SOSYAL ZARARGÖREBİLİRLİK ANALİZİ: SYNER-G YAKLAŞIMI

H.S.B. Düzgün[1], K. Ertuğay[2] ve B. Khazai[3]

[1] *Profesör, Deprem Müh. Araştırma Merkezi, Maden Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Doktor, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü,Selçuk Üniversitesi, Konya*
[3] *Doktor, Jeofizik Enstitüsü, Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü, Karlsruhe, Almanya*
Email: duzgun@metu.edu.tr

ÖZET:

Bu bildiride AB 7. Çerçeve programında desteklenen ve 2013'de tamamlanan SYNER-G (Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructures Safety Gain- Binaların, Candamarı ağlarının, altyapının güvenliğini artırmak için sistemli sismik zarargörebilirlik ve risk analizi) projesinde tüm Avrupa ülkelerindeki kentler için geliştirilen sosyal zarargörebilirlik yaklaşımı sunulmaktadır. Geliştirilen yaklaşımda fiziksel sistemlerin deprem nedeni ile hasargörebilirliklerinin bütünleşik olarak ele alınabilmesi için sosyal zarargörebilirlik, deprem sonrası barınak ve sağlık hizmeti ihtiyaçlarının belirlenmesi için geliştirilen modellere dayanmaktadır. Barınak ihtiyacı modeli sadece yapı hasargörebilirliğini göz önüne almak yerine yapıların oturulabilirliği ve depremden etkilenen nüfusun sosyal zarargörebilirliğini dikkate almaktadır. Bu modelde nüfusun sosyal zarargörebilirliği, EUROSTAT verilerinden zaragörebilirlik göstergeleri için kullanılabilecek parametrelerin analizi ile elde edilmektedir. Sağlık hizmeti ihtiyacı modeli ise yeni bir yarı-apirik yaklaşımla sağlık hizmetine ihtiyaç duyacak afetzede tahminine dayanmaktadır. Kentin ilçe, mahalle gibi alt idari bölümlerinde hem sağlık servislerine erişebilirilik ve sağlık servislerinin kapasitesi hem de geçici barınak alanı (örneğin çadırkent) olarak belirlenen açık alanlara (parklar, boş alanlar, vb.) erişebilirlik dikkate alınmaktadır. Geliştirilen her model Avrupa'nın farklı kentleri için uygulanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Sosyal zarargörebilirlik, kayıp tahmini, sağlık ve barınma ihtiyacı, erişebilirlik.

1. GİRİŞ

Son yıllarda gerçekleşen depremlerle de görüldüğü gibi deprem sonrası fiziksel çevrede oluşan hasarların yanında nüfusun sosyo-ekonomik açıdan gördüğü zararlardan oluşan kayıplar toplumların gelişim süresini önemli ölçüde yavaşlatmaktadır. Bu durum son yıllarda yapılan birçok bilimsel çalışmada da belirtilmekte ve afetlerle fiziksel çevrenin hasargörebilirliğinin yanında sosyo-ekonomik zarargörebilirliğin de analiz edilmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır (Cutter ve ark., 2003; Blaike ve ark., 2004; Chang ve Pasion, 2009;Cutter ve ark., 2010;Düzgün ve ark., 2011; Khazai,ve ark, 2011;Daniell ve ark., 2011). Halihazırdaki deprem kayıpları belirleme yazılımları herhangi bir alanda deprem olduğunda olası can kayıplarının, yer değiştirecek nüfusun, endüstrideki iş kayıplarının vb. doğrudan ölçülebilen birtakım parametreler üstünden tahmin edebilmesine dayanmaktadır. Fiziksel çevrede meydana gelen kayıpların sosyo-ekonomik kayıplarla bağlantısı yeteri kadar belirlenememiştir (Bostrom et al, 2008). Mid America Earthquake Center tarafından geliştirilen EAViz yazılımında deprem sonrası gerekli olacak barınma ihtiyacı fiziksel hasargörebilirlikle ilişkilendirilmiştir (El-Anwar ve ark 2010). Ancak sosyo-ekonomik zarargörebililiğin fiziksel hasargörebilirlikle sistematik olarak ilişkilendirildiği bir yaklaşım geliştirilmemiştir. Mart 2013'de tamamlanan SYNER-G projesinde ise fiziksel çevrede meydana gelen hasarlar ile sosyo-ekonomik yapıda ortaya çıkacak zararların belirlenmesine yönelik yöntemsel bir yaklaşım geliştirilmiştir. SYNER-G projesinde barınma ihtiyacı olan nüfusun, bu nüfus için gerekli barınak ve sağlık ihtiyaçları, sosyo-ekonomik kayıplar olarak ele alınmıştır. Bu ihtiyaçlar sismik tehlike

ve buna bağlı olarak belirlenen fiziksel çevredeki bileşenlerin (bina, alt yapı, candamarı vb.) hasargörebilirliği ile entegre edilmiştir. Böylelikle SYNER-G projesi kapsamında geliştirilen entegre yaklaşım ile hasar derecesi ve toplumun afetle başa çıkma derecesi arasında bir ilişki kurulmuştur. Bu kapsamda binaların, ulaşım altyapısı ve candamarı ağlarındaki hasarların barınma ve sağlık sistemine etkileri belirlenmiştir. Afet sonrası acil durum ihtiyaçlarının belirlenmesinde kritik öneme sahip olan yemek, su, barınma ve acil sağlık hizmeti servislerindeki kesintiler afetzedelerin hayatta kalma ve yaşam kalitelerini etkilediğinden, SYNER-G projesinde geliştirilen sosyo-eokonomik zarargörebilirlik afetin hemen sonrasındaki acil durum planlamasını kapsamaktadır. Dolayısı ile SYNER-G projesinde sosyo-ekonomik zarargörebilirlik iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar:

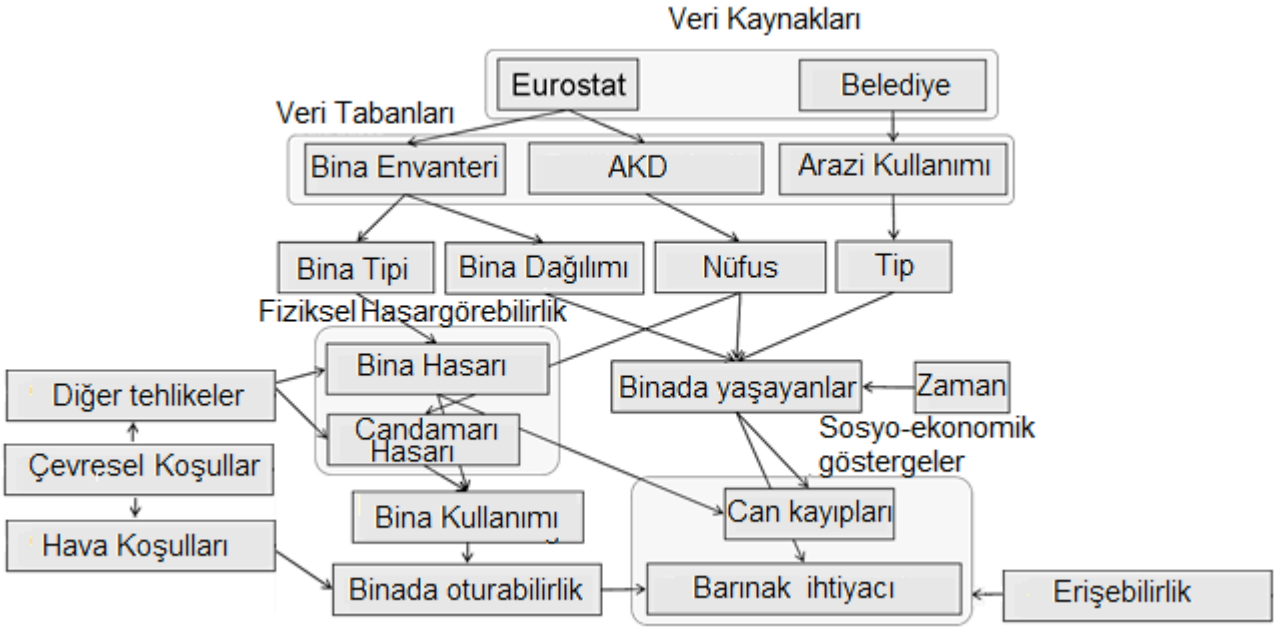
1. Deprem sonrası barınma ihtiyacı olacak nüfusun ve barınak ihtiyacının belirlenmesi (Barınak İhtiyacı Modeli, BİM)
2. Deprem sonrası nüfusun sağlık hizmeti ihtiyacının belirlenmesi (Sağlık Servisi İhtiyacı Modeli, SSİM)
3. Hem barınak hem de sağlık servisi ihtiyacı fiziksel sistemde meydana gelecek hasarların tahmin edilmesine bağlı olarak belirlenmektedir.

Sözkonusu sosyo-ekonomik zarargörebilirlik bileşenlerinin elde edilmesi için öncelikle zarargörebilirliğin ifade edileceği ölçütlerin ve bu ölçütlerin haritalanacağı mekansal ölçeğin belirlenmesi gerekmektedir. SYNER-G projesinde hem barınak hem de sağlık servisleri ihtiyaçlarının zarargörebilirlik ölçütleri için göstergelere dayalı bir yaklaşım geliştirilmiş ve göstergeler Avrupa genelindeki kentler için geliştirilmiş EUROSTAT'ın Avrupa Kent Denetimi, AKD (the European Urban Audit of EUROSTAT) verilerinden elde edilmiştir. Mekansal ölçek olarak ise kentsel alanların alt idari birimleri ya da ilçeleri (sub-city districts) kullanılmaktadır. Hem barınak ihtiyacı için kentlerdeki açık alanlar, parklar vb. gibi alanların seçildiği (genellikle geçici toplu barınaklar,örneğin çadırkent) bölgelerin hem de sağlık servislerinin alt idari birimlerce erişilebilirliği sağlık servisi ve barınak ihtiyacı bileşenlerinde göz önüne alınmıştır. SYNER-G projesinde beliştirilen yaklaşımın farklı modelleri Itayla'dan L'Aquila ve Yunanistan'dan Selanik kentlerinde uygulanmıştır.

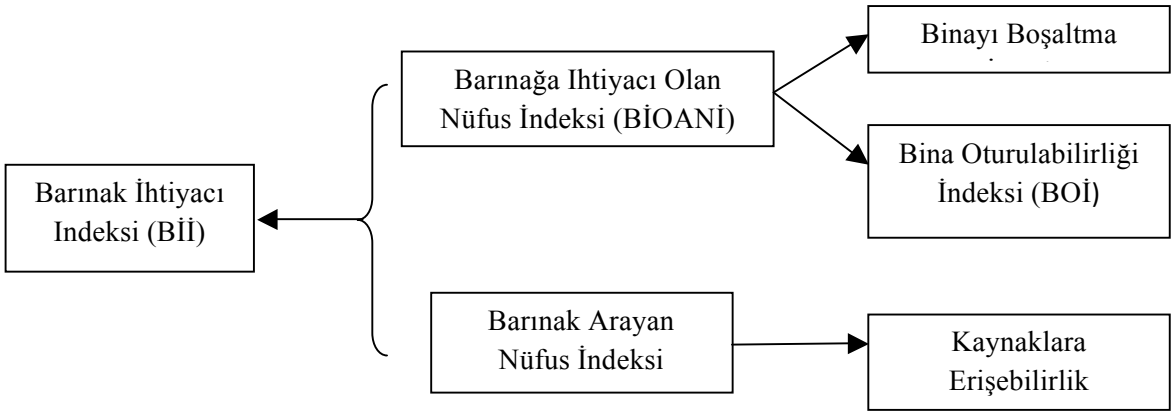
2. BARINAK İHTİYACI MODELİ (BİM)

Barınak İhtiyacı Modeli (BİM) öncelikle bir kentsel aldan olası yapı ve candamarı hasarlarının (fiziksel hasar) belirlenmesine dayanmaktadır (Şekil 1). Bina ve candamarı hasarlarının belirlenmesi ise sismik tehlikeye, yapının hasargörebilirliğine ve yapı tipine bağlıdır (Şekil 1). Can kayıplarını ve deprem sonrası barınak ihtiyacı olan nüfusu belirlemek için yapının kimler tarafından kullanıldığı (yapı kullanımı) ilk girdilerden biridir. Yapının kullanımı ise kentsel alandaki arazi kullanımı, yerleşim alanları ve bunlardaki yapı tipleri, nüfus ve günün saati parametrelerine bağlıdır. Risk altındaki nüfus, yapının oturulabilirliği ve depremin olma zamanına bağlıdır (Şelil 1). Yapı oturulabilirliği ise yapının candamarı servisleri (elektrik, su vb.) hizmetlerinden yararlanabilirliği ile hava koşullarına bağlıdır (Şekil 1). Barınak ihtiyacı yapı oturulabilirliği, yapıların erişilebilirliği, yapı hasarı ve tipi ile can kayıpları oranına bağlı olarak hesaplanır (Şekil 1).

BİM ölçüt olarak barınak ihtiyacı indeksini (Bİİ) kullanmaktadır (Şekil 2). Bu indeks, barınağa ihtiyaca olan nüfusun belirlenmesi için geliştirilen bir indeks (BİONİ) ile barınak arayan nüfus indeksinin (BANİ) bileşkesidir. BİONİ yapıyı yaşayanların boşaltma isteği ile yapının oturulabilirliğinin bileşkesidir. BANİ ise kaynaklara erişim düzeyi esas alınarak belirlenmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. SYNER-G projesindeki barınak ihtiyacı modeli (BİM)



Şekil 2. BİM'in belirlenmesinde kullanılan barınak ihtyacı indeksi

BANİ indeksi için öncelikle literatürden 18 farklı değişken belirlenmiş, daha sonra bu değişkenlerin AKD verisindeki karşılıkları temel bileşenler analizi ile indirgenmiştir. Tablo 1'de BANİ için AKD verilerinden kullanlabilecek göstergeler verilmektedir.

Tablo 1. BANİ için AKD verisinden elde edilen göstergeler

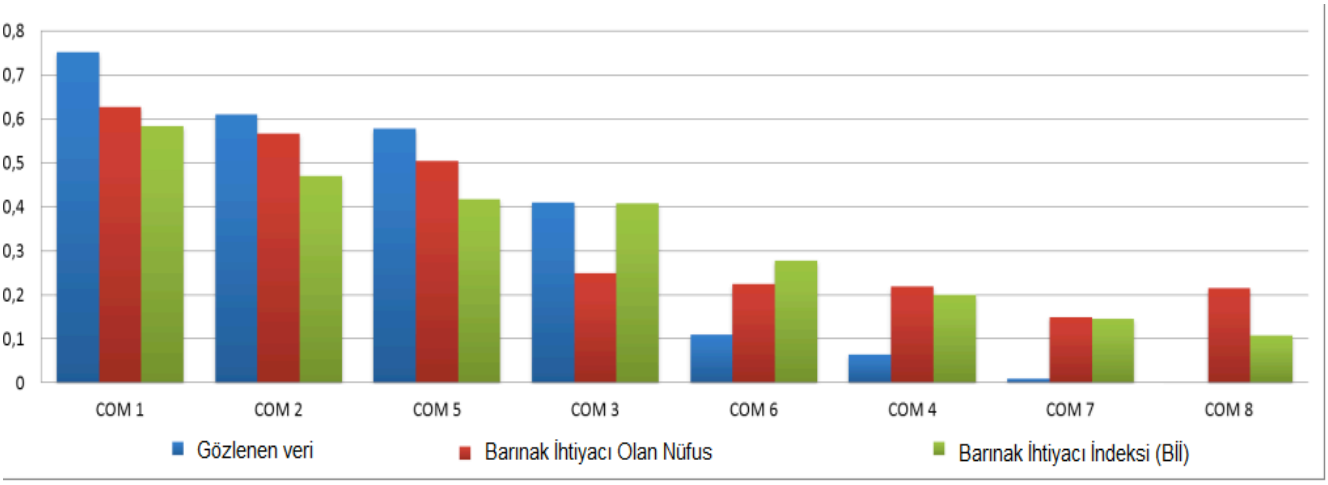
Gösterge grubu	En ilişkili parametre	Korelasyon katsayısı
Yaş/ölüm	Yıllık 65 yaş altı ölüm oranı	-0.88
Eğitim	Çalışan nüfus yaşı, nüfusun düzey 3 ya da 4 eğitimli kısmı	+0.77
Çocuklu tek ebeveyn	Çocuklu tek ebeveynli hane nüfusu	+0.68
Nüfus yoğunluğu	Km'ye düşen nüfus yoğunluğu	-0.64
Göç/etnik yapı	AB vatandaşı olmayan nüfus oranı	+0.58
Cinsiyet	Toplam nüfustaki kadınların erkelere oranı	+0.51
İşsizlik	İşsizlik oranı	-0.54
Standard olmayan konut	Temel yaşam hizmeleri olmayan haneler	+0.67

Benzer yöntemle binayı boşaltma isteği için AKD verisinden elde edilen göstergeler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Binayı boşaltma isteği için AKD verisinden elde edilen göstergeler

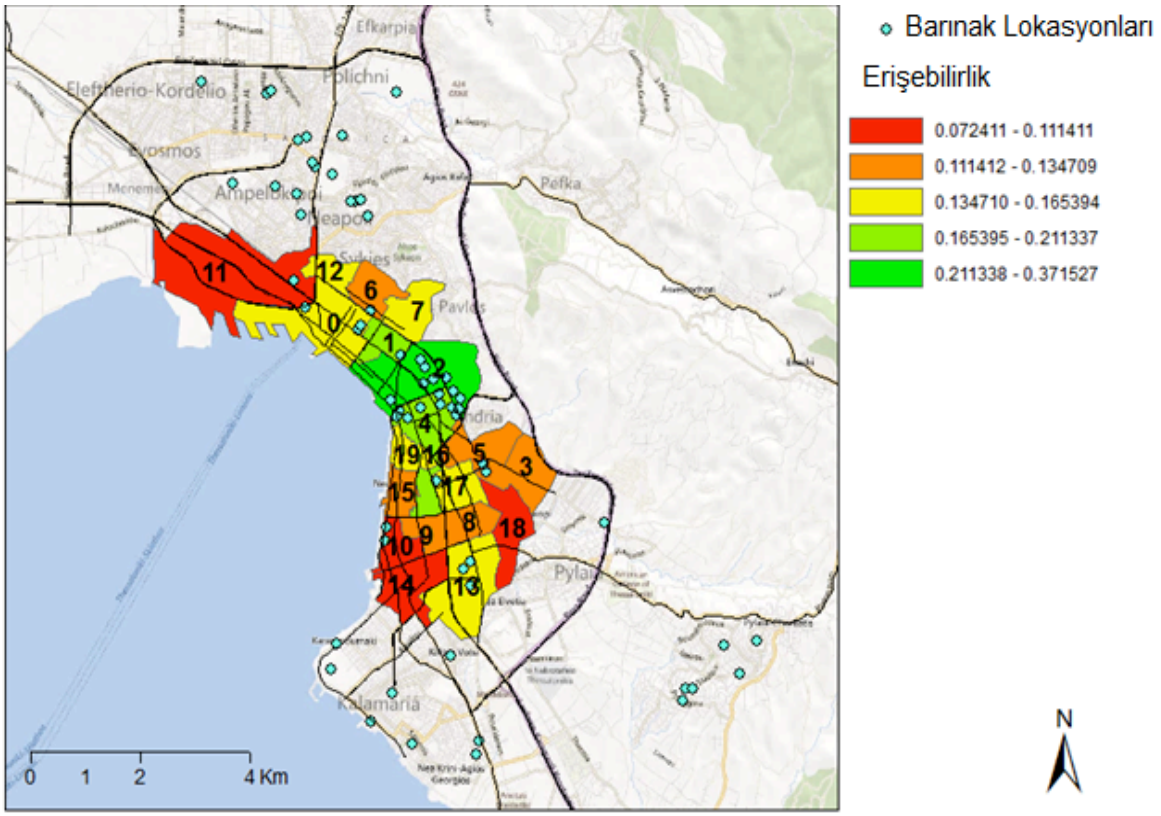
Karar Fakörleri	AKD göstergeleri
Ev sahipliliği	-Nüfusun kiracı oranı
	-Nüfusun ev sahibi oranı
Konut	-100 daire için bina sayısı
	-Sosyal konutlarda yaşayan nüfusun oranı
	-Temel ihtiyaçları olmayan konutlar
	-Plansız konut oranı
Hane	-Ortalama hane büyüklüğü
	-18 yaş altı çocuklu tek ebeveyn
	- Sosyal konutlarda yaşayan hane oranı
Çocuk ve Yaşlı	- 0-4 yaş grubu çocukların nüfus oran
	-75 yaş ve üstü nüfus oranı
Güvenlik Algısı	-1000 kişi başına düşen kayıtlı suç adedi

Tablo 1 ve 2'de verilen göstergeler kullanılarak elde edilen indeksler çok ölçütlü karar analizi araçları ile bütünleştirilerek Şekil 2'de verilen Bİİ hesaplanmaktadır. BİM modeli için geliştirilen göstergelere dayalı yaklaşım, 2009'daki L'Aquila depremi sonrası Elefante ve ark (2011)'nın sağladığı deprem sonrası 1667 binada yapılan yapı kullanılabilirliği anketi, 106 idari bölümlenmenin sosyo-ekonomik verisi, Civil savunmanın Nisan-Ağustos 2009 arasında 107 geçici yerleşimden elde ettiği barınak nüfusu verileri kullanılarak 8 adet karışık operasyonlar merkezi (Mixed Operations Centres, COM) için denenmiş be başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. L'aquila'da gözlenen barınaktaki nüfus ile SYNER-G projesinde hesaplanan Bİİ

Deprem sonrası seçilebilecek geçici barınma lokasyonlarının mahallere erişimleri BİM modelin bir parçası olarak Selanik kenti için hesaplanmıştır (Şekil 4). Erişebilirlik hesaplamalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) erişebilirlik araçları kullanılmış yolların deprem sonrası hasar durumu da dikkate alınmıştır.



Şekil 4. Selanik'te potansiyel geçici barınma alanlarının mahallelere erişebilirliği

3. SAĞLIK SERVİSİ İHTİYACI MODELİ (SSİM)

SYNER-G projesindeki SSİM hem can kayıplarının tahminini hem de can kayıplarına etkisi olacak sağlık servislerinin işlerliğinin tahminini içermektedir. Can kayıpları oranları yapı tipine, yapının yapısal özelliklerine ve yapıların bulunduğu alanların yaşamsal koşullarına bağlıdır. SYNER-G projesindeki can kayıpları tahmini Coburn ve Spence'in (1992) modeline dayanmaktadır. Ancak Coburn ve Spence'in (1992) modeline ek olarak can kayıplarının yapı tiplerine ve yapısal hasarlara göre tahmin edilmesine olanak tanıyan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımın temel özellikleri şunlardır:

1. Can kayıplarının sadece yapı çökmelerinden kaynaklanmadığı gerçeğine rağmen birçok can kaybı tahmini modeli can kayıplarını sadece yapı çökmesi için tahmin etmektedir. SYNER-G projesindeki SSİM'de can kayıpları tüm hasar tiplerine göre tahmin etmektedir.

2. Can kayıpları oranı tahmini genellikle geçmişte oluşan can kayıplarına dayanarak tahmin edilmekte ve sistematik bir yaklaşımla belirlenememektedir. SSİM'de karşılaştırılabilir yapı tiplerine göre farklı bölgeler için can kaybı oranları hesaplanmaktadır.

3. SSİM hem yapı hasarını hem de sismik şiddeti göz önüne alarak can kayıplarını tahmin etmektedir.

4. SSİM yapı tiplerinin ortaya çıkarabileceği can kayıplarını temsil etmesi için "bina-can kaybı" sınıfı önermektedir.

Tablo 3'de Italya'da meydana gelen depremler sonrası yapı tipine göre oluşan can kayıplarının analizi sonrasında oluşturulan yapı tipine bağlı can kayıpları sınıflandırması verilmiştir.

Tablo 3. Bina hasarına göre can kaybı tahmini sınıfları

Can Kaybı Ponatsiyeli	Bina-Can Kaybı Sınıfı	Yapı tipi
Çok Yüksek	1-BC	Betonarme yapılar
Yüksek	2-BC	Duvarları yığma katları ve çatısı betonarme yapılar
Orta	3-BC	Duvarları yığma, katları ve çatısı çelik/ kereste yapılar

Tablo 4'de ise deprem şiddetine göre geliştirilen can kaybı oranları verilmektedir.

Şiddet	Bina-Can Kaybı Sınıfı	D0	D1	D2	D3	D4	D5
6	1-BC	0	0	0	0.0011	0.0027	0.0067
	2-BC	0	0	0	0.0005	0.0013	0.0033
	3-BC	0	0	0	0	0.0007	0.0017
7	1-BC	0	0	0.0009	0.0021	0.0053	0.0133
	2-BC	0	0	0	0.0011	0.0027	0.0067
	3-BC	0	0	0	0.0005	0.0013	0.0033
8	1-BC	0	0.0009	0.0021	0.0053	0.0133	0.0333
	2-BC	0	0	0.0011	0.0027	0.0067	0.0167
	3-BC	0	0	0.0005	0.0013	0.0033	0.0083
9	1-BC	0	0.0048	0.0073	0.0182	0.0454	0.1136
	2-BC	0	0.0024	0.0036	0.0091	0.0227	0.0568
	3-BC	0	0.002	0.003	0.0076	0.0189	0.0473

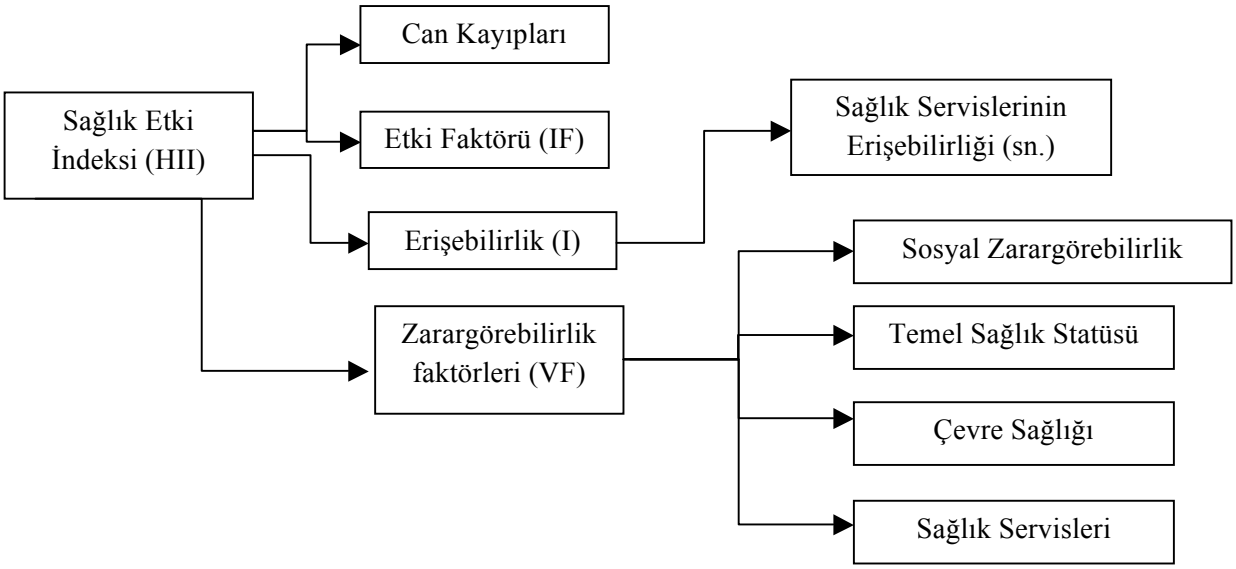
Tablo 3 ve 4'deki verilerle can kaybı tahmini eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır

$$N_d = \sum_{t=1}^{3} \sum_{d=1}^{6} \sum_{i=1}^{5} N_{t,d,i}\ CR_{t,d,i}\ NO_t \qquad (1)$$

Burada:

t = bina-can kaybı tipi (t = 1-BC. 2-BC. 3-BC)
d = hasar düzeyi (d = D0, D1, D2, D3, D4, D5)
i = sismik şiddet (i = VI, VII, VIII, IX, X)
$N_{t,d,i}$= t hasar –can kaybı tipinde d hasar düzeyinde ve i sismik şiddetteki yapı sayısı
$CR_{t,i}$ = Yapı tipi,hasar düzeyi ve sismik şiddet için can kaybı oranı
NO_t = t hasar-can kaybı düzeyinde depremin olduğu zamandaki kişi sayısı

Can kayıplarının yanında SSİM deprem sonrası sağlık etkilerini bir indeks ile belirleyerek farklı kentlerin deprem sonrası sağlık etkilerine göre değerlendirilmesine olanak sağlayacak bir yaklaşım içermektedir. Bu yaklaşımda can kayıpları tahmini modeli ile sağlık etki faktörünün bileşiminden oluşan bir indeks hesaplanmaktadır (Şekil 5). Etki faktörü ise sağlık servislerine erişbilirlik ve zarargörebilirlik faktörlerinin bileşkesidir (Şekil 5)



Şekil 5. SSİM'in sağlık etki indeksi yaklaşımı

Sağlık etki indeksi (HII) eşitlik 2 ve 3 kullanılarak hesaplanır.

$$HII = C \times (1 + IF) \tag{2}$$

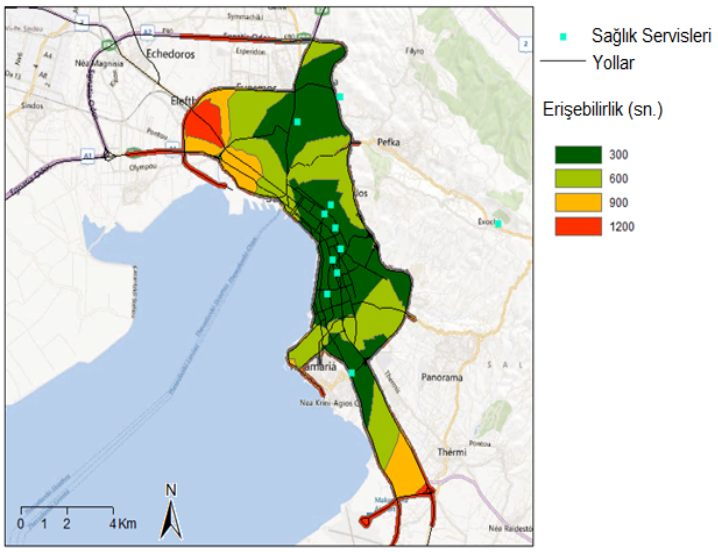
$$IF = AI \times \sum_{j=1}^{n} w_j VF_j \tag{3}$$

Burada :
C verilen bir bölge için can kayıpları oranı.
IF = Etki faktörü
AI = Erişebiliklik indeksi
w_j= Her göstergenin atırlığı
VF_j = Sosyal zarargörebilirlik, temel sağlık status, çevre sağlığı, sağlık servisleri göstergelerinden elde edilen indeks

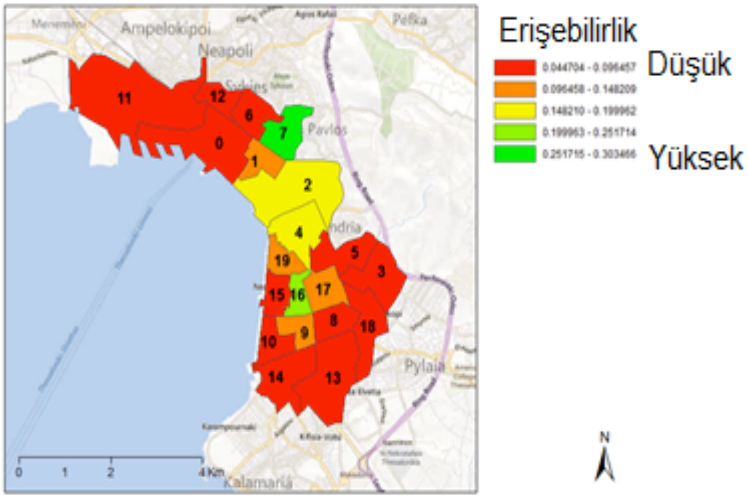
Göstergelerden elde edilen zarargörebilirlik indekslerinin alt bileşenleri ise yine AKD verilerinde yer alan verilerden elde edilmektedir. Sosyal zarargörebilirlikte yaşlı nüfus, çocuk nüfusu, kadın nüfüsü, yanlız yaşama, düşük eğitim düzeyi ve sosyal fonlara dayalı düşük gelir, temel sağlık statüsünde kronik hastalıklar, engellilik, aşılanma, çevre sağlığında, su ve temizlik araçlarına erişim, kalabalık barınma, hava koşulları, sağlık servislerinde ise hastane kapasitesi, sağlık personeli, yüksek hasta kabul ve fonksiyonel olmayan uniteler ile ilgili parametreler dikkate alınarak analiztik hiyerarşi sürecine dayalı bir inkdeks hesaplanmaktadır.

Sağlık servislerine erişim ise mahallelerden sağlık servislerine erişiminin CBS ile modellenmesi sonucu elde edilen erişebilirlik indeksinden bulunmaktadır. Erişebilirlik modelinde yolların hem yapısal hasardan hem de binaların yıkılması sonucu yolda oluşan kapanma durumları dikkate alınmıştır. Yolların kapanma durumlarına göre hızlar kalibre edilerek sağlık servislerinin mahallelerden erişebilirliği hesaplanabilmektedir. Şekil 6'da

Selanik kenti için eş erişim bölgelemesi yaklaşımı ile elde edilen erişebilirlik modeli verilmiştir. Bu modelde 5 dakikalık erişim kabul edilebilir sınırlarda ve 5 dakikanın üzerindeki erişim süreleri sağlık etkisi açısında sorunlu bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Erişebilirlik modelinde sağlık servislerinin kapasitesine göre belli bir çekim yaratacağı varsayımı ile de erişebilirlik hesaplanabilmektedir. Burada hastanelerin kapasitesi ve donanımlarına göre çekim güçleri tanımlanmaktadır. Şekil 7 Selanik kenti için çekim gücüne dayalı erişebilirlik yaklaşımı sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 6. Selanik'te sağlık servislerinin eş erişim yaklaşıma göre erişebilirliği



Şekil 7. Selanik'te sağlık servislerinin çekim güçlerine göre erişebilirliği

KAYNAKLAR

Khazai, B., Daniell, J. E., Wenzel, F., (2011). "The March 2011 Japan Earthquake – Analysis of losses, impacts, and implications for the understanding of risks posed by extreme events", Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 20. Jg., Heft 3, November 2011.

Düzgün, H.S.B., Yücemen, M.S., Kalaycioglu, H.S., Celik K., Kemec, S., Ertugay K., Yilmaz N., (2011). An Integrated Earthquake Vulnerability Assessment Framework for Urban Areas, *Natural Hazards*, 59,917-947.

Blaikie, P., Wisner, B., Davis, I. (2004). At Risk. Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. London.
Chang, S., Pasion, C. (2009). Social Impacts of Lifeline Losses: Modeling Displaced Populations and Health Care Functionality. In: ASCE Conference Proceedings 357, 54.

Cutter, S.L.; Boruff, B.; Shirley, J.W.L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. In: Social Science Quarterly 2003, 84, 242–261.

Cutter, S.L., Burton, C.G., Emrich, C.T. (2010). Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. In: Journal of Homeland Security and Emergency Management, 7.

Daniell, J.E., Khazai, B., Wenzel, F. and Vervaeck, A. (2011). The CATDAT damaging earthquakes database. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **11**, 2235-2251.

Bostrom, A., French, S.P. and Gottlieb, S.J. (Editors) (2008). Risk Assessment, Modeling and Decision Support: Strategic Directions. Berlin: Springer-Verlag.

El-Anwar, O., El-Rayes, K., and Elnashai, (2010). Minimization of socioeconomic disruption for displaced population following disasters A. *Disasters: The Journal of Disaster Studies, Policy and Management,* **34:3**, 865-883.

Elefante, L., Esposito, S., Iervolino, I. (2011). Validation and benchmarking of socio-economic indicators using emprical data in the L'Aquila event. Tech Report D4.6 of the SYNER-G project, 31 October 2011, p. 265.

Coburn A. and Spence R., (1992). Earthquake Protection. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England.