

Farklı Deprem Senaryolarına Göre Kırşehir İli Kayıp Tahmin Analizleri

Ercan Işık^{1,*}, Çoşkun Sağır^{2,**}, Zuhal Tozlu^{2,***}, Ümit Salim Ustaoglu^{2,****}

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 13100, Bitlis.

²Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 06530, Ankara.

*ORCID: 0000-0001-8057-065X, **ORCID: 0000-0001-6965-4334, ***ORCID: 0000-0001-5133-8966, ****ORCID: 0000-0001-5535-236X

Özet

Bugünkü teknolojik imkanlar kullanılarak depremleri engellemek ve önceden haber verebilmek mümkün görünmemektedir. Ancak bazı tedbirler alınarak deprem zararları asgari düzeye indirgenebilir. Alınacak bu tedbirleri belirlemede kayıp tahmin modelleri önemli bir yer tutmaktadır. Kayıp tahmin modelleri kullanılırken deprem senaryolarından faydalanılmaktadır. Deprem senaryolarındaki amaç herhangi bir bölge için tahmin edilen bir depremin o bölgede oluşturacağı hasarın sayısal olarak tahmin edilmesine dayanmaktadır. Bu çalışmada sismik olarak aktif bir bölgede yer alan Kırşehir ili için üç farklı deprem senaryosu kullanılarak kayıp tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca Kırşehir ilinin depremselliği hakkında bilgiler verilmiştir. Her üç deprem senaryosu içinde ayrı ayrı bina hasarları can ve mal kayıpları ile yapısal hasar kaynaklı mali kayıplar elde edilmiştir. Bina hasarları yazılım programında yer alan iki farklı yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. En büyük yapısal hasarlar Akpınar Depreminin dikkate alındığı Senaryo 2 depreminde gözlemlenmiştir. Çalışma modern afet yönetimi ve kentsel dönüşüm açısından önemli bir yere sahiptir. Bu tür çalışmalar afet öncesi hazırlık noktasında karar vericilerin destek aracı olarak kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler

Deprem, Senaryo, Kayıp Tahmini, Yapısal Hasar, Afet Yönetimi, Kırşehir

Loss Estimation for Kırşehir Province According to Different Earthquake Scenarios

Abstract

It is not possible to prevent earthquakes and to give notice in advance by using contemporary technological opportunities. However, it is possible to take precautions in order to minimize losses in case of an earthquake. Loss estimation models take a significant role in determining these precautions. Earthquake scenarios are used when preparing loss estimation models. The objective in earthquake scenarios is to estimate the economic losses, the damage to infrastructure, and the social impact associated with the potential earthquake. In this paper, it was discussed loss estimation models of three different earthquake scenarios developed for Kırşehir where is a seismically active province of Turkey. In the study, information about the seismicity of Kırşehir province was also given. Individual building damages, life and property losses and financial losses due to structural damage were obtained within each of the three earthquake scenarios. Building damages were calculated by two different methods which included in the software package. The greatest structural damage was observed in the Scenario 2 earthquake that is Akpınar Earthquake. The work has an important place in terms of modern disaster management and urban transformation. Such studies can be used as a support tool for decision makers at the pre-disaster preparation stage.

Keywords

Earthquake, Scenario, Loss Estimation, Structural Damage, Disaster Management, Kırşehir

1. Giriş

Depremlerin sıkça yaşandığı ülkemizde, deprem konusu hakkında çalışmalar her geçen gün önemini artırmaktadır. Depremin, günümüz teknolojileri ile önceden belirlenme imkanı bulunmamaktadır. Bundan dolayı oluşabilecek can ve mal kayıplarının engellenmesi mümkün görünmemektedir. Ancak deprem öncesi alınacak önlemler ile deprem zararları azaltılabilmektedir. Bu da günümüz modern afet yönetim anlayışının önemli parçalarından birini oluşturmaktadır. Deprem tehlikesinin etkileyeceği bölgelerde yapılan bir takım hesaplamalar ile deprem zararlarının azaltılması mümkündür.

Deprem tehlikesi, belirli bir bölgede ve belli bir zaman diliminde olası depremden dolayı hasar ve can kaybı oluşturabilecek yer hareketinin meydana gelme ihtimalidir. Deprem riski, deprem nedeni ile oluşabilecek mal ve can kaybı ile hasar ihtimali olarak tanımlanabilir (Yunatçı ve Çetin, 2007; Türkelli 2008; Eyidoğan 2003). Sismik tehlike çalışmaları ile herhangi bir yerleşim biriminde oluşabilecek depremlerin büyüklüğü belirlenebilmektedir. Deprem senaryoları ile bu bölgelerin hangi düzeyde etkilenebileceği belirlenmeye çalışılmaktadır (Özmen 2008).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (434) 2220030 Faks: +90 (434) 2229145

E-posta: eisik@beu.edu.tr (Işık E), coskun.sagir@csb.gov.tr (Sağır Ç)

zuhal.tozlu@csb.gov.tr (Tozlu Z), umit.ustaoglu@csb.gov.tr (Ustaoglu Ü.S)

Gönderim Tarihi / Received : 10/06/2018

Kabul Tarihi / Accepted : 16/09/2018

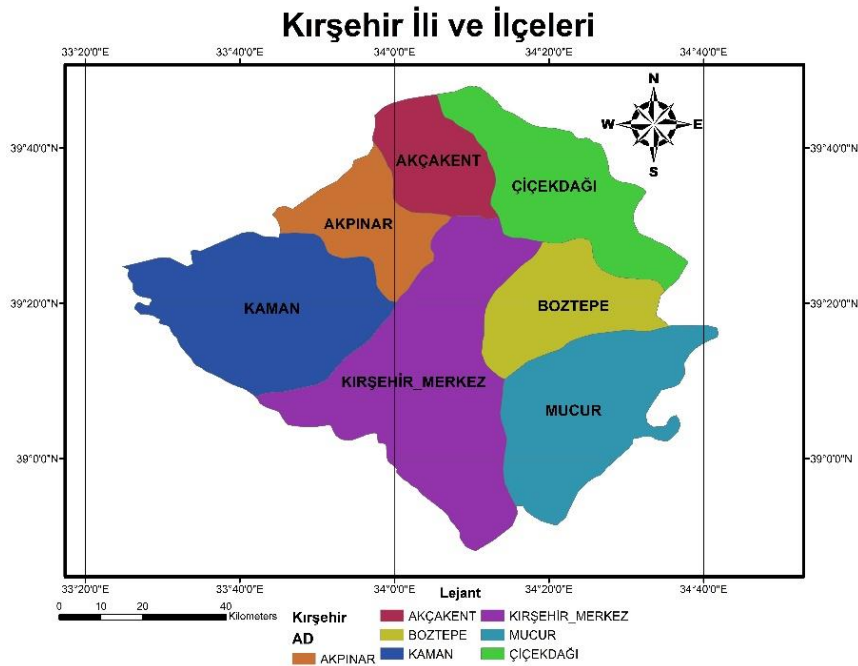
Deprem senaryolarındaki amaç herhangi bir bölge için tahmin edilen bir depremin o bölgede oluşturacağı hasarın sayısal olarak tahmin edilmesine dayanmaktadır. Olası bir depremde meydana gelebilecek can ve mal kayıplarının tahmini olarak belirlenerek gerekli önlemlerin alınması ile oluşabilecek zarar miktarının azaltılması sağlanabilmektedir (Işık vd. 2017). Bir bölge için bu hesaplamalar yapılırken herhangi bir senaryo depreminin oluşması durumunda çalışılan bölgedeki yapı stokunda meydana gelebilecek olan hasar miktarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Buradan hareketle sosyal ve ekonomik kayıplar da hesaplanabilmektedir (Işık vd. 2018).

Deprem etkilemesi öngörülen alanları, binaları ve deprem sonucunda oluşacak ekonomik kaybın hesaplanması olası bir depreme hazırlanmak için gerekli işlemlerden biridir. Deprem hasar tahmini için gerekli olan en önemli faktör, bütün bölgeyi içine alan senaryoları uygulayabilecek ve bu senaryolara dayalı risk analizleri yapabilecek bir yazılımdır (Erdik ve Durukan 2008). Bu analizlerin yapılması için geliştirilen farklı yazılım programları bulunmaktadır. Bu çalışmada Earthquake Loss Estimation Routine (ELER) yazılımı kullanılarak Kırşehir ili için olası deprem senaryolarında oluşabilecek hasar tespit analizleri yapılmıştır.

Çalışmada öncelikli olarak Kırşehir ilinin tamamında alan analizleri yapılmıştır. Sonraki aşamada Kırşehir ili için deprem tehlikesi tanımlanmıştır. Bu işleminden sonra, Kırşehir ilini etkileyebilecek üç farklı deprem senaryosu dikkate alınmıştır. Senaryo 1 depremi olarak Gümüşkent Fayı'nda oluşabilecek M=6.8; Senaryo 2 depremi olarak Akpınar Fayı'nda 1938 yılında oluşan M=6.8; Senaryo 3 depremi olarak Akpınar Fayı'nda oluşabilecek M=6.3 büyüklüğünde deprem dikkate alınmıştır. Senaryo 3 depremi, Senaryo 2 depremi ile karşılaştırma yapılabilmesi adına kullanılmıştır. Dikkate alınan bu senaryolar ışığında tahmini hasarlar elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler yardımı ile Kırşehir ilinde oluşabilecek deprem senaryoları sonucu olası kayıplar belirlenmiştir. Kırşehir ili farklı deprem senaryoları kullanılarak oluşabilecek can ve mal kayıplarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken ELER yazılım programı kullanılmıştır.

2. Yöntem

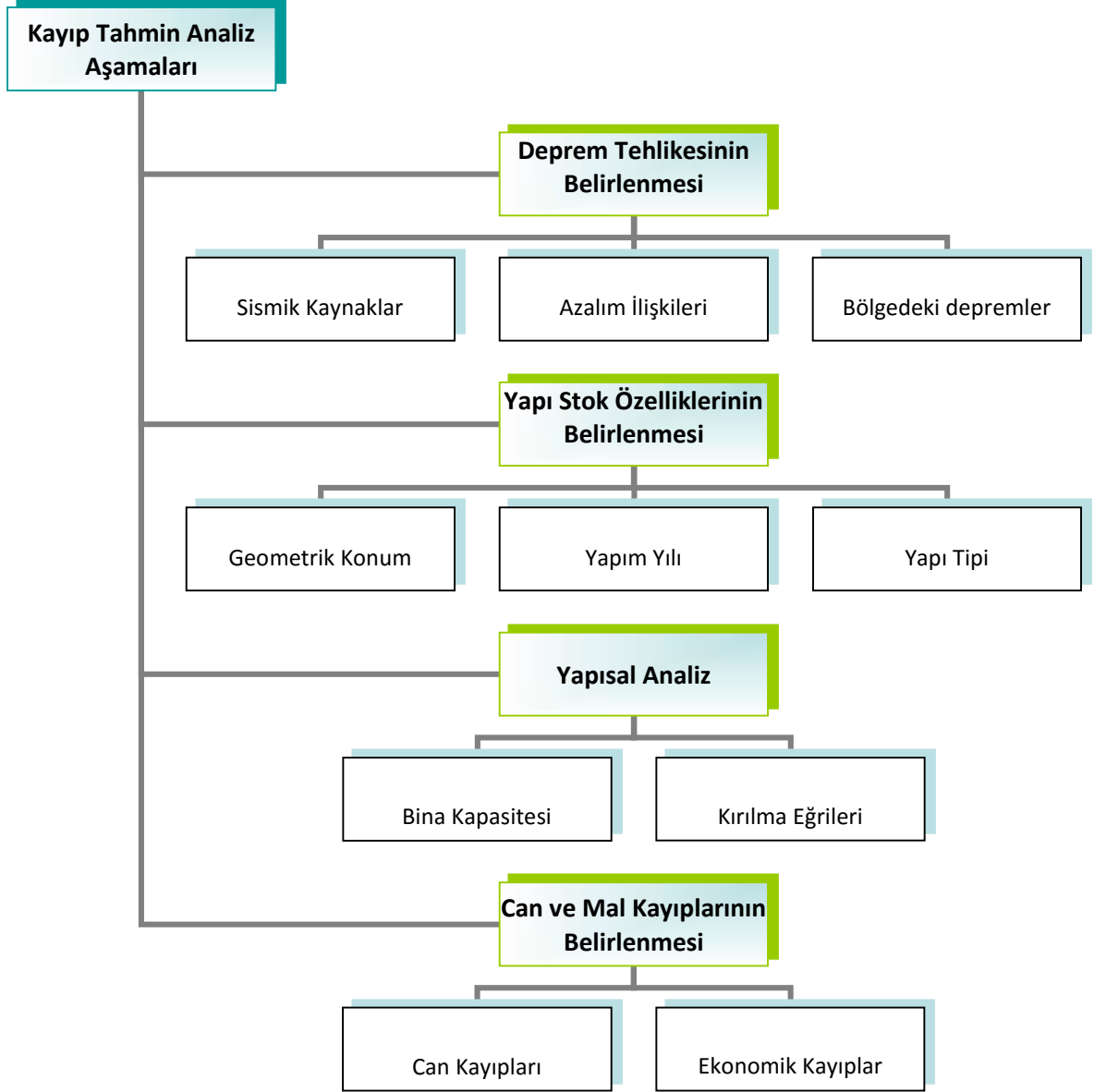
Çalışmada Kırşehir ili ve ilçelerinin tamamı dikkate alınmıştır. Kırşehir ili, İç Anadolu Bölgesi'nin orta kesiminde yer almaktadır. 39°41'-39°48' kuzey enlemleri ile 33°25'-34°43' doğu boylamları arasında bulunan Kırşehir, Orta Kızılırmak Havzası'nda yer almaktadır. Kırşehir, batıda Ankara, güneyde Aksaray, doğu ve güneydoğuda Nevşehir, kuzeydoğu ve doğuda Yozgat, kuzeybatıda Kırıkkale illeri ile çevrelenmiştir. Kırşehir ilinde merkez ilçe dahil olmak üzere yedi ilçe dikkate alınmıştır. Kırşehir iline ait ilçeler ve konumları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Kırşehir ili ilçeleri ve konumu

Günümüzde bilgi teknolojilerin gelişimine uyumlu bir şekilde depremlerden dolayı oluşabilecek kayıplar hesaplanabilmektedir. Son yıllarda depremlerin oluşturduğu hasarlar çerçevesinde modern afet yönetimi kapsamında kullanılabilir kayıp tahmin analizleri için birçok yazılım programı geliştirilmiştir. Displacement – Based Earthquake Loss Assessment (DBELA), gelecekte oluşacak depremlerden dolayı kayıpları tahmin etmektedir. Bu yazılımda bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları ile yapı stok özelliklerinin bilinmesi ile kayıp tahmin analizleri yapılabilmektedir. Yapılan hesaplamalar deplasmana dayalı olarak yapılmaktadır (Crowley ve Bommer 2006; Bal vd. 2008).

Orta Amerika Deprem Merkezi tarafından geliştirilen MAEVIZ adlı kayıp tahmin yazılımında deprem senaryosu oluşturulmakta ve coğrafi bilgi sistemine göre kayıp tahminleri yapılmaktadır (URL-1 2007). Potansiyel depremlerin konumu ile büyüklüğü, bina stoku, yerel jeoloji gibi parametreleri matematiksel formüller yardımı ile kayıp tahmin analizlerinde kullanan bir diğer yazılım HAZUS programıdır (Bommer vd. 2002; Zülfiyar vd. 2017; HAZUS, 2003; Erdik vd. 2003). Seismic Loss Estimation (SELENA), HAZUS altyapısını kullanmaktadır. SELENA herhangi bir Coğrafi Bilgi Sisteminden bağımsız olarak çalışabilmektedir (Molina vd. 2010; Makhoul ve Argyroudís 2018). Earthquake Loss Estimation Routine (ELER), Avrupa Birliği tarafından yapılan proje kapsamında, depremin toplum üzerindeki sosyal, fiziksel ve ekonomik sonuçlarının gösterilmesini içeren araştırma projesinin bir parçasıdır. Bu proje Boğaziçi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Anabilim Dalında geliştirilmiştir (Erdik vd. 2010; Hancılar vd. 2010; ELER 2010). Bu yazılım programlarının genel çalışma esasları Şekil 2’de gösterilmiştir.



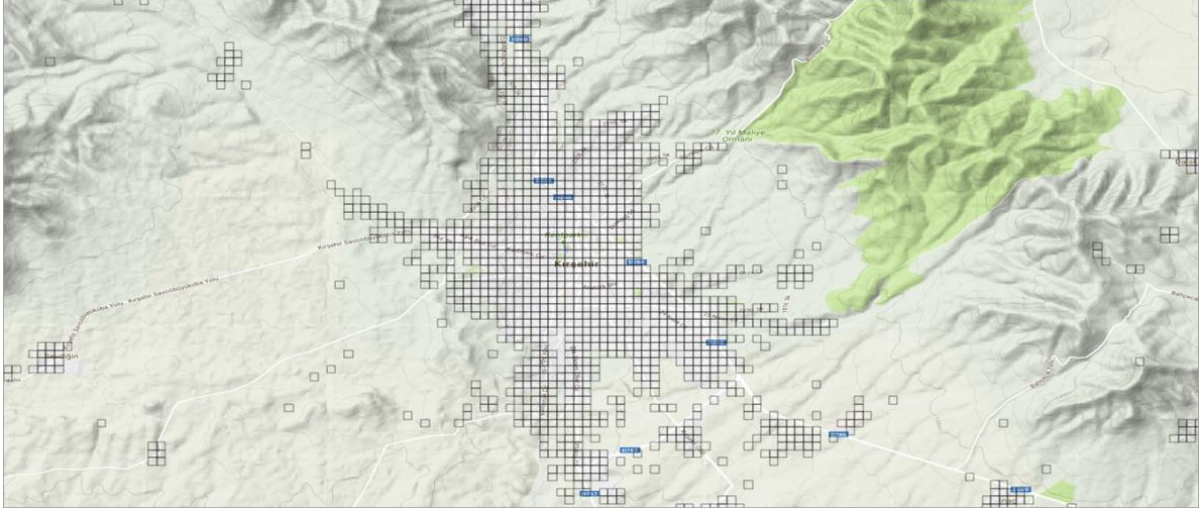
Şekil 2: Kayıp tahmin analiz aşamaları

Orta Anadolu Bölgesinde yer alan Kırşehir ili ve civarı depremsellik açısından incelenmeye değer bir konumda bulunmaktadır. Kırşehir ilinin deprem haritası Şekil 3’te gösterilmiştir. Özellikle 1938 yılında meydana gelen Akpınar depremi, Kırşehir ilinde büyük yıkımlara neden olmuştur. Akpınar Depreminin aletsel dış merkezi, 39.50° K-33.70° D arasında ve büyüklüğü M=6.8 olarak belirlenmiştir. Bazı bölgelerde zeminde kum kraterleri oluşmuş ve bunun sonucu olarak zemin sıvılaşmaları gözlemlenmiştir. İlin değişik yerlerinde büyük yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Yapısal hasarlar genel olarak zayıf zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda oluşmuştur. Depremin en büyük etkileri Kırşehir ilinde gözlemlenmiştir.



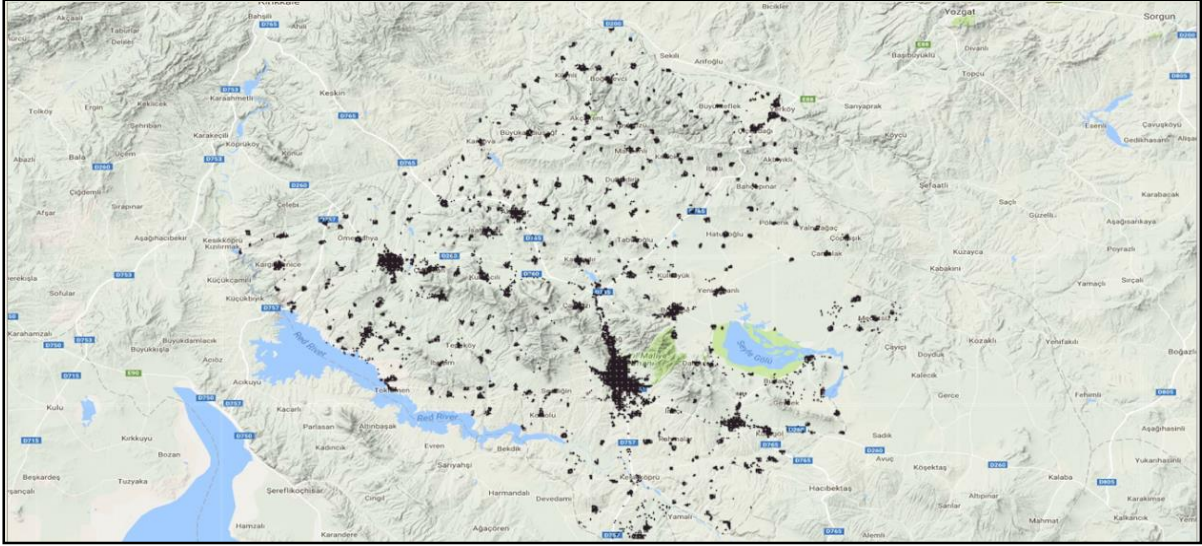
Şekil 5: Çalışmaya konu olan bölge sınırları

Kırşehir ili için üretilen 0.002° aralıklı grid verisine ait örnek bir kesit Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu aralık ile daha hassas sonuçlar alınabilmektedir.



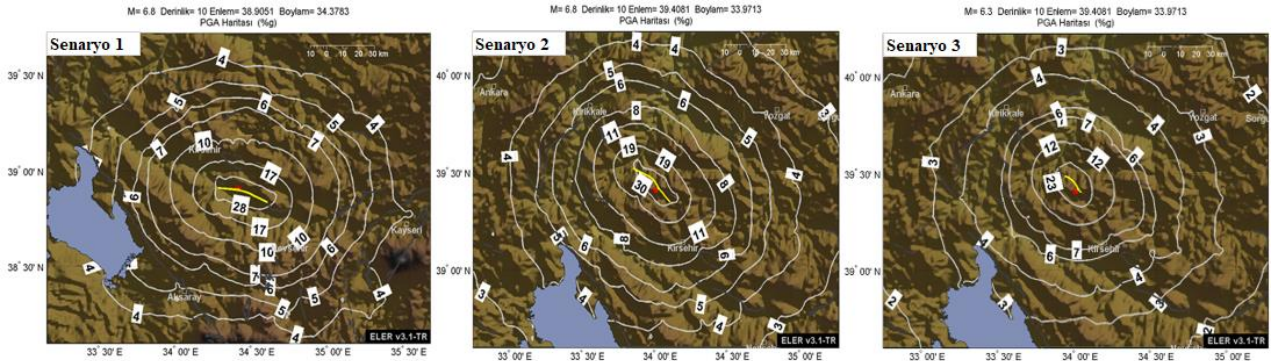
Şekil 6: Kırşehir ili için üretilen 0.002° aralıklı grid verisine ait örnek bir kesit

Çalışmada Kırşehir ilinin tamamında bulunan binalar yazılım programına uygun şekilde oluşturulan formlar kullanılarak arazi çalışmaları sonucu veri tabanına işlenmiştir. Çalışma kapsamında sahada yapılan incelemeler sonucu elde edilen bina lokasyon dağılımı Şekil 7'de gösterilmiştir.



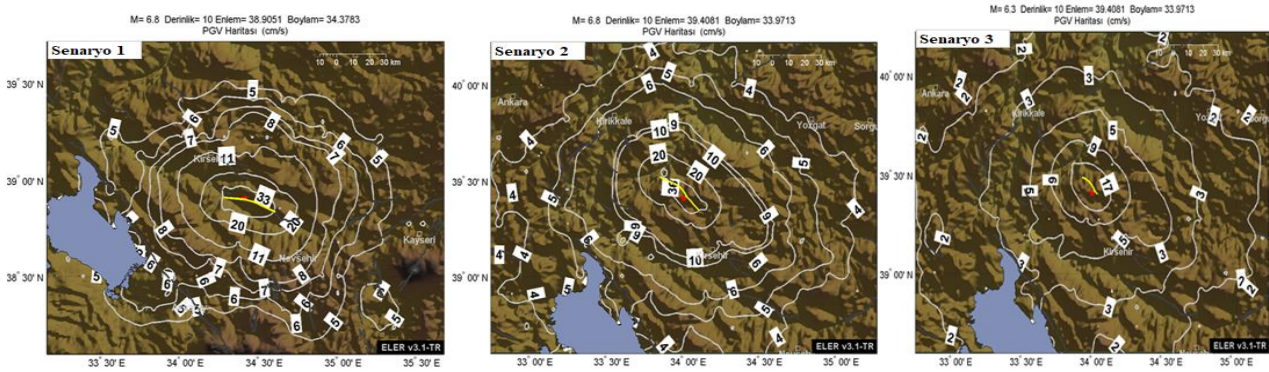
Şekil 7: Kırşehir ili bina lokasyon dağılım haritası

Yerel zemin koşulları deprem ve yapı ilişkisi açısından önemli bir yere sahiptir (Işık vd. 2016). Çalışmada yerel zemin koşulları V_{S30} ve SPTN-30 olmak üzere iki farklı veri şeklinde ifade edilmiştir. Kırşehir için bu değerler çalışmaya esas olan projenin “Yer Bilimsel Etüt Bilgi Sistemi” kısmında veri tabanına aktarılan güncel verilerden doğrudan alınmıştır. Çalışmada dikkate alınan üç farklı deprem senaryosu için elde edilen en büyük yer ivmesi (PGA) haritaları Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8: Senaryo depremleri için elde edilen en büyük yer ivmesi değerleri

Kırşehir ili için çalışmada dikkate alınan farklı deprem senaryoları için en büyük yer hızı (PGV) haritaları Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9: Senaryo depremleri için elde edilen en büyük yer hızı değerleri

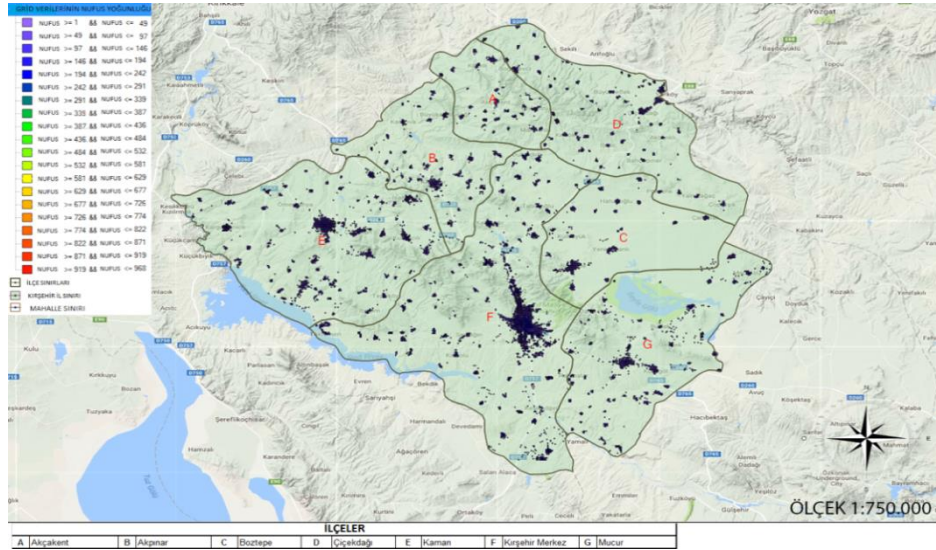
Sahadan toplanacak bina özellikleri proje kapsamında ihtiyaç duyulacak parametrelere göre belirlenmiştir. Sahada yapılan çalışmalar sonucu binalar ile ilgili bu veriler tabletler vasıtası ile veri tabanına aktarılmıştır. Veri tabanına eklenen

bilgiler ışığında grid bazlı bina envanteri toplamda 90337 adet bina içermektedir. Kırşehir ili bina envanteri deprem hasar tahmini yazılım programına uygun şekilde sınıflandırılmıştır. Her bir sınıfta bulunan toplam bina sayısı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Kırşehir İli bina envanteri sınıflandırması

Taşıyıcı Sistem Tipi	Kat Adedi	İnşa Yılı	Bina Sayısı
Yığma	1-4	1979 ve öncesi	17676
Yığma	1-4	1980-2000	24548
Yığma	1-4	2001 ve sonrası	4
Prekast	1-4	1979 ve öncesi	27
Prekast	1-4	1980-2000	59
Betonarme çerçeve	1-4	1979 ve öncesi	2487
Betonarme çerçeve	1-4	1980-2000	9540
Betonarme çerçeve	1-4	2001 ve sonrası	32843
Betonarme çerçeve	5-8	1979 ve öncesi	205
Betonarme çerçeve	5-8	1980-2000	1354
Betonarme çerçeve	5-8	2001 ve sonrası	1471
Betonarme çerçeve	9-19	1980-2000	11
Betonarme çerçeve	9-19	2001 ve sonrası	29
Betonarme perde duvar	1-4	1979 ve öncesi	8
Betonarme perde duvar	1-4	1980-2000	25
Betonarme perde duvar	1-4	2001 ve sonrası	50
Toplam Bina Sayısı			90337

NVI entegrasyonu sağlanamadığı için nüfus verileri TÜİK ve sahadan toplanan bina verileri ile hesaplanmıştır. Kırşehir Valiliği (URL-3 2016) tarafından yayınlanan TÜİK verilerine göre Kırşehir nüfusu 225.197 kişi ve ortalama hane halkı büyüklüğü 3.2 olarak görülmektedir. Bu değer, Kırşehir ili için mahalle ve köy nüfus dağılımları göz önüne alınarak yerleşim veya iş yeri olarak görülen yapılara işlenmiş, buna göre her bir yapı için nüfus dağılımı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan grid bazlı nüfus dağılımı Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10: Kırşehir il nüfusu tematik haritası

Çalışmada kullanılmak üzere üç farklı senaryo depremi dikkate alınmıştır. Senaryo 1 depremi olarak Akpınar depremi ile aynı büyüklükte (M=6.8) olmak üzere Gümüşkent Fayı üzerinde bir nokta seçilmiştir. Senaryo 2 depremi olarak Akpınar fayında oluşan 19.04.1938 Akpınar depremi (M=6.8) dikkate alınmıştır. Bu deprem Kırşehir ve yakın civarında oluşan en önemli deprem verisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Senaryo 3 depremi olarak da yine Akpınar fayında oluşması düşünülen M=6.3'lük deprem dikkate alınmıştır. Her üç deprem senaryosu için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Depremin hemen sonrasında hasar düzeyleri can kaybı ve yaralanmalar ile ifade edilmektedir.

Depremi en belirgin etkisi yapılaşma süreci tamamlanmış çevrenin yıkımıdır. Deprem yapıların tamamının hasar görmesine sebebiyet verebilmektedir. Zaman zaman yapıların tüm fonksiyonlarını kaybetmesine neden olabilmektedir. Bu bölümde, çalışmada kullanılan senaryo depremleri için Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM) ve Katsayı Yöntemi (CM) modelleri ayrı ayrı kullanılarak, bina hasarı ve can kaybı tahminleri tablolar halinde sunulmaktadır. Her iki yöntemde de deprem etkisi altındaki yapılar, çok ağır hasar, ağır hasar, orta hasar, hafif hasar ve hasarsız olmak üzere beş farklı yapı sınıfına ayrılarak sınıflandırmalar yapılmıştır. Her iki yöntem için yapılan hesaplamalardan sonra bu iki yöntem için ortalama değerler hesaplanmıştır. Senaryo 1 için Gümüşkent Fayı üzerinde (X:38.9051, Y:34.3783) koordinatlarında (M=6.8) büyüklüğünde bir deprem ile hazırlanan senaryodur. Senaryo 1 depremi için elde edilen bina hasar tahmin sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Senaryo 1 için bina hasarı tahmin sonuçları

Hasar Seviyesi	Yöntem		Ortalama	Toplam Bina Sayısına oranı
	CSM	CM		
	Bina Sayısı			
Çok Ağır Hasar	569	211	390	%1'den az
Ağır Hasar	1127	885	1006	%1.1
Orta Hasar	3645	3986	3815	%4.2
Hafif Hasar	8231	9624	8928	%9.9
Hasarsız	76765	75631	76198	%84

Senaryo 2 depremi olarak Akpınar fayında (39.4080, 33.9712) koordinatlarında ve 19.04.1938 tarihinde oluşan Akpınar depremi (M=6.8) ile hazırlanan senaryodur. Senaryo 2 depremi için elde edilen bina hasar tahmin sonuçları Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3: Bina hasarı tahmin sonuçları: Senaryo 2 (M=6,8)

Hasar Seviyesi	Yöntem		Ortalama	Toplam Bina Sayısına oranı
	CSM	CM		
	Bina Sayısı			
Çok Ağır Hasar	2033	786	1410	%2
Ağır Hasar	2965	2400	2683	%3
Orta Hasar	7742	8404	8073	%9
Hafif Hasar	14698	16796	15747	%17
Hasarsız	62899	61951	62425	%69

Senaryo 3 için ise (39.4080, 33.9712) koordinatlarındaki 1939 Akpınar Depremi’nin olduğu fayda fakat büyüklüğü (M=6.3) olan bir deprem senaryosu seçilmiştir. Senaryo 3 depremi için elde edilen bina hasar tahmin sonuçları Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4: Bina hasarı tahmin sonuçları: Senaryo 3 (M=6.3)

Hasar Seviyesi	Yöntem		Ortalama	Toplam Bina Sayısına oranı
	CSM	CM		
	Bina Sayısı			
Çok Ağır Hasar	620	412	516	%1'den az
Ağır Hasar	1228	1295	1262	%1,4
Orta Hasar	3659	4555	4107	%4,5
Hafif Hasar	8260	10539	9399	%10,4
Hasarsız	76570	73536	75053	%83,1

Depremler öncelikli olarak insan hayatı olmak üzere her türlü sosyal yapılanma ve ekonomik hayat üzerinde çok ciddi yıkımlara neden olmaktadır. Depremin hemen sonrasında hasar düzeyleri can kaybı ve yaralanmalar ile ifade edilmektedir. Bu proje kapsamında ELER yazılım programı içinde yer alan iki farklı model yardımı ile hesaplamalar yapılmıştır. Can kaybı ve yaralanma tahminleri hasarlı bina dağılımlarına bağlı olarak HAZUS-MH (2003) ve KOERI (2002) modelleriyle hesaplanmıştır.

KOERİ (2002) modelinde Türkiye’de yaşanan depremler dikkate alınarak yığma ve betonarme yapılar için yaralanma oranları matrisi tarif edilmiştir. Bu matrisler yardımı ile elde edilen oranlar deprem anında binada bulunan insan sayısı ile çarpılmaktadır. Çok ağır hasar tanımı altında verilen oranlardaki fark binanın yıkılma şekli ile ilgilidir. Bu hanedeki birinci oran tamamen yıkılmayan (göçmeyen) binalarla ilişkindir. İkinci oran ise tamamen yıkılan (göçen) binalardaki yaralanma oranlarını vermektedir. Bir depremdeki toplam ölü sayısını tamamen yıkılan (göçen) binalar belirlemektedir.

HAZUS-MH (2003) modeli ölüm ve yaralanmaları bina hasarı ile doğrudan ilişkilendirmektedir. Yapısal hasarın az olduğu yerlerde yaralanmalar daha çok yapısal olmayan hasardan kaynaklanmakta, yapısal hasarın ağır olduğu yerlerde ise çok sayıda ölüm meydana gelmesi ihtimali bulunmaktadır. Ancak depremlerdeki ölüm ve yaralanmalarla ilgili istatistiki bilgilerde ölümlerin ne tip binalarda ve ne tip hasarlardan kaynaklandığına dair hususlar yer almadığı için, kullanılan yaralanma oranlarının yaklaşık olduğu hususuna dikkat edilmelidir. Çalışmada kullanılan iki farklı senaryo depremi için iki farklı can kaybı tahmin modeli kullanılarak can kaybı tahminleri aşağıda hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılan Senaryo 1 bir depremi için oluşabilecek can kaybı ve yaralanma tahmin sonuçları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5: Can kaybı ve yaralanma tahmin sonuçları: Senaryo 1 (M=6,8)

Yaralanma Seviyesi	Yöntem				Ortalama
	CSM		CM		
	KOERI	HAZUS	KOERI	HAZUS	
	Kişi Sayısı				
Seviye 4 (Can Kaybı)	61	13	24	5	26
Seviye 3 (Ağır Yaralı)	61	7	24	3	24
Seviye 2 (Hastanede Tedavi)	133	45	61	21	65
Seviye 1 (Hafif Yaralı)	249	182	137	115	171

Çalışmada kullanılan Senaryo 2 bir depremi için oluşabilecek can kaybı ve yaralanma tahmin sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6: Can kaybı ve yaralanma tahmin sonuçları: Senaryo 2 (M=6,8)

Yaralanma Seviyesi	Yöntem				Ortalama
	CSM		CM		
	KOERI	HAZUS	KOERI	HAZUS	
	Kişi Sayısı				
Seviye 4 (Can Kaybı)	130	28	57	12	57
Seviye 3 (Ağır Yaralı)	130	14	57	6	52
Seviye 2 (Hastanede Tedavi)	274	92	137	47	138
Seviye 1 (Hafif Yaralı)	495	349	281	224	337

Çalışmada kullanılan Senaryo 3 depremi için oluşabilecek can kaybı ve yaralanma tahmin sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Can kaybı ve yaralanma tahmin sonuçları: Senaryo 3 (M=6.3)

Yaralanma Seviyesi	Yöntem				Ortalama
	CSM		CM		
	KOERI	HAZUS	KOERI	HAZUS	
	Kişi Sayısı				
Seviye 4 (Can Kaybı)	30	7	24	5	17
Seviye 3 (Ağır Yaralı)	30	3	24	3	15
Seviye 2 (Hastanede Tedavi)	67	23	58	20	42
Seviye 1 (Hafif Yaralı)	131	99	123	99	11

Deprem en belirgin etkisi yapılaşma süreci tamamlanmış çevrenin yıkımıdır. Deprem, yapılarda değişik oranlarda hasarlara sebebiyet vermektedir. Zaman zaman yapıların tüm fonksiyonlarını kaybetmesine neden olabilmektedir. Bu zararlar bölgenin ekonomik yapısını bozmaktadır. Senaryo depremleri sonucunda binalarda oluşan hasar seviyelerine göre inşaat alanları ve yapısal hasar oranları tablolarda gösterilmiştir. Mali kayıp hesaplamalarında, bir kat alanı ortalama 100m² olarak kabul edilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından Resmi Gazetede yayınlanmış "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2018 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ"de III. Sınıf Yapılar - A Grubu yapıların maliyeti 800 TL/m²'dir (URL-3 2018). Yapısal hasar kaynaklı mali kayıplar, toplam hasarlı inşaat alanı ile birim maliyetin çarpılması ile tahmin edilmiştir. Çalışmada kullanılan Senaryo 1 depremine göre oluşacak hasar tiplerine göre elde edilen inşaat alanları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: Hasar tiplerine göre inşaat alanları: Senaryo 1 (M=6.8)

Hasar Seviyesi	İnşaat Alanı (m ²)	Hasar Oranları	Hasarlı İnşaat Alanı (m ²)
Çok Ağır Hasar	10010	% 100	10100
Ağır Hasar	50611	% 80	40489
Orta Hasar	246405	% 40	98562
Hafif Hasar	947408	% 10	94741
Hasarsız	17494529	% 0	0
Toplam			243892

Yapısal Hasar Kaynaklı Mali Kayıp = 243.892 x 800 ≈ 195 Milyon TL

Çalışmada kullanılan Senaryo 2 depremine göre oluşacak hasar tiplerine göre elde edilen inşaat alanları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: Hasar tiplerine göre inşaat alanları: Senaryo 2 (M=6.8)

Hasar Seviyesi	İnşaat Alanı (m ²)	Hasar Oranları	Hasarlı İnşaat Alanı (m ²)
Çok Ağır Hasar	247942	% 100	247942
Ağır Hasar	484233	% 80	387386
Orta Hasar	1466687	% 40	586675
Hafif Hasar	3007603	% 10	300760
Hasarsız	13542498	% 0	0
Toplam			1522763

Yapısal Hasar Kaynaklı Mali Kayıp = 1.522.763x 800 ≈ 1.218 Milyar TL

Çalışmada kullanılan Senaryo 3 depremine göre oluşacak hasar tiplerine göre elde edilen inşaat alanları Tablo10'da verilmiştir.

Tablo 10: Hasar tiplerine göre inşaat alanları: Senaryo 3 (M=6.3)

Hasar Seviyesi	İnşaat Alanı (m ²)	Hasar Oranları	Hasarlı İnşaat Alanı (m ²)
Çok Ağır Hasar	100292	% 100	100292
Ağır Hasar	246133	% 80	196906
Orta Hasar	773691	% 40	309476
Hafif Hasar	1945529	% 10	194553
Hasarsız	15683318	% 0	0
Toplam			801227

Yapısal Hasar Kaynaklı Mali Kayıp = 801.227x 800 ≈ 640 Milyon TL

Çalışmada kullanılan üç farklı deprem senaryosu için elde edilen bina hasar tahmin sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11: Üç farklı deprem senaryosu için bina hasar tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Hasar Seviyesi	Toplam Bina Sayısına oranı		
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Çok Ağır Hasar	%1'den az	%2	%1'den az
Ağır Hasar	% 1.1	%3	1.40%
Orta Hasar	%4.2	%9	4.50%
Hafif Hasar	%9.9	%17	10.40%
Hasarsız	84%	%69	83.10%

En büyük yapısal hasarlar Senaryo 2 depreminde oluşmaktadır. Senaryo 2 ve Senaryo 3 depremleri aynı noktada kabul edilmiştir. Deprem büyüklüğünün azalması oluşacak hasarların azalmasına sebebiyet vermektedir. Farklı depremler için hasarlı inşaat alanlarının karşılaştırılması Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12: Hasarlı tiplerine göre inşaat alanlarının(m² karşılaştırılması

Hasar Seviyesi	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Çok Ağır Hasar	10100	247942	100292
Ağır Hasar	40489	387386	196906
Orta Hasar	98562	586675	309476
Hafif Hasar	94741	300760	194553

Deprem senaryolarına göre hesaplanan ortalama can kaybı ve yaralanma tahmin sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13: Can kaybı ve yaralanma tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Yaralanma Seviyesi	Ortalama		
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Seviye 4 (Can Kaybı)	26	57	17
Seviye 3 (Ağır Yaralı)	24	52	15
Seviye 2 (Hastanede Tedavi)	65	138	42
Seviye 1 (Hafif Yaralı)	171	337	11

Senaryo 1 ve Senaryo 2 depremlerinin büyüklüklerinin aynı olmasına karşın elde edilen sonuçlarda farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıklar depremin konumu, deprem üretecek fayın özellikleri ve deprem kaynağına uzaklık farklılaşmasından kaynaklanmaktadır.

3. Sonuçlar

Depremlerden dolayı oluşabilecek hasarların hangi bölgedeki, ne tür yapıları en fazla etkileyeceğinin ve olası depremlerin ortaya çıkarabileceği sonuçların tahmin edilmesi depremlere hazırlanmak açısından önem arz etmektedir. Depremlerin değerlendirilmesi aşamasında ve depremlerin neden olabileceği zararların tahmininde kayıp tahmin analizleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu analizlerle potansiyel zararlar ve kayıplar ile ilgili bilgilere ulaşılmaktadır.

Depremlerden dolayı oluşabilecek kayıpları azaltmak ve/veya en aza indirmek için deprem açısından riskli bölgelerin belirlenmesi tek başına yeterli olmamaktadır. Bu bölgelerde imkanlar dahilinde alınabilecek önlemler kararlılıkla uygulamaya geçirilmelidir. Burada yöre halkına verilecek bilinçlendirme amaçlı eğitimler önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışma, Kırşehir ilinde olabilecek depremlere karşı senaryolar oluşturmakta ve oluşturulan senaryolar sonucu karşılaşılabilecek kayıpları hesaplanmıştır. Kayıp tahmin modelleri risk azaltımı için gerekli en önemli araç olarak tanımlanmaktadır. Kayıp tahmin modelleri sayesinde şehir plancılar ve afet yöneticileri potansiyel zararlar ve kayıplar üzerine kilit bilgilere ulaşabileceklerdir. Kayıp tahminlerinin doğal afetlerin değerlendirilmesi aşamasında çok önemli bir yere sahip olduğu ve kapsamlı bir ekonomik, sosyal ve demografik veri setinin geliştirilmesinin, depremlerin neden olabileceği zararların tahmininde sağlayacağı faydalar gözden kaçırılmamalıdır.

Kırşehir sınırları içinde yaklaşık %55'i betonarme çerçeve olmak üzere 90.337 adet bina olduğu tespit edilmiştir. Betonarme çerçeve binaların yaklaşık %93'ü 1-4 katlıdır. Seçilen deprem senaryosuna bağlı olarak binaların ortalama 1.396 ila 4.093 adedi (toplam binaların yaklaşık %2 - %5'i) tamir edilemeyecek ölçüde (ağır hasar + çok ağır hasar) hasar görmektedir. Orta ve hafif hasarlı bina adetleri, seçilen deprem senaryosuna bağlı olarak 12.743 ila 23.820 (toplam binaların %14-%26'sı) arasında tahmin edilmiştir.

Kırşehir sınırları içindeki nüfus 225.197 olarak tespit edilmiştir. Değişik yöntemler kullanılarak bulunan can kaybı tahminleri, seçilen senaryoya bağlı olarak ortalama 17-57 arasında değişmektedir. Hastane bakımı gerektirecek yaralı sayısı ise yine seçilen deprem senaryosuna bağlı olarak ortalama 42 – 138 kişi arasındadır.

Afet yönetimi, risk azaltma, planlama, hazırlıklı olma, müdahale ve iyileştirme konularındaki etraflıca risk-tabanlı zarar analizi yaparak can ve mal kaybını azaltmak, insanları ve kurumları doğal afetlerden korumak amacıyla kullanılabilir. Çalışmada üç farklı senaryo depremi seçilmiştir. Her farklı deprem senaryosu için bina hasar, can kaybı ve yaralanma ile ekonomik kayıplar ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılan kayıp parametreleri bina envanterine bağlı olarak doğrudan ekonomik kayıpları işaret etmektedir. Bina hasarlarından kaynaklanacak toplam mali kayıplar (yapısal ve yapısal olmayan), dünya genelinde yapılmış araştırmalara göre yapısal hasarın iki (2) katı mertebesine ulaşabilmektedir. Bu hesaplamalar yapılırken depremden dolayı oluşacak ikincil ekonomik kayıplar da göz ardı edilmemelidir. Altyapı, iş gücü, vergi gelir kayıpları, tedavi giderleri, yıkım, enkaz kaldırma ve yeniden yapım maliyetleri gibi maliyetler de doğrudan olmayan kayıplar olarak değerlendirilmelidir.

Yeni yapılacak yapıların ilgili yönetmeliklere uygun olarak tasarlanıp, inşa edilmesi deprem zararlarını azaltma yönünde ciddi bir yaklaşımdır. Mevcut yapı stoku için de deprem riskinin azaltılması yönünde destek olacak önlemlerin alınması önem arz etmektedir.

Bu tür çalışmalar ile herhangi bir yerleşim birimi için riskli bölgelerin derecelendirilmesi sağlanabilmektedir. Risk öncelik sıralaması yapılarak acil koruma tedbirlerinin alınacağı bölgeler belirlenebilmektedir.

Bu çalışma Kırşehir ili için deprem master planının hazırlanması ve risk yönetimi için ciddi katkılar sunmuş olacaktır. Ayrıca yörede deprem zararlarının azaltılması yönündeki çalışmalarda kullanılabilir.

Kırşehir ili için deprem sonrası hasar tespit verilerinin yeterli miktarda olmaması elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına imkan vermemiştir. Bundan dolayı depremlerden sonra hasar tespit işlemlerinin bir veri tabanında bulunması bu tür çalışmaların kontrolü açısından önem arz etmektedir.

Kayıp tahmin analizlerinin anlam kazanması çalışılan bölgedeki yapı stokunun özellikleri ile doğrudan alakalıdır. Yapı stok özelliklerinin elektronik bir ortamda sürekli güncellenerek tutulması gerekmektedir. Değişecek yapı stoku özelliklerinin bilinmesi ile kayıp tahmin analizleri tekrarlanarak sağlıklı sonuçlar elde edilebilecektir.

Çalışmada ayrıca farklı deprem senaryoları için en büyük yer hızları ve en büyük ivme değerleri için haritalarda elde edilmiştir. Depremin büyüklüğü, konumu, fay özellikleri ve yerel zemin koşulları yer hareketini etkilemektedir.

Teşekkür

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Bitlis Eren Üniversitesi arasında imzalanmış bulunan “Kentsel Dönüşüm Alanlarının Belirlenmesi ve Senaryo Afetlerin Oluşturulması İçin Yerel Yönetimlerin Verilerinin Kullanıldığı Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Otomasyon Sisteminin Oluşturulmasının Araştırılması ve Geliştirilmesi Projesi” kapsamında yapılan proje sonucunda üretilmiştir.

Kaynaklar

- Bal İ.E., Crowley H., Pinho R., (2008), *Displacement-based earthquake loss assessment for an earthquake scenario in Istanbul*, Journal of Earthquake Engineering, 12(1), 12 -22.
- Bommer J.J., Spence R., Erdik M., Tabuchi S., Aydinoglu N., Booth E., Del Re D., Peterken O., (2002), *Development of an earthquake loss model for Turkish catastrophe insurance*, Journal of Seismology, 6(3): 431-446.
- Bozkurt E., (2001), *Neotectonics of Turkey – a synthesis*, Geodinamica Acta (Paris), 14, 3-30.
- Crowley H., Bommer J.J., (2006), *Modelling seismic hazard in earthquake loss models with spatially distributed exposure*, Bulletin of Earthquake Engineering, 4, 249-273.
- ELER, (2010), *Earthquake Loss Estimation Routine, Technical Manual and Users Guide*, Bogazici University, Department of Earthquake Engineering, Istanbul.
- Erdik M., Zülfişar C., Demircioğlu M.B., Hancılar U., Şeşetyan K., Kamer Y., (2010), *Earthquake shake mapping and loss assessment applications by ELER v2.0*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-14688-3.
- Erdik M., Durukal E., (2008), *Earthquake risk and its mitigation in Istanbul*, Natural Hazards, 44(2), 181-197.
- Erdik M., Aydinoglu N., Fahjan F., Sesetyan K., Demircioğlu M., Siyahi B., Durukal E., Ozbey C., Biro Y., Akman H., Yuzugullu O., (2003), *Earthquake risk assessment for Istanbul metropolitan area*. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2(1), 1-23.
- Eyidoğan H., (2003), *Tektonik ve Deprem Tehlikesi*, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- Gömcü G., (2013), *Kırşehir afet durumu raporu*, <http://investinkirsehir.com/assets/ilgidosyalar/Kirsehir-Afet-Durum-Raporu.pdf>, [Erişim 20 Mayıs 2016].
- Hancılar U., Tuzun C., Yenidogan C., Erdik M., (2010), *ELER software - a new tool for urban earthquake loss assessment*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 2677-2696.
- HAZUS-MH, (2003), *Technical Manual*, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, DC, USA.
- Işık E., Kutanis M., Bal, İ.E., (2016), *Displacement of the Buildings According to Site-Specific Earthquake Spectra*, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 60(1), 37-43.
- Işık E., Kutanis M., Bal İ.E., (2017), *Loss estimation and seismic risk assessment in Eastern Turkey*, Građevinar, 69(07), 581-592.
- Işık E., Sağiroğlu Ç., Tozlu Z., Ustaoglu S., (2018), *Determination of urban earthquake risk for Kırşehir Province, Turkey*, Yayınlanmamış makale.
- KOERİ, (2002), *Earthquake Risk Assessment for İstanbul Metropolitan Area*, Report prepared for American Red Cross and Turkish Red Crescent, Bogazici University, Department of Earthquake Engineering, İstanbul, Turkey.
- Maden N., Gelişli K., Eyüboğlu Y., Bektaş O., (2009), *Two-and-three- dimensional crustal thickness of the eastern pontides (NE Turkey)*, Turkish Journal of Earth Sciences, 18(2), 225-238.
- Makhoul N., Argyroudis S., (2018), *Loss Estimation Software: Developments, Limitations and Future Needs*, 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece.
- Molina S., Lang D.H., Lindholm C.D., Lingvall F., (2010), *User manual for the earthquake loss estimation tool: SELENA*, NORSAR and Universidad de Alicante, <http://selena.sourceforge.net/selenamannual.pdf>, [Erişim 11 Mayıs 2018].
- Özmen B., (2008), *Ankara için Deprem Senaryosu*, Ankara'nın Deprem Tehlikesi ve Riski Çalıştayı, 19 Mart 2008, Ankara.
- Şahin G., (2016), *1938 Kırşehir (Akpınar) Depremi ve Bölgeye Etkileri*, Tarih Okulu Dergisi, 9(16), 289-321.
- Temiz U., (2004), *Kırşehir dolayının neotektoniği ve depremselliği (Neotectonics and seismicity of the Kırşehir Region)*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 121s.

- Temiz U., Gökten Y.E., (2011), *Ms 6.8 19 Nisan 1938 Akpınar (Kırşehir) Depreminin Coulomb Gerilme Analizi*, Geological Bulletin of Turkey, 54(3), 81-92.
- Türkelli N., (2008), *Sismik Ağların Deprem Tehlike Analizlerine Katkısı*, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeofizik Bölümü, http://www.eies.itu.edu.tr/barkalecture7turkelli_barka_2005.pdf [Erişim 20 Mayıs 2016].
- URL-1, (2007), *Earthquake risk assessment MAEVIZ tutorial*, Middle America Earthquake Center, University of Illinois at Urbana-Champaign, <http://rcp.ncsa.uiuc.edu:8080/tutorials/MAEVIZ%20Tutorial%20Charleston%20Bridges.pdf>, [Erişim 20 Mayıs 2018].
- URL-2, (2018), <https://tdth.afad.gov.tr/>, [Erişim 17 Temmuz 2018].
- URL-3, (2016), <http://www.kirsehir.gov.tr/nufus>, [Erişim 20 Mayıs 2016].
- Yıldız N., (2008), *Kırşehir ilinin depremselliği*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 243s.
- Yunatçı A.A., Çetin K.Ö., (2007), *Site Specific Seismic Response and Soil Liquefaction Triggering Assessment Integrated within Probabilistic Seismic Hazard Framework*, Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 17-20 October 2007, Istanbul.
- Zülfikar A.C., Zülfikar Fercan N.Ö., Tunç S., Erdik M., (2017), *Real-time earthquake shake, damage, and loss mapping for Istanbul metropolitan area*, Earth, Planets and Space, 69:9, 1-15, doi: 10.1186/s40623-016-0579-x.