

6306 Sayılı Kanun Kapsamında Sunulan Riskli Yapı Tespit Yöntemiyle Az Katlı Betonarme Binaların Değerlendirilmesi: Elazığ-Sivrice (2020) Depremi Sonrasında Hasar Görmüş Bina Örneği

Nurbanu DEMİRBAŞ^{1*}, Ayşe ÇELİK², Fatma ORAN³

^{1,2} İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*n.demirbas@firat.edu.tr, ² aysecelik2999@gmail.com, ³ ffatmaoran@gmail.com

(Geliş/Received: 30/10/2024;

Kabul/Accepted: 26/02/2025)

Öz: Bu çalışmada, olası bir depremde yıkılma veya ağır hasar alma riski bulunan binaların tespitinde kullanılan riskli yapı tespit yönteminin etkinliği incelenmiştir. Bu amaçla, 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Elazığ-Sivrice depremi sonrasında hasar gören bina portföyünü temsilen seçilen Aydın Apartmanı 6306 sayılı kanun kapsamında sunulan Riskli Yapı Tespit Yöntemiyle değerlendirilmiştir. Riskli bina tespitinden elde edilen değerlendirme sonuçları az katlı betonarme bir binanın deprem sonrası gözlenen hasar durumu ile kıyaslanarak yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda incelenen bina özelinde, (i) yöntemin, binanın yapısal kusurlarına bağlı olarak deprem sonrası oluşan yapısal hasar durumu ile uyumlu sonuçlar verdiği, (ii) eleman ve kat bazlı yapılan değerlendirme sonuçları ışığında, yöntemin düşey taşıyıcı elemanlar arasında en riskli elemanın tespitinde oldukça etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Betonarme Bina, Risk Değerlendirmesi, Kentsel Dönüşüm, Hasar Tespit Çalışmaları.

An Evaluation of Low-Rise Reinforced Concrete Buildings Using Detection of Risky Buildings Declaring Within The Scope of Law No: 6306. The Case of Damaged Building In Elazığ-Sivrice (2020)

Abstract: In this study, the effectiveness of the Detection of Risky Buildings Method used to identify buildings at risk of collapse or severe damage in the event of a potential earthquake was examined. For this purpose, the Aydın Apartment Building was selected as a representative example from the portfolio of building damaged in the Elazığ-Sivrice earthquake, which occurred on January 24, 2020. The building was evaluated using the Detection of Risky Buildings Method within the scope of Law No. 6306. The evaluation results obtained from the detecting risky buildings were assessed by comparing them with the observed damage status after the earthquake. As a result of the study, in the specific this study; (i) the method gives results consistent with the observed structural damages after the earthquake due to structural deficiencies of the building, and ii) the method was found to be very effective in determining the most risky (vulnerable) element among the vertical structural elements, in the light of the evaluation results made on element and story basis.

Key words: Reinforced Concrete Buildings, Risk Assessment, Urban Transformation, Damage Assessment Studies.

1. Giriş

Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Kanunu (6306 sayılı) kapsamında [1], zemin veya yapılaşma nedeniyle can ve mal kaybı oluşma riski bulunan alanlar riskli alan olarak tanımlanmaktadır. Ekonomik ömrünü tamamlamış ya da olası bir deprem karşısında yıkılma veya ağır hasar alma riski bulunan yapılar ise riskli yapı olarak değerlendirilmektedir. Riskli yapıların tespiti bu kanunun EK-2 bölümünde belirtilen Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslara (RYTEİE) [2] göre değerlendirilmektedir. Bu yapıların tespiti kat maliklerinin talebi doğrultusunda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından lisanslandırılmış kurum ve kuruluşlarca yapılmakta, riskli olarak belirlenen yapılara yıkım kararı verilmektedir. Literatürde 6306 sayılı kanun kapsamında sunulan riskli yapı tespiti ile ilgili saha çalışmaları bulunmaktadır. Anıl vd. [3] tarafından yapılan çalışmada, riskli alan ilan edilmesi planlanan bölge (İstanbul ili-Beyoğlu ilçesi) üzerinde saha çalışması yapılarak risk tespiti yapılan 113 adet betonarme binanın %98'i riskli yapı olarak değerlendirilmiştir. Türkel ve Tekeli [4] tarafından yapılan çalışmada ise riskli yapı tespitinde kullanılan bazı parametrelerin (malzeme sınıfı, sargı etkisi) etkinliğinin araştırılması amaçlanarak 100 adet mevcut betonarme bina incelenmiştir. Çalışma sonucunda,

* Sorumlu yazar: n.demirbas@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-4439-9706, ² 0009-0001-7887-9073, ³ 0009-0000-3116-3863

malzeme sınıfı ve sargı etkisinin riskli yapı tespitinde oldukça etkin olduğu, beton dayanımı düşük olan, düz yüzeyli donatı kullanılan ve etriye sıklaştırması yapılmayan binaların riskli yapı sınıfında bulunma olasılığının yüksek olduğu belirtilmiştir. Bahşi vd. [5] tarafından yapılan çalışmada ise 6306 sayılı kanun kapsamında riskli yapı tespiti yapılan (kanunun yürürlüğe girdiği 2012 yılı ile 2022 yılı arasında) çok sayıda binanın sayısal verileri değerlendirilmiştir. 6306 sayılı kanun kapsamında incelenen binaların çoğunluğunu 2000 yılı öncesi inşa edilen binaların oluşturduğu ve yürürlükte olan yönetmelik/standartlarda belirtilen tasarım esaslarının çoğunun sağlanmadığı görülmüştür. Bahşi vd. [5] tarafından yapılan bu çalışmada riskli yapı tespiti yapılan 250000 adet binanın %99,6'sı riskli yapı olarak tespit edilmiştir.

6306 sayılı kanun kapsamında sunulan riskli yapı tespit yöntemi kentsel dönüşüm çalışmalarına yön vermekte, yöntemin kullanımı rezerv yapı alanlarında kentsel dönüşüm kapsamına alınacak binaların belirlenmesi bakımından büyük önem arz etmektedir. Elazığ-Sivrice Depremi (2020) ve Kahramanmaraş Depremi (2023) sonrasında riskli alan (kentsel dönüşüm alanları) olarak ilan edilen bölgelerde Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri tarafından resen riskli yapı tespit çalışmalarına başlanmış ve riskli yapı olarak tespit edilen binaların yıkım çalışmaları yapılmıştır [6-7]. Riskli alan olarak ilan edilen bölgelerdeki bina stoku özellikleri incelendiğinde, binaların çoğunluğunun yürürlükte olan yönetmeliklerde verilen şartların çoğunu sağlamadığı, alınan mühendislik hizmetinin oldukça sınırlı olduğu görülmüştür [6]. Dolayısıyla bu binaların çoğunluğunun riskli bina olarak değerlendirilmesi olağandır.

Literatürde RYTEİE'de [2] önerilen riskli yapı tespit yöntemini konu alan çalışmaların, olası bir deprem sonrasında yıkılma ve ağır hasar alma riski bulunan binaların önceden tespiti üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Ancak riskli yapı tespit yöntemi kullanılarak belirlenen risk durumunun deprem sonrası binalarda oluşan risk durumu veya hasar durumu ile uyumu üzerine eleman bazında yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada RYTEİE'de az katlı binalar için önerilen riskli yapı tespit yöntemi, literatürden farklı olarak Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında hasar gören bina portföyünü temsilen hasar almış az katlı bir binaya (Aydın Apartmanı) uygulanmıştır. Çalışma kapsamında, olası bir deprem sonrasında yıkılma veya ağır hasar alma riski bulunan binaların önceden tespitinde kullanılan riskli yapı tespit yönteminin etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, binanın riskli yapı tespit yönteminden elde edilen sonuçları (*eleman ve kat bazlı yapılan değerlendirme sonuçları*) ile Elazığ-Sivrice depremi sonrası binada gözlenen hasar durumu kıyaslanarak az katlı betonarme binalar özelinde değerlendirme yapılmıştır.

2. Riskli Yapı Tespit Yöntemi

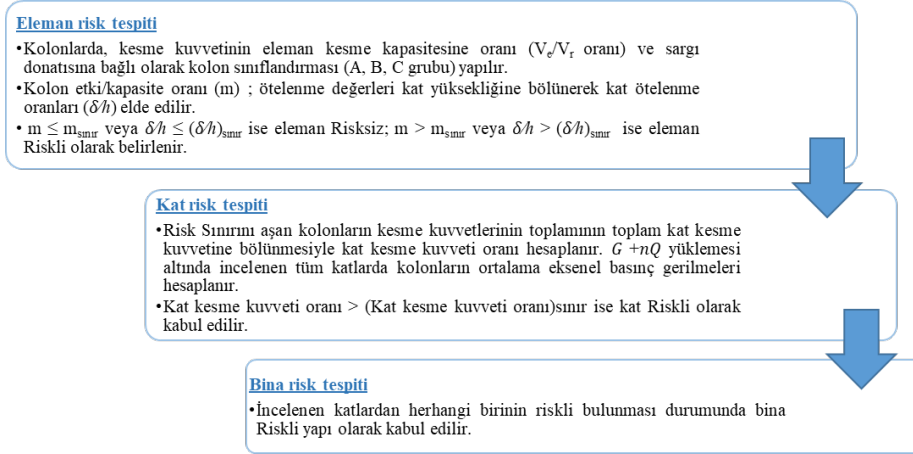
Olası bir afet (deprem, sel vb.) sırasında içerisinde yaşayanların can güvenliklerinin olmadığı yapılar riskli yapı olarak tanımlanmaktadır [8]. Riskli yapıların tespitinde uygulanacak hesap yöntemi detayları, incelenen binanın taşıyıcı sistem türü (betonarme, yığma ve karma sistemler) ve bina yükseklik sınıfına (az, orta ve yüksek katlı) bağlı olarak RYTEİE'nin [2] farklı bölümlerinde sunulmuştur. Bu çalışmada inceleme konusu binanın RYTEİE'ye göre az katlı betonarme bina sınıfında (toplam serbest kat adedi \leq 10 ve toplam bina yüksekliği \leq 30m) olması nedeniyle, bu bölümde az katlı betonarme binalar için önerilen risk tespit yöntemi açıklanmaktadır.

Az katlı betonarme binaların riskli yapı tespitinde modelleme aşamasından önce, binanın inceleme katı ve bodrum katında rölöve çalışması yapılmakta ve binadan bilgi toplanmaktadır. Bu noktada asıl amaç yerindeki binayı modele en doğru şekilde yansıtmaktır [9]. Rölöve çalışmasında, (i) binanın taşıyıcı sistem özellikleri, (ii) eleman boyutları, (iii) donatı detayları, (iv) taşıyıcı elemanların kattaki yerleşimi ve eksen açıklıkları ile dolgu duvar yerleşimi ve kalınlıkları belirlenmektedir. Binanın taşıyıcı sistem projeleri ile yerinde kontrol edilen eleman özellikleri karşılaştırılarak taşıyıcı sistem bilgi düzeyi katsayısı belirlenmektedir. Binanın projelerinin mevcut olmaması veya proje ve rölöve arasında herhangi bir uyumsuzluk olması durumunda asgari bilgi düzeyi; projelerin mevcut olması ve yerinde kontrol edilen taşıyıcı sistem özellik/detaylarının proje ile uyumlu olması halinde ise kapsamlı bilgi düzeyi kabul edilmektedir.

Bu yöntemde, yerinde mevcut beton dayanımının belirlenmesi amacıyla belirli sayıda kolon ve perde üzerinde tahribatsız yöntemle inceleme yapılmaktadır. En düşük dayanım değerlerinin elde edildiği kolon ve perde elemanların yarısından tahribatlı yöntemle beton numunesi alınmaktadır. Yerinde mevcut donatı dayanımı ve detaylandırmalarının belirlenmesi amacıyla ise belirli sayıda kolon ve perde üzerinde tahribatsız yöntemlerle incelemeler ve sıyırma işlemi yapılmaktadır. Elde edilen mevcut malzeme dayanımları RYTEİE'de [2] tanımlı olan asgari ve kapsamlı bilgi düzeyine ait katsayılar (asgari bilgi düzeyi için 0,9; kapsamlı bilgi düzeyi için 1 değeri) ile çarpılarak taşıyıcı elemanların kapasite hesabında kullanılmaktadır.

Değerlendirmede; rölöve ve bilgi toplama işleminden sonra binanın üç boyutlu analizi için sonlu eleman modeli kurulmaktadır. Binanın risk durumunun belirlenmesi için oluşturulan hesap modeli mod birleştirme yöntemi kullanılarak X, Y yönünde ve depremin her iki doğrultusu için analiz edilmektedir. Riskli yapı tespitinde,

değerlendirmede kullanılan hesap yöntemi genel olarak 3 aşamadan oluşmaktadır. Eleman risk tespitinden bina geneline doğru ilerleyen bu yöntemde sırasıyla elemanların, katların ve binanın risk durumu değerlendirilmektedir. (Şekil 1). Önerilen bu hesap yönteminde, tüm kolonlar göçme mekanizmalarına göre 3 farklı grupta sınıflandırılmaktadır; i) eğilme göçmesi-A grubu, ii) eğilme-kesme göçmesi-B grubu, iii) kesme göçmesi- C grubu. Sınıflandırmada, kesme kuvvetinin kesme kapasitesine oranı (V_e/V_r oranı) ve enine donatı detayı (sargılama etkisi) dikkate alınmaktadır (Tablo 1). Kolon ve kirişlerde V_e/V_r oran hesabı ayrıntılı olarak RYTEİE'nin [2] EK-D bölümünde verilirken, bu çalışmada V_e/V_r hesabı Şekil 2'de özet olarak verilmiştir. Şekil 2'de açıklanan iki farklı değerlendirmeden elde edilen minimum değer V_e/V_r değeri olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Riskli yapı tespiti yöntem algoritması.

Tablo 1. Kolon sınıflandırma tablosu [2].

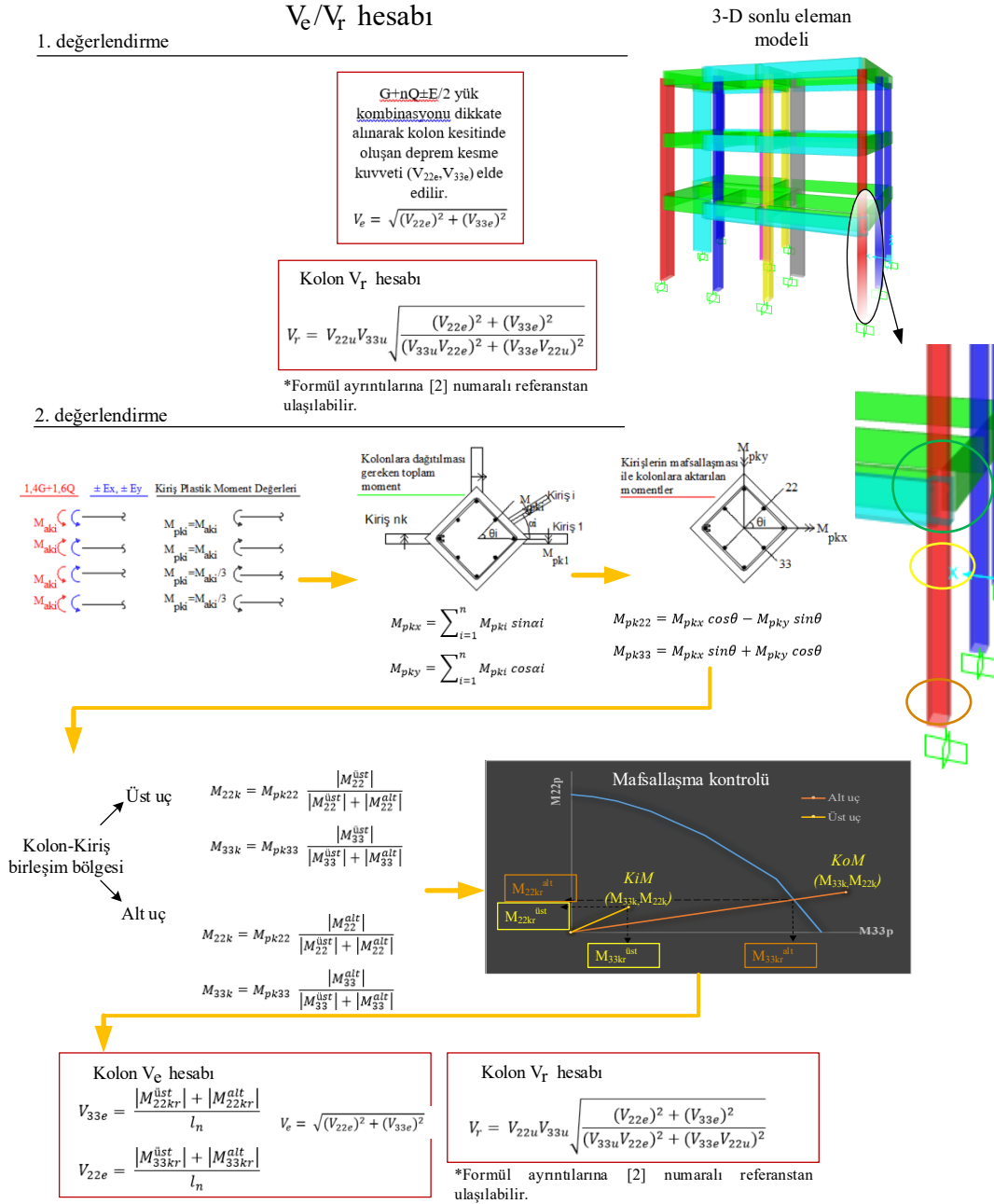
V_e/V_r	Aralığı $s \leq 100$ mm olan, her iki ucunda 135° kancalı etriyesi bulunan ve toplam enine donatı alanı $A_{sh} \geq 0,06sb_k(f_{cm}/f_{yw})$ denklemini sağlayan kolonlar	Diğer durumlar
$V_e/V_r \leq 0,7$	A	B
$0,7 < V_e/V_r \leq 1,1$	B	B
$1,1 < V_e/V_r$	B	C

Kolon sınıflandırmasının ardından, deprem etkisi altında elde edilen kesit moment değerleri, kolonların moment kapasitelerine bölünerek Etki/Kapasite Oranı (m) hesaplanmaktadır. Ötelenme değerleri kat yüksekliğine bölünerek ötelenme oranları (δ/h) elde edilmektedir. Elde edilen m ve δ/h değerleri Tablo 2'de kolon sınıflandırması ve eksenel yük oranına bağlı verilen sınır değerler ile kıyaslanarak eleman risk durumu belirlenmektedir. Tablo 2'de verilen sınır değerlerin aşılması halinde eleman riskli kabul edilmektedir.

Tablo 2. Kolonlar için sınır değerler [2].

A grubu kolonlar			
$N_k / (f_{cm} A_c)$	$m_{sınır}$	$(\delta/h)_{sınır}$	
$\leq 0,1$	5,0	0,035	
$\geq 0,6$	2,5	0,0125	
B grubu kolonlar			
$N_k / (f_{cm} A_c)$	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
C grubu kolonlar			
$m_{sınır}$		$(\delta/h)_{sınır}$	
1,0		0,005	

*Tablodaki ara değerler doğrusal enterpolasyon ile bulunabilir.



Şekil 2. Riskli bina tespitinde V_e/V_r hesabı.

Eleman risk tespitinden sonraki adımda her kat için risk tespiti yapılmaktadır. Bu amaçla tüm katlarda, düşey yük etkisi altında tüm kolonların aksenal basınç gerilmeleri hesaplanmakta ardından kata ait ortalama aksenal basınç gerilmeleri elde edilmektedir. Kolonların ortalama basınç gerilme değerlerine bağlı olarak kat kesme kuvveti oranı sınır değerleri belirlenmektedir (Tablo 3). Riskli bulunan kolonların kesme kuvvetlerinin toplamının ilgili katta kat kesme kuvvetine bölünmesiyle hesaplanan kat kesme kuvveti oranı ile sınır değer karşılaştırması yapılarak ilgili katın risk durumu tespit edilmektedir. Kat kesme kuvveti oranlarının sınır değeri aşması halinde kat riskli olarak değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucunda, herhangi bir katın riskli bulunması durumunda bina Riskli yapı olarak tanımlanmaktadır.

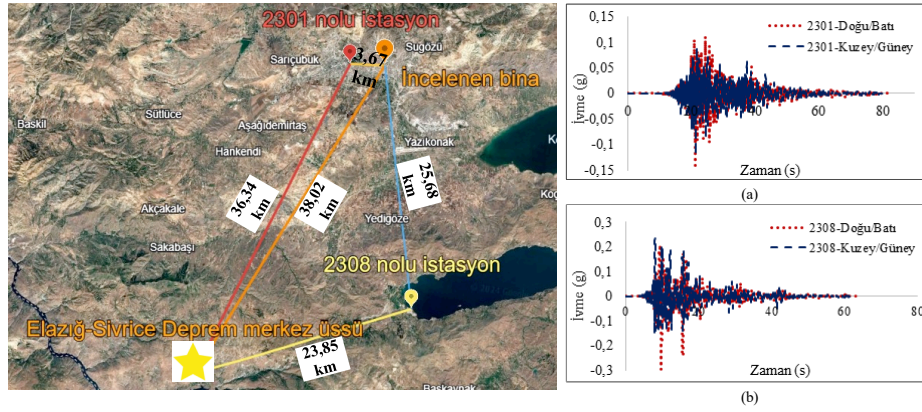
Tablo 3. Riskli bina tanımlamasında kullanılan kat kesme kuvveti oranı sınır değerleri [2].

Kolon ortalama basınç gerilme değerleri	Kat kesme kuvveti oranı sınır değerleri
$\geq 0,65 f_{cm}$	0
$0,1 f_{cm} \geq$	0,35

*Tablodaki ara değerler doğrusal enterpolasyon ile bulunabilir.

3. Elazığ-Sivrice Depremi Sonrası Hasarlı Binalar Üzerine Yapılan İncelemeler

24 Ocak 2020 tarihinde merkez üssü Sivrice olan bir deprem meydana gelmiştir. 24 Ocak Elazığ-Sivrice depremi Elazığ ili başta olmak üzere çevre illerde de hissedilmiştir. Sivrice (Elazığ) depremine ilişkin veriler, AFAD-TADAS [10] veri tabanından elde edilmiştir. Deprem 24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saatle 20:55'te meydana geldiği, büyüklüğünün Mw 6.8 olduğu, merkez üssünün 38.36° enlem ve 39.06° boylamda meydana geldiği ve odak derinliğinin 8.06 km olduğu belirlenmiştir. Deprem 24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saatle 20:55'te meydana geldiği, büyüklüğünün Mw 6.8 olduğu, merkez üssünün 38.36° enlem ve 39.06° boylamda meydana geldiği ve odak derinliğinin 8.06 km olduğu belirlenmiştir. Deprem 24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saatle 20:55'te meydana geldiği, büyüklüğünün Mw 6.8 olduğu, merkez üssünün 38.36° enlem ve 39.06° boylamda meydana geldiği ve odak derinliğinin 8.06 km olduğu belirlenmiştir. Deprem 24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saatle 20:55'te meydana geldiği, büyüklüğünün Mw 6.8 olduğu, merkez üssünün 38.36° enlem ve 39.06° boylamda meydana geldiği ve odak derinliğinin 8.06 km olduğu belirlenmiştir. Deprem 24 Ocak 2020 tarihinde, yerel saatle 20:55'te meydana geldiği, büyüklüğünün Mw 6.8 olduğu, merkez üssünün 38.36° enlem ve 39.06° boylamda meydana geldiği ve odak derinliğinin 8.06 km olduğu belirlenmiştir.



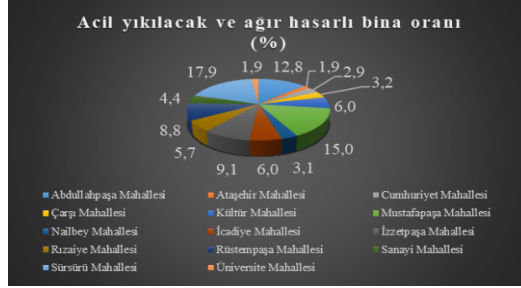
Şekil 3. Elazığ Depremi'nin merkez üssü ve incelenen binaya en yakın istasyonların konumları ile deprem ivme kayıtları a)2301 nolu istasyon, b)2308 nolu istasyon.

Tablo 4. Elazığ Depremi merkez üssüne ve incelenen binaya en yakın istasyonlardan alınan en büyük yer ivmesi değerleri

Deprem Kayıt İstasyonu	Enlem	Boylam	Deprem Merkez Üssüne Olan Mesafe (km)	İnceleme Konusu Binaya Olan Mesafe (km)	PGA(g)
Elazığ-Merkez (2301 İstasyon)	38.67043°	39.19267°	36,34	3,67	0,14
Elazığ-Sivrice (2308 İstasyon)	38.45063°	39.3102°	23,85	25,68	0,30

Deprem sonrası Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından il genelinde hasar tespit çalışmalarına başlanmış, kesin hasar tespit ve itiraz süreçleri ile birlikte yaklaşık üç aylık sürede hasar tespit çalışmaları tamamlanmıştır. İl genelinde 14.04.2020 tarihi itibarıyla ilan edilen sonuçlara göre toplam 86.595 bina teknik ekiplerce incelenmiş olup, 16.606 adet bina acil yıkılması gereken ve ağır hasarlı binalar olarak sınıflandırılmıştır [6]. Hasar tespit çalışmaları sonucunda acil yıkılacak ve ağır hasarlı bina sınıfında bulunan binaların çoğunluğu Merkez Abdullah Paşa, Mustafa Paşa, Sürsürü ve Rüstem Paşa mahallelerinde bulunurken (Şekil 4), il genelinde yıkım ve hasar özellikle bu mahallelerde yoğunlaşmıştır [11]. Merkez Abdullah Paşa,

Mustafa Paşa, Rüstem Paşa ve Sürsürü mahalleleri Bakanlık tarafından başlatılan kentsel dönüşüm çalışmaları kapsamında Riskli Alan (kentsel dönüşüm alanları) olarak ilan edilmiştir [6].



Şekil 4. Elazığ ili merkez mahallelerinin bir bölümü hasar dağılımı [11].

Fırat Yapısal Hasarları Araştırma Grubu (FYHAG) tarafından yapılan saha incelemelerine dayanarak riskli alan ilan edilen bu mahallelerdeki bina stoku incelemelerinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir [11].

- Deprem sonrası hasar gören bina stokunun çoğunluğu 1975-1998 yılları arasında inşa edilmiş olup, kat adedi 5-6 arasında değişen, betonarme çerçeve sistemli binalardan oluşmaktadır.
- Yapılan saha incelemelerinde, binaların inşa yıllarında yürürlükte olan yönetmelik/standartlarda belirtilen şartların çoğunu sağlamadığı görülmüştür. Taşıyıcı elemanlarda sarılma bölgelerinin oluşturulmamış olması, kesit üzerinde sargı etkisini olumsuz yönde etkileyen birçok durumla (250-350 mm arasında değişen geniş etriye aralıkları, çiroz kullanılmaması, kanca detaylarının 900 yapılması) karşılaşılmıştır bu durumu göstermektedir.
- Sahada malzeme kalitesinin tespitinde gözlemsel olarak yapılan incelemelerde betonun elle karılan beton olduğu, düz yüzeyli donatı kullanıldığı görülmüştür. Deprem sonrası enkaz haline gelmiş binalardan alınan (sınırlı şartlar altında) numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda ise malzeme kalitesinin düşük olduğu (beton basınç dayanımı 7 ~10 MPa, donatı akma dayanımı 220 MPa) tespit edilmiştir.
- Ayrıca, riskli alan olarak tanımlanan mahallelerde incelenen bina stoku üzerinde binaların deprem davranışı üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu bilinen yapısal düzensizlik durumlarının da mevcut olduğu görülmüştür. İncelenen binalar üzerinde plan düzensizliği, yumuşak/zayıf kat, kapalı çıkma durumları ile yaygın olarak karşılaşılmıştır. Ayrıca, bu binalarda taşıyıcı elemanların plan üzerinde simetrik dağılıma sahip olmaması ve güçlü kolon-zayıf giriş koşulunun sağlanmaması durumları bina stokunun deprem davranışını olumsuz yönde etkilemiş, hasarı artırıcı rol oynamıştır.

3.1. Riskli alan olarak ilan edilen bölgede incelenen örnek bina: Aydın Apartmanı

Elazığ-Sivrice depremi sonrasında hasarın yoğun olarak gözlemlendiği Mustafa Paşa mahallesinde konumlanan Aydın apartmanı bu çalışmada, deprem sonrası riskli alan ilan edilmiş bölgelerdeki az katlı bina portföyünü temsilen seçilmiştir. Aydın apartmanı, 1992 yılında inşa edilmiş, 2020 yılında meydana gelen Elazığ-Sivrice depremi sonrasında yapılan hasar tespit çalışmaları sonucunda ağır hasar sınıfına alınmış ve binanın acil yıkımı gerçekleştirilmiştir. Depremden hemen sonra binanın yıkımına kadar geçen kısa süre içerisinde FYHAG tarafından yapılan incelemelerle binaya ait bazı bilgiler (inşa yılı, kat yükseklikleri, yapısal düzensizlik durumları) toplanmış ve hasar gözlemleri fotoğraflanmıştır.

Ön ve arka cephe görünüşleri Şekil 5'te verilen Aydın apartmanı bodrum, zemin ve 4 normal kattan oluşmaktadır. Binanın zemin katı ticari, normal katları ise konut olarak kullanılmaktadır. Zemin katın ticari amaçlı kullanımı nedeniyle zemin katı normal katlara oranla daha yüksek olup, zemin kat yüksekliği 3,40 m, normal kat yüksekliği ise 2,70 m'dir. FYHAG tarafından yapılan saha çalışmaları sırasında (gözlemsel inceleme) elle karılan beton (C7~C10) ve düz yüzeyli donatı (S220) kullanıldığı, etriye aralığının yaklaşık 300 mm olduğu görülmüştür [11]. Ayrıca, binanın tasarımı aşamasında mimari fonksiyonellik göz önünde bulundurularak kolonların güçlü yönlerinin çoğunlukla ana caddeye dik doğrultuda yerleştirildiği görülmüştür (Şekil 6).

Bina üzerine yapılan incelemelerde, zemin katta bir adet kolonda kesme hasarı meydana gelmiştir. Bina üzerinde hem yumuşak/zayıf kat varlığının hem de plan üzerinde düşey taşıyıcıların güçlü yönlerinin tek doğrultuda yerleşiminin depremden sonra binada oluşan hasar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.



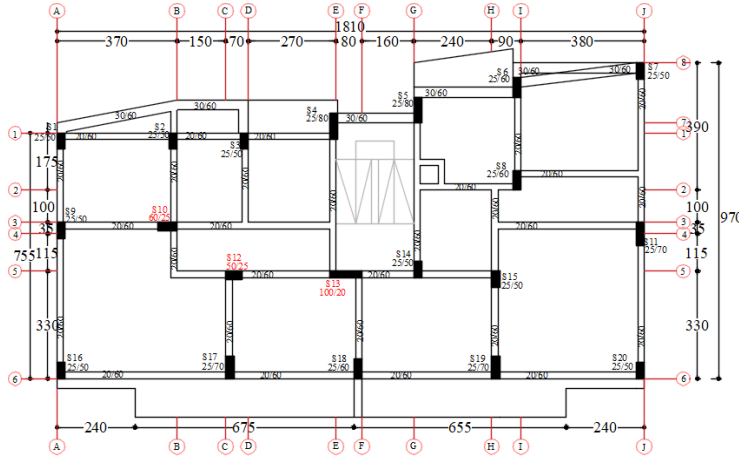
Şekil 5. Aydın apartmanı cephe görüntüleri.

4. Modelleme Detayı

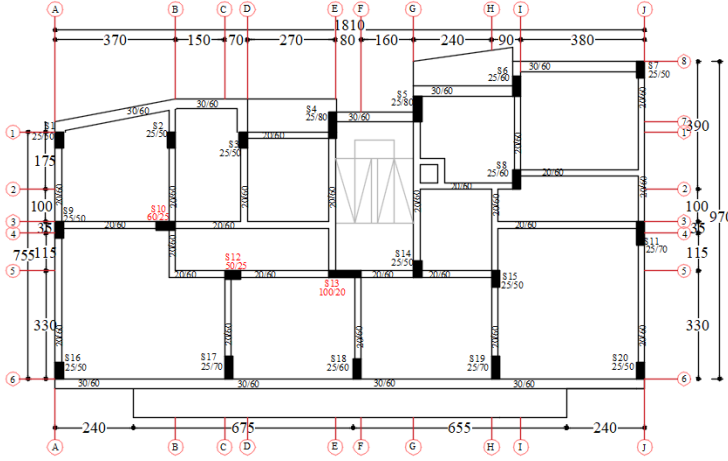
Çalışma kapsamında, 6306 Sayılı kanun kapsamında sunulan RYTEİE'ye göre az katlı betonarme binalar için önerilen risk tespit yöntemiyle Aydın Apartmanının risk durumu değerlendirilmiştir. Bu amaçla riskli yapı tespit yöntemine göre, incelenen binanın 3-boyutlu sonlu eleman modeli kurulmadan önce binanın taşıyıcı sistem projelerinin elde edilmesi ve/veya projenin yerinde kontrolünün yapılması gerekmektedir. Ancak Aydın Apartmanının Elazığ-Sivrice depreminden hemen sonra yıkımı gerçekleştirildiği için projenin yerinde kontrolünün yapılması mümkün olmamıştır. FYHAG tarafından yapılan saha çalışmasında binanın deprem sonrası yapısal hasar durumuna odaklanılmış, hasar nedenleri araştırılmış, bina hakkında sınırlı sayıda bilgi elde edilebilmiştir. Bu çalışmada, modelleme aşamasında Aydın Apartmanına ait il belediyesinden temin edilen taşıyıcı sistem projesi kullanılmıştır. Zemin ve normal katları için verilen kat planları ve düşey taşıyıcı eleman kesit detayları (Şekil 6) dikkate alınarak kat adedi ve kat yükseklikleri ile uyumlu olarak tüm katlar 3 boyutlu modele yansıtılmıştır. Proje üzerinde düşey taşıyıcı eleman kesit detaylarında etriyeler sarılma ve orta bölge için sırasıyla 100 mm ve 200 mm olarak belirtilmişken, bu çalışmada modelleme aşamasında etriye aralığı 300 mm [11] numaralı referanstaki saha gözlemleri esas alınarak) olarak kabul edilmiştir.

Riskli yapı tespitinde, yerinde mevcut malzeme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla belirli sayıda kolon üzerinde tahribatsız/tahribatlı yöntemler kullanılarak inceleme yapılması gerekmektedir. Ancak Aydın Apartmanının deprem sonrasında acil yıkılacak bina sınıfına alınması sebebiyle yerinde mevcut malzeme dayanımlarının belirlenmesi de mümkün olmamıştır. Bu çalışmada malzeme dayanımlarının belirlenmesinde, FYHAG tarafından göçen binalardan alınan malzeme örneklerinin deney sonuçları esas alınmıştır. Mevcut beton basınç dayanımı 8 MPa, donatı akma dayanımı ise 220 MPa olarak alınmıştır. Projede verilen taşıyıcı sistem özelliklerinin yerinde kontrol edilmemiş olması nedeniyle hesaplarda mevcut malzeme dayanımları asgari bilgi düzeyi katsayısı (0,90 değeri) ile çarpılarak dikkate alınmıştır. Yapısal modellemede her kat için rijit diyafram kabulü yapılmış, döşemeler tanımlanmamıştır. Döşemelerden gelen yükler doğrudan kirişlere etki ettirilmiştir. Model SAP2000 [12] programı kullanılarak mod birleştirme yöntemiyle analiz edilmiştir. Model tasarımı ve analiz için gerekli bilgiler Tablo 5'te verilmiştir.

6306 Sayılı Kanun Kapsamında Sunulan Riskli Yapı Tespit Yöntemiyle Az Katlı Betonarme Binaların Değerlendirilmesi: Elazığ-Sivrice (2020) Depremi Sonrasında Hasar Görmüş Bina Örneği



Zemin Kat Planı



Normal Kat Planı

	Zemin Kat			1. Kat		
	b/d	As	Etriye	b/d	As	Etriye
S1	25/50	6Ø14	Ø8/20-10	25/50	6Ø14	Ø8/20-10
S2	25/50	10Ø14				
S3	25/50	8Ø14				
S4	25/80	10Ø14				
S5	25/80	10Ø14				
S6	25/60	8Ø14				
S7	25/50	6Ø14				
S8	25/60	8Ø14				
S9	25/50	8Ø14				
S10	25/50	10Ø14				
S11	25/50	12Ø14				
S12	25/50	6Ø14				
S13	20/100	12Ø14				
S14	25/50	8Ø14				
S15	25/50	8Ø14				
S16	25/50	8Ø14				
S17	25/70	12Ø14				
S18	25/60	10Ø14				
S19	25/70	12Ø14				
S20	25/50	6Ø14				
	2. Kat			3. ve 4. Kat		
	b/d	As	Etriye	b/d	As	Etriye
S1	25/50	6Ø14	Ø8/20-10	25/50	6Ø14	Ø8/20-10
S2	25/50	6Ø14				
S3	25/50	6Ø14				
S4	25/80	10Ø14				
S5	25/80	10Ø14				
S6	25/60	8Ø14				
S7	25/50	6Ø14				
S8	25/60	8Ø14				
S9	25/50	6Ø14				
S10	25/50	6Ø14				
S11	25/50	8Ø14				
S12	25/50	6Ø14				
S13	20/100	12Ø14				
S14	25/50	6Ø14				
S15	25/50	6Ø14				
S16	25/50	6Ø14				
S17	25/50	8Ø14				
S18	25/50	6Ø14				
S19	25/50	8Ø14				
S20	25/50	6Ø14				

Şekil 6. Kat planları, projede verilen düşey taşıyıcı eleman boyut ve donatı detayları (ölçüler cm biriminde verilmiştir).

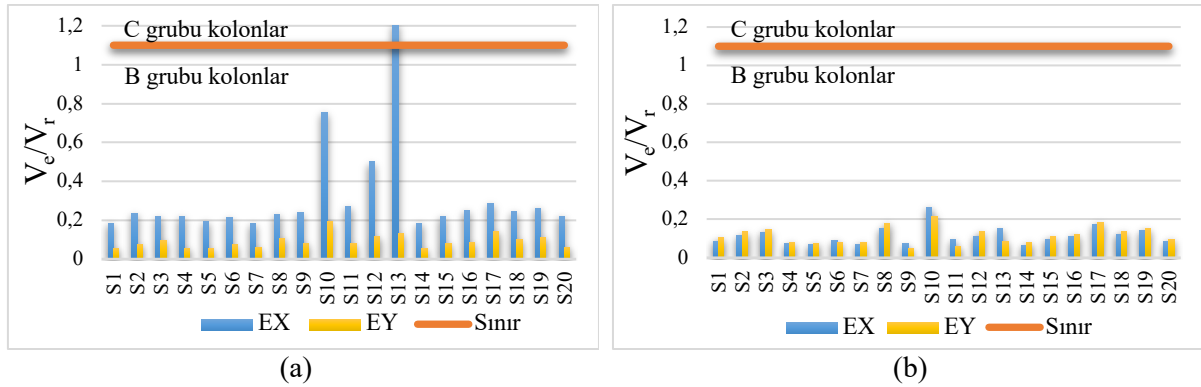
Tablo 5. Model tasarımı ve analize ait bilgiler.

İl/İlçe/Mahalle	Elazığ/Merkez/Mustafa Paşa	
Bina kullanım tipi	Ticari+konut	
Kat adedi	Bodrum+Zemin+4 Normal kat	
Kat yüksekliği (m)	Zemin	3,40
	Normal	2,70
Mevcut malzeme	Beton	
dayanımı (MPa)	Beton	8
	Donatı	220
Döşeme kalınlığı (m)	0,12	
Kaplama+sıva ağırlığı (kN/m ²)	1,50	
Hareketli yük(kN/m ²)	2,00	
Duvar yükü(kN/m ²)	2,40	
Muatafa Paşa mahallesi zemin tipi	D sınıfı [13]	
Hareketli yük azaltma katsayısı	0,30	
Deprem düzeyi	DD-2	
Tasarım spektral ivme katsayıları	S _{ds}	1,035
	S _{d1}	0,536

5. Aydın Apartmanının Risk Tespit Sonuçları

Risk değerlendirmesi yapılan Aydın apartmanının 3D sonlu eleman modeli mod birleştirme yöntemi kullanılarak x ve y yönlerinde depremin her iki doğrultusu ($\pm EX$, $\pm EY$) için analiz edilmiştir. Riskli yapı tespitinde kullanılan yöntem gereği, eleman risk tespitinden bina geneline doğru ilerleyen aşamalı bir değerlendirme yöntemi benimsenmiştir.

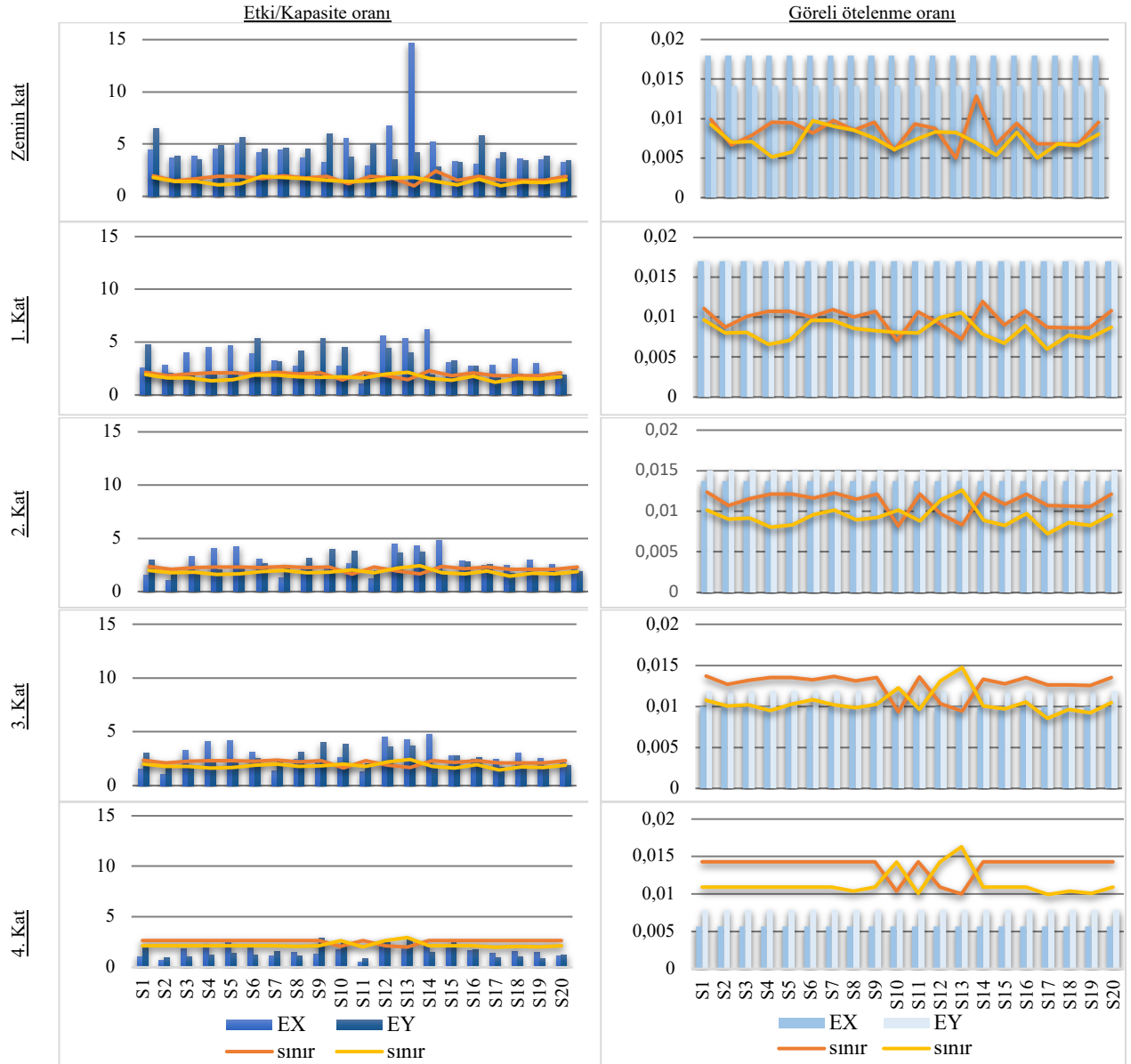
Eleman risk durum değerlendirmesinde ilk olarak model üzerinde tüm kolonların (S1-S20), kesme kuvvetinin eleman kesme kapasitesine oranları (V_c/V_r) hesaplanmıştır. V_c/V_r oranları ile elemanların enine donatı detayları (sargılanma durumları) dikkate alınarak kolon sınıfları (Tablo 1) belirlenmiştir. Saha çalışmaları kapsamında Aydın Apartmanı ile temsil edilen bina portföyünde genellikle etriyelerin 100 mm'den büyük aralıklar ile yerleştirildiği ve kancaların 90° yapıldığı görülmüştür. Dolayısıyla Tablo 1'üzerinden yapılan sınıflandırmada bu çalışmada V_c/V_r oranına bağlı olarak model üzerinde tüm kolonların B veya C sınıfında dağılım göstermesi beklenmektedir. Hesaplanan V_c/V_r değerlerinin B grubu ve C grubu ayrımı için verilen sınır değer (Tablo 1, sınır değer =1,10) üzerinde kalması halinde kolonlar C grubu olarak, aksi halde B grubu olarak sınıflandırılacaktır. Şekil 7'de Zemin Kat ve 1. Katta bulunan kolonların V_c/V_r değerleri pozitif X ve Y yönü için grafiksel olarak verilmiştir. V_c/V_r değerleri incelendiğinde, en yüksek V_c/V_r değerinin pozitif X yönü için zemin katta bulunan S13 kolonunda elde edildiği görülmüştür. Zemin katta bulunan bir adet kolon (S13 kolonu) hariç model üzerinde bulunan tüm kolonların B grubu (eğilme-kesme göçmesi), zemin katta bulunan S13 kolonunun ise C grubu (kesme göçme mekanizması) sınıfında olduğu görülmüştür. Diğer normal katlarda bulunan elemanlar için 1. Katta benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle Şekil 7'de sadece Zemin ve 1. Katta bulunan eleman sonuçları grafiklerde paylaşılmıştır. Aynı zamanda hesaplamalar tüm katlarda X ve Y yönleri için depremin her iki doğrultusu için yapılmışken, grafiklerde en büyük değerlerin elde edildiği yön ve doğrultulara (+EX ve +EY) ait sonuçlar paylaşılmıştır.



Şekil 7. V_c/V_r oranına bağlı kolon sınıflandırması, a) Zemin Kat, b) 1.Kat

Kolon sınıflandırmasının ardından, kolonların etki/kapasite oranları (m) ve görelî ötelenme oranları (δ/h) hesaplanmış, kolon sınıfına bağlı olarak Tablo 2'de verilen sınır değerler ($m_{\text{sınır}}$ ve $(\delta/h)_{\text{sınır}}$) ile Şekil 8'de verilen grafiklerde karşılaştırılmıştır. Zemin katta bulunan elemanlarda üst katlara oranla genellikle daha büyük m değerleriyle karşılaşılmıştır. En yüksek etki/kapasite oranının (m) pozitif X yönü için zemin katta bulunan S13 kolonunda elde edildiği görülmüştür. Üst katlara doğru m değerlerinin S13 kolonu başta olmak üzere diğer tüm kolonlarda azaldığı, $m_{\text{sınır}}$ değerlerine yakın değerler aldığı görülmüştür. Bu durum üst katlara doğru elemanlardaki riskin azalmasına neden olmuştur. Özellikle son katta (4. Kat) bulunan elemanların çoğunda m değerleri sınır değerinin altında kalmıştır.

Şekil 8 üzerinde görelî ötelenme oranları (δ/h) incelendiğinde ise, en büyük (δ/h) değerlerinin zemin katta elde edildiği görülmüştür. Bu durum üzerinde binanın zemin katının normal katlara oranla yüksek yapılması (zemin katın ticari amaçlı kullanılmakta) nedeniyle oluşan yumuşak kat mekanizmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Üst katlara çıkıldıkça görelî ötelenme oranlarının azaldığı ve $(\delta/h)_{\text{sınır}}$ değerlerine yakın değerler aldığı görülmüştür. Bu durum üst katlara doğru elemanlardaki riskin azalmasına neden olmuştur. Son katta bulunan elemanların tümü, 3. Katta bulunan elemanların ise birkaçının (δ/h) değerleri sınır değerinin altında kalmıştır. Etki/kapasite oranı ve görelî ötelenme oranlarının sınır değer karşılaştırması sonucunda tüm katlarda elemanların (son katta bulunan çoğu eleman haricinde) risk sınırını aştığı görülmüştür (Tablo 6).



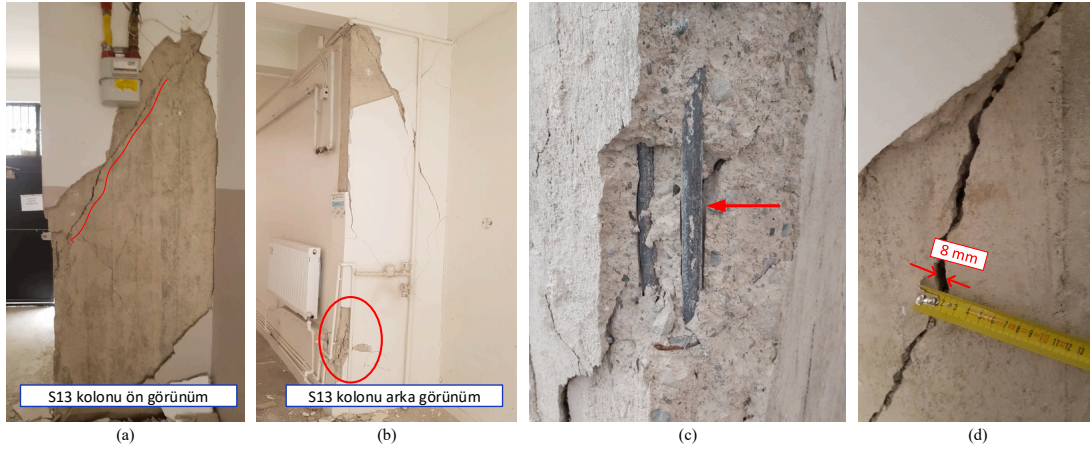
Şekil 8. Etki/kapasite (m) ve görelî ötelenme oranlarının (δ/h) sınır değer karşılaştırması.

Tablo 6. Eleman risk durumları

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Zemin kat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kat 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kat 2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kat 3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kat 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
Zemin kat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kat 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kat 2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kat 3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kat 4	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓

* Tablo üzerinde riskli elemanlar x simgesi, risksiz bulunan elemanlar ise ✓ simgesi ile temsil edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, riskli bina tespit yöntemiyle yapılan değerlendirme sonuçları (eleman, kat risk durumlarını belirlenmesinde kullanılan m ve δ/h değerlerinin sınır değer kıyaslamaları) deprem sonrası hasar gözlemleri ile kıyaslanmıştır. Elazığ-Sivrice depremi sonrasında bina üzerinden yapılan incelemeler sonucunda en belirgin hasar zemin katta bulunan S13 kolonunda gözlenmiştir (Şekil 9). Kesme hasarı alan bu kolon (S13 kolonu) üzerinde ortalama 8 mm genişliğinde diyagonal kesme çatlakları oluşurken boyuna donatılarında burkulma meydana gelmiştir [11]. Zemin katta bulunan S13 kolonu haricinde diğer kolonlarda belirgin bir yapısal hasarla karşılaşmamıştır (Şekil 10). Eleman risk durum değerlendirmesine göre, zemin katta bulunan S13 kolonu kesme geçmesi beklenen kolon sınıfına (C grubu kolon) alınmıştır. Ayrıca, sistem üzerinde C grubu olarak sınıflandırılan tek kolonun S13 kolonu olduğu, m ve δ/h değerlerinin diğer kolonlara oranla sınır değerlerin oldukça üstünde değerler aldığı görülmüştür.



Şekil 9. Elazığ-Sivrice depremi sonrasında zemin katta incelenen S13 kolonu, a) 45° kesme hasarı, b) kabuk betonda dökülme, c) boyuna donatıda burkulma, d) 8 mm boyutunda çatlak [11].



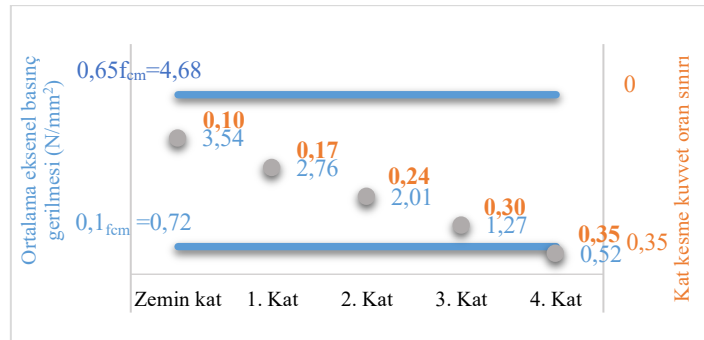
Şekil 10. Zemin katta belirgin hasar almayan kolonlar.

Eleman risk durumu belirlenen model üzerinde bir sonraki aşama olarak katların risk durumunun belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 7’de tüm katlar için kolonların elde edilen kesme kuvvet değerleri verilmiş, her kat için risk sınırını aşan kolonların kesme kuvvetlerinin toplamı, kat kesme kuvvetine bölünerek kat kesme kuvveti oranları hesaplanmıştır. Katların risk durumunun belirlenebilmesi için, incelenen kata ait kesme kuvveti oranının Tablo 3’te belirtilen kesme kuvvet oranı sınır değerleri ile kıyaslanması gerekmektedir. Bu amaçla tüm katlar için kolonların aksenal basınç gerilme değerleri hesaplanmıştır. Tablo 7’de aksenal basınç gerilme değerleri toplamı katta bulunan toplam kolon sayısına bölünerek ortalama aksenal basınç gerilme değerleri elde edilmiştir.

Tablo 7. Katlara göre hesaplanan kesme kuvveti oranları ve ortalama aksenal basınç gerilmeleri.

	Kesme kuvveti (kN)					Eksenel basınç gerilme değerleri (N/mm ²)				
	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat
S1	92,21	78,05	29,43	26,68	13,60	2,91	2,24	1,64	1,04	0,43
S2	105,30	106,34	33,91	34,7	17,81	4,04	3,13	2,28	1,43	0,58
S3	108,05	173,24	130,19	95,57	54,42	3,61	2,77	2,02	1,27	0,53
S4	177,62	273,61	219,93	157,76	85,39	2,93	2,30	1,69	1,07	0,45
S5	178,95	279,85	227,06	164,08	91,72	2,94	2,31	1,70	1,08	0,46
S6	94,99	86,85	35,39	30,46	14,77	2,96	2,27	1,65	1,03	0,40
S7	127,30	187,82	133,44	99,53	57,25	3,51	2,68	1,95	1,22	0,50
S8	102,66	125,88	100,67	73,45	42,35	3,60	2,81	2,05	1,29	0,52
S9	72,33	68,36	56,01	42,47	26,7	3,26	2,58	1,88	1,17	0,46
S10	438,25	274,53	261,07	192,35	105,7	4,58	3,57	2,58	1,61	0,65
S11	82,89	37,42	37,20	24,35	7,95	3,01	2,37	1,73	1,08	0,43
S12	345,82	440,07	331,18	236,46	126,78	3,61	2,73	2,01	1,27	0,53
S13	2073,42	943,23	902,99	610,77	155,96	3,62	2,77	2,02	1,27	0,52
S14	129,93	252,28	188,04	130,64	67,53	3,55	2,81	2,06	1,30	0,54
S15	87,4	126,16	110,46	85,94	59,42	4,32	3,37	2,45	1,54	0,63
S16	79,41	103,76	91,78	68,9	45,02	3,15	2,46	1,79	1,12	0,45
S17	123,39	169,99	145,45	101,84	53,55	3,97	3,12	2,29	1,46	0,64
S18	112,78	177,56	148,91	108,07	62,43	3,95	3,11	2,28	1,46	0,63
S19	130,91	193,87	164,12	118,07	67,35	4,04	3,20	2,36	1,51	0,67
S20	72,82	83,54	74,88	50,97	24,71	3,19	2,53	1,84	1,16	0,48
<u>Kesme kuvveti oranı:</u>	1	1	1	1	0,18					
<u>Ortalama aksenal basınç gerilmesi:</u>						3,54	2,76	2,01	1,27	0,52

Elde edilen ortalama aksenal basınç gerilmesi değerlerine karşılık kesme kuvveti oranı sınır değerlerinin belirlenmesinde Şekil 11’de belirtilen grafik kullanılmıştır. Ortalama aksenal basınç gerilmesinin $0,65f_{cm}$ değerinden büyük olması halinde kesme kuvveti oranı sınırı sıfır iken; $0,1f_{cm}$ değerinden küçük olması halinde kesme kuvveti oranı sınır değeri 0,35 olarak verilmiştir (Şekil 11). Grafik üzerindeki ara değerler ise doğrusal enterpolasyon yapılarak belirlenmiştir.



Şekil 11. Katlara ait kesme kuvvet oranı sınır değerlerinin belirlenmesi.

Hesaplanan kesme kuvveti oranları (Tablo 7), kesme kuvveti oranı sınır değerleri (Şekil 11) ile Şekil 12’de kıyaslanmıştır. Şekil 12’de verilen grafik incelendiğinde, son kat haricindeki tüm katlarda kesme kuvvet oranı sınırının aşıldığı görülmüştür. Dolayısıyla son kat haricindeki tüm katlar riskli olarak değerlendirilmiştir (Şekil 12). Riskli bina tespit yönteminde, bina üzerinde herhangi bir katın riskli bulunması halinde bina riskli bina olarak değerlendirilmelidir. Çalışma kapsamında, Aydın Apartmanının tüm katları için yapılan değerlendirme (x ve y yönleri ve depremin her iki doğrultusunda) sonucunda binanın Riskli Bina sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 12. Aydın Apartmanının risk değerlendirme sonucu.

6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Elazığ-Sivrice (2020) depreminden sonra ağır hasarlı olarak sınıflandırılan (*il genelinde yapılan hasar tespit sonuçlarına göre*) Aydın Apartmanı, 6306 sayılı kanun kapsamında az katlı betonarme binalar için sunulan risk tespit yöntemiyle değerlendirilmiştir. Binaların risk tespitinde kullanılan yöntemin etkinliği, deprem sonrası hasar almış az katlı bir bina özelinde değerlendirilmiştir. Eleman ve kat bazında riskli bina tespitinden elde edilen değerlendirme sonuçları binanın taşıyıcı elemanlarında gözlenen hasarları ile kıyaslanarak yorumlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Riskli bina tespit yönteminin ilk aşaması olarak görülen kolon sınıflandırmasında, elemandan beklenen göçme mekanizması ile deprem sonrası oluşan hasar tipinin oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durumu zemin kattan çekilen hasarlı kolona ait fotoğraflar desteklemektedir. Dolayısıyla, eleman risk değerlendirme aşamasında kolonları esas alan bir değerlendirmenin kritik elemanların (deprem sonrası hasar alabilecek) belirlenmesinde yol gösterici olduğu söylenebilir.
- Değerlendirme konusu binanın, deprem sonrası gözlemlenen hasarı üzerinde yumuşak/zayıf kat kusurunun varlığı ile düşey taşıyıcıların çoğunun plan üzerinde güçlü yönlerinin tek doğrultuda (ana caddeye dik) yerleşimlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Riskli yapı tespit yöntemiyle yapılan değerlendirme sonucunda en yüksek etki/kapasite (m) oranı ve görece ötelenme oranlarının (δ/h) plan üzerinde güçlü yönleri ana caddeye paralel konumlanan zemin kat kolonlarında elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle Aydın apartmanının eleman ve kat bazlı yapılan risk tespit değerlendirmesinin binanın yapısal kusurlarına bağlı olarak Elazığ-Sivrice depremi sonrası binada gözlenen hasarları ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Değerlendirme sonucunda Aydın Apartmanının son katı hariç tüm katları riskli bulunmuş, dolayısıyla bina geneli riskli bina olarak değerlendirilmiştir. Yöntemin mevcut bina stoku içerisinde riskli bina tespitindeki başarısının yanında özellikle düşey taşıyıcı elemanlar arasında en riskli elemanın tespitinde bu çalışma özelinde oldukça etkili bir yöntem olduğu görülmüştür.

Riskli yapı tespit yönteminin binanın yapısal kusur durumlarına bağlı olarak meydana gelen hasar durumunu yansıtabilmesinin yanında detaylı değerlendirme yöntemlerine göre kolaylıkla uygulanabilir bir yöntem olması nedeniyle az katlı eski bina stokunun risk değerlendirmesinde etkin olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

Semboller

- V_e :düşey yükler ve deprem etkileri altında hesaplanan kesme kuvveti [kN]
- V_r : kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı [kN]
- s :triye aralığı
- A_{sh} : toplam sargı donatısı alanı
- b_k : kolon veya perde başlık bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu [mm]

- f_{cm} : mevcut beton basınç dayanımı [MPa]
- f_{ywm} : boyuna donatı mevcut akma dayanımı [MPa]

Teşekkür

Makale kapsamında, 24 Ocak 2020 Elazığ-Sivrice depremi sonrasında saha çalışmalarında bulunan ve inceleme konusu bina hakkında bilgilerin toplanmasına katkı sağlayan Fırat Yapısal Hasarları Araştırma Grubu üyelerine teşekkürlerimizi sunarız. Gerçekleştirilen çalışmada: N.D., fikir sahibi, analiz sonuçlarının yorumlanması, makalenin yazılması, A.Ç. ve F.O., modelleme ve analizlerin tamamlanması iş paketlerinde katkı sağlamışlardır.

Kaynaklar

- [1] T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun. Resmi Gazete: T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2012.
- [2] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar. 6306 Sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019.
- [3] Anıl Ö, Şahmaran M, Koçkar MK. 6306 Sayılı Kentsel Dönüşüm Yasası Risk Değerlendirme Tekniklerinin Saha Uygulaması: Beyoğlu Örneği. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı; 11-13 Ekim 2017; Anadolu Üniversitesi.
- [4] Türkel YE, Tekeli H. Konut Türü Betonarme Binaların Deprem Risk Değerlendirmesi. Politeknik Dergisi 2018; 21(3):669-680.
- [5] Bahşi E, Dada A, Gümüş E, Cenikli S. 6306 Sayılı Kanun Kapsamında Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar Uyarınca Riskli Yapı Tespiti Yapılan Binaların Sayısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Dirençlilik Dergisi 2023;7(1):153-169.
- [6] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://elazig.csb.gov.tr/2020-yili-icerisinde-elazig-dameydanagelen-depremler-ve-sonrasinda-yapilan-calismalar-haber-260760>. Erişim tarihi: "15-09-2024"
- [7] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://kahramanmaras.csb.gov.tr/rezerv-alanlarin-yikim-islemi-devam-etmektedir.-haber-286838>. Erişim tarihi: "15-09-2024"
- [8] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://altyapi.csb.gov.tr/riskli-yapi-sureci-i-104285>. Erişim tarihi: "15-09-2024"
- [9] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslara Yönelik Eğitim. <https://altyapi.csb.gov.tr/riskli-yapilarin-tespit-edilmesine-iliskin-esaslara-yonelik-egitim-i-91755>. Erişim tarihi: "15-09-2024"
- [10] Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi. <https://tadas.afad.gov.tr/map>. Erişim tarihi: "15-09-2024"
- [11] Şahin H, Alyamaç KE, Durucan AR, Demirel B, Ulaş Açıkgöçer M, Bildik AT, Durucan C, Demir T, ve diğerleri. 24 Ocak 2020 Mw 6.8 Sivrice Depremi Elazığ Bölgesi Yapısal Hasarlar İnceleme ve Değerlendirme Raporu. Yapı ve Beton Uygulamaları ve Araştırma Merkezi Fırat Üniversitesi, 2020.
- [12] CSI. SAP2000 Ultimate V24. Integr. Finite Elem. Anal. Des. Struct. Basic Anal. Ref. Manual, Comput. Struct. Acad. Perpetual Netw. Inc., Berkeley, California, USA, 2020.
- [13] Palutoğlu M. Elazığ Kent Merkezinin Tektoniği Depremselliği ve Mikrobölgeleme. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.