



**Araştırma Makalesi (Research Article)**

Cilt 1 - Sayı 2: 41-50 / Nisan 2018

(Volume 1 - Issue 2: 41-50 / April 2018)

# FARKLI TİP BETONARME YAPILARIN PAKET PROGRAMLAR İLE ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Asiye KARAYER<sup>1</sup>, Metin Hakan SEVERCAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

**Gönderi:** 06 Mart 2018; **Yayınlanma:** 01 Nisan 2018

**(Submission:** March 06, 2018; **Published:** April 01, 2018)

## Özet

Çalışma kapsamında uygulamada sıkça kullanılan Sta4CAD, İdeCAD ve SAP2000 paket programları ile on beş katlı, iki farklı tip betonarme yapı modeli analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen kat ağırlıkları, doğal titreşim periyotları, etkin kütle katılım oranları, deprem kuvvetleri, yumuşak kat düzensizlikleri ve ikinci merteye etkileri bakımından paket programların karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmalarda 2007 yılında uygulamaya konulan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) maddeleri esas alınmıştır. Çalışmada on beş katlı betonarme çerçeve yapı ile perdeli-çerçeve yapı örnekleri incelenmiştir. SAP2000 programı ile elde edilen sonuçlar referans alınarak paket programlara ait sonuçlar irdelenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** SAP2000, Sta4CAD, İdeCAD, Dinamik analiz

## Comparing and Analysing Of Different Type Reinforced Concrete Structures with Package Programs

**Abstract:** In this study, two different type of fifteen-story reinforced concrete structure models have been analyzed by using Sta4CAD, IdeCAD and SAP2000 package programs commonly used in practice. The package programs are compared in terms of the layer weights, natural vibration periods, effective mass participation rates, earthquake forces, soft layer irregularity and second order effects obtained by analysis of structures. The items of Turkish Seismic Code-2007 are taken into consideration in comparisons. In the study, fifteen-story reinforced concrete framed and curtain wall-framed structures were examined. The results of package programs were examined with reference to the results obtained from SAP2000 program.

**Keywords:** SAP2000, Sta4CAD, IdeCAD, Dynamic analysis

**\*Corresponding author:** Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

**Email:** mhsevercan@gmail.com (M.H. SEVERCAN)

## 1. Giriş

Ekonomik ve teknolojik açıdan bir ülkeyi ileriye götüren kaynakların başında inşaat sektörü

gelmektedir. İnşaat sektöründeki bu ilerleyiş, rekabet ve farklılığı da beraberinde getirmektedir. Böylece farklı ve güvenilir yapı tasarlamak için yönetmelikler

oluşturulmuş ve bu yönetmeliklere uygun paket programlar geliştirilmiştir. İlk deprem yönetmeliği 1949 yılında çıkarılan Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği'dir. Bundan sonraki yönetmelikler sırasıyla 1953, 1962, 1968, 1975, 1998 ve 2007 yıllarında çıkarılmıştır. En son çıkarılan ve halen yürürlükte olan yönetmelik DBYBHY (2007)'dir. DBYBHY (2007), tasarımı yapılan binaların üç boyutlu analizinin yapılmasını öngörmektedir. Tasarlanan yapının üç boyutlu olarak hızlı ve güvenilir bir şekilde analizi için paket programlar proje bürolarınca tercih edilmeye başlanmıştır (Gelibolu, 2008). Paket programlar kullanılarak yapılan projeler; belediyeler ve diğer ilgili kurumlar tarafından detaylı olarak incelenmesine rağmen, herhangi bir paket program kullanılarak elde edilen sonuçlar yapı modelinde ve analiz sonuçlarında bir sorun ortaya çıkmadığı takdirde kendi içerisinde doğru kabul edilip uygulamaya geçirilmektedir. Paket programlar içerisinde hangisinin en doğru sonucu verdiği genellikle tartışma konusu olmuştur. Bu bölümde paket programlara ilişkin araştırma ve tartışmalara değinilmiştir.

Gelibolu (2008), Sta4CAD ve SAP2000 programlarında DBYBHY (2007)'yi kullanarak aynı kat ağırlıkları için programlar tarafından elde edilen deprem kuvvetleri ve yönetmelik çerçevesinde istenilen düzensizlik kontrolleri üzerinde durmuştur. Çalışması sonucunda Sta4CAD programının pratikliğini ve her iki program sonucunun da birbirine yakın çıktığını vurgulamıştır. Kuyucular ve Kandak (2008), İdeCAD, Sta4CAD ve Probina programlarını karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda farklı yapı örnekleri için deprem kuvvetleri, beton metraji, donatı metraji ve düzensizlik durumları arasında çok fark olmadığını belirtmiştir. Çöktü (2010), Sta4CAD ve SAP2000 programlarında düşey ve yatay deprem yükleri için analiz yaparak binaya etkiyen deprem kuvvetlerini, bina düzensizliklerini ve deprem kuvvetlerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda Sta4CAD ve SAP2000 paket programlarının yakın sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Ateş (2010), mevcut binaların güçlendirilmesine ilişkin Etabs ve Sta4CAD programlarının birbirine benzer sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Sırlıbaş (2013), 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.

Bu çalışmada yapılan diğer çalışmalar dikkate alınarak uygulamada uygun olarak kullanılan Sta4CAD (V13.0), İdeCAD (V8.5) ve SAP2000 (V16.1) paket programlarının DBYBHY (2007) esas alınarak on beş katlı betonarme çerçeveli sistem ile betonarme perdeli-çerçeveli karma sistemin kat ağırlıkları, doğal titreşim

periyotları, etkin kütle katılım oranları, deprem kuvvetleri, yumuşak kat düzensizliği ve ikinci mertebe etkileri bakımından karşılaştırılması yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, modellerin analizinde programların kendileri tarafından elde edilen kat ağırlıkları kullanılmıştır. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde SAP2000 programına ait analiz sonuçları referans kabul edilerek paket programların analiz sonuçları incelenmiştir.

## 2. Materyal Metot

Çalışmada kullanılan paket programlar hakkında genel bilgiler, uygulama örnekleri ve bina bilgileri aşağıda sunulmuştur.

### 2.1. Sta4CAD (V13.0) Programı

Sta4CAD programı çok veya az katlı betonarme yapılar için statik, rüzgar ve deprem hesabı yapan bir yazılımdır. Aynı zamanda yapının üç boyutlu analizi de yapılabilmektedir. Analiz sonucu elde edilen verilere göre proje çizimleri gerçekleştirilmektedir. Bu yazılımda statik hesaplama yöntemi olarak Stiffness Matris metodu kullanılmaktadır. Plaklar yatay yönde sonsuz rijit olarak kurulmaktadır. Bu nedenle kat düzleminde, dx, dy, qz ve eleman uç noktalarında dx, qy, qz deplasmanları kullanılarak yapının bütün denge denklemleri oluşturulmaktadır. Deprem analizinde de yine döşemeler rijit diyafram olarak kabul edilmektedir ve her kata ait (dx, dy) olmak üzere iki adet deplasman ile birlikte bir adet dönme ( $\theta_z$ ) oluşturulmaktadır. Döşeme yüklerinde dikkate alınan teori yield-line teorisi ve bu teoride nonortogonal geometri esas alınarak döşeme yükleri kiriş ve kolonlara iletilmektedir. Plakların kırılma doğruları Equilibrium Metodu'na göre gerçekleştirilmektedir. Döşeme elemanlarının kolonlarla birleşen kısmı direkt kolonlara; kolonların dışında kalan kısımları ise kirişlere iletilmektedir. Kiriş elemanlarının kolon elemanları içindeki kısmı sonsuz rijit olarak kabul edilmektedir ve Moment-Alan (Mohr) Metodu kullanılarak hesaplar yapılmaktadır. Yapının dinamik analizi sırasında toplanmış kütle modeli kullanılmaktadır, dönme kütle atalet momenti hesabı yapılırken ise düzgün yayılı kütle esas alınmaktadır (Torkan, Amasralı, 2014).

### 2.2. SAP2000 (V16.1) Programı

SAP2000 programı sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapıların lineer ve nonlineer analizlerini yapan paket programdır. Yapının üç boyutlu olarak statik ve dinamik çözümünü de gerçekleştirmekle birlikte aynı zamanda yapının boyutlandırılmasını da yapmaktadır. Bu nedenle program inşaat ve deprem mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Çöktü, 2010). Programda her türlü modelleme olanağı sağlandığı gibi dinamik analize, zaman tanım alanında hesap yöntemine, statik itme analizine, kuvvet spektrumu yoğunluk (power spectral density) analizine, yapının zemin

etkileşimli analizi gibi birçok analiz tipine de yer verilmektedir. Ayrıca hasar görmüş yapıların analizi ve çalışmaları program tarafından yapılabilmektedir (Gelibolu, 2008).

### 2.3. İdeCAD (V8.5) Programı

İdeCAD programı betonarme ve çelik yapı sistemlerinin tasarımını ve analizini yapan aynı zamanda istenilen çizimleri vererek kullanıcıya büyük kolaylık sağlayan paket programdır. Programda kat sayısı fark etmeksizin katlar tamamen rijit diyafram, yarı rijit diyafram ya da rijit diyaframsız olarak çözülebilmektedir. Ayrıca programda endüstriyel betonarme yapı sistemleri, nervür ya da kaset döşemesi olan sistemler, tünel kalıp olarak tasarlanan yapılar ile A2 ve A3 düzensizliğine sahip sistemlerin modellenmesi DBYBHY 2007'ye göre kolaylıkla yapılabilmektedir. Çubuk elemanlarla birlikte, aynı çalışma içine tanımlanmış kabuk elmanlar kullanılabilir (www.idestatik.com, 10 Ekim 2017).

### 2.4. Uygulama Örnekleri

Bu çalışmada Sta4CAD, İdeCAD ve SAP2000 paket programları kullanılarak on beş katlı taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve döşeme elemanlarından oluşan çerçevesel sistem ile taşıyıcı sistemi kolon, kiriş, döşeme ve perde elemanlarından oluşan karma sistem modellenerek, DBYBHY (2007)'de belirlenen kriterler doğrultusunda analizi yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre kat ağırlıkları, doğal titreşim periyotları, etkin kütle katılım oranları, deprem kuvvetleri, yumuşak kat düzensizliği ve ikinci merteye etkileri karşılaştırılmıştır. Sta4CAD ve İdeCAD programlarında çözülen örneklerde kat döşemeleri rijit diyafram olarak modellenmiştir.

SAP2000 programında ise döşemeden kirişe gelen yükler hesaplanıp programa girilmiş ve katlardaki düğüm noktalarının rijit diyafram olarak çalışması programa tanımlanmıştır. Sta4CAD, İdeCAD ve SAP2000 programlarında örnekler çözümlenirken alt kat kolon elemanları zemine ankastre bağlanmıştır. Sta4CAD, İdeCAD ve SAP2000 programlarında dinamik analiz metodu uygulanırken kat kütle merkezine, birbirine dik doğrultuda iki adet yatay serbestlik ve düşey eksen etrafında bir adet dönme serbestlik derecesi tanımlanmıştır. Bu serbestlik dereceleri kullanılarak ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için deprem doğrultusuna dik gelecek şekilde kütle merkezi +%5 ve -%5 kaydırılarak bulunan noktalara etkilmiştir. Bu yükleme sonucunda bulunan deplasmanlara bağlı olarak DBYBHY (2007)'ye göre yumuşak kat düzensizliği ve ikinci merteye etkileri kontrolleri yapılmıştır.

### 2.4. Bina Bilgileri

İlk olarak taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve döşeme sisteminden oluşan simetrik yapı örneği 15 katlı olarak modellenmiştir. İkinci olarak da taşıyıcı sistemi kolon, kiriş, döşeme ve perde elemanlarından oluşan karma yapı örneği 15 katlı olarak modellenmiştir. Örneklere ait bina genel bilgileri, zemin parametreleri, taşıyıcı sistem özellikleri ve kullanılan malzeme sınıfı Tablo 1' de, üç boyutlu görünüm Şekil 1-2'de, normal kat kalıp planları ise Şekil 3-4'te verilmiştir.

Tablo 1. Modellenen yapılara ait özellikler

	Örnek 1	Örnek 2
Bina Kat Adedi	15	15
Bina Kullanım Amacı	Konut	Konut
Taşıyıcı Sistem Türü	Betonarme çerçevesel sistem	Betonarme Karma Sistem
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	8	7
Deprem Bölgesi	3. Bölge	3. Bölge
Zemin Sınıfı	Z2	Z2
Yapı Önem Katsayısı	1	1
Deprem Eksantirisitesi	±%5	±%5
Beton ve Çelik Sınıfı	C30/S420	C30/S420
Beton ve Çelik Güvenlik Katsayısı	1.5/1.15	1.5/1.15
Spektrum Karakteristik Periyotları	0.15/0.40	0.15/0.40
Kiriş Boyutları (cm)	25/50	25/50
Kiriş Duvar Yükü (t/m)	0.5	0.5
Döşeme Kalınlığı (cm)	13	13
İlave Döşeme Ölü Yükü (G)	0.148 t/m <sup>2</sup>	0.148 t/m <sup>2</sup>
Döşeme Hareketli Yükü (Q)	0.15 t/m <sup>2</sup>	0.15 t/m <sup>2</sup>
Kolon Boyutlar	30/90-50/50	30/90-50/50-40/90-65/65
Perde Boyutları	Perde elemanı kullanılmamıştır.	25/210-25/175
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	0.3	0.3

### 3. Tartışma ve Bulgular

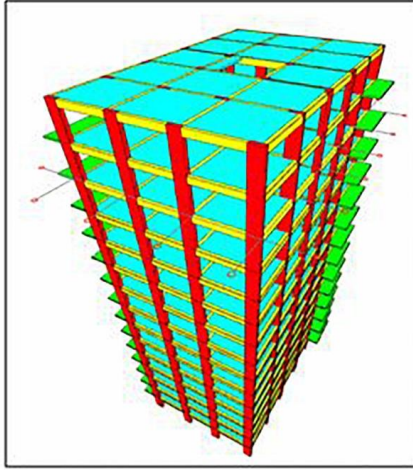
Bölüm 3'te ayrıntıları verilen taşıyıcı sistemi betonarme çerçevesel sistem olan Örnek 1'in ve taşıyıcı sistemi perdeli- çerçevesel sistem olan Örnek 2'nin Sta4CAD, İdeCAD, ve SAP2000 paket programları kullanılarak

modal analizleri sonucunda elde edilen yapı ağırlıkları, doğal titreşim periyotları, etkin kütle katılım oranları, deprem kuvvetleri, yumuşak kat düzensizliği ve ikinci merteye etkileri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

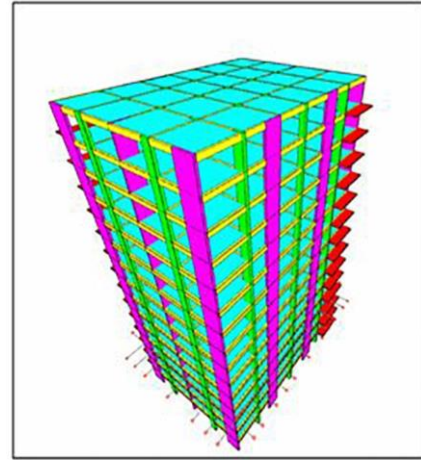
### 3.1. Kat Ağırlıkları

Her iki örnek içinde hareketli yük katsayısı 0.3 alınarak DBYBHY (2007)'ye göre elde edilen kat ağırlıkları toplanarak hesaplanan toplam yapı ağırlıkları Tablo 2'de verilmiştir. SAP2000 programı kolon-kiriş birleşim noktalarında, üst üste gelen bölgelere ait ağırlıkları iki kez hesaba kattığı için SAP2000 programında diğer programlara göre daha fazla kat ağırlığı elde edilmiştir. Diğer programlar SAP2000 programına göre kıyaslandığında Örnek-1 için Sta4CAD programından elde edilen değer %4.07, İdeCAD programından elde edilen değer ise %6.05 daha azdır. Örnek 2'de ise Sta4CAD programından elde edilen değer %6.29 daha az

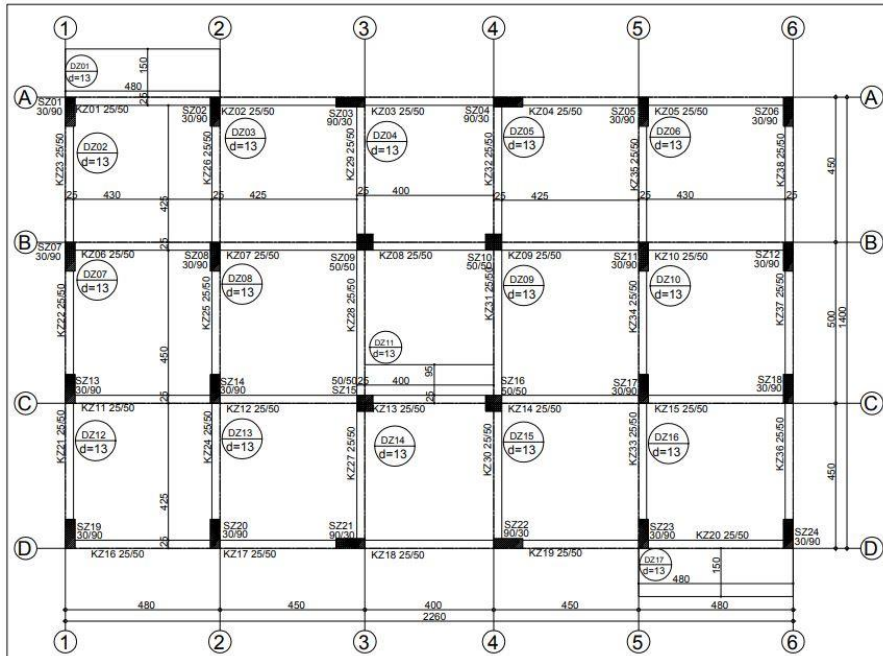
iken, İdeCAD programından elde edilen değer %7.96 daha azdır. İdeCAD programından elde edilen kat ağırlığının diğer programlara göre daha düşük olmasının sebebi ise programın birleşen düğüm noktaları için otomatik link ataması ve bu kısımlarda bir kez ağırlık hesabı yapmasıdır. Aynı zamanda İdeCAD programında kiriş üstü duvar tanımı yapıldığında da program bu linklerden dolayı sadece kiriş net açıklığına gelen duvar yükünü hesaba katmaktadır. İdeCAD programının düğüm noktalarına otomatik link ataması sonucu elde edilen ağırlık ile gerçekte olan ağırlık %100 örtüşmektedir.



Şekil 1. Örnek 1 üç boyutlu görünüm



Şekil 2. Örnek 2 üç boyutlu görünüm



Şekil 3. Örnek 1 normal kat kalıp planı

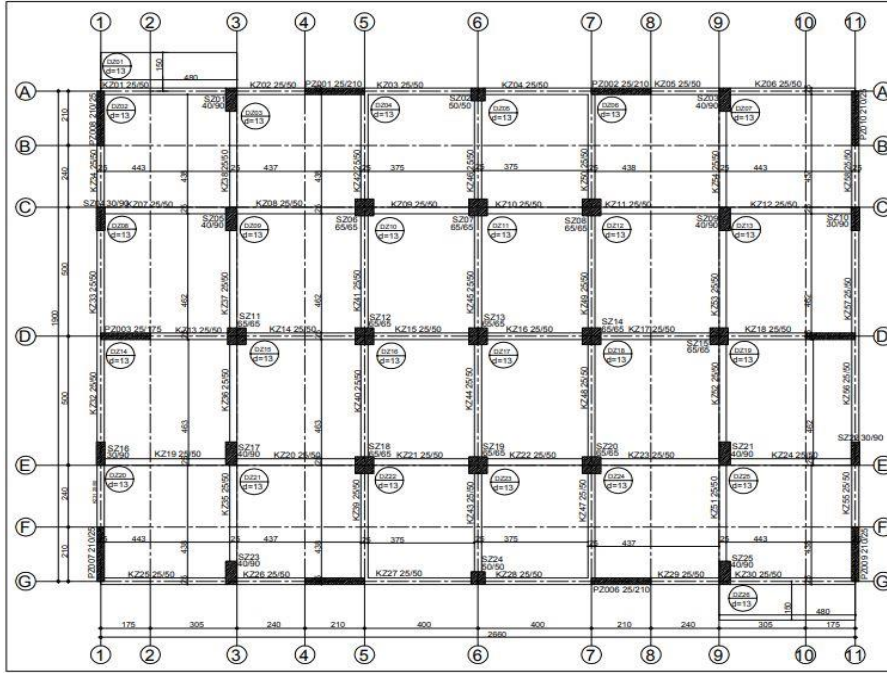
### 3.2. Periyot ve Etkin Kütle Katılım Oranı

Doğal titreşim periyotları incelendiğinde her iki örnekte de SAP2000 programı tarafından elde edilen periyot

değerine en yakın sonucu Sta4CAD programı vermiştir. Örnek 1'e ait yapının birinci doğal titreşim periyodu incelendiğinde Sta4CAD programından elde edilen değer

SAP2000 programından %0.44 daha fazla iken, İdeCAD programından elde edilen değer %4.10 daha azdır. Aynı şekilde Örnek 2'ye ait yapının birinci doğal titreşim periyodu incelendiğinde Sta4CAD programından elde edilen değer SAP2000 programına göre %0.41 daha fazla

iken İdeCAD programından elde edilen değer %13.71 daha azdır. Benzer şekilde diğer modlara ait periyot değerleri ve SAP2000 programına göre değişim yüzdeleri Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Örnek 2 normal kat kalıp planı

Etkin kütle katılım oranları ise her mod değerinde tüm programlar da birbirine yakın çıkmıştır. Örneğin; Örnek 1'e ait yapının ilk mod değeri için X yönü etkin kütle katılım oranına bakıldığında Sta4CAD programından elde edilen değer SAP2000 programına göre % 0.13 daha fazla iken İdeCAD programından elde edilen değer

%0.36 daha fazladır. Benzer şekilde her iki örnek içinde modlara ait değişimler Tablo 5 ve 6'da verilmiştir. SAP2000, Sta4CAD ve İdeCAD programları için her iki yapı örneğinde etkin kütle katılım oranı DBYBH 2007'ye göre %90 sınırına ilk sekiz modda ulaşmıştır. Bu çalışmada ilk 9 mod için periyot ve etkin kütle oranlarındaki değişime yer verilmiştir.

Tablo 2. Toplam yapı ağırlıkları (ton)

	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)	
				Sta4CAD	İdeCAD
Örnek 1	4842.98	4645.97	4550.08	(-)4.07	(-)6.05
Örnek 2	8344.14	7818.33	7680.36	(-)6.29	(-)7.96

Tablo 3. Örnek 1'e ait periyot (T) değerleri (s)

Mod	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)	
				Sta4CAD	İdeCAD
1	1.5501	1.5570	1.4865	(+)0.44	(-)4.10
2	1.5194	1.4119	1.2536	(-)7.07	(-)17.49
3	1.2836	1.1801	0.9850	(-)8.06	(-)23.26

Yapılardaki periyot değerlerinin farklılıkları dikkate alındığında kat ağırlığına bağlı olarak sistemde periyot farklılığının ortaya çıkması beklenen durumdur. Aynı zaman da periyot farklılığının bir başka nedeni de

döşemelerle kirişlerin çalışma şekilleridir. Sta4CAD ve İdeCAD programlarında kirişlerde tablayı dikkate al seçeneği kullanıcıya bırakılmışken SAP2000 programında böyle bir seçim hakkı yoktur. SAP2000

programında tablalı kesit tanımı yapılabilmektedir, ancak döşeme tanımı da birlikte yapılırsa düğüm noktasında mükerrer bir yük oluşturmaktadır bu da sistemde periyot değerini artırmaktadır. Kullanıcı için yapı periyodunun doğru tespiti yapıyı rezonansa itecek

bir durum olup olmadığına karar vermek açısından önemlidir. Bu yüzden kullanıcı uygulamada yapılacak olan kiriş-döşeme birleşimini programda doğru belirlemelidir.

**Tablo 4.** Örnek 2'ye ait periyot (T) değerleri (s)

Mod	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)	
				Sta4CAD	İdeCAD
1	1.4426	1.4485	1.2448	(+)0.41	(-)13.71
2	1.3598	1.3126	1.1991	(-)3.47	(-)11.82
3	1.1671	1.1188	0.9905	(-)4.13	(-)15.13

### 3.3. Deprem Kuvveti

Dinamik analiz sonucu elde edilen toplam deprem kuvvetleri incelendiğinde SAP2000 programından elde edilen değer diğer programlara oranla daha fazladır. Tablo 7'de görüldüğü gibi Örnek 1'e ait yapıda X yönü için Sta4CAD programından elde edilen değer SAP2000 programı ile elde edilen değerden %17.58 daha az iken, İdeCAD programında %16.67 daha azdır. Örnek 2'de ise

X yönü için Sta4CAD programından elde edilen değer SAP2000 programı ile elde edilen değerden %14.14 daha az iken İdeCAD programında %9.82 daha azdır. Benzer şekilde analiz sonucu elde edilen deprem kuvveti değerlerine ve SAP2000 programına göre değişim yüzdeleri Tablo 7 ve 8'de yer verilmiştir.

**Tablo 5.** Örnek 1'e ait etkin kütle katılım oranı

X YÖNÜ						Y YÖNÜ					
Mod	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)		Mod	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)	
				Sta4CAD	İdeCAD					Sta4CAD	İdeCAD
				1	0.8045					0.8056	0.8074
2	0.8045	0.8056	0.8075	(+)0.13	(+)0.36	2	0.7773	0.7810	0.7798	(+)0.47	(+)0.32
3	0.8046	0.8056	0.8075	(+)0.13	(+)0.36	3	0.7773	0.7810	0.7798	(+)0.47	(+)0.32
4	0.9071	0.9051	0.9073	(-)0.22	(+)0.03	4	0.7773	0.7810	0.7798	(+)0.47	(+)0.32
5	0.9071	0.9051	0.9073	(-)0.22	(+)0.03	5	0.8923	0.8940	0.8980	(+)0.19	(+)0.64
6	0.9071	0.9051	0.9073	(-)0.22	(+)0.03	6	0.8923	0.8940	0.8980	(+)0.19	(+)0.64
7	0.9425	0.9402	0.9421	(-)0.25	(+)0.04	7	0.8923	0.8940	0.8980	(+)0.19	(+)0.64
8	0.9425	0.9402	0.9421	(-)0.25	(+)0.04	8	0.9307	0.9316	0.9351	(+)0.09	(+)0.47
9	0.9425	0.9402	0.9421	(-)0.25	(+)0.04	9	0.9307	0.9316	0.9351	(+)0.09	(+)0.47

**Tablo 6.** Örnek 2'ye ait etkin kütle katılım oranı

X YÖNÜ						Y YÖNÜ					
Mod	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)		Mod	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)	
				Sta4CAD	İdeCAD					Sta4CAD	İdeCAD
				1	0.0000					0.0000	0.0000
2	0.7727	0.7801	0.7817	(+)0.95	(+)1.15	2	0.7587	0.7685	0.7718	(+)1.27	(+)1.69
3	0.7728	0.7801	0.7817	(+)0.95	(+)1.15	3	0.7587	0.7685	0.7718	(+)1.27	(+)1.69
4	0.7728	0.7801	0.7817	(+)0.95	(+)1.15	4	0.8760	0.8818	0.8844	(+)0.65	(+)0.95
5	0.8788	0.8863	0.8863	(+)0.85	(+)0.85	5	0.8760	0.8818	0.8844	(+)0.65	(+)0.95
6	0.8788	0.8863	0.8863	(+)0.85	(+)0.85	6	0.8760	0.8818	0.8844	(+)0.65	(+)0.95
7	0.8791	0.8863	0.8863	(+)0.81	(+)0.82	7	0.9214	0.9231	0.9249	(+)0.19	(+)0.38
8	0.9226	0.9260	0.9258	(+)0.37	(+)0.35	8	0.9217	0.9231	0.9249	(+)0.15	(+)0.35
9	0.9226	0.9258	0.9258	(+)0.35	(+)0.35	9	0.9217	0.9231	0.9249	(+)0.15	(+)0.35

### 3.4. Yumuşak Kat (B2) Düzensizliği

Her iki örnek için de yumuşak kat düzensizliği kontrolü yapıldığında SAP2000, Sta4CAD ve İdeCAD programlarının birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. DBYBHY (2007) belirtilen  $(\eta_{ki})_{max} < 2$  sınır değerlerine göre B2 yumuşak kat düzensizliğine her iki örnekte de rastlanılmamıştır. Sonuçlara bakıldığında Örnek 1 için X yönüne ait yumuşak kat düzensizliği

değerleri karşılaştırıldığında Sta4CAD ve İdeCAD programları SAP2000 programından en fazla %8 civarlarında fark göstermektedir. Benzer şekilde Örnek 2'ye ait yumuşak kat düzensizliği değerleri ve SAP2000 programına göre değişim yüzdeleri Tablo 9 ve 10'da verilmiştir.

**Tablo 7.** Örnek 1'e ait toplam deprem kuvveti (ton)

	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)	
				Sta4CAD	İdeCAD
X yönü	101.67	83.78	85.23	(-)17.58	(-)16.67
Y yönü	103.26	89.49	96.48	(-)13.34	(-)6.57

**Tablo 8.** Örnek 2'ye ait toplam deprem kuvveti (ton)

	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	SAP2000'e göre değişim (%)	
				Sta4CAD	İdeCAD
X yönü	211.00	181.16	190.29	(-)14.14	(-)9.82
Y yönü	201.25	167.38	184.84	(-)16.83	(-)8.15

**Tablo 9.** Örnek 1'e ait B2 düzensizliği ( $\eta_{ki}$ )

Kat	X YÖNÜ					Kat	Y YÖNÜ				
	Yumuşak Kat Düzensizliği			SAP2000'e göre değişim (%)			Yumuşak Kat Düzensizliği			SAP2000'e göre değişim (%)	
	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	Sta4CAD	İdeCAD		SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	Sta4CAD	İdeCAD
15	0.69	0.64	0.64	(-)7.25	(-)7.25	15	0.79	0.78	0.79	(-)1.27	0.00
14	0.72	0.75	0.74	(+)4.00	(+)2.70	14	0.80	0.82	0.83	(+)2.44	(+)3.61
13	0.83	0.82	0.82	(-)1.20	(-)1.20	13	0.89	0.87	0.88	(-)2.25	(-)1.12
12	0.84	0.87	0.87	(+)3.45	(+)3.45	12	0.86	0.90	0.91	(+)4.44	(+)5.49
11	0.88	0.90	0.90	(+)2.22	(+)2.22	11	0.90	0.92	0.93	(+)2.17	(+)3.23
10	0.90	0.92	0.92	(+)2.17	(+)2.17	10	0.91	0.94	0.95	(+)3.19	(+)4.21
9	0.91	0.93	0.93	(+)2.15	(+)2.15	9	0.93	0.95	0.96	(+)2.11	(+)3.12
8	0.92	0.94	0.94	(+)2.13	(+)2.13	8	0.94	0.96	0.97	(+)2.08	(+)3.09
7	0.95	0.95	0.95	0.00	0.00	7	0.95	0.97	0.97	(+)2.06	(+)2.06
6	0.95	0.96	0.96	(+)1.04	(+)1.04	6	0.96	0.97	0.98	(+)1.03	(+)2.04
5	0.96	0.96	0.96	(+)0.00	0.00	5	0.98	0.99	0.99	(+)1.01	(+)1.01
4	0.96	0.98	0.98	(+)2.04	(+)2.04	4	1.02	1.02	1.01	0.00	(-)0.98
3	1.04	1.04	1.08	0.00	(+)3.70	3	1.13	1.12	1.16	(-)0.88	(+)2.59
2	1.46	1.56	1.51	(+)6.41	(+)3.31	2	1.75	1.80	1.72	(+)2.78	(-)1.71
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### 3.5. İkinci Mertebe Etkileri

Örnek 1 ve Örnek 2 için ikinci mertebe etkileri kontrolü yapıldığında SAP2000, Sta4CAD ve İdeCAD programlarının birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. DBYBHY (2007)'ye göre  $\theta_i(max) < 0.12$  sınır değeri her iki örnekte için de tüm programlarda sağlanmaktadır. Sonuçlara bakıldığında ilk örnek için X yönüne ait ikinci mertebe etkileri değerleri karşılaştırıldığında max değişim değeri Sta4CAD

programında, SAP2000 programına göre %2.53, İdeCAD programında ise SAP2000 programına göre değişim ise %3.7 daha azdır. Y yönüne ait ikinci mertebe etkileri karşılaştırıldığında Sta4CAD programının SAP2000 programına göre max değişim değeri %15.48 da az iken, İdeCAD programındaki max değişim %23.81 daha azdır. Örnek 1 ve Örnek 2 için katlara ait ikinci mertebe etkileri değerleri ile Sta4CAD ve İdeCAD programlarının SAP2000 programına göre değişim yüzdeleri Tablo 11 ve

12 verilmiştir.

İkinci merteye etkileri değerlerinin bilinmesi, uygulaması yapılacak olan sistemin rijitliği hakkında yorum yapılması demektir. Rijitlik arttıkça sistemin yapacağı deplasman azalacaktır. DBYBHY 2007'ye göre hesaplanan ikinci merteye etkileri değerleri ne kadar düşük olursa sistemin rijitliği o kadar yüksektir. Sistemin rijitliği ise yapının karmaşıklığına, yapı ağırlığına,

birleşen elemanların düğüm noktalarındaki bağlantı şekillerine (rijitlik bölgesi) bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmada ise SAP2000 programından elde edilen değerler Sta4CAD ve İdeCAD programından yüksek çıkmıştır. Bu farklılık kat ağırlığı, birleşim noktalarındaki bağlantı kabulleri, periyot vb. gibi durumlardan kaynaklanmaktadır.

**Tablo 10.** Örnek 2'ye ait B2 düzensizliği ( $\eta_{ki}$ )

X YÖNÜ						Y YÖNÜ					
Kat	Yumuşak Kat Düzensizliği			SAP2000'e göre değişim (%)		Kat	Yumuşak Kat Düzensizliği			SAP2000'e göre değişim (%)	
	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	Sta4CAD	İdeCAD		SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	Sta4CAD	İdeCAD
15	0.77	0.77	0.77	0.00	0.00	15	0.84	0.82	0.81	(-)2.38	(-)3.57
14	0.79	0.80	0.80	(+)1.25	(+)1.25	14	0.84	0.84	0.83	0.00	(-)1.19
13	0.83	0.85	0.84	(+)2.35	(+)1.19	13	0.87	0.87	0.87	0.00	0.00
12	0.85	0.88	0.88	(+)3.41	(+)3.41	12	0.88	0.90	0.90	(+)2.22	(+)2.22
11	0.88	0.91	0.90	(+)3.30	(+)2.22	11	0.90	0.92	0.92	(+)2.17	(+)2.17
10	0.84	0.93	0.92	(+)9.68	(+)8.70	10	0.92	0.94	0.94	(+)2.13	(+)2.13
9	1.06	0.94	0.94	(+)11.32	(+)11.32	9	0.93	0.95	0.95	(+)2.11	(+)2.11
8	0.87	0.95	0.95	(+)8.42	(+)8.42	8	0.95	0.96	0.96	(+)1.04	(+)1.04
7	0.95	0.96	0.96	(+)1.04	(+)1.04	7	0.95	0.97	0.97	(+)2.06	(+)2.06
6	0.97	0.97	0.97	0.00	0.00	6	0.98	0.98	0.98	0.00	0.00
5	0.99	0.99	0.99	0.00	0.00	5	1.01	1.01	1.00	0.00	(-)0.99
4	1.05	1.04	1.04	(-)0.95	(-)0.95	4	1.06	1.06	1.05	0.00	(-)0.94
3	1.20	1.17	1.27	(-)2.50	(+)5.51	3	1.22	1.21	1.28	(-)1.15	(+)4.69
2	1.94	1.92	1.92	(-)1.03	(-)1.03	2	1.98	2.00	1.96	(+)1.00	(-)1.01
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Tablo 11.** Örnek 1'e ait ikinci merteye etkileri ( $\theta_i$ )

X YÖNÜ						Y YÖNÜ					
Kat	2. Merteye Etkileri			SAP2000'e göre değişim (%)		Kat	2. Merteye Etkileri			SAP2000'e göre değişim (%)	
	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	Sta4CAD	İdeCAD		SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	Sta4CAD	İdeCAD
15	0.0027	0.0028	0.0026	(+)2.53	(-)3.70	15	0.0042	0.0036	0.0032	(-)15.48	(-)23.81
14	0.0040	0.0048	0.0045	(+)16.84	(+)11.11	14	0.0056	0.0052	0.0046	(-)7.14	(-)17.86
13	0.0058	0.0071	0.0067	(+)17.96	(+)13.43	13	0.0072	0.0070	0.0061	(-)2.36	(-)15.28
12	0.0073	0.0094	0.0088	(+)22.09	(+)17.05	12	0.0085	0.0089	0.0076	(+)4.71	(-)10.59
11	0.0090	0.0117	0.0109	(+)22.81	(+)17.43	11	0.0102	0.0108	0.0091	(+)5.64	(-)10.78
10	0.0107	0.0139	0.0130	(+)23.24	(+)17.69	10	0.0118	0.0127	0.0106	(+)6.87	(-)10.17
9	0.0123	0.0162	0.0151	(+)23.98	(+)18.54	9	0.0135	0.0145	0.0120	(+)6.77	(-)11.11
8	0.0140	0.0184	0.0172	(+)23.91	(+)18.60	8	0.0151	0.0162	0.0133	(+)6.85	(-)11.92
7	0.0160	0.0206	0.0192	(+)22.22	(+)16.67	7	0.0167	0.0178	0.0146	(+)6.39	(-)12.57
6	0.0177	0.0227	0.0212	(+)22.03	(+)16.51	6	0.0184	0.0194	0.0157	(+)4.91	(-)14.67
5	0.0197	0.0248	0.0231	(+)20.50	(+)14.72	5	0.0203	0.0207	0.0167	(+)1.93	(-)17.73
4	0.0215	0.0268	0.0250	(+)19.66	(+)14.00	4	0.0217	0.0218	0.0175	(+)0.37	(-)19.35
3	0.0235	0.0284	0.0266	(+)17.37	(+)11.65	3	0.0225	0.0223	0.0180	(-)1.11	(-)20.00
2	0.0238	0.0286	0.0258	(+)16.81	(+)7.75	2	0.0212	0.0208	0.0162	(-)2.08	(-)23.58
1	0.0173	0.0193	0.0180	(+)10.50	(+)3.89	1	0.0129	0.0121	0.0099	(-)5.89	(-)23.26

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada 15 katlı olmak üzere taşıyıcı sistemi kolon, kiriş, döşeme sisteminden oluşan betonarme çerçeveli

sistem ile taşıyıcı sistemi kolon, kiriş, döşeme ve perde elemanlardan oluşan karma yapı örnekleri SAP2000, Sta4CAD ve İdeCAD paket programlarında



modellenmiştir. Modellenen yapı DBYBHY (2007) kriterlerine göre analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler doğrultusunda yapı ağırlıkları, doğal titreşim periyot değerleri, etkin kütle katılım oranları, deprem kuvvetleri, yumuşak kat düzensizliği ve ikinci merteye etkileri bakımından karşılaştırılması yapılmıştır.

Bina ağırlıkları bakımından yapılan karşılaştırmada, SAP2000 programından elde edilen toplam ağırlığın Sta4CAD ve İdeCAD programına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durumun temel nedeni SAP2000 programının kolon-kiriş düğüm noktalarında elemanlara ait kısımları ayrı ayrı ele alıp iki kez hesaba katmasıdır. SAP2000 programında elde edilen toplam ağırlığın diğer programlara göre farklı olması, büyük oranda bu ayrıntıdan kaynaklanmaktadır. Kullanıcı SAP2000 programında gerçek ağırlık değerini almak istiyorsa birleşim noktalarında elle hesap yapıp azaltılması

gereken ağırlık kadar programın veri girişinde bu tanımlamayı yapması gerekmektedir. Sta4CAD ve İdeCAD programının SAP2000 programına göre değişim yüzdesine bakıldığında Sta4CAD programının daha az değişim gösterdiği görülmüştür. Sta4CAD programından elde edilen kat ağırlığının İdeCAD programına göre fazla olmasının sebebi ise Sta4CAD programında kolon kiriş üstlerinde yayılı yük tanımlı yapıldığında aks birleşim noktalarında düşürülmesi gereken yayılı yükü düşürmeyip hesaba katmasından kaynaklanmaktadır. İdeCAD programından elde edilen kat ağırlığının diğer programlara göre daha düşük olmasının sebebi ise program birleşen düğüm noktaları için otomatik link atayarak bu kısımlarda bir kez ağırlık hesabı yapmasıdır. İdeCAD programının düğüm noktalarına otomatik link ataması sonucu elde edilen ağırlık ile gerçekte olan ağırlık %100 örtüşmektedir.

**Tablo 12.** Örnek 2' ye ait ikinci merteye etkileri ( $\theta_i$ )

X YÖNÜ					Y YÖNÜ						
Kat	2. Merteye Etkileri			SAP2000'e göre değişim (%)		Kat	2. Merteye Etkileri			SAP2000'e göre değişim (%)	
	SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	Sta4CAD	İdeCAD		SAP2000	Sta4CAD	İdeCAD	Sta4CAD	İdeCAD
15	0.0028	0.0028	0.0024	0.00	(-) 14.33	15	0.0022	0.0040	0.0031	(+)44.67	(+)28.96
14	0.0037	0.0042	0.0036	(+)10.63	(-)2.93	14	0.0053	0.0057	0.0044	(+)7.30	(-)16.73
13	0.0048	0.0057	0.0049	(+)15.17	(+)1.14	13	0.0065	0.0076	0.0059	(+)14.85	(-)8.95
12	0.0061	0.0074	0.0064	(+)17.95	(-)5.26	12	0.0077	0.0097	0.0074	(+)19.99	(-)4.26
11	0.0074	0.0091	0.0079	(+)19.10	(-)6.60	11	0.0091	0.0118	0.0090	(+)22.95	(-)0.84
10	0.0087	0.0109	0.0094	(+)20.12	(-)7.71	10	0.0104	0.0139	0.0107	(+)24.85	(+)2.37
9	0.0108	0.0126	0.0110	(+)13.99	(-)1.64	9	0.0118	0.0160	0.0122	(+)26.10	(+)3.32
8	0.0107	0.0143	0.0124	(+)25.20	(-) 14.04	8	0.0132	0.0179	0.0137	(+)26.26	(+)3.54
7	0.0129	0.0158	0.0138	(+)18.84	(-)6.85	7	0.0145	0.0197	0.0151	(+)26.42	(+)3.86
6	0.0142	0.0173	0.0152	(+)18.11	(-)6.80	6	0.0159	0.0213	0.0164	(+)25.22	(+)2.79
5	0.0156	0.0186	0.0163	(+)15.86	(-)4.25	5	0.0172	0.0226	0.0174	(+)23.84	(+)1.21
4	0.0165	0.0194	0.0171	(+)15.32	(-)3.79	4	0.0178	0.0233	0.0180	(+)23.33	(+)0.97
3	0.0166	0.0195	0.0172	(+)14.90	(-)3.77	3	0.0177	0.0228	0.0179	(+)22.26	(+)1.02
2	0.0146	0.0174	0.0142	(-)16.12	(-)2.48	2	0.0154	0.0198	0.0146	(+)22.13	(-)5.16
1	0.0080	0.0096	0.0079	(-)16.67	(-)0.94	1	0.0083	0.0104	0.0079	(+)20.50	(-)4.73

Yapıların doğal titreşim periyot değerleri incelendiğinde hem karma yapı örneği için hem de çerçeveli yapı örneği için SAP2000 programına göre daha az değişim gösteren Sta4CAD programı olmuştur. İdeCAD programından elde edilen değerler Sta4CAD ve SAP2000 programına göre daha düşüktür. Bu durumun temel sebebi programların varsayılan ayarlarının değiştirilmemesi ve İdeCAD programının kolon-kiriş düğüm noktalarını sonsuz rijit kabul ederken Sta4CAD programının yarı değişken rijit olarak kabul etmesidir. Bu tanım SAP2000 programında ise rigid zone factor kısmında 0.5 olarak tanımlıdır. Kullanıcı programlar arası bu tür bir farklılığın rijitlik faktörüne bağlı olarak ortaya çıktığını ve bu farklılığı

istemediği takdirde dışarıdan nasıl müdahale edileceğini bilmesi gerekmektedir.

Modal analiz sonucu yapılan bir diğer karşılaştırma etkin kütle katılım oranıdır. Etkin kütle katılım oranlarına bakıldığında Sta4CAD ve İdeCAD paket programlarının SAP2000 programına göre değişim yüzdesi yok denilecek kadar azdır. Çerçeveli ve karma yapı örneği için DBYBHY (2007)'ye göre etkin kütle katılım oranının %90'dan az olmaması kuralına göre 8 modun yeterli olduğu her üç programda da görülmüştür. Deprem düzensizlik kontrolleri için elde edilen deprem kuvvetlerine bakıldığında SAP2000 programında daha yüksek değerler çıkmıştır. Deprem kuvveti değerlerine

bağlı olarak B2 yumuşak kat düzensizliği, görelî kat ötelemesi ve 2. Mertebe kontrolleri yapılmıştır. Her üç programda belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır.

Analiz sonuçları genel olarak ele alındığında, SAP2000, Sta4CAD ve İdeCAD programı kullanıcıları programların kabul içeriklerine bağli olarak bir takım farklılıkların olduğunu bilmelidir. Ancak bu farklılıklara gerekli ve doğru müdahalenin yapılması durumunda her üç programda da yaklaşık sonuçlar elde edilecektir.

### Kaynaklar

Ateş İS. 2010. Mevcut Programların Depreme Karşı Performans Analizi İçin Kullanılan Alternatif Yöntem ve Paket Programların Karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, Adana.

CSI, SAP2000, Ver16.1. 2007. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.

Çöktü L. 2010. İnşaat Mühendiliğinde Kullanılan Ticari Programların (SAP2000 ve Sta4CAD) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 Işığında Karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, Adana.

Darılmaz K, Özmen G, Orakdöğen E. 2015 Örneklerle SAP2000 V17. Birsen Yayınevi.

DBYBHY. 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007. T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ankara

Ergül M. 2017 Çeşitli Tiplereki Betonarme Yapıların Etabs, Sta4CAD ve İdeCAD Programları İle Analiz Edilerek Sonuçların Kıyaslanması İller Bankası Aanonim Şirketi, Ankara

Gelibolu İS. 2008. Sta4CAD Paket Programı İle SAP2000 Analiz Programının Mod Birleştirme Yöntemi Kullanarak Karşılaştırılması Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı. Adana

IdeCAD v7.022, ideYAPI Ltd. 2014. www.idestatik.com.

Kuyucular A.Kandak. 2008 Ö. Ö. Statik-Betonarme Tasarım İçin Türkiye de Kullanılan Ticari Paket Yazılımların Farklı Sonuçları. Akademik Bilişim Dergisi,

Sırlıbaş C. 2013. Farklı Tipteki Betonarme Yapıların Sta4CAD ve Etabs Programları İle Çözülmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı. İstanbul

Sta4-CAD v13.1, STA Ltd. 2015. www.sta4.net.

Torkan R, Amasralı S. 2014. Sta4CAD V13.1 Çok Katlı Betonarme Yapıların Statik Analizi ve Tasarımı. Birsen Yayınevi İstanbul