

## **Manisa Merkezindeki Mevcut Betonarme Binaların Deprem Riski**

**Mustafa Berker ALICIOĞLU<sup>1</sup>**

### **Öz**

Deprem riski Manisa ilinde göreceli olarak yüksektir. 2020 yılında Manisa ilinde etkili olan iki tane deprem meydana gelmiştir. Öte yandan kentsel dönüşüm kapsamında eski binalar yenilenmektedir. Yenileme için yapılan saha çalışmalarında Manisa merkezindeki pek çok binanın 2001 yılı öncesi inşa edilmiş olduğu görülmüştür. Bu çalışmada 325 tane mevcut betonarme bina kentsel dönüşüm kapsamında incelenmiştir. Binaların tamamının deprem riski taşıdığı tespit edilmiştir. Binalar, 1957 ve 2001 yılları arasında inşa edilmiştir. Binalardan elde edilen veriler doğrultusunda prototip bir bina oluşturulmuştur. Prototip bina, düzensizlikler, rijitlik, malzeme, geometri ve deprem performansı açısından incelenen binalardan daha başarılı bir binadır. Prototip bina ile risk tespiti yapılmayan binaların etüt çalışması yapılarak risk durumlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Prototip bina bir, iki, üç, dört, beş ve altı katlıdır. İki ve daha fazla kata sahip prototip binaların riskli olduğu belirlenmiştir. Bina etüt çalışması ile binaların risk durumlarının belirlenebileceği saptanmıştır. 2001 yılı öncesi inşa edilmiş mevcut betonarme binaların yenilenmesi ya da güçlendirilmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem Riski, Kentsel Dönüşüm, Mevcut Betonarme Bina, Bina Etüt Çalışması

## **Earthquake Risk of Existing Reinforced Concrete Buildings in Central Manisa**

### **Abstract**

Manisa Province is in a territory with a relatively high earthquake risk. In 2020, two earthquakes that affected Manisa province occurred. On the other hand, within the scope of urban transformation, old buildings are rebuilt. During the field studies for the renovation, it has been found out that many buildings in the center of Manisa were built before 2001. In this study, 325 existing reinforced concrete buildings were examined within the scope of urban transformation. It has been determined that all of the buildings are at risk of earthquake. The buildings were constructed between 1957 and 2001. A prototype building has been created in accordance with the data obtained from the buildings. The prototype building is a more successful building than the buildings examined in terms of irregularities, rigidity, material, geometry and earthquake performance. With prototype building, it was aimed to determine the risk situations by conducting a survey of the buildings without risk assessment. The prototype building has one, two, three, four, five and six stories. It has been determined that prototype buildings with two or more stories are risky.

<sup>1</sup> İnşaat Yüksek Mühendisi, Manisa Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Manisa  
e-posta/e-mail: [berker.alicioğlu@gmail.com](mailto:berker.alicioğlu@gmail.com) ORCID No: 0000-0003-3735-8201

It has been determined that the risk situations of buildings can be determined by building survey study. It is proposed to rebuild or strengthen existing reinforced concrete buildings built before 2001.

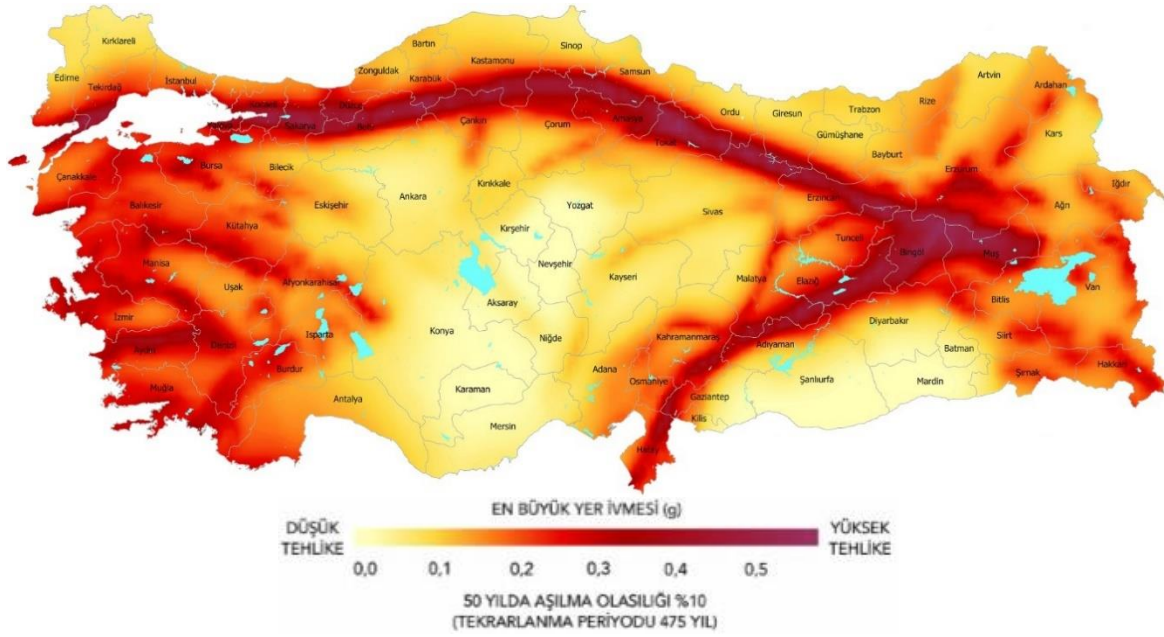
**Keywords:** Earthquake Risk, Urban Transformation, Existing Reinforced Concrete Building, Building Survey

## 1. GİRİŞ

Gelecekteki depremlerin sayısı, konumları ve büyüklükleri belirsizdir. Bu nedenle deprem bir risk olmakta ve risk değerlendirmesinde tarihsel veriler ile jeolojik verilerin sentezlenmesi önerilmektedir (Cornell, 1968). Yapı stoğunu oluşturan binaların deprem risklerinin pratik ve hızlı bir şekilde tahmin edilebilmesi için deprem güvenlik açığı yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile binaların tek tek statik yönden standartlara göre değerlendirilmesi yerine, belirli parametreler kullanılarak yapı stoğunun ve bölgesinin deprem riskinin tahmin edilmesi hedeflenmiştir (Harirchian vd., 2021). Deprem güvenlik açığı yöntemlerinde genel olarak tarihsel veriler, bina taşıyıcı eleman boyutları ve jeolojik veriler kullanılmaktadır. (Calvi vd., 2006) son otuz yıldaki deneysel, hidrit ve analitik deprem güvenlik açığı yöntemlerini incelemişlerdir. (Deniz vd., 2011) Eskişehir bölgesindeki deprem riskini tahmin etmeye yönelik entegre bir güvenlik açığı değerlendirmesi yapmışlardır. (Hancılar vd., 2014) İstanbul ilindeki mevcut okul binalarının olasılıksal yapısal kırılma analizi ile deprem güvencesini Monte Carlo Yaklaşımı kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. (Harirchian vd., 2021) basit hesaplama teknikleri ile mevcut binaların deprem güvenlik açığını, hızlı ve görsel olarak belirleyen farklı yöntemleri incelemişlerdir. Depremler, birey olarak insanları, aileleri, her düzeydeki sosyal kuruluşları ve ekonomik hayatı olumsuz etkileyebilir. Kuşkusuz depremlerin en korkunç sonucu, neden olabilecekleri büyük insan kayıplarıdır (Coburn vd., 2002). Deprem güvenlik açığının belirlenmesindeki hedef, depremlerin oluşturduğu bu olumsuz etkileri en aza indirmektir. Bununla birlikte Türkiye, 20. yüzyılda insan kaybı yaşanan deprem sayısı olarak Çin, Japonya, İtalya ve İran' dan sonra beşinci sırada yer almaktadır (Coburn vd., 2002).

Öte yandan Manisa ilinin büyük bir kısmı, Gediz Havzası ve Ege Havzası içinde kalmaktadır. Gediz Havzasında, Soma ve Kırkağaç yöreleri, Ege Havzasında Yunt Dağı'nın batısındaki kesimleri bulunmaktadır. Manisa'nın deprem üreten en önemli tektonik unsuru, Gediz Graben Sistemidir. Bölgede Soma - Kırkağaç Fay Zonu, Selendi Fay Zonu ve bu zonların dışında irili ufaklı birçok aktif kırık bulunmaktadır. Ana tektonik yapıların genel doğrultusu, Kuzeybatı - Güneydoğu, Doğu - Batı ve Kuzeydoğu - Güneybatı yönlüdür (Musalar-Akhisar-Manisa Depremi Basın Bülteni - 2020). Şekil 1 ile gösterimi yapılan Türkiye Deprem Tehlike Haritası, 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Harita ile en büyük yer ivmesi değerlerinin gösterimi yapılmıştır. Haritada Manisa ilinin 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyinde maksimum ivme değerlerinin 0,30g - 0,50g arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum, Manisa ilindeki deprem tehlikesinin, göreceli olarak yüksek olduğunu işaret etmektedir (Musalar-Akhisar-Manisa Depremi Basın Bülteni - 2020).

2020 yılında Manisa ilinde hissedilen iki şiddetli deprem meydana gelmiştir. 22 Ocak 2020 tarihinde Musalar - Akhisar - Manisa bölgesindeki depremin aletsel büyüklüğü  $M_w = 5.4$  olup, odak derinliği yaklaşık 9 km olan sığ odaklı bir depremdir. Deprem, Manisa ili ve ilçeleri başta olmak üzere Ege ve Marmara Bölgelerinde hissedilmiştir. 30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi'ndeki Sisam adasının kuzeyi ile Doğanbey-İzmir açıkları arasındaki depremin aletsel büyüklüğü  $M_w = 6.9$  olup, odak derinliği yaklaşık 12 km olan sığ odaklı bir depremdir. Deprem, İzmir ili ve ilçeleri başta olmak üzere Ege ve Marmara Bölgeleri dâhil geniş bir alanda hissedilmiştir (Musalar-Akhisar-Manisa Depremi Basın Bülteni - 2020; Ege Denizi Depremi Basın Bülteni 2020).



Şekil 1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (URL 1).

Araştırmacılar, Türkiye'nin deprem tehlikesi yüksek olan şehirleri için çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Kentsel dönüşüm çalışmaları kapsamında Bursa ilindeki bazı mevcut betonarme binaların beton basınç dayanımları değerlendirilmiştir (Beyaz vd., 2019). Bitlis ilindeki yapı stoğu sokak taraması yöntemiyle incelenmiştir. Deprem riski açısından 324 adet binanın %63'ü birinci, %18'i ikinci ve %19'u üçüncü öncelikli yapı grubu olarak nitelendirilmiştir (Işık, 2014). Siirt ilindeki bazı binalar, Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE-2019) kapsamında incelenmiştir. 5 adet betonarme riskli binadan elde edilen veriler doğrultusunda bina performans puanları hesaplanmıştır. (Ayhan vd., 2021). Sivrihisar ilçesindeki yapıların deprem riski sokak tarama yöntemi ile belirlenmiştir. 170 adet yapının %27'sinin deprem riskinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. (Güler vd., 2020). Bingöl ilindeki yapıların depreme karşı hazır olup olmadıkları araştırılmıştır. 18 sorudan oluşan ve Bingöl ili şehir merkezinde ikamet eden 107 kişi ile mevcut yapıların depreme hazırlık değerlendirilmesini içeren bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir (Nemutlu vd., 2021). Kanada sismik tarama yöntemi kullanılarak Muş ilindeki yapı stoğunun depremselliği araştırılmıştır. 200 adet bina incelenmiş olup, binaların %48'i orta öncelikli, %47'si yüksek öncelikli ve %5'i de çok tehlikeli bina olarak tespit edilmiştir. (Işık vd., 2017). Erzurum ili, Yenişehir ilçesindeki binaların sokak tarama yöntemiyle bölgesel risk dağılımları elde edilmiştir. 1177 adet betonarme yapının %7.2'sinin yüksek riskli, %62.4'ünün orta derecede riskli, %7.3'ünün düşük riskli, %22'sinin güvenli ve %0.7'sinin çok güvenli olduğu sonucuna varılmıştır (Okuyucu vd., 2018). Düzce ili, Kaynaşlı ilçe merkezinde bulunan binaların deprem tehlikesine karşı risk durumları hızlı tarama yöntemlerinden sokak taraması yöntemi ile belirlenmiştir. Sokak taraması yöntemi ile bilgileri alınan binaların risk skorları hesaplanarak risk açısından sınır değeri belirlenmiştir. (Tokgöz vd., 2015). İstanbul ilinin Esenler ilçesindeki betonarme yapıların depremden dolayı hasar görebilirliği değerlendirilmiştir. Kat adedinin, yapının potansiyel risk seviyesini en düşükten en yükseğe değiştirebilen bir anahtar parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Kötü inşaat kalitesi, yumuşak kat düzensizliği ve ağır çıkma ile ilgili parametreler, en yüksek risk seviyesine sahip olan binalarda ortak zafiyetler olarak belirlenmiştir (Özkaynak vd., 2018). Bu çalışmaların sokak tarama yöntemi etrafında yoğunlaştığı görülmüştür. İl ve ilçe bazındaki çalışmaların yanı sıra betonarme binaların depremselliğinin çeşitli analizler ile incelendiği çalışmalar da bulunmaktadır. Afyonkarahisar ilinde mevcut bir hastane binasının deprem güvenliği incelenmiştir. (Ergün vd., 2012). 5 farklı betonarme bina için 5 farklı beton malzeme dayanımı ele alınarak kentsel dönüşüm kapsamında risk tespitleri yapılmıştır. Malzeme

özelliğinin risk tespitindeki etkinliği incelenmiştir (Türkel vd., 2018). Deprem riski taşıyan binaların gözlemsel olarak incelenmesi, hızlı tarama yöntemi olarak sunulmuştur. Riskli yapıların tespit edilmesi yönetmeliklerine hızlı tarama yöntemleri ve deprem sonrası hasar tespit çalışmalarında kullanılan yöntemlere uygun revizyon ve eklemeler yapılması önerilmektedir (Hacımustafaoğlu vd., 2021). Türkiye genelinden seçilen 120 tane betonarme binanın deprem performansları araştırılmıştır. Binaların analizlerinde mevcut malzeme kaliteleri dikkate alınmıştır. Aynı zamanda malzeme dayanımları artırılarak analizler gerçekleştirilmiş ve malzeme dayanımının deprem performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir (Dilmaç vd., 2018). Türkiye'deki mevcut bina stoğunu temsil eden betonarme bir bina seçilmiştir. Bina yaygın olarak kullanılan iki farklı yöntem ile güçlendirilmiş olup, güçlendirme yöntemlerinin etkinliği kırılma analizi ile araştırılmıştır (Kırçıl vd., 2019). Binaların analiz yöntemleri ile incelenmesinin dışında binaların deprem performanslarının tahminine dayalı çalışmalar da bulunmaktadır. Bina performansını zemine ve binaya ait bir takım parametreler ile puanlayarak tahmin etmişlerdir (Işık vd., 2015). Betonarme binaların deprem hasarları, olasılık grafikleri üzerinden tahmin edilmiştir. 11 farklı tip betonarme yapı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 341 adet betonarme konut binası; yapım yılı, kat adedi ve bina kalitesi gibi ortak özelliklerine göre gruplandırılmıştır (Gürbüz vd., 2017). Deprem sigorta primlerinin hesaplanmasında ve deprem senaryo benzetimlerinde depremin büyüklüğünün yanı sıra binanın ne ölçüde hasar alacağı tahmin edilmesinin önemli olduğu belirtilerek binanın deprem hasarının tahmininde stokastik modeller geliştirilmiştir (Yüçemen vd., 2002). Ön değerlendirme yöntemlerini kullanarak binaların deprem performansları tahmin edilmiştir (Erdil vd., 2021). Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında yapılan hasar tespit çalışmalarında ağır hasarlı olarak belirlenen 130 adet betonarme binanın risk dağılımı, hızlı değerlendirme yöntemleri ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir (Demirbaş vd., 2021). Türkiye dışında deprem tehlikesinin olduğu bölgeler için yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Bosna Hersek' deki deprem riski taşıyan binalar için tahmin modeli önerilmiş ve deprem riskinin Zenica, Tuzla, Mostar, Trebinje ve Travnik şehirlerinde yüksek olduğu belirlenmiştir (Ademović vd., 2019). Yine Bosna Hersek' in Tuzla şehrinde yapım yılları 1961 ve 2014 arasında olan 203 adet yığma bina yapısal ve tipolojik olarak incelenmiştir. Deprem riskinin binalar için orta ve yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir (Ademović vd., 2022). Malezya' daki binalara web tabanlı hızlı görsel tarama esaslı deprem güvenlik açığı yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada George Town' un Kuzeyinde ve Güneyinde yer alan 500 adet bina, uyarlanmış FEMA 154 (2002) yöntemi ile incelenmiştir. İncelenen binaların %90 oranında hasar görebileceği tahmin edilmiştir (Kassem vd., 2021).

Çalışma kapsamında Yunussemre ve Şehzadeler ilçelerindeki binalar incelenmiş olup, bu ilçeler Manisa ilinin merkez ilçeleridir. 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun kapsamında parsel bazında yapılan riskli bina tespiti saha çalışmalarında ilçelerdeki bina stoğunun büyük bir kısmının 2000 yılı ve öncesinde inşa edilmiş betonarme binalardan oluştuğu tespit edilmiştir. Bu çalışma ile kentsel dönüşüm kapsamında 1957 ve 2001 yılları arasında inşa edilmiş Manisa il merkezinde bulunan 325 adet mevcut betonarme binanın beton basınç dayanımları, donatı sınıfları, donatı düzenleri, kolon ebatları ve kat planları incelenerek elde edilen veriler doğrultusunda Manisa il merkezindeki binaları temsil eden prototip bir bina oluşturulmuştur. Prototip bina ile riskli bina tespiti yapılmayan binaların etüt çalışması yapılarak risk durumlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Prototip bina için yapılan risk tespiti ile iki katlı ve daha fazla kata sahip mevcut betonarme binaların, deprem riski taşıdıkları belirlenmiştir.

Yapılan kapsamlı kaynak araştırmasında Türkiye' nin çeşitli şehirlerinde binaların deprenselliğinin incelendiği görülmüştür. (Beyaz vd., 2019; Ayhan vd., 2021; Türkel vd., 2018) çalışmaları, 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun kapsamındaki uygulamaları ele almaktadır. Ancak çalışma, prototip bir binayı inceleyerek etüt çalışması ile mevcut herhangi bir binanın deprem riskini tahmin etmeye yönelik olduğundan önceki çalışmalardan ayrılmaktadır.

## 2. BİNALARIN İNCELENMESİ

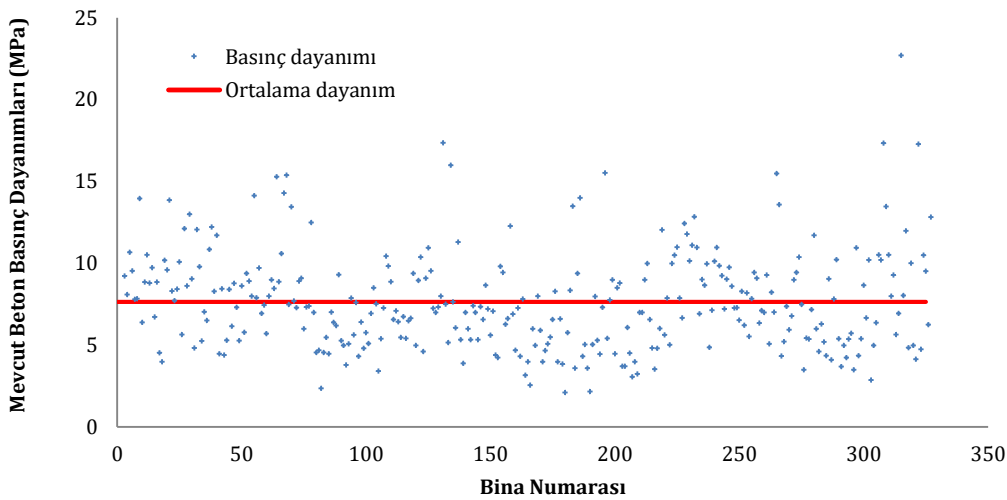
İncelenen binalar, 6306 sayılı Kanun kapsamında yapı sahiplerinin isteği üzerine risk tespiti yapılan, Manisa ilinin Yunusemre ve Şehzadeler ilçelerinde bulunan, 1957 – 2001 yılları arasında inşa edilmiş betonarme binalardır. Binaların tamamı risklidir. Çalışma ile binaların statik rölöveleri çıkartılmış, kabuk betonunun sıyrılmasıyla ve cihaz okumasıyla kolon donatılarının tespiti yapılmış ve binalardan beton numuneleri (karot) alınmıştır. Böylelikle binaların taşıyıcı elemanlarının ebatları, kat planları ve malzeme özellikleri elde edilmiştir. Binalardan alınan beton numunelerinin dayanımları ( $f_{kd}$ ), tek eksenli basınç deneyleri ile belirlenmektedir. Dayanım değerleri, her numune için ayrı ayrı denklem (1) ile hesaplanmaktadır (RYTEİE-2019).

$$f_{kd} = F_{1/d} \cdot F_{\text{çap}} \cdot F_{\text{nem}} \cdot F_{\text{hasar}} \cdot f_{\text{karot}} \quad (1)$$

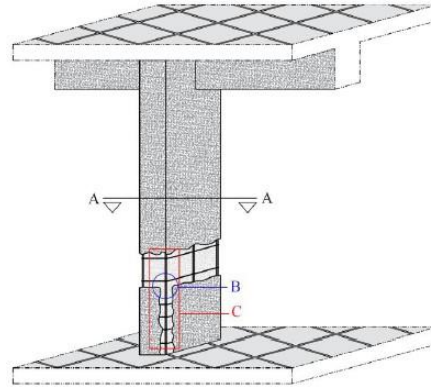
Denklem (1)'deki  $F_{1/d}$  karot boyunun çapına oranını,  $F_{\text{çap}}$  karot çapı için düzeltme faktörünü,  $F_{\text{nem}}$  karot nem muhvetası için düzeltme faktörünü,  $F_{\text{hasar}}$  karot alma işlemi verilen hasar için düzeltme faktörünü ve  $f_{\text{karot}}$  MPA cinsinden karot basınç dayanımını simgelemektedir. Çalışma kapsamında incelenen binalardaki beton basınç dayanımının en düşük 2,12 MPa ve en yüksek 22,71 MPa olduğu tespit edilmiştir. Ortalama dayanım, 7,65 MPa olarak hesaplanmıştır. Şekil 2 ile binaların beton basınç dayanımları, ortalama dayanım gözetilerek gösterilmiştir. Binalardaki donatı sınıfı, boyuna ve enine donatı sayıları ve düzeni, kolon beton paspayı sıyırma işlemi ve cihaz okumaları yapılarak belirlenmiştir. Şekil 3 ile kolonlarda yapılan sıyırma işleminin gösterimi yapılmıştır. Kirişlerde sıyırma işlemi yapılmamıştır.

Tüm binalardaki donatı sınıfı, S220 olarak gözlemlenmiştir. Kolonlarda etriye sıkılaştırmasının olmadığı, etriye olarak 6 mm ve 8 mm çapında donatı kullanıldığı, etriye aralıklarının genel olarak 20 cm ile 45 cm arasında olduğu ve kolon boyuna donatılarının 6Ø14 majör - 2Ø14 minör veya 4Ø14 majör - 2Ø14 minör, olduğu görülmüştür. Genel itibarıyla kolonlar ve kirişler 25\*50 cm ebatlarındadır. İncelenen binalar konut tipi binalar olup, ortalama kat yüksekliği 2,70 m' dir.

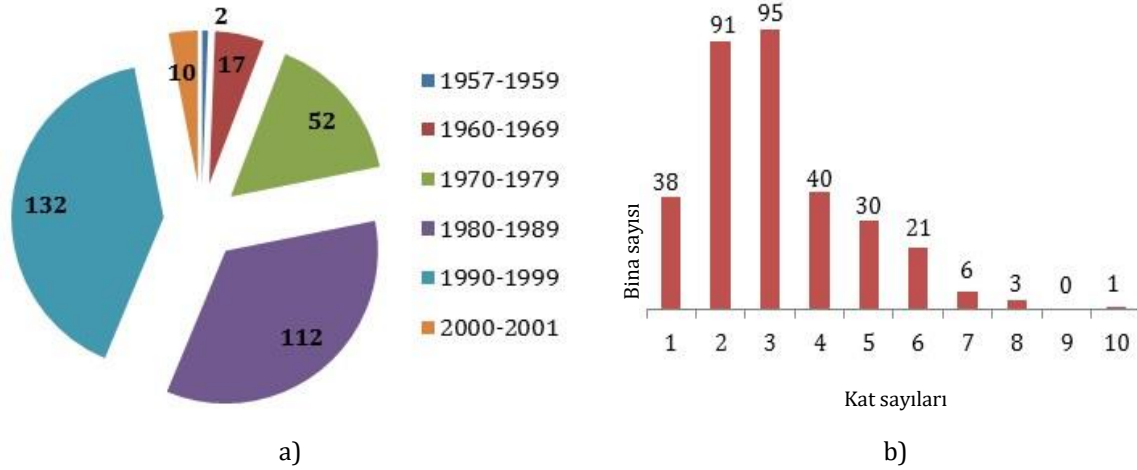
Şekil 4 (a) ile yıllara göre bina sayılarının ve Şekil 4 (b) ile bina kat sayılarının gösterimi yapılmıştır. Yerel zemin sınıfı, binanın bulunduğu parselde yakın bir parseldeki önceden yapılmış zemin ve temel etüt projesinden elde edilmiştir.



Şekil 2. Mevcut Beton Basınç Dayanımları.



Şekil 3. Kolon Beton Pas Payı Sıyırma Örneği (RYTEİE-2019).



Şekil 4. a) Yıllara Göre Bina Sayısı b) Kat Sayılarına Göre Bina Sayısı

### 3. PROTOTİP BİNA VE RİSK TESPİTİ

Çalışma kapsamında incelenen binalardan toplanan veriler doğrultusunda konut tipi prototip bir bina oluşturulmuştur. Prototip binanın risk tespitiyle, risk tespiti yapılmayan mevcut betonarme binaların risk durumlarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle prototip bina, düzensizlikler, rijitlik, malzeme, geometri ve deprem performansı açısından incelenen binalardan daha başarılı bir binadır. Binada düşey ve yatay düzensizlik bulunmamaktadır. Kiriş ebatları 25\*50 cm ve kolon ebatları 30\*50 cm olarak seçilmiştir. Kiriş ve kolon ebatları incelenen binalardaki en büyük ebatlardır. Döşeme kalınlığı 12 cm' dir. Kat yüksekliği 2,70 m'dir. Kiriş donatıları, RYTEİE-2019 esaslarına göre belirlenmiştir. Kolon donatıları, majör 6Ø14 majör - 2Ø14 minör ve etriyesi Ø8/20 olarak seçilmiş olup, donatıda korozyon olmadığı kabul edilmiştir. Seçilen kolon donatıları, donatı sınıfı ve beton basınç dayanımı, incelenen binalardaki azami değerlerdir. Donatı S220 sınıfı olup mevcut beton basınç dayanımı 22,71 MPa olarak alınmıştır.

Prototip binanın Manisa ili, Şehzadeler ilçesinde 38.6133<sup>0</sup> enlem ve 27.4261<sup>0</sup> boylam koordinatlarında konumlandığı kabul edilmiştir. Deprem yer hareketi düzeyi (DD-2), 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi olarak seçilmiştir. Yerel zemin sınıfının (ZC) çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalardan oluştuğu ön görülmüştür. Deprem yer hareketi düzeyi, yerel zemin sınıfı ve konum bilgileri doğrultusunda kısa

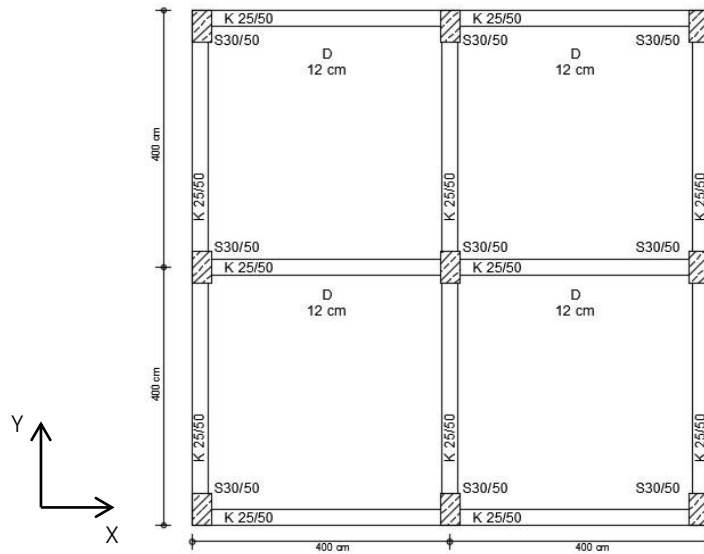
periyot harita spektral ivme katsayısı ( $S_s$ ) 1.158, bir saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı ( $S_1$ ) 0.284, en büyük yer ivmesi ( $PGA$ ) 0.471 g, en büyük yer hızı ( $PGV$ ) 28.726 cm/sn olarak hesaplanmıştır. Şekil 5 ile prototip binanın kat planı gösterilmiştir.

Binanın son katında ahşap oturma çatı olduğu kabul edilmiş ve son kat döşemelerine 0,15 tf/m<sup>2</sup> yük atanmıştır. Ara katlarda hareketli yük ( $Q$ ) 0,20 tf/m<sup>2</sup>, dış aks kirişlerine 19 cm kalınlığındaki delikli tuğla ve iç aks kirişlerinde 13 cm kalınlığındaki delikli tuğla yükü olarak sırasıyla 0,800 tf/m ve 0,625 tf/m çizgisel yükleri atanmıştır. Binanın risk tespiti, İdeCAD bilgisayar programı ile RYTEİE-2019 esaslarına göre yapılmıştır. Kat sayısı, birden altıya kadar olan altı adet prototip bina incelenmiş olup, binalardaki tüm kolon ebatları 30\*50 cm' dir.

RYTEİE-2019 esaslarına göre binayı oluşturan tüm katlar için risk değerlendirmesi yapıp, herhangi bir katın riskli çıkması durumunda bina riskli olarak kabul edilmektedir. Hesap yöntemi olarak *Mod Birleştirme Yöntemi* kullanılmaktadır. ( $G+nQ\pm E$ ) yük kombinasyonu  $\pm X$  ve  $\pm Y$  yönleri için ayrı ayrı uygulanmaktadır.  $G$ , zati yükü,  $n$ , hareketli yük azaltma katsayısını,  $Q$  hareketli yükü ve  $E$  deprem yükünü simgelemektedir (RYTEİE-2019).

Tüm kolonlar, deprem kesme kuvvetinin kolon kesme kapasitesine oranı ( $V_e/V_r$ ) ve sarılma bölgesindeki etriye detayına göre üç sınıfa (A, B ve C) ayrılır. A grubu kolonların eğilme göçmesine, B grubu kolonların eğilme-kesme göçmesine ve C grubu kolonların ise kesme göçmesine maruz kalacağı kabul edilmiştir. Kolonların moment kapasiteleri TS 500'de verilen kurallar kullanılarak, mevcut malzeme dayanımları ve bilgi düzeyi katsayısı dikkate alınarak hesaplanır (RYTEİE-2019).

Kolon uç deplasmanları, yatay düzlemdeki düğüm noktası deplasmanlarının vektörel olarak toplanması ile hesaplanır ve kat ötelenme oranı ise hesaplanan kolon uç deplasman farklarının kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edilmektedir. Kolonun deprem etkisi altında kesit moment değerinin, kesit kapasitesine bölünmesi ile Etki/Kapasite Oranı ( $m$ ) elde edilir. Bu amaçla, ilk olarak düşey yükler ve deprem etkileri altında ( $G+nQ\pm E$ ) iki eksenli kesit momenti ( $M_{22e}$ ,  $M_{33e}$ ) hesaplanır. Daha sonra, düşey yükler ve azaltılmış deprem etkileri altında ( $G+nQ\pm E/6$ ) elde edilen  $N_k$  değeri için  $M_{22}$ -  $M_{33}$  etkileşim diyagramı oluşturulur. Bu diyagram üzerinde moment kapasitesi ( $M_{22p}$ ,  $M_{33p}$ ), iki eksenli kesit moment değerlerinin oranı ile uyumlu olarak RYTEİE-2019'da yer alan Şekil D.2'de gösterildiği gibi hesaplanır. Elde edilen kesit moment değerinin kesit moment kapasitesine bölünmesi ile  $m$  değeri belirlenir (RYTEİE-2019).



Şekil 5. Prototip Binanın Kat Kalıp Planı

İncelenen katlardaki mevcut kolon kat ötelenme oranları ( $\delta/h$ ) ve  $m$  değerleri, kolon sınıflarına bağlı olarak RYTEİE-2019' da yer alan Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te verilen risk sınır değerleri ile kıyaslanır. Tablolarda ara değerler için enterpolasyon uygulanır. Kolonlarda hesaplanan ( $\delta/h$ ) ve  $m$  değerlerinin ( $\delta/h$ )<sub>sınır</sub> ve  $m$ <sub>sınır</sub> değerlerini aşması durumunda elemanın risk sınırını aştığı kabul edilir. İncelenen kat veya katlarda düşey yükler altında (G+nQ) perde ve kolonlarda aksel basınç gerilmeleri hesaplanır (RYTEİE-2019).

Kattaki aksel basınç gerilmelerinin ortalaması, kolonlarda hesaplanan aksel basınç gerilmelerinin toplamının toplam kolon sayısına bölünmesi ile bulunur. İlgili katta hesaplanan aksel basınç gerilmelerinin ortalaması  $0.65 f_{cm}$  değerinden büyükse, aynı katta herhangi bir kolonun risk sınırı aşması durumunda RYTEİE-2019' da yer alan Tablo 4.6'ya göre bina, riskli bina olarak kabul edilir. Öte yandan risk sınırını aşan kolonların kesme kuvvetlerinin toplamının kat kesme kuvvetine bölünmesiyle kat kesme kuvveti oranı hesaplanır. Hesaplanan kolon aksel gerilmesine bağlı olarak Tablo 4.6'da verilen kat kesme kuvveti oranı sınırlarını aşan bina, riskli bina olarak kabul edilir (RYTEİE-2019).

Tablo 1 ile risk tespitine esas analiz verileri ve analiz sonuçları özetlenmiştir. Tablo 1' deki *EBGO*, aksel basınç gerilmeleri ortalamasını,  $f_{cm}$ , mevcut beton basınç dayanımını, *KKKOSD*, kat kesme kuvvetleri oranı sınır değerini, *RSAES*, risk sınırını aşan eleman sayısını, *TES*, toplam eleman sayısını,  $m$ , etki / kapasite oranını, *TKKK*, toplam kat kesme kuvvetini, *RSAKKKT*, risk sınırını aşan kolonların kesme kuvvetleri toplamını simgelemektedir. Risk tespiti +X, +Y, -X ve -Y yönleri için yapılmış olup, daha olumsuz sonuç verdikleri için *TKKK* ve *RSAKKKT* değerlerinde minimum değerlere yer verilmiştir. RYTEİE-2019 ile risk sınırının aşılmadığı hususu, perde ve kolon elemanlar üzerinden değerlendirilmektedir. Prototip binada perde bulunmayıp Tablo 1' deki elemanlar, zemin kat kolonlarıdır. Yapılan analiz neticesinde 1 katlı binanın risksiz, 2, 3, 4, 5 ve 6 katlı binaların riskli olduğu tespit edilmiştir.

7 ve üzeri katsayısına sahip binalardaki kolonların kesme kuvveti ve moment kapasiteleri değişmeyip yükteki artışa bağlı olarak kesit tesirleri artacağından 7 ve üzeri katsayısına sahip binaların riskli olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 1. Risk Tespiti Sonuçları

Kat sayısı	1 katlı	2 katlı	3 katlı	4 katlı	5 katlı	6 katlı
<i>EBGO</i> (tf/m <sup>2</sup> )	35,97	93,98	151,99	210	268,01	326,02
<b>0,65 <math>f_{cm}</math></b> (tf/m <sup>2</sup> )	1.505,25	1.505,25	1.505,25	1.505,25	1.505,25	1.505,25
<b>0,10 <math>f_{cm}</math></b> (tf/m <sup>2</sup> )	231,58	231,58	231,58	231,58	231,58	231,58
<i>KKKOSD</i>	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,32
<i>RSAES</i>	0	9	9	9	9	9
<i>TES</i>	9	9	9	9	9	9
<b>En büyük <math>m</math> değeri</b>	2,91	5,60	5,25	5,32	5,13	4,73
<i>TKKK</i> (t) (min)	67,48	146,95	151,48	156,14	161,08	158,59
<i>RSAKKKT</i> (min)	0	146,95	151,48	156,14	161,08	142,23
<b>KONTROL</b>	$0 \leq 0,35$	$1 > 0,35$	$1 > 0,35$	$1 > 0,35$	$1 > 0,34$	$0,89 > 0,32$
<b>SONUÇ</b>	<b>RİSKSİZ</b>	<b>RİSKLİ</b>	<b>RİSKLİ</b>	<b>RİSKLİ</b>	<b>RİSKLİ</b>	<b>RİSKLİ</b>



#### 4. BULGULAR

1950li yıllarda yapılmış 2 bina, 1960lı yıllarda yapılmış 17 bina, 1970li yıllarda yapılmış 52 bina, 1980li yıllarda yapılmış 112 bina, 1990li yıllarda yapılmış 132 bina ve 2000 yılı ile 2001 yıllarında 10 bina incelenmiştir.

Risk tespiti, 38 tane 1 katlı, 91 tane 2 katlı, 95 tane 3 katlı, 40 tane 4 katlı, 30 tane 5 katlı, 21 tane 6 katlı, 6 tane 7 katlı, 3 tane 8 katlı ve 1 tane 10 katlı bina için yapılmıştır. 2 ve 3 katlı binalar incelenen binaların %57' sini oluşturmaktadır. Binalardaki beton basınç dayanımının en düşük 2,12 MPa ve en yüksek 22,71 MPa olduğu tespit edilmiştir. Ortalama dayanım ise 7,65 MPa olarak hesaplanmıştır.

181 adet binanın beton basınç dayanımı, ortalama dayanımın altındadır. Oransal olarak binaların %55' i ortalama dayanımın altında kalmaktadır.

#### 5. SONUÇ VE ÖNERİ

Manisa ilinin tektonik yapısı dikkate alındığında Manisa ilindeki deprem tehlikesi, göreceli olarak yüksektir. Deprem binalar üzerindeki yıkıcı etkileri dikkate alındığında ildeki bina stoğu niteliğinin anlaşılması önem arz etmektedir. 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun kapsamında parsel bazında yapılan riskli bina tespiti saha çalışmaları ile Yunussemre ve Şehzadeler ilçelerindeki bina stoğunun büyük bir kısmını betonarme binaların oluşturduğu belirlenmiştir. İncelenen binalardan elde edilen veriler ile tek tip kat kalıp planına sahip 6 farklı prototip bina ele alınmıştır. Prototip binalar, RYTEİE-2019'na göre analiz edilmiş ve 1 katlı binanın risksiz, 2, 3, 4, 5 ve 6 katlı binaların riskli olduğu tespit edilmiştir. Ancak 7 kat ve üzeri kat sayısına sahip binalar için risk tespiti yapılmamış olmasına karşın kat sayısındaki artışa bağlı olarak artan kesit tesirleri nedeniyle 7 kat ve üzeri kat sayısına sahip binaların riskli olduklarını söylemek mümkündür.

Prototip binalar temelde, 2001 yılı öncesi inşa edilmiş mevcut binalara oranla rijitlik, malzeme ve geometri bakımından depremin yıkıcı etkisine karşın daha avantajlıdır. 2, 3, 4, 5 ve 6 katlı prototip binaların riskli çıkması ile 22,71 MPa ve daha düşük basınç dayanımına sahip, donatı sınıfı S220 olan ve kolon ebatları 30\*50 cm ve daha küçük ebatlardaki kolonlara sahip binaların kesit kapasitelerindeki azalışa bağlı olarak riskli olduklarını söylemek mümkündür.

Bina etüt çalışması, binanın statik rölövesinin çıkarılmasını, kolon donatı tespitini ve binadan karot alınmasını ihtiva etmektedir. Çalışma ile RYTEİE-2019'na göre risk tespiti analizi yapılmadan bina etüt çalışması ile binanın riskli olup olmadığı anlaşılmaktadır.

6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun kapsamında parsel bazında yapılan riskli bina tespiti saha çalışmalarıyla 2001 yılı öncesi inşa edilmiş pek çok binanın deprem riski taşıdığı göz önüne alınırsa bu binaların ya yenilenmesi ya da güçlendirilmesi önerilmektedir.

#### Teşekkür

Çalışmanın hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen İnşaat Mühendisi Salih Zeki ŞEN' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

#### Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

**KAYNAKLAR**

- Ayhan E, Aktaş G, Karaşin A (2021). Siirt ilindeki bazı binaların riskli bina tespit yönetmeliğine göre değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 12(1):89-98. <https://doi.org/10.24012/dumf.551342>
- Beyaz A, Livaoglu R (2019). Bursa ili kentsel dönüşüm çalışmalarında elde edilen beton basınç dayanımının değerlendirilmesi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 24(1): 63-74. <https://doi.org/10.17482/uumfd.486033>
- B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (2020). 22 Ocak 2020 Musalar-Akhisar-Manisa Depremi Basın Bülteni
- B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (2020). 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi Basın Bülteni
- Calvi GM, Pinho R, Magenes, G, Bommer JJ, Restrepo-Vélez LF, Crowley H (2006). Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. ISET journal of Earthquake Technology, 43(3): 75-104.
- Coburn A, Spence R (2002). Earthquake Protection. Second Edition. John Wiley & Sons, Chichester.
- Cornell CA (1968). Engineering Seismic Risk Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, 58(5), pp: 1583-1606.
- Demirbaş N, Şahin H, Durucan C (2021). Betonarme yapılarda deprem sonrası yapısal hasarların tahmini için kullanılan hızlı değerlendirme yöntemlerinin etkinliklerinin belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 33(2): 125-134
- Dilmaç H, Ulutaş H, Tekeli H, Demir F (2018). An evaluation on seismic performance of existing reinforced concrete buildings in Turkey. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: 9 Ek Sayı:1: 224-237. <https://doi.org/10.29048/makufebed.443126>
- Duzgun HSB, Yucemen MS, Kalaycioglu HS, Celik K, Kemec S, Ertugay K, Deniz A (2011). An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. Natural hazards, 59(2): 917-947. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9808-6>
- Erdil B, Ceylan H (2021). Ön değerlendirme yöntemlerinin betonarme binaların deprem performanslarını tahmin etmedeki başarıları. 9. Turkish Conference On Earthquake Engineering
- Ergün A, Kürklü G, Başaran V (2012). Mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin incelenmesi ve güçlendirilmesi çalışmaları için Afyonkarahisar'dan bir hastane örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (2) :1-11
- FEMA 154 (2002). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook, FEMA, USA
- Güler E, Canbaz M (2020). Yapıların deprem riskinin sokak tarama yöntemi ile belirlenmesi: Sivrihisar örneği. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(3): 227-234. <https://doi.org/10.31796/ogummf.736221>
- Gürbüz A, Tekin M (2017). Farklı tip betonarme binalar için geliştirilmiş hasar tahmin yöntemleri. Teknik Dergi, 28(4): 8051-8076. <https://doi.org/10.18400/tekderg.334196>
- Hacımustafaoğlu SC, Altan MF, Naimi S (2021). Riskli yapılan risk durumlarının gözlemsel analiz ile tespiti. AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture, 5(1), 109-118. <https://doi.org/10.53600/ajesa.771218>

Hancilar U, Çaktı E, Erdik M, Franco GE, Deodatis G (2014). Earthquake vulnerability of school buildings: probabilistic structural fragility analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 67: 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.09.005>

Harirchian E, Hosseini SEA, Jadhav K, Kumari V, Rasulzade S, Işık E, Wasif M, Lahmer T (2021). A review on application of soft computing techniques for the rapid visual safety evaluation and damage classification of existing buildings. *Journal of Building Engineering*, 43, 102536. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102536>

Işık E (2014). Bitlis ili yapı stoğunun birinci kademe (sokak tarama yöntemi ile) değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1): 173-178. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.55891>

Işık E, Bozkurt N, Taşkın V (2017). Muş ili yapı stoğunun kanada sismik tarama yöntemi ile incelenmesi ve bölgenin depremselliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2): 421-429. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.46538>

Işık E, Tozlu Z (2015). Farklı değişkenler kullanılarak yapı performans puanının hesaplanması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2): 161-172. <https://doi.org/10.17798/beufen.42155>

Kırçıl MS, Kocabey EÇ (2019). Examination of the efficiency of retrofitting methods through fragility analysis. *Teknik Dergi*, 30(4): 9243-9260. DOI: 10.18400/tekderg.408126

Nemutlu ÖF, Balun B, Sarı A (2021). Mevcut yapıların depreme hazırlık değerlendirmesi: Bingöl ili örneği. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 3 (1) , 92-109. <https://doi.org/10.46464/tdad.932452>

Okuyucu D, Savaş GK, Gedik B, Şuşarlıoğlu, MF, Kara T (2018). Sokaktan tarama yöntemiyle binaların bölgesel deprem risk dağılımının belirlenmesi: Erzurum – Yenişehir örneği. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1): 219-231. <https://doi.org/10.31796/ogummf.736221>

Özkaynak H, Özsoy Özbay, AE (2018). Seismic vulnerability assessment of reinforced concrete buildings located in esenler district of İstanbul. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 285-294. <https://doi.org/10.5578/fmbd.66804>

Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE) (2019). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara, Türkiye

Tokgöz H, Bayraktar H (2015). Düzce ili Kaynaşlı ilçesinde riskli binaların tespitinde sokak taraması yönteminin uygulanması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1): 107-116

TS 500 (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye

Türkel YE, Tekeli H (2018). Konut türü betonarme binaların deprem risk değerlendirmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(3), 669-680. <https://doi.org/10.2339/politeknik.418848>

URL 1, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> (Son Erişim: 20.12.2021)

Yüçemen MS, Askan A (2002). Muhtemel deprem hasarlarının stokastik yöntemlerle tahmini. ECAS2002.

6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun, (2012). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara, Türkiye

**EK**

RYTEİE-2019' da yer alan Tablolar

Tablo 4.4 Kolonlar için  $m_{sınır}$  ve  $(\delta/h)_{sınır}$  Değerleri

<b>A grubu kolonlar</b>			
$N_K/(f_{cm}A_c)$	$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$	
$\leq 0.1$	5.0	0.035	
$\geq 0.6$	2.5	0.0125	
<b>B grubu kolonlar</b>			
$N_K/(f_{cm}A_c)$	$A_{sh}/(sb_k)$	$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	2.0	0.01
	$\geq 0.006$	5.0	0.03
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$	1.0	0.005
	$\geq 0.006$	2.5	0.0075
<b>C grubu kolonlar</b>			
		$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$
		1.0	0.005

Tablo 4.5 Perdeler için  $m_{sınır}$  ve  $(\delta/h)_{sınır}$  Değerleri

<b>A grubu perdeler</b>				
$N_K/(f_{cm}A_c)$	$V_e/(b_w d f_{ctm})$	Başlık Bölgesi	$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$
<0.1	$\leq 0.9$	Var	6.0	0.0300
		Yok	4.0	0.0150
	$\geq 1.3$	Var	3.5	0.0150
		Yok	2.0	0.0075
>0.25	$\leq 0.9$	Var	3.5	0.0200
		Yok	2.0	0.0100
	$\geq 1.3$	Var	2.0	0.0100
		Yok	1.5	0.0050
<b>B grubu perdeler</b>				
		$V_e/(b_w d f_{ctm})$	$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$
		$\leq 0.9$	4.0	0.0200
		$\geq 1.3$	2.0	0.0100

Tablo 4.6 Perde ve Kolon Eksenel Basınç Gerilme Ortalamasına Bağlı Kat Kesme Kuvveti Oranı Sınır Değerleri

<b>Perde ve kolon eksenel basınç gerilme ortalaması (=Perde ve kolon gerilmelerinin toplamı / Perde ve kolon sayısı)</b>	<b>Kat kesme kuvveti oranı sınır değerleri</b>
$\geq 0.65f_{cm}$	0
$0.1f_{cm} \geq$	0.35