlanmıştır. Bu bileşen toplam değişimin %18.9'unu açıklamaktadır. Mahallenin yaşı ve arazi değeri değişkenleri açıklama içerisinde negatif değerlere sahiptir. Bu durum bir yandan şehir içinde geçmiş dönemlerde planlı olarak gelişmiş mahallelerin yeni kontrolsüz gelişen mahallelere göre daha güçlü bir yapı sergilediğini gösterirken, öte yandan da arazi değerlerinin yüksek olduğu yerlerde halkın kendi yakın çevrelerini güçlendirmeye daha yatkın olduğunu belirtmektedir. Hasar görebilirlik değerleri, özellikle son 10 yılda gelişme göstermiş olan alanlarda daha yüksek düzeydedir. Hasar görebilirlik seviyesi en yüksek değerlere sahip mahallelerde; ortalama konut birim adedi 14000, plansız yerleşim alanı oranı %84'ün üzerinde, hassas nüfus oranı %25-30 aralığında, arazi metre kare değeri 40-50 YTL düzeyinde ve öğrenci sayısı ise 10000-15000 arasındadır (Tablo 2).

Tablo 2. Hasar görebilirlik düzeylerine göre mahallelerin değerlendirilmesi

<b>En Yüksek Değere Sahip İlk 10 Mahalle</b>
Bağcılar – Demirkapı
Bağcılar – Fatih
Ümraniye – Kazım Karabekir
Esenler – Oruç Reis
Küçükçekmece – Halkalı Merkez
Küçükçekmece – İnönü
Güngören – Güneştepe
Bahçelievler – Zafer
Pendik – Kavakpınar
Bağcılar – Kirazlı Fevzi Çakmak

Yapılaşmamış alanların yüzdesi ve nüfus ve bina yoğunluklarını içeren yoğunluk bileşeni değişimin %15'ini açıklamaktadır. Yapılaşmamış alan yüzdesinin bu bileşende negatif olarak yüklenmesi, yeşil alanların ve boş alanların yerleşmenin hasar görebilirliğini azaltması yönünde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Bu faktör yapısı itibariyle, gerek konut gerekse iş yeri yapılaşması nedeniyle yoğun alanlarda yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yoğunluk bileşeninde en yüksek değere sahip ilk 10 mahallede nüfus yoğunluğu ortalama 580 kişi/ha ve bina yoğunluğu 90 bina/ha seviyesindedir. Bu mahallelerden Eminönü İlçesi'nin Beyazıt Mahallesi, ikamet eden nüfus olmamasına rağmen, tarihi binaların ve iş yerlerinin çok sayıda bulunması nedeniyle 171 bina/ha ile İstanbul'un en yoğun bina değerine sahip mahallesidir. Beyoğlu İlçesi'nin Çukur Mahallesi ise nüfus yoğunluğu'nun 928 kişi/ha seviyelerinde olması nedeniyle yoğunluk faktörü içinde en yüksek ikinci mahalle olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

*Tablo 3. Yoğunluk düzeylerine göre mahallelerin değerlendirilmesi*

<b>En Yüksek Değere Sahip İlk 10 Mahalle</b>
Eminönü – Beyazıt
Beyoğlu – Çukur
Beyoğlu – Kalyoncu Kulluğu
Fatih – Hızır Çavuş
Beyoğlu – Bülbül
Fatih – Kasım Günani
Beyoğlu – Şehit Muhtar
Fatih – Müftü Ali
Fatih – Hamamı Muhittin
Fatih – Tevki-i Cafer

Mahallelerdeki toplam iş yeri ve yanıcı/patlayıcı kullanım içeren tesislerin adetlerini kapsayan iş yeri değişkeni toplam değişimin %13.3'ünü açıklamaktadır. Bu faktör aynı zamanda, iş yeri sayılarına bağlı olarak, mahallenin ekonomik gücünün de bir göstergesi olarak tanımlanmaktadır. Bu grupta en yüksek değere sahip mahallelerde ortalama iş yeri adedi 8000 yanıcı/patlayıcı kullanımların adedi ise 28 civarındadır. İş yeri bileşeninde en yüksek yanıcı/patlayıcı kullanım içeren mahalleler etkilenebilecek nüfus Küçükçekmece Ziya Gökalp Mahallesi'nde 30.000 ve Bağcılar Mahmut Bey

Merkez Mahallesi'nde 20.000 düzeyindedir. Küçükçekmece İlçesi'nin Ziya Gökalp Mahallesi, sanayi sitelerinin ve boya-kimya fabrikalarının sayıca İstanbul genelinden çok yüksek olması nedeniyle bu değişkendir en yüksek değeri almış bulunmaktadır (Tablo 4).

*Tablo 4. İşyeri ve yanıcı/patlayıcı düzeylerine göre mahallelerin değerlendirilmesi*

<b>En Yüksek Değere Sahip İlk 10 Mahalle</b>
Küçükçekmece – Ziya Gökalp
Zeytinburnu – Maltepe
Eminönü – Beyazıt
Bağcılar – Mahmut Bey Merkez
Ümraniye – Esenşehir
Ümraniye- Yukarı Dudulu
Kadıköy – İçerenköy
Esenler – Turgut Reis
Ümraniye – Yeni Çamlıca
Ümraniye - İhlamurkuyu

Dördüncü sıradaki bileşen olarak tanımlanan tehlike bileşeni, mahalle ölçeğinde, 7.7 büyüklüğündeki bir depremin yaratacağı ortalama ivme tepki spektrum değerini ve eğimi %30'un üzerinde olan alanların oranını kapsamaktadır. Tehlike bileşeni toplam değişimin %10,8'ini açıklamaktadır. Tehlike değişkeninin, Kuzey Anadolu Fay'ının Marmara Denizi içinden geçen parçasında olması tahmin edilen senaryo depremi büyüklüğüne bağlı olması nedeniyle, fay hattına en yakın olan ilçeler en yüksek tehlike değerini almış bulunmaktadır. Ayrıca, İstanbul'un güney kesimindeki zeminin yumuşak ya da dolgu olması nedeniyle bu alanlardaki spektral ivme değerleri 800 gal. seviyelerine ulaşabilmektedir. Tehlike bileşenine göre en yüksek değere sahip mahalleler, kentin güney kesimlerinde, Avcılar, Bakırköy ve Bahçelievler ilçelerine bağlı mahalleler olarak öne çıkmaktadır (Tablo 5).

Son ana bileşen olan potansiyel bileşeni, deprem sonrasında yaralıların tedavisi için gerekli sağlık hizmetini verebilecek bölgeleri tanımlamaktadır. Bu bileşende, mahallelerdeki sağlık tesislerinin sayıları ve bu sağlık tesislerindeki yatak kapasitesi kullanılmıştır. Potansiyel bileşeni toplam değişimin %9.4'ünü açıklamaktadır. Bazı mahallelerde sağlık tesisinin bulunmaması bu mahallelerin düşük değerler almasına neden ol-

masına karşın bu mahallelerde yaşayanlar çevre mahallelerdeki kapsamlı sağlık hizmetleri ve hastanelerden faydalanabilmektedir. Fatih, Şişli, Bahçelievler, Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri özellikle kamu ve özel hastanelerin yoğunlukta olduğu ilçelerdir. İstanbul'un en büyük hastanelerinden, İstanbul Üniversitesi Çapa Tıp Fakültesi Hastanesi ve Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Hastanesi Fatih İlçesi'nde bulunmaktadır. Bu iki hastanede çalışan doktora sayısı 2204, yatak kapasitesi ise 3023'tür. Sağlık ocakları, klinikler ve özel sağlık kurumlarının toplamlarına göre değerlendirildiğinde, adet olarak en fazla sağlık tesisi Şişli merkezde bulunmaktadır. Eczane ve ilaç depolarının en fazla yoğunlaştığı mahallelerin başında Bahçelievler-Merkez, Kadıköy-Göztepe ve Bahçelievler-Siyavuş Paşa gelmektedir (Tablo 6).

Tablo 5. Tehlike bileşenine göre mahallelerin değerlendirilmesi

En Yüksek Değere Sahip İlk 10 Mahalle
Avcılar – Deniz Köşkler
Bahçelievler – Merkez
Bahçelievler – Şirinevler
Avcılar – Ambarlı
Avcılar – Gümüşpala
Bahçelievler – Siyavuş Paşa
Bakırköy – Ataköy 7-8-9-10. Kısım
Bakırköy – Şenlik Köy
Bakırköy – Yeşilköy
Bahçelievler - Hürriyet

Tablo 6. Potansiyel bileşenine göre mahallelerin değerlendirilmesi

En Yüksek Değere Sahip İlk 10 Mahalle
Fatih – Arpa Emini
Bakırköy – Zuhurat Baba
Maltepe – Başbüyük
Fatih – Kasap İlyas
Üsküdar – Selimiye
Fatih – Davut Paşa
Şişli – 19 Mayıs
Bahçelievler – Merkez
Şişli - Merkez
Kartal - Cevizli

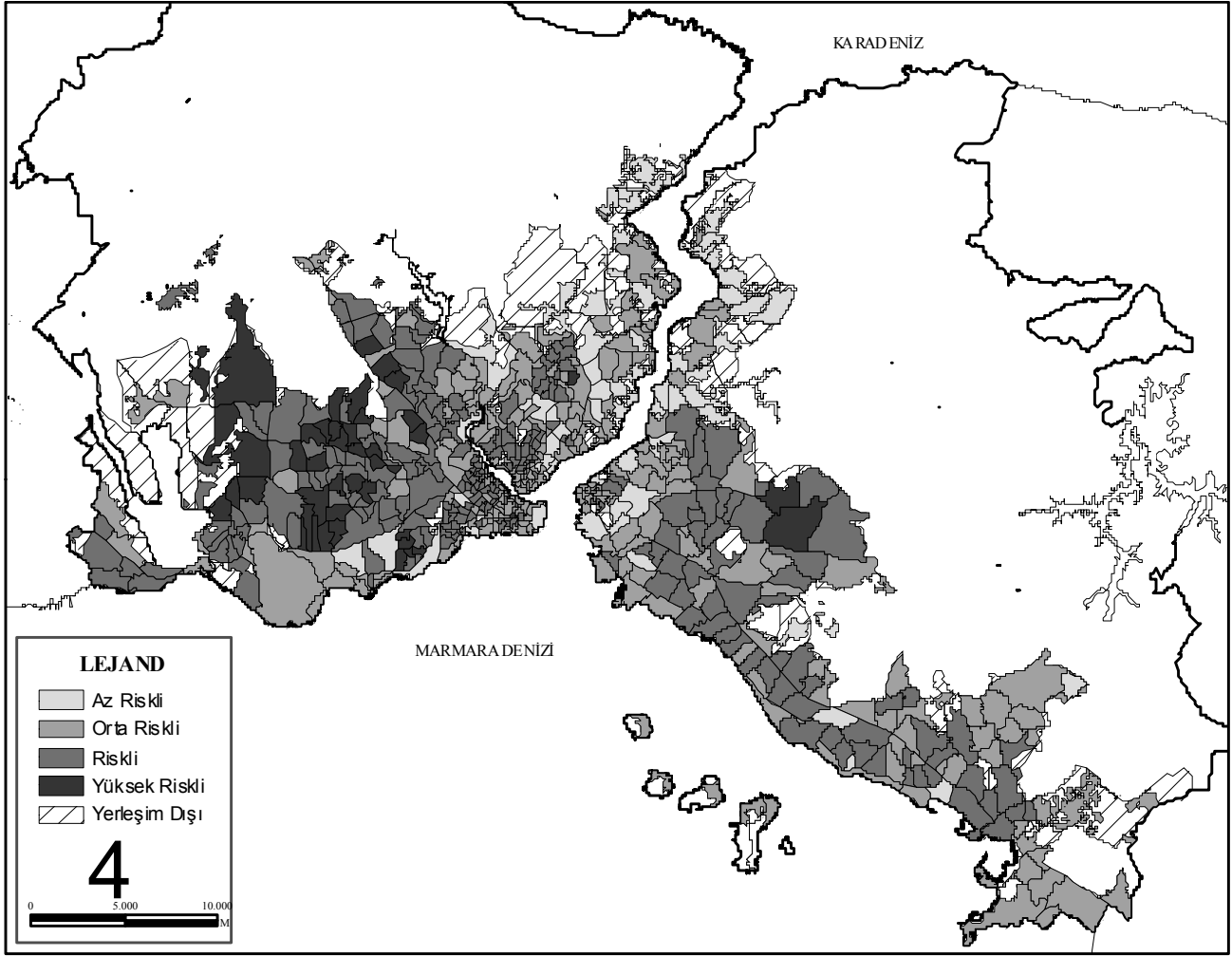
## Sonuç

Avrupa yakasında, Küçükçekmece, Avcılar, Bağcılar, Esenler, Bahçelievler ve Zeytinburnu;

Asya yakasında ise Ümraniye, Pendik, Maltepe ve Kartal ilçelerinin mahalleleri, kentin diğer mahallelerine göre daha yüksek risk değerlerine sahiptir. İstanbul'da, 1950'lerden sonra yaşanan göç dalgasının sonucu olarak, yeni yerleşmeler çoğu defa plansız gelişmeleri nedeniyle, eski yerleşmelerin sahip olduğu alan kullanım dengesine ve altyapıya sahip değildir. Ayrıca, eski yerleşmeler, merkezi iş alanlarına yakınlıkları, farklı ulaşım sistemlerinden yararlanabilmeleri, her türlü donatıyı bulundurmaları ve bunun sonucunda da yüksek arazi değerlerine sahip olmaları nedeniyle, depreme bağlı risk düzeyleri yeni yerleşmelere göre daha düşüktür. Benzer zemin özelliklerine sahip ve fay hattına eşit uzaklıkta bulunan Avrupa ve Asya yakalarının sahil mahallelerinde, yapılaşma durumu ve yoğunluk düzeyleri nedeniyle risk düzeyleri farklıdır (Şekil 1).

Mahallelerdeki risk düzeyleri temelde mahallenin tehlike kaynağına uzaklığı ve yerleşim dokusuna göre değişmektedir. İstanbul'daki en yüksek riske sahip mahalleler incelendiğinde, bu alanlarda toplam 1 milyonun üzerinde bir nüfus yaşamaktadır. Hassas nüfus oranının %30 dolaylarında olduğu bu mahallelerde ortalama nüfus yoğunluğu 500 kişi/ha ve ortalama bina yoğunluğu ise 30 bina/ha'nın üzerindedir. Bu mahallelerde ortalama konut birimi sayısı 13 000, ortalama iş yeri sayısı 3300 civarındadır. Tehlikeli kullanım kapsamına giren benzin istasyonları, tüp dolum-satış tesisleri, kimya ve boya fabrikaları gibi kullanımlar her mahallede 5-10 tesis şeklinde bulunmaktadır. En yüksek risk değerine sahip mahallerde doluluk-boşluk oranları da çarpıcı değerlere sahiptir. Bu alanlarda doluluk oranı %95, boş alan oranı %4.3 ve yeşil alan oranı ise %0.7'dir. Plansız yerleşme oranının %70'e ulaştığı en riskli mahallerde çoğunlukla sağlık tesisi bulunmamaktadır. İstanbul'da deprem riskine bağlı olarak en yüksek değerleri alan mahalleler deprem tehlikesi açısından incelendiğinde gerek fay hattına yakınlık gerekse zemin koşulları nedeniyle 7.7 büyüklüğündeki senaryo depremi nedeniyle oluşacak ivme değerleri 600 gal.'in üzerindedir. Mahallelerin gelişim sürecine bakıldığında ise Eminönü - Beyazıt mahallesi haricindeki mahallelerin 1990'lardan sonra hızlı gelişme gösterdiği görülmektedir.





Şekil 1. İstanbul'da depreme bağlı farklı risk düzeyleri

Bu çalışma sonucunda kentsel arazi kullanımı ve buna bağlı olarak nüfus dağılımına ilişkin bileşenlerin kentsel hasar görebilirliği ve dolayısıyla da depreme bağlı riski arttırdığı ortaya çıkmıştır. Risk azaltımına yönelik çalışmalar kent genelindeki donatı, fonksiyon ve nüfus dağılımının dengeli bir şekilde gelişmesine yönelik olmalıdır. Kentsel donatılardan sağlık ve eğitim gibi acil durum donatıların yer seçimleri ve erişilebilirlik düzeyleri diğer doğal ve teknolojik tehditler açısından da değerlendirilerek tasarlanmalıdır. Doğal ve teknolojik afetlerin yapılaşmış çevre ve üretim potansiyelinde neden olduğu ekonomik kayıpların bölge ve ülke ölçeğindeki etkileri uzun süreli olmaktadır. Özellikle İstanbul gibi bir metropolün ülke ekonomisine katkısı göz önüne alınacak olursa, kent genelindeki sanayi ve hizmet alanlarının yer seçimi ve planlama kriterleri uzun vadeli ve üretime dayalı

ekonomik kayıpların azaltılmasında önem kazanmaktadır.

### Kaynaklar

- Ambraseys, N.N. ve Finkel, C.F., (1991). Long-term seismicity of İstanbul and of the Marmara Sea region, *Terra Nova*, **3**, 527-539.
- Ambraseys, N.N. ve Finkel, C.F., (1995). The seismicity of Turkey and adjacent areas, Eren Yayıncılık, İstanbul.
- Ambraseys, N.N. ve Jackson, J.A., (2000). Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500, *Geophys. J. Int.*, **141**, F1-F6.
- Bağcı, G., Yatman, A. Özdemir, S. ve Altın, N., (1994). Türkiye'de hasar yapan depremler, *Deprem Araştırma Bülteni*, **69**, 113-126.
- Barka, A., (2000). The next expected Marmara Earthquake, *International İstanbul Earthquake Meeting*, TUYAP Fuarçılık, İstanbul.

- Bendimerad, F., (2001). Loss estimation: a powerful tool for risk assessment and mitigation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 467-472.
- Burton, P.W., Qin, C., Akis Tselentis, G. ve Sokos, E., (2004). Extreme earthquake and earthquake perceptibility study in Greece and its Surrounding Area, *Natural Hazards*, 32, 277-312.
- Chan, L. S., Chen, Y., Chen, Q., Chen, L., Liu, J., Dong, W., ve Shah, H., (1998). Assessment of global seismic loss based on macroeconomic indicators, *Natural Hazards*, 17, 269-283.
- Chen, Q., Chen, Y., Liu, J., ve Chen, L., (1997). Quick and approximate estimation of earthquake loss based on macroscopic index of exposure and population distribution, *Natural Hazards*, 15, 217-229.
- Chen, Y., Chen, L., Federico, G. ve Ota, K.L.J., (2002). Seismic hazard and loss estimation for Central America, *Natural Hazards*, 25, 161-175.
- Chen, Y., Chen, Q. ve Chen, L., (2001). Vulnerability analysis in earthquake loss estimate, *Natural Hazards*, 23, 349-364.
- Cisternas, A., Polat, O. ve Rivera, L., (2004). The Marmara Sea Region: Seismic behaviour in time and the likelihood of another large earthquake near İstanbul (Turkey), *Journal of Seismology*, 8, 427-437.
- Coburn, A. ve Spence, R., (1992). Earthquake şrotection, John Wiley & Sons.
- Comerio, M.C., (1998). Disaster hits home: New policy for urban housing recovery, University of California Press.
- Davidson, R., (1997). An urban earthquake disaster risk index, *Doktora Tezi*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University.
- Gupta, A., (1997). Performance based strategy evaluation methodology for earthquake risk management, *Doktora Tezi*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University.
- Japon Uluslar arası İşbirliği Ajansı (JICA) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), (2002). Türkiye Cumhuriyeti, İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması, İstanbul.
- Kakhandiki, A., (1998). Risk time charts: A framework to measure the time variation of Earthquake Disaster Risk, *Doktora Tezi*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University.
- Logario, H.J., (1990). Earthquakes: An architect's guide to nonstructural seismic hazards, New York: John Wiley and Sons.
- Okuyama, Y. ve Chang, S.E., (2004). Introduction in *modeling spatial and economic impacts of disasters*, 1-10, Eds. Okuyama, Y., Chang, S.E., Springer.
- Reiter, L., (1990). Earthquake hazard analysis: issues and insights, Columbia University Pres.
- Tucker, B.E., Trumbull, J.G. ve Wynss, S.J., (1994). Some remarks concerning worldwide urban earthquake hazard and earthquake hazard mitigation in *Issues in Urban Earthquake Risk*, 1-10 Eds. Tucker, B.E., Erdik, M., Hwang, C.N., Kluwer Academic Publishers.
- Uitto, J., (1995). The increasing nature of global earthquake risk, *Global Environmental Change*, 5, 1, 65-69.