



Kırıkkale İli Özelindeki Betonarme Konutların DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 Yönetmeliklerine Göre Depremisel Açından Mukayesesi

Seismic Comparison of Reinforced Concrete Houses in Kırıkkale Province According to DBYBHY-2007 and TBDY-2018 Codes

Orhan Doğan¹, Yunus Genç², Filiz Doğan³, Necati Mert⁴

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

⁴Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 54050 Sakarya, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 01/05/2022

Kabul / Accepted: 08/06/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

Öz

1996 Deprem Bölgeleri Haritası'na göre ülkemizin alan ve nüfus olarak %90'dan fazlası deprem bölgesinde iken, 2018 yılında yayımlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritasına (TDTH) göre ülkemizin tamamı deprem riski altında bulunmaktadır. AFAD'a göre, yenilenen TDTH'de, deprem tehlikesi 46 il merkezinde düşürülürken 6 il merkezinde yükseltildiği ayrıca, en tehlikeli alanda bulunan yapı stokumuzun oranı %44 iken azalarak %26'ya düştüğü belirtilmektedir. TDTH'ye göre bazı bölgelerde deprem tehlikesi bir miktar azalmışsa da, yapı stokumuzun deprem performansının zayıf olabileceği düşünülerek, mevcut binaların depreme dayanıklı hale getirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Kırıkkale iline bağlı Merkez, Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Delice, Karakeçili, Keskin, Sulakyurt ve Yahşihan ilçe merkezi için planda simetrik, süneklik düzeyi yüksek ve betonarme çerçeveli 3, 4, 5, 6, 10 ve 14 katlı konutlar modellenmiştir. Hem Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'e (DBYBHY-2007) göre, hem de ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için Türk Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) göre, SAP2000 analiz programı kullanılarak eşdeğer deprem yükleri ayrı ayrı hesap edilmiştir. Genel olarak, DBYBHY-2007'ye göre tasarlanmış binaların TBDY-2018'e göre daha güçlü oldukları görülürken, bazı ilçelerde zemin ve kat adedine göre bazı konutların deprem performans analizinin yeniden yapılması, performans şartını sağlamayan binaların da güçlendirilmesi gerektiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

"Deprem tehlike haritası, Taban kesme kuvveti, Eşdeğer deprem kuvveti, DBYBHY-2007, TBDY-2018, Yerel zemin sınıfları"

Abstract

According to the 1996 Earthquake Zones Map, more than %90 of our country is in the earthquake zone in terms of area and population, while according to the Turkey Earthquake Hazard Map (TDTH) published in 2018, our whole country is under the risk of earthquakes. According to AFAD, in the TDTH, it is stated that the earthquake hazard has been reduced for 46 cities and increased for 6 cities. According to TDTH, although the earthquake hazard has decreased somewhat in some regions, existing buildings should be strengthened against earthquake, considering that the earthquake performance of our building stock may not be enough.

Within the scope of this study, 3, 4, 5, 6, 10 and 14 storey houses with a symmetrical plan, high ductility level and reinforced concrete frame were modeled for Merkez, Bahşılı, Baliseyh, Celebi, Delice, Karakeçili, Keskin, Sulakyurt and Yahsihan town centers in Kırıkkale province. According to both the Regulations on Buildings to be Built in Earthquake Zones (DBYBHY-2007) for the local soil classes Z1, Z2, Z3 and Z4, and the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018) for the local soil classes ZA, ZB, ZC, ZD and ZE equivalent earthquake loads were calculated separately using the SAP2000 analysis program. In general, it is seen that the buildings designed according to DBYBHY-2007 are stronger than those of TBDY-2018, while the earthquake performance analysis of some houses according to the number of floors and soils in some districts should be re-made and the buildings that do not have enough performance requirement should also be strengthened.

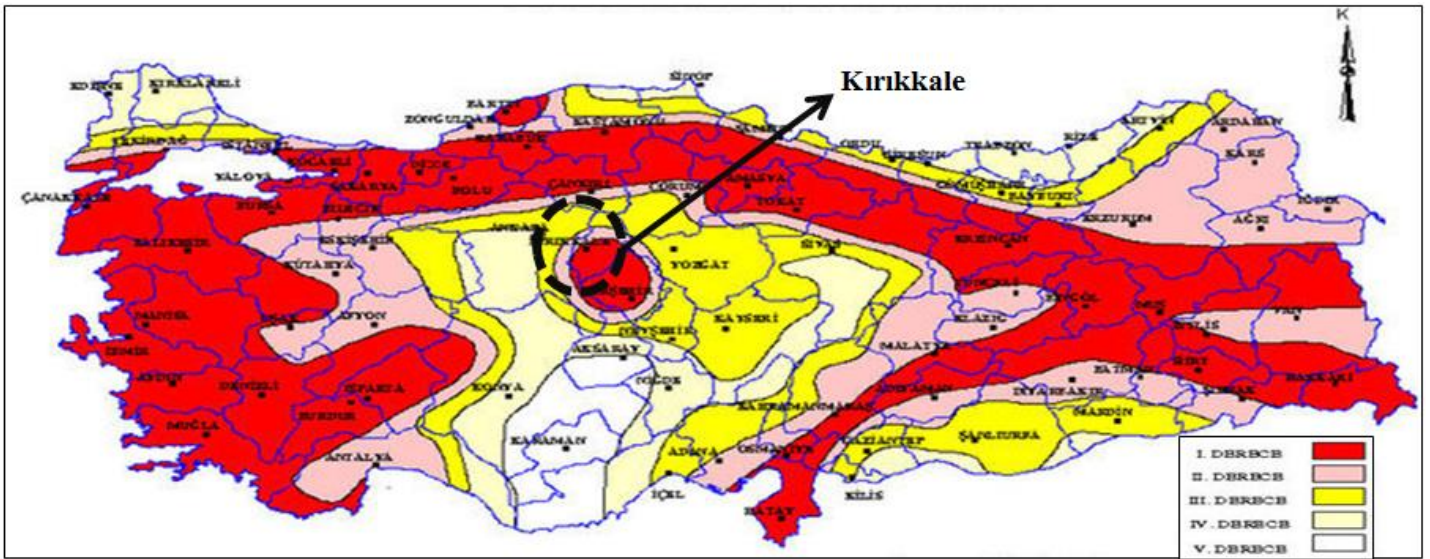
Key Words

"Earthquake hazard map, Base shear force, Equivalent earthquake force, DBYBHY-2007, TBDY-2018, Local soil classes"

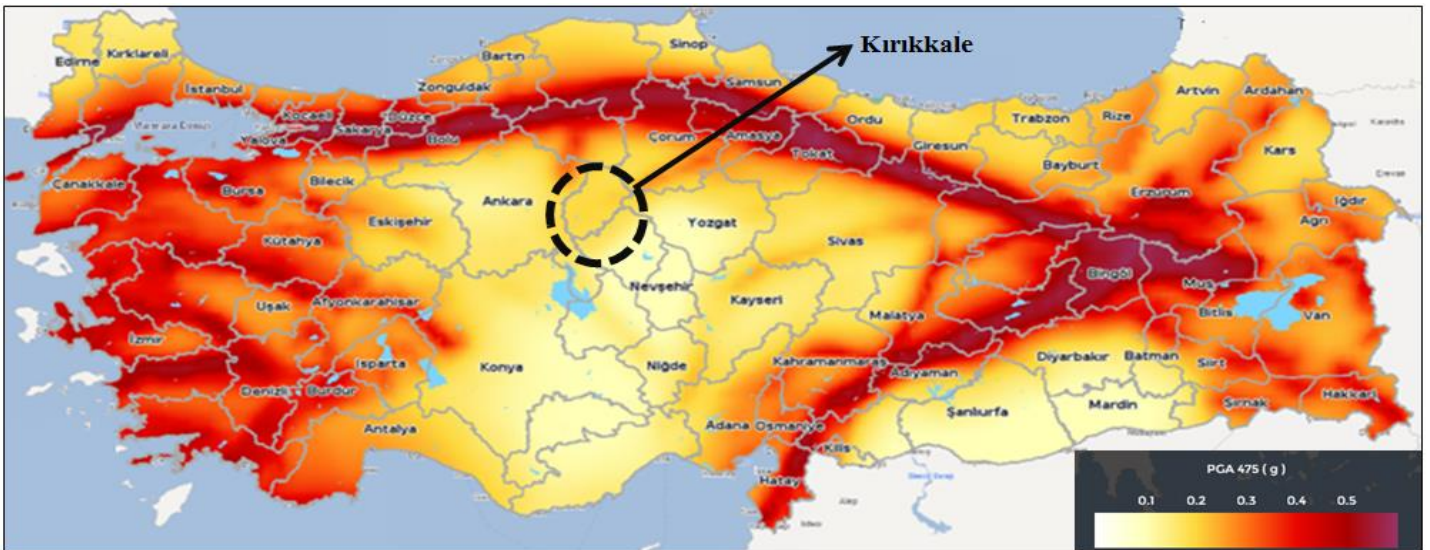
1. Giriş

Türkiye, diri fayların yer aldığı, sık ve büyük depremlerin meydana geldiği bir deprem ülkesidir. İçimizi derin bir şekilde sızlatan “*Sesimi duyan var mı?*” çığlıklarını, yaklaşık her 30 yılda bir yaşayan ülkemiz, en son yaşamış olduğu 17 Ağustos 1999 depremini ve beton yığınları altında can veren ve yakınlarını kaybeden binlerce insanımızın acılarını unutmuyarak, bu büyük depremden sonra, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) hazırlanarak 2008 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik üzerine yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan yetersizlikler ve ülkemizde son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler sayesinde, yeni ihtiyaçlara karşılık verecek şekilde hazırlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ise 2019 yılında yürürlüğe girmiştir (Genç, 2019).

1996 yılında yayımlanan Deprem Bölgeleri Haritası’na göre ülkemizin toplam alanının %90’dan fazlası deprem bölgesinde iken (Şekil 1), 2018 yılında yayımlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritasına (TDTH) göre ülkemizin her bir noktası deprem riski altında bulunmaktadır (Şekil 2). 2018 TDTH’de, 46 il merkezinde deprem tehlikesi azalırken 6 il merkezinde ise artmıştır. Bununla beraber, ülkemiz yüzölçümünün %47’si, yapı stokunun %44’ü ve nüfusunun ise %43’ü en tehlikeli alanda bulunurken, güncellenen harita ile bu oranlar ciddi şekilde azalarak sırasıyla %17’ye, %26’ya ve %27’ye düşmüştür (AFAD, 2022; URL-1, 2022). Bu veriler ışığında, güncellenen TDTH ile bazı bölgelerde deprem tehlikesi bir miktar azalmışsa da, yapı stokumuzun deprem performansının zayıf olmasından dolayı mevcut binalarımızı depreme dayanıklı hale getirmemiz gerekmektedir.



Şekil 1. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (TDBH, 2006)



Şekil 2. 50 Yıl İçerisinde Aşılma Olasılığı %10 Olan En Büyük Yatay Yer İvmeye Göre TDTH (URL-2, 2021)

Bazı deprem analiz parametreleri; koordinata göre harita spektral ivme katsayıları (S_s, S_1), yerel zemin etki katsayıları (F_s, F_1), tasarım spektral ivme katsayıları (S_{Ds}, S_{D1}), deprem tasarım sınıfları (DTS), bina yükseklik sınıfları (BYS), düşey deprem etkisi, bina performans hedefleri, değerlendirme/tasarım yaklaşımları, dayanım fazlalığı katsayısı ve etkin kesit rijitliği şeklinde TBDY-2018'de revize edilmiştir. Bunların yanı sıra, yeni yönetmelikte zemin sınıfları ile zemin grupları birleştirilerek ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF yerel zemin sınıfları oluşturulmuştur (TBDY, 2018).

Betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kesit tesirlerini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biri yatay deprem kuvvetlerinin binada oluşturduğu taban kesme kuvvetidir (Öztürk, 2006; Kassem vd., 2021; Kassem vd., 2022). Literatürde, DBYBHY-2007 ile TBDY-2018 deprem yönetmelikleri arasında taban kesme kuvvetini (eşdeğer deprem kuvvetini) karşılaştırabilmek için yapılan güncel çalışmalarda binanın konumu, kat adedi (bina yüksekliği), yerel zemin sınıfı, taşıyıcı sistemi, bina önem kat sayısı gibi farklı değişkenler kullanılmıştır.

Ülkemizde farklı konumlar baz alınarak yapılan birtakım çalışmalarda, TBDY-2018'e göre yapılan çözümlerde DBYBHY-2007'ye kıyasla taban kesme kuvvetlerinde kayda değer azalma olduğu vurgulanmıştır (Tunç ve Tanfener, 2016; Nemutlu ve Sarı, 2018; Atmaca vd., 2019; Döndüren vd., 2021; Aksoylu ve Arslan, 2021; Adar vd., 2021).

DBYBHY-2007'ye göre 4 farklı deprem bölgesinde (Kırşehir-Merkez, Eskişehir-Merkez, Kayseri-Merkez ve Konya-Kampüs) Z2(ZB) ve Z4(ZE) zemin sınıflarında yer alan iki farklı periyot ve taşıyıcı sistemi olan betonarme bina modellerinde yapılan çalışmada, Kırşehir çevresinde zemin ivmesinin büyük ölçüde azaltıldığı ancak Konya çevresinde arttığı, TDTH'nin zayıf dayanıma sahip zeminlerde ve yapı periyotunun 1 saniyeden düşük olması durumunda spektral ivmeleri büyük ölçüde artırdığı vurgulanmıştır (Öztürk, 2018). 3. derece deprem bölgesi olan Afyonkarahisar Merkez için 59 farklı noktada 5 ve 10 katlı betonarme çerçeve bina modelleri üzerinde yapılan çalışmada ise, TBDY-2018'e göre belirlenen eşdeğer deprem yüklerinin DBYBHY-2007'ye göre 5 katlı modelde ZA, ZB, ZC, ZD zemin sınıfları için sırasıyla yaklaşık %58, %58, %37 ve %13 azaldığı fakat ZE zemin sınıfı için %34 arttığı, 10 katlı modelde ise ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için sırasıyla yaklaşık %62, %62, %43, %39 ve %18 azaldığı, bu azalışın kötü zeminden sağlam zemine gidildikçe daha fazla olduğu vurgulanmıştır (Başaran, 2018). Kırklareli ilinde 4 katlı bir bina modelinde ZC(Z3) ve ZE(Z4) zemin sınıfları değişken alınarak yapılan çalışmada ise, taban kesme kuvvetinin TBDY-2018'de arttığı, bu artışın daha kötü olan ZE(Z4) zemin sınıfında 3.26 kat olduğu belirtilmiştir (Keskin ve Bozdoğan, 2018).

Eski yönetmeliğe göre 1. derece deprem bölgesinde bulunan Osmaniye ve Sakarya illerinde Z3(ZD) zemin sınıfında bulunan 3 katlı bina modeli üzerinde yapılan bir başka çalışmada, TBDY 2018'e göre belirlenen taban kesme kuvvetinin Sakarya/Merkez için %10.40 oranında arttığı fakat Osmaniye/Merkez için %41.11 oranında azaldığı belirtilmiştir (Öztürk vd., 2019). Özellikle zayıf zeminlerde TBDY-2018'e göre hesaplanan tasarım spektral değerlerinin birçok il merkezinde arttığı, özellikle DBYBHY-2007'ye göre dördüncü derece deprem bölgesinde bulunan il merkezlerinde artışın daha fazla olduğu belirlenmiştir (Bozer, 2020). İstanbul'un Avcılar ilçesinde 3, 5, 7 ve 9 katlı betonarme çerçeve konut binası model alınarak yapılan bir çalışmada, TBDY-2018 yönetmeliği ile özellikle ZC, ZD ve ZE sınıfı gibi zayıf zeminlerde spektral ivme değerlerinin önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır (Aksoylu vd., 2020).

DBYBHY-2007'ye göre 4 farklı deprem bölgesinde bulunan Sakarya-Serdivan, Kocaeli-Kandıra, Eskişehir-Sivrihisar ve Ankara-Yenimahalle konumlarında, 4, 7 ve 10 katlı modeller üzerinde farklı zemin sınıfları dikkate alarak yapılan çalışmada, taban kesme kuvvetinin genel olarak kat adedi arttıkça DBYBHY-2007'ye kıyasla daha düşük değerler verdiği hesaplanmıştır (Sümer ve Hamsici, 2020). İki farklı deprem bölgesinde bulunan Adana ve Adıyaman illerinde, Z1(ZA), Z3(ZD) ve Z4(ZE) zemin sınıflarında 5-30 kat arasındaki 26 adet model ile yapılan çalışmada, TBDY-2018 esas alınarak elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin DBYBHY-2007 esas alınarak elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinden çok daha düşük olduğu belirlenmiştir (Ünsal vd., 2020). DBYBHY-2007'ye göre 1. derece deprem bölgesinde bulunan Malatya ilinde 5 katlı betonarme bir bina modeli üzerinde yapılan bir başka çalışmada, TBDY-2018'e göre belirlenen taban kesme kuvvetlerinde ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için sırayla, %50.9, %50.9, %19.7, %18.6 ve %4.6 oranlarında azalma olduğu belirtilmiştir (Özmen ve Erkut, 2021).

Yukarıda yapılan çalışmalara bakıldığında; binanın bulunduğu koordinatına, yerel zemin sınıfına ve yüksekliğine bağlı olarak, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 arasında binaya etkiyen deprem kuvvetleri bakımından ciddi oranlarda artış veya azalışların olduğu görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Kırıkkale iline bağlı Merkez, Bahşılı, Balıseyh, Çelebi, Delice, Karakeçili, Keskin, Sulakyurt ve Yahşihan olmak üzere toplam 9 adet ilçe merkezinde, ilçe merkezlerinin koordinatına göre belirlenen deprem parametreleri kullanılarak, planda simetrik, süneklik düzeyi yüksek ve betonarme çerçevesi 3, 4, 5, 6, 10 ve 14 katlı konut modellerin eşdeğer deprem yükleri, hem DBYBHY-2007'ye göre Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları, hem de TBDY-2018'e göre ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için SAP2000 programı kullanılarak ayrı ayrı hesap edilmiştir. Kırıkkale-Merkez, Bahşılı, Balıseyh, Çelebi, Karakeçili ve Keskin ilçeleri hem DBYBHY-2007'ye hem de TBDY-2018'e göre eşdeğer deprem kuvvetlerinin birbirine yakın olması nedeniyle birlikte değerlendirilerek Kırıkkale-Merkez ilçesi için ve eşdeğer deprem kuvvetlerinin birbirinden farklı olması nedeniyle Delice, Yahşihan ve Sulakyurt ilçeleri için ayrı ayrı olmak üzere toplam 4 farklı ilçe merkezinde hesaplamalar yapılmıştır. Kırıkkale ili ve ilçelerindeki deprem performans analizi gerektiren binalar tespit edilmiştir.

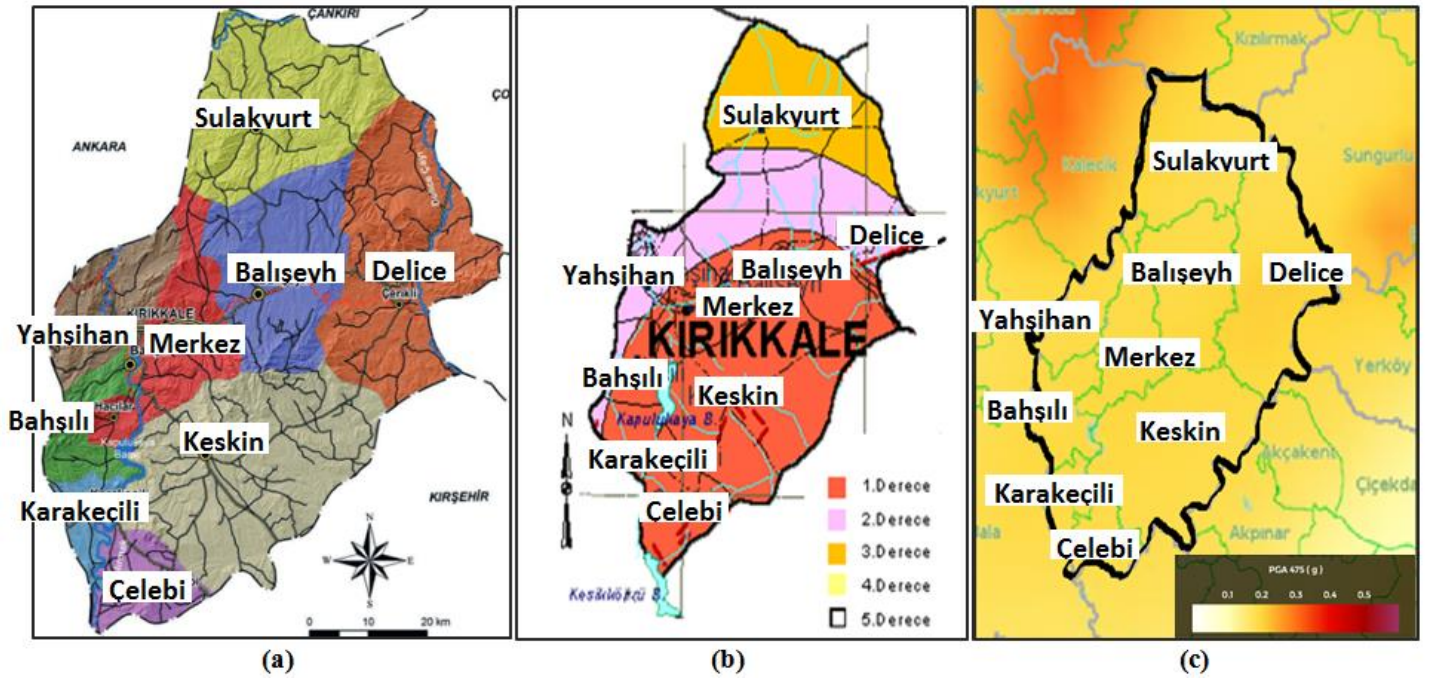
2. Yöntem (Method)

2.1. Çalışma alanı

Kırıkkale ili, kuzey yarım kürede 39° 20'-40° 20' kuzey paralelleri ile 33° 20'-34° 25' doğu meridyenleri arasında yer almakta olup 700 m rakıma, 4630 km² (ülkemiz topraklarının %0.62'si) yüzölçüme ve nüfus olarak 275,968 kişiye sahiptir (TÜİK, 2021). Ayrıca, kuzey-güney ve doğu-batı istikametlerinde ana ulaşım ağlarının üzerinde bulunmasından dolayı ulaşım açısından stratejik bir öneme sahiptir. Kırıkkale ili batısında Ankara, doğusunda Yozgat ve Çorum, kuzeyinde Çankırı, güneyinde ise Kırşehir illeri ile çevrilidir. Kırıkkale Merkez, Bahşılı, Balıseyh, Çelebi, Delice, Karakeçili, Keskin, Sulakyurt ve Yahşihan olmak üzere 9 ilçe ve 185 köyden oluşmaktadır (Kırıkkale, 2017).

Çalışma kapsamında değerlendirilecek olan Kırıkkale ili çevresinde, kuzeyde büyük depremleri oluşturan sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay zonu, güneydoğuda Seyfe, doğuda Kırıkkale-Sungurlu, güneyde ise Tuz Gölü Fay Zonları ve Keskin Fayı, güneybatıda ise Bala ve Karakeçili Fayları bulunmaktadır (Sönmezer vd., 2015).

Kırıkkale ve çevresinde yapılaşma hızlı bir gelişim göstermektedir. Genellikle yapı stokunda yatay mimariye uygun olarak az katlı (3-6) yapılar bulunmaktadır. Ancak, son zamanlarda yüksek katlı yapıların sayısında artışlar görülmektedir. Kırıkkale ilinde belediyeler tarafından verilen yapı ruhsatlarından 2021 yılının ilk dokuz ayında bir önceki yıla göre, bina sayısının %28.69, yüzölçümünün %78.10, daire sayısının ise %68.58 arttığı görülmektedir (TÜİK, 2021).



Şekil 3. Kırıkkale ili (a) İl haritası, (b) Türkiye deprem bölgeleri haritası (TDBH, 2006), (c) 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %10 olan en büyük yatay yer ivmeye göre TDTH (URL-2, 2021)

DBYBHY-2007'ye göre Kırıkkale Merkez, Bahşılı, Balıseyh, Çelebi, Karakeçili ve Keskin ilçe merkezleri 1. derece, Delice ve Yahşihan ilçe merkezleri 2. derece, Sulakyurt ilçe merkezi ise 3. derece deprem bölgesi içerisinde kalmaktadır (TDBH, 2006). Ancak güncellenen TDTH'ye göre bu deprem bölgeleri kaldırılmış olup, yerel zemin sınıfına göre her bir koordinatın kendine özgü deprem yer ivmeleri yer almıştır (Şekil 3).

2.2. Eşdeğer deprem kuvvetlerinin belirlenmesi

DBYBHY-2007'de göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tamamına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü V_t , binanın birinci doğal titreşim periyodu kullanılarak Denklem 1'e göre belirlenmektedir (DBYBHY, 2007).

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W \quad (1)$$

Burada, $A(T_1)$ birinci doğal titreşim periyodu için spektral ivme katsayısını, $R_a(T_1)$ birinci doğal titreşim periyodu için deprem yükü azaltma katsayısını, A_0 etkin yer ivmesi katsayısını, I bina önem katsayısını, W ise binanın deprem yükü hesabında kullanılan toplam

ağırlığını ifade etmekte olup her bir katın ölü yükünün ve hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan hareketli yükünün toplamıdır.

Spektral ivme katsayısı $A(T)$, etkin yer ivmesi katsayısı, bina önem katsayısı ve spektrum katsayısına bağlı olarak Denklem 2 ile; spektrum katsayısı $S(T)$, doğal titreşim periyoduna (T) ve spektrum karakteristik periyotlarına (T_A ve T_B) bağlı olarak Denklem 3 ile; deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ ise, doğal titreşim periyoduna (T), taşıyıcı sistem davranış katsayısına (R) ve spektrum karakteristik periyoduna (T_A) bağlı olarak Denklem 4 ile hesaplanmaktadır (DBYBHY, 2007).

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (2)$$

$$S(T) = \begin{cases} 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ 2.5 & (T_A \leq T \leq T_B) \\ 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T) \end{cases} \quad (3)$$

$$R_a(T) = \begin{cases} 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ R & (T_A < T) \end{cases} \quad (4)$$

TBDY-2018'de göz önüne alınan X-X deprem doğrultusunda, binanın tamamına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü $V_{IE}^{(X)}$, Denklem 5'e göre belirlenmektedir (TBDY, 2018).

$$V_{IE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t g I S_{DS} \quad (5)$$

Burada, $S_{aR}(T_p^{(X)})$ binanın X-X deprem doğrultusunda hakim doğal titreşim periyodu (T_p) göz önüne alınarak hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini, I bina önem katsayısını, S_{DS} kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısını, m_t binanın toplam kütesini ifade etmektedir. Binanın toplam kütesi, sabit kütle ve hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan hareketli kütle toplamıdır.

Azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için belirlenecek yatay elastik tasarım spektral ivmesine ve deprem yükü azaltma katsayısına bağlı olarak Denklem 6 ile, yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T)$, tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{DS} , S_{D1}), yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotlarına (T_A , T_B ve T_L) ve doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak yerçekimi ivmesi cinsinden Denklem 7 ile, deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ ise, taşıyıcı sistem davranış katsayısına (R), dayanım fazlalığı katsayısına (D), bina önem katsayısına (I), binanın doğal titreşim periyoduna, spektrum köşe periyoduna (T_B) bağlı olarak Denklem 8 ile hesaplanmaktadır (TBDY, 2018).

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (6)$$

$$S_{ae}(T) = \begin{cases} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{cases} \quad (7)$$

$$R_a(T) = \begin{cases} \frac{R}{I} & (T > T_B) \\ D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} & (T \leq T_B) \end{cases} \quad (8)$$

2.3. Yerel zemin sınıfları

TBDY-2018'de yer alan yerel zemin sınıfları için yeni kriterler getirilmiş olduğundan DBYBHY-2007'den farklı bir sınıflandırma yapılmıştır. DBYBHY-2007'de yerel zemin sınıfları, zemin grubuna ve en üst zeminin tabaka kalınlığına göre, en iyi zeminden en kötüye doğru sırasıyla Z1, Z2, Z3 ve Z4 olarak tanımlanmıştır (DBYBHY, 2007). TBDY-2018'de ise zemin grupları ve zemin tabaka kalınlıkları ifadesi çıkarılmış ve iyi zeminden kötü zemine doğru sırasıyla ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF yerel zemin sınıfları tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

Bu çalışmada, yapılan analiz sonuçlarının daha sağlıklı karşılaştırmasını yapabilmek için zeminin üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı ve ortalama standart penetrasyon darbe sayısı gibi parametreler esas alınarak TBDY-2018'deki ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarının DBYBHY 2007'deki karşılıkları sırasıyla Z1, Z1, Z2, Z3 ve Z4 olarak kabul edilmiştir. ZF sınıfı zeminler için sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektirdiğinden ve tasarım/gözetim kontrolüne tabi olduğundan bu çalışmada ZF yerel zemin sınıfı dikkate alınmamıştır.

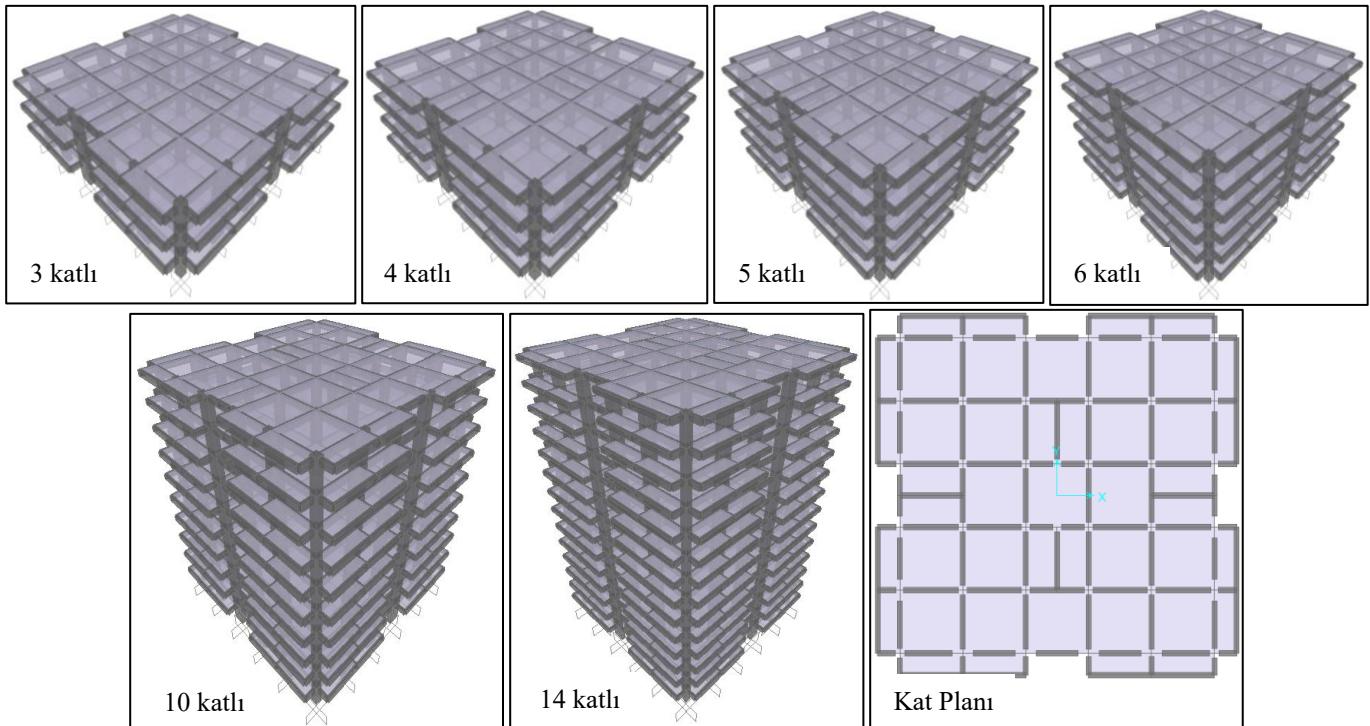
2.4. Bina geometrisi ve analize esas proje parametreleri

Bu çalışmada, TS-500, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 kurallarına uygun tasarlanan ve literatürde (Doğan ve Genç, 2019) var olan planda simetrik olan betonarme çerçeveli toplam 5 katlı bir yapı örneği referans alınmıştır. Modelin kat plan alanı, balkonlar dâhil 812.25 m²'dir. Bu yapı örneği baz alınarak oluşturulan modellerde betonarme elemanların boyutları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Modellerde Kullanılacak Betonarme Elemanların Boyutları

Betonarme Eleman	Boyutlar (cm)
Köşe ve iç kolonlar	75x75
Dış çerçeve kolonlar (köşe ve iç kolonlar hariç)	170x60
Kirişler	40x60
Döşemeler	15

Referans alınan yapı örneği ilk önce 5 katlı olarak modellenmiş, daha sonra kat sayıları azaltılarak veya artırılarak, Kırıkkale ili genelindeki yapı stokunu yansıtabilecek şekilde 3, 4, 5, 6, 10 ve 14 katlı modeller oluşturulmuştur. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, yönetmeliklerdeki koşulların sağlandığı durumlarda yatay deprem yüklerinin belirlenmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Tasarlanan modellerimizde burulma ve yumuşak kat düzensizliği bulunmadığı için, DBYBHY-2007'de maksimum 40 m, TBDY-2018'de ise maksimum 42 m yüksekliğe sahip binalarda eşdeğer deprem yükü yöntemine izin verilmektedir. Bu nedenle, 3,00 m kat yüksekliği dikkate alınarak maksimum kat adedi 14 olarak belirlenmiş ve eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizler yapılmıştır.



Şekil 4. Örnek Binaların SAP2000 Modelleri ve Kat Planı

Eşdeğer deprem yüklerinin hesabında ihtiyaç duyulan bina kütlesi ve birinci doğal titreşim periyotları, uluslararası geçerliliğe sahip SAP2000 yapısal analiz programı ile belirlenmiştir. Bunun için, 3, 4, 5, 6, 10 ve 14 kata sahip binaların modelleri, SAP2000 analiz

programında hazırlanmış olup, binaların SAP2000 modelleri ve kat planı Şekil 4’te verilmiştir (SAP2000, 2019). Programda, betonarme kiriş ve kolon elemanlar çubuk, döşeme ise kabuk eleman olarak modellenmiştir. TBDY-2018’e göre yapılan hesaplamalarda, taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve kirişler için etkin kesit rijitlikleri (kolon için 0.70, kiriş için 0.35) kullanılmıştır (TBDY, 2018). Kolonların temele ankastre olarak mesnetlendiği ve döşemelerin kat seviyelerinde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

TS-498’e uygun olarak sabit ve hareketli yükler belirlenmiştir. Sabit yük olarak normal kat döşemeleri için 212 kg/m^2 , çatı katı döşemeleri için 150 kg/m^2 , hareketli yük olarak normal kat döşemeleri ve balkonlar için 200 kg/m^2 , çatı katı döşemeleri içinse 150 kg/m^2 alınmıştır. Beton sınıfı C25/30 seçilmiş ve birim hacim ağırlığı 2.50 ton/m^3 alınmıştır (TS498, 1997; TS500, 2000).

Kırıkkale ili genelinde kamu binalarına yönelik deprem performans analizi ve güçlendirme çalışmaları yapılırken, en büyük stok oranına sahip deprem perdeleri bakımından yetersiz konutlara bu çalışma ile dikkat çekilmek istenilmiş olup, deprem analizlerinde, eşdeğer deprem yükü yöntemine uygun deprem parametreleri seçilmiştir. DBYBHY-2007’de eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesinde, bina önem katsayısı konutlar için $I=1.00$, taşıyıcı sistem davranış katsayısı süneklik düzeyi yüksek için $R=8$, hareketli yük katılım katsayısı $n=0.30$ seçilmiş etkin spektrum katsayısı $S(T)$, deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$, spektral ivme katsayısı $A(T)$ ise sırasıyla Eşitlik 2, Eşitlik 3 ve Eşitlik 4’e göre hesaplanmıştır (DBYBHY, 2007). TBDY-2018’e göre yapılan deprem analizlerinde kontrollü hasar performans hedefini sağlamak üzere dayanıma göre tasarım (DGT) hesap esasları dikkate alınmış, konut için Bina Kullanım Sınıfı $BKS=3$, bina önem katsayısı $I=1.00$, sistem davranış katsayısı süneklik düzeyi yüksek için $R=8$; dayanım fazlalığı katsayısı $D=3$, hareketli yük katılım katsayısı $n=0.30$ seçilmiş, yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T)$, deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$, azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$ ise sırasıyla Eşitlik 6, Eşitlik 7 ve Eşitlik 8’e göre hesaplanmıştır (TBDY, 2018).

Analizlerde kullanılan modellerin, kat adedine bağlı bina yüksekliği, bina yüksekliğine ve Deprem Tasarım Sınıfına (DTS) bağlı Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) ve deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı ile ilgili bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kat Adedine Bağlı BYS ve Bina Toplam Ağırlığı

Kat Adedi	Bina Yüksekliği (m)	BYS	Ağırlık, W (t)
3	9.00	7-8	2866.91
4	12.00	6-7	3842.28
5	15.00	6-7	4817.65
6	18.00	5-6	5793.02
10	30.00	4-5	9694.50
14	42.00	4-5	13595.98

DBYBHY-2007’de yer alan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre 1., 2. ve 3. derece deprem bölgelerinde bulunan Kırıkkale ilinin 9 ilçe merkezine ait etkin yer ivme katsayısı ile bu yerlere ait koordinatların TDTH’ye göre belirlenen en yüksek yer ivmesi $PGA(g)$, 5 farklı yerel zemin sınıfı için 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %10 olan DD-2 deprem yer hareketi düzeyine ait kısa periyot ve 1.0 s periyot için tasarım spektral ivme katsayıları (S_{DS} ve S_{D1}) ile Bina Kullanım Sınıfı ve S_{DS} ’ye bağlı Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Kırıkkale İlçe Merkezlerinin DBYBHY-2007 İle TBDY-2018 Yönetmeliklerine Bağlı Deprem Parametreleri

Yer	Enlem/ Boylam	DBYBHY-2007			TBDY-2018		
		Deprem Bölgesi	Etkin Yer İvme Katsayısı, A_0	En Yüksek Yer İvmesi, $PGA(g)$	Yerel Zemin Sınıfı	S_{DS}/S_{D1}	DTS
Bahşılı	39.812791°/ 33.474489°	1	0.40	0.192	ZA	0.357/ 0.101	3
					ZB	0.401/ 0.101	3
					ZC	0.580/ 0.189	2
					ZD	0.644/ 0.296	2
					ZE	0.826/ 0.500	1
					ZA	0.358/ 0.105	3
Balışeyh	39.909667°/ 33.716026°	1	0.40	0.193	ZB	0.402/ 0.105	3
					ZC	0.581/ 0.197	2
					ZD	0.645/ 0.306	2
					ZE	0.826/ 0.514	1

Tablo 3 (devam). Kırıkkale İlçe Merkezlerinin DBYBHY-2007 İle TBDY-2018 Yönetmeliklerine Bağlı Deprem Parametreleri

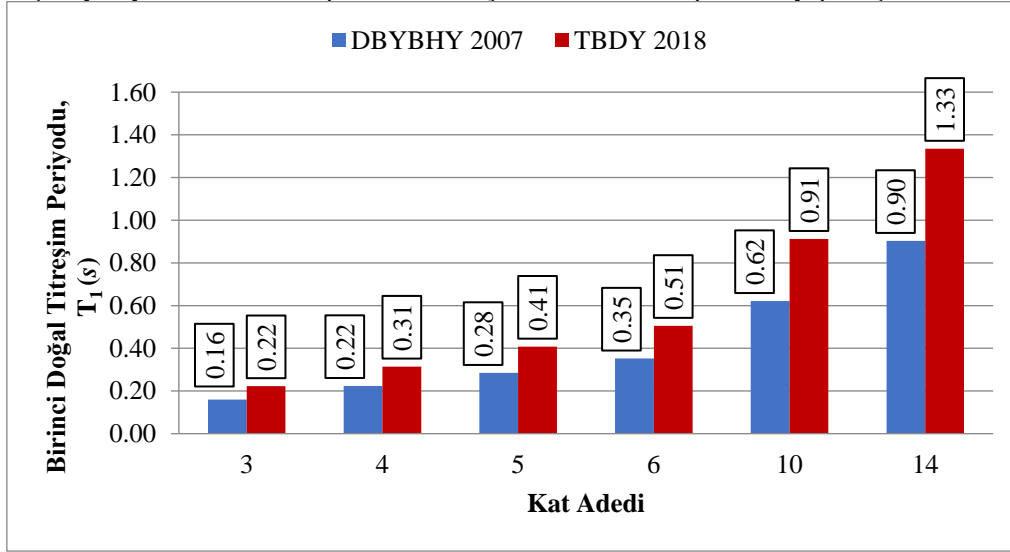
Yer	Enlem/ Boylam	DBYBHY-2007			TBDY-2018		
		Deprem Bölgesi	Etkin Yer İvme Katsayısı, A_0	En Yüksek Yer İvmesi, PGA (g)	Yerel Zemin Sınıfı	S_{DS} / S_{D1}	DTS
Çelebi	39.465665°/ 33.525057°	1	0.40	0.186	ZA	0.342/ 0.091	3
					ZB	0.385/ 0.091	3
					ZC	0.556/ 0.171	2
					ZD	0.624/ 0.270	2
					ZE	0.814/ 0.464	1
Karakeçili	39.596102°/ 33.382716°	1	0.40	0.191	ZA	0.354/0.094	3
					ZB	0.399/0.094	3
					ZC	0.576/ 0.177	2
					ZD	0.641/ 0.279	2
					ZE	0.824/ 0.476	1
Keskin	39.672795°/ 33.614026°	1	0.40	0.195	ZA	0.360/ 0.098	3
					ZB	0.405/ 0.098	3
					ZC	0.585/ 0.185	2
					ZD	0.648/ 0.290	2
					ZE	0.828/ 0.491	1
Kırıkkale Merkez	39.838778°/ 33.496521°	1	0.40	0.191	ZA	0.355/0.102	3
					ZB	0.400/0.102	3
					ZC	0.577/ 0.191	2
					ZD	0.642/ 0.298	2
					ZE	0.825/ 0.503	1
Delice	39.944099°/ 34.031805°	2	0.30	0.208	ZA	0.383/ 0.114	3
					ZB	0.431/ 0.114	3
					ZC	0.623/ 0.213	2
					ZD	0.679/ 0.329	2
					ZE	0.843/ 0.543	1
Yahşihan	39.860626°/ 33.453747°	2	0.30	0.189	ZA	0.353/ 0.102	3
					ZB	0.397/ 0.102	3
					ZC	0.573/ 0.191	2
					ZD	0.638/ 0.298	2
					ZE	0.822/ 0.503	1
Sulakyurt	40.159790°/ 33.718079°	3	0.20	0.191	ZA	0.358/ 0.115	3
					ZB	0.402/ 0.115	3
					ZC	0.581/ 0.216	2
					ZD	0.645/ 0.333	2
					ZE	0.826/ 0.548	1

Çalışmada kullanılan betonarme çerçevesel bina modelleri planda simetrik bir tasarıma sahip olduğundan dolayı, X-X ve Y-Y doğrultularındaki eşdeğer deprem kuvvetleri hemen hemen aynı çıkacaktır. Bu nedenle, analizlerde sadece X-X doğrultusu dikkate alınmıştır.

3. Bulgular ve Değerlendirme

Kırıkkale iline bağlı Merkez, Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Delice, Karakeçili, Keskin, Sulakyurt ve Yahşihan olmak üzere toplam 9 adet ilçe merkezinde yer alan, 3, 4, 5, 6, 10 ve 14 katlı bina modelleri için hem DBYBHY-2007'ye göre Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları, hem de TBDY-2018'e göre ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları dikkate alınarak ayrı ayrı eşdeğer deprem yükleri

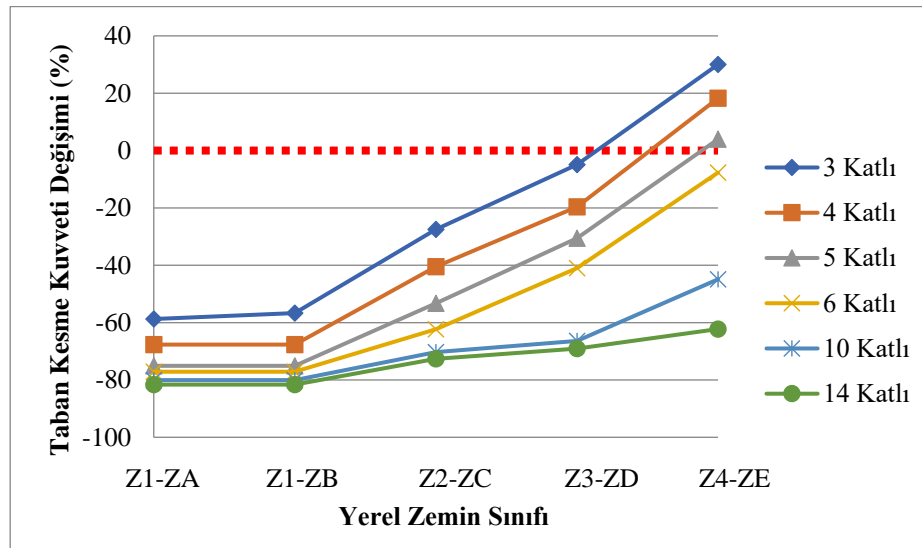
hesap edilmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere, Kırıkkale-Merkez, Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Karakeçili ve Keskin ilçeleri hem DBYBHY-2007'ye hem de TBDY-2018'e göre eşdeğer deprem kuvvetlerinin birbirine yakın olması nedeniyle birlikte değerlendirilerek Kırıkkale-Merkez ilçesi için ve eşdeğer deprem kuvvetlerinin birbirinden farklı olması nedeniyle Delice, Yahşihan ve Sulakyurt ilçeleri için ayrı ayrı olmak üzere toplam 4 farklı ilçe merkezinde hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 5. Modellerin Kat Adedine Bağlı X-X Doğrultusundaki Birinci Doğal Titreşim Periyotları

Çalışmada kullanılan modellerin kat adedine bağlı X-X doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyotları SAP2000 yapısal analiz programında hesaplanmış olup, her iki yönetmeliğe göre karşılaştırmalı olarak Şekil 5'te verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan binanın birinci doğal titreşim periyodu 3, 4, 5, 6, 10 ve 14 katlı modellerde sırasıyla 0.16, 0.22, 0.28, 0.35, 0.62 ve 0.90 s iken, TBDY-2018'e göre bu periyotlar sırasıyla 0.22, 0.31, 0.41, 0.51, 0.91 ve 1.33 s bulunmuştur. TBDY-2018'e göre hesaplanan bina periyotlarının DBYBHY-2007'ye göre belirlenen periyotlardan daha büyük olduğu görülmüştür. TBDY-2018'de, deprem etkileri hesaplanırken etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmakta ve yük birleşimlerinde bu çarpanlar kullanılarak analizler yapılmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarında azaltılmış etkin kesitleri kullanıldığından, yapının rijitliğinin azalmasına bağlı olarak taşıyıcı sistem periyodunun arttığı görülmektedir (Doğan vd., 2021).

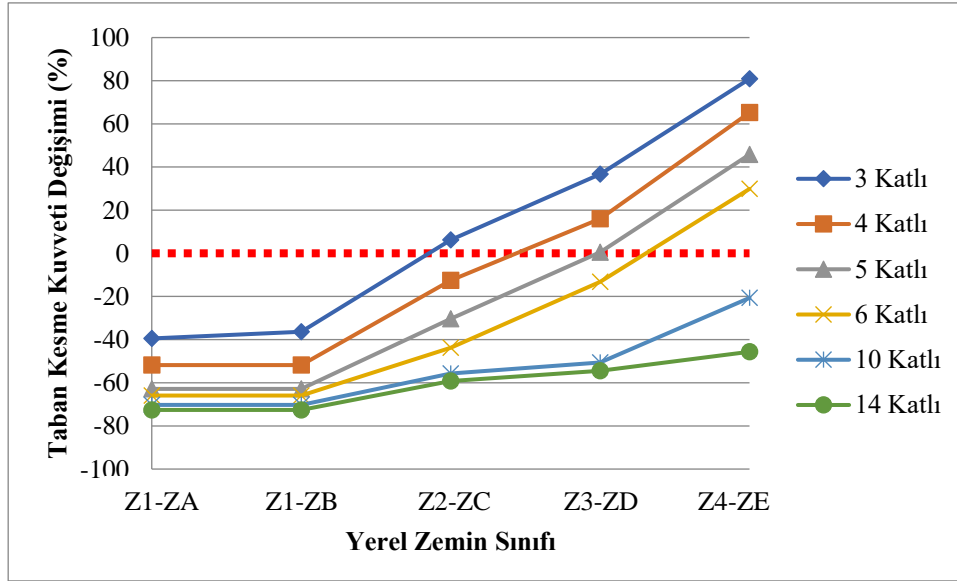
Kırıkkale ili genelinde, TDTH'de yerel deprem ivme değerleri azalmasına rağmen, binaların kat adedine ve zemin sınıflarına göre yatay elastik tasarım spektral ivme hesaplanırken, periyodun spektrum eğrisinde yatay kol üzerinde kalmasından dolayı S_{DS} katsayısının kullanılmasına ve periyodun T_B 'den büyük olmasından dolayı deprem yükü azaltma katsayısının düşmesine bağlı olarak, taban kesme kuvvetinde artışların olduğu görülmüştür. Bunun sonucu olarak da, bazı ilçe merkezlerinde DBYBHY-2007'ye göre tasarlanmış bazı konutların beklenenden farklı olarak güvensiz bölgede kaldığı ve performans analizini sağlamayan binaların güçlendirilmesi gerekebileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6. Kırıkkale Merkezinde (Benzer Olarak Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Karakeçili, Keskin İlçeleri) Yerel Zemin Sınıfına Bağlı Bina Taban Kesme Kuvvetinin TBDY-2018'e Göre Değişimi (%)

Kırıkkale-Merkez ilçesi için farklı katlı modellerin DBYBHY-2007'ye kıyasla TBDY-2018'deki taban kesme kuvvetindeki değişim yüzdesi Şekil 6'da verilmiştir. Bina taban kesme kuvvetinin TBDY-2018'e göre değişim yüzdesinin, kötü zeminden Z4(ZE)'den sağlam zemine Z1(ZA) doğru gidildikçe, 6, 10 ve 14 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %-7'den %-77'ye, %-45'ten %-80'e ve %-62'den %-81'e azaldığı, ayrıca bu değişim yüzdesinin, Z3(ZD)'ten Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 3, 4 ve 5 katlı modellerde de sırasıyla yaklaşık %-5'ten %-58'e, %-19'dan %-67'ye ve %-30'dan %-75'e azaldığı, diğer bir deyişle bu binaların aynı oranlarda daha güçlü tasarlandığı görülmüştür. Ancak, diğer yerel zemin sınıflarına kıyasla daha kötü olan Z4(ZE) zemin sınıfında ise 3, 4 ve 5 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %30, %18 ve %4 oranlarında taban kesme kuvvetlerinde artış olduğu, diğer bir deyişle bu binaların aynı değişim yüzdeleri ile depreme karşı daha yetersiz tasarlandığı görülmüştür.

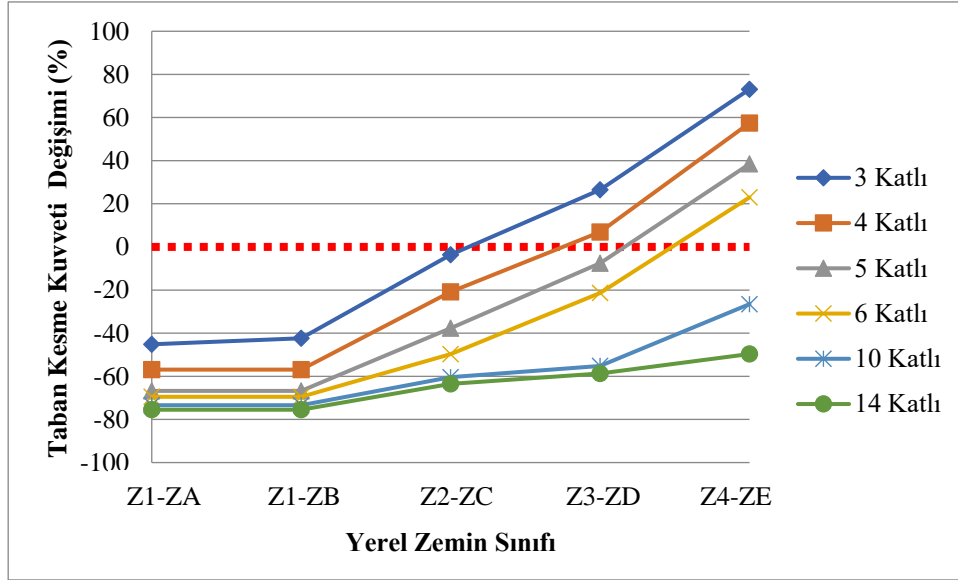
Sonuç olarak, Kırıkkale-Merkez ilçesinde (benzer olarak Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Karakeçili, Keskin ilçeleri) tüm yerel zemin sınıfları için 6, 10 ve 14 katlı binaların, ZA, ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları içinse 4 ve 5 katlı binaların TBDY-2018'e göre belirlenen taban kesme kuvvetlerinde DBYBHY-2007'ye kıyasla binaları güvenli tarafta bırakacak şekilde azalma olduğu ancak, ZE zemin üzerine 3, 4 ve 5 katlı inşa edilmiş binaların deprem performans analizinin yeniden yapılması, TBDY-2018'de istenilen Can Güvenliği performans şartını sağlamayan konutların da güçlendirilmesi gerekebileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 7. Delice İlçe Merkezinde Yerel Zemin Sınıfına Bağlı Bina Taban Kesme Kuvvetinin TBDY-2018'e Göre Değişimi (%)

Delice ilçe merkezi için farklı katlı modellerin DBYBHY-2007'ye kıyasla TBDY-2018'deki taban kesme kuvvetindeki değişim yüzdesi Şekil 7'de verilmiştir. Bina taban kesme kuvvetinin TBDY-2018'e göre değişim yüzdesinin, kötü zeminden Z4(ZE)'den sağlam zemine Z1(ZA) doğru gidildikçe, 10 ve 14 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %-21'den %-70'e ve %-46'dan %-73'e azaldığı, ayrıca bu değişim yüzdesinin, Z3(ZD)'ten Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 5 ve 6 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %0'dan %-63'e ve %-13'ten %-70'e, Z2(ZC)'den Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 4 katlı modelde yaklaşık %-13'ten %-52'ye, Z1(ZB)'den Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 3 katlı modelde yaklaşık %-36'dan %-39'a azaldığı, diğer bir deyişle bu binaların aynı oranlarda daha güçlü tasarlandığı görülmüştür. Ancak, diğer yerel zemin sınıflarına kıyasla daha kötü olan Z4(ZE) zemin sınıfında 3, 4, 5 ve 6 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %81, %65, %46 ve %30, Z3(ZD) zemin sınıfında 3 ve 4 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %37 ve %16, Z2(ZC) zemin sınıfında ise 3 katlı modelde yaklaşık %6 oranlarında taban kesme kuvvetlerinde artış olduğu, diğer bir deyişle bu binaların aynı değişim yüzdeleri ile depreme karşı daha yetersiz tasarlandığı görülmüştür.

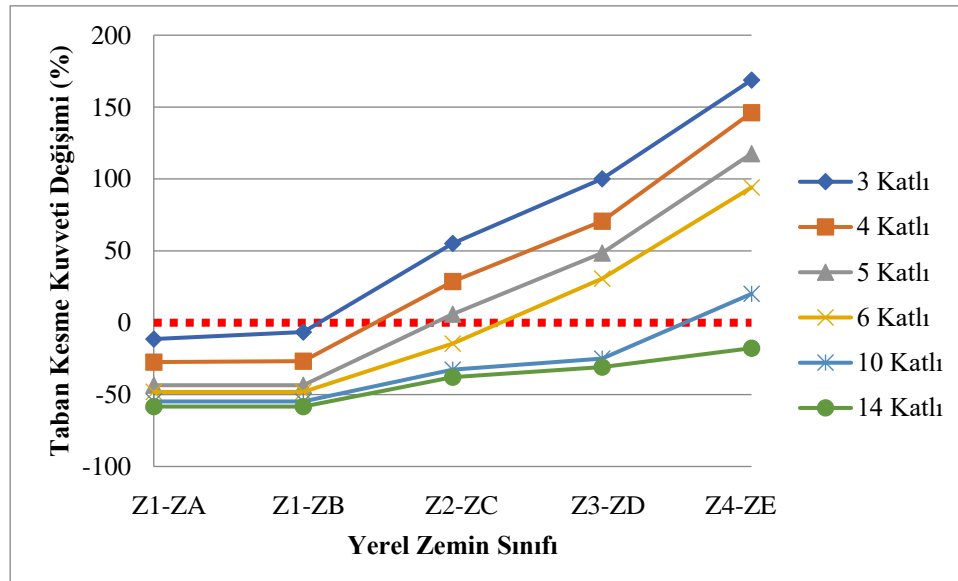
Sonuç olarak, Delice ilçe merkezinde tüm yerel zemin sınıfları için 10 ve 14 katlı, ZA, ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları için 6 katlı, ZA, ZB ve ZC zemin sınıfları için 4 ve 5 katlı, ZA ve ZB zemin sınıfları içinse 3 katlı binaların TBDY-2018'e göre belirlenen taban kesme kuvvetlerinde DBYBHY-2007'ye kıyasla binaları güvenli tarafta bırakacak şekilde azalma olduğu ancak, ZE zemin üzerine 3, 4, 5 ve 6 katlı, ZD zemin üzerine 3, 4 katlı ve ZC zemin üzerine ise 3 katlı inşa edilmiş binaların deprem performans analizinin yeniden yapılması, TBDY-2018'de istenilen Can Güvenliği performans şartını sağlamayan konutların da güçlendirilmesi gerekebileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 8. Yahşihan İlçe Merkezinde Yerel Zemin Sınıfına Bağlı Bina Taban Kesme Kuvvetinin TBDY-2018'e Göre Değişimi (%)

Yahşihan ilçe merkezi için farklı katlı modellerin DBYBHY-2007'ye kıyasla TBDY-2018'deki taban kesme kuvvetindeki değişim yüzdesi Şekil 8'de verilmiştir. Bina taban kesme kuvvetinin TBDY-2018'e göre değişim yüzdesinin, kötü zeminden Z4(ZE)'den sağlam zemine Z1(ZA) doğru gidildikçe, 10 ve 14 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %27'den %73'e ve %50'den %75'e azaldığı görülmüştür. Ayrıca, bu değişim yüzdesinin, Z3(ZD)'ten Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 5 ve 6 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %8'den %67'ye ve %21'den %70'e, Z2(ZC)'den Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 3 ve 4 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %4'ten %45'e ve %21'den %57'ye azaldığı, diğer bir deyişle bu binaların aynı oranlarda daha güçlü tasarlandığı görülmüştür. Ancak, diğer yerel zemin sınıflarına kıyasla daha kötü olan Z4(ZE) zemin sınıfında 3, 4, 5 ve 6 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %73, %57, %38 ve %23, Z3(ZD) zemin sınıfında ise 3 ve 4 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %26 ve %7 oranlarında taban kesme kuvvetlerinde artış olduğu, diğer bir deyişle bu binaların aynı değişim yüzdeleri ile depreme karşı daha yetersiz tasarlandığı görülmüştür.

Sonuç olarak, Yahşihan ilçe merkezinde tüm yerel zemin sınıfları için 10 ve 14 katlı, ZA, ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları için 5 ve 6 katlı, ZA, ZB ve ZC zemin sınıfları içinse 3 ve 4 katlı binaların TBDY-2018'e göre belirlenen taban kesme kuvvetlerinde DBYBHY-2007'ye kıyasla binaları güvenli tarafta bırakacak şekilde azalma olduğu ancak, ZE zemin üzerine 3, 4, 5, 6 katlı ve ZD zemin üzerine 3 ve 4 katlı inşa edilmiş binaların deprem performans analizinin yeniden yapılması, TBDY-2018'de istenilen Can Güvenliği performans şartını sağlamayan konutların da güçlendirilmesi gerekebileceği sonucuna varılmıştır.

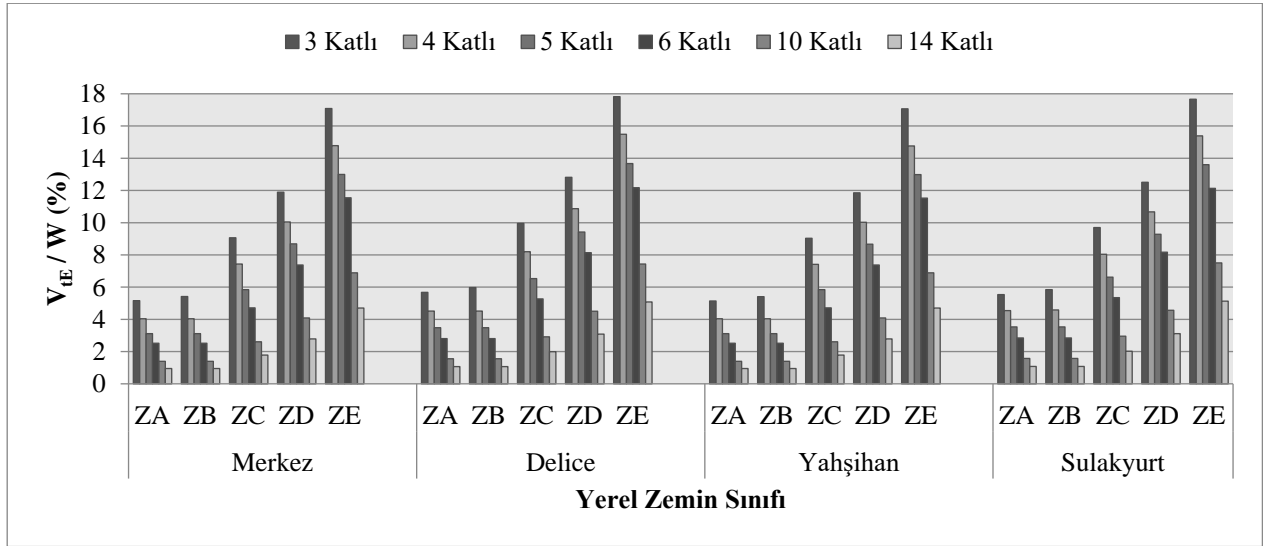


Şekil 9. Sulakyurt İlçe Merkezinde Yerel Zemin Sınıfına Bağlı Bina Taban Kesme Kuvvetinin TBDY-2018'e Göre Değişimi (%)

Sulakyurt ilçe merkezi için farklı katlı modellerin DBYBHY-2007'ye kıyasla TBDY-2018'deki taban kesme kuvvetindeki değişim yüzdesi Şekil 9'da verilmiştir. Bina taban kesme kuvvetinin TBDY-2018'e göre değişim yüzdesinin, kötü zeminden Z4(ZE)'den

sağlam zemine Z1(ZA) doğru gidildikçe, 14 katlı modelde yaklaşık %-18'den %-58'e azaldığı görülmüştür. Ayrıca, bu değişim yüzdesinin, Z3(ZD)'ten Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 10 katlı modelde yaklaşık %-25'ten %-55'e, Z2(ZC)'den Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 6 katlı modelde yaklaşık %-15'den %-48'e azaldığı, Z1(ZB)'den Z1(ZA)'e doğru gidildikçe 3 katlı modelde yaklaşık %-7'den %-11'e azaldığı, diğer bir deyişle bu binaların aynı oranlarda daha güçlü tasarlandığı görülmüştür. Ancak, diğer yerel zemin sınıflarına kıyasla daha kötü olan Z4(ZE) zemin sınıfında 3, 4, 5, 6 ve 10 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %169, %146, %118, %94 ve %20, Z3(ZD) zemin sınıfında 3, 4, 5 ve 6 katlı modellerde sırasıyla yaklaşık %100, %71, %48 ve %31, Z2(ZC) zemin sınıfında ise 3, 4 ve 5 katlı modellerde yaklaşık %55, %29 ve %6 oranlarında taban kesme kuvvetlerinde artış olduğu, diğer bir deyişle bu binaların aynı değişim yüzdeleri ile depreme karşı daha yetersiz tasarlandığı görülmüştür.

Sonuç olarak, Sulakyurt ilçe merkezinde tüm yerel zemin sınıfları için 14 katlı, ZA, ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları için 10 katlı, ZA, ZB ve ZC zemin sınıfları için 6 katlı, ZA ve ZB zemin sınıfları içinse 3, 4 ve 5 katlı binaların TBDY-2018'e göre belirlenen taban kesme kuvvetlerinde DBYBHY-2007'ye kıyasla binaları güvenli tarafta bırakacak şekilde azalma olduğu ancak, ZE zemin üzerine 3, 4, 5, 6 ve 10 katlı, ZD zemin üzerine 3, 4, 5, 6 katlı ve ZC zemin üzerine ise 3, 4 ve 5 katlı inşa edilmiş binaların deprem performans analizinin yeniden yapılması, TBDY-2018'de istenilen Can Güvenliği performans şartını sağlamayan konutların da güçlendirilmesi gerekebileceği sonucuna varılmıştır.

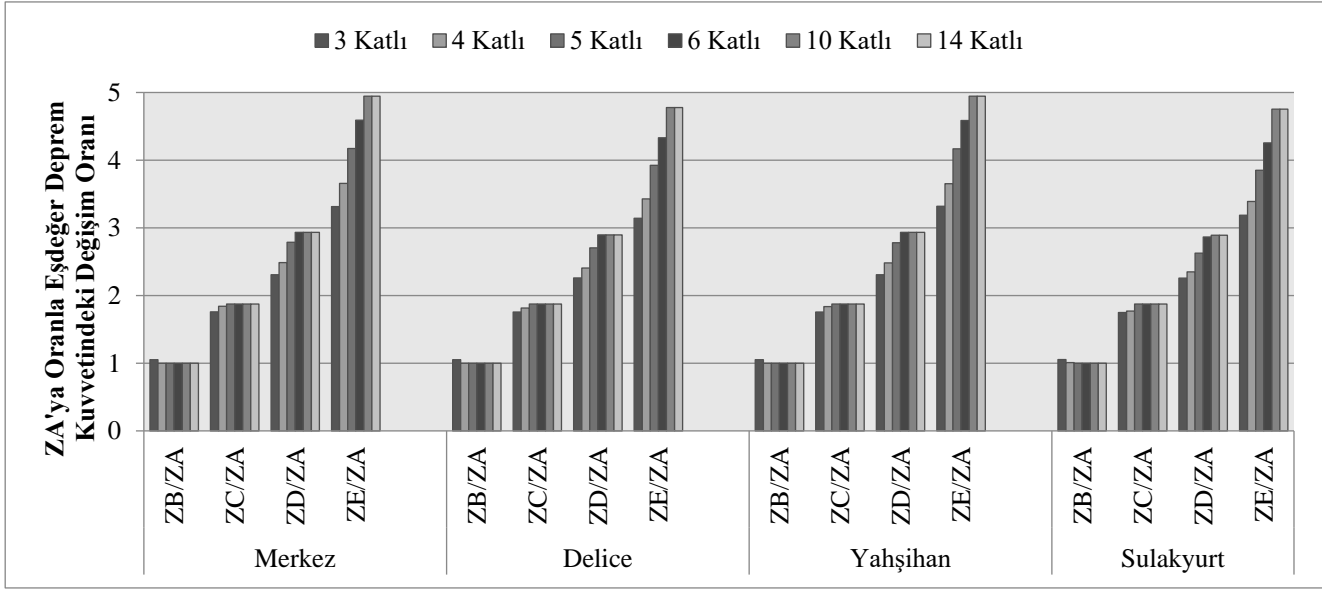


Şekil 10. Farklı Kat Adedine Sahip Modeller İçin Yerel Zemin Sınıflarına Göre İlçelerin V_{te}/W Oranları

Sonuçların sağlıklı bir şekilde yorumlanabilmesi için, hesaplar sonucunda TBDY-2018'e göre elde edilen eşdeğer deprem yükleri (V_{te}) bina ağırlıklarına (W) oranlanmış olup Kırıkkale iline bağlı Merkez, Delice, Yahşihan ve Sulakyurt ilçelerinin yerel zemin sınıflarına göre hesaplanan V_{te}/W oranları Şekil 10'da verilmiştir. Bina yüksekliği arttıkça yapının kütlesi artarken, buna bağlı olarak da taban kesme kuvvetinin de artması beklenirken bunun aksine, bina periyodundaki artışa bağlı olarak, TBDY-2018'e göre, yatay elastik tasarım spektral ivmesinin ve taban kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür (Şekil 10).

Merkez, Delice, Yahşihan ve Sulakyurt ilçelerinin TBDY-2018'e göre hesap edilen V_{te}/W oranlarında aynı yerel zemin sınıfları ve aynı kat adetleri için dikkate değer bir değişiklik görülmemiştir. Örneğin, ilçe merkezlerinde ZA zemine oturan 3 katlı bina için bu oranın yaklaşık %5.5 olduğu, aynı zeminde 14 katlı bina içinse bu oranın yaklaşık 5.5 katı azalarak %1'lerde olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, ilçe merkezlerinde ZE zemine oturan 3 katlı bina için bu oranın yaklaşık %17 olduğu, aynı zeminde 14 katlı bina içinse bu oranın yaklaşık 3.5 katı azalarak %5'lerde olduğu görülmektedir.

TBDY-2018'e göre hesap edilen eşdeğer deprem yüklerinin, 3, 4, 5, 6, 10 ve 14 katlı modellerde ZA yerel zemin sınıfına oranla diğer zeminler için eşdeğer deprem kuvvetindeki değişim oranları Şekil 11'de verilmiştir. Merkez, Delice, Yahşihan ve Sulakyurt ilçe merkezinin deprem yüklerinde 3 katlı model için ZA yerel zemin sınıfına oranla ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında sırasıyla yaklaşık 1.05, 1.75, 2.30 ve 3.20 katı artış görülmüştür. Bu artışların, 14 katlı model için yaklaşık 1.00, 1.87, 2.90 ve 4.85 katı olduğu görülmüştür. Bununla beraber, ZA yerel zemin sınıfına oranla diğer zeminler için eşdeğer deprem kuvvetinin, ZB zemin sınıfından daha kötü zemin olan ZE sınıfına gidildikçe 14 katlı modellerde yaklaşık 5 katına kadar bir artış gösterdiği, bu artışın 3 katlı modellerde ise yaklaşık 3 katı olduğu görülmüştür.



Şekil 11. Farklı Katlı Modellerde, ZA'ya Oranla Diğer Zeminler İçin Eşdeğer Deprem Kuvvetindeki Değişim Oranları

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, Kırıkkale iline bağlı Merkez, Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Delice, Karakeçili, Keskin, Sulakyurt ve Yahşihan olmak üzere toplam 9 adet ilçe merkezinde, ilçe merkezlerinin koordinatına göre belirlenen deprem parametreleri kullanılarak, planda simetrik, süneklik düzeyi yüksek ve betonarme çerçeveli 3, 4, 5, 6, 10 ve 14 katlı konut modellerin eşdeğer deprem yükleri, hem DBYBHY-2007'ye göre Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları, hem de TBDY-2018'e göre ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için SAP2000 programı kullanılarak ayrı ayrı hesap edilmiştir.

Kırıkkale-Merkez, Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Karakeçili ve Keskin ilçeleri hem DBYBHY-2007'ye hem de TBDY-2018'e göre eşdeğer deprem kuvvetlerinin birbirine yakın olması nedeniyle birlikte değerlendirilerek Kırıkkale-Merkez ilçesi için ve eşdeğer deprem kuvvetlerinin birbirinden farklı olması nedeniyle Delice, Yahşihan ve Sulakyurt ilçeleri için ayrı ayrı olmak üzere toplam 4 farklı ilçe merkezinde hesaplamalar yapılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda;

- TBDY-2018'e göre hesaplanan bina periyotlarının DBYBHY-2007'ye göre belirlenen periyottan daha büyük olduğu, TBDY-2018'de taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve kirişlerde etkin kesit rijitliklerinin kullanılmasından dolayı analizlerde yapı rijitliğinin daha küçük gösterildiği, buna bağlı olarak da taşıyıcı sistemlerin periyodunun büyüdüğü,
- Türkiye Deprem Tehlike Haritasına (TDTH) göre yerel deprem ivme değerleri azalmasına rağmen, bazı ilçe merkezlerinde DBYBHY-2007'ye göre tasarlanmış bazı konutların beklenenden farklı olarak güvensiz bölgede kaldığı, Kırıkkale-Merkez ilçesinde (benzer olarak Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Karakeçili, Keskin ilçeleri) ZE zemin üzerine inşa edilmiş 3, 4 ve 5 katlı konutların, Delice ilçesinde ZE zemin üzerine 3, 4, 5 ve 6 katlı, ZD zemin üzerine 3, 4 katlı ve ZC zemin üzerine ise 3 katlı inşa edilmiş konutların, Yahşihan ilçesinde ZE zemin üzerine 3, 4, 5, 6 katlı ve ZD zemin üzerine 3 ve 4 katlı inşa edilmiş konutların ve Sulakyurt ilçesinde ZE zemin üzerine 3, 4, 5, 6 ve 10 katlı, ZD zemin üzerine 3, 4, 5, 6 katlı ve ZC zemin üzerine ise 3, 4 ve 5 katlı inşa edilmiş konutların deprem performans analizinin yeniden yapılması, TBDY-2018'de istenilen Can Güvenliği performans şartını sağlamayan konutların da güçlendirilmesi gerekebileceği,
- Merkez, Delice, Yahşihan ve Sulakyurt ilçelerinin TBDY-2018'e göre hesap edilen eşdeğer deprem yükünün bina ağırlığına oranlarında (V_E/W) aynı yerel zemin sınıfları ve aynı kat adetleri için dikkate değer bir değişiklik olmazken, ZA zemine oturan 3 katlı bina için bu oranın yaklaşık %5.5 olduğu, aynı zeminde 14 katlı bina içinse bu oranın yaklaşık 5.5 katı azalarak %1'lerde olduğu, benzer şekilde, ZE zemine oturan 3 katlı bina için bu oranın yaklaşık %17 olduğu, aynı zeminde 14 katlı bina içinse bu oranın yaklaşık 3.5 katı azalarak %5'lerde olduğu,
- TBDY-2018'e göre hesap edilen eşdeğer deprem yüklerinin, 3 katlı model için ZA yerel zemin sınıfına oranla ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarındaki artış oranlarının sırasıyla yaklaşık 1.05, 1.75, 2.30 ve 3.20 katı olduğu, 14 katlı model içinse sırasıyla yaklaşık 1.00, 1.87, 2.90 ve 4.85 katı olduğu, ZA yerel zemin sınıfına oranla diğer zeminler için eşdeğer deprem kuvvetinin, ZB zemin sınıfından daha kötü zemin olan ZE sınıfına gidildikçe 14 katlı modellerde yaklaşık 5 katına kadar bir artış gösterdiği, bu artışın 3 katlı modellerde ise yaklaşık 3 katı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışma taban kesme kuvvetinin yapının taşıyıcı elemanının boyutlandırılmasında etkili bir parametre olduğu için Kırıkkale ilinde DBYBHY 2007'ye göre yapılmış binaların TBDY-2018'e göre taşıyıcı eleman kesitlerinin genel olarak büyük seçilerek daha güçlü tasarlandığı görülmüştür. Ancak, Kırıkkale-Merkez ilçesinde (benzer olarak Bahşılı, Balışeyh, Çelebi, Karakeçili, Keskin ilçeleri) özellikle kötü zemin (ZE) üzerine inşaa edilmiş 4 kat ve altı konutların, Delice ve Yahşihan ilçe merkezlerinde özellikle ZD zemin üzerine inşaa edilmiş 4 kat ve altı konutların ve ZE zemin üzerine inşaa edilmiş 6 kat ve altı konutların, Sulakyurt ilçe merkezinde özellikle ZC zemin üzerine inşaa edilmiş 4 kat ve altı konutların, ZD zemin üzerine inşaa edilmiş 6 kat ve altı konutların ve ZE zemin üzerine inşaa edilmiş 10 kat ve altı konutların deprem performans analizinin yeniden yapılması, TBDY-2018'de istenilen Can Güvenliği performans şartını sağlamayan konutların da güçlendirilmesi gerekebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmaya ek olarak, yenilenen TDTH'ye göre 46 ilde deprem tehlikesi düşürülen Kırıkkale iline benzer illerdeki konutlarda ve ayrıca bu illerde yer alan tüm kamu ve ticari binalarda benzer çalışmaların yapılması tamamlayıcı olacaktır.

5. Referanslar

Adar, K., Büyüksaraç, A., Işık, E., Ulu, A. E. (2021). 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Yapısal Analizler Işığında Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25, 306-317. doi:10.31590/ejosat.906347

AFAD. (2022). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara.

Aksoyly, C., Mobark, A., Arslan, M. H., Erkan, İ. H. (2020). A Comparative Study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for Reinforced Concrete Buildings. *Revista de la Construcción*, 19 (2), 282-305. doi:10.7764/RDLC.19.2.282

Aksoyly, C., Arslan, M. H. (2021). 2007 ve 2019 Deprem Yönetmeliklerinde Betonarme Binalar İçin Yer Alan Farklı Deprem Kuvveti Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması Olarak İrdelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13 (2), 359-374. doi:10.29137/umagd.844186

Atmaca, N., Atmaca, A., Kılıçık, S. (2019). Comparison of 2018 and 2007 Turkish Earthquake Regulations. *The International Journal of Energy & Engineering Sciences*, 4 (2), 19-25. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/910051>

Başaran, V. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY2019) Göre Afyonkarahisar İçin Deprem Yüklerinin Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (3), 1028-1035. doi:10.5578/fmbd.67739

Bozer, A. (2020). Tasarım Spektral İvme Katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırması. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11 (1), 393-404. doi:10.24012/dumf.559965

DBYBHY. (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

Doğan O., Genç Y. (2019). Türk Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Düşey Deprem Kuvvetinin İkinci Mertebeden Taban Momentlerine Etkisi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (3), 244-249. doi:10.30855/gmbd.2019.03.05

Doğan, O., Genç, Y., Odacıoğlu, O. G. (2021). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Depreme Dayanıklı Tasarımında Uyumlu Perde Çerçeve Davranışı İçin Minimum Perde Oranının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 1 (1). doi:10.2339/politeknik.871889

Döndüren, M. S., Hava, Ş., Ecemiş, A. S. (2021). Betonarme Bir Bina için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Analizi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 507-521. doi:10.36306/konjes.867309

Genç, Y. (2019). Türk ve Bazı Yabancı Deprem Yönetmeliklerine Göre Betonarme Binaların Analizinde Düşey Deprem Yük Etkilerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale*.

Kassem, M. M., Nazri, F. M., Farsangi, E. N., Öztürk, B. (2021). Improved Vulnerability Index Methodology to Quantify Seismic Risk and Loss Assessment in Reinforced Concrete Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-36. doi:10.1080/13632469.2021.1911888

Kassem, M. M., Nazri, F. M., Farsangi, E. N., Öztürk, B. (2022). Development of a uniform seismic vulnerability index framework for reinforced concrete building typology. *Journal of Building Engineering*, 47. doi:10.1016/j.job.2021.103838

Keskin, E., Bozdoğan, K. B. (2018). 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırıkkale İli Özelinde Değerlendirilmesi. *Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 74-90. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/494737>

Kırıkkale. (2017). *Kırıkkale Tarım Sektörü Yatırım Rehberi*, Kırıkkale İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü, Kırıkkale.

Nemutlu, Ö. F., Sarı, A. (2018). Comparison of Turkish Earthquake Code in 2007 With Turkish Earthquake Code in 2018. International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2018), 568-576, November, Diyarbakır.

Özmen, A., Erkut, S. (2021). Deprem Etkisinde Çok Katlı Betonarme Bir Binanın TDY-2007 ve TBDY-2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Eşdeğer Deprem Yüklerinin Karşılaştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4 (2), 124-133. doi:10.47495/okufbed.797889

Öztürk, B. (2006). Dynamic analysis and the resulting nonlinear response of building structures located in seismically active regions in Turkey. 4th International Conference on Earthquake Engineering, 12-13 October, Taipei.

Öztürk, M. (2018). 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası İle İlgili İç Anadolu Bölgesi Bazında Bir Değerlendirme. Selçuk-Teknik Dergisi, 17 (2), 31-42.

Öztürk, M., Selekoğlu, E. S., Baran, T. (2019). Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Bakımından TBDY-2019 İle DBYBHY-2007 Kıyaslaması. International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering, 1157-1166, 13-15 June, Hatay.

SAP2000. (2019). Structural Software for Analysis and Design. Computers and Structures, California-USA.

Sönmezer, Y. B., Akbaş, S. O., Işık, N. S. (2015). Kırıkkale İli Yerleşim Alanı İçin Pik İvme, Zemin Büyütme ve Hakim Titreşim Periyodu Özelliklerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30 (4), 711-721. doi:10.17341/gummd.54639

Sümer, Y., Hamsici, M. (2020). Çok Katlı Betonarme Binalarda 2018 Deprem Yönetmeliği İle Tanımlanan Spektrum Eğrilerinin Etkisi. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 8 (2), 349-354. doi:10.21541/apjes.641250

TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

TDBH. (2006). Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

TS498. (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS500. (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Tunç, G., Tanfener, T. (2016). 2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi. 3.Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişebilirlik, 1-13, 24-26 Kasım, Ankara.

TÜİK. (2021). Türkiye İstatistik Kurumu. Ankara. Retrieved from <http://www.tuik.gov.tr/>

Ünsal, İ., Öncel, F.A., Şahan, M. F. (2020). TDY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Yapı Yüksekliğinin Taban Kesme Kuvveti ve Tepe Deplasmanı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8 (4), 930-942. doi:10.36306/konjes.752139

URL-1. (2022). <https://www.gazetekale.com/haber-deprem-tehlike-haritasi-yenilendi-24699>, Erişim Tarihi: 06.03.2022.

URL-2. (2021). <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, Erişim tarihi: 31.12.2021.