

Kentsel Gelişme Alanlarında Deprem Riskinin Değerlendirilmesi

Seyran Büşra Gök¹, Merve Yavaş^{2,*}

¹Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, 25240, Erzurum.

²Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 25240, Erzurum.

Özet

Bu çalışmanın amacı planlama ve jeoloji ilişkisinin göz önünde bulundurularak, makro ölçekli verilerin mikro ölçekli verilerle entegre edilmesi ve depreme karşı yerele özgü bir risk modelinin ortaya konmasıdır. Ayrıca deprem riskine yönelik planlama sisteminde eşgüdümsel bir bakış açısının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Türkiye’de deprem riski yüksek kentlerden biri olan Erzurum’da, özellikle yeni gelişme alanlarında ve kentsel mekânın şekillenmesi sürecinde afetin ne kadar göz önünde bulundurulduğu araştırılmıştır. Çalışmanın yöntemini kentsel deprem risklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemine bağlı literatür çalışmaları oluşturmuştur. Özellikle Japonya tarafından kullanılan “Birleşik Risk Modeli” kriterleri temel alınarak, Erzurum’da gelişimi imar faaliyetleriyle devam eden Osmangazi Mahallesi için Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritası oluşturulmuştur. Bu haritaya göre çalışma alanında toplam imar ada sayısının %1.39’unun çok düşük riskli, %48.59’unun düşük riskli, %41.25’inin orta riskli, %6.29’unun yüksek riskli ve %2.09’unun çok yüksek riskli olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda Erzurum’da yeni gelişme alanlarındaki imar koşulları ve yapılaşma faaliyetlerinin deprem riskini artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Deprem, Afet, Kentsel Risk, Erzurum

Assessment of Earthquake Risk in Urban Development Areas

Abstract

The aim of this study is to integrate macro-scale data with micro-scale data by considering the relationship between planning and geology, and to present a locally specific risk model against earthquakes. It is also aimed to develop a coordinated perspective in the planning system for earthquake risk. In Erzurum, one of the cities with high earthquake risk in Turkey, the extent to which the disaster is taken into account in the process of shaping the urban space, especially in new development areas, was investigated. The methodology of the study was based on literature studies related to the multi-criteria decision-making method, which is frequently used in the determination of urban earthquake risks. Based on the criteria of the "Combined Risk Model" used especially by Japan, a Building Collapse Risk Rating Map has been created for Osmangazi Neighborhood, whose development continues with development activities in Erzurum. According to this map, it was determined that 1.39% of the total number of zoning lots in the study area is very low risk, 48.59% is low risk, 41.25% is medium risk, 6.29% is high risk and 2.09% is very high risk. Accordingly, it has been determined that zoning conditions and construction activities in new development areas in Erzurum increase the earthquake risk.

Keywords

Earthquake, Disaster, Urban Risk, Erzurum

1. Giriş

Yeryüzü sürekli hareket halinde olan dinamik bir yapıya sahip olup, bu dinamizm yeryüzünün doğal dengesini oluşturmaktadır. Bu doğal dengenin dinamik yapısının en temel göstergesi ise levha hareketlerine bağlı olarak kara parçalarının belirli zaman aralıklarıyla yer değiştirmesidir. Levha hareketlerinin bir sonucu olarak yeryüzüne yansıyan depremler de büyüklük ve şiddetine bağlı olarak yüzyıllar boyunca insanların can ve mal güvenliğini tehdit eden bir doğal afet olarak nitelendirilmektedir (Şen, 2023) Bu nedenle toplumları içinde barındıran şehirlerin deprem afeti karşısında dirençli olmaları büyük önem arz etmektedir.

Güvenli şehirler için en temel ihtiyaç, jeolojik duyarlılığın benimsenmesidir. Yaşanılan coğrafyanın sahip olduğu doğal karakterler ve her bir doğal eşik, ideal kentleşme için referans olmaktadır. Ancak günümüzde uygun fiziki jeolojik ortamın haricinde, nüfus artış hızı ve yer seçimi kararları kontrolsüz bir şekilde gerçekleşmeye devam etmektedir. Bu hızlı kentleşme sürecinde planlama disiplini içerisinde önemli bir yeri olan doğal eşikler göz ardı edilmektedir. Deprem afetleri sonucu meydana gelen can ve mal kayıpları bunun en büyük kanıtıdır. Bu nedenle kentsel deprem riskinin eşgüdümsel bir bakış açısıyla değerlendirilmesi, planlama disiplini içerisindeki tüm kademelerin göz önünde bulundurularak planlama ve tasarım stratejilerinin oluşturulmasına bağlıdır.

Dünyada kent ve deprem ilişkisini afet yönetimi, planlama ve tasarım kapsamında uygulamaya aktarabilen en iyi çalışmalar Japonya'da karşımıza çıkmaktadır (Sekimov, 2012; Tokyo Metropolitan Government, 2022). Ancak literatür araştırmalarında görülmüştür ki, dünya üzerinde kentsel deprem riskini belirlemeye yönelik kabul görmüş bir risk belirleme yöntemi bulunmamaktadır. Ülkelerin sahip olduğu kentsel deprem riskleri, depremlerin meydana gelme periyotları, depremlerin şiddetleri ve depremlerin meydana geldiği deprem kuşakları ile kentleşme dinamikleri değişiklik gösterdiğinden zarar görebilirlik veya hasar görebilirlik dereceleri de birbirinden farklı parametrelere ve kriterlere sahiptir.

2005-2018 yılları arasında deprem afetine yönelik planlama ve jeoloji etkileşimine bağlı yapılan çalışmalar, planlama sürecinde göz ardı edilen doğal faktörlerin önemine değinmektedir. Reja ve Shajahan (2011), deprem afetine karşı kentsel risklerin en aza indirgenebilmesi için arazi kullanım ve imar planlarına katkı sağlayacak olan sismik mikro bölgeleme haritalarının çakıştırılmasıyla daha profesyonel bir şehir planlama anlayışının ortaya çıkacağını belirtmişlerdir. Biglari vd. (2015) yaptıkları çalışmayı sismik tehlike, sismik jeolojik mikro bölgeleme ve kent planlaması olarak üç ana bölüme ayırmışlardır. Araştırmalarında, jeolojik verileri planlama ve inşaat verileri ile birleştirmişler ve hangi kat yüksekliğinin kentin hangi bölgesinde yapılabileceğini mekânsal olarak tespit etmişlerdir. Aversa ve Crespellano (2016)'a göre, sismik bağlamda yapılacak olan mikro bölgeleme çalışmaları şehir planlama disiplini çerçevesinde kullanılacak olan en önemli araçtır. Kentsel kültürel kimliğin korunmasında mikro bölgeleme çalışmalarının büyük bir paya sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bathrellos vd. (2017) ise kentsel gelişme yönlerinin belirlenmesinde uygun yer seçiminin çoklu tehlike haritalarının kullanılmasıyla oluşabileceğini, ayrıca bu sürece analitik hiyerarşi araştırmaları ve CBS verilerinin entegre edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Son olarak Kaya vd. (2018), konut alanlarının yer seçimi üzerinde yaptıkları çalışmada, zeminin taşıyabileceği yük kapasitesine bağlı incelemeler yapmıştır. Düzce'de planlı dönem sonrası 1965 yılında yapılan imar planında zeminin yapısı nedeniyle konutların kat yüksekliklerinin 3 kat olarak belirlendiği ancak daha sonraki planlarda kat sayılarının 5-6 kat arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Özetle bu çalışmalarda planlama disiplininin en temel girdisini ve altlığını oluşturan doğal eşiklerin dikkate alınmamasına ve yaşanan felaketlerin sürekli tekrar etmesine vurgu yapılmış, deprem afetine karşı jeolojik yapılanmanın planlama sürecindeki en önemli rolü üstlendiği söylenmiştir.

Ayrıca 2000'lerden sonra kentsel deprem riskinin belirlenmesinde planlama ve tasarımın önemine yönelik yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Yalçınar (2002), kente yönelik envanter verilerinin bulunmasının deprem yönetim sürecini olumlu yönde etkileyeceğini belirtmiştir. Pendik İlçesi için yapılan analizde fay hatları üzerinde yer alan yapılar, zemin yapısı, ulaşım ağı, kritik donatı elemanları vb. kriterleri ile ele alınmıştır. Kriterlerin coğrafi bilgi sistemlerine dayanılarak çakıştırılması sonucu kentsel yerleşim bölgelerinde tehlike ve risklerin belirlenerek depreme karşı dirençli yerleşimlerin oluşturulabileceği vurgulanmıştır. Balyemez (2003), kentsel planlama ve tasarım disiplini, kentsel deprem riski ile beraber irdelemiştir. Deprem mühendisliği bilimlerinin sunduğu verilerin planlama ve tasarım disiplinlerine aktararak anlaşılması gerektiğini belirtmiştir. Araştırmasında, bina tasarımının dışında yapının yerleştiği konuma değinmiş, uygun yer seçimi ve arazi kullanım planının önemini vurgulamıştır. Taş (2003) ise deprem afetine karşı mevcut kentsel risklerin olası afet senaryolarına bağlı hasar görebilirlik ve yerel ölçeğe indirgenebilecek yapısal düzeyde planlama stratejilerinin geliştirilerek uygulanması gerekliliğini ifade etmiştir. Balyemez ve Berköz (2005), planlama ve tasarım süreçlerinin deprem riski üzerindeki etkilerini inceleyerek yönlendirici bir dayanak oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmada, zemin ve yapı etkileşimine bağlı olan jeolojik unsurlar ve mimari tasarım unsurları ele alınmıştır. Yapısal ve mimari unsurlarda bina formlarının simetrik ve basitlik ilkelerine uygun olarak ve bina çıkmalarının deprem yükleri düşünülerek tasarlanması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca ticaret-konut fonksiyonundaki yapıların deprem riskini artırdığı, kat yüksekliklerinin de olası hasarları artırabileceği, yapısal malzemelerin hafif olması gerektiği, yapı nizamında bitişik ve blok nizamın risk faktörü oluşturduğu belirtilmiştir. Dönertaş (2006), risk yönetimi çerçevesinde daha güvenilir yerleşim birimleri için kentsel tasarım standartlarının geliştirilmesini ve tasarım sürecinde yasal, yönetsel ve hukuki yenilenmelerin yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Hosseini (2007)'ye göre, deprem tehlikesi bağlamında belirlenen kentsel tasarım yönergelerinden olan kentsel yoğunluk, yapı yüksekliği, yapı malzemesi, yapı kütlesi vb. detayların dışında özellikle yeniden inşa sürecinde kentin sahip olduğu kimliğin de tasarım yönergelerine eklenmesi gerekmektedir. Gerdan (2021), tehlike ve risklerin belirlenme sürecinin planlamadan bağımsız yürütülmesinin afetler karşısında yetersiz kalacağını belirtmiştir. Tüm planlama ölçeklerinde sakinim çalışmalarının planlamada esas bir adım teşkil ettiğini, risk azaltma çalışmalarının da planlama disiplini içinde önemli bir yer edindiğini ifade etmiştir. Özkiremitçi (2022), kentsel risk ve planlamayla olan ilişkiyi Eskişehir örneği üzerinden inceleyerek planlamanın etkinliğini ve verimliliğini değerlendirmiştir. Dirençli kentsel mekanların yaratılabilmesinde imar planlarının rolüne değinerek, hazırlanan afet riski verilerinin kullanımının artırılması gerektiğini önemle vurgulamıştır. Ayrıca kentsel risklerin belirlenmesinde planlama ve uygulama aşamalarının bütün olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir. Özetle bu çalışmalarda özellikle dirençli kentsel mekanlar için tasarım ölçeğinde yol gösterici birçok parametreye yönelik araçlar geliştirmek gerektiği vurgulanmıştır. Ek olarak yapılan çalışmalarda deprem afetine yönelik planlama ve tasarım parametrelerinin eşgüdüllü bir çerçevede uygulanması gerektiği belirtilmiştir. Geliştirilecek stratejilerin yalnızca konut ölçeğindeki bina formlarının tasarımına yönelik değil, kamusal alanlar, sosyal yaşam aktivitesinin yoğun olduğu ticari alanlar, kritik sosyal donatı alanlarına yönelik olması istenmektedir.

Yine 2000’li yıllardan sonra kentsel deprem riskine yönelik geliştirilen model önerileri incelenmiştir. Fâh vd. (2001), bina envanteri, mikro bölgeleme ve deprem senaryoları eşliğinde kentsel bölgelerde hasarları modelleyebilmek için hızlı bir teknik sunmuşlardır. İlgili yöntem, nüfus yoğunluğu fazla olan, birçok deprem gören ve sanayinin yoğun olduğu Basel şehrine uygulanmıştır. Ayrıca bina hasar dağılımının doğru bir şekilde ortaya çıkabilmesi için tüm şehrin bina stoku hassasiyetinin belirlenmesinde yerel zemin tepkisinin en iyi şekilde tanımlı olması gerekliliğine değinilmiştir. Goretti ve Sarlı (2006) yaptıkları çalışmada sismik aktivitenin kentsel ulaşım ağları ve binalara olan etkileri bağlamında bir model önerisi geliştirmişlerdir. İlgili model kentsel ulaşım ağlarının sismik aktivite sonrasında erişilebilirliğinin önemini ön plana çıkarmaktadır. Kundak (2006), İstanbul’un deprem riskini belirlemeye yönelik bir model önerisi geliştirmiştir. Geliştirdiği model önerisinde kullanılan doğal parametreler maksimum yer ivmesi, ivme spekturumu, fay hatlarına olan uzaklık, zemin sıvılaşması, heyelan, eğim, tsunamidir. Yapısal faktörlerde ise yerleşim dokusunun özellikleri, bina yoğunluğu, arazi kullanım şekli, demografik ve ekonomik faktörler yer almaktadır. Özellikle kentsel donatı elemanlarının kritik önemine değinilmiş ve olası bir depreme karşı bu tür yapıların hasar görebilme ihtimallerinin en az seviyeye indirilmesi gerekliliğini açıklamıştır. Motamed vd. (2020) ise depreme karşı uygun yer seçimi ve tahsis için geliştirdikleri model ile, yeni gelişme alanlarında deprem tehlike bilgisinin arazi kullanımına entegre edileceğini ve planlama sürecine yardımcı olacaklarını ileri sürmüşlerdir. Yavuz (2013) çalışmasında, CBS baz alınarak Yalova Merkezi için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan TOPSİS ve Analitik Hiyerarşi Süreci gibi metotlar ile deprem riskini göreceli olarak tespit edilmiştir. İlgili yöntemlerde zemine bağlı olan litoloji, jeoloji, sıvılaşma gibi doğal yapı kriterleri, alt ve üst yapıya yönelik sağlık birimlerinin etki alanları, ulaşım yollarının etki alanı, yapısal nizam durumu, yapı kalitesi durumu ve yapı kat sayıları gibi yapı yerleşim düzenine yönelik kriterler dikkate alınmıştır. Yavaşoğlu ve Özden (2017) ise çok ölçütlü karar verme yöntemini kullanarak İstanbul Kadıköy İlçesi’nin deprem hasar riskini belirlemişlerdir. Çalışmalarında ulaşım ağları, yapısal kalite durumu, kat sayısı ve nüfus kriterlerini ele almışlardır. Özellikle ayrıntılı veri gerektiren yapısal kriterlerde yapının bulunduğu parselde ait jeo-teknik etütlerin parsel bazında veri olarak kullanılmasının, gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesinde önemli bir rol oynadığını ifade etmişlerdir. Erdoğan (2021), İstanbul’un tarihi Yarımadası’nın deprem odaklı kentsel zarar görebilirliğini belirlemek adına çok ölçütlü karar verme yöntemi olan analitik hiyerarşi sürecini kullanmıştır. Yaptığı çalışmada kritik kentsel hizmetlerin erişimi, sosyal ekonomik altyapı, yapısal kriterler ve altyapı tesisleri hasar görebilirlikleri olarak dört ana kriteri incelemiştir. Şehir plancılarının bu yöntemi kullanarak ve stratejik yer seçiminde risk azaltma çalışmalarını planlama sürecine entegre ederek kentsel risk azaltma politikaları geliştirebileceğini ifade etmiştir. Cremen vd. (2022), deprem riskine yönelik geliştirilen modellerin dışında geleceğe yönelik kent planlama disiplini içerisinde yer alabilecek bir model önerisi geliştirmiştir. Bu modelde sadece fiziksel ve sosyal kırılma değil, geleceğin kent planlamasında projeksiyonlar ve deprem riskleri göz önünde bulundurularak simülasyon tabanlı bir çerçeve sunulmuştur. Öneri olarak geliştirilen simülasyon tabanlı çerçevenin deprem riskine duyarlı kentsel mekanlarda planlama kararlarını destekleyebilecek nitelikte olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmalarda kentsel deprem risklerinin belirlenmesinde kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin afet yönetimine bağlı risk odaklı planlama araştırmalarına öncülük ettiği tespit edilmiştir.

Ülkemizde afet yönetimi üzerine yapılan çalışmalar özellikle son kalkınma planı çerçevesinde artmaya başlamıştır. Ancak depremle ilişkili yapılan çalışmalarda, zemin durumu ve yapı özelinde analizler yapılırken kentleşme problemlerinden bahsedilmemektedir. Ek olarak, planlama ve tasarım alanında özellikle veri paylaşımında yaşanan sorunlar nedeniyle ve disiplinler arası koordinasyon eksikliğinden dolayı yeterli alt yapıya sahip çalışmaların yapılamadığı görülmektedir. Kentsel deprem riski kapsamında yapılan çalışmalarda ise kabul görmüş standartlarda bir risk endeksi veya modeli bulunmamaktadır. Ayrıca ülkemizde kentsel risk kavramını belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda uygulamaya yönelik standartlar da geliştirilememiştir. Dolayısıyla kentsel deprem riskine yönelik benimsenemeyen planlama anlayışının sonuçları, 6 Şubat 2023 günü merkez üssü Kahramanmaraş’ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan 7.8 ve 7.5 büyüklüğünde yaşanan depremlerin ardından bir kez daha anlaşılmıştır.

Çalışmanın amacı, planlama, tasarım ve jeoloji ilişkisinin göz önünde bulundurulduğu makro ölçekli (zemin yapısı, sıvılaşma riski, amplifikasyon oranı vb.) verilerin mikro ölçekli (bina yapım yılı, bina formu, binaların yapı nizamı, bina yoğunluğu vb.) verilerle entegre edilerek, depreme karşı yerele özgü bir risk modelinin ortaya konması, ayrıca deprem riskine yönelik planlama sisteminde eşgüdümsel bir bakış açısının geliştirilmesidir. Çalışma ile Türkiye’de deprem riski yüksek kentlerden biri olan Erzurum’da, özellikle yeni gelişme alanlarında ve kentsel mekânın şekillenmesi sürecinde bu afetin ne kadar göz önünde bulundurulduğu araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

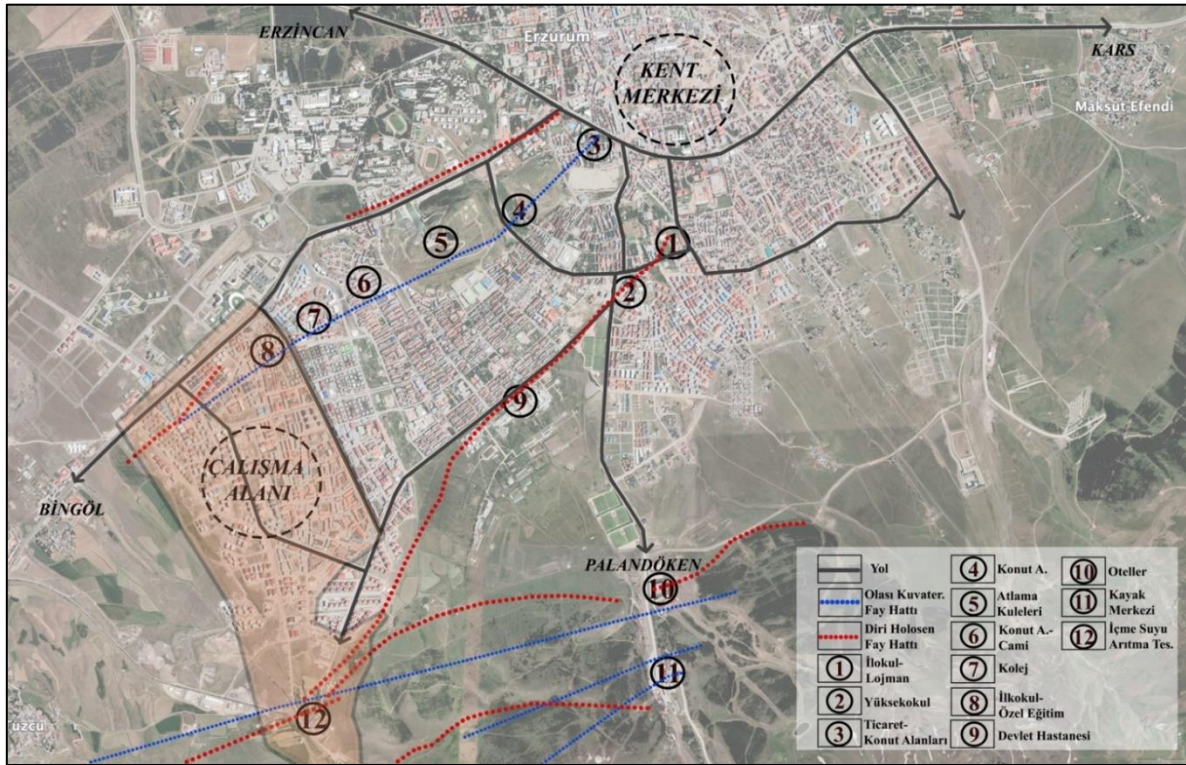
Çalışmanın ana materyalini Erzurum kenti oluşturmaktadır. Erzurum (Merkez) Palandöken ilçesinde yer alan Osmangazi Mahallesi sahip olduğu zayıf zemin yapısı, diğer mahallelere kıyasla daha fazla diri fay hatları üzerinde yer alması ve imar faaliyetleri açısından gelişme bölgesi olması nedeniyle çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışmanın verileri Gök (2023)’ün yüksek lisans tezi kapsamında üretilmiştir. Erzurum Büyükşehir Belediyesi ve Palandöken Belediyesi’ne bağlı İmar ve Şehircilik Müdürlüğü’nden temin edilen mekânsal veriler ile Maden Teknik Arama Müdürlüğü’nün yer bilimleri harita görüntüleyicisinden temin edilen jeolojik veriler kullanılmıştır.

Ayrıca Erzurum İl Afet Riski Azaltma Planı ile Merkez İlçelere (Aziziye, Yakutiye, Palandöken) ait Nazım İmar Planları üzerinden seçilen örnek alanların ve depremsellik haritalarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Böylece planlar ve mevcut deprem riski arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması sağlanmıştır.

2.1 Çalışma Alanı

Doğu Anadolu’da yer alan Erzurum ili, jeolojik açıdan Doğu Anadolu sıkışma sisteminin bir sonucu olan doğrultu atımlı fayların yoğun olduğu bir coğrafyada yer almaktadır. Erzurum kent merkezinin büyük bir bölümü alüvyon zemin üzerinde yerleşmiştir. Bu nedenle geçmiş depremlerde zeminden kaynaklanan olumsuzluklar yaşanmış ve gelecekte de yaşanması muhtemel gözükmemektedir (TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021). Ancak Erzurum ili için merkezi ve yerel yönetim birimlerince afet ve deprem riskine karşı hazırlanan herhangi bir “Deprem Master Planı” bulunmamaktadır. Deprem Master Planı bulunmayan Erzurum için 11. Kalkınma Planı kararları doğrultusunda İl Afet Riski Azaltma Planı 2021 yılında yürürlüğe girmiştir.

Erzurum Palandöken ilçe sınırları içerisinde ise farklı büyüklüklerde deprem üretebilecek Erzurum fay zonuna ait Dumlu ve Palandöken faylarının yer aldığı görülmektedir (Şekil 1). Söz konusu bu fay hatlarının üzerinde gelişen ve gelişmekte olan kent mekânlarının varlığı Palandöken ilçesinin diğer merkez ilçelere kıyasla daha fazla deprem riski ile karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda ilçenin deprem tehlikesi ve barındırdığı kentsel riskin belirlenmesi, bu yönde kent planlama stratejilerinin geliştirilmesi ve yerel boyuta indirgenebilecek bir risk modelinin oluşturulması büyük bir önem arz etmektedir.

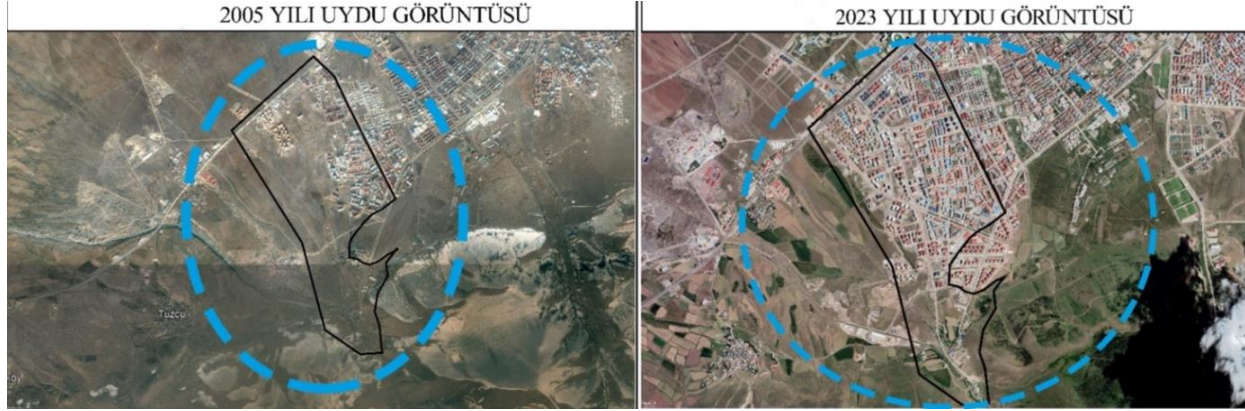


Şekil 1: Palandöken ilçesi fay hatları incelemesi

Palandöken ilçe sınırları içerisinde çalışma alanı olarak seçilen Osmangazi Mahallesi, 39°52'13.71" kuzey enlemleri 41°14'16.46" doğu boylamları arasında yer almakta olup, 371 hektarlık bir alanda gelişim göstermektedir. %0-10 arasında eğimli bir alana sahip mahallenin, 2023 yılı verilerine göre nüfusu 38.000 kişidir. Palandöken ilçesinin güney batı kesiminde yer alan Osmangazi Mahallesi ilk yapılaşmalar 1992 yılında başlamıştır. Mahallenin kuzey-güney doğrultusunda devam eden Alparslan Türkeş Bulvarı boyunca devam eden yapılaşma, 2002 yılında yapılan TOKİ ve 2004 yılında yapılan polis lojmanlarıyla kuzeye doğru kaymıştır. 2012 yılından itibaren Çat Yolu'nun güney doğu doğrultusunda ilerleyen yapılaşma günümüzde mahallenin batı ve güney kesimlerinde yoğunlaşmış olarak devam etmektedir (Şekil 2).

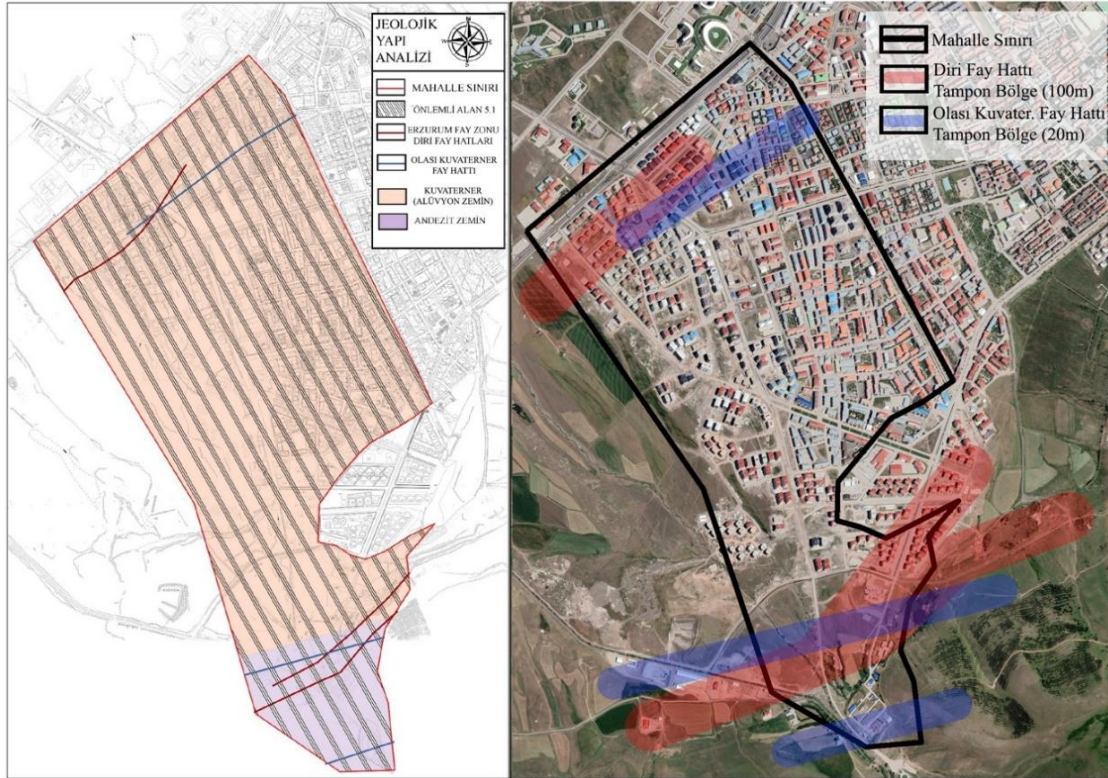
Ek olarak çalışma alanının mevcut uygulama imar planındaki durumu incelendiğinde, mahalleyi kuzeybatı yönünde kesen diri fay hattına doğru gelişme alanlarının verildiği görülmektedir. Mahallenin kuzeydoğu bölgesindeki gelişme konut alanları, blok yapı nizamında kat yükseklikleri 6 katlı ve ayrık yapı nizamında kat yükseklikleri 5 ve 6 katlı olacak şekilde belirlenmiştir. Kuzeybatı yönüne doğru gelişme konut alanı olarak belirlenen adalarda ise kat yüksekliklerinin 7 kat ile 10 kat arasında değiştiği görülmektedir.

Dolayısıyla diri fay ve olası kuvaterner fay hatlarına doğru gelişme adalarının imar planında yer alması ve belirlenen kat yüksekliklerinin 5 ile 12 kat arasında değişmesi, var olan deprem riskinin kentsel mekândaki etki derecesini artırmaktadır.



Şekil 2: Osmangazi Mahallesi mekânsal gelişim süreci

Çalışma alanının jeolojik yapısının deprem karşısındaki dayanıklılığı değerlendirildiğinde, alanın %88'inin alüvyon zemin türünde düşük bir dayanıklılığa sahip olduğu ve bu alanlarda yapılaşma sürecinin imar faaliyetleri ile devam ettiği görülmektedir (Şekil 3). Alanın yapılaşmaya uygun olup olmadığına dair elde edilen 1/1.000 ve 1/5.000 ölçekli İmar Planına Esas Mikro Bölgeleme Etüt Raporu incelendiğinde ise çalışma alanının yerleşime uygunluğu Önlemler Alan 5.1 olarak değerlendirilmiştir. Önlemler Alan 5.1, mühendislik problemleri açısından yapılaşmaların zeminin karakterine bağlı olarak şişme - oturma açısından sorunlu olan alanlarını ifade etmektedir (Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü, 2016). Çalışma sınırları içerisinde Erzurum Börekli Segmenti Erzurum fay zonuna ait 3 adet diri fay hattı bulunmaktadır. Doğrultu atımlı faylarda yüzey faylanması tehlike kuşağının etrafına çizilecek olan sakinlik bandı mesafesi iyi tanımlanmış ve GPS ölçümleriyle doğrulanmışsa toplam 40 metre, yüzey faylanması tehlike kuşağı tahmini haritalanmışsa, toplam 100 metre olarak çizilmesi gerekmektedir (TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 2017). Alanın kuzey doğusundan geçen diri fay hattı tampon bölgesi içerisinde yer alan bina sayısı 47'dir. Bu binalar 2008 yılında yapılan polis lojmanları, 2002 yılında yapılan TOKİ'ler, 2019 ve 2020 yıllarında yapılan yeni konut ve ticaret-konut fonksiyonunda yer alan binalardır.



Şekil 3: Jeolojik yapı ve tampon analizi

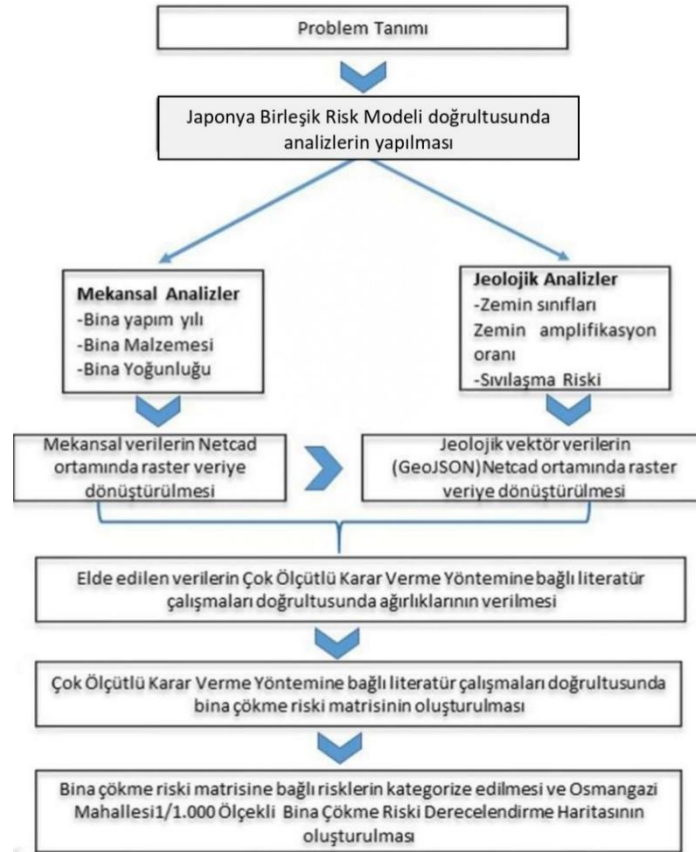
2.2 Yöntem

Bu çalışmanın yöntemini kentsel deprem risklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan “çok ölçütlü karar verme yöntemi” ve literatür çalışmaları oluşturmaktadır. Literatür çalışmaları Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulmasında kullanılan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde, mekansal verilerin analizinde ve bulguların değerlendirilerek önerilerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Özellikle deprem riskinin belirlenmesine yönelik geliştirilen model önerileri doğrultusunda hazırlanan bu çalışmalarda, bina çökme riskinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin ağırlık değerleri çalışmanın çok ölçütlü risk matrisinin oluşturulmasında yol gösterici olmuştur. Bu doğrultuda Osmangazi Mahallesinin Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulması için de literatür çalışmaları doğrultusunda belirlenen kriterler ve ağırlıklandırmalardan faydalanılmıştır.

2.2.1 Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi

Çok ölçütlü karar verme yöntemi alternatiflerin ve kriterlerin çok fazla olması durumunda birçok seçeneğin seçilmesi, değerler verilmesi, sıraya dizilmesi, sınıflara bölünmesi ve ağırlık belirlenmesi aşamalarına bağlı olarak geliştirilen bir işlemdir (Haliloğlu & Odabaş, 2018). Çok kriterli karar verme, birden fazla olan kriterlerin aynı anda uygulanması esnasında kriterler içerisinde en doğrusunun seçilmesine olanak tanıyan bir araç mekanizmasıdır. Bu yöntemin depremi esas alan çalışmalarda özellikle planlama sürecinde daha doğru kararların alınabilmesi için merkezi ve yerel yönetim birimleri tarafından kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır (Faraji, 2015). Özellikle deprem riskinin belirlenmesinde çok ölçütlü (kriterli) karar verme yöntemine bağlı analizlerin uygulama aşamasında yapılması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile deprem riskinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar, risk odaklı planlama anlayışına altlık oluşturmaktadır.

Bu doğrultuda, konu özelinde literatür çalışmalarına referansla ve çok kriterli karar verme yöntemiyle veriler CBS’ye aktarılmış, çalışma alanının deprem afeti karşısında bina çökme riskinin değerlendirilmesi yapılmıştır.



Şekil 4: Çalışmanın metodolojik çerçevesi

2.2.2 Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritası

Japonya Birleşik Risk Modeli kentsel planlama ve tasarım etkileşiminde kentsel deprem riskinin belirlenmesini sağlayacak önemli bir modeldir. Model içerisindeki her bir aşamada oluşturulan risk haritaları deprem riskine karşı jeolojik verilere dayalı kentsel planlama ve tasarım ölçeğinde standartların geliştirilmesine öncülük etmektedir.

Japonya Birleşik Risk Modeli doğrultusunda risk haritalarının oluşturulmasında kullanılan tüm kriterler makro ölçekli jeolojik verilere dayalı (zemin amplifikasyon oranı, zemin sınıfları zemin büyütme oranı, sıvılaşma riski), mezo ölçekli (ulaşım ağlarının yoğunluğu, park ve açık yeşil alanlar) ve mikro ölçekli (bina yoğunluğu, bina yapım yılı, bina yapı malzemesi, binalarda kullanılan açık alevli cihaz sayısı, yol genişlikleri parklar ve açık yeşil alanlar vb.) verileri içeren, özellikle deprem afetine karşı planlama ve tasarım boyutunda kentsel deprem riskine yönelik etkin bir planlama ve tasarım anlayışının oluşmasını sağlayan parametrelerdir (Gök, 2023).

Birleşik risk modeli; toplumların bir depremden dolayı karşı karşıya kaldığı risk düzeyini anlamalarını kolaylaştırmak için, bina çökme riskini ve deprem sarsıntısından kaynaklanan yangın riskini ve acil müdahale zorluğundaki faktörleri, bunun ne kadar kolay veya zor olduğunu gösteren bir endeksi içermektedir (Tokyo Metropolitan Government, 2022). Ancak bu çalışma için sadece “bina çökme riski derecelendirme haritası” kullanılmıştır.

Bina çökme riski; bir deprem nedeniyle her semt (mahalle) için birim alan başına tamamen yıkılacak bina sayısını, yani “yıkılma riski olan binalar (bina sayısı/ha)” olarak elde edilir ve bunun göreceli bir sıralaması ile değerlendirilir. Bina çökme riski göreceli bir sıralama ile değerlendirilirken zemin yapı etkileşimini ortaya koyan beş adet parametre göz önünde bulundurulur. Bu parametreler; amplifikasyon oranı, sıvılaşma riski, bina yoğunluğu, binanın yapım yılı ve bina yapısıdır (Tokyo Metropolitan Government, 2022).

Ancak çalışma alanı içerisinde zemin özelliklerine bağlı zemin amplifikasyon oranına dair veriye erişilemediğinden kullanılacak kriterler içerisinde ele alınamamıştır. Çalışma alanının zemin yapısının sıvılaşma riski ise Palandöken İlçesi için yapılan 1/1.000 ve 1/5.000 ölçekli Mikro Bölgeleme Etüt Raporuna göre incelenmiştir. Alanda yapılan sondaj çalışmaları sonucunda yeraltı suyuna rastlanmadığından alanın tamamında sıvılaşma riskinin olmadığı belirtilmiştir (Palandöken Belediyesi, 2016). Dolayısıyla zemin yapısına bağlı olan zemin amplifikasyon oranı ve sıvılaşma riski kullanılacak kriterlere dahil edilememiştir. Sadece zeminin sahip olduğu zemin sınıfları depreme karşı gösterdikleri dayanıklılıklara göre kriterler içerisinde yer edinmiştir. Bu doğrultuda Japonya Birleşik Risk Modeli çerçevesinde Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulmasında Zemin Özellikleri, Yapısal Özellikler ve Bina Yoğunluğu üç ana kriter olarak belirlenmiştir.

2.2.3 Bina Çökme Riski Derecelendirme Matrisi

Risk matrisinde belirlenen ana ve alt kriterlerin bileşenleri %100 üzerinden oranlama yapılarak ve bina çökme riskini etkileyen kriterlere, olası şiddetli bir depremden düşük veya yüksek risk oluşturmalarına bağlı olarak literatür çalışmaları doğrultusunda dağıtılmıştır. Literatür çalışmalarında 2010-2023 yılları arasında yapılan çalışmalar dikkate alınmış ve bu çalışmalarda verilen ağırlık değerlerinin ortalaması göz önünde bulundurulmuştur. Faraji (2015) ile Alam ve Haque (2022), kentsel deprem riskini çok ölçütlü karar verme yöntemi kullanarak belirledikleri çalışmalarında, zemin özelliklerine dair ana kriteri %45’lik ağırlık katsayısı ile belirlemişlerdir. Ayrıca Yavaşoğlu ve Özden (2017)’in İstanbul Kadıköy ilçesinin deprem hasar riskine yönelik yaptığı çalışma ile Çoban ve Kandemir (2023)’in deprem riskini etkileyen faktörlerin derecelendirilmesine dair çalışmasında yapısal özellikler ana kriterinin %45’lik ağırlık katsayısıyla belirlendiği görülmüştür. Alam ve Haque (2022)’nin Bangladeş’te deprem güvenlik açığının çok boyutlu incelenmesine yönelik yaptıkları çalışmada ve Banica vd. (2017)’nin Romanya’nın sismik kırılma riskini belirlemek adına yaptıkları çalışmada ise bina yoğunluğu ana kriterinin %10’luk bir ağırlık katsayısıyla belirlendiği görülmüştür.

Hali hazır adalar üzerinde yer alan bina sayılarının belirlenen kriterlere verilen ağırlık katsayıları çarpılarak hesaplanmasıyla bina çökme riski derecelendirme haritası oluşturulmuştur. Japonya Birleşik Risk Modeline bağlı Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulmasında belirlenen (bina sayısı/hektar) birimine benzer şekilde, Osmangazi Mahallesi Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulmasında kullanılan risk derecelendirme matrisinde hâlihazır imar adaları üzerinde yer alan bina sayıları, zemin özellikleri ve yapısal özellikler ana ve alt kriterleri “çok ölçütlü karar verme yöntemi”nin risk matrisinde “bağımsız değişken” olarak belirlenmiştir. Belirlenen her bir “bağımsız değişken” imar adalarının bina çökme risk düzeylerinin “bağımlı değişken” olarak belirlenmesini sağlamıştır. Örneğin, 1997 yılı öncesinde “alüvyon” zemin üzerinde “betonarme” malzemeyle inşa edilen ve bina yoğunluğunun “çok yoğun” olduğu bir imar adasının risk derecelendirme formülü aşağıda gösterilmiştir (Gök, 2023).

Tablo 1: Örnek imar adası risk derecelendirme formülü

Ana ve alt kriterler (Bağımsız değişkenler)	Zemin özellikleri ana kriteri ağırlık katsayısı (%A)		Bina yoğunluğu ana kriteri ağırlık katsayısı (%B)	Yapısal özellikler ana kriteri ağırlık katsayısı (% C)		Toplam Risk Değeri
	"Alüvyon" zeminin ağırlık katsayısı (% d)	Andezit ağırlık katsayısı (% e)	"Çok yoğun" kategorideki imar adasının ağırlık katsayısı (% f)	"Yapı malzemesi" ağırlık katsayısı (% k)	"Yapım yılı" ağırlık katsayısı (% l)	
				Betonarme yapılar ağırlık katsayısı (% m)	"1997" öncesi binaların ağırlık kat sayısı (% n)	Risk değeri (S) (Bağımlı değişkeni)
Ada-1: Bina sayısı: (T) (Bağımsız değişkeni)	$T \times (\%d) \times (\%A) : X$		$T \times (\%f) \times (\%B) : Y$	$T \times (\%m) \times (\%k) \times (\%C) : Z$	$T \times (\%n) \times (\%l) \times (\%C) : U$	$X+Y+Z+U=(S)$ Bağımlı risk değeri
	1. DEĞER: X		2. DEĞER: Y	3. DEĞER: Z	4. DEĞER: U	

Risk derecelendirme matrisinde ortaya çıkan risk değerlerinin (0-21) puan arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Japonya Birleşik Risk Modeli Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritası doğrultusunda ortaya çıkan risk değerleri 1. Dereceden “Çok Düşük” ile 5. Dereceden “Çok Yüksek” arasında kategorize edilmiştir. “Çok Düşük Risk” kategorisindeki imar adalarının risk puanı (0.559-0.627) arasında, “Düşük Risk” kategorisindeki imar adalarının risk puanı (1-2) arasında, “Orta Risk” kategorisindeki imar adaları ise (3-5) puan aralığında değerlendirilmiştir. “Yüksek Risk” kategorisindeki imar adaları (6-9) puan aralığında, “Çok Yüksek Risk” kategorisindeki adaları ise (11-21) puan aralığında değerlendirilmiştir. Bina çökme riskinin tüm ana ve alt kriterlerine bağlı bileşenleri aşağıda yer alan Tablo 2’de gösterilmektedir (Gök, 2023).

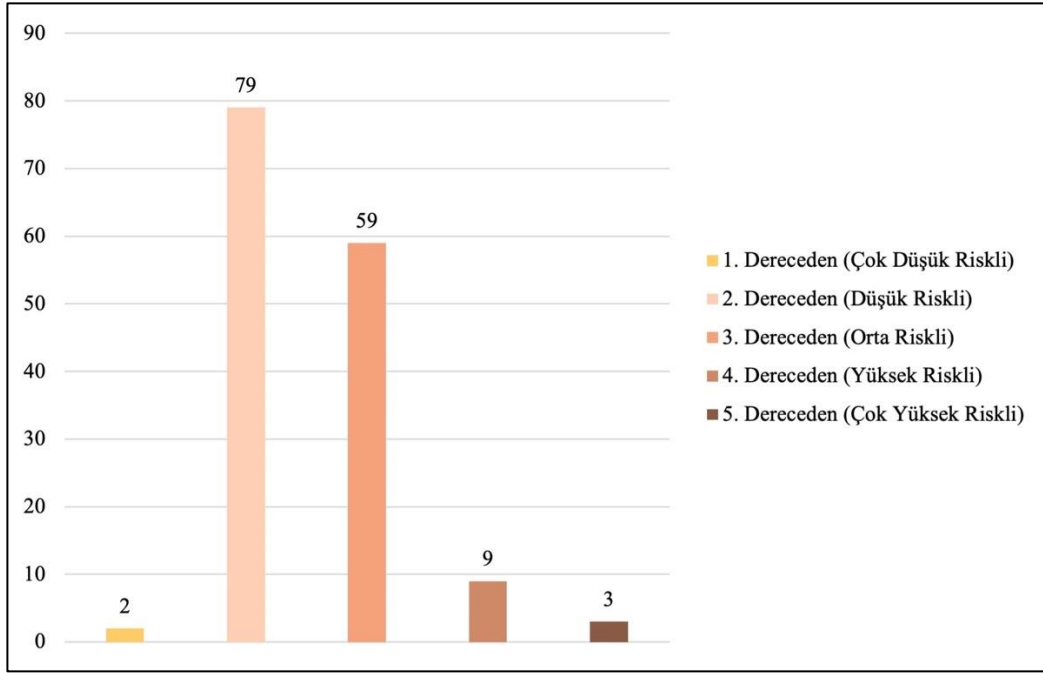
Tablo 2: Bina çökme risk matrisi kriterlerinin dağılımı

Ana kriterler ve etki oranları	1.dereceden alt kriterler ve etki oranları	Ana kriterlerin seçilme nedenleri	1.dereceden alt kriterlerin seçilme nedenleri	
Zemin sınıfları %45	Alüvyon zemin (%80)	Deprem şiddetini farklı zemin sınıflarında yeryüzüne farklı olarak aktarılmaktadır. Zemin deprem riskini etkileyen en önemli faktördür. Zemin yapısına bağlı olarak zeminin taşıma gücü ve dayanıklılığı farklılık gösterdiğinden ele alınmıştır.	Alüvyon zeminler depreme karşı dayanıklı olmadığından deprem riskini artıran faktörler arasına girmektedir.	
	Andezit Zemin (%20)		Andezit zeminler depreme karşı dayanıklı olduğundan deprem riskini düşüren faktörler arasına girmektedir.	
	Toplam %100			
Ada bazlı bina yoğunluğu %10	Çok yoğun (%40)	Deprem riski yüksek olan kentlerde bina sayısı doğru orantılı olarak kentsel deprem riski de artmaktadır. Bina yoğunluğu yüksek olan alanlarda olası bir depremde hasar görülebilirlik ve çökme riski artacağından deprem sonrasında acil müdahale zorlukları ortaya çıkacağından bina yoğunluğu faktörü ele alınmıştır.	Herhangi bir imar adası üzerinde yer alan bina sayısı ile olası bir deprem sonrası hasar görülebilirlik oranları artış gösterecektir. Bu bağlamda bina taban alanlarının toplamının/toplam imar adasına oranı bina yoğunluğunun ada bazlı göreceli olarak sınıflandırılmasına katkı sağlamıştır.	
	Orta Yoğun (%30)			
	Yoğun (%15)			
	Seyrek (%10)			
	Çok Seyrek (%5)			
Toplam %100				
Yapısal özellikler %45	Bina yapı malzemesi (%40)	Yapı malzemelerinin deprem karşısındaki dayanıklılıkları farklılık gösterdiğinden bu kriter ele alınmıştır.	2.dereceden alt kriterler ve etki oranları	2.dereceden yapısal alt kriterlerin seçilme nedeni
			Betonarme yapı (%100)	Betonarme binalar çelik ve ahşap yapılara göre daha ağır bir kütleyle sahip olduğundan deprem risk faktörünü artıran kriterler arasında yer almaktadır.
			1997 Öncesi(%50)	Yapılar en eski yönetmelikle yapıldığından deprem riskini artıracak faktörler arasında yer almakta ve risk kriterine dahil edilmektedir.
			1997-2007 (%30)	Bu yapılar ikincil dereceden risk grubunda yer aldığından risk kriterine dahil edilmiştir.
	Toplam %100	Toplam %100		2007-2019 (%15)
2019 ve sonrası (%5)				Yeni deprem yönetmeliği olduğundan risk faktörünü düşürecek kriter olarak seçilmiştir.

3. Bulgular

Risk derecelendirme matrisi ve bu matris doğrultusunda oluşturulan Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritası bu bölümde sunulmuştur. Halihazır harita üzerinde imar adalarına entegre edilen bina çökme riskleri Japonya Birleşik Risk Model'inin risk derecelendirme sınıflandırılmasına göre "1-Çok Düşük" ile "5-Çok Yüksek" aralığında değerlendirilerek oluşturulmuştur (Tablo 3).

İmar adalarının risk dağılımı incelendiğinde; toplam ada sayının %1.39'unun "Çok Düşük Riskli", %48.59'unun "Düşük Riskli", %41.25'inin "Orta Riskli", %6.29'unun "Yüksek Riskli" ve %2.09'unun "Çok Yüksek" riskli olduğu tespit edilmiştir. Halihazır harita üzerinde yer alan adalarda risk dereceleri belirlenirken bina sayısı ile doğru orantılı bir risk artışının ortaya çıktığı görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5: Risk derecelendirme grafiği

Tablo 3: Bina çökme riski değerlendirme matrisi bir bölümü

KRİTERLER/ADA NO	ZEMİN ÖZELLİKLERİ(%45)		BİNA YOĞUNLUĞU (%10)				YAPI ÖZELLİKLERİ (%45)					TOPLAM		
	ALÜVYON (%80)	ANDEZİT(%20)	ÇOK SEYREK(%5)	SEYREK(%10)	YOĞUN (%15)	ORTA YOĞUN(%30)	ÇOK YOĞUN (%40)	YAPI MALZEMESİ(%40)		YAPIM YILI(%60)				
								BETONARME (%100)	1997 ÖNCESİ(%90)	1997-2007 ARASI(%30)	2007-2019 ARASI(%15)		2019 SONRASI(%5)	
ADA-1	2.16				0.09			1.08		0.486				3.816
ADA-2	2.16				0.09			1.08				0.243		3.573
ADA-3	2.52				0.11			1.26		0.567				4.452
ADA-4	2.16					0.18		1.08		0.486				3.906
ADA-5	2.16				0.09			1.08		0.486				3.816
ADA-6	0.72					0.06		0.36		0.162				1.302
ADA-7	1.80		0.05					0.90		0.405				3.155
ADA-8	1.08		0.03					0.54	0.405					2.055
ADA-9	2.52		0.07					1.26					0.0945	3.945
ADA-10	2.52					0.21		1.26		0.567				4.557
ADA-11	1.80				0.08			0.08				0.203		2.158
ADA-12	2.16					0.18		1.08					0.081	3.501
ADA-13	1.44					0.12		0.72				0.162		2.442
ADA-14	2.52		0.07					1.26				0.284		4.134
ADA-15	4.32					0.36		2.16				0.486		7.326
ADA-16	3.60		0.10					1.80					0.135	5.635
ADA-17	4.68				0.26			3.06					0.230	8.225
ADA-18	1.800				0.075			0.900	0.675					3.450
ADA-19	1.44					0.12		0.72		0.324				2.604
ADA-20	2.88			0.08				1.44				0.324		4.724
ADA-21	2.16				0.09			1.08	0.810					4.14
ADA-22	1.80				0.08			0.90	0.675					3.45
ADA-23	2.16				0.09			1.08	0.810					4.140
ADA-24	1.80					0.15		0.90	0.675					3.53
ADA-25	1.80				0.08			0.90		0.405				3.18
ADA-26	2.16					0.18		1.08		0.486				3.906
ADA-27	2.88				0.12			1.44	1.080					5.520
ADA-28	2.52					0.21		1.26		0.567				4.557
ADA-29	12.24				0.51			6.12		2.754				21.624
ADA-30	3.96		0.11					1.98				0.446		6.496
ADA-31	6.12						0.68	3.06		1.377				11.237

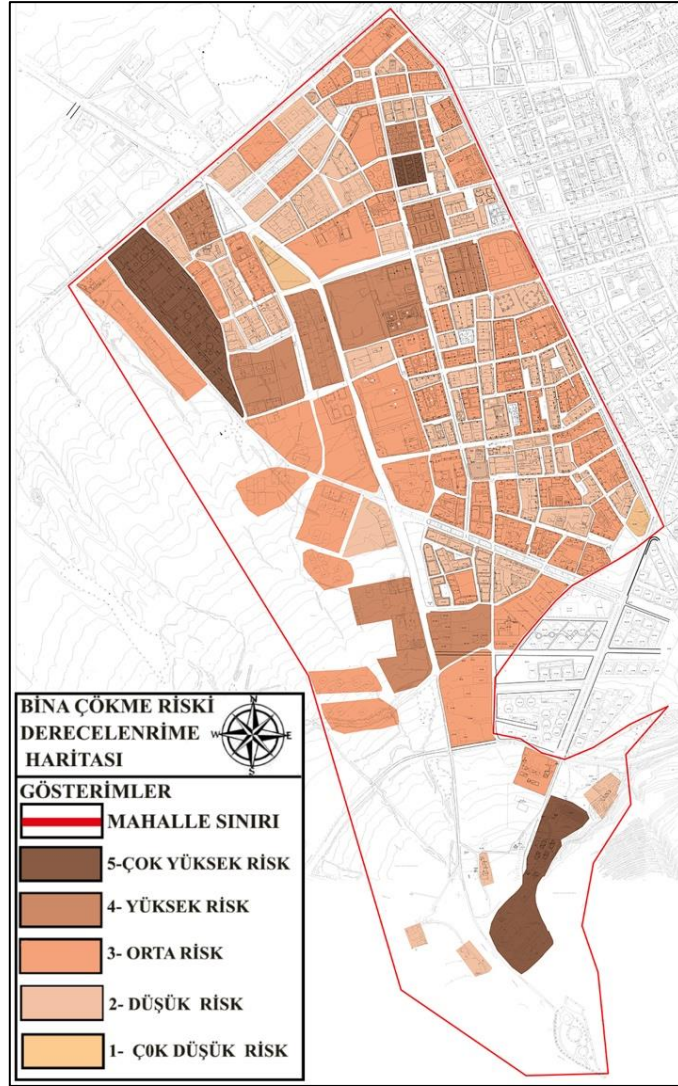
Tablo 3'devamı

ADA-32	0.72	0.01				0.36			0.081	1.171
ADA-33	2.16			0.09		1.08		0.486		3.816
ADA-34	1.8				0.15				0.203	3.053
ADA-35	1.08	0.02				0.540		0.243		1.878
ADA-36	1.08			0.05		0.540			0.122	1.787
ADA-37	2.16			0.09		1.08	0.810			4.140
ADA-38	3.24			0.14		1.62		0.729		5.72
ADA-39	1.80			0.08		0.90	0.675			3.450
ADA-40	1.08			0.05		0.540		0.243		1.908
ADA-41	1.44				0.12	0.720		0.324		2.604
ADA-42	2.88			0.12		1.440		0.648		5.088
ADA-43	1.44			0.06		0.720	0.540			2.760
ADA-44	1.44				0.12	0.720	0.540			2.820
ADA-45	1.08	0.03				0.540		0.243		1.893
ADA-46	3.24			0.27		1.620		0.729		5.859
ADA-47	2.16			0.09		1.08		0.486		3.816
ADA-48	2.88				0.32	1.440		0.648		5.288
ADA-49	3.96				0.33	1.980			0.446	6.716
ADA-50	1.8				0.20	0.900	0.675			3.575
ADA-51	1.08			0.05		0.540			0.122	1.787
ADA-52	1.8			0.08		0.900		0.405		3.180
ADA-53	2.16			0.09		1.08		0.486		3.816
ADA-54	2.16			0.09		1.08			0.243	3.573
ADA-55	1.44					0.16	0.720	0.324		2.644
ADA-56	1.44					0.16	0.720	0.324		2.644
ADA-57	2.16				0.18	1.08		0.486		3.906
ADA-58	1.44				0.12	0.720		0.324		2.604
ADA-59	1.44					0.20	0.900	0.405		3.305
ADA-60	1.44					0.16	0.592	0.324		2.516
ADA-61	1.08	0.015				0.540			0.122	1.757
ADA-62	1.08				0.15	0.540			0.122	1.892
ADA-63	1.8			0.08		0.900		0.405		3.180
ADA-64	1.8			0.08		0.900		2.43		5.205
ADA-65	1.44					0.16	0.592	0.324		2.516
ADA-66	2.52	0.07				1.26		0.567		4.417
ADA-67	2.52	0.07				1.26		0.567		4.417
ADA-68	2.16					1.08	0.24			3.561
ADA-69	3.6			0.15		1.80			0.081	5.69
ADA-70	3.24	0.09				1.620			0.135	5.072
ADA-71	3.60					1.800	0.4		0.135	5.935
ADA-72	1.44	0.04				0.720			0.054	2.254
ADA-73	2.16	0.06				1.08			0.054	3.354
ADA-74	3.24			0.135		1.620			0.365	5.360
ADA-75	2.16	0.06				1.08			0.243	3.543
ADA-76	5.04			0.21		2.520			0.189	7.959
ADA-77	1.8				0.15	0.900			0.068	2.918
ADA-78	1.08				0.27	0.540			0.041	1.931
ADA-79	1.44			0.06		0.360		0.324		2.184
ADA-80	1.08				0.09	0.540			0.122	1.832
ADA-81	1.08					0.12	0.540	0.243		1.983
ADA-82	1.8				0.20	0.900			0.068	2.968
ADA-83	1.8				0.15	0.900			0.068	2.918
ADA-84	3.6			0.30		1.80		0.81		6.51
ADA-85	1.44			0.06		0.72		0.324		2.544
ADA-86	1.08				0.09	0.54		0.243		1.953
ADA-87	0.72			0.03		0.360		0.162		1.272
ADA-88	0.72			0.06		0.360		0.162		1.302
ADA-89	1.08			0.05		0.540		0.243		1.908
ADA-90	1.8			0.15		0.900			0.203	3.053
ADA-91	0.72	0.02				0.360		0.162		1.262
ADA-92	1.08				0.09	0.540		0.243		1.953
ADA-93	0.72			0.03		0.360	0.270			1.380
ADA-94	0.72			0.06		0.360	0.270			1.410
ADA-95	1.44					0.720		0.324		2.644
ADA-96	1.08			0.05		0.540	0.405			2.070
ADA-97	1.8			0.08		0.900	0.675			3.450
ADA-98	1.08			0.05		0.54		0.243		1.91
ADA-99	1.8			0.08		0.900		0.405		3.180
ADA-100	0.72			0.03		0.2664		0.162		1.178
ADA-101	1.08				0.09	0.540			0.122	1.832
ADA-102	1.44				0.12	0.720			0.122	2.442
ADA-103	1.08				0.12	0.540			0.122	1.322
ADA-104	1.44				0.12	0.720		0.324		2.604
ADA-105	0.72			0.05		0.360	0.270			1.400
ADA-106	1.08				0.12	0.540		0.243		1.983
ADA-107	0.72			0.08		0.360		0.162		1.322
ADA-108	1.08	0.03				0.540	0.405			2.055
ADA-109	0.72			0.06		0.360		0.162		1.302
ADA-110	1.08			0.05		0.540	0.405			2.070
ADA-111	1.44					0.720		0.324		2.644
ADA-112	0.72			0.06		0.360		0.162		1.302
ADA-113	0.72			0.03		0.360	0.270			1.380
ADA-114	0.72					0.08	0.360		0.081	1.241
ADA-115	0.72	0.02				0.360			0.081	1.181
ADA-116	0.72			0.06		0.360		0.162		1.302
ADA-117	0.72				0.08	0.360		0.162		1.322
ADA-118	2.88	0.04			0.15	1.44	0.675	0.648		5.008
ADA-119	1.8					0.90				3.53
ADA-120	0.72				0.08	0.360			0.081	1.241
ADA-121	0.72			0.03		0.360		0.162		1.272
ADA-122	0.72	0.02				0.360	0.270			1.370
ADA-123	3.96	0.11				1.980			0.149	6.199
ADA-124	2.88	0.08				1.440			0.108	4.508
ADA-125	1.44			0.06		0.720		0.324		2.544
ADA-126	0.36	0.01				0.180			0.014	0.559
ADA-127	1.08			0.05		0.400		0.243		1.768
ADA-128	2.16			0.09		1.080		0.486		3.816
ADA-129	1.44			0.04		0.720		0.324		2.524
ADA-130	1.08	0.02				0.540		0.243		1.878
ADA-131	2.16			0.09		1.080		0.486		3.816
ADA-132	2.88			0.08		1.440			0.324	4.724
ADA-133	6.12			0.26		3.060			0.230	9.665
ADA-134	2.88			0.12		1.440			0.108	4.548
ADA-135		0.18			0.06	0.36			0.027	0.627
ADA-136	8.28			0.23		4.14	1.863			14.51
ADA-137	3.60			0.15		1.80		0.810		6.360
ADA-138	2.88				0.24	1.440			0.324	4.884
ADA-139		0.36		0.06		0.720		0.324		1.464
ADA-140		0.72		0.08		1.44		0.648		2.888
ADA-141	1.08			0.03		0.540		0.243		1.893
ADA-142	0.72	0.01				0.360			0.081	1.171
ADA-143	1.44			0.06		0.720			0.054	2.274

Yapılan matris sonucunda bina çökme riski değerlendirilen imar adaları içerisinde (Şekil 6);

- 1. derece “Çok Düşük” riske sahip olan ada sayısı 2 adettir. Çok düşük risk kategorisi olarak belirlenen bu imar adalarının bina yoğunluğu “Çok Seyrek Yoğunluklu” olarak belirlenmiştir. Binalar 2018 Bina Deprem Yönetmeliğine göre yapılmıştır. Ayrıca çalışma alanı için yapılan analizler neticesinde bu yapıların kalitesi “iyi” olarak belirlenmiştir. Binalar herhangi bir diri veya olası fay hattında yer almamaktadır. Alüvyon zemin olmasına rağmen, Japonya Birleşik Risk Modelinde yer alan risk matrisine göre bina yapım yılı ve bina yoğunluğu kriterleri ile düşük katsayılarının, imar adalarının çok düşük risk kategorisinde değerlendirilmesinde etkili olmuştur.
- 2. derece “Düşük” riske sahip olan ada sayısı 70, 3. derece “Orta” riske sahip ada sayısı 59 adet olarak tespit edilmiştir. 2. derece ve 3. derece riske sahip adalar çalışma alanı içerisinde genel bir yayılım göstermiştir. Yapılan jeolojik ve tampon bölge analizlerinde ilgili 2. derece ve 3. derece riskli adaların üzerinden yer yer diri ve olası kuvaterner fay hatlarının geçtiği görülmüştür. Bu adalardan diri ve olası kuvaterner fay hatları geçmesine rağmen düşük ve orta riskli olarak derecelendirilmesinin sebebi, Japonya Birleşik Risk Modeli doğrultusunda binaların yapım yılı (yapıldıkları döneme ait yönetmelikler), bina yoğunlukları (binaların imar adası içinde kapladıkları alana yönelik oran), bina sayıları ve zemin niteliğiyle belirlenen kriterlerle orantılı biçimde risk artışı veya azalışı göstermesinden kaynaklanmaktadır. Fay hatlarının varlığıyla oluşabilecek riskler göz ardı edilememiştir. Ancak bağlı kalınan Japonya Birleşik Risk Modelinin kriterleri risk derecelendirmelerinin temelini oluşturmaktadır.
- 4. derece “Yüksek” riske sahip olan adalar 9 adet tespit edilmiştir. Çalışma alanın kuzeydoğu ve kuzeybatı kesimlerinde yoğunlaşan ve güney kesimlerinde azalan 4. derece yüksek riskli bu alanlar mevcut konut, konut-ticaret fonksiyonuna sahiptir. Uygulama imar planı kapsamında değerlendirildiğinde ise genellikle gelişme konut alanı olarak planlandığı ve 10-12 kat arasında değişen yapılaşma kararlarının verildiği tespit edilmiştir.
- 5. derece “Çok Yüksek” riske sahip alanlar 3 yerde yoğunlaşmıştır. Erzurum içme suyu arıtma tesisinin bulunduğu alan, çalışma alanın kuzeybatısında yer alan polis lojmanlarının bulunduğu ada ve çalışma alanın kuzeydoğusunda yer alan konut adasının çok yüksek riske sahip olduğu tespit edilmiştir. Polis lojmanlarının bulunduğu alan ve Erzurum içme suyu arıtma tesisinin bulunduğu adalar üzerinden diri fay hattı geçmektedir. Ayrıca bahsi geçen alanlarda çok yüksek riskin ortaya çıkmasında zemin yapısı, ada içerisinde yer alan bina sayıları, bina yapım yılları ve bina yoğunlukları etkili olan faktörlerdir. Çalışma alanına yönelik yapılan teknik gezi ve analizler sonucunda bu alanlarda yer alan binaların yapı kaliteleri “orta ve kötü” olarak değerlendirmiştir.

Erzurum il geneli ve Doğu Anadolu Bölgesi içerisindeki depremselliği değerlendirildiğinde; Kuzey Anadolu, Kuzeydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Fay hatlarının yer aldığı makaslama bölgesi olarak tanımlanan yüksek deprem riskine sahip bir bölgede yer aldığı görülmektedir. Erzurum’da Cumhuriyet’in ilk yıllarında (1924) yıkıcı depremler yaşanmıştır. Daha sonra Erzurum ve çevresinde 20 Ağustos 1946, 17 Ağustos 1949, 3 Ocak 1952, 7 Mart 1966, 30 Ekim 1983 tarihlerinde yine büyük depremler yaşanmış can ve mal kaybı meydana gelmiştir (Yapıcı, 2015). İlin Muş, Bingöl gibi çevre illerde meydana gelebilecek büyük çaplı depremlerden etkilenebilme olasılığı da yüksektir. Nitekim 19 Ağustos 1966 yılında meydana gelen 6.9 büyüklüğündeki Muş Varto depreminde Erzurum’un güney kesimlerinde yer alan Tekman, Hınıs ve Çat ilçeleri büyük zarar görmüştür (Zengin, 2020). Ülkemizde son yıllarda yaşanan depremler ve 10 ili etki alanında bırakan 6 Şubat Kahramanmaraş depreminin meydana getirdiği büyük hasar göz önüne alındığında tüm risk seviyelerinin bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesi, her risk seviyesine özgü planlama ve tasarım ölçütlerinin yasal ve yönetsel olarak oluşturulması gerektiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6: Bina çökme riski derecelendirme haritası

4. Tartışma ve Öneriler

Japonya Birleşik Risk Modeli kapsamında üretilen bina çökme, yangın yayılma ve acil müdahale zorluğuna bağlı risk haritaları ülkemizde kullanılmamaktadır. Çünkü jeolojik açıdan Japonya'nın benimsediği zemin amplifikasyon oranı ve zemin sınıflarına dair haritalar, ülkemizin planlamaya altlık oluşturan mikro bölgeleme etüt raporlarında ve jeolojik-jeoteknik etüt raporlarında yer almamaktadır. Diğer bir sebep ise merkezi düzeyden yerel yönetim birimleri düzeyine kadar yapı stokuna bağlı envanterlerdeki veri tabanı eksikliği nedeniyle, özellikle yapısal düzeyde bina yapım yıllarına erişilememesidir. Ülkemizde jeolojik ve yapısal ölçekte veri envanterlerinin eksikliği dışında, imar planlarının oluşturulmasında başrol oynayan belediyelerde deprem afetine karşı birimlerinin oluşturulmaması, risk odaklı planlama anlayışının da benimsenemediğinin göstergesidir. Özellikle kentsel planlama ve tasarım ölçeğinde kanun, tüzük ve yönetmelik gibi hukuki yaptırımlara bağlı kılavuzların eksikliği bu tür modellerin üretilmesini engellemektedir.

Bu çalışma doğrultusunda yapılan ve risk matrisi ile oluşturulan Bina Çökme Derecelendirme Haritasında risksiz alanların olmadığı ve tüm risk kategorilerinin çalışma alanında olduğu görülmüştür. Ancak belirtilmelidir ki Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasında oluşturulan risk kategorileri alandaki mevcut yapı stoku ve zemin ilişkisi neticesinde oluşturulmuştur. Dolayısıyla bir adadan fay hattı geçiyor ancak bina bulunmuyorsa bina çökme riskinden bahsedemeyeceğimiz için düşük risk kategorisinde tutulmuştur. Diğer taraftan bu alan zemin yapısına bağlı olarak risk barındırmakta ve bu alanda yapılacak yeni yapıların niteliğine bağlı olarak Bina Çökme Derecelendirme Haritası değişiklik gösterecektir. Ek olarak Japonya Birleşik Risk Modeline bağlı kalınarak oluşturulan risk matrisi doğrultusunda ilgili alanların düşük veya orta dereceden riske sahip olması, Japonya Birleşik Risk Modelinde fay hatlarına yakınlık veya uzaklık gibi kriterin yer almamasından kaynaklanmaktadır. Ancak alanların zemin sınıfları kriteri dışında, üzerlerinde yer alan fay hatları dikkate alındığında müdahale edilmesi gereken önemli alanlar içerisinde olduğunu söylemek mümkündür.

Bu bilgiler ışığında öncelikle diri ve olası fay hatları üzerinden geçen ve tampon bölge içerisinde yer alan binaların kentsel dönüşüm aracılığıyla yıkılması gerekmektedir. Ayrıca fay hattı üzerinde yer alan yol ağlarının, kentsel dönüşüm faaliyetleriyle yeniden düzenlenmesi olası şiddetli bir deprem sonrasında meydana gelebilecek acil müdahale zorluğunu ortadan kaldıracak olan diğer önemli stratejiler içerisinde bulundurulmalıdır. Yıkım sürecinden sonra fay hatlarının dahil olduğu tampon bölgelerin içerisinde yapılaşma faaliyetlerinden kesinlikle kaçınılması, ilgili alanların açık yeşil alan ve ağaçlandırılacak alan olarak kullanılması, büyük şiddetli bir deprem sonrasında geçici barınma alanı olarak değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır. Risk kategorilerine göre bir değerlendirme yaptığımızda ise;

5. Dereceden “çok yüksek riskli” olarak belirlenen imar adalarının; deprem riskinin azaltılmasında kentsel dönüşüm aracı kullanılmalıdır. 5. Dereceden “çok yüksek riskli” imar adalarının yeniden inşa sürecinde bina formları kare, dikdörtgen veya simetrik olarak tasarlanmalıdır. Binaların yapımında hafif çelik veya ahşap malzeme kullanılmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca bina girişlerinin dışa dönük veya çift taraflı olarak belirlenmesi gereklidir. Binaların toplam oturma alanlarının imar adasına oranı gözetilerek bina yoğunluğunun “çok seyrek” olarak tasarlanması olası şiddetli bir deprem sonrasında acil müdahaleyi kolaylaştıracaktır. Ayrıca kentsel dönüşüm faaliyetleriyle açık yeşil alan miktarının artırılması ve ana ulaşım ağlarıyla bağlantılarının sağlanması gerekmektedir. Yeniden inşa edilecek yapıların kat sayısı parsel bazlı yapılacak jeolojik etütler doğrultusunda zeminin taşıyabileceği yük kapasitesine göre belirlenmelidir. Yeniden yapılacak yapıların yapı nizamı ayırık nizam olacak şekilde belirlenmesi, deprem anında binaların çekiçleme etkisiyle birbirine zarar verme olasılığını ortadan kaldıracaktır. 5. Dereceden Çok Yüksek Riskli imar adalarının kentsel dönüşüm aracılığıyla yeniden inşası sonrasında iskân edilecek nüfusun “seyrek” yoğunluklu (50 kişi/hektar ve altı) alanlar olarak planlanması risk düzeyini azaltacak olan planlama stratejileri arasında yer almalıdır.

4. Dereceden “yüksek riskli” imar adalarında bulunan binaların yapı denetiminin sağlanarak sağlama çalışmaları yapılması, gerekli görülen binaların kentsel dönüşümle yıkılarak ve yeniden inşası sürecinde parsel bazlı jeolojik etütlere bağlı kat sayısının belirlenerek, simetrik formda, ayırık nizam olarak tasarlanması gerekmektedir. Yapı Denetimine bağlı olarak kentsel dönüşüm kararı verilmişse, yeniden inşa edilecek olan konut alanlarının nüfus yoğunluğunun “düşük” yoğunluklu (51 - 120 kişi/hektar) alanlar olarak belirlenmesi gerekmektedir. 4. Dereceden yüksek riskli imar adalarında, ticaret- konut fonksiyonunda, olası şiddetli bir depremde yumuşak kat düzensizliğini önlemek için yapı denetiminin sağlanması, güçlendirilmesi ve gerekli görülen durumlarda yıkılması gerekmektedir. Yıkılıp yeniden inşa edilecek olan ticaret-konut birimleri “konut” ve “ticaret” olarak ayrı ayrı planlanmalıdır. Ayrıca yüksek riskli imar adalarında bulunan boş alanlar “acil toplanma alanı” olarak tasarlanmalı, ada içerisindeki yol ağları çok yüksek riskli imar adalarının acil tahliye yollarıyla bağlantılı olacak şekilde planlanmalıdır.

3. Dereceden “orta riskli” imar adalarındaki binalarda yapı denetiminin sürekliliği sağlanmalı, gerekli görülen durumlarda binaların sağlama çalışmaları gerekmektedir. Özellikle orta riskli imar adalarında bulunan sosyal donatı elamanlarının (okul, sağlık ocağı, cami vb.) yapı denetimine tabii tutularak sağlama çalışmaları gerekmektedir. 3. Dereceden “orta ” ve 2. Dereceden “düşük” riskli imar adalarında yer alan bitişik nizamda farklı veya aynı kat yüksekliğine sahip konut, ticaret-konut gibi fonksiyona sahip binaların yapı denetiminin sağlanması, deprem anında çekiçleme etkisiyle binaların birbirlerine hasar verme oranlarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır.

1. Dereceden “çok düşük”, 2. Dereceden “düşük” riskli imar adalarında yapı denetiminin sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. İmar adalarında yer alan ulaşım ağlarında acil tahliye yollarının yüksek ve çok yüksek riskli alanlarda tasarlanan acil tahliye yolları ile bağlantısının kurulması gerekmektedir. İmar adalarında boş alanların “afet parkları”, “acil toplanma alanı”, “afet eğitim ve bilinçlendirme parkları” veya “açık yeşil alan” gibi fonksiyonlarda tasarlanması önemlidir. Ayrıca geçici depolama alanları, afet anında geçici toplanma alanları, geçici iskân ve çadır alanları, su ve gıda temin edilecek alanlar, acil arama kurtarma ekiplerinin toplanma alanları da düşünülmelidir. Çok düşük ve düşük riskli bölgelerde bu gibi alanların tasarlanması çok yüksek, yüksek ve orta riskli bölgelerde meydana gelebilecek olası bir deprem anında ve sonrasında binaların hasar görmesi veya çökmesi durumunda insanların temel ihtiyaçlarının giderilmesinde tampon bölge niteliği kazanacaktır. Yukarıda bahsi geçen depreme duyarlı planlama ve tasarım stratejilerinin uygulamaya aktarılması ile risk odaklı bir planlama anlayışının geliştirilmesine katkı sağlanacağını söylemek mümkündür.

5. Sonuç

Çalışmada, incelenen imar planları doğrultusunda deprem riskini olumsuz yönde etkileyecek kararların verildiği tespit edilmiştir. İncelenen çalışma alanına konut-ticaret ve gelişme konut alanı olarak 10-12 kat arasında değişen yüksek yapılaşma kararları verildiği görülmüştür. Dolayısıyla deprem üretebilme potansiyellerine sahip olan fay hatları üzerinde yapılaşmaların devam ettiği, zayıf zemin yapısına rağmen yüksek katlı yapılaşmaların arttığı, jeoloji ve kentleşme arasındaki ilişkinin göz ardı edilerek ilgili çalışma alanının planlandığı ve afet riski azaltma planı doğrultusunda yapılan deprem senaryolarının göz ardı edildiği görülmüştür.

Dünya var olduğu müddetçe içerisinde barındırdığı doğal sirkülasyonunun bir sonucu olan yeryüzünün sismik aktivitesi devam edecek ve bu devamlılık beraberinde depremlerin oluşmasına neden olacaktır. Diğer doğa olaylarından farklı olarak deprem afeti geçmişten günümüze kadar medeniyetlerin ve içerisinde barındırdıkları toplumların can ve mal güvenliğini tehdit etmiş ve etmeye devam edecektir. Depremler meydana geldiklerinde sosyal, ekonomik ve kültürel kayıplara sebep olmaktadır.

Depremlerin doğal afet olarak adlandırılmasındaki en büyük neden yanlış kentleşme politikaları, hatalı planlama kararları, jeolojik yapı ve kentleşme ilişkisinin göz ardı edilmesidir. Günümüzde rant uğruna gelişen kentlerimizin jeolojik duyarlılığının belirlenerek planlama ve tasarım anlayışının geliştirilmesi, depreme karşı daha dirençli kentsel mekanların oluşturulmasını sağlayacaktır. Erzurum gibi deprem riski yüksek olan kentlerimizde jeolojik yapı, planlama ve tasarım (bina formu, kat yüksekliği, yapı nizamı, bina yoğunluğu) gibi kriterlere bağlı stratejilerin geliştirilerek yasalaştırılması, depreme duyarlı planlama anlayışının en önemli adımını oluşturacaktır.

Bu çalışma kapsamında var olan veriler çerçevesinde (sınırlılığında) gerçekleştirilen Japonya Birleşik Risk Modelinde kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemi, içerisinde barındırdığı kriterlerin çeşitlendirilebileceği esnek bir yöntemdir. Bu yöntemin yerel ölçekli alanların deprem riskinin derecelendirilmesinde, değerlendirilen alanlara özgü planlama ve tasarım stratejilerinin geliştirilmesinde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Son olarak, Japonya Birleşik Risk Model'inin jeoloji, planlama ve tasarım bağlamında deprem riskini azaltma yollarını disiplinler arası bilim dallarıyla eşgüdümlü bir şekilde geliştirilmesine katkı sağladığı görülmektedir. Bu çalışmada özellikle yapılaşma ve tasarım parametrelerinin deprem riskini olumlu ve olumsuz yönde etkileyen yönleri ortaya çıkarılarak, kentsel deprem riskine karşı jeoloji, planlama ve tasarım olmak üzere üç ana eksen üzerinden planlama anlayışının geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Kaynaklar

- Alam, M. D., & Haque, S. M. (2022). Bangladeş'in Mymensingh Şehri'ndeki yerleşim mahallelerinin çok boyutlu deprem hassasiyeti değerlendirilmesi: Mekansal çok kriterli analize dayalı bir yaklaşım. *Kent Yönetimi Dergisi*, 11(1), 37-58.
- Aversa, S., & Crespellano, T. (2016). Seismic microzonation: an essential tool for urban planning in seismic areas. *UPLAND-Journal of Urban Planning, Landscape and Environmental Design*, 1(1), 121-121. <https://doi.org/10.6093/2531-9906/5035>
- Balyemez, S. (2003). *Kentsel planlama ve tasarım değişkenlerinin deprem olgusu açısından değerlendirilmesi ve kentsel deprem davranışı* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Balyemez, S., & Berköz, L. (2005). Hasar görülebilirlik ve kentsel deprem davranışı. *İTÜ Dergisi Seri A: Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4(1), 3-14.
- Banica, A., Rosu, L., Muntele, I., & Grozavu, A. (2017). Towards urban resilience: A multi-criteria analysis of seismic vulnerability in Iasi City (Romania). *Sustainability*, 9(2), Article 270. <https://doi.org/10.3390/su9020270>
- Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Chousianitis, K., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2017). Appropriateness estimation for urban development using a multiple hazard assessment map. *Total Environmental Science*, 575, 119-134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.025>
- Biglari, M., Ashayeri, I., & Mofizadeh, R. (2015). Urban planning of Kermanshah city based on seismic geotechnical hazards. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 17(3), 203-211.
- Cremen, G., Galasso, C., and McCloskey, J. (2022). A simulation-based framework for human-centered decision-making with earthquake risk knowledge in future urban planning. *Earth's Future*, 10, Article e2021EF002388. <https://doi.org/10.1029/2021EF002388>
- Cremen, G., Galasso, C., McCloskey, J., Barcena, A., Creed, M., Filippi, ME., & Trogrlić, R. Š. (2023). A state-of-the-art decision-support environment for risk-sensitive and pro-poor urban planning and design in Tomorrow's cities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 85, Article 103400. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103400>
- Çoban, Y. V., & Kandemir, S. (2023). Depremden zarar görülebilirlik boyutunu etkileyen faktörlerin derecelendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 49, 61-67. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1259757>
- Dönertaş, A. S. (2006). *Afet yönetimi kapsamında güvenli yerleşim yerlerinin tasarımı için kentsel tasarım standartların geliştirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Erdoğan, S. (2021). *İstanbul Tarihi Yarımada'da kentsel ölçekte deprem odaklı kentsel zarar görülebilirlik değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Fäh, D., Kind, F., Lang, K., & Giardini, D. (2001). Earthquake scenarios for the city of Basel. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21(5), 405-413. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(01\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(01)00023-9)
- Farajı, R. (2015). *Deprem duyarlı planlama için deprem risk analizi Elazığ örneği* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Gerdan, S. (2021). Kentsel planlama açısından il afet risk azaltma planlarının değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1006-1013.
- Goretti, A., & Sarli, V. (2006). Road network and damaged buildings in urban areas: short and long term interaction. *Earthquake Engineering Bulletin*, 4, 159-175. <https://doi.org/10.1007/s10518-006-9004-3>
- Gök, S. B. (2003). *Japonya birleşik risk modeli kapsamında Erzurum'un yeni gelişme alanlarının deprem riskinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Haliloğlu, M., & Odabaş, M. S. (2018). Çok ölçütlü karar vermede AHP yöntemi. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 13-18.
- Hosseini, M. (2007, June 26-29). *Rebuilding towns and cities after devastating earthquakes: challenges and possibilities for urban design* [Conference presentation]. Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Ontario, Canada.
- Kaya, A. T., Polat, A. H., & Özgan, E. (2018, 4-6 Mayıs). *Afete dirençli planlama ve konut yerleşim alanlarının seçimi; Düzce örneği* [Bildiri Sunumu]. 2. Uluslararası Doğal Afetler ve Afet Yönetimi Sempozyumu, Sakarya Türkiye.
- Kundak, S. (2006). *İstanbul'da deprem risk parametrelerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi* [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü. (2016). *Erzurum-Erzincan-Bayburt planlama bölgesi 1/100.000 ölçekli çevre düzeni planı*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü. https://webdosya.csb.gov.tr/db/mpgm/editordosya/file/CDP_100000/erzurum_erzincan/EEB_PlanHukumleri_24102016.pdf

- Motamed, H., Ghafory-Ashtiany, M., Amini-Hosseini, K., Mansouri, B., & Khazai, B. (2020). Earthquake risk-sensitive model for urban land use planning. *Natural Hazards*, 103(1), 87-102. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03960-7>
- Özkiremitçi, M. (2022). *Afet risk sakınımı ve kent planlama süreci arasındaki ilişkinin analizi: Eskişehir kenti örneği* [Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Palandöken Belediyesi. (2016). *Palandöken Belediyesi 1/1.000 ve 1/5.000 ölçekli mikro bölgeleme etüt raporu*. Aydın Mühendislik, Erzurum.
- Reja, Y., & Shajahan, A.. (2011, March 12-14). *Analysis of earthquake sensitivities for urban areas: in the context of the city of Chittagong* [Conference presentation]. Disaster, Risk and Vulnerability Conference, Mahatma Gandhi University, India.
- Sekimov, A. (2012). *Comparative study of Disaster Management of Japan and Kyrgyz Republic Final Research Paper*. Asian Disaster Reduction Center Visiting Researcher Program FY2012A. https://www.adrc.asia/aboutus/vrdata/finalreport/2012A_KGZ_fr.pdf
- Şen, S. (2023, 14 Temmuz). *Levha tektoniği*. Süleyman Şen Coğrafya. 14 Temmuz 2023'de <https://www.suleymansen.com/?pnum=503&pt=Levha+Tektoni%C4%9Fi> adresinden alındı.
- Taş, N. (2003). Yerleşim alanlarında olası deprem zararlarının azaltılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 225-231.
- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. (2017). *Planlama ve yapılaşma açısından yüzey faylanması tehlikesinin değerlendirilmesi kılavuzu* (Yayın No: 134). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. (2021). *Fay üzerinde yaşayan illerimiz: Erzurum raporu-5*. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/537dc875eb4c1f0_ek.pdf
- Tokyo Metropolitan Government. (2022). *Your community's earthquake risk. The ninth community earthquake risk assessment study*. Bureau of Urban Development, Tokyo Metropolitan Government. 11 Mart 2023'de https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/bosai/chousa_6/download/kikendo_english.pdf?2302 adresinden alındı.
- Yalçın, Ö. (2002). Depreme dayanıklı kentler için coğrafi bilgi sistemleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 153-165.
- Yapıcı, H. (2015). *Tarih boyunca Erzurum'da meydana gelen zelzeleler*. *Mavi Atlas*, 5, 14-20. <https://doi.org/10.18795/ma.04319>
- Yavaşoğlu, F., & Özden, Ç. V. (2017). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi süreci kullanılarak deprem hasar riski analizi: Kadıköy örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(3), 28-38.
- Yavuz, K. (2013). *Deprem duyarlı planlamada coğrafi bilgi sistemleri odaklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması: Yalova kent merkezi örneği* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Zengin, E. (2020). Cumhuriyet döneminde (Muş) Varto'da yaşanan depremler (1946-1966). *Turkish Studies-Historical Analysis*, 15(2), 791-811.