

# İSTANBUL İÇİN DEPREM HASAR SENARYOLARI

A. ANSAL, M. ERDİK, N. AYDINOĞLU, E. DURUKAL, G. TÖNÜK,  
A. KURTULUŞ, M. DEMİRCİOĞLU, K. ŞEŞETİYAN, U. HANCILAR  
*Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü  
Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı*

## 1. GİRİŞ

Avrupa Altıncı Çerçeve Programı Depremler ve Heyelanlarda Zarar Azaltma Araştırma Projesi, Kentsel Deprem Hasar Senaryoları ve Hasar Modelleri Çalışma grubunun amacı, deprem riski azaltma stratejilerine yönelik yaklaşımlar oluşturmak, en güncel hasar modellerine dayanan yazılımlar geliştirmek, olası zarar azaltma yöntemlerinin faydaları hakkında ölçülebilir veriler elde etmektir. Çalışma grubu KRDEA, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı; UCAM, Cambridge Üniversitesi, İngiltere; INGV, Ulusal Jeofizik ve Volkanoloji Enstitüsü, İtalya; LNEC, Ulusal İnşaat Mühendisliği Laboratuvarları, Portekiz; AÜTh, Selanik Aristotle Üniversitesi, Yunanistan, MUNICHRE, Münih Reinsürans, Almanya ve USUR, Surrey Üniversitesi, İngiltere’den oluşmaktadır. Deprem senaryoları ve hasar modelleri oluşturmak üzere üç pilot şehir olarak Selanik, Lizbon ve İstanbul seçilmiştir (Spence, 2007).

İstanbul son elli yılda çok hızlı bir büyüme yaşamış ve 1950 ile 2000 yılları arasında nüfusu yaklaşık on kat artarak 1 milyondan 10 milyona yükselmiştir. Yüksek deprem tehlikesi ile beraber, nüfusun çok hızlı artması, arazi kullanımının plansız, yapılaşmanın denetimsiz, altyapı ve destek sistemlerinin yetersiz olması ve çevre kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi İstanbul’un deprem riskini sürekli olarak arttırmıştır.

Bu çalışma kapsamında, mevcut bina stoğundaki betonarme çerçeve binalar için spektral yer değiştirme- lere bağlı mevcut hasar görülebilirlik eğrileri kullanılarak hasar dağılımları ve hasara bağlı can kaybı tahminleri, INGV (2006) tarafından üretilen fay kırılma modellerine dayanan deterministik dokuz deprem tehlike senaryosu ve Erdik vd. (2004) tarafından geliştirilmiş geri dönüşüm periyodu 475 yıl olan zaman bağımlı olasılıksal deprem tehlikesi senaryosu için tahmin edilmiştir. Hasar dağılımları genel kapsamda (hücre bazında) İstanbul ve detaylı olarak (bina bazında) Zeytinburnu için yeniden değerlendirilmiş, hem İstanbul geneli hem de Zeytinburnu örneğinde bina güçlendirmelerinin hasar ve can kaybı üzerine etkileri parametrik olarak incelenmiştir.

## 2. YÖNTEM

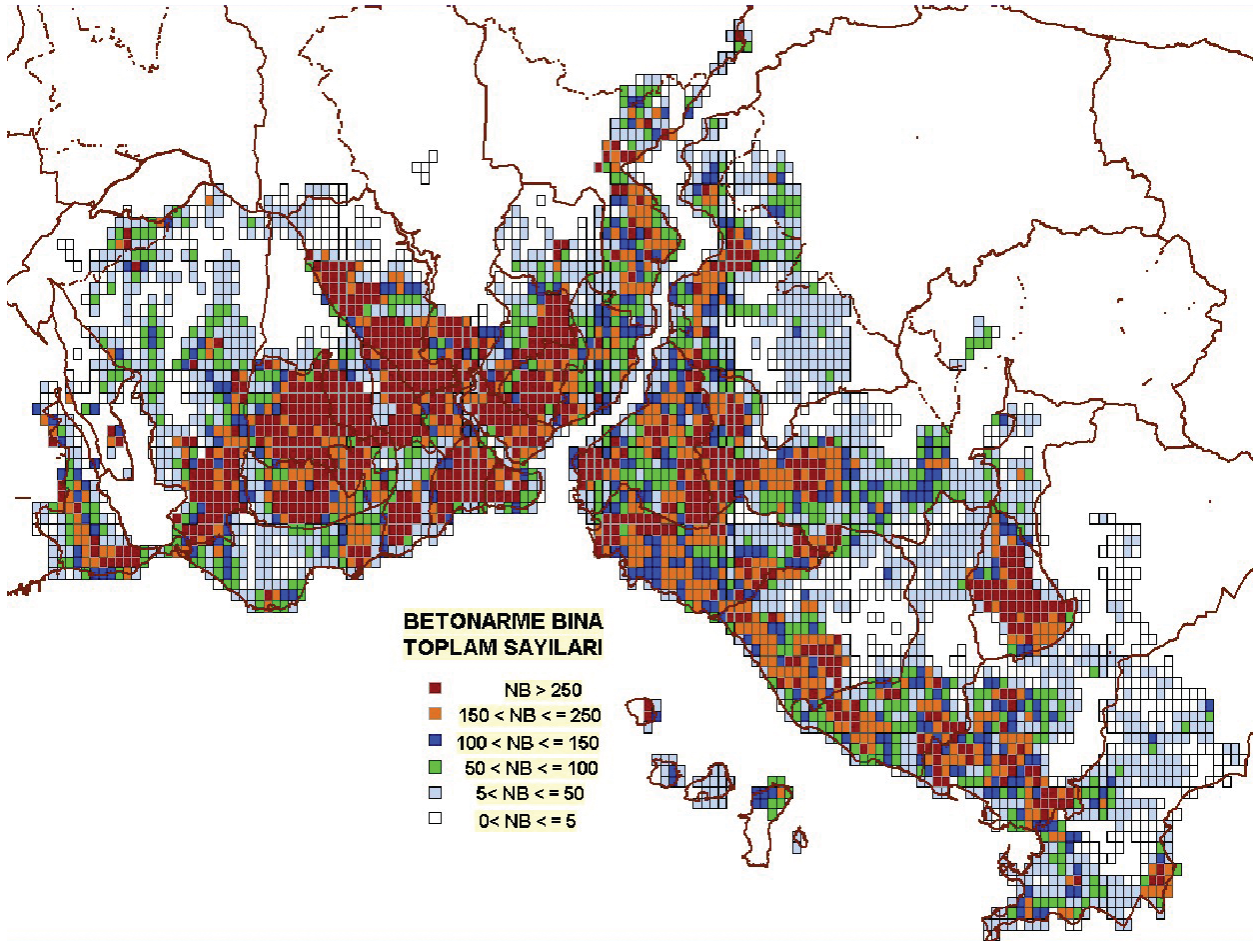
Hasar senaryolarının ilk adımı senaryo depremi olarak seçilen olasılıksal veya deterministik deprem tehlikesinin hesaplanması, zemin koşullarına bağlı spektral ivme dağılımlarının belirlenmesidir. İkinci aşamada hasar görülebilirlikler, bina envanteri ve nüfus istatistikleri kullanılarak hasar ve can kaybı tahminleri yapılır. Bu süreçte;

- **Hücre Sistemi:** İstanbul Büyükşehir yerleşim alanı, deprem tehlikesi verileri, geoteknik veriler ve bina envanteri bilgilerinin işleneceği boyutları 0.005°x0.005° (yaklaşık 400mx600m) olan bir karelaajla 8131 hücreye bölünmüştür. Daha kapsamlı bir çalışmanın yapıldığı

Zeytinburnu İlçesi’nde ise yerleşim alanı 250mx250m’lik hücrelere bölünerek 231 hücre tanımlanmıştır.

- **Yapı Stoğu:** Bina envanteri Yapısal Sistem, Kat Sayısı ve Yapım Yılı olmak üzere üç ana kategori kullanılarak sınıflandırılmıştır. Her kategori daha sonra alt gruplara ayrılmış, toplam 24 farklı bina sınıfı oluşturulmuştur (Erdik vd., 2003, 2002). Binalar üçlü i-j-k alt indisleri kullanılarak  $B_{ijk}$  şeklinde sınıflandırılmıştır. Burada “i” yapısal sistem sınıflandırmasını gösterir ve 4 alt gruba ayrılır: (1) Betonarme çerçeve, (2) Yığma, (3) Betonarme perde duvarlı, (4) Prefabrike. Kat sayısı sınıflandırması “j” indisi ile ifade edilir ve (1) Az katlı (1-4 kat bodrum kat dahil), (2) Orta Katlı (5-8 kat bodrum kat dahil), (3) Çok Katlı (8 kattan fazla bodrum kat dahil) alt gruplarına ayrılır. “k” indisi yapım yılı sınıflandırmasını tanımlar: (1) 1979 ve öncesi, (2) 1980 ve sonrası. İstanbul bina envanterinde toplam bina sayısı 737 653 olarak alınmıştır. Bu binaların 562 613 (%76.3) adedi betonarme ve 173 639 (%23.5) adedi yığma binadır (Erdik vd., 2002). Zeytinburnu İlçesi’nde bina envanteri (15738 bina) sokak taraması ile derlenmiştir (Aydinoğlu ve Polat, 2004). Mevcut hasar görülebilirlik eğrilerinin kullanılabilmesi amacıyla Zeytinburnu binaları da İstanbul bina stoğunun sınıflandırılma kriterlerine göre sınıflandırılmıştır (**Şekil 1**).

- **Zemin Koşulları:** İstanbul deprem



**Şekil 1: İstanbul'da toplam bina sayılarına göre betonarme çerçeve binaların dağılımı**

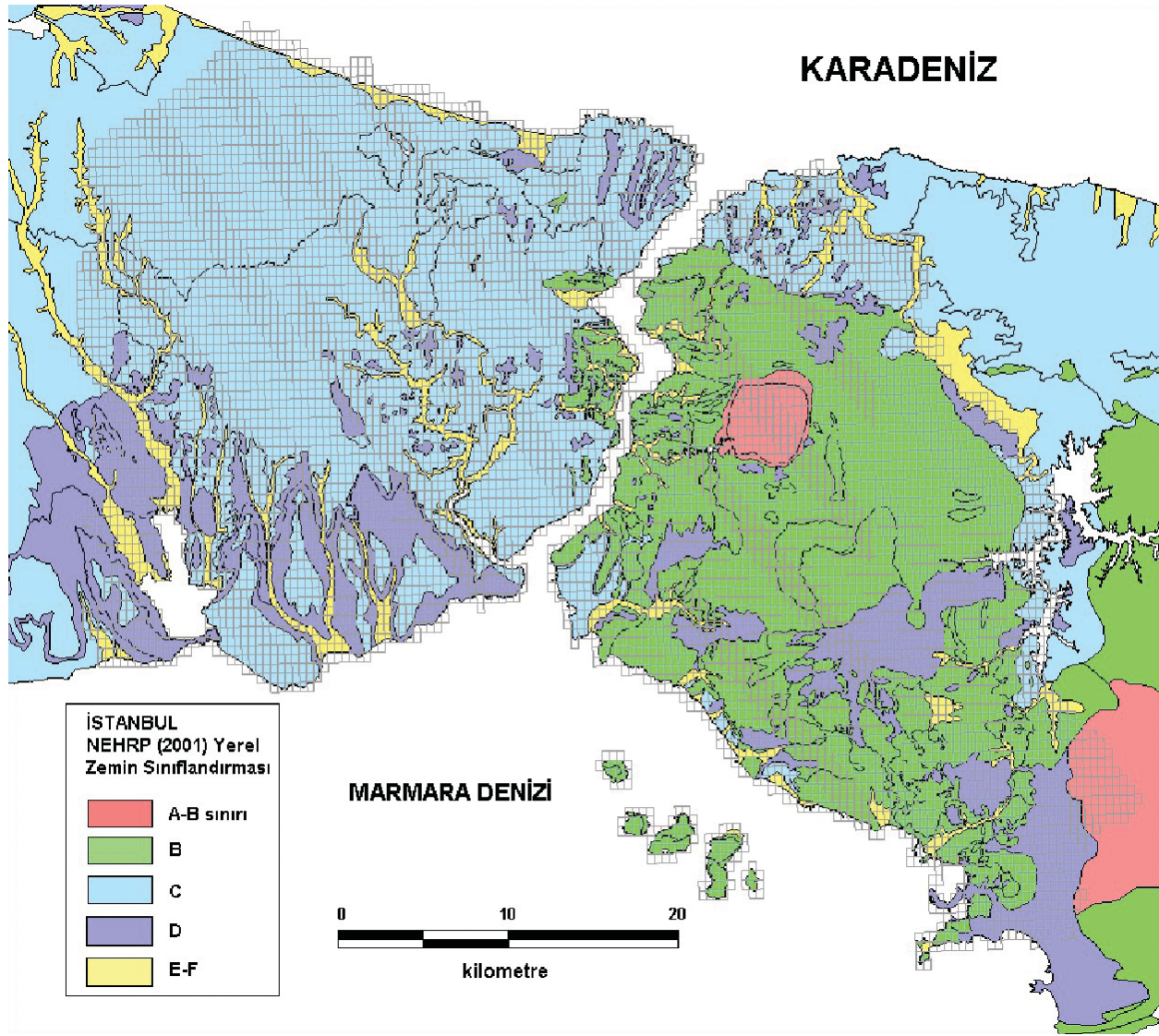
hasar senaryoları için geoteknik zemin koşullarının belirlenmesi Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TDY (AİGM, 2007) ve Amerikan Deprem Şartnamesi NEHRP (2001) dikkate alınarak yapılmıştır (**Şekil 2**). Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan 1/50,000 ölçekli yüzey jeoloji haritası ve mevcut sondaj bilgileri değerlendirilerek hücre sistemi için TDY ve NEHRP zemin sınıflarının dağılımı elde edilmiştir. Zeytinburnu örneğinde ise yerel zemin koşulları ve zemin tabakalanması bölgede yapılmış mevcut sondajlar, kuyu içi ve yüzey sismik dalga ölçümleri dikkate alınarak tanımlanmıştır. Kayma dalgası hızının derinlikle değişimi varsa kuyu içi veya yüzey kayma dalgası hızı ölçümlerinden

veya İyisan (1996) tarafından geliştirilen standart penetrasyon deneyi vuruş sayısına bağlı ampirik bağıntı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kayma dalgası hız profilleri kayma dalgası hızının 750m/s'den büyük olduğu mühendislik anakyası derinliğine kadar belirlenmiş ve her hücre için bir temsili zemin profili tanımlanmıştır.

• **Sismik Tehlike Haritaları (Spektral İvmeler):** İstanbul'da her hücre için ortalama ivme davranış spektrumları, INGV tarafından önerilen 9 farklı deprem tehlike senaryosu için önerilmiş ivme zaman kayıtlarının DB ve KG ivme davranış spektrumlarının ortalaması olarak tanımlanmıştır. Ortalama ivme spektrumuna en iyi uyan NEHRP

zarf spektrumunun bulunması için bir algoritma geliştirilmiş, bu zarf NEHRP spektrumundan anakaya seviyesindeki 0.2 saniye ve 1.0 saniye periyotlarındaki spektral ivme değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu spektral ivme değerlerinden NEHRP spektrum büyütme katsayıları kullanılarak yüzeydeki zemin bağımlı spektral ivme değerleri hesaplanmıştır. Zeytinburnu çalışmasında ise, zemin yüzeyinde deprem özellikleri her hücre zemin profili için yapılan bir boyutlu zemin davranış analizleri sonucunda elde edilmiştir. Zemin davranış analizlerinde, ivme zaman kayıt setleri kullanılarak yüzeyde elde edilen ivme davranış spektrumlarının ortalaması her hücre için seçilen deprem tehlike senaryosuna karşı





**Şekil 2: İstanbul için NEHRP (2001) yerel zemin sınıflandırması**

gelen ivme spektrumu olarak tanımlanmıştır.

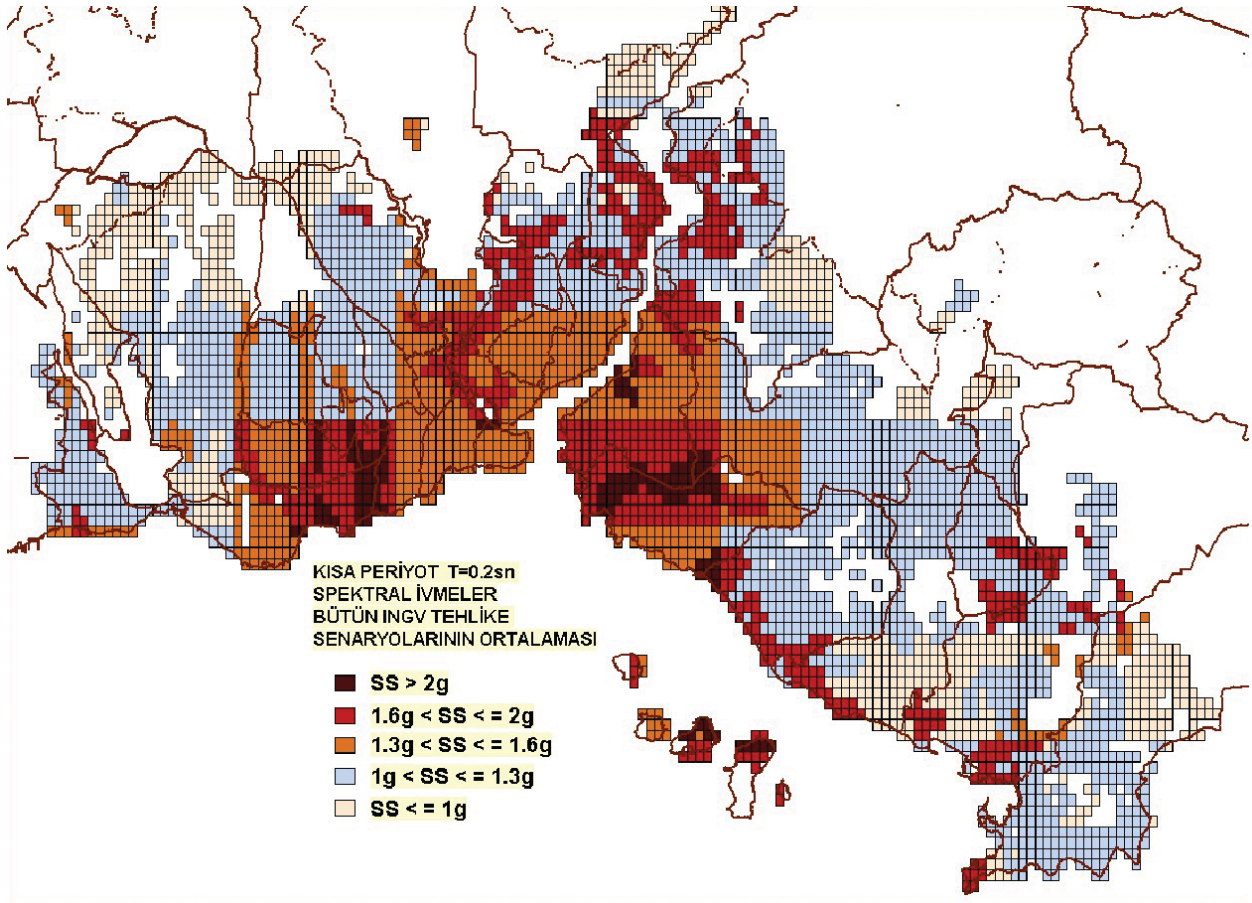
- Hasar görebilirlik ilişkileri, yapının davranışının spektral istem-sunum eğrisinden tahmin edildiği spektral yer değiştirme yöntemine dayanmaktadır. Spektral yer değiştirmelere bağlı hasar görebilirlik eğrilerinin bir eksenli spektral yer değiştirme istemi, diğer eksenli ise yapısal hasarın belirli hasar eşik seviyesine ulaşma veya bu seviyeyi aşma toplam olasılığını göstermektedir. Binalardaki yapısal hasarlar beş grup altında sınıflandırılmıştır: (1)

Hasarsız, (2) Az Hasarlı, (3) Orta Hasarlı, (4) Çok Hasarlı, ve (5) Yıkık.

- Hasarlı binadaki yaralanma ve ölüm oranları için Erdik vd. (2002) tarafından geliştirilen bölgesel depremlerden elde edilen verilere göre önerilmiş model benimsenmiştir. Can kayıpları dört yaralanma şiddet derecesi için hesaplanmıştır. Değişen bina tiplerinde can kaybının belirlenmesi için birim başına ortalama bir nüfus sayısı atanmıştır.

- Orta yükseklikteki tipik yapılar üzerindeki ön çalışmalar doğrultu-

sunda, toptan göçme ve ağır hasarı önlemeye yönelik bina güçlendirme yöntemlerinin (yapısal duvar eklenmesi, kolon mantolanması, vb.) orijinal yapıların hakim periyotlarını ortalama yaklaşık üçte ikisine düşürdüğü ve yatay yük kapasitesini de 2.5 kat artırdığı varsayılmıştır. Eldeki bina verileri, güçlendirilmiş bina stoğunda hasar dağılımının hesaplanması için bu değişiklikler yapılarak düzenlenmiştir. Burada amaç can kayıplarına sebep olan yıkık bina sayısını azaltarak güçlendirmenin etkisini gözlemlemektir.



**Şekil 3: İstanbul için zemin yüzeyinde hesaplanmış olan kısa periyot spektral ivme değerlerinin dokuz INGV tehlike senaryosu için ortalaması**

### 3. SONUÇLAR

Deprem tehlikesinin belirlenmesinde Erdik vd. (2004) tarafından çalışılmış olasılıksal yaklaşım ve bu çalışma için INGV (2006) tarafından hazırlanan deterministik kırılma tehlike senaryoları gibi değişik yaklaşımlar mevcuttur. Olasılıksal ve deterministik deprem tehlike senaryolarının sonuçlarında belirgin farklar bulunmaktadır. Kentsel deprem hasar senaryolarında deprem tehlike analizi bilgisinin kullanımı bilimsel ortamda sürmekte olan bir tartışma konusudur, hem deprem tehlikesi hem de deprem hasar senaryolarına yansıyan belirsizliklerin azaltılmasına yönelik çalışmalar sürmektedir.

Zemin koşullarının etkisinin değerlendirilmesinde de değişik yaklaşımlar söz konusudur. İstanbul için zemin koşullarının etkisi NEHRP yerel zemin sınıflandırması kullanılarak, Zeytinburnu için zemin koşullarının etkisi daha kapsamlı geoteknik veriler ve zemin büyütme analizleri kullanılarak yapılmıştır. İki yöntem arasında hem zemin yüzeyinde hesaplanan deprem özellikleri, hem de hasar dağılımı açısından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında **Şekil 4**'te gösterilmiş olduğu gibi İstanbul genelinde hasar dağılımları hem KRDAE olasılıksal tehlike senaryosu hem de INGV deterministik tehlike senaryoları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Yıkılacağı tahmin edilen bütün betonarme binaların güçlendirilebileceği varsayılarak bir parametrik değerlendirme yapıldığında sonuçlar açıkça güçlendirmenin bina hasarını ve daha da önemlisi can kaybını düşürdüğünü göstermektedir. İlk aşamada KRDAE olasılıksal deprem tehlikesi modeli için yıkılacağı tahmin edilen betonarme çerçeve bina sayısı 23291 (4.1%) iken güçlendirme sonrası bu sayı 1471 (0.26%) olmakta, can kaybı ise 31521 kişiden 2442 kişiye düşmektedir.

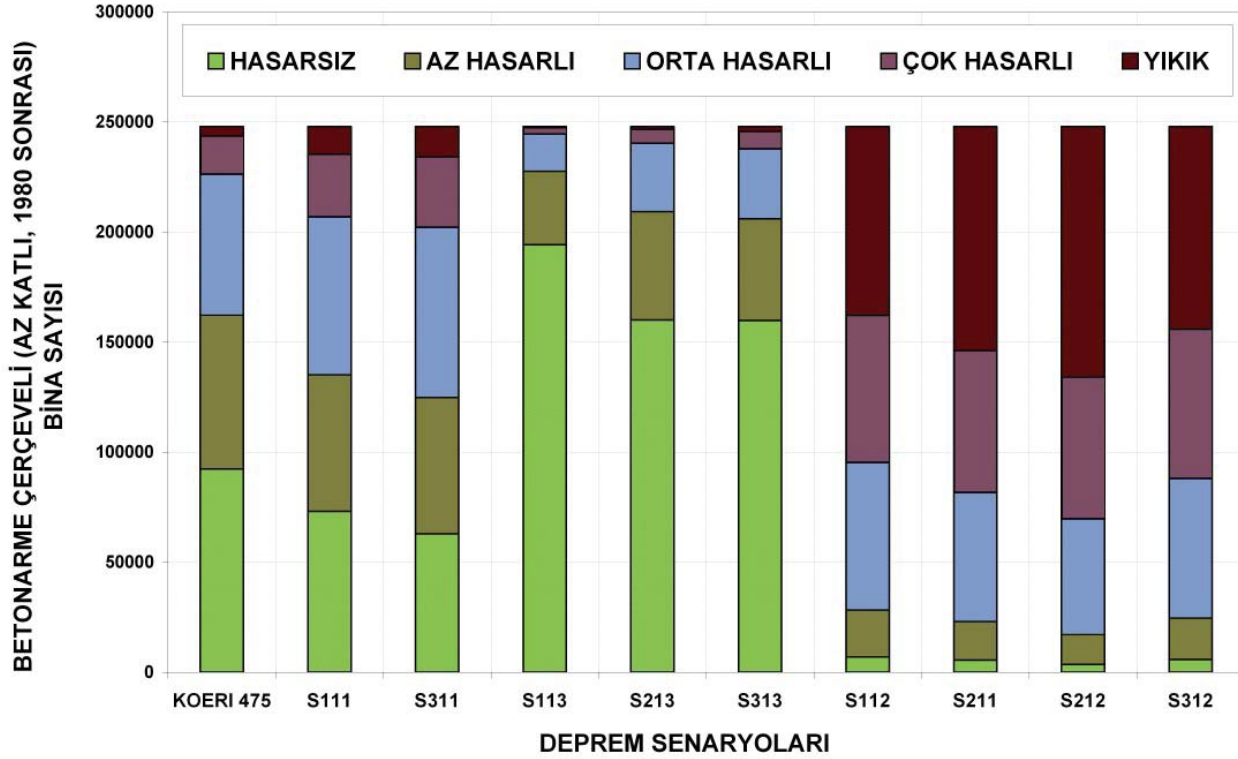
Zeytinburnu için hasar dağılımı ve can kaybı hesaplamalarında, deprem tehlikesi, envanter ve hasar görülebilirlik girdilerini kullanan coğrafi bilgi sistemleri ile verilerin işlenmesi ve sonuçların sunulabilmesi için



geliştirilen KoeriLossV2 (Ansal vd., 2007) programı kullanılmıştır. Ağır hasarlı ve yıkılacağı tahmin edilen bütün binaların güçlendirileceği varsayılarak olasılıksal ve deterministik tehlike senaryolarının bazıları için

bir parametrik değerlendirme yapıldığında, hasar ve can kaybı seviyelerinde çok belirgin azalmalar gözlenmiştir. En fazla yıkım ve can kaybı sonucu veren INGV 212 tehlike senaryosunda güçlendirilme öncesi

ağır hasar göreceği ve yıkılacağı tahmin edilen betonarme bina sayısı 2208 (16%) iken güçlendirme sonrası bu sayı 0 olmakta, can kaybı ise 484 kişiden 0 kişiye düşmektedir.



Şekil 4: İstanbul'da 9 fay kırılma modeline ve olasılıksal deprem tehlikesine göre betonarme çerçeve binaların hasar dağılımı

#### KAYNAKLAR

- Ansal,A., Kurtulus,A., ve Tönük,G. (2007) "Earthquake damage scenario software for urban areas", Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN, Rethymno, Girit, Yunanistan.
- Aydınoğlu,N. ve Polat,Z.C. (2004) "Zeytinburnu'nda Binaların Deprem Davranışlarının Değerlendirilmesi", İstanbul Deprem Master Planı Zeytinburnu Pilot Projesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi , Planlama ve İmar Dairesi.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, AİGM (2007) "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY).
- Erdik,M., Demircioğlu,M., Şeşetyan,K., Durukal,E., ve Siyahi,B. (2004) "Earthquake Hazard in Marmara Region", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Cilt 24, sf.605-631.
- Erdik,M., Aydınoğlu,M.N., Fahjan,Y., Şeşetyan,K., Demircioğlu,M., Siyahi,B., Durukal,E., Özbey,C., Biro,Y., Akman, H., ve Yüzüğüllü,Ö. (2003) "Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area", Earthquake

- Engineering and Engineering Vibration, Cilt 2, No.1, sf.1-25.
- Erdik,M., Aydınoğlu,M.N., Barka,A., Yüzüğüllü,Ö., Siyahi,B., Durukal,E., Fahjan,Y., Akman,H., Birgören,G., Biro,Y., Demircioğlu,M., Özbey,C. ve Şeşetyan,K. (2002) "İstanbul Metropolitan Alanı için Deprem Riskinin Değerlendirilmesi", Amerikan Kızıllaç Araştırma Projesi Raporu, Boğaziçi Üniversitesi Yayını (İngilizce).
- INGV (2006) "Technical report on the scenario earthquake definitions for three cities", LESSLOSS Project Report.
- İyisan,R. (1996) "Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı ile Penetrasyon Deney sonuçlarının Karşılaştırılması", İMO Teknik Dergi, Cilt 7, No.2, sf.1187-1199.
- NEHRP-National Earthquake Hazards Reduction Program (2001) "Recommended Provisions for Seismic Regulations for new buildings and other structures", 2000 Edition, Part 1: Provisions (FEMA 368), Ch. 4, Washington, D.C.
- Spence,R. (editör) (2007) "Earthquake Disaster Scenario Prediction and Loss Modelling for Urban Areas", Avrupa Birliği Altıncı Çerçeve Projesi, LessLoss Report 07, IUSS Press, Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia.