



## Betonarme Çerçeve Binaların Tasarımında Kullanılan Sonlu Eleman Programlarının TBDY-2019'da Yer Alan Periyot, Taban Kesme Kuvveti ve Görelî Kat Ötelemesi Bağlamında Değerlendirilmesi

### Evaluation of Finite Element Programs Used in the Design of Reinforced Concrete Frame Buildings in the Context of Period, Base Shear Force and Relative story drift in TBEC-2019

Yusuf Uysal<sup>1</sup>, Ceyhan Aksoylu<sup>\*1</sup>, Musa Hakan Arslan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği, 42250 Selçuklu, Konya, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 13/03/2022

Kabul / Accepted: 03/06/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

#### Öz

Gelişen yazılım teknolojisi ile birlikte tasarımcı, seçilen deprem yönetmeliğine göre yapının analizini paket programlar yardımıyla kolaylıkla yapabilmektedir. Deprem yükünün tespitinde en önemli aşama yapının doğal titreşim periyodunun belirlenmesidir. Yönetmelikler tasarımcının, basit periyot bağıntıları (amprik) ve fiktif kuvvetler altındaki deplasmanlara bağlı literatürde kabul görmüş yöntemlere göre hesap yapmasını istemektedir. Bu çalışmada SAP2000 ve ETABS analiz programları kullanılarak yapının doğal titreşim periyodu tespit edilmiş ve elde edilen periyot değerleri TBDY-2019'da verilen yaklaşımlardan elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada İstanbul/Avçılar'da yapılacak olan 2-9 katlı çerçeve tipi betonarme binaların, ZA ve ZC zemin sınıfları için ETABS ve SAP2000 analizinden elde edilen periyot, taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır. Analiz programlarının periyot seçerken yaptığı hesap kabullerinden dolayı 4-9 katlı binalarda ETABS'da bulunan periyot SAP2000'de bulunan periyottan %9,5-40 kadar daha az sonuç vermiştir. Dolayısıyla yapıya gelen taban kesme kuvveti de aynı oranda değişmiştir. Ayrıca yalnızca SAP2000'de iki zemin sınıfı için yapılan analizler sonunda ZC zemin sınıfında elde edilen taban kesme kuvveti ZA zemin sınıfına göre %50-80 daha fazla olduğu görülmüştür. Görelî kat ötelemeleri ise ZA zemin sınıfı yerine ZC zemin sınıfı seçilmesi durumunda %49,2-92 kadar daha fazla elde edilmiştir. Sonuç olarak tasarımcılara yol gösterici olması amacıyla analiz programlarında yapılan hesap kabulleri açıklanmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

"Betonarme bina, ETABS, SAP2000, Periyot, Taban kesme kuvveti, TBDY-2019"

#### Abstract

With the developing software technology, the designer can quickly analyze the structure according to the chosen earthquake code with the help of package programs. The most critical step in determining the earthquake load is to determine the natural vibration period of the structure. Regulations require the designer to calculate according to methods accepted in the literature based on simple period relations (empirical) and displacements under fictitious forces. In this study, the natural vibration period of the structure was determined using the SAP2000 and ETABS analysis programs and the obtained period values were compared with the values obtained from the approaches given in TBDY-2019. In the study, the period, base shear force and relative story drifts obtained from the ETABS and SAP2000 analysis for the ZA and ZC soil classes of the 2-9 story frame type RC buildings to be built in İstanbul/Avçılar were compared. Due to the calculation assumptions made by the analysis programs when choosing the period, the period found in ETABS in 4-9-story buildings yielded 9.5-40% fewer results than the period found in SAP2000. Therefore, the base shear force on the structure also changed at the same rate. In addition, at the end of the analyzes made for only two soil classes in SAP2000, it was seen that the base shear force obtained in the ZC soil class was 50-80% higher than in the ZA soil class. Relative story drifts were obtained as 49.2-92% higher when ZC soil class was chosen instead of the ZA soil class. As a result, the analysis programs' calculations are explained to guide the designers.

#### Key Words

"RC building, ETABS, SAP2000, Period, Base shear force, TBEC-2019"

## 1. Giriş

Türkiye’de 21.yy’a kadar hemen hemen her dönemde meydana gelen yıkıcı depremlerden dolayı can ve mal kayıpları yaşanmıştır (Arslan & Korkmaz, 2007; Öztürk, 2018; Aksoylu vd., 2020, Işık, 2022; Avcil vd., 2022; Shendkar vd., 2022; Kaltakçı vd.,2008). Depremın yıkıcı etkisinin kontrol altına alınması için depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi ortaya çıkmış ve bu alanda araştırmalar yapılarak sürekli iyileştirici adımlar devam etmektedir (Bilgin vd., 2022; Aksoylu ve Kara, 2020; Aksoylu ve Sezer 2018; Aksoylu, 2021; Aksoylu vd. 2021; Aksoylu vd., 2020; Özkılıç vd., 2021; Arslan vd., 2022). Türkiye’de yapıların depremden daha az etkilenmesi için ilk yönetmelik, 26 Aralık 1939 yılında yaklaşık 30.000 insanın ölmesine neden olan Erzincan depreminin ardından 1940 yılında yürürlüğe girmiştir (Özkat & Kuruşçu, 2019). Zamanla özellikle yazılım teknolojisindeki gelişmeler ve yapılan araştırmalar ile yönetmeliklerde değişiklikler yapılmıştır. İlk yayımlanan yönetmeliklerin deprem davranışını belirleme hususunda yeterli başarı elde edemediği ve yayımlanan her yeni yönetmeliğin deprem tecrübesi sonrası ortaya çıktığı bilinmektedir. Özellikle 1999 Marmara depremi sonrası yapılan radikal değişiklikler yapıların depreme karşı daha iyi davranış sergilemesini sağlamıştır. Bu durum sünek tasarım felsefesinin benimsenmesi ile ön plana çıkmaktadır. 1998, 2007 yönetmelikleri ile oldukça iyi duruma gelen yapı davranışı, son olarak 1 Ocak 2019 yılında yürürlüğe giren yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2019) ile üst seviyelere çıkarılmıştır. TBDY-2019 ile deprem davranışının anlaşılması ve açıklanması yönünden çok sayıda parametre ASCE 7-16 (ASCE 7-16, 2017) yönetmeliğine benzer şekilde dikkate alınmış ve oldukça büyük ilerlemeler katedilmiştir (Aksoylu & Arslan, 2021).

TBDY-2019 yönetmeliği, yapıların deprem davranışını belirlemek amacıyla doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri sunmaktadır (Cansız, 2022). Doğrusal hesap yöntemleri eşdeğer deprem yükü yöntemi (EDYY), mod birleştirme yöntemi (MBY) ve mod toplama yöntemi (MTY) şeklindedir. Statik itme yöntemleri ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri ise doğrusal olmayan hesap yöntemleri olarak bilinmektedir. TBDY-2019’da yer alan deprem hesap yöntemlerinden en basit olanı EDYY’dır (Özmen & Sayın, 2021). Çünkü EDYY, karmaşık deprem hesaplarını basitleştirmek amacıyla en büyük kütle katılımına sahip olan 1.mod salınım periyodunu dikkate alarak doğrusal hesaplar yapmaktadır. Burada modelleme ve analiz sonrası elde edilen taban kesme kuvveti her kata statik bir yük olarak aktarılmakta ve bu sayede iç kuvvetler hesaplanarak tasarım gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntem belli şartlar altında uygulanabilmektedir. Yani kat sayısı az ve yapı düzensizlikleri buldurmeyen binalar için daha çok uygulanabilir. Bu tip binalarda hakim olan 1. mod periyot değeri yapının öteleme yaptığı moddaki periyodudur (Börekcı, 2019). Yapılan bu hesaplarda binaların hakim doğal titreşim periyotlarının doğru bir şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. Çünkü depreme esas kütle belirlenmesi oldukça karmaşık bir problemdir. Bunun için hakim doğal titreşim periyodu belirlenirken rayleigh periyot formülü yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada yapının kütlesi ve rijitliği dikkate alınarak periyot hesaplanmaktadır. Bunun dışında yönetmeliklerce önerilen basitleştirilmiş ampirik formüller belli şartlar altında kullanılmaktadır. Binaların modellenmesi ve analizinde uygulamada yaygın olarak kullanılan ticari paket programlar, kendi bünyelerinde ilgili yönetmelik şartlarını dikkate alarak analizler yapmaktadır. Bu programlar genellikle iki farklı periyot hesabını karşılaştırarak ve yönetmeliklerde belirtilen sınır şartları da dikkate alarak yapının depreme esas hakim doğal titreşim periyodunu belirlemektedir. Diğer bir ifade ile bu periyot yaklaşımları, kat yüksekliği ve bina türü parametrelerini içeren ampirik periyot ile yapının rijitliği ve kütlelerine bağlı olarak değişen rayleigh periyodunun karşılaştırılması şeklindedir (Aksoylu & Arslan, 2019a). Analiz programları iki periyot arasında karşılaştırma yaparak deprem hesaplarında dikkate alacağı hakim doğal titreşim periyodunu seçmektedir. Ayrıca tasarımcıların periyot seçimini yapabilmesine kendi bünyesinde yer alan seçenekler sayesinde belli sınırlara kadar izin vermektedir. Bu programların arka planda hesaplamaları yapması verdiği sonuçlarda belirsizlik oluşturabilmektedir. Bu yüzden paket programlar veya sonlu eleman ile analizler yapıldıktan sonra verilerin elle hesap yapılarak kontrol edilmesi oldukça önemlidir.

Literatürde yüksekliği az ve düzensizlik buldurmeyen binalar için araştırmacılar tarafından çok sayıda çalışmalar yapılmış ve bu binalar için yaklaşık periyot formülleri önerilmiştir (Aninthaneni & Dhakal, 2016; Çolak vd., 2019; Hsiao, 2009; Mirrashid & Naderpour, 2022; Salama, 2015; Sangamnerkar & Dubey, 2017). Ayrıca geçmişten günümüze kadar yayımlanan yönetmeliklerin (ABYYHY, 1998; Indian-Code, 2002; EC8, 2004; TDY, 2007; TCVN 9386, 2012; KBC, 2016; ASCE 7-16, 2017; İtalian NTC, 2018; TBDY, 2019) genelinde de periyot hesaplarının aynı teorik düşünceye dayandığı ve bu teorik düşünceler ışığında periyot hesaplamalarını daha basit bir şekilde ifade edebilmek için yaklaşık formüllere yer verildiği görülmektedir. Yönetmeliklerin karmaşık olan deprem hesaplarını daha basit hale getirmek için önerdikleri ampirik formüller, uygulama için kolaylıklar sağlasa da formül içerisinde sadece kat yüksekliği ve bina türü parametrelerinin yer alması daha fazla parametre içermesi gerekliliğini düşündürmektedir. Diğer taraftan analitik çalışmalar incelendiğinde genel anlamda yönetmelikte yer alan bilgilerin mevcut ticari programlar yardımıyla analizler yapılarak sorgulandığı görülmektedir. Bu çalışmalarda gerek TDY-2007 kapsamında gerekse TBDY-2019 kapsamında binaların davranışı incelenmekte ve çoğu çalışmada elde edilen sonuçlar için iki yönetmelik arasında karşılaştırmalar yapılmaktadır. Aksoylu ve Arslan (2019)’nın çalışmasında, ampirik periyot ile rayleigh periyodu analitik olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada ETABS analiz programı kullanılarak 2-5 katlı konut ve okul binası perde+çerçevesel yapı olarak modellenmiş ve farklı zemin sınıflarına göre incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iki periyot yaklaşımı arasında yapının taban kesme kuvvetinde önemli değişiklikler gözlenmiştir. Sonuç olarak TBDY-2019’da bina yükseklik sınıfına (BYS6, BYS7 ve BYS8) göre önerilen ampirik formüller yeniden değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bir diğer çalışmada ise Börekcı (2019), 6 katlı bir binanın hem SAP2000 analiz programında analizini hem de bazı araştırmacıların önerdiği ampirik periyodun elle hesabını yaparak hakim doğal titreşim periyodunu belirlemiş ve önerilen formüller ile SAP2000’de elde edilen periyot verilerinin yaklaşıklığını belirleyerek TBDY-2019’da verilen ampirik formül hesabı ile karşılaştırmıştır. Yaptığı karşılaştırmalara göre TBDY-2019’da verilen ampirik formülüne Goel ve Chopra ( $T_U$ ) bağıntısı %97,4 ile en yakın sonuç verirken Koçak ve Yıldırım bağıntısı ise %31,7 ile en uzak sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca TBDY-2019 yönetmeliği esas alınarak duvarsız ve duvarlı modeller üzerinde analizler yaparak duvar etkisinin ne kadar dikkate alındığı araştırılmıştır. Bu verilere göre duvarsız modelden elde edilen periyot, duvarlı modelden elde edilen periyottan % 73,3 kadar daha fazla sonuç vermiştir. Özmen ve Sayın (2021)’nin

çalışmalarında, 5 katlı bir betonarme yapıyı EDYY kullanarak SAP2000 programında analiz etmiş ve TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre binaya ait periyot ve taban kesme kuvvetleri incelenmiştir. Yapılan analizlerde farklı zemin sınıfları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre TBDY-2019 yönetmeliğinin daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Aninthaneni ve Dhakal (2016)'ın çalışmalarında, düzensizlik bulundurmeyen çerçeve tipi binaların periyodunu belirlemek için bina ağırlığı, kat yüksekliği, kat sayısı, aks açıklığı sayısı ve rijitlik parametrelerini içeren yaklaşık bir formül geliştirmişlerdir. Önerdikleri periyot formülünün güvenilirliğini ve çok yönlülüğünü doğrulamak için SAP2000 analiz programında 3-10 katlı binalardan elde edilen rayleigh periyotları ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirmiş oldukları yaklaşık periyodun rayleigh periyoduna göre tüm modellerde güvenilir tarafta kaldığını göstermiştir. Çalışmanın sonunda araştırmacılar, yapılacak periyot hesaplarında geliştirdikleri yaklaşık periyodun kullanımını önermektedirler. Chopra ve Goel (2000), yaptıkları çalışmada 1971 San Fernando depremi ile başlayan ve 1994 Northridge depremi ile biten toplamda sekiz California depremi sırasında kaydedilen verileri kullanarak ABD deprem yönetmeliklerinde yer alan periyot formüllerini sorgulamıştır. Yönetmelikteki formüllerden elde edilen periyot değerleri ölçülen periyot değerlerinden %50'ye ulaşan bir oranla daha düşük çıktığından dolayı bu formüllerin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Hatzigeorgiou ve Kanapitsas (2013)'ün çalışmalarında, Yunanistan'da inşaa edilmiş 20 farklı konfigürasyona sahip gerçek binalar için üç boyutlu sonlu eleman analizi yapmışlardır. Modellerde dolgu duvarların rijitliğe katkısı ihmal edilmiştir. Her bir bina için periyot değerleri karşılaştırılarak periyot hesabı için bina yüksekliği, deprem doğrultusundaki bina plan uzunluğu, perde duvar miktarı, yapı ağırlığı ve zemin cinsi parametrelerini içeren yaklaşık bir formül önermişlerdir. Çalışmanın sonunda bina yüksekliği en fazla 30m olan az katlı ve orta katlı binalar için yaklaşık formül önerisi üç boyutlu analiz ile doğrulanmıştır. Leissa (2005)'nin yaptığı analitik çalışmada, Rayleigh ve Ritz yöntemlerini detaylı inceleyerek bu iki yöntem arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Yaptığı detaylı araştırma sonunda Ritz yöntemi için Rayleigh yönteminin geniş kapsamlı bir genellemesi olduğu sonucunu elde etmiştir. Yani Rayleigh yöntemi serbest titreşim ve burkulmanın bulunması durumları için faydalı sonuçlar verse de Ritz yönteminin tüm yapılar için kullanılabilmesi Rayleigh yöntemini kapsayan bir yöntem olmuştur. Ditommaso vd. (2013)'nin yaptıkları bu çalışmada, betonarme binalar için yapı periyodunun yapısal ve yapısal olmayan hasar durumlarına bağlı olarak değişimini gözlemleyerek ampirik periyot önerisinde bulunmuşlardır. Bina yaşı, yüksekliği ve hasar seviyesi bakımında farklı özelliklere sahip 68 adet bina için ölçümler yapılarak EMS-98'e (Avrupa Makrosismik Skalası) göre hakim doğal titreşim periyotları karşılaştırılmıştır. Hasar seviyesi olarak EMS-98'de yer alan dört farklı hasar seviyesi dikkate alınmıştır. Sonuç olarak düşük hasar seviyesi için ölçüm yapılan periyot değerlerinin EMS-98 verilerinden daha düşük çıktığı görülmüştür. Ayrıca bina yaşı arttıkça ölçüm yapılan periyot değerlerinin de artmasına rağmen EMS-98'de verilen değerlerin altında kaldığı görülmüştür. Çalışmanın sonunda bina yaşı, yüksekliği ve hasar seviyesi parametrelerini içeren ampirik formül önerisi verilerek EMS-98 verilerinin tekrardan değerlendirilmesi gerektiği savunulmuştur.

Bu çalışmada İstanbul/Avcılar'da tasarlanan çerçeve tipi betonarme binalar, ZA ve ZC zemin sınıfları için EDDY'ye göre analiz edilmiştir. Yapılarda verilerin kolay yorumlanabilmesi için düzensizlik içermeyen taşıyıcı sistem biçimi seçilmiştir. Binaların taşıyıcı sistem modelleri SAP2000 v.23 (SAP2000 v.23) ve ETABS v.18.1.1'de (ETABS 18.1.1) gerçekleştirilmiştir. Yapı analiz programlarından elde edilen doğal titreşim periyodu, taban kesme kuvvetleri ve görelî kat ötelemeleri yönünden numerik olarak karşılaştırılmıştır. Özellikle TBDY-2019'da bina yükseklik sınıfı ve deprem tasarım sınıfını içeren sınır durumların sağlanması durumunda kullanılacak olan ampirik formül ve Rayleigh periyot formülünden elde edilen taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelemeleri kapsamlı olarak incelenmiştir.

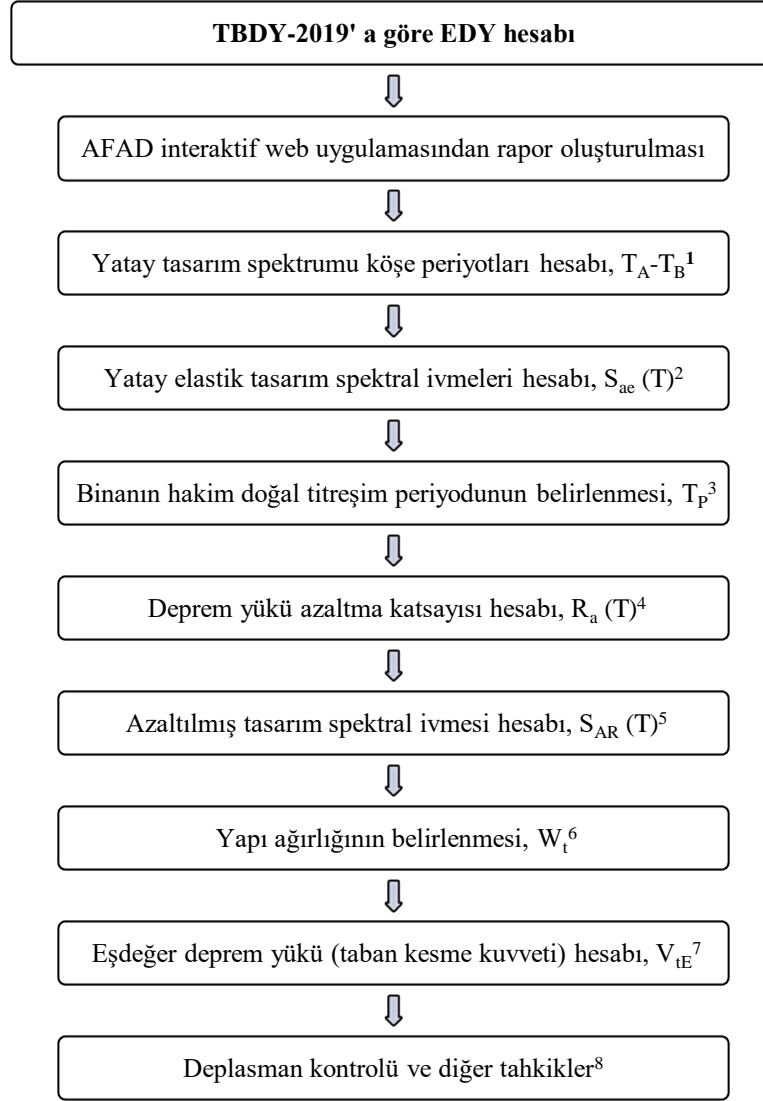
## 2. TBDY-2019 Doğrusal Hesap Yöntemleri

Depreme dayanıklı betonarme bina tasarımında doğrusal hesap yöntemleri olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi (EDYY), mod birleştirme yöntemi (MBY), mod toplama yöntemi (MTY) ve zaman tanım alanında elastik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarımcı belli şartların sağlanması durumunda doğrudan EDYY'yi kullanabilirken aksi halde MBY veya MTY ile analizleri devam ettirmektedir. EDYY, deprem yükünü temsil eden ve yapıya yatay yönde her kat için artan bir statik yükün etki ettirilmesine dayanan hesap yöntemidir. Diğer bir ifade ile yapının kütlesi ile bina ivmesinin çarpılması sonucu bina tabanında oluşan taban kesme kuvveti, üçgen yük dağılımı gösterecek şekilde katlara dağıtılarak uygulanan statik bir yöntemdir.

TBDY-2019 yönetmeliği, TDY-2007 yönetmeliğine göre oldukça kapsamlı olmakla birlikte yapı elemanı ve yapı sistemleri bazında çok sayıda yenilikler ortaya koymuştur. Özellikle bina yükseklik sınıfı (BYS) ve kısa periyot spektral ivme katsayısına ( $S_{DS}$ ) bağlı olarak belirlenen sekiz tane deprem tasarım sınıfı (DTS) TBDY-2019 ile tanımlanmıştır. DTS'ler, Türkiye Sismik Tehlike Haritalarının interaktif web uygulamasından alınan  $S_{DS}$ 'e bağlı olarak deprem riskinin en yüksek dereceden en düşük dereceye sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 değerlerini alabilmektedir. Ayrıca yapının kullanım amacı düşünülerek oluşturulan bina kullanım sınıfına (BKS) göre 1a, 2a, 3a ve 4a ifadelerine de yer verilmiştir. Bu durum  $DTS = 1$  ve 1a olması durumunda en kritik deprem tasarım kurallarının,  $DTS = 4$  ve 4a olması durumunda daha esnek deprem tasarım kurallarının uygulanması demektir. TBDY-2019'da yapılan radikal değişikliklerden biri de TDY-2007'de de yer alan taşıyıcı sistem davranış katsayısının ( $R$ ) yanı sıra dayanım fazlalığı katsayısının ( $D$ ) ilk kez kullanılmaya başlanmasıdır. Dayanım fazlalığı katsayısı, tasarım dayanımının akma dayanımına oranındaki fazlalığı ifade eden bir katsayıdır. Bu katsayı, taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak 1,5-3 aralığında değerler almaktadır.

Kapasite tasarımı ilkeleri esas alınarak kolon, kiriş ve perde gibi taşıyıcı elemanlarda gevrek güç tükenmesine sebep olan kesit tesirleri, dayanım fazlalığı katsayısı ile artırılarak kesit geometrisi ve kesit içerisindeki donatılar hesaplanmaktadır. Böylece elverişsiz yükler altında taşıyıcı elemanların gevrek güç tükenmesinden uzaklaşıp sünek davranışa yaklaşması amaçlanmaktadır. Bilindiği üzere deprem kuvvetine maruz kalan bir yapıda çok sayıda mod salınım şekilleri oluşmaktadır. Fakat EDYY, hesapları kolaylaştırmak adına sadece en büyük kütle katılım oranına sahip olan 1.mod periyot değerlerini dikkate alarak doğrusal hesaplar yapmaktadır (Aksoylu & Arslan, 2019b). Böylece yer hareketi ve yapı davranışı alanında yaşanan gelişmeler neticesinde,

karmaşık analitik hesapları gerektiren deprem kuvveti, EDYY ile basitleştirilerek daha kolay ve uygulanabilir hale gelmiştir. Ancak bu yöntem her yapı yüksekliği ve türü için deprem yükünü güvenli bir şekilde temsil etmediğinden dolayı, TBDY-2019'da EDYY'nin uygulanabileceği sınır şartlar getirmiştir. DTS, burulma düzensizliği katsayısı ( $n_{bi}$ ) ve B2 türü yapı düzensizliği parametrelerine bağlı olarak EDYY'nin uygulanabileceği binalar için BYS sınır şartlarına uyulması gerektiği belirtilmektedir. TBDY-2019'da BYS'ler deprem tasarım sınıflarına (DTS) bağlı olarak sekiz gruba ayrılmıştır. TBDY-2019'da yer alan BYS'ye ve DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik ( $H_N$ ) aralıkları verilmiştir. Burada  $H_N$  ifadesi, yapıda bodrum perde varsa bodrum perde üst kotundan yoksa zemin kotundan başlayarak belirlenen yükseklik olarak ifade edilmiştir. TBDY-2019 yönetmeliğinde taban kesme kuvveti ( $V_{tE}$ ) hesap adımlarının TDY-2007'ye benzer olmasına karşın EDYY için kullanılan verilerin elde edilmesinde büyük yenilikler mevcuttur. TBDY-2019'da yer alan EDYY için hesap aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. TBDY-2019'da verilen EDYY'ye ait hesap aşamalarının şematik gösterimi

Şekil 1'de verilen EDYY için hesap adımlarına ait denklemler sırasıyla Denklem 1-8 olarak Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 1'de semboller üzerinde gösterilen numaralar, hesap adımlarında kullanılan denklemlerin numaralarını göstermektedir.

**Tablo 1.** EDYY için hesap adımlarına ait denklemler

$T_A = \frac{0,2 * S_{D1}}{S_{DS}}$	$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$	(1)	
$S_{ae}(T) = \left( 0,4 + 0,6 * \frac{T}{T_A} \right)$	$0 \leq T \leq T_A$	(2)	
$S_{ae}(T) = S_{DS}$	$T_A \leq T \leq T_B$		
$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T}$	$T_B \leq T \leq T_L$		
$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$	$T_L < T$		
$T_p = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2}$		(3)	
$R_a(T) = \frac{R}{I}$	$T > T_B$	(4)	
$R_a(T) = D + \left( \frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B}$	$T \leq T_B$		
$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)}$		(5)	
$w_j^{(s)} = w_{G,j}^{(s)} + w_{Q,j}^{(s)}$	$m_j^{(s)} = \frac{w_j^{(s)}}{g}$	(6)	
$V_{IE} = m_i S_{aR}(T_p) \geq 0,04 m_i I S_{DS} g$		(7)	
$\Delta_i^{(x)} = u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)}$	$\delta_i = \frac{R}{I} \Delta_i$	$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0,008\kappa$ $\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0,016\kappa$	(8)

EDYY’de kullanılan hâkim doğal titreşim periyodu yani Rayleigh periyodu ( $T_p$ ), azaltılmış spektral ivme ( $S_{aR}$ ) değerini doğrudan etkilediği için deprem etkisi altında yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetini ( $V_{IE}$ ) önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. EDYY’nin uygulanabildiği tüm binalarda hâkim doğal titreşim periyodu daha kesin bir hesap yapılmadıkça Denklem 3’de verilen Rayleigh formülü ile hesaplanmaktadır. Başka bir ifadeyle Rayleigh formülünü her yapıda, her zaman ve her şartta uygulanabileceği belirtilmektedir. Bunun yanı sıra TBDY-2019 yönetmeliği, DTS = 1, 1a, 2, 2a ve BYS ≤ 6 olan binalarda ve DTS = 3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda Rayleigh hesabı yerine basitleştirilmiş ampirik periyodun ( $T_{pA}$ ) kullanılabilirliğini önermektedir ( $T_p \approx T_{pA}$ ). Ayrıca Rayleigh formülünden bulunan  $T_p$  periyodunun, Denklem 9’da verilen ampirik periyot değerinin 1,4 katından daha fazla alınmayacağı belirtilmektedir (TBDY, 2019). Bu sınırın aşılma durumu daha çok orta yüksekliğe sahip binalardan sonraki bina yüksekliğine karşılık gelen binalarda görülebilmektedir.

$$T_{pA} = C_t * H_N^{0,75} \quad (9)$$

Burada  $H_N$ , binanın toplam yüksekliğini ifade etmektedir.  $C_t$  katsayısı taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda  $C_t = 0,1$ , çelik çerçevelerden ve çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda  $C_t = 0,08$ , diğer tüm binalarda ise  $C_t = 0,07$  alınacağı belirtilmektedir.

TBDY-2019’da dolgu duvar elemanlarının çerçeveye tamamen bitişik olması ve çerçeveden esnek derz uygulaması ile bağımsız olması durumlarına göre iki farklı sınır şart verilmiştir. Görelî kat ötelemeleri kontrolü yapılırken dolgu duvar elemanların çerçeveye bitişik olması durumu Denklem 10, çerçeve ile dolgu duvar elemanları arasında esnek derz bulunması durumu Denklem 11’de verilmiştir. Görüldüğü üzere dolgu duvarların taşıyıcı sisteme tam bitişik olması durumunda (ki imalatların genellikle bu

şekilde yapıldığı bilinmektedir) deplasman kontrolü için sınır değerin 2 kata çıkmasını sağlamıştır. Başka bir ifade ile dolgu duvar – çerçeve bağlantısının derzli teşkil edildiği binalarda 2 kat daha fazla ötelemeye mücade edilmektedir. Bu durum deprem anında dolgu duvarların çerçeve sisteme bitişik olarak imal edilmesiyle depreme yükü etkisindeki çatlama anına kadar rijitliğe ciddi katkı sağladığını ve hesaplarda dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0,008\kappa \quad (10)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0,016\kappa \quad (11)$$

Burada verilen  $h_i$  hesap yapılan  $i$ 'inci kat yüksekliğini ifade etmektedir.  $\lambda$  katsayısı, bina için esas alınan hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareket düzeyine (50 yılda aşılma olasılığının %50) göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesi' nin ( $S_{ae}(T)_{DD-3}$ ), DD-2 deprem yer hareket düzeyine (50 yılda aşılma olasılığının %10) göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesine ( $S_{ae}(T)_{DD-2}$ ) oranı olarak Denklem 12'deki gibi tanımlanmaktadır.  $\delta_{i,max}$  ise etkin görelî kat ötelemeleri içerisinde en büyük ötelemeye sahip değeri olarak ifade edilmektedir.  $\kappa$  katsayısı betonarme binalarda  $\kappa = 1$ , çelik binalarda ise  $\kappa = 0,5$  olarak alınacağı belirtilmektedir.

$$\lambda = \frac{S_{ae}(T)_{DD-3}}{S_{ae}(T)_{DD-2}} \quad (12)$$

TBDY-2019'da esas alınan deprem doğrultusu için, yapının  $i$ 'inci katındaki kolon veya perde taşıyıcı elemanlar için etkin görelî kat ötelemesi ( $\delta_i$ ) Denklem 13'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

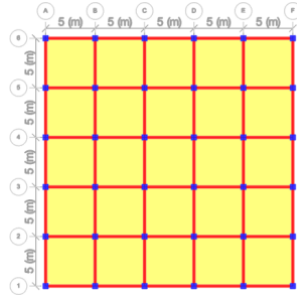
$$\delta_i = \frac{R}{I} \Delta_i \quad (13)$$

Denklemde verilen R, taşıyıcı sistem davranış katsayısını ve I bina önem katsayısını ifade etmektedir.  $\Delta_i$  ise azaltılmış görelî kat ötelemesini temsil etmektedir. Azaltılmış görelî kat ötelemesi, üst kat deplasmanı ile alt kat deplasmanı arasındaki fark şeklinde hesap edilmektedir. Denklem 14'de azaltılmış kat ötelemelerinin elde edilmesi gösterilmiştir.

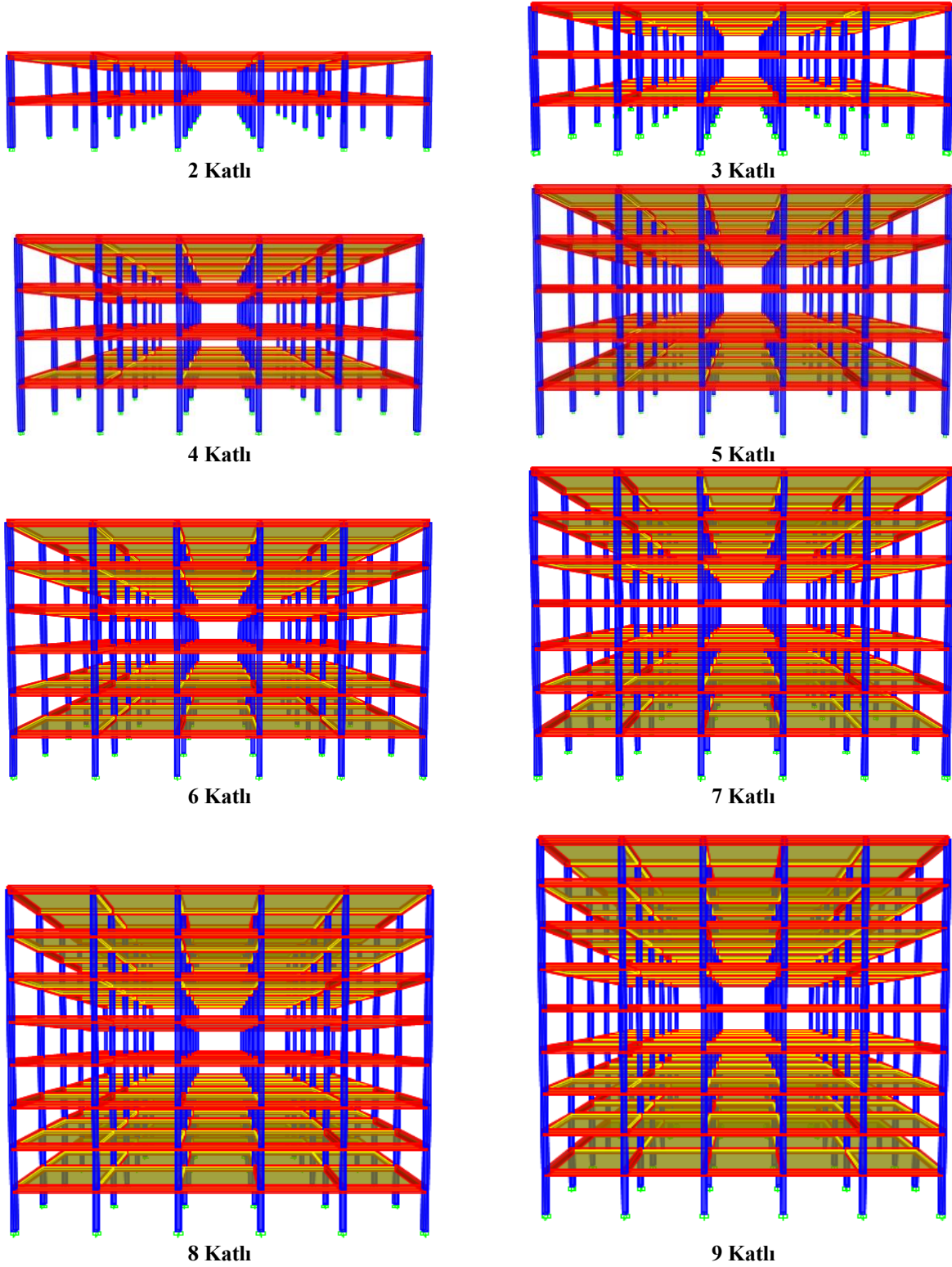
$$\Delta_i^{(x)} = u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)} \quad (14)$$

### 3. Numerik Analiz

Numerik analizler İstanbul/Avcılar'da yer alan belediye binasının koordinatları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Modeller 2-9 katlı çerçeve tipi konut yapısını için oluşturulmuştur. Avcılar bölgesi, Kuzey Anadolu Fay Hattına yakın olduğu için deprem derecesi bakımından kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ( $S_{DS}$ ) bağlı olarak belirlenen  $DTS=1$ 'e karşılık gelmektedir. Toplam bina yükseklikleri ( $H_N$ ) seçilirken doğrusal hesap yöntemi olan EDYY'nin uygulanabileceği bina yükseklik sınıfları (BYS) dikkate alınmıştır. X ve Y doğrultularında 5 açıklığa sahip binalar için kat yüksekliği 3m olarak seçilmiştir. Tüm modellerde plan geometrisi aynı olmakla birlikte her iki yöndeki plan uzunlukları 25m×25m olup kat alanı 625 m<sup>2</sup>'dir. ZA ve ZC olmak üzere iki farklı zemin sınıfı için AFAD'ın interaktif web uygulaması üzerinden elde edilen deprem verileri dikkate alınarak SAP2000 v.23 yapı analiz programında modeller oluşturulmuştur. Ayrıca ETABS v.18.1.1 yapı analiz programında da analizler yapılarak iki program arasında deprem hesabı yönünden karşılaştırmalar yapılmıştır. TBDY-2019'da verilen etkin kesit rijitlik çarpanları kolonlar için %70, kirişler için %35 ve döşemeler için ise %25 olacak şekilde tanımlanmıştır. Modelde çift yönlü döşeme için gerekli hesaplamalar yapılarak döşeme kalınlığı 160 mm olarak seçilmiştir. Döşeme kalınlığına göre de minimum kiriş boyutları 250mm×480mm olmasına rağmen uygulamada kolaylık sağlaması ve sehim şartları açısından 250mm×500mm olarak belirlenmiştir. Kolon boyutları düşey ve yatay yükler altındaki kombinasyonlar dikkate alınarak belirlenmiştir. 1,4G+1,6Q yüklemesi altında  $0,6 \times f_{ck} \times A_c$  ile G+Q+E yüklemesi altında ise  $0,4 \times f_{ck} \times A_c$  kontrollerine uygun olarak 550mm×550mm kolon boyutları seçilmiştir. Kolon boyutlarının aynı seçilmesinin sebebi yapılan 2-9 katlı tüm modeller için yeterli olmasından kaynaklanmaktadır. Bina temeli için ayrı bir boyutlandırma yapılmamış, ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır. Beton sınıfı C30 ve donatı sınıfı ise B420c seçilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'de kullanım amacı konut olan ve bu çalışmada dikkate alınan modellerin kat planı ve üç boyutlu görünümleri verilmiştir.



Şekil 2. SAP2000 yapı modeli kat planı



Şekil 3. Yapı modeli 3D görünümü

Numerik analizde kolon ve kirişler çerçeve (çubuk), döşemeler ise kabuk (shell) sonlu eleman olarak modellenmiştir. Her kat için rijit diyafram kabulü yapılmış ve sönüm oranı TBDY-2019'da betonarme binalar için verilen %5 olarak dikkate alınmıştır. Modellemelerde her bir yapı ağırlığı SAP2000 programına hesaplatılmış olup tüm kat döşemelerine ayrıca kaplama yükü  $1.5\text{kN/m}^2$  ve duvar yükü  $2.5\text{kN/m}^2$  olmak üzere toplam  $g=4\text{kN/m}^2$  yayılı yük olarak uygulanmıştır (TS 498, 1997). Hareketli yük olarak döşemelere  $q=2\text{kN/m}^2$  ve son kata ilave olarak İstanbul/Avcılar bölgesi için TS 498'de verilen kar yükü  $q_k=0,75\text{kN/m}^2$  olarak uygulanmıştır. Yapılan analizlerde dolgu duvarlar ile çerçeve elemanlar arasında esnek derz olması durumu dikkate alınarak dolgu duvarların yapı rijitliğine katkısı olmadığı yalnızca düşey yük olarak etki ettiği kabul edilmiştir. Deprem etkilerinin süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile karşılandığı durum için taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R=8$ ) ve dayanım fazlalığı katsayısı ( $D=3$ ) olarak dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamındaki modellemeler TBDY-2019'a göre dikkate alınan tasarım hesap parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Tasarım hesap parametreleri

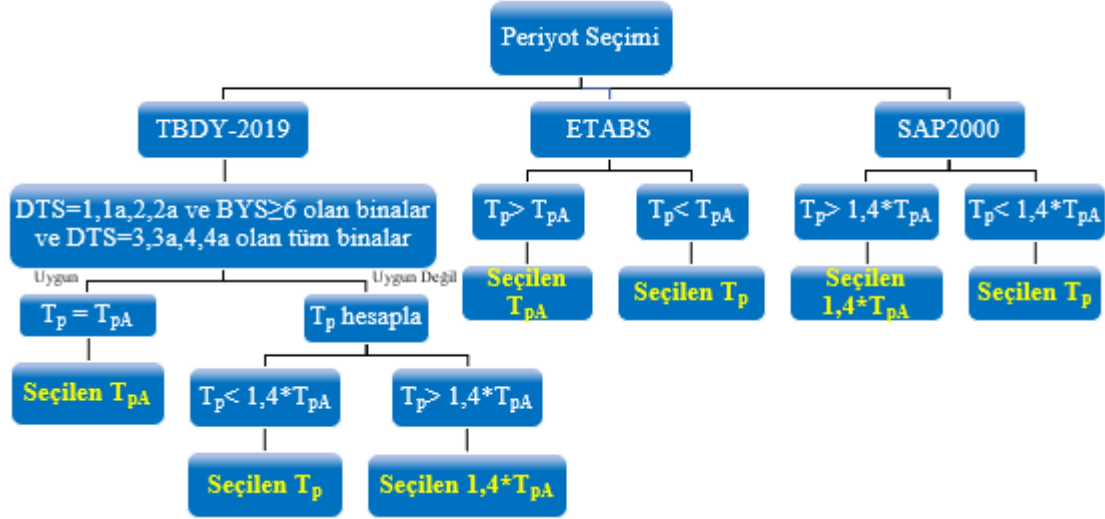
Konum	İstanbul/Avcılar
Enlem	40.978817
Boylam	28.720963
Yerel Zemin Sınıfı	ZA (Sağlam, sert kayalar) ZC (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar)
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi)
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS1
Bina Kullanım Sınıfı	BKS3 (Konut yapıları için $I=1$ ) BYS8 ( $H_N=6\text{m}$ )-2 katlı bina BYS7 ( $H_N=9\text{m}$ )-3 katlı bina
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS6 ( $H_N=12\text{m}$ ve $15\text{m}$ )-4 ve 5 katlı bina BYS5 ( $H_N=18\text{m}$ , $21\text{m}$ , $24\text{m}$ , $27\text{m}$ )-6,7,8 ve 9 katlı bina
$S_s$	1.283
$S_1$	0.346
PGA	0.525g
PGV	32.035cm/s

Modellemeler ilk olarak SAP2000 v.23'de gerçekleştirilmiştir. SAP2000'de deprem hesaplarında dikkate alınabilecek üç farklı periyot durumundan bahsedilmektedir. Bunlar Rayleigh periyodu ( $T_p$ ), ampirik periyot ( $T_{pA}$ ) ve kullanıcı tanımlı periyot değeridir. Tasarım mühendisi TBDY-2019'da yer alan sınır şartlara göre bu periyot hesap yaklaşımlarını tercih ederken program hakkında yeterli bilgiye sahip olması gerekir. Yani programın tasarımcıya sunduğu üç farklı periyot seçeneğine bağlı olarak yaptığı kabülleri bilmek gerekmektedir. Çünkü tasarımcının seçeceği periyot seçeneğine göre hesaplarda dikkate alınan periyot ve taban kesme kuvvetleri değişmektedir.

SAP2000'de 2-9 katlı tüm modeller için ampirik periyot ( $T_{pA}$ ), Rayleigh periyodu ( $T_p$ ) ve SAP2000 programının deprem hesabında dikkate aldığı periyot değerleri ( $T_{pA}$ ,  $1.4T_{pA}$  veya  $T_p$ ) belirlenmiştir. TBDY-2019 yönetmeliği, DTS = 1, 1a, 2, 2a ve  $BYS \geq 6$  olan binalarda ve DTS = 3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda Rayleigh periyodu hesaplanmaksızın doğrudan ampirik periyodun ( $T_{pA}$ ) kullanılabilmesini önermektedir. Ayrıca TBDY-2019 yönetmeliği, bina için hesaplanan  $T_p$  değerinin  $T_{pA}$  değerinin 1,4 katından daha büyük olamayacağını belirtmektedir. Programlarda TBDY-2019'da verilen bu yaklaşımı DTS ve  $BYS$ 'yi dikkate almadan kullanıcının iznine bırakmıştır. Eğer kullanıcı tasarladığı binanın ampirik formül sınırları içerisinde olduğunu biliyorsa "yaklaşık (approximate)" seçeneğini doğrudan kullanabilir. Aksi halde "program calculated" seçeneğini seçmesi gerekmektedir. Bu seçenek ile SAP2000 ya Rayleigh periyodunu ya da  $1.4T_{pA}$  periyodunu deprem hesabında dikkate almaktadır. Tasarımcı eğer farklı bir periyot değerini hesaplarda dikkate almak isterse kullanıcı tanımlı "user defined" seçeneğini de kullanabilmektedir.

Tasarımcılara yol gösterilmesi için binaya gelen taban kesme kuvvetini doğrudan etkileyen periyot hesabı, program yaklaşımlarına göre kapsamlı olarak araştırılmıştır. Bunun için ilk olarak Şekil 4'de gösterilen akış diyagramı oluşturulmuştur. Bu sayede TBDY-2019, SAP2000 ve ETABS için periyot hesapları karşılaştırılmıştır. Şekil 4 incelendiğinde SAP2000 programında program calculated seçildiğinde,  $T_p$  ile  $1.4T_{pA}$  değerleri arasında karşılaştırma yaparak küçük olan periyot değerini deprem hesaplarında kullanmaktadır. ETABS ise  $T_p$  ile  $T_{pA}$  arasında kıyas yaparak doğrudan daha küçük olan periyodu dikkate almaktadır. Tablo 3 incelendiğinde SAP2000'de program calculated seçilmesi durumunda deprem hesabına esas dikkate alınan periyot değerleri gösterilmiştir.



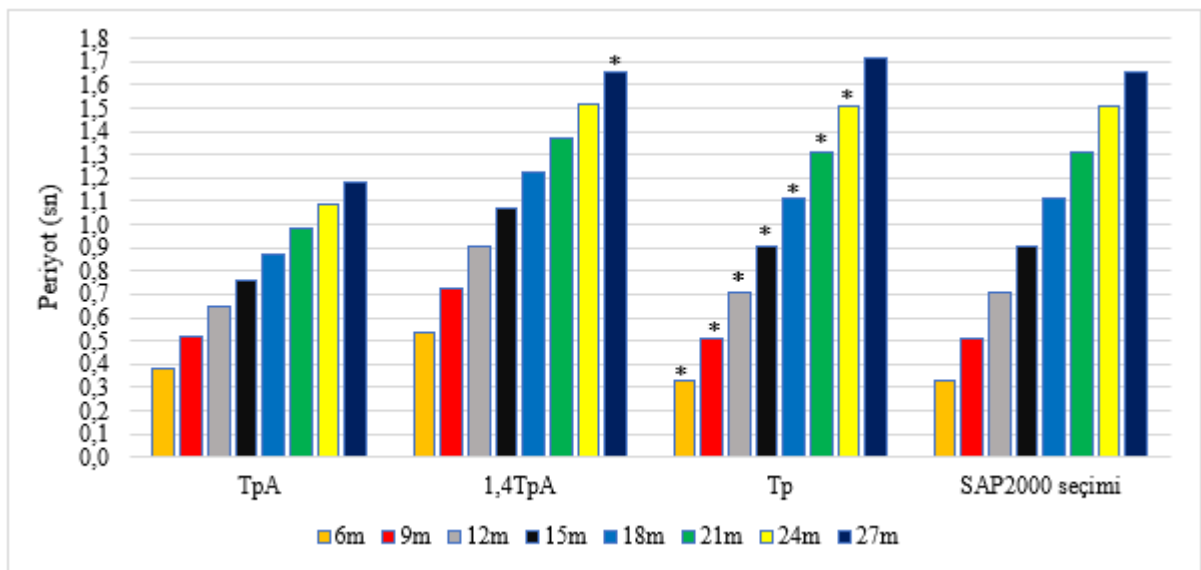


Şekil 4. Periyot seçimi yapılırken izlenecek adımlar

Tablo 3. SAP2000 programında ZA için periyot değerleri

Kat sayısı/ $H_N$	Deprem yönü	$T_{pA}$ periyodu (sn)	$1,4 \times T_{pA}$ periyodu (sn)	Rayleigh periyodu ( $T_p$ ) (sn)	SAP2000'in dikkate aldığı periyot (sn)
2/6m	X/Y	0,3834	0,5368	<b>0,3277</b>	<b>0,3277</b>
3/9m	X/Y	0,5196	0,7274	<b>0,5118</b>	<b>0,5118</b>
4/12m	X/Y	0,6447	0,9026	<b>0,7060</b>	<b>0,7060</b>
5/15m	X/Y	0,7620	1,0668	<b>0,9081</b>	<b>0,9081</b>
6/18m	X/Y	0,8739	1,2235	<b>1,1086</b>	<b>1,1086</b>
7/21m	X/Y	0,9810	1,3734	<b>1,3103</b>	<b>1,3103</b>
8/24m	X/Y	1,0843	1,5181	<b>1,5128</b>	<b>1,5128</b>
9/27m	X/Y	1,1845	<b>1,6583</b>	1,7158	<b>1,6583</b>

Tablo 3’de verilen farklı kat yüksekliğine sahip binalardan yalnızca 9 katlı yapı için  $T_p$ ’nin  $1,4 \times T_{pA}$ ’dan daha yüksek sonuç verdiği ve SAP2000’in  $1,4 \times T_{pA}$  periyodunu dikkate aldığı görülmüştür. Diğer tüm yapılarda ise Rayleigh periyodunu dikkate almıştır. Tasarımcı ilgili şartların sağlanması durumunda ampirik formülü kullanırsa approximate seçeneğini seçebilir. Yani SAP2000 kendi bünyesinde DTS ve BYS’yi dikkate almayıp tasarımcının tercihine bırakmıştır. Şekil 5’de deprem hesabına esas periyot değerleri seçilirken dikkate alınan  $T_p$ ,  $T_{pA}$ ,  $1,4T_{pA}$  ve program calculated seçilmesi durumunda program tarafından seçilen periyot değerleri grafik halinde gösterilmiştir.



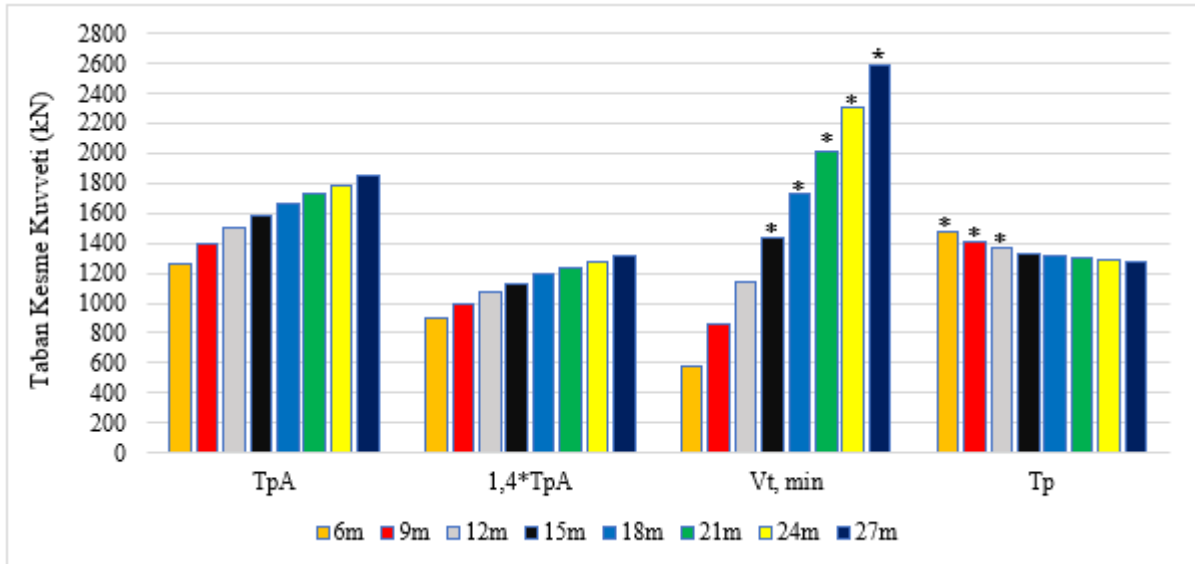
\*Sap 2000 modelinde program calculated seçilmesi durumunda dikkate alınan periyota karşılık gelmektedir.

Şekil 5. Karşılaştırma yapılan periyotlar (ZA)

TBDY-2019'da deprem etkisi altında bina tabanında oluşan kesme kuvveti, periyottan bağımsız olarak dikkate alınacak minimum taban kesme kuvveti şeklinde verilmiştir. Minimum taban kesme kuvveti,  $V_{t,min}=0,04 \times m_i \times I \times S_{DS} \times g$  formülü ile hesaplanmaktadır. Burada bina kütlesi ( $m_i$ ), bina önem katsayısı ( $I$ ), kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{DS}$ ) ve yer çekimi ivmesi ( $g$ ) ön plana çıkmaktadır. Tablo 6 ve Şekil 6 incelendiğinde SAP2000'de program calculated seçiliyken,  $H_N=6$  ve  $H_N=9$  (BYS-8 ve BYS-7) olan modellerde  $T_{pA}$ 'dan,  $H_N=12$ ,  $H_N=15$  (BYS-6) olan modellerde ise  $T_p$ 'den elde edilen taban kesme kuvvetleri daha düşük sonuçlar vermiştir. Son olarak  $H_N=18$ ,  $H_N=21$ ,  $H_N=24$  ve  $H_N=27$  (BYS-5) olan modellerde düşük taban kesme kuvvetleri elde edildiğinden SAP2000 programı doğrudan minimum deprem hesabını dikkate almıştır. Bu durum SAP2000 programında program calculated seçiliyken TBDY-2019 yönetmeliğinde verilen Rayleigh periyodunu dikkate aldığı ve buna göre taban kesme kuvveti hesapladığını ve minimum deprem kuvveti ile karşılaştırdığını göstermiştir. SAP2000'de program calculated seçiliyken TBDY-2019'da verilen ampirik formül önerisini DTS ve BYS şartlarına göre değerlendirmemektedir. Bu durum BYS-8 ve BYS-7 için yapıya etki eden deprem yükü, ampirik formül ile hesap edildiğinde Rayleigh periyoduna göre daha düşük seviyede olmaktadır. Dolayısıyla TBDY-2019'da verilen BYS-8 ve BYS-7 için ampirik formül önerisinin dikkate alınarak tasarımcı tarafından değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Diğer taraftan BYS-6 için ise ampirik formülden elde edilen taban kesme kuvvetleri, Rayleigh formülünden elde edilen taban kesme kuvvetlerine göre daha yüksek elde edilmiştir. Bu durum yönetmelikte önerilen ampirik formül ile periyot hesabında emniyetli tarafta kalınmak istendiğini göstermektedir. BYS-5 için ise periyottan bağımsız olan minimum deprem kuvveti dikkate alınmıştır. Dolayısıyla SAP2000 analiz programı yapılan modellerde TBDY-2019 yönetmeliğinde verilen DTS ve BYS sınır şartlarını kullanıcının dikkate almasını isteyerek periyot seçimi yapmasını sağlamaktadır. Tablo 4'de ZA zemin sınıfı için taban kesme kuvvetleri, Şekil 6'da periyoda karşılık taban kesme kuvvetlerinin değişimi gösterilmiştir. Tablo 4'de 4 kata kadar Rayleigh periyodundan bulunan taban kesme kuvveti dikkate alınırken sonraki katlar için minimum taban kesme kuvveti dikkate alınmaktadır.

**Tablo 4.** SAP2000 programında periyotlara göre taban kesme kuvvetleri (ZA)

Kat Sayısı	Deprem Yönü	$T_{pA}$ Periyodu ( $V_i$ )(kN)	$1,4 \times T_{pA}$ Periyodu ( $V_i$ )(kN)	Rayleigh Periyodu ( $V_i$ )(kN)	Minimum Taban Kesme Kuvveti (kN)	SAP2000 programının dikkate aldığı periyot ( $V_i$ )(kN)
2 (6m)	X/Y	1261,155	900,760	<b>1475,5</b>	573,7	<b>1475,3</b>
3 (9m)	X/Y	1390,468	993,245	<b>1411,6</b>	857,2	<b>1411,7</b>
4 (12m)	X/Y	1498,857	1070,587	<b>1368,7</b>	1146,6	<b>1368,7</b>
5 (15m)	X/Y	1587,694	1134,363	1332,6	<b>1435,9</b>	<b>1435,9</b>
6 (18m)	X/Y	1663,765	1188,365	1311,5	<b>1725,2</b>	<b>1725,2</b>
7 (21m)	X/Y	1730,674	1236,195	1295,7	<b>2014,5</b>	<b>2014,5</b>
8 (24m)	X/Y	1790,664	1278,978	1283,4	<b>2303,9</b>	<b>2303,9</b>
9 (27m)	X/Y	1845,034	1317,882	1273,7	<b>2593,2</b>	<b>2593,2</b>

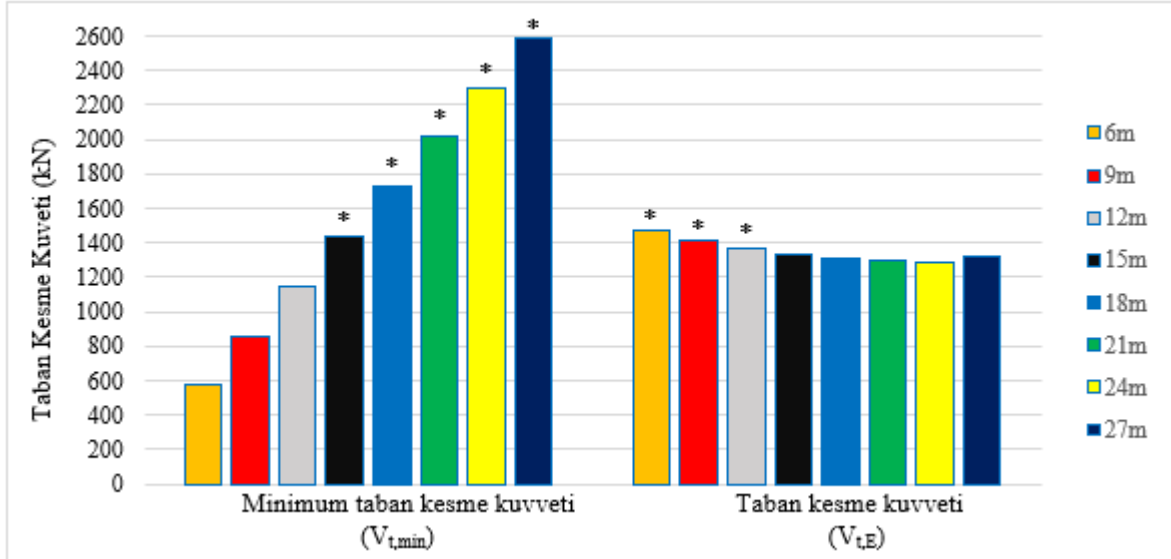


\* SAP2000 modelinde program calculated seçilmesi durumunda dikkate alınan periyota karşılık taban kesme kuvveti değeridir.

**Şekil 6.** Periyotlara göre taban kesme kuvvetleri (ZA)

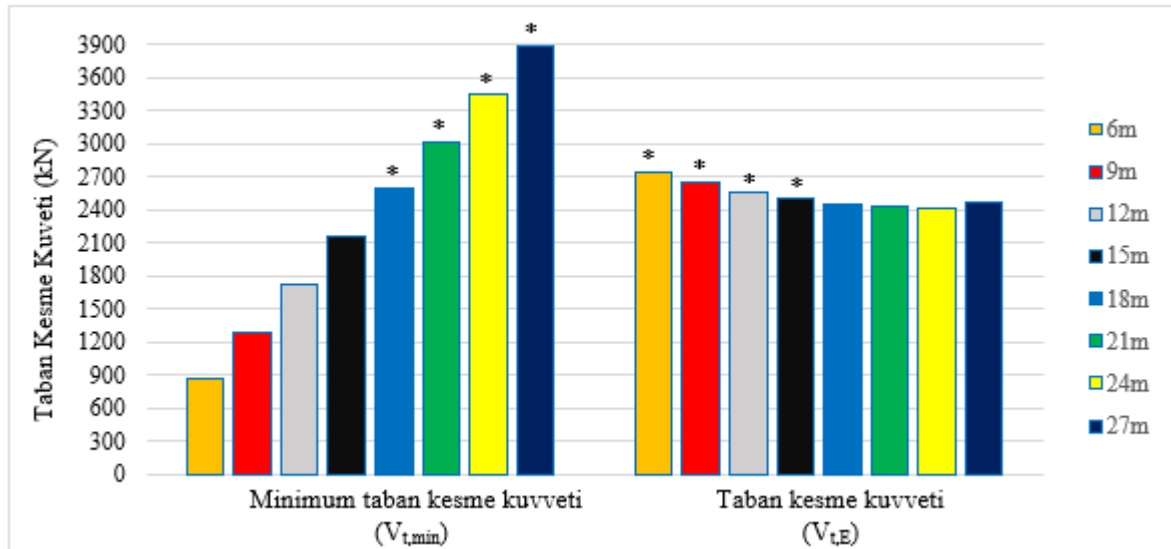
Şekil 7'de ZA zemin sınıfı Şekil 8'de ise ZC zemin sınıfı için elde edilen minimum taban kesme kuvvetleri ve deprem hesabında dikkate alınan taban kesme kuvvetleri verilmiştir. Ayrıca Tablo 5'de ZA ve ZC zemin sınıfı için minimum taban kesme kuvveti ve hesapta dikkate alınan kesme kuvvetleri yönünden karşılaştırmalar yapılmıştır. SAP2000 modelinde verilen sonuçlara bakıldığında, zeminin ZA olması durumunda 2, 3 ve 4 katlı; zeminin ZC olması durumunda 2, 3, 4 ve 5 katlı binalarda EDYY ile belirlenen taban kesme kuvveti, minimum taban kesme kuvvetinden daha büyük olduğu için hesapta EDYY ile belirlenen taban

kesme kuvveti dikkate alınmıştır. Bu durumun aksine zeminin ZA olması durumunda 5, 6, 7, 8 ve 9 katlı; zeminin ZC olması durumunda 6, 7, 8 ve 9 katlı binalarda EDYY ile belirlenen taban kesme kuvveti, minimum taban kesme kuvvetinden küçük olduğu için hesapta minimum taban kesme kuvveti dikkate alınmıştır. Yapılan analizler neticesinde ZA zemin sınıfında 5-9 katlı (15-27m) binalar için ve ZC zemin sınıfında ise 4-9 katlı (12-27m) binalar için rayleigh periyot değerleri yüksek çıktığından spektrum eğrisi dikkate alınınca taban kesme kuvvetleri azalmaktadır. Bu azalma SAP2000'in kendi bünyesinde var olan minimum taban kesme kuvveti hesabından daha düşük olduğundan, SAP2000 hesaplarında TBDY-2019'da da belirtildiği gibi minimum taban kesme kuvvetini dikkate almaktadır.



\* SAP2000 modelinde program calculated seçilmesi durumunda dikkate alınan periyota karşılık taban kesme kuvveti değeridir.

Şekil 7. SAP2000' de seçilen taban kesme kuvvetleri (ZA)



\* SAP2000 modelinde program calculated seçilmesi durumunda dikkate alınan periyota karşılık taban kesme kuvveti değeridir.

Şekil 8. SAP2000' de seçilen taban kesme kuvvetleri (ZC)

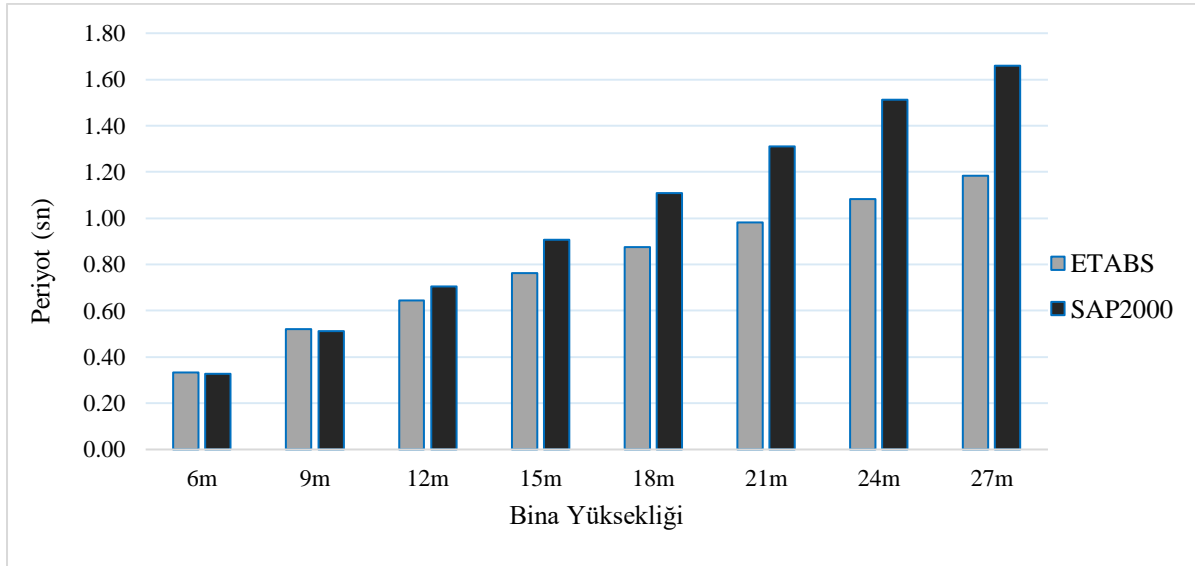
Tablo 5'de ZA ve ZC zemin sınıfları için katlara göre minimum taban kesme kuvveti ile hesaplarda dikkate alınan taban kesme kuvveti karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ZC zemin sınıfına sahip binalarda meydana gelen taban kesme kuvveti, ZA zemin sınıfına sahip binalarda meydana gelen taban kesme kuvvetinden değişen kat sayılarına bağlı olarak %50-80 daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. SAP2000 programında yapılan karşılaştırmalar ETABS programında da yalnızca ZC sınıfı için karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar ile programlar tarafından yapılan kabuller tespit edilerek araştırmacılara sunulmuştur. TBDY-2019'da yapının doğal titreşim periyodunun ampirik periyodun ( $T_{pA}$ ) 1,4 katından büyük olamayacağı belirtilmektedir. SAP2000 program calculated seçeneği ile yönetmeliğe uygun olarak hesaplanmış olduğu Rayleigh periyodu ile  $1,4 \times T_{pA}$  değeri arasında karşılaştırma yaparak küçük olan periyot değerini deprem hesabında kullanmaktadır. Fakat ETABS programı, hesaplanmış olduğu Rayleigh periyodu ile ampirik periyot ( $T_{pA}$ ) arasında karşılaştırma yaparak küçük olan periyot değerini deprem hesabında kullanmaktadır. Yani 1,4 kat sayısını dikkate almamaktadır.

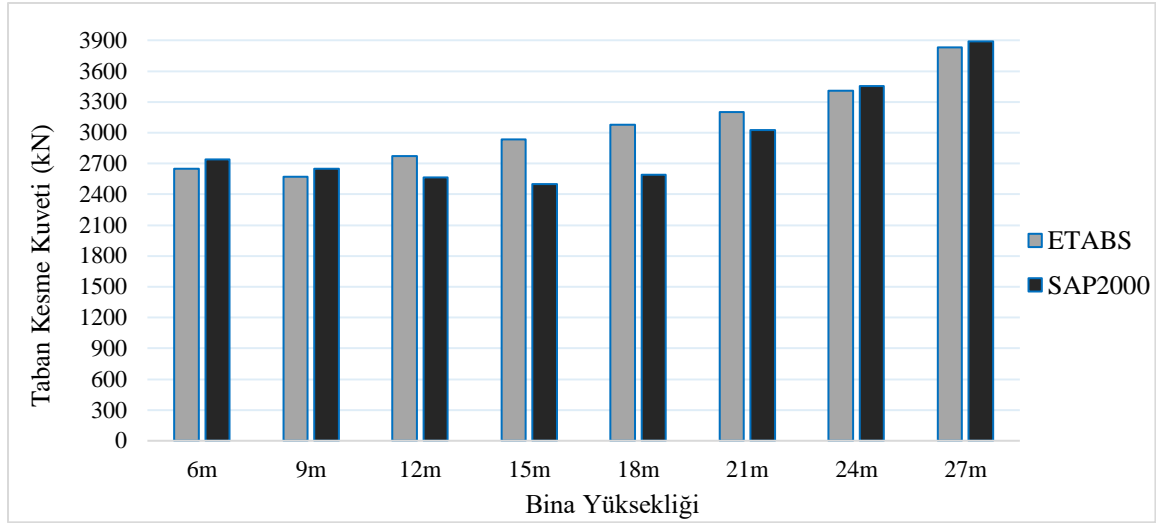
**Tablo 5.** ZA ve ZC zemin sınıflarına göre taban kesme kuvvetleri

Kat Sayısı	Kat Yüksekliği /BYS	Deprem Yöntü	Periyot (sn)*	Bina Ağırlığı $W=g+nq$ (kN)	ZA		ZC	
					Minimum Taban Kesme Kuvveti (kN)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Minimum Taban Kesme Kuvveti (kN)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
2	6m/BYS8	X/Y	0,3277	13974,8	573,7	1475,4	860,8	2737,9
3	9m/BYS7	X/Y	0,5118	20881,1	857,3	1411,8	1286,3	2648,0
4	12m/BYS6	X/Y	0,7060	27928,1	1146,6	1368,8	1720,4	2567,3
5	15m/BYS6	X/Y	0,9081	34975,1	<b>1435,9</b>	<b>1435,9</b>	2154,5	2499,6
6	18m/BYS5	X/Y	1,1086	42022,1	<b>1725,3</b>	<b>1725,3</b>	<b>2588,8</b>	<b>2588,8</b>
7	21m/BYS5	X/Y	1,3103	49069,1	<b>2014,6</b>	<b>2014,6</b>	<b>3022,9</b>	<b>3022,9</b>
8	24m/BYS5	X/Y	1,5128	56116,1	<b>2303,9</b>	<b>2303,9</b>	<b>3457,0</b>	<b>3457,0</b>
9	27m/BYS5	X/Y	1,6583	63163,1	<b>2593,2</b>	<b>2593,2</b>	<b>3891,2</b>	<b>3891,2</b>

\* SAP2000'deki  $T_p$  veya  $1,4T_{pA}$  kıyasına göre alınan periyottur.

Çalışma kapsamında ETABS ve SAP2000 yazılım programları arasında ZC zemin sınıfı için Şekil 9'da doğal titreşim periyotları, Şekil 10'da taban kesme kuvveti ve Tablo 6'da deprem hesabında gerekli diğer veriler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 2 ve 3 katlı binalarda ETABS'dan elde edilen rayleigh periyodu, SAP2000'den elde edilen periyot değerinden %1,2-1,6 kadar fazla olduğu görülmüştür. Çünkü 2 ve 3 katlı binalarda Rayleigh periyodu ( $T_p$ ) ampirik periyottan ( $T_{pA}$ ) daha düşük sonuç vermiştir. Bu durumda ETABS programı  $T_p$  ile  $T_{pA}$  arasında kıyas yaparak küçük olan  $T_p$  periyodunu dikkate almıştır. SAP2000 programı ise  $T_p$  ile  $1,4 \times T_{pA}$  arasında kıyas yaparak küçük olan  $T_p$  periyodunu dikkate almıştır. 4-9 katlı binalarda ise ETABS'dan elde edilen periyot, SAP2000'den elde edilen periyot değerinden %9,5-40 kadar az olduğu görülmüştür. Çünkü 4-9 katlı binalarda  $T_p$  periyodu  $T_{pA}$  periyodundan daha yüksek sonuç vermiştir. Bu yüzden ETABS programı  $T_p$  ile  $T_{pA}$  arasında kıyas yaparak küçük olan  $T_{pA}$  periyodunu dikkate almıştır. SAP2000 programı ise  $T_p$  ile  $1,4T_{pA}$  arasında kıyas yaparak 4-8 katlı binalar için küçük olan  $T_p$  periyodunu ve 9 katlı bina için küçük olan  $1,4T_{pA}$  periyodunu dikkate almıştır. Değişen periyot değerlerine bağlı olarak 2 ve 3 katlı binalarda ETABS'dan elde edilen taban kesme kuvveti, SAP2000'den elde edilen taban kesme kuvveti değerinden %3-3,1 kadar daha az olduğu görülmüştür. 4, 5 ve 6 katlı binalarda ETABS'dan elde edilen taban kesme kuvveti, SAP2000'den elde edilen taban kesme kuvveti değerinden %7,9-18,8 kadar daha fazla olduğu tespit edilmiştir. 7, 8 ve 9 katlı binalarda ise hem ETABS programı hem de SAP2000 programı taban kesme kuvveti olarak minimum deprem kuvvetini dikkate almıştır. Fakat ETABS programından alınan bina toplam ağırlığı, SAP2000 programından alınan bina toplam ağırlığından %1,46 kadar daha az olduğundan bu durum aynı oranla taban kesme kuvveti hesabına da yansımıştır.

**Şekil 9.** Periyotlara göre ETABS ve SAP2000 karşılaştırılması (ZC)



Şekil 10. Taban kesme kuvvetine göre ETABS ve SAP2000 karşılaştırılması (ZC)

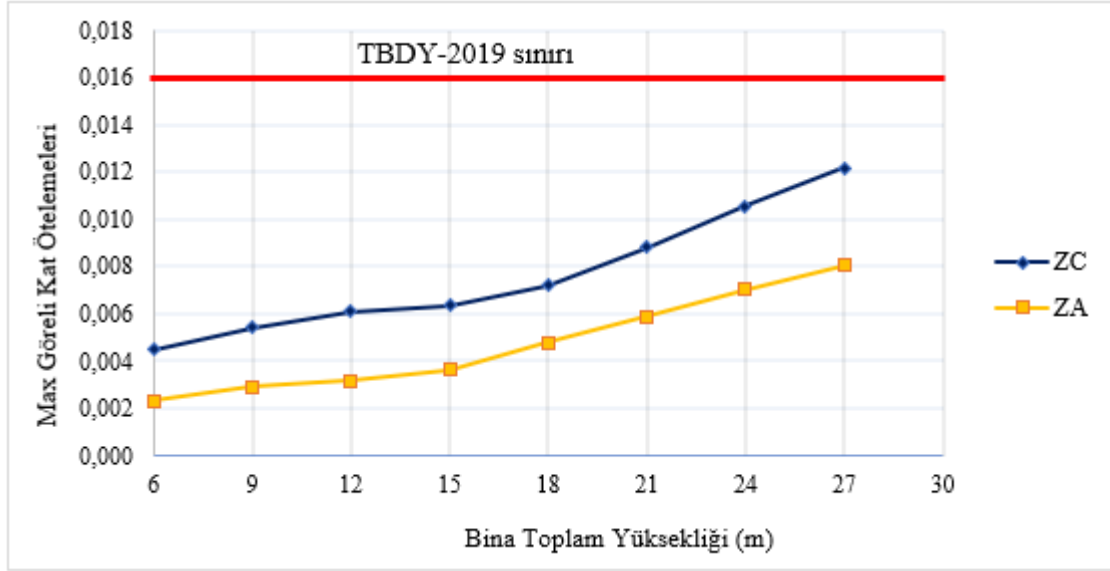
Tablo 6. ETABS ve SAP2000 deprem hesabının karşılaştırılması (ZA)

Kat Sayısı	$T_{pA}$	$1,4 \times T_{pA}$	Rayleigh (sn)		Bina Ağırlığı $W=g+nq$ (kN)		Periyot (sn)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
			Etabs	Sap2000	Etabs	Sap2000	Etabs	Sap2000	Etabs	Sap2000
2	0,383	0,537	<b>0,332</b>	<b>0,328</b>	13631,87	13974,76	<b>0,332</b>	<b>0,328</b>	2649,15	2737,93
3	0,520	0,727	<b>0,518</b>	<b>0,512</b>	20577,74	20881,13	<b>0,518</b>	<b>0,512</b>	2569,17	2648,01
4	<b>0,645</b>	0,903	0,724	<b>0,706</b>	27523,60	27928,12	<b>0,645</b>	<b>0,706</b>	2769,47	2567,31
5	<b>0,762</b>	1,067	0,928	<b>0,908</b>	34469,46	34975,12	<b>0,762</b>	<b>0,908</b>	2933,89	2499,63
6	<b>0,874</b>	1,223	1,134	<b>1,109</b>	41415,32	42022,11	<b>0,874</b>	<b>1,109</b>	3074,57	2588,77
7	<b>0,981</b>	1,373	1,341	<b>1,310</b>	48361,19	49069,11	<b>0,981</b>	<b>1,310</b>	3198,23	3022,90
8	<b>1,084</b>	1,518	1,549	<b>1,513</b>	55307,05	56116,10	<b>1,084</b>	<b>1,513</b>	3406,03	3457,03
9	<b>1,185</b>	<b>1,658</b>	1,759	1,716	62252,91	63163,09	<b>1,185</b>	<b>1,658</b>	3833,78	3891,16

Binaların görelî kat ötelemelerden maksimum olan değerler Tablo 7’de verilmiş ve Şekil 11’de ise grafik halinde gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre tüm binalarda görelî kat ötelemeleri kontrolünün TBDY-2019’da verilen sınır şartın sağlandığı görülmüştür. Farklı zemin sınıfları bakımından incelendiğinde, ZA zemin sınıfı için elde edilen görelî kat ötelemeleri, ZC zemin sınıfı için elde edilen görelî kat ötelemelerinden %49,2-92 kadar daha az olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. 2-9 katlı binaların ZA ve ZC zemin sınıfına göre görelî kat öteleme sonuçları

Kat Sayısı	$H_N$ (m)	BYS	Maksimum Görelî Kat Ötelemeleri		Oran $0,016 * \kappa$
			ZA	ZC	
2	6	8	0,0023	0,0044	<0,016
3	9	7	0,0029	0,0054	<0,016
4	12	6	0,0031	0,0060	<0,016
5	15	6	0,0036	0,0063	<0,016
6	18	5	0,0047	0,0072	<0,016
7	21	5	0,0058	0,0087	<0,016
8	24	5	0,0070	0,0105	<0,016
9	27	5	0,0080	0,0121	<0,016



Şekil 11. ZA ve ZC zemin sınıflarına göre 2-9 katlı binalarda göreli kat ötelemeleri

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada İstanbul/Avcılar bölgesinde yapılması planlanan 2-9 katlı konut tipi binalar ETABS ve SAP2000 programlarında analiz edilerek yapının periyodu, taban kesme kuvveti ve göreli kat ötelemeleri bağlamında karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca bu programların TBODY-2019 yönetmeliği esas alınarak deprem yükü hesabında izledikleri işlem adımları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Deprem tasarım sınıfı (DTS1) ve iki farklı zemin sınıfı olan ZA ve ZC için yapılmış olan bu çalışmada dikkate alınan çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binaların deprem hesabı doğrusal hesap yöntemi olan EDYY kullanılarak yapılmıştır. Yapılan numerik çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- SAP2000 ve ETABS analiz programları, deprem hesaplarında dikkate alınacak üç farklı periyot hesap yaklaşımı olduğunu belirtmektedir. Bunlar rayleigh periyodu ( $T_p$ ), ampirik periyot ( $T_{pA}$ ) ve kullanıcı tanımlı periyot değeridir. Program dilinde rayleigh periyodu “program calculated”, ampirik periyot “aproximate” ve kullanıcı tanımlı periyot ise “user defined” ifadelerine karşılık gelmektedir. Tasarımcı TBODY-2019’a uygun deprem hesabı yapabilmesi için SAP2000 ve ETABS programlarının üç farklı periyot hesap yaklaşımını doğru bilmesi gerekmektedir. Aksi durumda deprem hesaplarında dikkate alınan periyot ve taban kesme kuvvetleri büyük ölçüde değişmektedir.
- TBODY-2019 yönetmeliği, bina için hesaplanan rayleigh ( $T_p$ ) periyodunun  $T_{pA}$  değerinin 1,4 katından daha büyük olamayacağını söylemektedir. Yapılan analizler sonunda, SAP2000 programı “program calculated” seçeneği seçili iken TBODY-2019 yönetmeliğinde yer alan bu sınır şartı dikkate alarak hesapladığı  $T_p$  periyodu ile  $1,4T_{pA}$  arasında kıyas yaparak küçük olan periyot değerini deprem hesabında dikkate almaktadır. ETABS programı ise “program calculated” seçeneği seçili iken hesapladığı  $T_p$  periyodu ile  $T_{pA}$  arasında kıyas yaparak küçük olan periyot değerini deprem hesabında dikkate almaktadır.
- SAP2000 programı  $1,4 T_{pA}$  sınır şartını dikkate almasına karşın ETABS programının bu sınır şartı dikkate almamasından dolayı “program calculated” seçiliyken 2 ve 3 katlı binalarda ETABS’da dikkate alınan periyot SAP2000’de dikkate alınan periyottan %1,2-1,6 kadar fazla sonuç vermektedir. 4-9 katlı binalarda ise ETABS’da dikkate alınan periyot, SAP2000’de dikkate alınan periyot değerinden %9,5-40 kadar düşük sonuç vermiştir.
- $1,4 T_{pA}$  sınır şartının dikkate alınıp alınmamasına bağlı olarak değişen periyot değerlerinden dolayı 2 ve 3 katlı binalarda ETABS’dan elde edilen taban kesme kuvveti, SAP2000’den elde edilen taban kesme kuvveti değerinden %3-3,1 kadar daha az olduğu görülmüştür. 4, 5 ve 6 katlı binalarda ise ETABS’dan elde edilen taban kesme kuvveti, SAP2000’den elde edilen taban kesme kuvveti değerinden %7,9-18,8 kadar daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Son olarak 7,8 ve 9 katlı binalarda ise SAP2000 ve ETABS programları, hesapta TBODY-2019’da da verilen minimum taban kesme kuvvetini dikkate almaktadır.
- Çalışmada “program calculated” seçeneği seçiliyken yapılan analiz sonunda elde edilen verilere göre farklı kat yüksekliğine sahip olan binalarda sadece 9 katlı bina modeli için rayleigh( $T_p$ ) periyodunun  $1,4T_{pA}$  değerinden daha yüksek sonuç verdiği ve SAP2000 programının  $1,4T_{pA}$  değerini dikkate aldığı görülmüştür. Diğer tüm bina modellerinde ise  $T_p$  periyodu deprem hesabında dikkate alınmıştır. Tasarımcı, TBODY-2019’da verilen şartları sağlaması durumunda ampirik formülü kullanmak isterse “aproximate” seçeneğini seçebilmektedir. SAP2000 programı, “aproximate” periyot yaklaşımı ile arka planda DTS ve BYS sınır şartlarını dikkate almayıp periyot seçimini tasarımcının tercihine bırakmıştır.
- SAP2000 programında yapılan analiz sonuçlarına göre  $H_N=6$  ve  $H_N=9$  (BYS-8 ve BYS-7) olan binalarda  $T_{pA}$  periyot değeri,  $H_N=12$ ,  $H_N=15$  (BYS-6) ve  $H_N=18$ ,  $H_N=21$ ,  $H_N=24$ ,  $H_N=27$  (BYS-5) olan binalarda ise  $T_p$  periyot değeri daha

yüksek gelmiştir. Bu periyot değerlerine bağlı olarak  $H_N=6$  ve  $H_N=9$  (BYS-8 ve BYS-7) olan binalarda  $T_{pA}$ 'dan  $H_N=12$ ,  $H_N=15$  (BYS-6) olan binalarda ise  $T_p$ 'den elde edilen taban kesme kuvveti daha düşük sonuç vermiştir. Son olarak  $H_N=18$ ,  $H_N=21$ ,  $H_N=24$  ve  $H_N=27$  (BYS-5) olan binalarda  $T_p$ 'den elde edilen taban kesme kuvveti minimum taban kesme kuvvetinden daha düşük olduğundan hesapta minimum taban kesme kuvveti dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda Aksoylu ve Arslan'ın (Aksoylu & Arslan, 2019b) 2019 yılında yaptıkları çalışmaya paralel olarak TBDY-2019'da yer alan ampirik formül önerisinin BYS-7 ve BYS-8 için yeniden değerlendirmesi gerektiği ve BYS-5 ve BYS-6 için ise kabul edilebilir olduğu tespit edilmiştir.

- ZA ve ZC zemin sınıflarına sahip bina modelleri için SAP2000 programında “program calculated” seçiliyken elde edilen taban kesme kuvvetleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre ZA zemin sınıfı olması durumunda 5-9 katlı (15-27m) binalar için ZC zemin sınıfı olması durumunda ise 4-9 katlı (12-27m) binalar için  $T_p$  periyot değerleri yüksek çıktığından dolayı hesap edilen taban kesme kuvvetleri azalmaktadır. Azalan taban kesme kuvvetleri SAP2000'de tanımlı olan taban kesme kuvvetinden daha düşük olduğundan hesapta minimum taban kesme kuvveti dikkate alınmaktadır.
- Ele alınan bina modellerinde, ZC zemin sınıfı kullanılması durumunda elde edilen taban kesme kuvveti, ZA zemin sınıfı kullanılması durumunda elde edilen taban kesme kuvvetinden %50-80 daha fazla sonuç vermiştir. Bu durum zemin sınıfının yapıya gelen deprem kuvveti bakımından önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir.
- Binaların görelî kat ötelemeleri, ZA ve ZC zemin sınıfları için kontrol edilmiştir. Tüm binalarda her iki zemin sınıfı için görelî kat ötelemeleri yeterli seviyede olduğu tespit edilmiştir. Farklı zemin sınıfları bakımından incelendiğinde, ZA zemin sınıfı olması durumunda elde edilen görelî kat ötelemeleri, ZC zemin sınıfı olması durumunda elde edilen görelî kat ötelemelerinden %49,2-92 kadar daha az sonuç vermiştir.

Bu çalışmada farklı yüksekliğe sahip düzenli çerçeve tipi konut yapısı için analizler ZA ve ZC türü zeminler için yapılmıştır. Binalarda perde taşıyıcı eleman kullanılması ve konut dışında yapı kullanım amacının olması durumunda elde edilen sonuçların değişebileceği gibi ileriki çalışmalarda özellikle ZD ve ZE gibi oldukça zayıf zemin sınıfları ve farklı deprem tasarım sınıfları için de analizlerin yapılması faydalı olacaktır.

## Kaynaklar

- ABYYHY, (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Aksoylu, C., & Sezer, R. (2018). Investigation of precast new diagonal concrete panels in strengthened the infilled reinforced concrete frames. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), 236-246.
- Aksoylu, C., & Arslan, M. H. (2019a). Çerçeve türü betonarme binaların periyod hesaplarının farklı ampirik bağıntılara göre irdelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 569-581.
- Aksoylu, C., & Arslan, M. H. (2019b). Çerçeve+ Perde Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının TBDY-2019 Yönetmeliğine Göre Ampirik Olarak Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3), 365-382. doi:10.17482/uumfd.603437
- Aksoylu, C., & Kara, N. (2020). Strengthening of RC frames by using high strength diagonal precast panels. *Journal of Building Engineering*, 31, 101338.
- Aksoylu, 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
- Aksoylu, C. (2021). Experimental analysis of shear deficient reinforced concrete beams strengthened by glass fiber strip composites and mechanical stitches. *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 40(2), 267-285.
- Aksoylu, C., Özkılıç, Y. O., Yazman, Ş., Gemi, L., & Arslan, M.H, (2021). İnceltilmiş Uçlu Önüretimli Aşık Kirişlerinin Yük Taşıma Kapasitelerinin Deneysel ve Numerik Olarak İrdelenmesi ve Çözüm Önerileri. *Teknik Dergi*, 32(3).
- Aksoylu, C., Mobark, A., Arslan M.H. & Hakkı Erkan, İ. (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.
- Aksoylu, C., Yazman, Ş., Özkılıç, Y. O., Gemi, L., & Arslan, M. H. (2020). Experimental analysis of reinforced concrete shear deficient beams with circular web openings strengthened by CFRP composite. *Composite Structures*, 249, 112561.
- Aninthaneni, P. K., & Dhakal, R. P. (2016). Prediction of fundamental period of regular frame buildings. *Bulletin of the new zealand society for earthquake engineering*, 49(2), 175-189.

- Arslan, M., & Korkmaz, H. H. (2007). What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey? *Engineering Failure Analysis*, 14(1), 1-22.
- Arslan, M. H., Yazman, Ş., Hamad, A. A., Aksoylu, C., Özkılıç, Y. O., & Gemi, L. (2022, May). Shear strengthening of reinforced concrete T-beams with anchored and non-anchored CFRP fabrics. In *Structures* (Vol. 39, pp. 527-542). Elsevier.
- ASCE7-16 (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures Seismic Design Requirements for Building Structures Structural Engineering Institute.
- Avcil, F., Işık, E., Bilgin, H., & Özmen, H. B. (2022). Tbdy-2018'de verilen tasarım spektrumlarının anıtsal yığma yapı sismik davranışına etkisi.
- Bilgin, H., Shkodrani, N., Hysenlliu, M., Ozmen, H. B., Isik, E., & Harirchian, E. (2022). Damage and performance evaluation of masonry buildings constructed in 1970s during the 2019 Albania earthquakes. *Engineering Failure Analysis*, 131, 105824.
- Börekçi, M. (2019). Dolgu duvarlı betonarme binaların hakim periyodunun doğrudan formüller ile elde edilmesi. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 161-178.
- Cansız, S. (2022). Türkiye'de Kullanılan Deprem Yönetmeliklerinin Özellikleri ve Deprem Hesabının Değişimi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(1), 58-71. doi:10.29137/umagd.948025
- Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2000). Evaluation of NSP to estimate seismic deformation: SDF systems. *Journal of Structural Engineering*, 126(4), 482-490.
- Çolak, H., Türker, H., & Coşkun, H. (2019). Az Katlı Düzenli Çerçeve Yapıların Periyot Hesabı İçin Bir Yaklaşım Önerisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 117-125.
- Ditommaso, R., Vona, M., Gallipoli, M., & Mucciarelli, M. (2013). Evaluation and considerations about fundamental periods of damaged reinforced concrete buildings. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 13(7), 1903-1912. doi:10.5194/nhess-13-1903-2013
- EC8, (2004). Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings.
- ETABS Version 18.1.1, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, 2020.
- Hatzigeorgiou, G. D., & Kanapitsas, G. (2013). Evaluation of fundamental period of low-rise and mid-rise reinforced concrete buildings. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 42(11), 1599-1616. doi:10.1002/eqe.2289
- Hsiao, J. K. (2009). Computation of fundamental periods for moment frames using a hand-calculated approach. *Electronic journal of structural engineering*, 9, 16-28.
- Indian-Code, (2002). Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures. Design of Structures, Indian.
- Işık, E. (2022). Comparative investigation of seismic and structural parameters of earthquakes ( $M \geq 6$ ) after 1900 in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(10), 1-21.
- Kaltakçı M.Y., Arslan M.H., Yılmaz U.S., Arslan H.D., A new approach on the strengthening of primary school buildings in Turkey: An application of external shear wall, *Building and Environment*, 43, 6, 2008, 983-990, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.02.009>.
- KBC-2016, (2016). Architectural Institute of Korea. AIK Korean Building Code.
- Leissa, A. W. (2005). The historical bases of the Rayleigh and Ritz methods. *Journal of Sound Vibration*, 287(4-5), 961-978.
- Mirrashid, M., & Naderpour, H. (2022). Computational intelligence-based models for estimating the fundamental period of infilled reinforced concrete frames. *Journal of Building Engineering*, 46, 103456. doi:doi.org/10.1016/j.job.2021.103456
- NTC-2018, (2018). Seismic Reliability of Code-Conforming Italian Buildings.
- Özkat, S. ve Kuruşcu, A.O. (2019) Deprem Bölgelerinde yapılacak Yığma Yapıların Tasarımı Hakkında 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması, 4. *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, Yalova. 117-129.
- Özmen, A., & Sayın, E. (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.



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.

Özkılıç, Y. O., Yazman, Ş., Aksoylu, C., Arslan, M. H., & Gemi, L. (2021). Numerical investigation of the parameters influencing the behavior of dapped end prefabricated concrete purlins with and without CFRP strengthening. *Construction and Building Materials*, 275, 122173.

Salama, M. I. (2015). Estimation of period of vibration for concrete moment-resisting frame buildings. *HBRC Journal*, 11(1), 16-21.

Sangamnerkar, P., & Dubey, S. (2017). Equations to evaluate fundamental period of vibration of buildings in seismic analysis. *Structural Monitoring Maintenance*, 4(4), 351-364.

SAP2000 v23, Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures. Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA, 2021.

Shendkar, M. R., Kontoni, D. P. N., Işık, E., Mandal, S., Maiti, P. R., & Harirchian, E. (2022). Influence of Masonry Infill on Seismic Design Factors of Reinforced-Concrete Buildings. *Shock and Vibration*, 2022.

TBDY-2019, (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf>. (Erişim Tarihi: 09.03.2022). In.

TCVN-9386, (2012). Design of Structures for Earthquake Resistances. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings.

TS-498, (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TDY-2007, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3-1.pdf>. (Erişim Tarihi: 09.03.2022).