



Çok Katlı Yapılarda Kritik Deprem Doğrultusunun Belirlenmesi

Determination of earthquake critical angle direction in multistory structures

Burcu Ayar¹, Ahmet Anıl Dindar^{1*}

¹ Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kocaeli, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: adindar@gtu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 26.05.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 19.01.2021

Atıf şekli/How to cite: AYAR B., DINDAR A.A.(2021). Çok Katlı Yapılarda Kritik Deprem Doğrultusunun Belirlenmesi. DEÜ FMD 23(68), 489-500.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2021236812

Öz

Geçtiğimiz yüzyıl içinde bütün dünyada, deprem yönetmelikleri uygulanmaya başlamıştır. Deprem etkisini yapıya en basit anlamda etkimesini temsil eden “Eşdeğer Statik Yükleme ile Analiz Yöntemi” geçerliliğini halen korumaktadır. Bununla birlikte teknolojiye gelişmelerin katkısıyla, deprem kayıtları yapı analizlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Deprem kayıtları kullanılarak “Zaman Tanım Alanında Analiz” uygulamaları ile deprem kuvvetlerinin yapıya etki ettirilmesi konusunda var olan belirsizliklerin bir kısmı ortadan kaldırılmıştır. Deprem yönetmeliklerinin tümünde, yapıların planda simetrik olması ve düzenli taşıyıcı sistem modeline sahip olmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Yapılarda, sistem geometrisi ve taşıyıcı sistem düzensizlikleri sebebi ile burulma kuvvetleri oluşmaktadır. Zira, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmaması durumu burulma kuvvetlerinin kritik etkisinin artmasına sebep olmaktadır. Yönetmeliklerde düzensizlik durumları sınır değerlerin üzerinde olan yapılar için güvenliği sağlamak üzere ek önlemler alınmaktadır. Gerçek hayatta, depremin yapıya hangi doğrultuda etkiyeceğini bilmek imkansızdır. Bu yüzden deprem yönetmelikleri çeşitli birleştirme yöntemleri önererek deprem kuvvetlerinin etkisini hesaplamaya yönelik formüller vermiştir. Bu çalışma kapsamında depremin belirsizliklerinden biri olan deprem kayıt çiftlerinin yapıya asal eksenleri dışında gelmesi durumu ve yapıların planda düzenli veya düzensiz olması durumundaki etkileşimi çalışılmıştır. Bu çalışmada, yapıların burulma düzensizliği ve deprem kuvvetlerinin farklı doğrultularda etkimesi dikkate alınarak, farklı yapı tiplerine bağlı olarak kritik açı etki doğrultusu belirlenmiştir. Önerilen kritik açı etki yaklaşımı, yönetmeliklerde verilen birleştirme yöntemleri ile karşılaştırılmış ve sayısal bir örnek üzerinde uygulaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kritik açı etkisi, deprem yüklerinin çok yönlü etkimesi, elastik tepki, düzenli yapılar, düzensiz yapılar

Abstract

During the last century, seismic codes have been implemented in all over the world. Equivalent seismic loading has been a prevalent method in representing earthquake forces. In addition, as the development of technology real earthquake records are used in building analysis. By using earthquake records, time domain analysis was applied and some of the uncertainties in determining the earthquake forces were eliminated. The modern seismic codes require that the buildings should be symmetrical in the plan and have a regular structural system. Torsional response may occur in

structures due to system geometry and irregular structural system. In seismic codes, several actions are taken as counter measure to provide the safety of the buildings having torsion above the given limits. The reality is that the prediction of the earthquake forces effect direction is not possible. Thus, the seismic codes recommend the combination formulas for the earthquake forces. In this study, structural irregularity and varying earthquake forces have been taken account in the computation of the critical angle. The recommended critical angle approach has been compared with the combination methodology and demonstrated for given numerical example.

Keywords: Critical angle effect, multi-dimensional impact of earthquake loads, elastic response, regular structures, irregular structures

1. Giriş

Ülkemiz tamamına yakını deprem kuşağında bulunması sebebiyle tasarlanan hemen hemen tüm binaların ekonomik ömürleri boyunca bir veya daha fazla deprem etkisine maruz kalmaktadır. Yapıya gelmesi muhtemel yüklerin doğru hesaplanması ve bu yüklerin yapılara doğru şekilde taşıtılması çok büyük önem arz etmektedir. Yaşanan büyük depremlerde elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, birçok binanın yıkılma sebebi arasında yanlış tasarım, dikkate alınmayan yapı düzensizlikleri, elverişsiz zemin koşulları gibi temel mühendislik kavramları yer almaktadır.

Sayısal hesaplamalarda, üç boyutlu modeller üzerinden deprem kuvvetlerinin yatay ve gerekirse düşey bileşenin kullanılması söz konusudur. Yönetmelikler, yürütülecek analizlerde gerçek deprem kayıtlarının kullanılmasını teşvik etmekle beraber kaydın yapıya hangi doğrultuda uygulanacağı hakkında herhangi bir ifade bulundurmamaktadır [1].

Deprem kuvvetlerinin yapılarda sebep olduğu deprem yüklerinin, yapıların planda görülen asal eksenleri dışında farklı bir doğrultudan etkimesi durumunda (doğrultu etkisini), yapılarda oluşacak kritik davranış büyüklüklerinin tasarım aşamasında kontrol edilebilmesi amacı ile çeşitli birleştirme kuralları önerilmiştir. Bu birleştirme kuralları genel olarak;

- %30 Birleştirme Kuralı [2],
- %40 Birleştirme Kuralı [3],
- SRSS (Karelerin Toplamının Karekökü) Birleştirme Kuralı [4],
- CQC3 Birleştirme Kuralı [5],
- Lopez ve Torres (1997) tarafından önerilen Birleştirme Kuralı [6],
- Etkileşimli Süperpozisyon Kuralı [7],

Yukarıda sözü geçen birleştirme kurallarında, en elverişsiz durumu veren kritik etki doğrultu açısı

ile ilgili bazı bağıntılar önerilmiştir. Deprem kuvvetlerinin kritik etkisi literatürde, birçok alanda farklı araştırmalara konu olmuştur.

Sebastiani ve diğerleri [8] tarafından yapılan bir araştırmada özellikle yakın fay etkisine maruz kalan yapılar için kritik etki değerlendirilmesi çalışması yapılmış ve iki farklı vaka çalışması değerlendirilerek çözüm için örnek bir prosedür elde edilmeye çalışılmıştır. 0°-180° arasında 22.5°'lik açı değişimleri ile analizler tamamlamıştır. Ayrıca iki serbestlik derecesine sahip bir model prosedür kapsamında dinamik analizleri uygulamak için oluşturulmuş olup doğrusal olan ve olmayan analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda kritik etki açısının sadece yapı geometrisi ile değil yapıya gelen deprem kuvvetlerinin karakteristiği ile ilgili olduğunu savunmuştur. Ayrıca kritik etki doğrultusu araştırılırken olup doğrusal olan ve olmayan analizler sonucu elde edilen kritik açı değerlerinin oldukça yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir.

Maglio ve diğerleri [9] çalışmasında kritik etki açısının sismik performans üzerindeki değişimini gözlemleyebilmek için planda düzensiz betonarme yapılar üzerinde doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler yapmıştır. Deprem kuvvetlerini 0°-330° aralığında 30°'lik adımlarla döndürerek analizler yapmış ve sonuçları mühendislik talep parametreleri (plastik mafsallı dönmeleri ve çatı yer değiştirmeleri) açısından değerlendirmiştir. Bu parametrelerde bazı açı değerlerinde %37'ye varan farklar ile karşılaşmıştır.

Kostinakis ve diğerleri [10] konu ile ilgili çalışmalar yapmak için sekiz adet farklı geometriye sahip yapı ile deprem kayıtlarını farklı doğrultularda çevirerek analizler yapmış ve yapıların sismik hasar seviyelerinin dış merkezlik ile faya olan uzaklığı ile bir bağlantısı olduğunu söylemiştir.

Giannopoulos ve diğerleri [11] 2018 yılında yapılan çalışmada deprem kuvvet çiftlerinin FN-FP doğrultularına çevrilmesi ve orijinal hali ile kaydedilen deprem kayıtlarının farklı doğrultularda uygulanması durumunda, belirlenen mühendislik parametrelerinde oluşan değişimleri araştırmıştır. Analizler yapılırken tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemler kullanılmıştır. Az sayıda kayıt ve çok doğrultulu analizler ile çok sayıda kayıt ve herhangi bir etkiye açısı ile hesap yapılması durumları karşılaştırılmıştır.

Altunışık ve Kalkan [12], 2017 yaptıkları çalışmada deprem kayıtları 0°-90° aralığında farklı doğrultularda yapılara uygulanmış ve belirlenen mühendislik talep parametrelerinin karşılaştırılmaları yapılmıştır. Çalışmada beş katlı çerçeve bir yapı üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. İncelenen mühendislik talep parametreleri ile ilgili bazı açılarda %37-%54 arası daha yüksek sonuç parametreleri gözlemlenmiştir.

2015 yılında Kalkan ve Reyes [13] çok katlı simetrik ve simetrik olmayan yapılara, yakın saha kaynaklı deprem kuvvetleri hesaplanmış ve deprem kuvvetlerinin farklı açılarda etkimesi sonucu elde edilen mühendislik parametrelerini değerlendirmiştir. Gene Kalkan ve Reyes'in yaptığı sıralı çalışmalarda [14,15] yapılara deprem kuvvet çiftlerinin fay paralel ve fay normal doğrultularına çevrilmesi ve bu doğrultularda uygulanan kayıtlarda zaman tanım alanında analizler yapılması sonucu elde edilen parametreleri karşılaştırmıştır. Fay paralel fay normal doğrultularında çevrilmeden elde edilen kayıtların artı ve eksi yönlerini ayrıca incelemiştir. Sonuç olarak deprem kayıtlarının FN-FP doğrultularına çevrilmesi ve en olumsuz tepki kuvvetlerinin ortaya çıktığı kritik açının tasarımı esas olarak kullanılmasını önermiştir.

Hasgül [16] tarafından 2011 yılında hazırlanan doktora çalışmasında deprem yüklerinin doğrultu etkisi nedeniyle betonarme binaların giriş ve kolon plastik kesitlerinde (plastik mafsallarında) oluşacak en elverişsiz plastik şekildeğiştirme talepleri ile bunları veren kritik deprem doğrultularının doğrusal olmayan teori çerçevesinde araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada kritik etki açısı kavramının önemi elde edilen analiz sonucu verileri ile desteklenmiştir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar elverişsiz bir deprem doğrultusu olduğu gerçeğini

vurgulamaktadır. Deprem kuvvetlerinin, yapı asal eksenleri doğrultusunda ve bunun dışındaki doğrultularda uygulanması ile elde edilen etkilerin farklı olabileceğini kanıtlamıştır. En elverişsiz sismik etkinin oluşacağı kritik deprem doğrultusu, seçilen deprem kayıtlarına bağlı olduğu kadar yapının geometrik özelliklerine de bağlıdır [17].

Çok yakın zamanda yapılan kapsamlı bir çalışmada [18], ardışık kuvvetli yer hareketlerinin tek serbestlik dereceli bir yapıya farklı açılarla etkimesi durumu incelenmiştir. Söz konusu çalışma, önceki çalışmalardan farklı olarak kritik etki açısının belirlenmesini yapı periyoduna bağlı olarak irdelemiştir. Çalışma sonunda, sabit-dayanım süneklilik için doğrusal olmayan spektraller önerilmekle beraber, ana ve artçı şok kayıtlarının değişik etki açılarının çıkartılmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Bu çalışma kapsamında planda düzenli ve düzensiz binalardan oluşan yapı seti oluşturulmuş, sahaya özel hazırlanmış Türk Deprem Yönetmeliği'ne uyumlu, yönelim etkisi ortadan kaldırılmış deprem kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal hesaplamalar (ZTADH) yapılmıştır. Deprem kayıt çiftleri tüm yapılarda 15°'lik adımlarla hesaplamaya katılmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiki olarak değerlendirilmiş ve yapı seti sınıflandırılmasına göre kritik açı değerleri önerilmiştir.

2. Yöntem

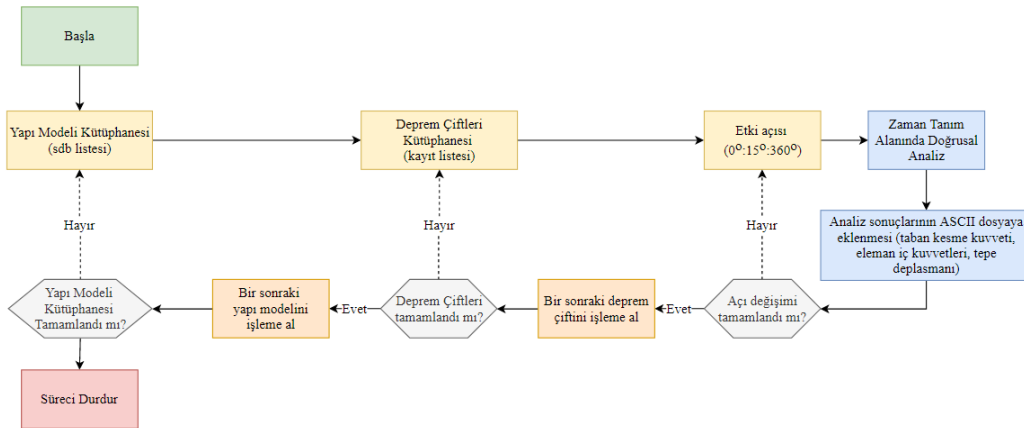
Bu çalışmada geometrik ve yapısal açıdan farklı özelliklere sahip dört farklı sınıfta toplanmış yapıların, deprem dinamik kuvvetlerinin farklı açılar altında etkimesi sonucu ortaya çıkan sonuçları çalışılmıştır. Hesaplamalarda üç boyutlu modellemeler kurulmuş ve doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Bu çalışma içerisinde yapı eleman tasarımı ve dolayısıyla eleman kapasitesine yönelik olarak donatı hesaplamaları yapılmamıştır. Bunun yerine, yapı tasarımında kullanılmasına yönelik bir analiz yöntemi önerilmeye çalışılmıştır.

Deprem kuvvetlerinin etkilerinin birleşim kuralı yönetmeliğimizde "Ortak Etki Formülleri" olarak verilen %30 birleştirme kuralı yöntemi uygulanmış ve sonuçları zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır [17]. Az ve orta katlı olarak seçilen bu yapıların düzenli veya düzensiz geometriye sahip olması durumunda ve perde kullanımına bağlı olarak

deprem kuvvet çiftlerinin farklı açılarda etkimesi sonucu oluşacak etkisi analiz sonuçları ile belirli parametreler aracılığı ile karşılaştırılmıştır.

Yapıların hasar durumları incelendiğinde burulma kuvvetlerinin önemli rol oynadığını gözlemlenmektedir. Yönetmelikler, yapılara etkileyen dinamik deprem kuvvetlerinin birbirine dik ve yapının asal eksenleri boyunca etkidiğini kabul etmiştir. Asal eksenleri deprem doğrultularına dik olmayan elemanlar içeren yapılar için ise yönetmeliklerde verilen "Ortak Etki Formülleri"nin kullanılmasını önermiştir [17]. Çalışmada deprem kuvvetlerinin etkilerinin, betonarme binaların plandaki asal eksenlerine ilave olarak farklı doğrultularda etkimesi durumunda, belirlenen mühendislik parametreleri açısından, en elverişsiz değerleri veren kritik etki doğrultusunun hesaplanabilmesi için, farklı plan ve en kesite sahip yapılara elastik doğrusal analizler uygulanmıştır.

Bu çalışmada yönetmelikte verilen "Ortak Etki Formülleri" ile birlikte gerçek kayıtlar kullanılarak yönelim etkisi ortadan kaldırılmış ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBYH-2007) [17] içerisinde verilen elastik tepki spektrumuna uygun olarak ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Simetrik ve elemanlarının asal eksenleri deprem doğrultularına paralel olan yapılar ile simetrik olmayan ve asal eksenleri deprem doğrultularına paralel olmayan yapılara, çalışma kapsamında belirlenen deprem kayıtları 0°'den başlayıp 15° derecelik adımlarla 360° dereceye kadar (0°, 15°, 30°... 360°) uygulanmış ve sonuçlar yönetmelikte verilen "Ortak Etki Formülleri" ile karşılaştırılmıştır. Yapıların simetri durumu, burulma katsayıları gibi geometrik özellikleri ile maksimum tepkilerin görüldüğü kritik etki doğrultusu kavramı arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada izlenen hesap yöntemi

Çalışmada yapısal analizler için CSI SAP2000 (v.16) [19] programı kullanılmıştır. Toplamda 185 adet örnek bina, yedi farklı deprem kaydı altında ve deprem kuvvetlerinin doğrultuları değiştirilerek incelenmiştir. Böylece zaman tanım alanında yapılan toplam analiz sayısı 32,375 olmuştur. Analizlerin manuel yapılması ve analiz sonucu ortaya çıkan veri grubunun incelenmesi çok zor olacağından Python dilinde geliştirilen "SAMA" isimli program, SAP2000 analiz programı ile birlikte çalıştırılmış (Şekil1) ve analizlerin ardışık ve kullanıcı müdahalesi olmadan sürdürülmesi sağlanmıştır [20]. SAMA'nın kullanılması ile birlikte, her bina sınıfı

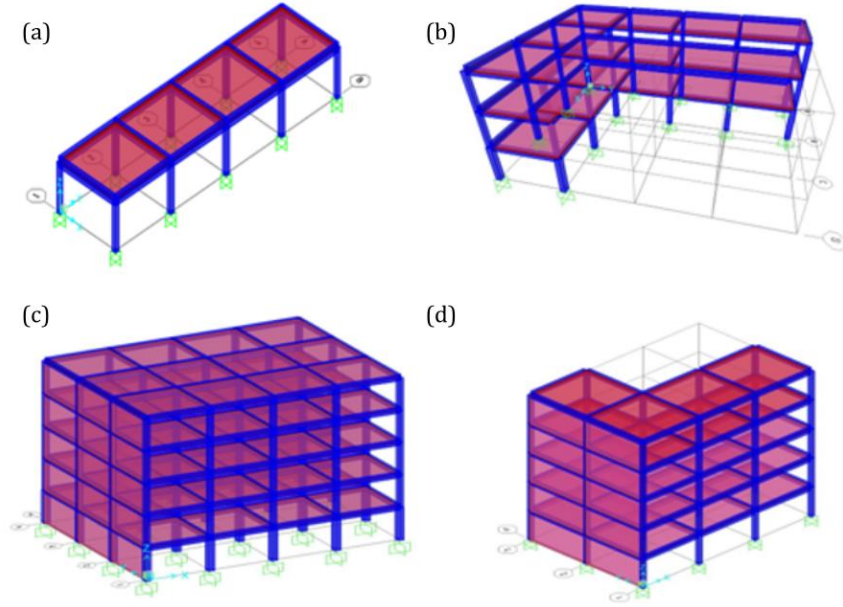
için ortalama 8,000 analiz yaklaşık 15 saatte otomatik olarak çözülmüş ve ilgili mühendislik parametrelerine ait sonuçlar elde edilmiştir. Ardında, seçilen parametreler üzerinde istatistiksel çalışma yapılmıştır.

3. Önerilen hesap adımları

Çalışmada kullanılan yapı seti, dört farklı yapı sınıfından oluşmaktadır. Modeller ve analizler uygulanırken kat ağırlıkları kullanılan program tarafından hesaplatılmış ayrıca hareketli yük olarak 2.5kN/m², döşeme yükü olarak 2kN/m² tanımlanmıştır. Yapı setinde kullanılan kolon boyutları 30cm×30cm ve

40cm×40cm olarak değişmekte olup, kiriş boyutları 50cm×25cm, döşeme kalınlığı 13cm, perde duvar boyutları 20cm×(100-150)cm olarak belirlenmiştir. Beton sınıfı C20/25, donatı S420 olarak kullanılmıştır. Yapılar X ve Y doğrultularında iki akstan başlayıp beş aksa kadar değişen aks adetleri oluşmaktadır ve bu aks aralıkları 5m olarak belirlenmiştir. Kat yükseklikleri ise birbirine komşu iki kat arasında 3m olarak seçilmiştir. Yapıların analizler sonucu değerlendirmelerinin yapılabilmesi için, belirli mühendislik parametrelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Mühendislik sonuç parametreleri

olarak ele alınıp karşılaştırmaları yapılan değerlendirmeye parametreleri için; tepe yerdeğiştirme değerleri bina yüksekliği ile, taban kesme kuvvetleri bina ağırlığı ile oranlanmıştır. Böylece bütün yapılar için incelenmesi daha kolay ve karşılaştırmalar yapılırken daha anlamlı sonuç aralıkları elde edilmiştir. Çalışılan yapı gruplarının sınıflandırılırken kritik etki doğrultusunun araştırılabilmesi için, analiz sonuçları plan oranları, birinci ve ikinci titreşim periyotlarının oranı ve burulma katsayıları gibi parametrelere dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Yapı sistemlerinin sınıflandırılması örnekleri (a) Düzenli-Burulmasız, (b) Düzensiz-Burulmasız, (c) Düzenli-Burulmalı ve (d) Düzensiz-Burulmalı

Belirtilen sınıflandırmada geometrik özellikler (planda düzenli veya düzensiz), ve burulma etkisinin varlığına (perdesiz ve perdeli) göre dört grup belirlenmiştir, sırasıyla; (a) Düzenli-Burulmasız, (b) Düzensiz-Burulmasız, (c) Düzenli-Burulmalı ve (d) Düzensiz-Burulmalı olarak adlandırılmıştır (Şekil2). Yapılarda, 2 ile 5 arasında değişen aks sayısı ve 1-3-5 adet kat düzlemi olduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla düzenli ve düzensiz yapılarda, sırasıyla, 16 ve 15'er adet, burulma hali ve kat sayılarının da dikkate alınması ile toplamda 185 yapı modeli ile işlemler sürdürülmüştür. Düzenli yapılar için tüm akslarda ve aralıklarda taşıyıcı sistem yer aldığı düşünülürken, düzensiz yapılarda eleman azaltılmasına gidilmiştir. Düzensiz-Burulmasız

yapılarda hesaplanan düzensizlik oranları, DBYBYH-2007'de tanımlanan limit değer olan 1.2'yi aşmadığından, burulma yaratabilmek için bir dış kenar aks boyunca düşeyde sürekliliği olan perdeler eklenmiştir.

3.1. Deprem yer hareketleri

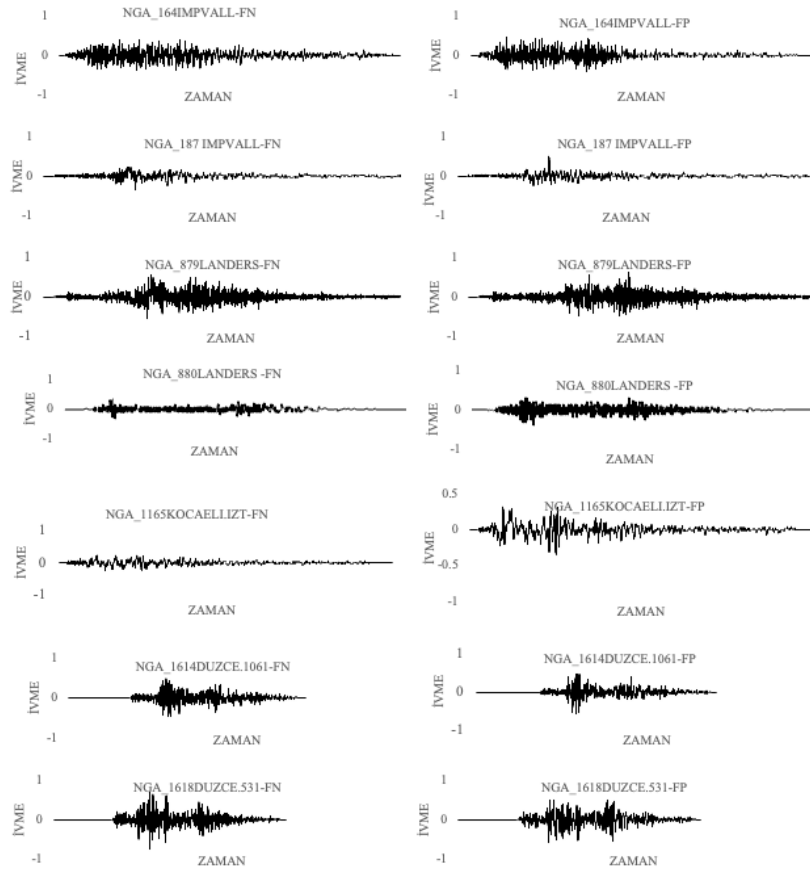
Zaman tanım alanında analizler yapılırken, İstanbul'da yer alan, 1. derece deprem bölgesi ve zemin sınıfı Z2 olan bir konum için DBYBYH-2007 içerisinde tanımlanan elastik spektruma uygun olarak genlik ölçeklemesi yöntemi ile ölçeklendirilen yönelim etkisi ortadan kaldırılmış deprem kayıtları kullanılmıştır. Ölçeklendirmelerde, incelenen her bir yapının ötelenme titreşim modları dikkate alındığından

ölçekleme katsayıları farklılıklar göstermektedir. Kullanılan deprem kayıtları Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) veri tabanından, yönetmelikte belirtildiği üzere, fay mekanizması, zemin sınıfı

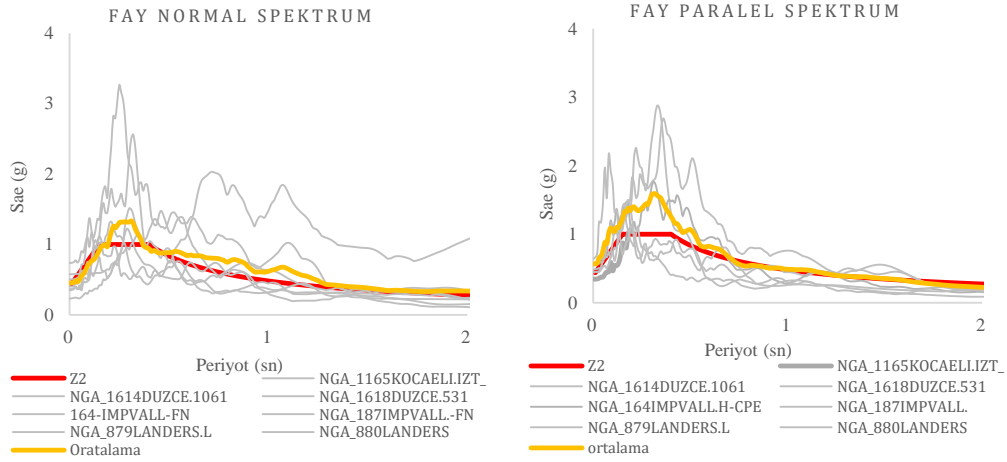
ve uzaklık değerlerine bağlı olarak seçilmiştir [21]. Kayıtlara ait karakteristik bilgiler Tablo 1, ivme-zaman serileri Şekil 3 ve ölçeklenen spektral değerlerin hedef spektrum ile beraber gösterimi Şekil 4 içerisinde verilmiştir.

Tablo 1. Deprem kayıtlarına ait veriler

Tarih	Deprem	İstasyon	M	Rjb (km)	Fay Normal Bileşen		Fay Paralel Bileşen	
					PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGA (g)	PGV (cm/sn)
1979	Imperial Valley	Cerro Prieto	6.5	15.19	0.40	48.27	0.45	29.98
1979	Imperial Valley	Parachute Test Site	6.5	12.69	0.34	42.29	0.48	39.67
1992	Landers	Lucerne	7.3	2.19	0.57	111.64	0.63	27.46
1992	Landers	Mission Creek Fault	7.3	26.96	0.42	80.46	0.43	23.93
1999	Duzce	Lamont 1061	7.1	11.46	0.50	51.06	0.56	60.75
1999	Duzce	Lamont 1062	7.1	9.14	0.23	35.40	0.34	46.61
1999	Duzce	Lamont 531	7.1	8.03	0.73	58.50	0.57	59.68



Şekil 3. Deprem yer hareketlerinin zaman serileri

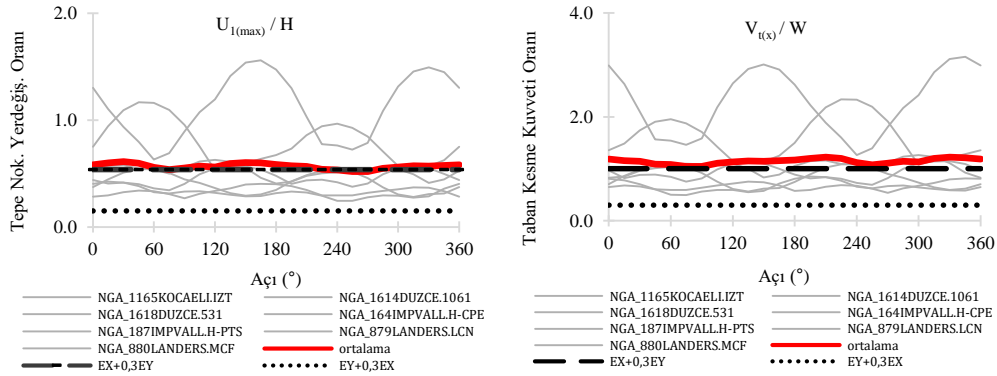


Şekil 4. Deprem kayıtlarının fay normal ve paralel doğrultularının elastik spektrumları

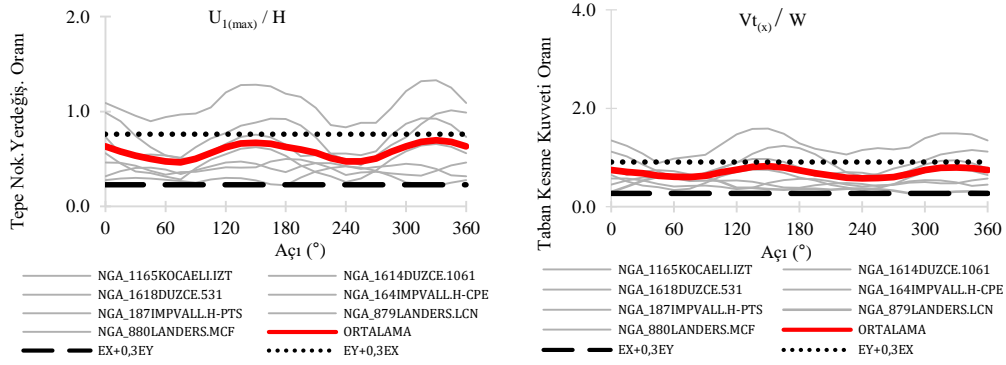
3.2. Zaman tanım alanındaki analizleri

Sınıflandırılması yukarıda belirtilen dört gruptaki yapıların hepsinde, deprem yatay dik bileşenleri 15°'lik açılarla döndürülerek zaman tanım alanında doğrusal hesaplamalar (ZTADH) yapılmıştır. Aynı zamanda, her bir yapıda, depremin etki yönünden bağımsız olarak Eşdeğer Deprem Yükleme (EDY) ile analizler yapılmıştır. Yönetmeliklerde belirtilen ortak etki formülleri dikkate alınarak, en elverişsiz yanal yükleme durumu belirlenmiştir. Her iki hesap yönteminin uygulandığı analizlerin sonuçlarının

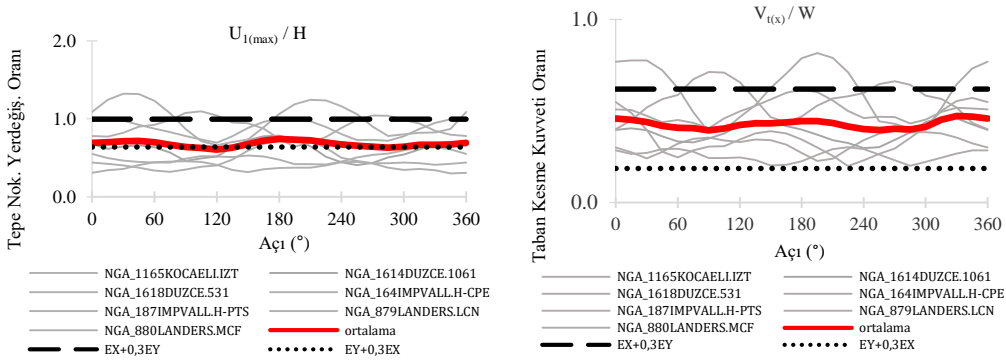
karşılaştırılması için belirlenen bir eksendeki yapı tepe yer değiştirmesi ve aynı eksendeki taban kesme kuvveti değerleri, sırasıyla, yapı yüksekliği ve bina ağırlığına bölünerek normalize edilmiştir. Bu sayede, tamamlanan analizlerin aynı şekil üzerinden gösterimi ve dolayısıyla da sayısal karşılaştırılması mümkün olmuştur. ZTADH yönteminde deprem kuvvet çiftlerini yapıya farklı doğrultularda etki elde edilen analiz sonuçları ile doğrultu etkisi kavramı incelenmiş ve bu sonuçlar diğer analiz yöntemi (EDY) sonuçları ile de karşılaştırılmıştır (Şekil 5-8).



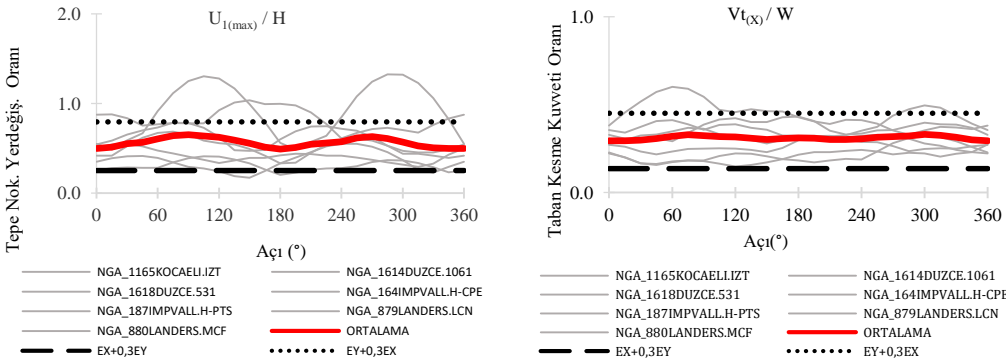
Şekil 5. Düzenli-Burulmasız yapı sınıfı için X doğrultusu tepe noktası yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti oranları



Şekil 6. Düzensiz-Burulmasız yapı sınıfı için X doğrultusu tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti oranları



Şekil 7. Düzenli-Burulmalı yapı sınıfı için X doğrultusu tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti oranları



Şekil 8. Düzensiz-Burulmalı yapı sınıfı için X doğrultusu tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti oranları

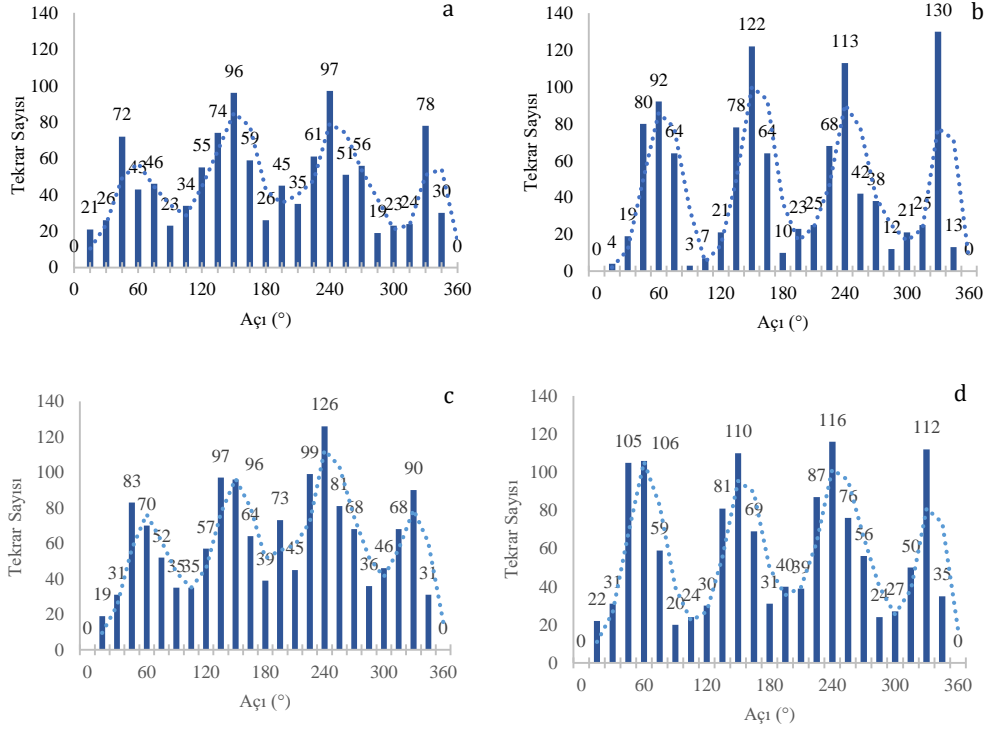
Elde edilen grafik sonuçlarından görüldüğü gibi ZTADH yöntemi kullanılarak hesaplanan ortalama değerler, yönetmelik kurallarınca tavsiye edilen formüller ile hesaplanan değerlere oldukça yakın değerler vermiştir. Bu durumda

bu yapı için ortak etki formüllerinin yeterli olduğunu söylemek yanlış olamayacaktır. Örnek yapılar için 45°, 135°, 210° ve 330° ile etkiyen deprem kuvvetleri etkisi altında daha yüksek tepki oranı değerleri vermektedir.

3.2. Kritik Açı Doğrultusunun Belirlenmesi

Kapsamlı analizler sonucu elde edilen mühendislik talep parametreleri (tepe yerdeğiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri) istatistiksel olarak değerlendirilmiştir [22]. Sonuçların anlamlandırılmasında her bir yapı

sınıfı için döndürülen açılarda elde edilen büyüklükler histogram olarak görselleştirilmiştir. Yapının sınıflarının, ilgili parametreler ile filtrelenmesi durumunda ortaya çıkan kritik etki doğrultuları araştırılmış olup elde edilen genel histogramlar Şekil 9 içerisinde verilmiştir.



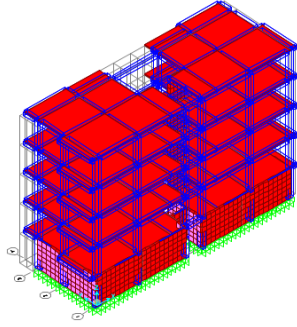
Şekil 9. Genel histogramlar; a) Planda düzenli-burulmasız, b) Planda düzensiz-burulmasız c) Planda düzenli-burulmalı, d) Planda düzensiz-burulmalı

Histogramlar her yapı sınıfı için kullanılan deprem kayıtları aynı olmasına rağmen yapı geometrisine bağlı olarak en büyük tepki kuvvetlerinin meydana geldiği açılar değişmiş ve belirli bir eğilimi işaret etmiştir. Planda düzenli burulmasız yapı sınıfına ait genel histogram sonuçları incelendiğinde kritik açı değerlerinin yaklaşık 45°, 135°, 240° ve 330°, planda düzensiz burulmasız yapı sınıfına ait histogramda görüldüğü gibi bu yapı tipleri için 60° ile başlayan bir eğilim, 150 derecede oldukça yükselmiş, 240° ve 330° ile devam etmiştir. Planda düzenli burulmalı yapı sınıfına ait histogramlarda bu açı değerlerinin 45°, 135°, 240° ve 330° olduğu, planda düzensiz perdeli yapı sınıfı için ise 45°, 60° ile başlayan bir eğilim,

150° ile takip etmiş, 240° ve 330° ile devam etmiştir.

4. Sayısal örnek

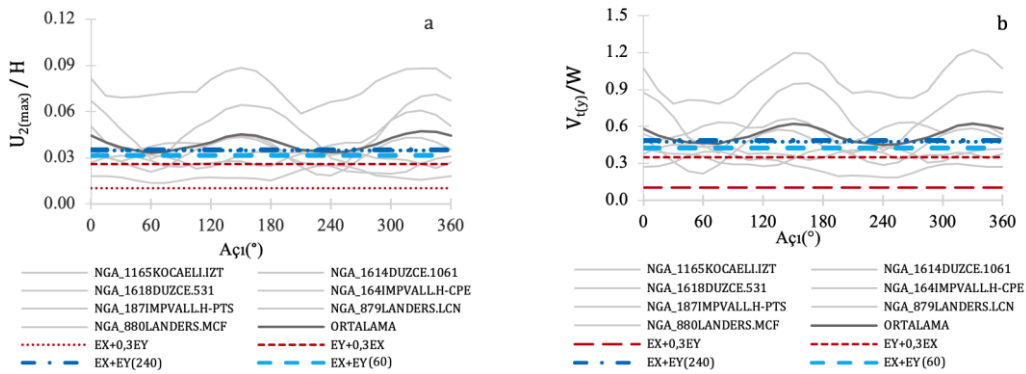
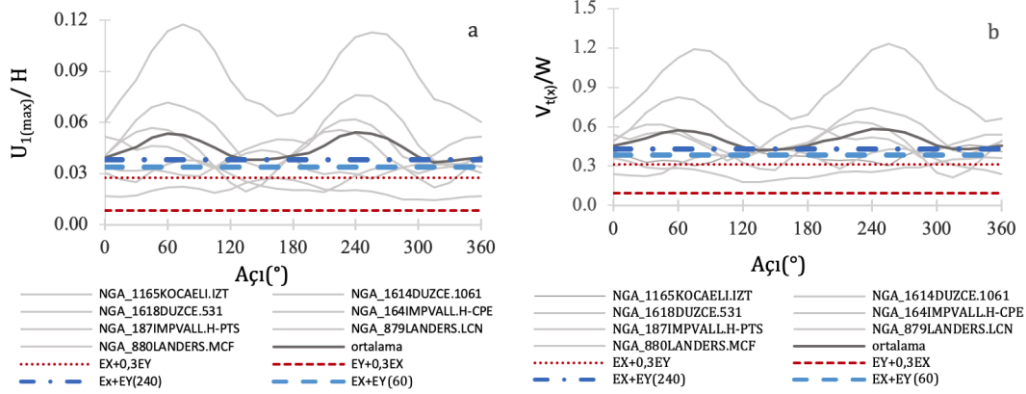
İncelenen yapı grubuna ek olarak bir adet vaka çalışması yapılmış ve örnek bir yapı için kritik etki doğrultusu kavramı incelenmiştir. Vaka çalışmasında incelenen örnek, planda düzensiz-burulmalı yapı sınıfına örnek olmuştur. Bu yapının kritik etki doğrultusu kavramını araştırmak için planda düzensiz-burulmalı yapı sınıfına ait histogram sonuçlarından yararlanılmıştır. İncelenen yapı, Şekil 10, DBYBYH-2007'ye göre birinci derece deprem bölgesi olan İstanbul-Pendik ilçesinde bulunmaktadır.



Şekil 10. Eşit Apartmanı'nın görünümü

Yapıda, beton sınıfı C25/30, çelik sınıfı ise S420 olarak kullanılmıştır. Yapının matematik modellenmesi CSI SAP2000 v.16'da gerçekleştirilmiştir. Yapıdaki elemanların boyutları; kolonlar için 30cm×30cm ve 30cm×60cm ölçüleri, kirişler için 25cm×50cm, 30cm×30cm ve 50cm×30cm ölçüleri, perde duvar kalınlığı 25cm ve döşeme kalınlığı ise 13cm olarak tasarlanmıştır.

Eşit Apartmanı için kritik etki açısı doğrultusu değerlendirmesi yapılırken ilgili sınıfa ait histogramlardan elde edilen açı değerleri 60° ve 240° olarak belirlenmiştir. Eşit Apartmanı'nın kritik etki doğrultusu kavramı araştırması kapsamında deprem kuvvet çiftleri yapıya belirlenen kritik etki açısı doğrultularında etki ettirilmiştir. Grafiklerde önerilen 60° ve 240°açılarda yapılan hesaplamalarda, sırasıyla, açık mavi uzun kesikli çizgi ve koyu mavi noktalı kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Zaman tanım alanındaki analizlerin sonuçları ve ortalaması düz çizgiler ile ifade edilmiştir. "Ortak Etki Formülleri" olarak ifade edilen $Ex+0.3Ey$ ve $Ey+0.3Ex$ analiz sonuçları, sırasıyla, kırmızı noktalar ve kırmızı kısa kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Sonuç grafiklerinden X doğrultusu (uzun kenar) tepe yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti oranı grafikleri Şekil 11 içerisinde, Y doğrultusuna (kısa kenar) ait grafikler ise Şekil 12 içerisinde paylaşılmıştır.



Yapının tepe yerdeğiştirmesi oranı, taban kesme kuvvetleri oranı grafikleri sonucu kritik etki doğrultusu kavramının önemi ortaya çıkmıştır. Söz konusu yapı genelinde, deprem kuvvetlerinin yapıya önceden belirlenen kritik etki doğrultusu açđ değerlerinde etkimesi durumunda daha büyük tepki kuvvetleri olmaktadır. Özellikle 240° ve 330° ile yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri etkisi altında yapıda diğer açđlar ile etkiyen deprem kuvvetlerinden, yönetmelikte verilen ortak etki formülleri ile yapılan analiz sonuçlarından ve ZTADH yöntemi kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarından oldukça büyük tepki değerleri ortaya çıkmıştır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, mevcut yönetmelikler içerisinde yatay etkilerini bir arada değerlendirilmesi için verilmiş olan "Ortak Etki Formüllerinin" ağırlıklı katsayıların geçerliliği ve yatay etkilerin yapı asal eksenleri dışında olması halinde mühendislik istem değerlerinin değişimi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Seçilen bir deprem büyüklüğü seviyesi için oluşturulan elastik tepki spektrumuna uyumlu yedi çift deprem kaydı elde edilmiştir. Ülkemizdeki mevcut yapı stoğu içerisinde tipik olarak bulunan binalardan; planda düzenli ve düzensizlik ile düşey eksen etrafında burulma oranının, yönetmelik limitlerinden az veya fazla olması durumuna göre dört sınıf yapı örneği belirlenmiştir. Her bir sınıfa ait kat (1-5 adet kat) ve açıklık (2-5 aks) değişimine göre yapılan matematiksel olarak modellenmiştir. Toplam 185 farklı binanın elemanlarının kesit tasarımında yönetmeliklerde belirtilen elastik tasarım limitlerine dikkat edilmiştir. Her bir bina modeli için, seçilen deprem kayıt çiftleri asal eksenlerden 15° adımlarla döndürülerek zaman tanım alanında doğrusal hesaplamalar yapılmıştır. Toplamda 32,375 adet zaman serisi analizi geliştirilen bir bilgisayar programı aracılığıyla kısa sürede tamamlanmıştır. Elde edilen analiz sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel çalışma sonucunda her bir yapı sınıfı için, asal eksenlere göre daha fazla deprem istemi yaratan kritik açđlar belirlenmiştir. Önerilen kritik açđ yaklaşımı, profesyonel mühendislik hizmeti olarak imal edilmiş bir bina üzerinde geçerliliği sınanmıştır.

Gerçekleştirilen kapsamlı analizlerin istatistiksel sonuçlarına bağlı olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Yapı modellerinin zaman tanım alanı ve "ortak etki formülleri" ile yapılan analizleri sonucunda, önerilen açđlarda hesaplanan mühendislik talep parametrelerinin, yönetmeliklerde verilen asal eksenlerdeki hesaplamalara göre daha büyük çıktığı görülmüştür.
- Planda düzenli-burulmasız ile Planda düzenli-burulmalı yapılarda 45° ve 135°lerde, Planda düzensiz-burulmasız ve Planda düzensiz-burulmalı yapılarda ise 60-150°lerde deprem etkisinin arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, bu yönlerin zıttı olan açđlarda da benzer sonuçlara varılmıştır.
- Belirlenen açđlarında, incelenen örnek kümesi dışında yer alan mühendislik tasarımı görmüş bir bina üzerinde yapılan incelemede, önerilen yaklaşımın gerçekten de sayısal olarak daha büyük iç kuvvet ve yerdeğiştirmelerin olduğu gözlemlenmiştir.

Daha güvenli yapılar için, kuvvet esaslı tasarım yaklaşımlarında yapı geometrisine bağlı olarak kritik açđ etkisinin ele alınması gereken bir büyüklük olduğu bu çalışma ile gösterilmiştir.

Kaynakça

- [1] Özmen G., Pala S., Gülay G., Orakdoğen E. 1998. Çok Katlı Yapılarda Yapısal Düzensizliklerin Deprem Hesabına Etkisi, Teknik Rapor No: TDV/TR 017, 78s., İstanbul.
- [2] Rosenblueth E., Contreras, H., 1997. Approximate design for multicomponent earthquakes, Journal of Engineering Mechanics (ASCE), Cilt. 103(5), s. 881-893. DOI: -
- [3] Newmark N.M. 1975, Seismic design criteria for structures and facilities,trans-alaska pipeline system, U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 18-20 Haziran, Michigan, 94-103.
- [4] Wilson, Suharwardy, I., Habibullah, A., 1995. A clarification of the orthogonal effects in a three-dimensional seismic analysis, Earthquake Spectra, Cilt: 11(4), s. 659-666. DOI: 10.1193/1.1585831
- [5] Menun C., Kiureghian A.D. 1998. A replacement for the 30%, 40%, and SRSS rules for multicomponent seismic analysis, Earthquake Spectra, Cilt: 14(153), s. 153-163. DOI: 10.1193/1.1585993
- [6] Lopez, O.A. ,Torres R. 1997. The critical angle of seismic incidence and the maximum structural response, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Cilt. 26(9), s. 881-894. DOI: 10.1002/(SICI)1096-9845(199709)26:9%3C881::AID-EQE674%3E3.0.CO;2-R

- [7] Özmen G. 2005. Ortogonal olmayan yapılarda maksimum donatı oranlarının tayini, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, Cilt. 16(1), s. 3445.
- [8] Sebastiani P., Liberatore L., Lucchini A., Mollaioli F. 2018. A new method to predict the critical incidence angle for buildings under near-fault motions, *Structural engineering and mechanics*, Cilt: 68(5), s. 575-589 DOI: 10.12989/sem.2018.68.5.575
- [9] Magliulo G, Maddaloni G, Petrone C. 2014. Influence of earthquake direction on the seismic response of irregular plan RC frame buildings. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Cilt. 13(2), s. 243-256. DOI: 10.1007/s11803-014-0227-z
- [10] Kostinakis K, Morfidis K, Xenidis H. 2015. Damage response of multistory r/c buildings with different structural systems subjected to seismic motion of arbitrary orientation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Cilt. 44(12), s. 1919-1937. DOI: 10.1002/eqe.2561
- [11] Giannopoulos D., Vamvatsikos D. 2018. Ground motion records for seismic performance assessment: To rotate or not to rotate?, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Cilt: no. 12, c. 2410-2425, DOI:10.1002/eqe.3090
- [12] Altunışık A., Kalkan E., Earthquake incidence angle influence on seismic performance of reinforced concrete buildings., 2017, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, Cilt. 35(4), s. 609-631. DOI: -
- [13] Kalkan E, Kwong NS. 2014. Pros and cons of rotating ground motion records to fault normal/parallel directions for response history analysis of buildings. *Journal of Structural Engineering*, Cilt. 140(3), s. 04013062. DOI :10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000845
- [14] Reyes JC, Kalkan E. 2015. Significance of rotating ground motions on behavior of symmetric- and asymmetric-plan structures, part I: single-story structures. *Earthquake Spectra*, Cilt. 31(3), s. 1591-1612. DOI: 10.1193/072012EQS241M
- [15] Reyes JC, Kalkan E. 2015. Significance of rotating ground motions on behavior of symmetric- and asymmetric-plan structures, part II: multi-story structures. *Earthquake Spectra*, Cilt. 31(3), s. 1613-1628. DOI: 10.1193/072012EQS242M
- [16] Hasgöl U. 2011, *Betonarme Binaların Şekil Değiştirme Esaslı Doğrusal Olmayan Analizinde Deprem Doğrultusu Etkisinin İncelenmesi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 223s, Balıkesir.
- [17] Resmi Gazete, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 6 Mart 2007 tarih ve 26454 sayılı Resmi Gazete.
- [18] Di Sarno, L., Amiri, S., Garakaninezhad, A. 2020. Effects of incident angles of earthquake sequences on seismic demands of structures. *Structures*, Cilt. 28, s.1244–1251. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.09.064
- [19] Computers & Structures. SAP2000 2016.
- [20] Türkhan A, Tuğan B, Dindar AA, Önen YH. 2014. A Cloud Computer Application In Civil Engineering Education And Research: SAMA. 11th Int. Congr. Adv. Civ. Eng., 21-25 Ekim, İstanbul.
- [21] PEER Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı, <https://ngawest2.berkeley.edu/>, (Erişim tarihi: 12.08.2019).
- [22] Ayar B. 2019, *Yapıların Burulma Düzensizliği ve Deprem Doğrultuları Arasındaki İlişki*, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 126s., Kocaeli.