

**Atf İçin:** Naimi S, Peker Ö, 2022. Deprem Etkileri Altındaki Farklı Tiplerde Çelik Yapıların StaSTEEL ve SAP2000 Kullanılarak Karşılaştırılması. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(3): 1577 - 1591.

**To Cite:** Naimi S, Peker Ö, 2022. Comparison of Different Types of Steel Structures Under Earthquake Forces Using StaSTEEL and SAP2000. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(3): 1577 – 1591.

### **Deprem Etkileri Altındaki Farklı Tiplerde Çelik Yapıların StaSTEEL ve SAP2000 Kullanılarak Karşılaştırılması**

Sepanta NAİMİ<sup>1\*</sup>, Önder PEKER<sup>2</sup>

**ÖZET:** Çalışma kapsamında uygulamada sıkça kullanılan StaSTEEL ile referans olarak SAP2000 paket programları kullanılarak, simetrik ve L formunda asimetrik kat şekline sahip üç katlı, on katlı ve on beş katlı çelik yapılar ile bu yapılardan farklı tek katlı bir sanayi yapısı modeli, iki paket program ile çözümlenmiştir. Literatürde, StaSTEEL ile yapılmış çalışma bu araştırma yapıldığı sırada hiç bulunmamaktadır. Çalışma içerisinde incelenen bina tipi toplam 7 adettir. Analiz sonucu elde edilen kat ağırlıkları, doğal titreşim periyotları ve elemanlar üzerinde oluşan aksel, kesme ve moment gerilmeleri bakımından paket programların sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca programların ara yüzleri incelenerek kullanıcı için veri girişi, sonuçların irdelenmesi ve çıktılar konusunda ihtiyacın nasıl ve ne kadar karşılandığı araştırılmıştır. Yapı çözümlenmeleri için 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen kurallar kullanılmıştır. İki paket programın çözümlenme sonuçlarının birbirine benzer olduğu gözlenmiştir. Simetrik ya da asimetrik, az katlı veya çok katlı fark etmeksizin oluşan iç kuvvetlerde N, V ve M için en büyük farklar sırasıyla %3, %3,5 ve %2,7 mertebelerindedir. Bununla birlikte StaSTEEL programının gerek veri girişi gerekse sonuçların irdelenmesi konusunda daha kolay olduğu gözlenmiştir. Ayrıca hazırlanan hesap raporlarının daha detaylı ve görselliği yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** SAP2000, StaSTEEL, dinamik analiz, çelik yapılar, sanayi yapıları

#### **Comparison of Different Types of Steel Structures Under Earthquake Forces Using StaSTEEL and SAP2000**

**ABSTRACT:** Within the scope of the study, three-story, ten-story and fifteen-story steel structures with symmetrical and L-shaped asymmetrical story shapes and a single-story industrial building model structures were analyzed with the SAP2000 software as a reference with StaSTEEL, which is frequently used in the market. There are no studies in the literature with StaSTEEL at the time of this research. There are 7 types of buildings examined in the study. The results of the software were compared in terms of floor weights, natural vibration periods and axial, shear and moment stresses on the elements. In addition, by examining the interfaces of the programs, data entry for the user, examining the results and how and to what extent the needs are met for outputs. The rules stated in Turkish Seismic Code-2018 and Turkish Steel Structures Regulation-2016 were used for structural analysis. It has been observed that the analysis outputs of the two package programs are similar. The most differences for N, V and M in the internal forces that occur regardless of whether they are symmetrical or asymmetrical, low-rise or multi-story are 3%, 3.5% and 2.7% respectively. However, it was observed that the StaSTEEL software was easier for both data entry and examining of the analysis results. In addition, it was concluded that the prepared calculation reports were more detailed and highly visual.

**Keywords:** SAP2000, StaSTEEL, dynamic analysis, steel structures, industrial buildings

<sup>1</sup> Sepanta NAİMİ ([Orcid ID: 0000-0001-8641-7090](https://orcid.org/0000-0001-8641-7090)), Altınbaş Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Önder PEKER ([Orcid ID: 0000-0002-9122-3191](https://orcid.org/0000-0002-9122-3191)), İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

**\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Sepanta NAİMİ, e-mail: sepanta.naimi@altinbas.edu.tr

## GİRİŞ

Her yıl ülkemizde ve dünyada depremler nedeniyle can kayıpları meydana gelmekte, telafisi mümkün olmayan maddi hasarlar ortaya çıkmaktadır. Güncel yönetmelikler, depreme dayanıklı yapı tasarımı yapmak için mühendislere özellikle son yıllarda performans dayalı tasarım felsefesini de kullandırmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yapı türüne göre seçilen performans hedefi için tasarım yapılabilmektedir. Özellikle Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBH-2007) ile birlikte yapıların 3 boyutlu olarak modellenmesinin zorunluluk haline gelmiştir. Bu koşullarda bilgisayar destekli tasarım yapmadan uygulama projesi üretmek mümkün olmamaktadır. Bunun için piyasada sıklıkla kullanılan paket programlar geliştirilmiştir. Ülkemizde özellikle Betonarme yapı tasarımında kullanılan bu paket programlar son yıllarda geliştirilen yazılımlarla birlikte Çelik Yapı Tasarımı için de kullanılmaya başlanmıştır. Büyük ölçüde yerli ve millî kaynaklar ile geliştirilen bu programlara bir örnek de Sta Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti. tarafından geliştirilen StaSTEEL'dir. Bu çalışma kapsamında, ilk sürümleri 2015 yılında yayımlanan StaSTEEL çelik yapı tasarımı paket programı ile çözümleme konusuna referans sayılabilecek bir program olan CSi SAP2000'in genel kullanım, arayüz, modelleme yetenekleri, çözümleme çıktıları ve özellikle de doğrulukları karşılaştırılmıştır. Literatürde betonarme yapı tasarımı için kullanılan Sta4CAD ile SAP2000 karşılaştırmaları çok olmasına rağmen bu çalışma yapıldığı sıralarda StaSTEEL için bu konuda herhangi bir araştırma yapılmamıştır.

Gelibolu ve ark. Sta4CAD paket programı ile SAP2000 analiz programının mod birleştirme yöntemi kullanarak karşılaştırılması konusunda çalışmıştır. DBYBHY'de verilen kurallara göre aynı kat ağırlıkları için programlar tarafından elde edilen deprem kuvvetleri ve yönetmelik çerçevesinde istenilen düzensizlik kontrolleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda Sta4CAD'in modellemede daha pratik olduğu ve iki programın sonuçlarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir (Gelibolu ve ark., 2008). Büyük ölçekli bir betonarme çerçeve üzerinde birleşik bir deneysel ve analitik araştırma programı yürüten Ademovic ve Salihovic, SAP2000'de analizlerini yaptıkları modelleri VecTor2 sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, tüm sayısal modellerin özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlanmış ve kullanıcıların doğrusal olmayan analiz yapmak için en iyi yaklaşımı seçmelerine yardımcı olunabileceğini belirtmişlerdir, (Salihovic ve ark., 2017). A. Kuyucular ve Ö. Ö. Kandak statik-betonarme tasarım için Türkiye'de kullanılan ticari paket yazılımların farklı sonuçları üzerinde çalışmışlardır. Yapılan çalışmada İdeCAD, Sta4CAD ve Probina' da modellenen farklı yapı örnekleri için deprem kuvvetleri, beton metrajı, donatı metrajı ve düzensizlik durumları arasında çok fark olmadığını belirtmişlerdir (Kuyucular ve ark., 2008). SAP2000 kullanarak yumuşak zemin katlı bina modellerini inceleyen Kose, parametre olarak bina yüksekliği, bölme sayısı, perde duvar alanının bir kat alanına oranı, dolgu panellerin toplam panel sayısına oranı ve çerçeve tipi seçmiştir. SAP2000 gibi mevcut yazılımların lineer olmayan modal analiz özelliğine sahip olmadığından, dolgu duvarların yapıların periyodu üzerindeki etkilerini iteratif lineer modal analiz uygulanarak araştırmıştır. Mevcut yönetmelik formüllerinin, parametrelere bağlı olarak modellerin temel periyotlarını %2'den %47'ye kadar eksik tahmin ettiğini tespit etmiştir, (Kose, 2009). Nogueira ve ark. Sonlu Elemanlar Metodu'na dayalı betonarme çerçeve yapıların analizi için mekanik bir model önermişlerdir. Elde ettikleri sonuçları Güner'in (Guner, 2008) SAP2000 modelleri kullanarak tanımladıkları ile karşılaştırmışlardır. Testlerin, özellikle kesme tamamlayıcı mekanizmaları göz önüne alındığında, önerilen model ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğunu göstermişlerdir, (Nogueira ve ark., 2013). S. Ateş, mevcut binaların güçlendirilmesiyle ilgili yaptığı çalışmada Etabs ve Sta4CAD programlarının birbirine benzer sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (Karayer ve ark., 2018). C. Sırlıbaş, Sta4CAD ve

Etabs programlarında kat adedini artırarak programlar arası sonuç farklılıklarını ve kat adedine bağlı olarak ortaya çıkan düzensizlikleri incelemiştir. Aynı zamanda kullanılan paket programlara bağlı olarak metraj farklarını da belirtmiştir. Kat adedi arttıkça belirgin farklar ortaya çıktığını vurgulamıştır (Sırlıbaş, 2013). Akbari, SAP2000 ve ETABS gibi ticari yazılımlarda yapıların sismik tasarımları, genellikle tahmin edilenin üzerinde olan dikdörtgen spektrumlara dayandığını, bu nedenle, tasarım yazılımlarında dikdörtgen yerine çalışmasında tanımladığı doğrusal bir yapıda iki veya daha fazla yanıtı sınırlayan zarfı tahmin etmek için tepki spektrumu tabanlı prosedür uygulayarak yazılımların farklı tasarımlarını ortaya koymuştur, (Akbari, 2015). M. Olbak ve S. Naimi, kentsel dönüşüm uygulanmış 5 katlı iki yapı örneğinin deneysel verileri kullanılarak doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile Sta4CAD ile modellenen yapıların güçlendirme sonuçlarının irdelenmesi konusunda çalışmışlardır. Perde duvar ile yapılan analizlerde mantolama ile yapılan analizlere göre can güvenliği performans seviyesine daha kolay ulaşıldığı görülmüştür. Binalara yapılacak olan güçlendirme projelerinde mimari sebeplerden dolayı zorunlu kalınmadıkça perde duvar takviyesinin sadece mantolama uygulanarak yapılan binalardakine kıyasla daha iyi performans seviyelerine ulaşıldığı sonuçlarına varılmıştır (Olbak ve ark., 2016). Sadeghi ve Ghaboun, yapılarının analizi ve tasarımı için kullanılan en yaygın yazılımlar arasından uygun yazılımın seçimi için teknik özellikleri, uygulama alanları, birleştirilmiş yapısal tasarım kodları, sınırlamaları, teknik popülerlikleri ve yetenekleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmaya dayalı olarak, on bir yazılım seçilmiş ve betonarme yapıların analizi ve tasarımında yapı mühendisleri için faydalı bir kılavuz olarak sunulmuştur, (Sadeghi ve ark., 2019). M. S. Körlü ve ark. betonarme yapıların perde takviyesi ile güçlendirilmesi konusunda çalışmışlardır. Değişik perde ile güçlendirme örnekleri Sta4CAD ile modellenmiş, sonuçları tartışılmıştır. Buna göre yapılan perde takviyelerinin yapı periyotlarını azalttığı, toplam yüklerin daha çok perdeler tarafından taşındığı için yetersiz eleman kalmadığı, kolon mantolamasına gerek kalmadığı, görelî kat deplasmanlarının azaldığı, perde ilavesinden dolayı temel sisteminin de değişmesi gerektiğinden temelin de güçlendirilmesi sonucu yapı zemin etkileşiminin de iyileştiği tespit edilmiştir (Körlü ve ark., 2004). Odeyemi ve ark., 17 farklı İnşaat Mühendisliği yazılım aracını, işlevsel güçlerine göre değerlendirilmiştir. Çalışmalarında, farklı yazılım uygulamalarının farklı işlevlere sahip olduğunu ve bu nedenle birinin diğerinden daha iyi olduğunu söylemenin mümkün olmadığı belirtmişlerdir. Bununla birlikte, bazı yazılım uygulamalarının, onları çok yönlü, ancak aynı zamanda diğerleriyle karşılaştırıldığında oldukça karmaşık hale getiren genel yapısal mühendislik işlerini yürütebilir olarak tanımlamışlardır, (Odeyemi ve ark., 2020). M. E. Aydemir ve S. Jakayev düzenli bir betonarme binada düşey deprem bileşeninin yapısal davranışa etkisi konulu çalışmalarında, 5 katlı betonarme binada, yapı elemanlarının ön boyutlandırması yapıldıktan sonra Sta4CAD ile yapı elemanlarının donatı hesabını yapmışlardır. Depremi düşey bileşeninin özellikle kolonlardaki eksenel kuvvetlerin artışına sebep olduğu gözlemişlerdir. Kolon kesme kuvvetlerinde depremin düşey bileşeninin eklenmesiyle yaklaşık yüzde 10 oranında artış kaydetmişlerdir (Jakayev ve ark., 2019). Jarrah ve ark., on yapısal analiz yazılımı uygulamasının sıralamasını altı faktör açısından karşılaştırmayı amaçlamamışlardır: standardizasyon, güvenilirlik, uzun ömür, kullanılabilirlik, fiyat ve işlevsellik. Çalışmalarında, dünyanın çeşitli ülkelerinden yapısal tasarım mühendislerini araştırmış ve altı faktör arasındaki göreceli önem hakkında görüşlerini toplamıştır. Sonuçlar, kullanıcılar için en çok endişe duyulan faktörlerin güvenilirlik ve işlevsellik olduğunu, fiyatın ise en az endişe kaynağı olduğunu göstermiştir, (Jarrah ve ark., 2021). S. Ö. Değertekin ve H. Şik Deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için farklı güçlendirme önerilerinin karşılaştırması konusunda çalışmıştır. Buna göre deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için Sta4CAD programı yardımıyla farklı güçlendirme önerileri sunmuşlardır. Bina dış akslarına ve iç akslarına perdelerin yerleştirildiği güçlendirme önerisinin rijitlik

ve maliyet açısından daha uygun sonuçlar verdiğini tespit edilmişlerdir (Değertekin ve ark., 2015). Bolander, daha önce ETABS ile tasarlanan bir yapı için yazılımın doğrusal olmayan dinamik zaman-tanım alanında hesaplamalarındaki kısıtlamalarından dolayı modeli hem malzeme hem de geometrik nonlineerite ile SAP2000 kullanarak farklı yer hareketlerinde çözümlenmiştir. Modelinde kullandığı asimetrik rijitliğin burulmaya etkisini incelediği çalışmada, asimetrik modelin tipik olarak simetrik modele göre burulma etkileri ve daha büyük yer değiştirme tepkileri yaşadığını, yapı ne kadar nonlineer davranırsa, burulmanın asimetrik olarak yerleştirilmiş perdeli modelin tepkisi üzerindeki etkisi o kadar fazla olduğu sonucuna varmıştır, (Bolander, 2014). S.Naimi ve ark. SAP2000 yazılımı kullanarak eşdeğer statik analiz yöntemi ile mod birleştirme metodunu alt katlı bina modeli üzerinde karşılaştırmışlardır. Altı katlı veya daha üstü kat sayısına sahip çok serbestlik dereceli sistemde dinamik analizin daha küçük yer değiştirme ve daha az kuvvetler hesap ettiğini bulmuşlardır, (Naimi ve Hanoun, 2018). Hu ve ark. yaptıkları çalışmada ETABS, SAP2000, MIDAS/gen ve SATWE uluslararası sonlu eleman programları kullanarak tepki spektrumu, zaman-tanım alanında hesaplarla gerilme analizleri, bir proje ile birleştirmiş ve analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır. SAP2000 ve ETABS tarafından yapılan zaman alanı analizinin sonuçları kabaca benzer olduğunu ancak SAP2000'in son işlemeyi çok daha karmaşık hale getiren kat bazından işlem yapma kavramına sahip olmadığından bahsetmişlerdir. Bu nedenle normal yapılar için ETABS tavsiye etmişler bununla birlikte spor salonu veya uzay kafes gibi yapılar için SAP2000'in daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir, (Hu ve ark., 2012). O. Doğan ve Y. Genç, 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki düşey deprem etkilerinin etkisi araştırmak için Sta4CAD ve SAP2000 kullanarak 2007 ve 2018 yönetmeliklerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Buna göre 2018 yönetmeliğinin düşey deprem etkisinin hesaplamalara %30 dahil edilmesinin düşey ve yatay taşıyıcı elemanlarda %35 civarında yük artışına sebep olduğunu, dolayısı ile zeminde farklı oturmalardan kaynaklı hasarlara ve hatta devrilmelere sebep olabileceğinden, yapı ile temelin birlikte modellenerek analiz edilmesinin önemine işaret etmişlerdir, (Doğan ve ark., 2019). Manikanta ve Venkateswarlu, çalışmalarında, çeşitli plan tiplerinde çok katlı binaların analiz ve tasarımında kullanılan ETABS ve STAAD.PRO simülasyon araçları üzerinde detaylı bir analiz yapmışlardır, (Manikanta ve ark., 2018).

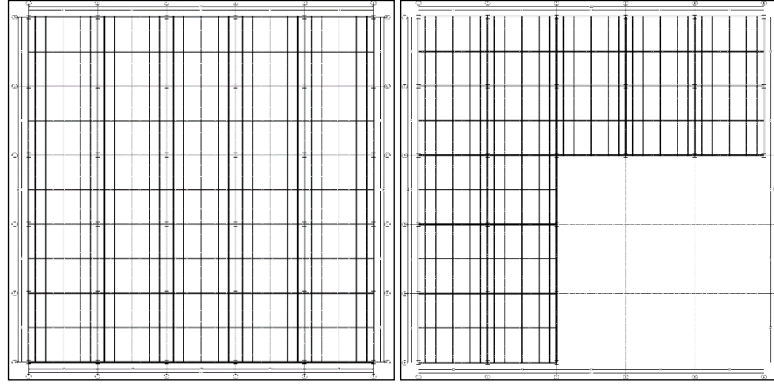
Bu çalışma kapsamında uygulamada sıkça kullanılan StaSTEEL ile referans olarak SAP2000 paket programları ile ayrı ayrı modellenen simetrik ve L formunda asimetrik kat şekline sahip üç katlı, on katlı ve onbeş katlı çelik yapılar ile bu yapılardan farklı tek katlı bir sanayi yapısı modeli iki paket program ile çözümlenmiştir.

## MATERYAL ve METOT

### Yapı Bilgileri

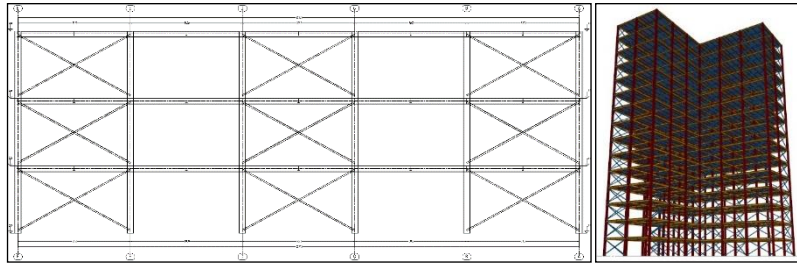
Çalışma kapsamında 7 farklı yapı kullanılmıştır. Buna göre konut/ofis kullanımı amacı taşıyan bina tipi üç katlı, on katlı ve onbeş katlı yapılar hem simetrik kat formunda hem de yatay kuvvetler etkisi altında burulma etkilerinin gözlenmesi için eksenele olarak asimetrik eşkenar L formunda tasarlanmıştır, Şekil 1(a) ve 1(b). Bina türü yapılar simetrik ve asimetrik kat planlı olarak standart 3m kat yüksekliğine sahip olacak şekilde tanımlanmıştır. Bina türü yapılarda simetrik kat formu için 5m aks aralığına sahip 25mx25m boyutlarında kare kat planı kullanılmıştır. Benzer şekilde asimetrik kat planı için 5m aks aralığı kullanılmış ancak 3 adet 5m aks her iki eksende de iptal edilerek eşkenar L formu ile tasarlanmıştır. Her iki eksende de mimari kısıtlamaya yol açmayan birer aks atlayarak çapraz elemanlar tanımlanmıştır, Şekil 1(c). Bina türü bu yapılar için HE300B enkesitli kolonlar arasında modellenen INP260 enkesitli ana kirişlerin eksenele orta noktaları INP200 enkesitli ara kirişler ile birleştirilmiş, kalan ara mesafeler uygun açıklıkta INP120 enkesitli aşıklarla geçildikten sonra çelik sac kaplama tanımlanmıştır. 15 katlı, asimetrik kat planlı binaya ait 3B model Şekil 1(d)'de verilmiştir.





Şekil 1(a). Simetrik formdaki kat planı

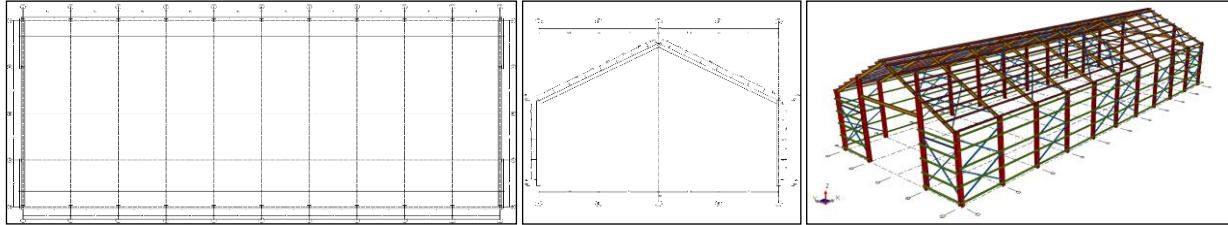
Şekil 1(b). Asimetrik formdaki kat planı



Şekil 1(c). 3 katlı modele ait olan aks görünümü

Şekil 1(d). 15 katlı, asimetrik kat planlı modele ait 3B görünüm

Sanayi yapısı için uzun ekseninde 3,6m aks açıklığına sahip, kısa ekseninde dış cephe rüzgâr kolonları hariç orta akslarda 14m aks açıklığında hol türü bir yapı modellenmiştir. Bu yapının plan boyutları 36mx14m'dir, Şekil 2(a). Bu yapı için kolon üst kotu 4,95m iken kırma çatı için mahya kotu 8,50m'dir, Şekil 2(b). Bu yapı tipine ait 3B görünüm Şekil 2(c)'de verilmiştir.



Şekil 2(a). Sanayi yapısı plan görünümü

Şekil 2(b). Sanayi yapısı orta aks görünümü

Şekil 2(c). Sanayi yapısı modeline ait 3B görünüm

Kesit kapasitesi tahkiki bu çalışmanın konusu dışında kaldığı için modellemede kullanılan enkesit şekilleri yalnızca çizelge şeklinde verilmiştir, Çizelge 1. Benzer şekilde malzeme özelliklerinin oluşacak gerilmelere etkisi olmayacağı için kullanılan malzemeler de aynı çizelgede görüntülenmektedir.

### Çizelge 1. Modellemede kullanılan profil tipleri

Yapı Tipi	Kullanılan Yapı Elemanı					
	Kolon	Ana Kiriş	Ara Kiriş	Aşık	Kuşak	Çapraz
Bina	HE300B*	INP260*	INP200*	INP120*	—	L60×60×6*
Sanayi	HE260B*	IPE220*	—	UNP120*	UNP120*	L60×60×6*

\* Profil tiplerinde S235JR kullanılmıştır. Bu malzemeye ait akma mukavemeti  $\sigma_a = 235MPa$ , çekme mukavemeti  $\sigma_c = 340 - 470MPa$ , kopma uzaması %25'tir

Bina türü yapılar için kaplama ağırlığı ölü yük olarak  $100kg/m^2$  olarak, hareketli yük ise  $200kg/m^2$  olarak döşemeler üzerine etkilmiştir. Çatı döşemesi için bu yüklere  $100kg/m^2$  kar yükü ilave edilmiştir.

Sanayi yapısı için çatı kaplaması seçimine uygun olarak  $25kg/m^2$  ölü yük,  $100kg/m^2$  hareketli yük ile  $80kg/m^2$  kar yükü hesaba katılmıştır.

Tüm yapılar için deprem yüklerinin hesabı için TBDY-2018,'de belirtilen kurallar çerçevesinde AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası internet sitesi (12) üzerinden alınan spektral ivme katsayıları kullanılmıştır, EK1. Çalışma için yerel zemin sınıfının ZC, deprem yer hareketi düzeyinin de spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi (DD-2) olduğu kabulü yapılmıştır. Spektral ivme katsayılarının bulunması için kullanılan koordinatlar ise  $40.99146^\circ$ ,  $28.79786^\circ$  olarak belirlenmiştir.

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_S = 1,181$

1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1 = 0,322$

Harita spektral ivme katsayıları, Denklem 1a ve 1b ile tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülmüştür.

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (1a)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (1b)$$

Burada,  $F_S$  ve  $F_1$  yerel zemin etki katsayılarını göstermektedir ve sırasıyla TBDY-2018 Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'den alınmıştır.

Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı  $F_S = 1,2$

1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı  $F_1 = 1,5$

Yatay elastik tasarım spektrumu tanımlanması için gerekli olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , doğal titreşim periyodunun farklı durumlarına bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem 2 (a, b, c, d) ile hesaplanmıştır.

$$S_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2a)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2b)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (2c)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2d)$$

Burada,  $T$  doğal titreşim periyodunu göstermektedir, yatay tasarım spektrumu köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  Denklem 3 ile hesaplanmıştır.

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3)$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L = 6$  s alınmıştır.

Bina önem katsayısı  $I$ , TBDY-2018 Tablo 3.1'den konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb. sınıfına göre 1,0 olarak ve aynı tabloya göre Bina Kullanım Sınıfı BKS = 3 olarak alınmıştır.

TBDY-2018 Tablo 3.2'den BKS = 3 ve  $0,75 \leq S_{DS}$  kriterlerine göre Deprem Tasarım Sınıfı DTS = 1 olarak seçilmiştir.

Bina yükseklik sınıfı BYS, TBDY-2018 Tablo 3.3'ten, bina toplam yüksekliği  $H_N$ 'e ve deprem tasarım sınıfına göre 3 katlı bina türü yapı için 6, 10 katlı için 4, 15 katlı için 3 ve sanayi yapısı için 7 olarak tespit edilmiştir.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R$  ve dayanım fazlalığı katsayısı  $D$ , TBDY-2018 Tablo 4.1 C başlığına göre 15 katlı yapı hariç C13 "deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar" sınıfına girmektedir ve bu durumda  $R = 5$  ile  $D = 2$  alınmıştır. 15 katlı yapı ise  $BYS \geq 2$  olduğundan C12 sınıfındadır ve  $R = 8$  ile  $D = 2,5$  olarak

seçilmiştir. Tüm yapılar için TBDY-2018 kurallarına göre belirlenen deprem kuvvetlerinin hesabına yönelik katsayılar Çizelge 2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Deprem kuvvetlerinin hesabı için kullanılan katsayılar

Yapı Tipi	Katsayı															
	DYHD <sup>1</sup>	ZS <sup>2</sup>	S <sub>s</sub>	S <sub>1</sub>	F <sub>s</sub>	F <sub>1</sub>	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	I	BKS	DTS	H <sub>N</sub>	BYS	R	D	
Bina	3 Kat	DD-2	ZC	1,181	0,322	1,2	1,5	0,068	0,341	1	3	1	15	6	5	2
	10 Kat	DD-2	ZC	1,181	0,322	1,2	1,5	0,068	0,341	1	3	1	30	4	5	2
	15 Kat	DD-2	ZC	1,181	0,322	1,2	1,5	0,068	0,341	1	3	1	45	3	8	2,5
Sanayi	DD-2	ZC	1,181	0,322	1,2	1,5	0,068	0,341	1	3	3	8,5	7	5	2	

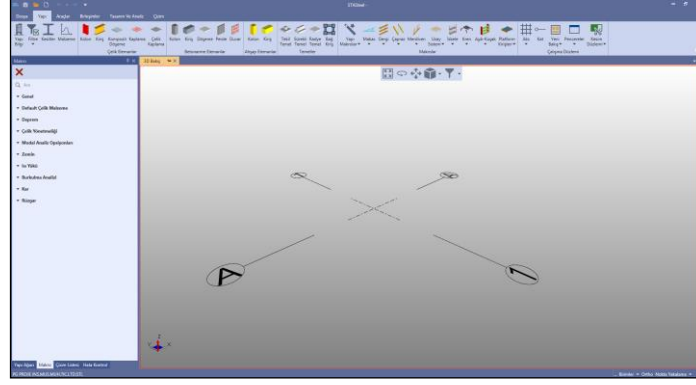
<sup>1</sup>DYHD: deprem yer hareketi düzeyi, <sup>2</sup>ZS: zemin sınıfı, S<sub>s</sub>: kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, S<sub>1</sub>: 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, F<sub>s</sub>: kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı, F<sub>1</sub>: 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı, T<sub>A</sub>: yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu, T<sub>B</sub>: yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu, I: bina önem katsayısı, BKS: bina kullanım sınıfı, DTS: deprem tasarım sınıfı, H<sub>N</sub>: bina toplam yüksekliği, BYS: bina yükseklik sınıfı, R: taşıyıcı sistem davranış katsayısı, D: dayanım fazlalığı katsayısı

## BULGULAR VE TARTIŞMA

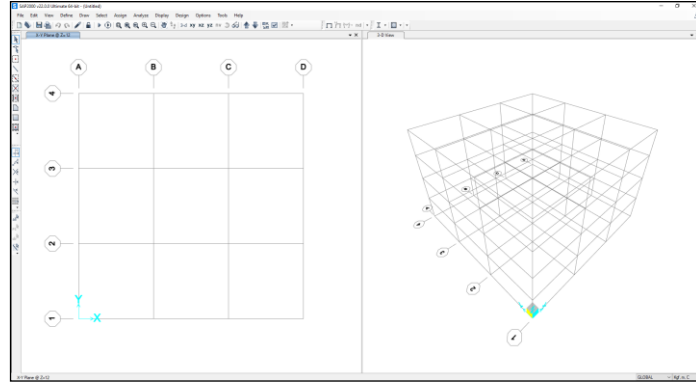
Bölüm 2’de ayrıntıları verilen taşıyıcı sistemler her iki paket program ile verilen kurallara göre çözümlenmiş ve bu bölüm içerisinde sonuçları verilmiştir.

### Arayüz

İki programın arayüz tasarımı birbirinden tamamıyla farklıdır. StaSTEEL son dönemde popüler olan Ribbon türü arayüz kullanırken, SAP2000 ise klasik menü yapısını kullanmaktadır. Ribbon türü veri girişi oldukça kolaydır. Hemen her tür veri simgelerle kontrol edilen ekran üstü başlığın içerisinde. Elemanlar tek tek girilebileceği gibi program içerisinde hazır olan makrolardan da bilgi girişi yapılabilmektedir. Benzer şekilde yapı modeli içerisine aşık, kuşak gibi elemanlar hızlı bir şekilde tanımlanabilmektedir. Yapı Bilgileri menüsü altında genel bina bilgilerinin yanında deprem yönetmeliği, tasarım için çelik yönetmeliği seçimi, zemin parametreleri ile kar ve rüzgâr yüklemesi durumları için bilgiler talep edilmektedir. Türkiye’de geliştirilen bir yazılım olması sebebi ile TBDY uyumu daha fazladır. E-devlet üzerinden spektral ivme katsayıları doğrudan alınabildiği gibi, yapı için yaklaşık katsayıların alınabildiği bir harita da program içerisine entegre edilmiştir. Yazılımda dünyada yaygın olarak kullanılan bütün kesit şekilleri tanımlanmıştır. Kullanıcı istenen kesit tipini kolayca seçerek veri girişinde kullanabilmektedir. Çalışma kapsamında olmasa da kesit kapasite tahkiki ile birleşim detayları hesapları da StaSTEEL ile yapılabilmektedir. Ayrıca yazılım ile çözümlemesi ve kesit tahkikleri hesaplanan yapı, uygulamaya yönelik imalat paftası hazırlama, markalama, birleşim detay, assembly ve part çizimleri gibi atölye imalatına uygun çizim ve metrajları da verebilmektedir. Şekil 3’te StaSTEEL yazılımına ait varsayılan başlangıç ekranı görülmektedir. SAP2000 klasik menü tasarımını uzun süredir korumaktadır. Bunda kullanıcıların alışkanlıklarının değişmemesi gereğinin önem taşıdığı düşünülmektedir. Klasik menüde bütün komutlar ve tanımlamalar yazı ve simgeler ile belirtilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan v22’de TBDY-2018 yatay elastik tasarım spektrumu tanımlaması mevcuttur. Bu sayede deprem yüklerinin hesabı daha kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Genel olarak programda çelik enkesit şekilleri tanımlanmamıştır. Kullanıcı bu tipleri manuel olarak yazılıma tanıtabildiği gibi veri alma seçeneği ile de dosya içerisine kaydedebilmektedir. Kesit tanımlama özelliği SAP2000 ile sınırsızdır. Her şekle sahip kesit, istenen malzeme özellikleri ile yazılıma adapte edilebilmektedir. Genel amaçlı bir çözümleme yazılımı olduğu için, imalata yönelik çizim, metraj, markalama gibi özellikler SAP2000’de mevcut değildir. Aks tanımlamaları yapılmış varsayılan SAP2000 başlangıç ekranı Şekil 4’tedir.

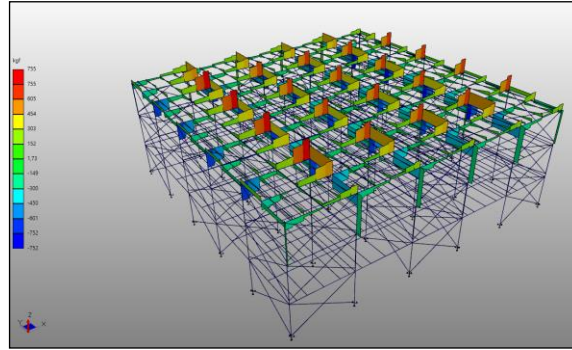


Şekil 3. StaSTEEL varsayılan başlangıç ekranı

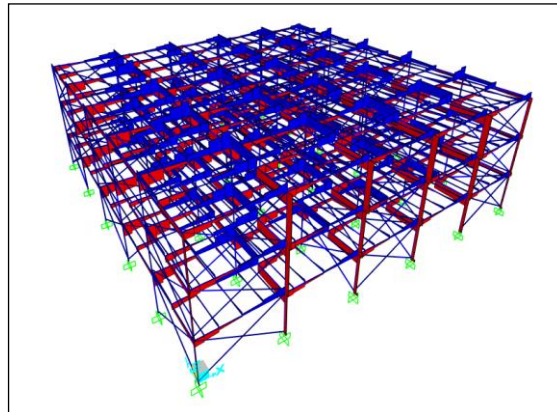


Şekil 4. SAP2000 varsayılan başlangıç ekranı

Sonuç ekran tasarımları birbirine benzer olmakla birlikte StaSTEEL renk kodları ile belirtilmiş kesit kapasite aşımını kullanıcıya daha fazla gösterebilmektedir, Şekil 5(a). Aynı yükleme durumuna ait SAP2000 görüntüsü ise Şekil 5(b)'de bulunmaktadır. Ayrıca kat bazında sonuçları irdeleyebilmek için yapı ağacı kullanılabilmesi de oldukça pratiktir.



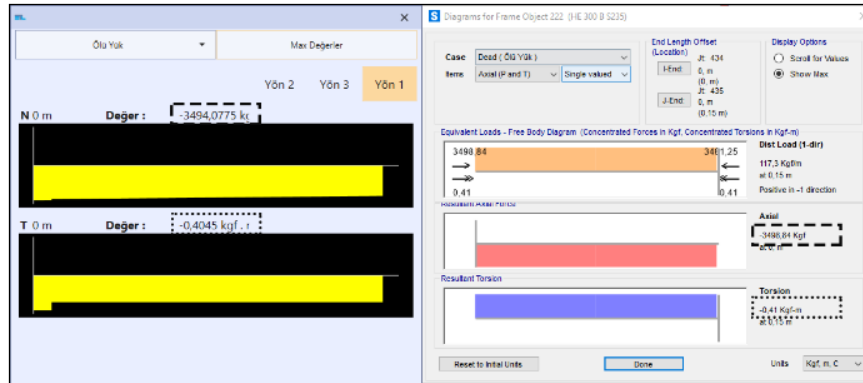
Şekil 5(a). StaSTEEL V2-2 kesme kuvveti gösterimi.



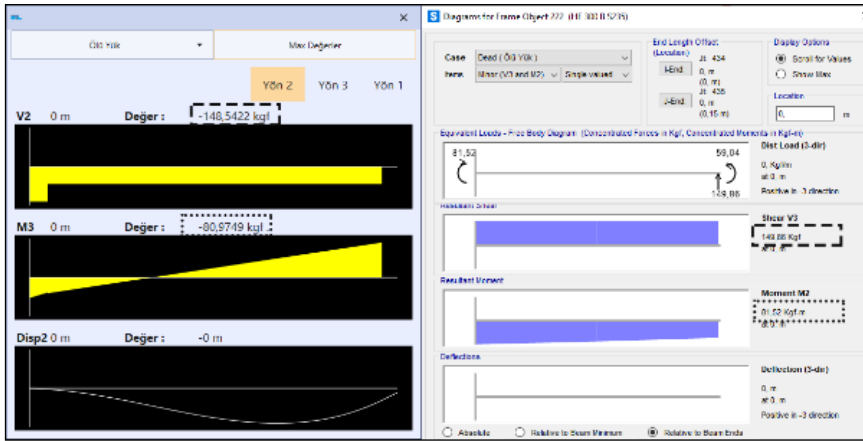
Şekil 5(b). SAP2000 V2-2 kesme kuvveti gösterimi.



Karşılaştırma için seçilen 1-A aksı Zemin Kat Köşe kolonuna göre okunan maksimum ölü yük gerilmeleri Şekil 6'da görülmektedir. Aynı kolona ait V3 kesme kuvveti ile M2 momentleri de Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Ölü Yük altında 1-A aksları zemin kat köşe kolonunda oluşan eksenel kuvvet ve burulma kuvvetleri karşılaştırması



Şekil 7. Ölü Yük altında 1-A aksları zemin kat köşe kolonunda oluşan V2 kesme ve M3 momentleri karşılaştırması

SAP2000 herhangi bir birleşimde elemanları bölmekte ve yeni bir eleman şeklinde göstermektedir. Bu kolona alt ucuna yakın bir yerden bağlanan çapraz elemanı sonrası kolon yeni bir kolon gibi gösterilmektedir. Kuvvet okumaları aynı olsa da özellikle moment diyagramının farklı olduğu görülmektedir. StaSTEEL'de kolon tek olarak görüntülenmektedir. V2 kesme kuvveti diyagramında sol tarafta yanan pik, çapraz elemanın bağlandığı noktanın sonrasına aittir. Benzer şekilde M3 diyagramının sol tarafındaki sapma da bundan kaynaklanmaktadır. Sonuçların okunması ile ilgili tespitler (Hu ve ark., 2012) tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermiştir.

### Ölü Yüklere Göre Sonuçların Karşılaştırılması

Yapı elemanlarında oluşan gerilmelerin karşılaştırılması için bina türü yapılarda Ölü Yük, Eşdeğer Deprem X ve Deprem Y yüklemeleri için Zemin Kat Köşe 1-A aksı köşe kolonu (her iki yönden çaprazlar ve kiriş ile tutulu), Zemin Kat 2-B aksı orta kolonu (her iki yönden yalnızca kiriş ile tutulu) ve bu kolonlara ait X yönü için 1A-1B kenar ana kirişi ile 2B-2C orta ana kirişleri ve Y eksenini 1A-1B kenar çaprazları ile X eksenini 1C-2C orta çaprazları seçilmiştir. Aynı kombinasyonlar için sanayi yapısında köşe ve orta aks kolonları ile kenar ve orta aks kirişlerinden birisi ile orta aks uzun eksen çaprazlarından birisi ve orta açıklık çatı çaprazlarından biri seçilmiştir. Seçilen yapı elemanlarındaki kesit tesirleri okumaları yukarıda açıklandığı şekilde her bir yapı tipi ve her bir eleman için yapılmıştır. Çizelge 3A ve 3B, bu seçilen elemanlara ait ilgili yüklemeler için oluşan gerilmeleri özetlemektedir.

## Deprem Etkileri Altındaki Farklı Tiplerde Çelik Yapıların StaSTEEL ve SAP2000 Kullanılarak Karşılaştırılması

Çizelge 3A. Ölü Yükler Altında Simetrik kat planlı bina türü ve sanayi yapısı seçili elemanlarında oluşan gerilmelerin karşılaştırılması

		ÖLÜ YÜKLER ALTINDA OLUŞAN GERİLMELER									
		N (kgf)			V2/V3 <sup>1</sup> (kgf)			M2/M3 <sup>2</sup> (kgf.m)			
Eleman		StaSTEEL	SAP2000	Fark*	StaSTEEL	SAP2000	Fark*	StaSTEEL	SAP2000	Fark*	
Simetrik Bina	3 Katlı	1-A Kolon	3494.08	3498.84	1.0014%	141.98	143.80	1.0128%	137.70	137.62	0.9994%
		2-B Kolon	10401.24	10400.23	0.9999%	22.16	22.75	1.0266%	54.39	54.63	1.0044%
		1A-1B Kiriş	116.58	120.85	1.0366%	290.55	290.66	1.0004%	311.52	311.59	1.0002%
		2B-2C Kiriş	108.65	108.57	0.9993%	582.96	584.21	1.0021%	691.69	693.41	1.0025%
		1A-1B Çapraz	83.36	84.77	1.0169%	6.92	6.92	1.0000%	3.33	3.32	0.9970%
		1C-2C Çapraz	145.12	147.81	1.0185%	7.08	7.07	0.9986%	3.54	3.49	0.9859%
	10 Katlı	1-A Kolon	14326.49	14380.15	1.0037%	281.41	286.53	1.0182%	107.49	109.09	1.0149%
		2-B Kolon	33168.90	33093.79	0.9977%	15.54	15.65	1.0071%	42.53	42.04	0.9885%
		1A-1B Kiriş	291.31	300.29	1.0308%	296.11	296.32	1.0007%	323.76	324.17	1.0013%
		2B-2C Kiriş	111.67	113.47	1.0161%	579.73	580.58	1.0015%	683.60	684.60	1.0015%
		1A-1B Çapraz	220.29	224.68	1.0199%	7.02	6.99	0.9957%	3.47	3.44	0.9914%
		1C-2C Çapraz	402.55	408.79	1.0155%	7.31	7.05	0.9644%	3.85	3.71	0.9636%
	15 Katlı	1-A Kolon	23509.19	23604.18	1.0040%	379.52	387.12	1.0200%	136.46	138.73	1.0166%
		2-B Kolon	47599.48	47419.93	0.9962%	12.08	12.22	1.0116%	38.15	37.51	0.9832%
		1A-1B Kiriş	418.01	417.47	0.9987%	294.93	291.15	0.9872%	323.91	324.34	1.0013%
		2B-2C Kiriş	116.25	118.28	1.0175%	581.36	580.04	0.9977%	686.78	682.36	0.9936%
		1A-1B Çapraz	317.97	324.88	1.0217%	7.10	7.05	0.9930%	3.59	3.53	0.9833%
		1C-2C Çapraz	558.62	565.85	1.0129%	7.43	7.33	0.9865%	3.89	3.83	0.9846%
Sanayi	1-A Kolon	1719.51	1730.97	1.0067%	126.06	125.06	0.9921%	67.69	66.72	0.9857%	
	3-A Kolon	1701.42	1703.01	1.0009%	491.11	489.29	0.9963%	1507.55	1504.52	0.9980%	
	1A-1C Kiriş	566.98	576.08	1.0160%	151.69	152.51	1.0054%	155.41	157.43	1.0130%	
	3A-3C Kiriş	830.37	832.38	1.0024%	456.26	455.78	0.9989%	949.07	944.66	0.9954%	
	1A-2A Çapraz	10.08	10.70	1.0615%	4.74	4.86	1.0253%	1.51	1.66	1.0993%	
	3A-4A Çapraz	52.46	53.64	1.0225%	5.30	5.18	0.9774%	2.16	2.21	1.0231%	

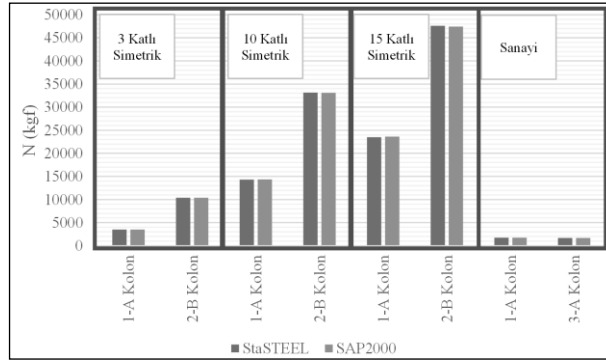
<sup>1</sup> V2-2 veya V3-3 hangisi daha büyükse, <sup>2</sup> M2-2 veya M3-3 hangisi daha büyükse

Çizelge 3B. Ölü Yükler Altında Asimetrik kat planlı bina türü yapılarda seçili elemanlarında oluşan gerilmelerin karşılaştırılması

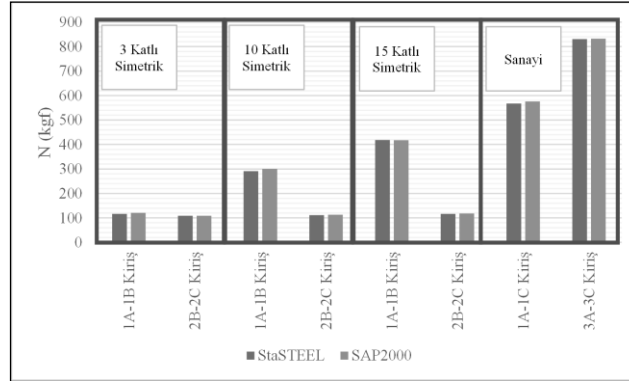
		ÖLÜ YÜKLER ALTINDA OLUŞAN GERİLMELER									
		N (kgf)			V2/V3 <sup>1</sup> (kgf)			M2/M3 <sup>2</sup> (kgf.m)			
Eleman		StaSTEEL	SAP2000	Fark*	StaSTEEL	SAP2000	Fark*	StaSTEEL	SAP2000	Fark*	
Asimetrik Bina	3 Katlı	1-A Kolon	3494.08	3498.84	1.0014%	141.98	143.80	1.0128%	137.70	137.62	0.9994%
		2-B Kolon	10401.24	10400.23	0.9999%	22.16	22.75	1.0266%	54.39	54.63	1.0044%
		1A-1B Kiriş	116.58	120.85	1.0366%	290.55	290.66	1.0004%	311.52	311.59	1.0002%
		2B-2C Kiriş	108.65	108.57	0.9993%	582.96	584.21	1.0021%	691.69	693.41	1.0025%
		1A-1B Çapraz	83.36	84.77	1.0169%	6.92	6.92	1.0000%	3.33	3.32	0.9970%
		1C-2C Çapraz	145.12	147.81	1.0185%	7.08	7.07	0.9986%	3.54	3.49	0.9859%
	10 Katlı	1-A Kolon	14326.49	14380.15	1.0037%	281.41	286.53	1.0182%	107.49	109.09	1.0149%
		2-B Kolon	33168.90	33093.79	0.9977%	15.54	15.65	1.0071%	42.53	42.04	0.9885%
		1A-1B Kiriş	291.31	300.29	1.0308%	296.11	296.32	1.0007%	323.76	324.17	1.0013%
		2B-2C Kiriş	111.67	113.47	1.0161%	579.73	580.58	1.0015%	683.60	684.60	1.0015%
		1A-1B Çapraz	220.29	224.68	1.0199%	7.02	6.99	0.9957%	3.47	3.44	0.9914%
		1C-2C Çapraz	402.55	408.79	1.0155%	7.31	7.05	0.9644%	3.85	3.71	0.9636%
	15 Katlı	1-A Kolon	23509.19	23604.18	1.0040%	379.52	387.12	1.0200%	136.46	138.73	1.0166%
		2-B Kolon	47599.48	47419.93	0.9962%	12.08	12.22	1.0116%	38.15	37.51	0.9832%
		1A-1B Kiriş	418.01	417.47	0.9987%	294.93	291.15	0.9872%	323.91	324.34	1.0013%
		2B-2C Kiriş	116.25	118.28	1.0175%	581.36	580.04	0.9977%	686.78	682.36	0.9936%
		1A-1B Çapraz	317.97	324.88	1.0217%	7.10	7.05	0.9930%	3.59	3.53	0.9833%
		1C-2C Çapraz	558.62	565.85	1.0129%	7.43	7.33	0.9865%	3.89	3.83	0.9846%

<sup>1</sup> V2-2 veya V3-3 hangisi daha büyükse, <sup>2</sup> M2-2 veya M3-3 hangisi daha büyükse

Sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da ölü yükler altında seçilen kolonlarda ve kirişlerde oluşan eksenel kuvvetlerin karşılaştırıldığı bir grafik bulunmaktadır. Buna ve Çizelge 3A'ya göre kat sayısından ve yapı kullanım türünden bağımsız olarak her iki program tarafından hesaplanan eksenel ve kesme kuvvetleri ile momentler arasında ciddi bir fark bulunmamaktadır. Genel olarak SAP2000, StaSTEEL'e göre özellikle kolonlarda %1 civarında daha fazla kuvvet hesaplamıştır. Akbari, SAP2000 ve ETABS gibi ticari yazılımlarda yapıların sismik tasarımlarının, genellikle tahmin edilenin üzerinde olan dikdörtgen spektrumlara dayandığını, bu nedenle, gerekenden daha fazla etkiler hesapladığını ortaya koymuştur, (Akbari, 2015). Bu durum bu çalışmada tespit edilen daha yüksek gerilmeleri açıklayabilir. Daha detaylı incelemeler bu konuda yapılmalıdır.



Şekil 8. Ölü Yük altında simetrik kat planlı yapılarda seçilen kolonlarda oluşan eksenel kuvvetlerin karşılaştırması



Şekil 9. Ölü Yük altında seçilen simetrik kat planlı yapılarda kirişlerde oluşan eksenel kuvvetlerin karşılaştırması

### Yatay Deprem Yüklerine Göre Sonuçların Karşılaştırılması

Ölü yükleri tespit etmek için kullanılan yaklaşım deprem yükleri içinde geçerli olmuştur. Kritik olarak seçilen elemanlar deprem yükleri için de aynıdır ve bu elemanlara ait her iki programdan okunan veriler Çizelge 4A ve 4B’de verilmiştir.

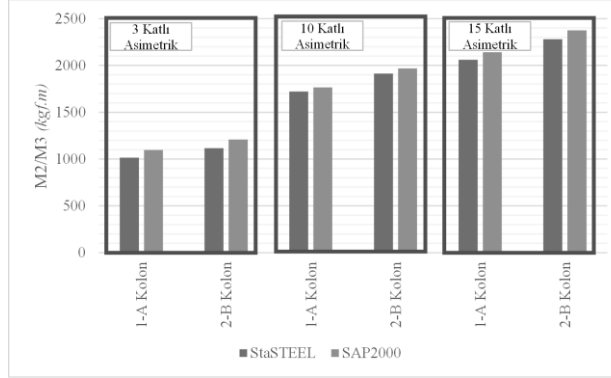
Çizelge 4A. Deprem Yükleri Altında Simetrik kat planlı bina türü ve sanayi yapısı seçili elemanlarında oluşan gerilmelerin karşılaştırılması

	DEPREM YÜKLERİ ALTINDA OLUŞAN GERİLMELER												
	Eleman	Deprem X						Deprem Y					
		N	M2/M3 <sup>1</sup>	Fark*	N	M2/M3 <sup>1</sup>	Fark*	N	M2/M3 <sup>1</sup>	Fark*	N	M2/M3 <sup>1</sup>	Fark*
	StaSTEEL	SAP2000	StaSTEEL		SAP2000	StaSTEEL		SAP2000	StaSTEEL		SAP2000	StaSTEEL	
3 Katlı	1-A Kolon	5103.18	5391.19	1.0564%	869.89	936.54	1.0766%	4605.46	4888.37	1.0614%	1555.84	1636.22	1.0517%
	2-B Kolon	247.37	235.58	0.9523%	3640.50	3598.06	0.9883%	159.41	164.10	1.0294%	6719.23	6584.87	0.9800%
	1A-1B Kiriş	339.37	358.93	1.0576%	119.30	125.74	1.0540%	224.76	235.83	1.0493%	447.13	472.08	1.0558%
	2B-2C Kiriş	2.25	2.29	1.0178%	154.85	164.25	1.0607%	195.58	195.24	0.9983%	2251.26	2283.54	1.0143%
	1A-1B Çapraz	56.13	58.06	1.0344%	2.12	2.09	0.9858%	1624.81	1714.77	1.0554%	1.84	1.92	1.0435%
	1C-2C Çapraz	3231.07	3381.01	1.0464%	2.27	1.87	0.8238%	1.50	2.50	1.6667%	1.78	1.79	1.0056%
	10 Katlı	1-A Kolon	27927.28	28575.12	1.0232%	1787.33	1871.21	1.0469%	23032.56	26764.87	1.1620%	3295.44	3385.69
2-B Kolon		1305.77	1318.99	1.0101%	2307.23	2289.19	0.9922%	863.10	873.06	1.0115%	4488.24	4294.21	0.9568%
1A-1B Kiriş		215.84	221.38	1.0257%	40.19	43.21	1.0751%	154.74	163.68	1.0578%	977.05	1045.41	1.0700%
2B-2C Kiriş		11.07	13.65	1.2331%	64.89	68.15	1.0502%	114.64	114.42	0.9981%	1678.85	1661.51	0.9897%
1A-1B Çapraz		132.67	136.15	1.0262%	0.86	0.79	0.9186%	3409.64	3512.79	1.0303%	0.59	0.54	0.9153%
1C-2C Çapraz		5843.11	5805.30	0.9935%	4.14	3.56	0.8599%	58.32	60.15	1.0314%	0.82	0.73	0.8902%
15 Katlı		1-A Kolon	33542.78	35995.34	1.0731%	1652.56	1810.95	1.0958%	28871.73	31119.11	1.0778%	2801.11	3010.26
	2-B Kolon	27902.39	29615.24	1.0614%	1840.02	2021.40	1.0986%	13912.94	15180.98	1.0911%	2674.54	2746.32	1.0268%
	1A-1B Kiriş	261.58	281.52	1.0762%	41.21	46.31	1.1238%	118.89	133.61	1.1238%	816.32	913.73	1.1193%
	2B-2C Kiriş	16.03	20.33	1.2682%	68.17	75.36	1.1055%	87.66	54.78	0.6249%	1084.60	1156.06	1.0659%
	1A-1B Çapraz	168.40	186.34	1.1065%	0.69	0.72	1.0435%	2864.89	3088.71	1.0781%	0.54	0.41	0.7593%
	1C-2C Çapraz	4742.01	4951.76	1.0442%	3.28	3.01	0.9177%	81.50	86.31	1.0590%	0.58	0.69	1.1897%
	Sanayi	1-A Kolon	2558.39	2542.5255	0.9938%	258.26	259.634	1.0053%	2372.11	2410.9575	1.0164%	495.15	496.5625
3-A Kolon		2055.62	2036.781	0.9908%	547.84	530.663	0.9686%	453.72	461.8075	1.0178%	2653.08	2629.795	0.9912%
1A-1C Kiriş		374.20	374.487	1.0008%	212.76	212.8285	1.0003%	885.50	899.8325	1.0162%	121.88	122.0975	1.0018%
3A-3C Kiriş		1065.09	1065.927	1.0008%	431.84	420.7335	0.9743%	625.17	624.5575	0.9990%	316.19	315.2975	0.9972%
1A-2A Çapraz		714.02	707.9305	0.9915%	0.58	0.602	1.0379%	62.25	63.4725	1.0196%	1.06	1.085	1.0236%
3A-4A Çapraz	777.60	770.7965	0.9913%	0.30	0.301	1.0203%	77.24	78.96	1.0223%	2.08	2.135	1.0264%	

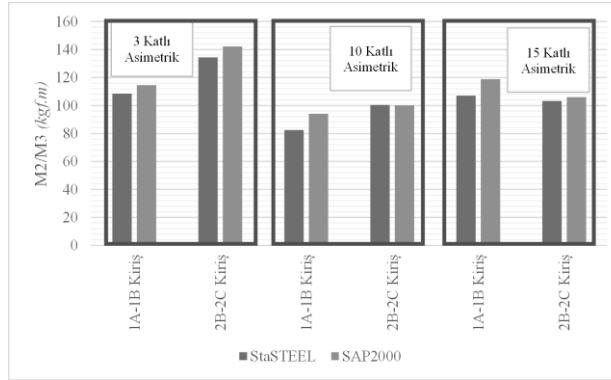
<sup>1</sup> M2-2 veya M3-3 hangisi daha büyükse

Şekil 10 ve Şekil 11 sırasıyla deprem X yüklemesi ile asimetrik kat planlı yapılarda seçilen kolon ve kirişlerde oluşan M2-2 ya da M3-3 momentlerini göstermektedir. Bu yüklemeye ait şekil

ve çizelgeler incelendiğinde SAP2000'in kolonlarda en fazla %5 civarı, kirişlerde ise %10 civarından fazla moment bulunduğu görülebilir. Çapraz elemanlarında oluşan farklar görece StaSTEEL'de fazladır. Ancak bu durum SAP2000'in elemanları her düğüm noktasından bölmelerinden dolayı tespit edilmesi zor bir durum olarak açıklanabilir, bu durum (Naimi ve Hanoun, 2018)'un çalışması ile benzerdir.



Şekil 10. Deprem Yükleri altında asimetrik kat planlı yapılarda seçilen kolonlarda Deprem X yönünde oluşan M2-2 ya da M3-3 momentlerinin karşılaştırılması



Şekil 11. Deprem Yükleri altında asimetrik kat planlı yapılarda seçilen kirişlerde Deprem X yönünde oluşan M2-2 ya da M3-3 momentlerinin karşılaştırılması

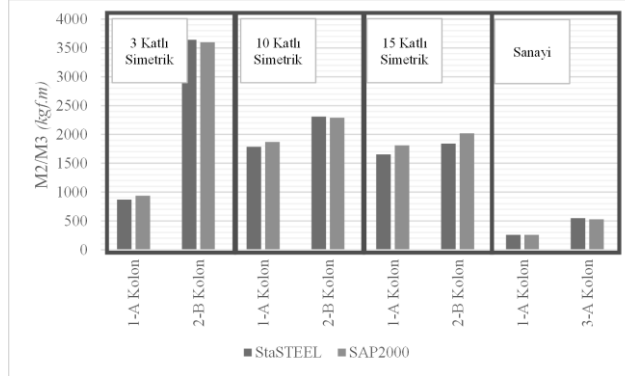
Çizelge 4B. Deprem Yükleri Altında Asimetrik kat planlı bina türü ve sanayi yapısı seçili elemanlarında oluşan gerilmelerin karşılaştırılması

DEPREM YÜKLERİ ALTINDA OLUŞAN GERİLMELER													
Deprem X							Deprem Y						
Kat	Eleman	N			M2/M3 <sup>1</sup>			N			M2/M3 <sup>1</sup>		
		StaSTEEL	SAP2000	Fark*	StaSTEEL	SAP2000	Fark*	StaSTEEL	SAP2000	Fark*	StaSTEEL	SAP2000	Fark*
3 Katlı	1-A Kolon	6114.59	6529.83	1.0679%	1016.00	1097.11	1.0798%	4658.69	4930.48	1.0583%	1562.35	1639.03	1.0491%
	2-B Kolon	5525.96	5886.00	1.0652%	1117.41	1209.47	1.0824%	2599.20	2615.16	1.0061%	6368.58	6193.42	0.9725%
	1A-1B Kiriş	196.76	202.44	1.0289%	108.42	114.53	1.0564%	228.10	239.97	1.0520%	448.08	491.23	1.0963%
	2B-2C Kiriş	2.01	1.39	0.6915%	134.41	142.25	1.0583%	197.93	192.74	0.9738%	2257.03	2284.71	1.0123%
	1A-1B Çapraz	52.97	52.52	0.9915%	1.96	1.89	0.9643%	1630.39	1713.86	1.0512%	0.84	0.94	1.1190%
	1C-2C Çapraz	3575.19	3708.88	1.0374%	2.60	2.04	0.7846%	29.77	29.21	0.9812%	1.79	1.79	1.0000%
10 Katlı	1-A Kolon	32730.83	33741.83	1.0309%	1720.08	1765.72	1.0265%	27757.01	28852.76	1.0395%	2647.52	2644.36	0.9988%
	2-B Kolon	31034.17	32045.50	1.0326%	1912.11	1966.70	1.0285%	7352.12	7518.03	1.0226%	2563.50	2471.18	0.9640%
	1A-1B Kiriş	275.52	283.74	1.0298%	82.40	94.07	1.1416%	130.87	136.68	1.0444%	938.71	997.84	1.0630%
	2B-2C Kiriş	16.32	19.40	1.1887%	100.35	100.09	0.9974%	103.99	102.53	0.9860%	1620.46	1580.12	0.9751%
	1A-1B Çapraz	28.38	13.47	0.4746%	0.87	0.75	0.8621%	3296.99	3377.85	1.0245%	0.68	0.59	0.8676%
	1C-2C Çapraz	5823.76	5762.52	0.9895%	4.39	3.68	0.8383%	35.26	35.91	1.0184%	0.79	0.70	0.8861%
15 Katlı	1-A Kolon	35184.48	35422.95	1.0068%	2059.48	2140.92	1.0395%	31255.21	31388.35	1.0043%	3179.33	3248.17	1.0217%
	2-B Kolon	34173.77	34419.55	1.0072%	2278.63	2373.50	1.0416%	9383.41	9637.08	1.0270%	4087.46	3838.11	0.9390%
	1A-1B Kiriş	292.70	305.37	1.0433%	107.07	118.83	1.1098%	57.28	58.70	1.0248%	767.85	798.57	1.0400%
	2B-2C Kiriş	20.05	22.79	1.1367%	103.22	105.91	1.0261%	53.29	54.39	1.0206%	1037.30	1039.11	1.0017%
	1A-1B Çapraz	33.99	49.11	1.4448%	0.71	0.73	1.0282%	2722.09	2728.43	1.0023%	0.45	0.42	0.9333%
	1C-2C Çapraz	4457.66	4373.98	0.9812%	3.26	3.22	0.9877%	36.94	21.23	0.5747%	0.55	0.55	1.0000%

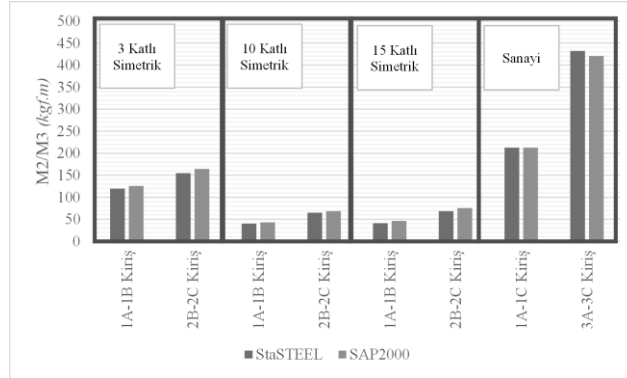
<sup>1</sup> M2-2 veya M3-3 hangisi daha büyüktür

Şekil 12 ve Şekil 13 sırasıyla deprem X yüklemesi ile simetrik kat planlı yapılarda seçilen

kolon ve kirişlerde oluşan M2-2 ya da M3-3 momentlerini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde, bina türü yapılarda kat sayısı ve yapı simetrisi fark etmeksizin SAP2000 en fazla %12 olma üzere daha fazla momentler hesaplamıştır. Sanayi türü yapıda iki programın hesapladığı momentler genelde çok yakın çıkmakla birlikte incelenen birkaç elemanda en fazla %3 civarında StaSTEEL’de daha fazla çıkmıştır.



Şekil 12. Deprem Yükleri altında simetrik kat planlı yapılarda seçilen kolonlarda Deprem X yönünde oluşan M2-2 ya da M3-3 momentlerinin karşılaştırması



Şekil 13. Deprem Yükleri altında simetrik kat planlı yapılarda seçilen kirişlerde Deprem X yönünde oluşan M2-2 ya da M3-3 momentlerinin karşılaştırması

## SONUÇ

Bu çalışma kapsamında uygulamada sıkça kullanılan StaSTEEL ile referans olarak SAP2000 paket programları ile ayrı ayrı modellenen simetrik ve L formunda asimetric kat şekline sahip üç katlı, on katlı ve onbeş katlı çelik yapılar ile bu yapılardan farklı tek katlı bir sanayi yapısı modeli iki paket program ile çözümlenmiştir. Buna göre;

Her iki yazılıma ait ara yüzler birbirinden oldukça farklıdır. StaSTEEL kolay anlaşılabilir, veri girişinin basit olduğu bir tasarımdır. SAP2000 klasik menü yapısını yıllardır korumaktadır. Alışkanlık gerektiren bu tasarım veri girişi ve özellikle analiz sonrası iç kuvvetlerin tespiti konusu elemanların her bir düğüm noktasından bölünerek verilmesinden dolayı oldukça karmaşıktır.

StaSTEEL analiz için gerekli verileri tek bir sütunda istemektedir. Kullanıcı bu sayede giriş yaptığı tüm veriyi rahatlıkla aynı ekran görebilmektedir. Gerekli kombinasyonlar, program tarafından otomatik olarak yaratılmakta ve yapı üzerine etki ettirilmektedir. SAP2000’de veri girişi birçok farklı pencere ile yapılmaktadır. Ayrıca girilmesi gereken veri miktarı da çok daha fazladır. Bu durum hem verinin yanlış girilebilmesine sebebiyet verebilmekte hem de kontrolünü zorlaştırmaktadır.

Elemanlarda oluşan iç kuvvetlerin okunması konusunda StaSTEEL daha başarılıdır. Bir elemanda birden çok düğüm noktası olsa dâhi tek bir pencerede tüm elemana ait sonuçlar görüntülenebilmektedir. SAP2000’de elemanlar düğüm noktalarında bölündüğü için istenen gerilmenin tayini zaman almaktadır.



Ölü yüklerden oluşan gerilmelerde iki program birbirine yakın sonuçlar vermişlerdir. Simetrik ya da asimetrik, az katlı veya çok katlı fark etmeksizin oluşan iç kuvvetlerde N, V ve M için en büyük farklar sırasıyla %3, %3,5 ve %2,7 mertebelerindedir. Çapraz elemanlarda oluşan farklılıklar görece daha fazla olmakla birlikte bu elemanlarda SAP2000 birden fazla bölümlere yaptığı için en büyük iç kuvvetin tayini zor olmuştur. Fark olarak bulunan iç kuvvetlerde genel olarak SAP2000 daha yüksektir.

Deprem etkilerinden dolayı oluşan iç kuvvetlerde farklar daha belirgindir. Özellikle Deprem X yüklemesi için aşıklar ile yük aktarılmayan bir iç kiriş olan 2B-2C aksı kirişinde 10 ve 15 katlı modellere sırasıyla %23,3 ve %26,8 oranında eksenel kuvvet SAP2000 tarafından daha fazla bulunmuştur. Bu kirişler dışındaki diğer kiriş ve kolonlarda X yönlü deprem için oranlar eksenel kuvvet için %4,5, moment için %1,4 iken Y yönlü deprem etkisinde oranlar eksenel kuvvet için %5,4, moment için %1,1 olarak gerçekleşmiştir. Genel olarak bu iç kuvvetler SAP2000'de daha yüksek olarak bulunmuştur.

İki yazılım arasındaki bu farkların tespiti için ileriki çalışma olarak daha az yapı modelinde ancak daha fazla eleman üzerinde araştırmalar yapılmalıdır. Bu sayede güvenlik ya da ekonomi olarak hangi programdan ne şekilde yararlanılacağı tespit edilmelidir. Şu anki durumda herhangi bir program için güvenli ya da ekonomik diyebilecek kadar veri bulunmamaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, desteklerinden dolayı STA Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti.'ne teşekkürlerini sunarlar.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Akbari J., 2015. Determination of Seismic Response of Structures based on Spectral Analysis using Elliptic Envelope. *Modares Civil Engineering Journal*, 15: 213-222.
- Ateş İ. S., 2010. Mevcut Binaların Depreme Karşı Performans Analizi İçin Kullanılan Alternatif Yöntem ve Paket Programların Karşılaştırılması, Çukurova Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)
- Bolander J. C., 2014. Investigation of Torsional Effects on Thirteen-Story Reinforced Concrete Frame-Wall Structure Modeled in ETABS and SAP2000 Using Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analyses. University of California, San Diego, Master's Thesis (Printed)
- Değertekin S. Ö., Haluk Ş., 2015. Deprem Güvenliği Yetersiz Betonarme Bir Bina İçin Farklı Güçlendirme Önerilerinin Karşılaştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6: 121-129.
- Doğan O., Yunus G., 2019. Türk Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Düşey Deprem Kuvvetinin İkinci Mertebeden Taban Momentlerine Etkisi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5: 244-249.
- Gelibolu İ. S., Doğan A., Arslan H. M., 2008. Sta4-CAD Paket Programı ile SAP2000 Analiz Programının Mod Birleştirme Yöntemi Kullanarak Karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23: 97-108.
- Guner S., 2008. Performance assessment of shear-critical reinforced concrete plane frames, University of Toronto, PhD Thesis (Printed)
- Hu K., Yang Y., Mu S., Qu G., 2012. Study on High-rise Structure with Oblique Columns by ETABS, SAP2000, MIDAS/GEN and SATWE. *Procedia engineering*, 31: 474-480.

- Jakayev S., Aydemir M. E., 2019. Düzenli Bir Betonarme Binada Düşey Deprem Bileşeninin Yapısal Davranışa Etkisi. *Afet ve Risk Dergisi*, 2: 1-13.
- Jarrah R., Chen C.-R., Kassem M., 2021. Ranking structural analysis software applications using AHP and Shannon's entropy. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 20:1-8.
- Karayer A., Severcan M. H., 2018. Farklı Tip Betonarme Yapıların Paket Programlar ile Analizi ve Karşılaştırılması. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 1: 41-50.
- Kose M. M., 2009. Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Engineering Structures*, 31: 93-102.
- Körlü M. S., Deneme İ. Ö., Yerli H. R. 2004. Betonarme Yapıların Perde Takviyesi ile Güçlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19: 149-157.
- Kuyucular A., Kandak Ö. Ö., 2008. Statik-Betonarme Tasarım için Türkiye de Kullanılan Ticari Paket Yazılımların Farklı Sonuçları. *Akademik Bilişim pp. 641-654: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi*.
- Manikanta K. V., Venkateswarlu D. D. 2018. Comparative Study On Design Results Of A Multi-Storied Building Using STAAD Pro And ETABS For Regular And Irregular Plan Configuration. *International Journal of Research Sciences and Advanced Engineering*, 2: 204-215.
- Naimi S., ve Hanoun M. O. M. A., 2018. Comparison of Equivalent Static Analysis and Mode Combination Method for Concrete Buildings According to Turkish Standard. *HONORARY EDITOR*, 1609.
- Nogueira C. G., Venturini W. S., Coda, H. B., 2013. Material and geometric nonlinear analysis of reinforced concrete frame structures considering the influence of shear strength complementary mechanisms. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 10: 953-980.
- Odeyemi S. O., Akinpelu M. A., Abdulwahab R., Adeoye B., Ibitoye, A. I. A. 2020. Evaluation of Selected Software Packages for Structural Engineering Works. *ABUAD Journal of Engineering Research and Development*, 3: 133-141.
- Olbak M., Naimi S., 2016. Kentsel Dönüşüm Uygulanmış 5 Katlı İki Yapı Örneğinin Deneysel Verileri Kullanılarak Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri ile Güçlendirme Sonuçlarının İrdelenmesi. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 8: 145-166.
- Sadeghi K., Ghaboun N., 2019. Significant Guidance to Employ the Software to Analyze and Design the Reinforced Concrete Structures: State-Of-The-Art. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8:1160-1169.
- Salihovic A., Ademovic N., 2017. Nonlinear analysis of reinforced concrete frame under lateral load. *Coupled systems mechanics*, 6: 523-537.
- Sırlıbaş C., 2013. Farklı Tipteki Betonarme Yapıların Sta4cad ve Etabs Programları ile Çözümleri ve Sonuçların Karşılaştırılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Resmî Gazete Tarih 18/3/2018, No:30364