

Konut Türü Binalarda Deterministik Kayıp Değerlendirmesinde İzlenilecek Aşamalar: Bingöl İli Örneği

Ömer Faruk Nemutlu^{1*}, Ali Sarı² ve Bilal Balun³

¹İnşaat Mühendisliği, Bingöl Üniversitesi, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye

³Mimarlık, Bingöl Üniversitesi, Türkiye

**(ofnemutlu@bingol.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi*

Özet – Deprem kaynaklı kayıpların önceden tahmin edilmesi deprem kaynaklı zararların en aza indirgenebilmesi açısından önemli bir araştırma alanıdır. Kayıp değerlendirme (Loss estimation) çalışmaları olası bir deprem sonrası meydana gelecek can kayıpları ve ekonomik kayıpları olasılıksal açıdan tahmin etmeyi amaçlar. Bu değerlendirmeyi yaparken belirli bir işlem aşamasını izlemek gereklidir. Çünkü her aşamada yapılan doğru ya da yanlış yaklaşım, elde edilen sonuçları doğrudan etkilemektedir. Kayıp değerlendirme en genel anlamda 4 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi, Yapı Stok Özelliklerinin Belirlenmesi, Yapısal Analiz, Can ve Mal Kayıplarının belirlenmesidir. Deprem tehlikesi belirlenirken deprem kaynaklarının modellenmesi, bu kaynakların üretebileceği deprem büyüklüklerinin tespit edilmesi, bu büyüklüklerin azalım ilişkileri yardımı ile binalara etki edeceği ivme değerleri belirlenerek kayıp değerlendirme çalışmalarına devam edilir. Bu aşamada iki farklı yaklaşım mevcuttur. Deprem tehlikesinin olasılıksal olarak belirlenmesi ve deterministik olarak belirlenmesidir. Olasılıksal yaklaşımda depremin üretebileceği parametreler önceden meydana gelmiş depremler üzerinden istatistiksel olarak tahmin yaparken, deterministik yaklaşımda çalışma yapılacak bölgelerde meydana gelebilecek depremler deterministik olarak belirlenir ve değerlendirme devam eder. Senaryo depremler olarak isimlendirilen bu depremler ile bölgede meydana gelen sismik boşluklar üzerinden bir deprem senaryosu hazırlanır ve kayıp değerlendirmeleri bu depremlerin olma ihtimali üzerinden gerçekleştirilir. Bu çalışmada, Bingöl ilindeki konut türü binalarda deterministik yaklaşım ile bir kayıp değerlendirme çalışması yapılmış, bu değerlendirme ile meydana gelecek can ve mal kayıpları tahmin edilmiştir. Çalışmada görüldüğü üzere depremin gün içinde ne zaman olacağı, can kaybı katsayılarının farklılığı, hane halkı sayısındaki farklı yaklaşım yeni çalışmalara yol gösterici olacaktır. Sonuçlar gerekçeleri ile birlikte irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Deprem, Bingöl, Kayıp Değerlendirmesi, Can Kayıpları, Ekonomik Kayıplar, Deterministik Yaklaşım

I. GİRİŞ

Kayıp değerlendirme çalışmaları genel olarak dört temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar şunlardır: deprem tehlikesinin tespiti, yapı stokunun özelliklerinin belirlenmesi, yapısal analiz süreci ve nihayetinde can ve mal kayıplarının tespiti. Deprem tehlikesinin tespit aşamasında, ilk olarak ilgili bölgede bulunan sismik kaynaklar tanımlanmakta ve bu kaynakların jeolojik karakteristikleri ortaya konulmaktadır. Bunun ardından bu sismik kaynakların muhtemel

depremleri meydana getirmesi durumunda yaratacağı etki-azalım ilişkileri üzerinde çalışmalar yürütülmektedir. Azalım ilişkilerinden elde edilen deprem parametreleri, yapı stokunun özelliklerinin tespiti ve yapısal analiz sonuçları ile elde edilen kırılma eğrilerine giriş parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu kırılma eğrileri sayesinde, yapıların olası hasar seviyeleri hakkında bilgi edinmek mümkün olmaktadır. Elde edilen bu bilgiler, mevcut yapı stokundaki hasarlı yapılara işaret etmekte ve ardından yapısal hasardan

kaynaklanan can ve mal kayıplarının tahmininde kullanılabilir (Şekil 2).

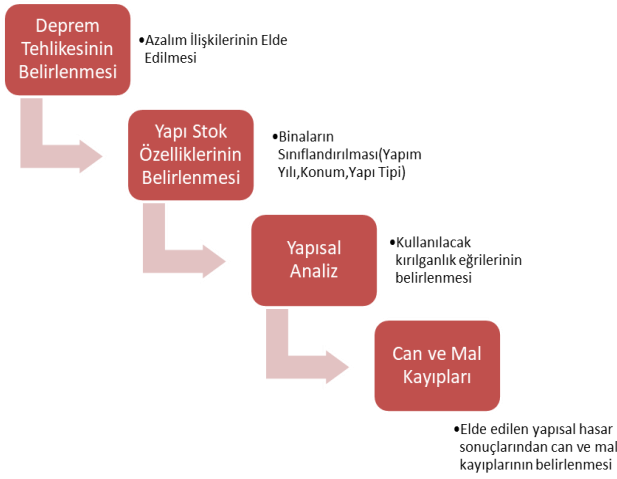
Kayıp değerlendirilmesi, bir çalışma alanı içindeki olası deprem kaynaklı kayıpların depremler gerçekleşmeden önce öngörülmesini kapsar. Bu tür çalışmalar, olası can ve mal kayıplarını tahmin ederek bu kayıpların ortaya çıkaracağı toplumsal ve ekonomik etkileri değerlendirir (Şekil 1). Bu değerlendirmeler, deprem sonrası çalışmalar için hazırlık açısından büyük öneme sahiptir, çünkü deprem zararlarını azaltmaya yönelik çalışmalara yol gösterirler. Türkiye'de kayıp değerlendirilmesi alanında genel bir ilgi olmasa da, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi bu alanda çalışmalar yapmıştır [1]. Ayrıca, AFAD son dönemde AFAD RED adlı kayıp değerlendirilmesi ve risk tahmin yazılımını kullanıma almıştır. Bu yazılım, Türkiye'nin illeri için yıllık raporlar hazırlar ve bu raporlara göre deprem zararlarını azaltmaya yönelik önlemler alır [2].

Kayıp değerlendirilmesi çalışmalarının temel amacı, belirli bir bölgede olası bir deprem durumunda meydana gelebilecek yapısal zararları tahmin etmek ve bu zararlar sonucu ortaya çıkacak can ve mal kayıplarını öngörebilme. Bu amaçla, belirli senaryo depremler simüle edilerek bölgedeki yapı stoğunun bu depremlerdeki davranışı belirlenebilir [3], [4] 1999 Düzce depremi (Mw 7.1) verilerini kullanarak iki farklı yer hareketi değerlendirme yaklaşımı ile Batı Marmara bölgesi için kayıp değerlendirilmesi çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Ardından elde edilen sonuçları İstanbul ili ve çevresi için uygulanabilirlik ve sınırlar konusunda tartışmışlardır. Hosseinpour vd. [5], kayıp değerlendirilmesi çalışmalarının metodolojisini açıklayan bir çalışma yürütmüş ve kullanılabilir yazılımlar hakkında bilgi sunmuştur. Bu çalışmada, sismik tehlikenin olasılıksal ve deterministik yaklaşımlarının değerlendirilebileceğinden bahsedilmiştir. Bu çalışmada sismik tehlike analizleri deterministik bir yaklaşımla gerçekleştirilmektedir. Burada olasılıklı büyüklük ve mesafe yerine belirli noktalarda hangi sismik kaynakların hangi büyüklükte depremleri tetikleyeceği varsayımı kullanılmıştır. Erberik [6], Düzce depremi verileri ve temel konseptler kullanarak (aynı boyutta, benzer histeretik modele sahip ve benzer limit durumlarına sahip binalar) Türkiye için düşük ve orta katlı yapılar için geçerli kırılma eğrileri elde etmiştir. Bu eğrilerin

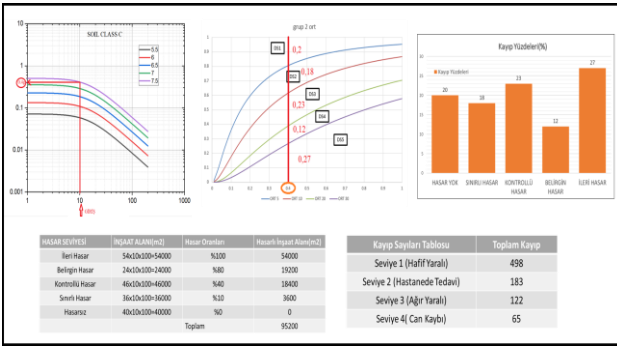
gelecekteki çalışmalarda kullanılabilirliği önerilmektedir. Hancılar ve Şeşetyan [7], 2000 yılı sonrasında İstanbul'da inşa edilen binalar için hasar ve mali kayıp tahminleri üzerine gözlemler sunmuştur. Elde edilen kırılma eğrilerini diğer literatürdeki eğrilerle mali kayıplar üzerinden karşılaştırmışlardır. Fahjan vd. [8], yer hareketi belirsizliklerinin ön hasar tespit yazılımını kullanarak kayıp değerlendirmelerini nasıl etkilediğini incelemiştir. Sonuç olarak, yer hareketi tahminlerinin fayın nasıl kırılacağı, zemin etkisi ve bina kalitesi gibi belirsizliklerin kayıp değerlendirmelerini etkilediği bulunmuştur. Işık vd. [3] ELER yazılımını kullanarak Kırşehir ili için kayıp değerlendirilmesi yapmışlardır. Üç farklı deprem senaryosunu dikkate alarak çalışma sahasını değerlendirmişler ve en yüksek yapısal hasarların ikinci senaryoda gözlemlendiğini bulmuşlardır. Bu tür kayıp değerlendirilmesi çalışmalarının, deprem öncesi hazırlık aşamasında önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada ayrıca bu alanda kullanılan yazılımlar da özetlenmiştir. Bu çalışmada belirtilen yazılımlar ve diğer literatürde yer alan yazılımlar aşağıda listelenmiştir:

- DBELA (Displacement Based Earthquake Loss Assessment)
- MAEVIZ (Orta Amerika Deprem Merkezi)
- HAZUS
- HAZTURK
- SELINA
- ELER (Earthquake Loss Estimation Routine)
- AFAD RED

Literatürde, Türkiye ve dünya genelinde yapılan bölgesel kayıp değerlendirilmesi çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle yazılım kullanarak tahmin yapmış, farklı senaryo depremlerini ve kırılma eğrilerini inceleyerek kayıp değerlendirilmesi analizlerinin nasıl yürütüleceğini araştırmışlardır. Türkiye ölçeğindeki çalışmalar özellikle İstanbul ili ve ilçelerini içermektedir [9]–[17]. Işık [18], Bitlis ili için deprem performans analizini gerçekleştirmiş ve DBELA programını kullanarak kayıp tahminleri yapmıştır. Türkiye'deki bu çalışmaların çoğunda can ve mal kayıpları katsayıları kullanılmaktadır.



Şekil 1. Kayıp Değerlendirmesi Aşamaları

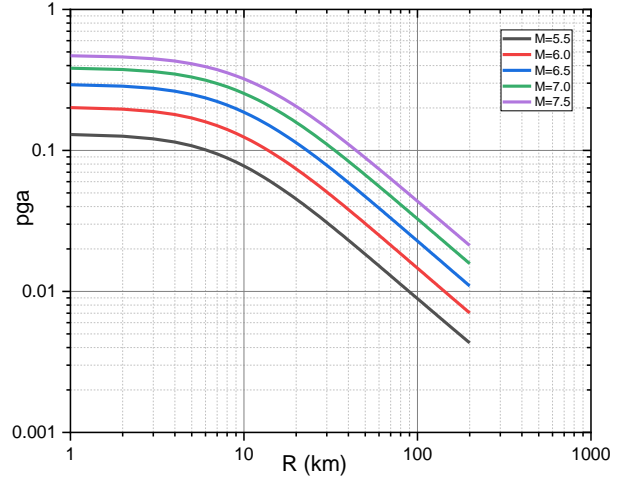


Şekil 2. Kayıp Değerlendirmesi Örnek Gösterimi

II. KULLANILAN AZALIM İLİŞKİLERİ

Sismik tehlike analizi, belirli bir noktadaki zemin ve yapının, gelecekte muhtemel bir depremin etkisi altında nasıl tepki vereceğinin (ivme, deplasman ve hız gibi tepki parametreleri) hesaplanmasını amaçlar. Sismik tehlike analizi, genellikle Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA) ve Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA) olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir[19]–[21]. Olasılıksal analizde deprem oluşumunun zaman ve mekandan bağımsız olduğunu göz önünde bulundurarak belirli bir zaman dilimi içinde farklı tehlikelerin olasılığını hesaplamak gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli rastlantısal modeller kullanılabilir. Bu modellerden biri de Poisson modelidir, burada depremler zaman ve mekan bağımsız olarak kabul edilir. Bu modelin bağımsızlık, düzenlilik ve kararlılık gibi özellikleri bulunmaktadır. Örneğin, aynı zaman ve mekanda iki farklı sismik olayın gerçekleşme olasılığı bu modelde sifıra yaklaşır[22]. Öte yandan, deprem parametreleri için azalım ilişkileri oluşturulması da önemlidir. Bu ilişkiler, sismik tehlike analizlerinde

belirli bir bölgenin deprem talebini tahmin etmek için kullanılan denklemlerdir. Bu denklemlerde genellikle deprem büyüklüğü, fayın uzaklığı ve zemin özellikleri gibi karakteristikler yer alır. Azalım ilişkileri, deprem parametrelerinin uzaklaştıkça azaldığı fikrine dayanır. Bu ilişkiler, olasılıksal ve deterministik deprem tehlike analizlerinde kullanılarak bölgedeki deprem çalışmaları ve yapı tasarımı için veri sağlar. Sismik tehlike analizlerinin çıktısı olan tehlike haritaları, belirli bir deprem büyüklüğünün aşılma olasılığını belirtir. Örneğin, Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Türkiye için özelleştirilmiş azalım ilişkilerini kullanarak deprem parametrelerini sunar[23]. Bu bağlamda, çalışmada kullanılan azalım ilişkileri, sismik tehlike analizlerinde kayıp değerlendirme için kullanılır. Deterministik yaklaşım ile senaryo depremlerden elde edilen deprem parametreleri, kırılma eğrilerine giriş parametreleri olarak kullanılır.



Şekil 3. Azalım İlişkisi

III. KIRILGANLIK EĞRİLERİ

Bir yapı, ömrü boyunca şiddetli depremlere maruz kalma olasılığına sahiptir. Kırılma eğrileri, deprem anında yapıların tepkilerini ve olası hasar durumlarını belirlemek için kullanılmaktadır. Kırılma eğrileri, bir yapının belirli bir yer hareketi şiddetinde belirli bir hasar durumunu aşma veya belirli bir hasar durumuna ulaşma olasılığını ifade eden bir kümülatif dağılım fonksiyonunu temsil eder[19], [20]. Bu eğriler, yalnızca geçmiş sismik etkinlikler sırasında gözlemlenen hasarlar üzerine yapılan istatistiksel analizlerden değil, aynı zamanda yapı bileşenlerinin ve yapıların deprem performansının modellenmesinden elde edilir[21]. Yeterli ampirik veri eksikliği ve belirli bir bölgede homojen veri

elde etme zorlukları nedeniyle, kırılabilirlik eğrilerini geliştirmek için genellikle analitik yöntemlere başvurulmuştur[22].

Öncelikle büyük bina stoklarının değerlendirilmesinde kullanılan bir hasar ölçüsü olarak PGA (Peak Ground Acceleration) seçilebilir. Sokak taraması yöntemi ile yapılar, olumsuzluk durumlarına göre elemiş ve sınıflandırılır. Bu yapılar için, daha gerçekçi kırılabilirlik eğrileri elde etmek amacıyla lineer olmayan zaman tanım alanındaki analizler tercih edilir, bu analizler büyük hesaplamalar gerektirir de. Kırılabilirlik eğrilerine, azalım ilişkilerinden elde edilen ilgili deprem parametreleri giriş verisi olarak kullanılır ve hasar sınıfları belirlenir. Bu hasar sonuçları mahalleler bazında ayrı ayrı değerlendirilir. Yapısal hasar sonuçları, mahalle, bina ve konut bazında incelenmiş ve can ve mal kaybının tahmininde kullanılır.

IV. CAN KAYBI KATSAYILARI VE DEĞİŞİMLERİ

Deprem kaynaklı can kayıplarını değerlendirmek için farklı tablolar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Kandilli Rasathanesi'nin İstanbul için yaptığı çalışmada sunulan can kaybı tabloları kullanılacaktır[12]. Bu tablolarda can kayıpları 4 farklı seviyede ele alınmaktadır. Seviye 1, hafif yaralıları; seviye 2, hastanede tedavi gerektirenleri; seviye 3, ağır yaralıları; ve seviye 4, can kayıplarını ifade eder. Bu seviyelere bağlı olarak, her hasar ve zarar seviyesine karşılık gelen yüzde cinsinden katsayılar verilmiştir. Bu katsayılar, hangi hasar seviyesine sahip binaların ne kadar olduğu, bağımsız bölüm sayıları ve hane halkı sayıları gibi faktörlerle birleştirilerek her seviyeye ait can kaybı sonuçları elde edilir. Bu çalışmada kullanılan katsayılar Tablo 1'de sunulmuştur.

Ayrıca, bu çalışmanın kapsamında, kullanılan katsayılar da değişiklik yaparak farklı bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Bu değişikliğe "Modifiye Can Kaybının Hesaplanması" adı verilmiştir. AFAD'ın verilerine göre, 1 Mayıs 2003 depreminde enkaz altından sağ kurtulan ve hayatını kaybeden kişi sayıları analiz edildiğinde, %58 gibi bir başarı oranının elde edildiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, 24 Ocak 2020 Elazığ Depremi ve 30 Ekim 2020 İzmir Depremi verileri incelendiğinde, bu başarı oranları sırasıyla %54 ve %49 olarak bulunmuştur. Ayrıca, 2011 yılında meydana gelen Van Depremi'nde bu başarı

oranı %29'dur (Şekil 4). Van Depremi'nde yıkılan bina sayısının diğer incelemeye alınan depremlere göre daha yüksek olması, bu başarı oranını düşüren bir etken olarak görülmüştür. Ancak yine de, bu başarı oranları geçmiş yıllara kıyasla oldukça yüksektir. Türkiye'de arama kurtarma faaliyetlerinin gelişimi, teknolojik ekipmanların artışı ve kalifiye personel sayısındaki yükseliş, gelecekteki depremlerde bu başarı oranlarını artırma potansiyeli taşımaktadır. Bu gelişmelerin, can kaybı ve ağır yaralanma sayılarını azaltması, bununla birlikte hafif yaralı ve hastanede tedavi seviyelerinde artışa yol açabileceği düşünülmektedir.

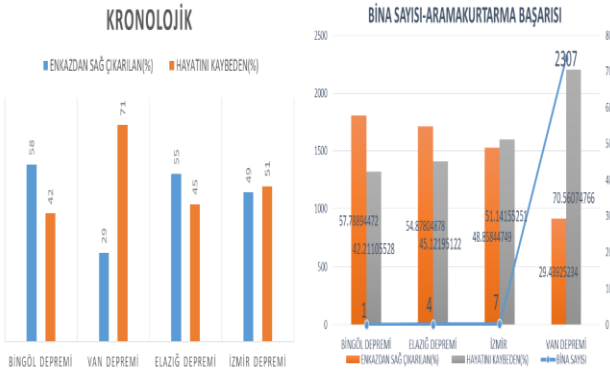
Bu nedenle yeni senaryoda ise, Seviye 4 ve Seviye 3 için kullanılan katsayılar %50 oranında azaltılmış, Seviye 1 ve Seviye 2 için kullanılan katsayılar ise %50 oranında artırılmıştır. Bu modifikasyonlarla ilgili katsayılar Tablo 1'de sunulan katsayılar üzerinde yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Can Kaybı Katsayıları

Katsayılar Tablosu	Sınırlı Hasar	Kontrollü Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar
Seviye 1(Hafif Yaralı)	0.05	0.2	1	30
Seviye 2(Hastanede Tedavi)	0.005	0.02	0.5	11
Seviye 3(Ağır Yaralı)	0	0	0.02	7.5
Seviye 4(Can Kaybı)	0	0	0.01	4

Tablo 2. Modifiye can kaybı katsayı değerleri

Katsayılar Tablosu	Sınırlı Hasar	Kontrollü Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar
Seviye 1 (Hafif Yaralı)	0.075	0.3	1.5	45
Seviye 2 (Hastanede Tedavi)	0.0075	0.03	0.75	16.5
Seviye 3 (Ağır Yaralı)	0	0	0.01	3.75
Seviye 4 (Can Kaybı)	0	0	0.005	2



Şekil 4. Geçmiş Depremlerdeki Arama Kurtarma İstatistikleri

V. SENARYO DEPREMLERİN BELİRLENMESİ

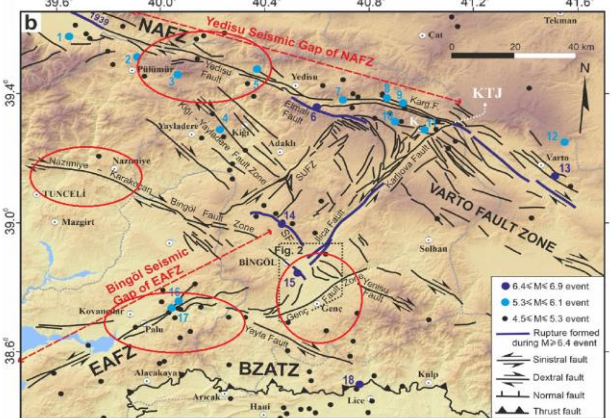
Kayıp değerlendirmesi çalışması sırasında gelecekte oluşabilecek depremleri tahmin etmek, kesin olarak mümkün olmasa da, literatürdeki bilgileri kullanarak bölgenin sismik kaynaklarını ve fay özelliklerini inceleyerek bir değerlendirme yapmayı gerektirir. Bingöl ili şehir merkezi çevresinde, bir dizi aktif sismik kaynağın bulunduğu bilinmektedir. Ancak, bu kaynaklar arasında en önemli olanlarını tespit etmek gerekmektedir. Bu çalışmada, Bingöl ili için tehlikeli olabilecek üç farklı deprem senaryosu belirlenmiştir. Bu senaryo depremleri belirlerken, literatürdeki sismik boşluklar ve bilgiler de göz önünde bulundurulmuştur. Bingöl ili şehir merkezi ve çevresi literatürdeki bilgilere göre, Bingöl ili bölgesini etkileyebilecek üç farklı sismik boşluğun var olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle deprem senaryoları da bu üç boşluk üzerine kurulmuştur. İlk senaryo, Palu ile Bingöl arasındaki bölgede mevcuttur ve bu bölgede 7.2 büyüklüğünde bir depremin meydana gelmesi beklenir. İkinci senaryo, Yedisu ilçesine yakın bir bölgede gerçekleşecek olup bu bölgede 7.2 büyüklüğünde bir depremin olasılığı değerlendirilir. Üçüncü senaryo ise Nazımiye'den Bingöl'e doğru olan fay segmenti üzerinde yer alır ve bu bölgede 7.1 büyüklüğünde bir depremin meydana gelmesi beklenebilir[23]–[26]. Bu senaryo büyüklükleri ve olasılıkları dikkate alınarak belirlenmiştir. Azalım ilişkileri hesaplanırken, büyüklük verisinin yanı sıra çalışma sahasına uzaklık da önemli bir parametredir. Genel olarak, bu uzaklık çalışma sahası ile fay arasındaki en kısa mesafe olarak belirlenir. Bu bağlamda, belirlenen Palu, Nazımiye

ve Yedisu segmentleri için uzaklıklar sırasıyla 20, 45 ve 60 kilometre olarak belirlenmiştir. Sismik boşlukları ve senaryo deprem üretebilecek sismik kaynakların konumları, Şekil 6'da gösterilmektedir. Potansiyel sismik kaynaklarına ilişkin harita Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. Bingöl ili şehir merkezi ve çevresindeki sismik kaynaklar

Depremlerin çalışma sahasına olan uzaklıklarının belirlenmesi Joyner-Boore mesafesi kavramı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu mesafeleri belirleme konusunda farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bazı çalışmalar, deprem kaynağına olan en yakın yüzey kırığı mesafesini kullanırken, Joyner-Boore[27] mesafesi yaklaşımını kullanan çalışmalar, deprem kaynağından bir noktaya olan yatay uzaklığı değerlendirir. Bu mesafe ölçüsü Rjb olarak adlandırılır ve depremin olma ihtimali olan fay ile çalışma sahası arasındaki en yakın yatay mesafeyi ifade eder. Bu nedenle tercih edilen bir yöntemdir ve bu mesafe tanımı 1981 yılında Joyner ve Boore tarafından ortaya konmuştur. Bu çalışmada da senaryo depremleri için belirlenen 20, 40 ve 60 km uzaklıklar, Rjb mesafesi yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, deprem kaynağının ve çalışma sahasının arasındaki en yakın yatay mesafeyi temsil etmesi nedeniyle tercih edilmiştir.



Şekil 6. Senaryo deprem üretecek sismik kaynaklar[23]

VI. HANE HALKI SAYISI VE GECE GÜNDÜZ DEPREM OLMA DURUMU

Hane halkı sayısı, kayıp değerlendirmesi aşamasında can kaybının hesaplanması için önemlidir. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre, Bingöl ilindeki hane halkı sayısı ortalaması 3.6 olarak belirlenmiştir[28]. Bu hane halkı sayısı, farklı mahallelerde ve mahallelerde yaşayan aile tiplerine göre değişiklik gösterebilir. Bu değişikliği yansıtmak amacıyla, mahallelerde yaşayan farklı aile tipleri yaklaşık olarak tahmin edilmiş ve güncellenmiştir.

Depremi ne zaman, nasıl ve nerede olacağı kesin olarak önceden tahmin edilemez. Ancak kayıp değerlendirmesi çalışmalarında, depremin gün içindeki zamanlaması da göz önünde bulundurulmalıdır. Genel olarak, depremin gece veya gündüz saatlerinde meydana gelmesi, kayıpların farklılık göstermesine neden olabilir. Bu farklılık özellikle konut tipi yapılar için önemlidir. Konutlardaki hane halkı sayısı ve hareketliliği, depremin gece veya gündüz saatlerinde meydana gelme durumuna göre değişebilir. Bu nedenle, bu çalışmada depremin gece (18:00-06:00 arası) veya gündüz (06:00-18:00) saatlerinde meydana gelme durumları ayrı olarak incelenmiştir.

Bingöl ilinde yapılan bir araştırmaya göre, 18 yaş altı öğrenci sayısı 66870 olarak belirlenmiştir [29]. Hanede gelir getiren bireylerin iş durumları incelendiğinde, sadece kendi çalışan %55.6 oranında hane bulunurken, sadece eşi çalışan oranı ise %18 olarak tespit edilmiştir. Bingöl ilindeki genel nüfus, 18 yaş altı öğrenci sayısı ve hanede gelir getiren çalışanların yüzdesi göz önünde bulundurularak, gündüz saatlerinde konutlarda hane halkının %40'ının bulunabileceği, %60'ının ise bulunmayacağı varsayılabilir. Bununla birlikte, depremin gece saatlerinde olması durumunda, hane halkının tamamının evde olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, depremin gece saatlerinde meydana gelmesi durumunda, hane halkının tamamı dikkate alınmalıdır. Yapılan varsayımlar, bu çalışmanın kapsamında ele alınan yapı stokuna yöneliktir. Farklı yapı tipleri veya bölgelerde bu oranlar farklılık gösterebilir.

VII. EKONOMİK KAYIPLAR

Depremler, mevcut yapı stokuna farklı hasar seviyelerinde zarar verebilir ve bu da barınmayı olumsuz etkileyebilir. Depremler sonrasında bazı yapılar tamamen kullanılamaz hale gelirken,

bazıları da onarıldıktan sonra tekrar kullanılabilir durumda olabilir. Senaryo depremlerin meydana getireceği hasar oranları literatürde yaklaşık olarak belirlenmiştir. Bu hasar seviyelerine göre yapıların hasar oranları ve inşaat alanları değerlendirilerek, senaryo depremlerin ardından meydana gelebilecek hasarlı inşaat alanları tahmin edilebilir[3]. Belirlenen hasarlı inşaat alanları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı[30] tarafından belirlenen yaklaşık birim maliyetlerle çarpılarak, yapısal hasar nedeniyle ekonomik kayıplar tahmin edilebilir. Hasar seviyelerine göre belirlenen hasar oranları, senaryo depremlerin oluşturabileceği etkileri anlamak için kullanılabilir verileri içeren Tablo 3'te verilmiştir. Bu tür analizler, depremlerin sosyal ve ekonomik etkilerini anlamak ve risk azaltma stratejileri geliştirmek amacıyla önemlidir.

Tablo 3. Hasar seviyesine karşılık gelen hasar oranları

Hasar Seviyesi	Hasar Oranları
Çok Ağır Hasar(Göçme)	% 100
Ağır Hasar	% 80
Orta Hasar	% 40
Hafif Hasar	% 10
Hasarsız	% 0

VIII. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada Bingöl ili şehir merkezindeki konut türü yapılar üzerinde kayıp değerlendirmesi çalışmalarının nasıl yapıldığı deterministik olarak incelenmiştir. Literatürden farklı olarak yazılım kullanılarak elde edilen sonuçların yanına bu çalışmada izlenen yöntem yapı stoku iyi bilindiği durumlar için hızlı bir alternatif olacağı görülmektedir. Ayrıca, literatürden farklı olarak hane halkı sayısı yaklaşımı, depremin günün hangi saatinde meydana gelmesi durumlarının kayıp tahminlerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Hane halkı sayısının mahallelerde yaşayan aile yapısına göre değişkenlik göstermesi ve konut türü yapıların ağırlıklı olarak bulunduğu yapı stoklarında depremin gece ve gündüz saatlerinde olması durumu arasında büyük farklılıklar olacağı görülmektedir. Ayrıca can kaybı katsayılarının günümüz şartları göz önünde bulundurularak güncellenmesi önerisi bu çalışmanın sonuçlarındandır. Bu çalışma ile sonraki bölgesel çalışmalara yeni bir bakış açısı

kazandırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca kayıp değerlendirilmesi çalışmalarına iletişim ve ulaşım hatlarının da dâhil edilmesi gerekliliği en önemli önerimizdir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ömer Faruk Nemutlu'nun doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] KOERI, "Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi." <http://www.koeri.boun.edu.tr/>.
- [2] "Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı," 2018. <http://tdth.afad.gov.tr>.
- [3] E. IŞIK, Ç. Sağıroğlu, Z. TOZLU, and Ü. S. USTAOĞLU, "Farklı Deprem Senaryolarına Göre Kırşehir İli Kayıp Tahmin Analizleri," *Doğal Afetler ve Çevre Derg.*, vol. 90, no. 434, pp. 80–93, 2018, doi: 10.21324/dacd.432592.
- [4] B. Uğurhan, A. Askan, and M. A. Erberik, "A methodology for seismic loss estimation in urban regions based on ground-motion simulations," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 101, no. 2, pp. 710–725, 2011, doi: 10.1785/0120100159.
- [5] V. Hosseinpour, A. Saeidi, M. J. Nollet, and M. Nastev, "Seismic loss estimation software: A comprehensive review of risk assessment steps, software development and limitations," *Eng. Struct.*, vol. 232, no. January, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.111866.
- [6] M. A. Erberik, "Az ve Orta Katlı Betonarme Yapıların Hasargörebilirliğinin İncelenmesi," Ankara, Türkiye, 2006.
- [7] U. HANCILAR, K. ŞEŞETİYAN, and E. ÇAKTI, "İstanbul'daki 2000 Yılı Sonrası Binalar İçin Tasarım Depremi Altında Karşılaştırmalı Yapısal Hasar ve Mali Kayıp Tahminleri," *Tek. Dergi*, 2019, doi: 10.18400/tekderg.326939.
- [8] A. Çoruh *et al.*, "Afet Planlamasında Deprem Riski Belirsizliklerinin Değerlendirilmesi Uncertainties in Earthquake Risk Assessment for Disaster Planning," *Dergipark.Org.Tr*, vol. 90, no. Isdr 2004, pp. 21–39, 2015, [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/52691>.
- [9] H. Aslani and E. Miranda, "Probabilistic earthquake loss estimation and loss disaggregation in buildings. Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, CA 94305-4020," no. 157, p. 383, 2005, [Online]. Available: <http://blume.stanford.edu>.
- [10] E. Çaktı, "İstanbul 'daki 2000 Yılı Sonrası Binalar İçin Tasarıma Esas Deprem Seviyesi Altında Karşılaştırmalı Yapısal Hasar ve Mali Kayıp," pp. 9107–9124, 2019.
- [11] Ü. S. Çiftçi, Sema; Çakırer, Zeynep; Sakallı, "Simülasyon Çalışması ile Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale İli Kayıp Tahmin Analizi Creating Earthquake Scenario with Simulation Study and Analysis of Loss Prediction in Kırıkkale Province," 2020.
- [12] M. Erdik *et al.*, "Earthquake risk assessment for Istanbul metropolitan area," *Earthq. Eng. Eng. Vib.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–23, 2003, doi: 10.1007/BF02857534.
- [13] K. Goda and R. De Risi, "Probabilistic tsunami loss estimation methodology: Stochastic earthquake scenario approach," *Earthq. Spectra*, vol. 33, no. 4, pp. 1301–1323, 2017, doi: 10.1193/012617EQS019M.
- [14] C. A. Kircher, A. A. Nassar, O. Kustu, and W. T. Holmes, "Development of building damage functions for earthquake loss estimation," *Earthquake Spectra*, vol. 13, no. 4, pp. 663–682, 1997, doi: 10.1193/1.1585974.
- [15] B. Mansouri, M. Ghafory-Ashtiany, K. Amini-Hosseini, R. Nourjou, and M. Mousavi, "Building seismic loss model for Tehran," *Earthq. Spectra*, vol. 26, no. 1, pp. 153–168, 2010, doi: 10.1193/1.3280377.
- [16] C. Rojahn, A. King, Stephanie, R. E. Scholl, A. S. Kiremidjian, L. D. Reaveley, and R. R. Wilson, "Earthquake Damage and Loss Estimation Methodology and Data for Salt Lake County, Utah," *Earthq. Spectra*, vol. 13, no. 4, pp. 623–641, 1997.
- [17] K. Taşlıova, "İstanbul İli Esenler İlçesi Deprem Hasar Tahmin Analizi," İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.
- [18] E. Işık, "Bitlis Şehri Deprem Performans Analizi," Sakarya Üniversitesi, 2010.
- [19] A. Belejo, A. R. Barbosa, and R. Bento, "Influence of ground motion duration on damage index-based fragility assessment of a plan-asymmetric non-ductile reinforced concrete building," *Eng. Struct.*, vol. 151, pp. 682–703, 2017, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.08.042.
- [20] H. İ. Duman, "Pgv based no-code mid-rise reinforced concrete frame-type building fragilities in Istanbul," Middle East Technical University, 2020.
- [21] D. Straub and A. Der Kiureghian, "Improved seismic fragility modeling from empirical data," *Struct. Saf.*, vol. 30, no. 4, pp. 320–336, 2008, doi: 10.1016/j.strusafe.2007.05.004.
- [22] J. E. Padgett and R. DesRoches, "Methodology for the development of analytical fragility curves for retrofitted bridges," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 37, pp. 1157–1174, 2009, doi: 10.1002/eqe.
- [23] K. Akbayram, E. Bayrak, E. Pamuk, Ç. Özer, K. Kıranşan, and S. Varolgüneş, "Dynamic sub-surface characteristic and the active faults of the Genç District locating over the Bingöl Seismic Gap of the East Anatolian Fault Zone, Eastern Turkey," *Nat. Hazards*, vol. 114, no. 1, pp. 825–847, 2022, doi: 10.1007/s11069-022-05414-8.
- [24] Ö. Emre *et al.*, "Active fault database of Turkey," *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 16, no. 8, pp. 3229–3275, 2018, doi: 10.1007/s10518-016-0041-2.
- [25] C. Zabcı, H. S. Akyüz, and T. Sançar, "Palaeoseismic history of the eastern part of the North Anatolian

- Fault (Erzincan, Turkey): Implications for the seismicity of the Yedisu seismic gap,” *J. Seismol.*, vol. 21, no. 6, pp. 1407–1425, 2017, doi: 10.1007/s10950-017-9673-1.
- [26] G. Seyitođlu, K. Esat, B. Kaypak, M. Toori, and B. Aktuđ, “Chapter 10 - Internal Deformation of Turkish–Iranian Plateau in the Hinterland of Bitlis–Zagros Suture Zone,” in *Tectonic and Structural Framework of the Zagros Fold-Thrust Belt*, vol. 3, A. F. B. T.-D. in S. G. and T. Saein, Ed. Elsevier, 2019, pp. 161–244.
- [27] W. B. Joyner and D. M. Boore, “Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 71, no. 6, pp. 2011–2038, 1981.
- [28] TURKSTAT, “Turkish Statistical Institute.” Accessed: Sep. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.tuik.gov.tr/>.
- [29] A. Solak, *Bingöl İli Sosyal Analiz Çalışması*. Bingöl: Hegem Yayınları, 2016.
- [30] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “csb.gov.tr,” *Basın Bülteni*, 2023. .