



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



2007-2018 Türk deprem yönetmeliklerinde yapı elemanları çıkarma senaryoları ve bina periyotlarının karşılaştırılması

In Turkish earthquake seismic codes 2007-2018 comparison of building elements extraction scenarios and building periods

Yazar(lar) (Author(s)): Semi Emrah ASLAY¹, Tayfun DEDE²

ORCID¹: 0000-0002-0127-5474

ORCID²: 0000-0001-9672-2232

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Aslay S.E., ve Dede T., “2007-2018 Türk deprem yönetmeliklerinde yapı elemanları çıkarma senaryoları ve bina periyotlarının karşılaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1297-1309, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.543239

2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinde Yapı Elemanları Çıkarma Senaryoları ve Bina Periyotlarının Karşılaştırılması

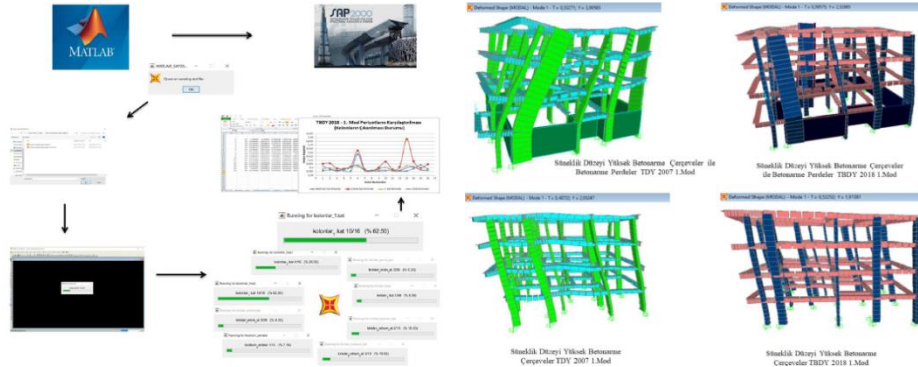
In Turkish Earthquake Seismic Codes 2007-2018 Comparison of Building Elements Extraction Scenarios and Building

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ SAP2000-OAPI ile yapı elemanlarının çıkarılması / Extracting building elements with SAP2000-OAPI.
- ❖ Deprem yönetmeliklerinde frekans karşılaştırılması / Frequency comparison in seismic codes.
- ❖ Kolon ve kiriş çıkarma senaryoları / Column and beam extraction scenarios

Grafik Özet (Graphical Abstract)

SAP2000-OAPI ile yapı elemanlarının her birinin çıkarılması durumuna göre periyotlar elde edilmiştir. 2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinde yapı periyotları ve eleman çıkarma senaryoları karşılaştırmalı olarak hızlı bir şekilde iterasyon yapılmıştır. / Periods are obtained with the SAP2000-OAPI, depending on the individual extraction of each of the structural elements. According to the 2007 and 2018 Turkish seismic code, building periods and building element extraction scenarios are comparatively rapidly iterated.



Şekil. Uygulamanın özet olarak anlatımı / Figure. Summary of the application

Amaç (Aim)

Yapı analizi programına entegre yazılım oluşturularak, betonarme bir bina üzerindeki yapı elemanlarının Türk deprem yönetmeliklerine göre frekans bazlı olarak değerlendirilmesi./ Evaluation of structural elements on a reinforced concrete building based on frequency according to Turkish seismic code by creating software integrated into the structure analysis program.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Betonarme bir yapıda 440 adet yapı elemanın tek tek çıkarılarak frekanslarının karşılaştırılması / Removing 440 building elements in a reinforced concrete structure one by one and comparing their frequency

Özgünlük (Originality)

SAP2000-OAPI ile deprem yönetmeliklerine göre elemanların çeşitli nedenlerle yapıdan ayrılması hesaplanmıştır. With SAP2000-OAPI, the separation of elements from the structure for various reasons is calculated according to earthquake codes.

Bulgular (Findings)

Toplamda 440 adet modal analiz yapılmıştır ve yazılım sayesinde %95 zaman tasarrufu sağlanmıştır. / 440 modal analyzes were performed in total and 95% time saving was achieved thanks to the software.

Sonuç (Conclusion)

2007-2018 TDY'ye göre herhangi bir katta, herhangi bir perde-kolon-kiriş'in yapı periyodunu ne kadar etkileyebildiği incelenmiştir./ According to 2007-2018 TDY, how much a shear wall-column-beam can affect the building period on any floor has been examined.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinde Yapı Elemanları Çıkarma Senaryoları ve Bina Periyotlarının Karşılaştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Semi Emrah ASLAY^{1*}, Tayfun DEDE²

¹Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

(Geliş/Received : 22.03.2019 ; Kabul/Accepted : 06.01.2020)

ÖZ

Bu çalışmada, MATLAB kodları kullanılarak hızlı iterasyon tekniği ile betonarme bir yapıya ait periyot hesabı yapabilen yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılımda, SAP2000 OAPI ile yapı elemanlarının her birinin çıkarılması durumuna göre periyotlar elde edilmiştir. 2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinde yapı periyotları ve eleman çıkarma senaryoları karşılaştırmalı olarak hızlı bir şekilde iterasyon yapılmıştır. Sonuçta normal şartlar altında çok uzun zaman alacak olan tekrarlı yapısal analizler, oluşturulan yazılım ile çok kısa zamanda yapılmıştır ve yapısal problem teşkil etme ihtimali ile tüm yapı elemanları tek tek periyot bazında değerlendirilmiştir. Çalışma bu yönüyle yapıların hasar senaryolarını oluşturma, çok yönlü analiz yapılabilmesi konularında inşaat mühendisliği alanında hızlı bir çözüm sunmaktadır. Aynı zamanda yapı elemanlarının değerlendirilmesinde bilgisayar otomasyonlarının kullanılmasına yönelik ihtiyacı gidermeye yönelik katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapı periyodu, Türk deprem yönetmelikleri, matlab-sap2000 oapi.

In Turkish Earthquake Seismic Codes 2007-2018 Comparison of Building Elements Extraction Scenarios and Building Periods

ABSTRACT

In this study, software is developed by using MATLAB codes, which can make building period calculation for a reinforced concrete structure with fast iteration technique. In this software, periods are obtained with the SAP2000 OAPI, depending on the individual extraction of each of the structural elements. According to the 2007 and 2018 Turkish Earthquake Regulations, building periods and building element extraction scenarios are comparatively rapidly iterated. As a result, repetitive structural analyzes, which will take very long time under normal conditions, are made in a very short time with the software created and all structural elements are evaluated on a period-by-term basis with the possibility of constituting a structural problem. With this aspect, the study provides a rapid solution in the field of civil engineering for creating damage scenarios and performing multi-dimensional analysis. At the same time, it contributes to the need to use computer automations in the evaluation of building elements.

Keywords: Building period, Turkish earthquake seismic codes, matlab-sap2000 oapi.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geçtiğimiz son 30-40 yıllarda Türkiye’de ve Dünya’da inşaat teknolojisi ile beraber yazılım teknolojisi de hızla ilerlemiştir. Yine son 15-20 yıllarda inşaat ve yazılım sektörünün ortak payda da ilerlemesinde ciddi bir ivmelenme olmuştur. Özellikle üst yapı grubunda betonarme ve çelik yapıların tasarımında kullanılan yazılımlar inşaat mühendislerinin hesapsal işlerini hiç olmadığı kadar kolaylaştırmıştır. Buna rağmen tekrarlı analizlerde ve iterasyon gibi bir parametre için çok sayıda değişken olması durumunda hızlı analiz tekniği kullanılabilecek yazılımlara ihtiyaç vardır.

Literatüre bakıldığında, bu eksikliği gidermek adına yapısal analizlerde sıklıkla kullanılan SAP2000 programı ve bu programın OAPI özelliği yazılım dilleri ile entegre edilmesi ile ilgili son zamanlarda artan çalışmalar bulunmaktadır. Bu yazılım dilleri ile yapısal analiz yapabilen programların işbirliği her geçen gün artmaktadır, öyle ki, bu özelliği kullanarak birçok araştırma makalesi bulunmaktadır, hatta ticari amaçlı girişimlerde de bulunulmuştur [1]. Yapısal tasarımın yanı sıra mimari alanla birlikte çalışabilirliğinin geliştirilmesi: web araçları ile endüstriyel tabanlı yaklaşımıyla, yazılımlar arasındaki bağlantının önemine vurgu yapılarak, ETABS - SAP2000 - ANSYS - MIDAS programlarının entegre kullanımları ile de yapılan çalışmalar bulunmaktadır [2]. Yine bu çalışmada mod şekilleri, doğal titreşim periyotlarının ilk dört aşamasına

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : seaslay@erzincan.edu.tr

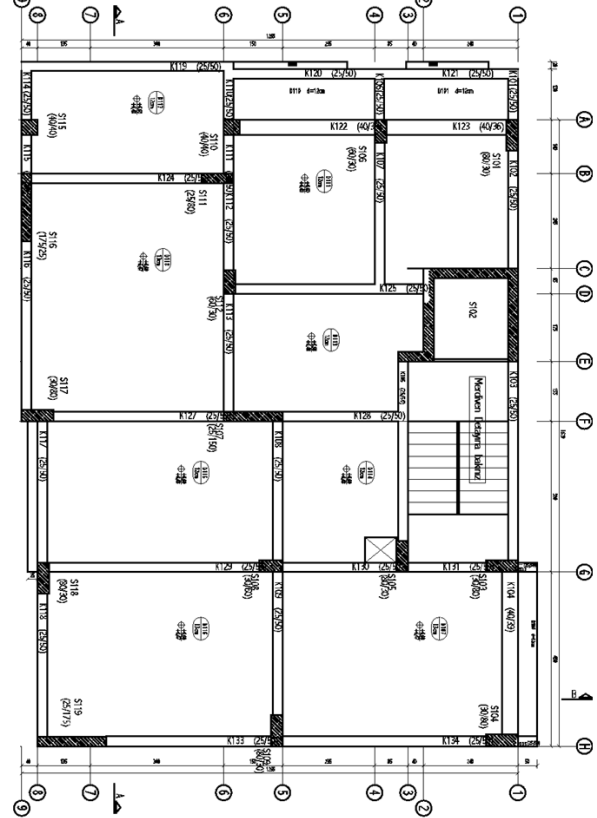
ait hesaplamalar yapılmıştır. İterasyon metotlarını MATLAB-SAP2000 OAPI ile kullanılan başka bir çalışmada, rüzgar yükü altında uzun açıklıklı rijit çerçeve çözümünde eleman seçiminde ve tasarım süreçleri yönetilmiştir [3]. Betonarme yapılarda MATLAB-SAP2000 OAPI kullanılan çalışmalarda ise; betonarme çerçeve yapılarında belirsizlik yayılımı üzerine bir çalışma yapılmıştır ve bu çalışmada sonlu elemanlar modeli kullanılarak, nonlineer dinamik analiz yapılmıştır [4]. Nonlineer zaman tanım analizi ile dolgu duvar dolgu duvarlı çerçeve, betonarme çerçeve, dolgu duvarlı betonarme çerçeve, iki farklı çeşit donatıyla güçlendirilmiş betonarme çerçevede kullanılarak yapılan çalışma [5] ile yük-deformasyon ilişkisini genetik algoritmayla yapan çalışma çalışmaları yapılmıştır [6]. Benzer araştırmalarda betonarme perde duvarlarda bırakılan pencere boşluklarındaki boyut etkilerinde, kısa kolon oluşumu incelenmiştir, çok sayıda analiz yapılmıştır ve C# yazılım programına da yer verilmiştir [7]. Elastik zemine oturan kule tipi yapıların yapısal analizi optimum tasarımı ve optimum maliyet oluşturulabilmesi için söz konusu programlar ortak payda da buluşturularak çözümler elde edilmeye çalışılmıştır [8]. MATLAB-SAP2000 OAPI ortak kullanımının çelik yapılarda bakıldığında; uzay çatılarda genetik algoritma kullanılarak, lineer analiz yapılmıştır ve kodlar ile yapısal analiz programına bağlanmıştır [9]. geometrik olarak doğrusal olmayan kafes yapılarının rüzgara dayanıklı boyut optimizasyonu [10] ve çelik uzay çatılarının optimum ağırlık tasarımı, gerilme kısıtlamaları, kayma, yanal deplasman ile geometrik kısıtlamalar kullanılarak yapılan çalışma [11], çelik yapılarla ilgili aynı yazılımların birlikte kullanılarak çözümlendiği diğer çalışmalardır. Yapısal çözüm ve matematik optimizasyon probleminde kullanılmasında [12], köprüler üzerinde itme analizinde [13], yapay sinir ağlarını kullanarak köprü hasarlarının tespiti yapılmasında [14], 3 açıklı köprü için titreşime dayalı yapısal hasar tespitinde [15] ve yapı sağlığı izlenmesinde [16-17], yine benzer şekilde MATLAB-SAP2000 yazılımlarının ortak olarak kullanıldığı çalışmalardır. Yapı periyotlarının kullanımına ilişkin betonarme, çelik, tarihi, yığma yapılar ve spesifik alanlarla ilgili sayısız çalışma bulunmaktadır [18,19,20]. Her cismin doğal bir periyodu vardır, esasen periyot sismik dalganın bir çevrim yapması için gereken saniye cinsinden zaman süresidir. Frekans ise saniyedeki çevrim sayısı olup periyodun tersidir. Bir yapıda ise yapı yüksekliği, taşıyıcı sistem, malzeme ve geometrik oranlar periyot-frekans değerlerine etki ederler ve periyot değeri yapının önemli bir mühendislik özelliğidir [21]. Taşıyıcı sistem elemanlarının hasar senaryoları ile ilgili, betonarme ve çelik yapılarda; kolon veya kirişlerin kaldırılması, binaların sağlamlık değerlendirmesi için verimli kademeli çökme analizi, etkili aşamalı çökme analizi [22,23,24], aşamalı çöküş, bir elemanın göçmesi, bunun zincir etkisi yapması ile binanın orantısız bir şekilde çökmesi durumları [25] ve hasar senaryolarının farklı aşamaları altında çerçevelerin aşamalı yıkılması,

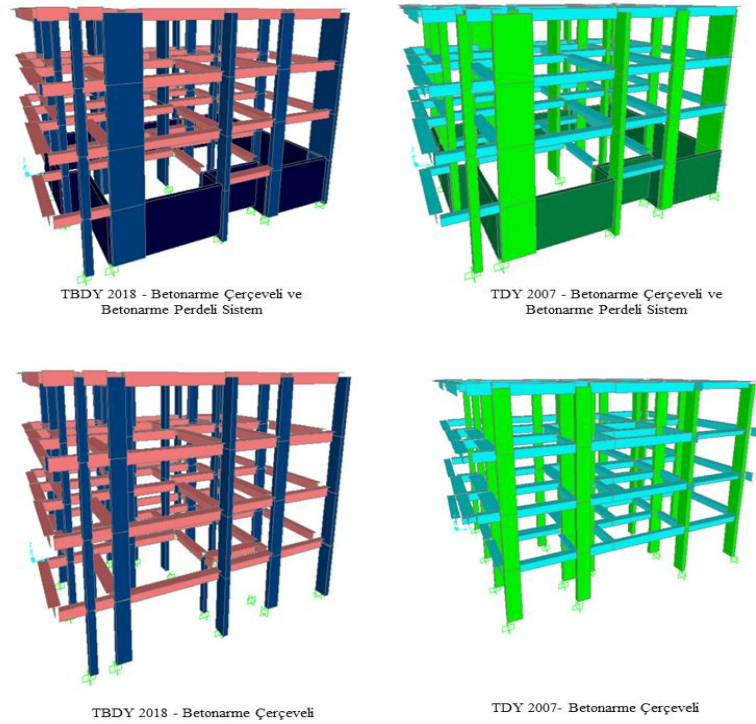
olasılıkların hesaplanmasına dair [26,27] araştırmalar bulunmaktadır.

Bu çalışmada ise MATLAB kodları kullanılarak oluşturulan yazılım ile SAP2000 OAPI ile 2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre yapı periyot hesabı yapılmıştır ve bu hesabın tüm yapısal elemanların sistemden çıkarılması durumu için ele alınmıştır. Örneğin bir adet kolon gibi bir yapı elemanı sistemden yapısal hasar, çarpışma veya patlama gibi herhangi bir nedenden dolayı yapıdan çıkarılmaktadır. Yapı bu haliyle, yani kolonun yapıda olmadığı durum için, yapı periyodu hesaplanmıştır. Daha sonra aynı kolon yapı sistemine ilk tasarlandığı gibi geri yüklenmiştir. Bu işlemten sonra ikinci, üçüncü ve tüm kolonlar aynı şekilde sistemden çıkarılması ve geri yüklenmesi durumu için yapısal analiz yapılarak, yapı periyodu hesaplanmıştır. Tekrarlı analizlerin yapılmasında entegre yazılım kullanıldığı için tüm bu işlemler oldukça kısaltılmıştır.

2. YAPI ÖZELLİKLERİ VE KONUMU (STRUCTURE FEATURES AND LOCATION)

Çalışmada ele alınan yapı 4 katlı betonarme tarzında, 2017 yılında inşa edilmiş bir binadır. Söz konusu yapı her iki deprem yönetmeliği içinde riskli sayılan ve tarihte şiddetli depremleri yaşamış olan Erzincan ilindedir. Erzincan ili özellikle geçtiğimiz yüzyılda 1939 ve 1992 yıllarında yaşadığı depremlerle yapı güvenliği konusunda önemli bir tecrübe yaşamıştır. Depremlerin yaşandığı yıllara inşaat teknolojisi olarak





Şekil 2. Yapı modelleri (Building models)

Bakıldığında, 1939 depremi yığma yapıların ve 1992 depremi ise betonarme yapıların imtihanı olmuştur. İnşaat teknik ve tasarımları için önemli kazanımlar elde edilmiştir. Bunun bedeli ise ağır olmuştur. Çok sayıda can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Bu sebeplerle de bu çalışmada yapının Erzincan ölçeğinde değerlendirilmesi önemlidir. Yapısal analize esas olmak üzere mevcut binada sadece betonarme çerçevelerden oluşan ve betonarme çerçevelerle birlikte betonarme perdelerin olduğu 2 adet tasarım yapılmıştır. Yapılan tasarıma ait kat kalıp planı şekil-1’de verilmiştir. Şekilde verilen kat kalıp planı binanın yapıldığı mevcut durumunu göstermektedir. Yapı ilgili standartlara göre ve mühendisin tasarım inisiyatifine göre hazırlanmıştır. Ayrıca kamu kurumlarınca onaylanarak yapılmıştır. Yapılan tasarımda ise mevcut yürürlükte olan ve geçtiğimiz 10 yılda yürürlükte olmuş olan deprem yönetmelikleri uygulanmıştır. Böylelikle analize esas yapı modelleri 4 farklı şekilde oluşmuştur. Bu durum şekil-2’de verilmiştir. Binada perdeler mevcut kolonların üzerinde oluşturulmuştur. Perde-Kolon-Kiriş ebatları ve aks açıklıkları şekil-1’de detaylı olarak verilmiştir, bunun haricinde sadece betonarme çerçevesi olarak öngörülen yapıda perde elemanlarının tamamında yerini 30x80 cm ebatlarında kolonlar yerleştirilmiştir. Perdeli yapıya binayı dört yanından x ve y yönlerinde çevreleyen bodrum perdeleri, tüm katlarda devam eden asansör perdesi ve ayrıca 3 adet perde ilave edilmiştir. Yine perde tabiri TBDY 2018 tarif edildiği üzere bir kenarı diğer kenarının 6 katı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Yapının Deprem dayanıklı tasarımı, yapım yılı itibarı ile Türk Deprem Yönetmeliği 2007 [28] ile yapılmıştır. Makale yazım tarihi itibarıyla yürürlüğe resmi olarak yakın zamanda giren Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 [29] ile karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde bina Erzincan’da aynı konum için değerlendirilmiştir. Bu karşılaşmanın yapılabilmesi için aynı bina kullanılmıştır. Deprem yönetmeliklerinin yanı sıra TS 500 [30] şartları göz önüne alınmıştır. Bunun için yapısal analiz yapan analiz programı kullanılarak gerekli kontroller yapılmıştır [31]. Zemin taşıma kapasitesi, beton sınıfı ve demir sınıfı gibi parametrelerde eşitlenmiştir. Beton sınıfında TBDY 2018’de belirtilen asgari beton sınıfı olan C25 betonu ve TBY 2007’de S420 demir sınıfına yaklaşık olarak karşılık gelen B420C demir sınıfı kullanılmıştır. Bunların dışında yeni yönetmelikte birlikte gelen parametrelerden spektral ivme katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı-dayanım fazlalığı katsayısı gibi değerler için eski yönetmelikte benzer şartlar dikkate alınmıştır. Esasen yapı modelleri ve çevre koşulları birebir aynı, buna karşılık, dönemin deprem yönetmelik koşulları kullanılmıştır. Yapı farklı model ve elemanların çıkarılması için hızlı iterasyon işlemine tabi tutulmuştur.

3. YAZILIM KODLARI İLE YAPISAL ANALİZ (STRUCTURAL ANALYSIS WITH SOFTWARE CODES)

Betonarme yapıya ait periyot ve frekansları değerleri yapının dinamik özellikleri hakkında özel bir bilgi

vermektedir. Bina bu şekilde bir bütün olarak değerlendirilebilmektedir ve yapısal davranış hakkında hızlı bir şekilde fikir sahibi olunabilmektedir. Bu çalışmada betonarme bir yapıya ait periyotların belirlenmesi için MATLAB [32] kodları kullanılarak yazılım geliştirilmiştir ve bu yazılım ile SAP2000 [33] programına vasıtasız bağlantı kurmak mümkün olmuştur. Kurulan bağlantı ile statik ve dinamik analiz yapabilen programın çalıştırılması, sonuçları çok seri bir şekilde elde etmeye olanak sağlamıştır. Oluşturulan kodlar şekil-3’ de verilmiştir. Kodların oluşturulmasında SAP2000 kurulum dosyasında bulunan API dökümanından yararlanılmıştır[33].

Bir kolon, perde veya bir kiriş yapı sisteminden herhangi bir sebeple ayrıldığında elde edilen periyodun nasıl değiştiği bu çalışmanın konusudur. Bu işlem yapı sisteminde bulunan kolon, perde ve kiriş elemanlarının hepsinin tek tek sistemden çıkarılması, bu haliyle analizlerin defalarca yapılmasını kapsamaktadır. Metinde kullanılan 4 katlı yapının perdeli veya perdesiz ve 2007-2018 deprem yönetmeliklerine göre olmak üzere 4 farklı şekilde tasarlanmıştır. Her bir katta yaklaşık 16-18 adet kolon-perde 36-40 adet kiriş bulunmaktadır, bu ise toplamda betonarme yapıda yaklaşık 440 adet elemanın sistemden çıkarılarak, 440 adet SAP2000 programında analiz yapması anlamına gelmektedir.

```

feature('COM_SafeArraySingleDim', 1);
feature('COM_PassSafeArrayByRef', 1);
SapObject = actxserver('sap2000.SapObject');
SapObject.ApplicationStart;
SapModel = SapObject.SapModel;
ret = SapObject.Hide;
h=msgbox('Open an existing sbd
file','MATLAB_SAP2000','custom',imread('SAP2000.png'));
waitfor(h);
[ModelName, ModelDirectory]=uigetfile('*.*sdb','Select the
SAP2000 file');
ModelPath = strcat(ModelDirectory, ModelName);
ret = SapModel.File.
.
.
NumberNames= 0;
MyName= cellstr(' ');
[ret, NumberGroup, GroupList] =
SapModel.GroupDef.GetNameList(NumberNames, MyName);
t=datestr(now,30);
zaman=[t(1:4),'_',t(5:6),'_',t(7:8),'_Saat_',t(10:11),'_',t(12:13),'_'
,t(14:15)];
dosya_adi=[ ModelName(1:end-4),'_', zaman, '.xls' ];
for Group_index=2:11
    NumberItems= 0;
    ObjectName= cellstr(' ');
    ObjectType=cellstr(' ');
    [ret, NumberItems, ObjectType, ObjectName] =
SapModel..... ObjectName);
    wb_string="";
    h = waitbar(0,wb_string,'Name',['Running for ',
GroupList{Group_index} ]);
    for i=1:length(ObjectName)
        ret = SapModel.File.OpenFile ...
.
.
ModelName(1:end-4) '_silinmis.sdb');
ret = SapObject.
.
.
NumberResults= 0;
StepType= cellstr(' ');
StepNum= reshape(0:1,2,1);
Period=reshape(0:1,2,1);
Frequency=reshape(0:1,2,1);
CircFreq=reshape(0:1,2,1);
EigenValue=reshape(0:1,2,1);
LoadCase= cellstr(' ');
ret = SapModel.Results.Setup.DeselectAll...
.;
ret = SapModel.Results.Setup.
.;
[ret, NumberResults, LoadCase,..
] =
SapModel.Results.ModalPeriod(NumberResults,
LoadCase, StepType, StepNum, Period, Frequency, CircFreq,
EigenValue)
my_frekans(i,:)=Frequency;
silinen_frame(i)=str2num(ObjectName{i});
a=(i:length(ObjectName))*100;
wb_string = sprintf([GroupList{Group_index},' %d/%d
(%% %4.2f)'],i,length(ObjectName), a);
waitbar(i:length(ObjectName),h,wb_string);
end
delete(h);
warning('off');
ModelDirectory;
pwd=cd;
xlswrite([pwd.'/Results',dosya_adi],
[[1:length(ObjectName)] silinen_frame(:) my_frekans(:,1:5)],
GroupList{Group_index}, 'A3')
end
ret = SapObject.ApplicationExit(false());
SapModel = 0;
SapObject = 0;

```

Şekil 3. Oluşturulan yazılıma ait kodlar (Developed software codes)

Kolon, perde veya kirişin sistemden çıkarılması, analiz yapılıp ve sonuçların excel de kaydedilmesi yaklaşık olarak 3 dakika sürmesi ihtimali ile bu analiz toplamda yaklaşık 1320 dakika sürecektir. Bu ise iyi bir ihtimaldir, çünkü buna kullanıcının sabrı, bilgisayarın zorlanması ve benzeri faktörler eklenmemiştir. Geliştirilen yazılım ile yaklaşık 60 dakikada tüm analizler tamamen yapılarak exece aktarılmıştır. Bu durum analizlerin yapılmasında yaklaşık %95 oranında zaman tasarrufu sağladığını göstermektedir. Üstelik bu işlem için SAP2000 programının açılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu olay iterasyon işleminin defalarca yapılması anlamına gelir. İstenilen iterasyon işlemi yazılım sayesinde çok kısa bir zaman diliminde yapılır. Aslay ve Okuyucu [34] tarafından yapılan çalışmada tarihi yapının yapısal analizinde defalarca iterasyon işlemine ihtiyaç duyulmasına rağmen, analizlerin elle yapılması ciddi zaman kayıplarına neden olmuştur ve tekrarlı analizler haftalarca sürmüştür. Tekrarlı analizlere ihtiyaç duyulan çalışmalarda analizlerin, bu çalışma kapsamında oluşturulan yazılımlar benzeri araçlarla yapılması her geçen gün daha da önem kazanmaktadır.

Yazılan MATLAB programı çalıştırıldığında ilk olarak kullanıcıdan SAP2000'de ilgili dosyayı açması istenir. Daha sonra istenilen SAP2000 dosyası seçilir. Seçilen dosyadan bilgiler alınır ve SAP2000 programı kapalı olduğu durumda analiz hızlı bir şekilde gerçekleşir. Ve bilgiler excel ortamına aktarılır. Yazılım tüm bu işlemleri yaparken kolon, perde ve kiriş kendi içerisinde tanır ve ayırır. İstenildiği takdirde yalnız kolon veya yalnız

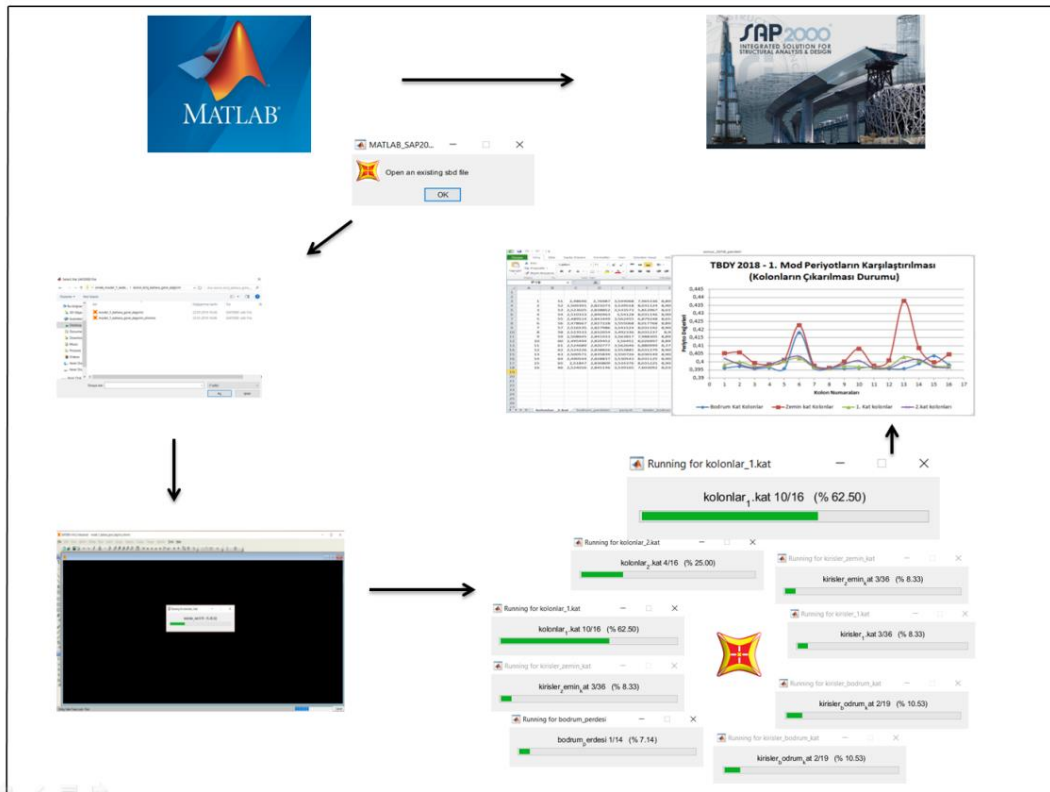
kiriş ya da katlara göre tercih yapılabilir. Yapılan işlemler şekil-4'de özet olarak verilmiştir

4. YAPI PERİYOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF BUILDING PERIODES)

Her iki Deprem yönetmeliği için, yapı periyotları farklı tasarım durumlarında karşılaştırılmıştır (Çizelge1). Aynı bina kullanılmasına karşın 4 farklı şekilde ele alınmıştır. Karşılaştırmada yönetmelikler arasında olmanın yanı sıra sadece betonarme çerçevelerin olduğu ve betonarme çerçevelere ilave olarak sistemde var olan betonarme perdeli olarak tasarlanan yapı için yapılmıştır.

Çizelge 1. Yapı Periyotlarının Karşılaştırılması (Comparison Of Building Periodes)

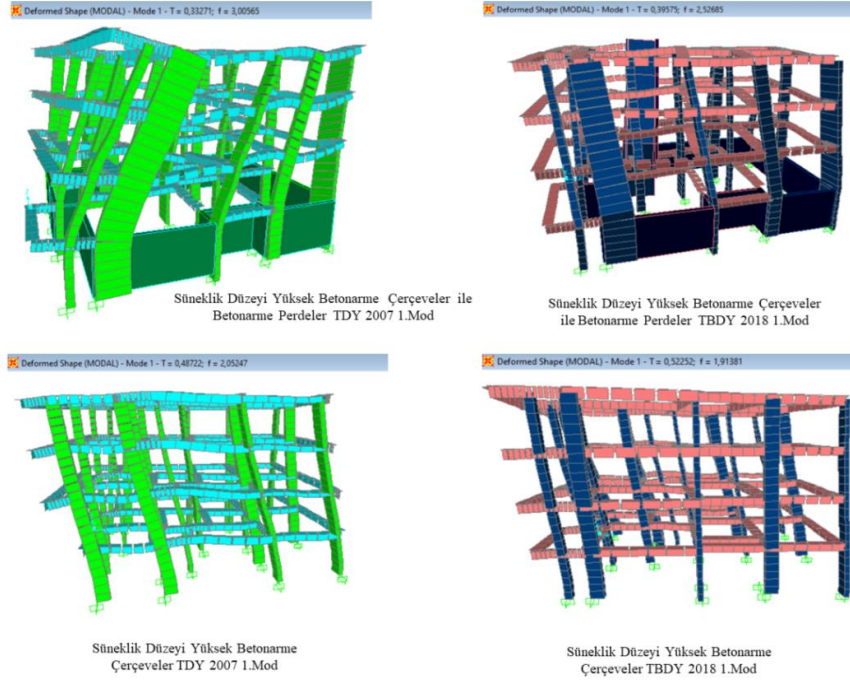
Bina Taşıyıcı Sistemi	Yapı Periyot Değerleri	Yapı Periyot Değerleri
	1.Mod	1.Mod
	TDY 2007	TBDY 2018
Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Çerçeveler	0.5336	0.5707
Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Çerçeveler ile Betonarme Perdeler	0.3332	0.3957



Şekil 4. Uygulamanın özet olarak anlatımı (Summary of the application)

Yönetmelikler arasındaki bu periyot farkı perdeli yapıda %6.50 olmasına karşılık, perdesiz yapıda %15.79 oranına ulaşmaktadır. Aynı zamanda TDY 2007’ de perdeli ve perdesiz yapıların arasındaki periyot farkı %37.55 iken, TBDY 2018’de %30.66 olmaktadır. Yüzdeler ifadelere verilen dört farklı durum için birinci mod şekilleri şekil-

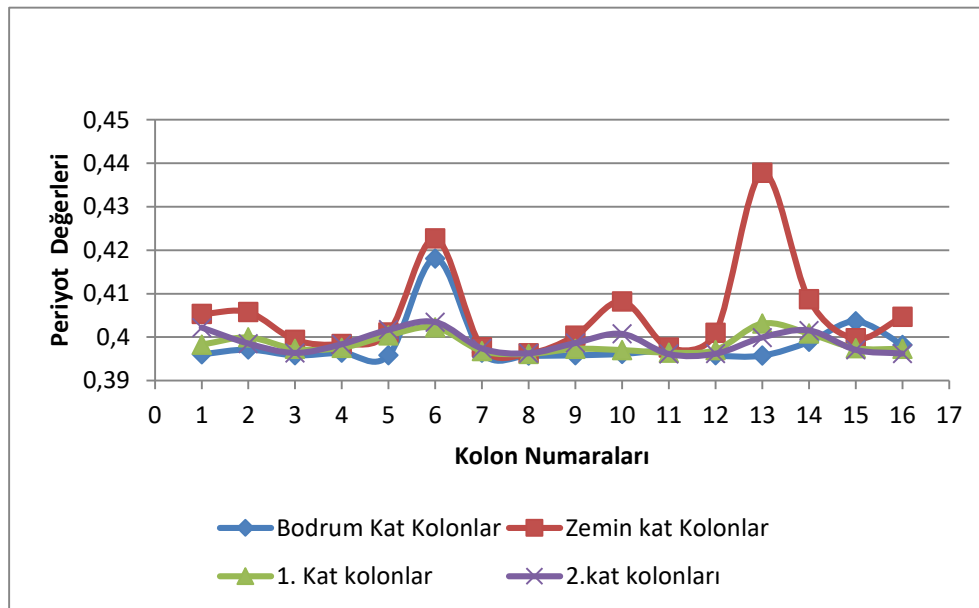
muhtemel olarak eleman rijitliklerindeki azalmalar nedeniyle modal analiz sonucu ilk ve hâkim yapı periyodunda daha yüksek değer aldığı görülmektedir. Bunun dışında elde edilen yüzdeler oranlarda, yeni deprem yönetmeliğinde yapının deprem salınıminin daha fazla olacağı öngörüsünün olduğu, betonarme perdelerin



5’de verilmiştir. Burada yapıya perde olarak, binayı çevresinde bodrum perdeleri, asansör perdesi ve 3 adet tüm katlarda devam eden yapı elemanları yerleştirilmiştir. TBDY 2018 ‘de kuvvetle

önceki yönetmeliğe nispeten tek başına daha az fayda sağlayabileceği ve daha fazla miktarda betonarme perde ihtiyacı oluşturduğu söylenebilmektedir.

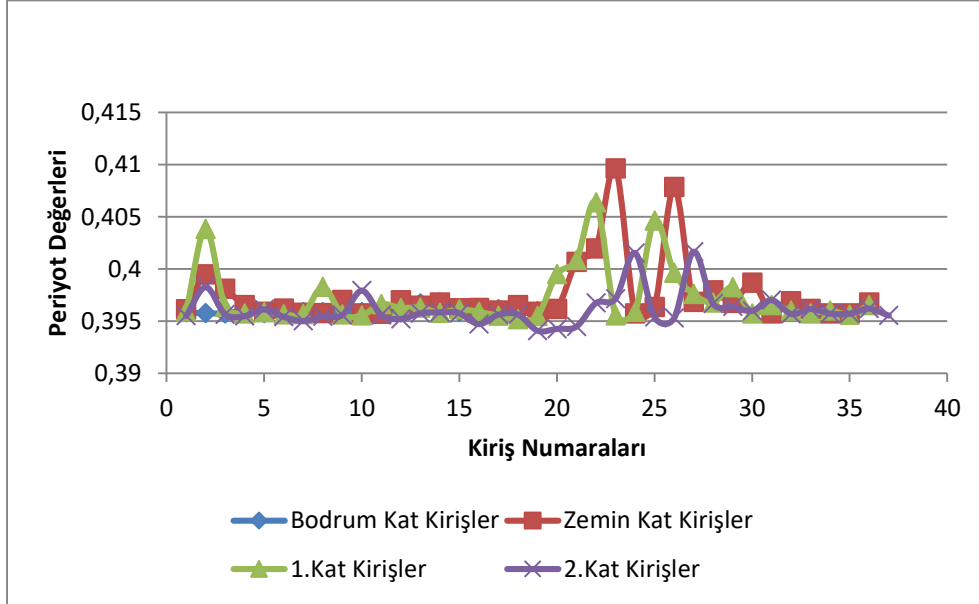
Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre tasarlanan betonarme çerçevesiz ve betonarme perdeli yapının kolon-



Şekil 6. Betonarme perdeli statik projede kolonların çıkarılması durumu için 1. mod yapı periyotlarının karşılaştırılması - TBDY 2018 (Comparison of 1st period building periods for the extraction of columns in a static project with reinforced concrete shear wall – TBDY 2018)

perde gibi düşey taşıyıcı yapı elemanlarının her birinin sistemden çıkarılması ve kiriş gibi yatay taşıyıcı elemanların her birinin sistemden çıkarılması durumu şekil-6'da ve şekil-7'de grafiksel olarak verilmiştir.

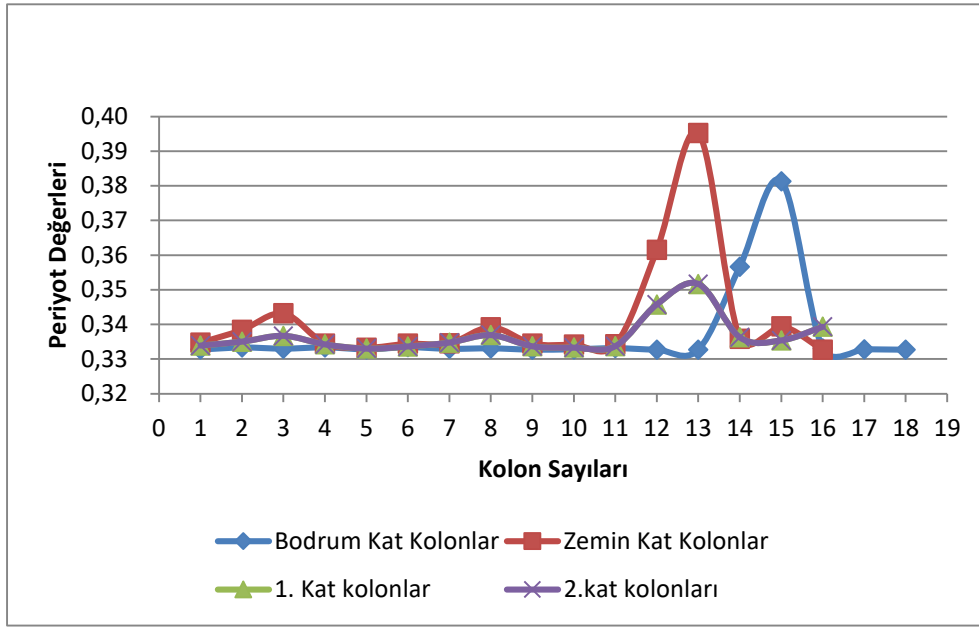
belli miktarlarda etkinliğe sahip olduğu söylenebilmektedir. Tdy 2007'de 2018'de olduğu gibi, kolon-perde gibi yapı elemanların sistemden çıkarılması durumunda (şekil-8) rijit bodrum perdelerinin üst katı olan zemin katın en fazla



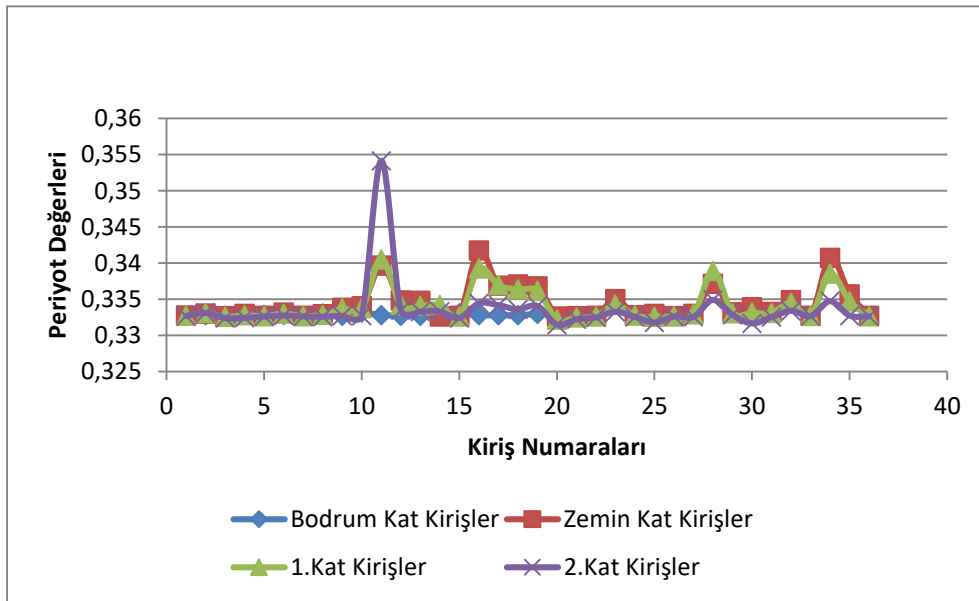
Şekil 7. Betonarme perdeli statik projede kirişlerin çıkarılması durumu için 1. mod yapı periyotlarının karşılaştırılması – TBDY 2018. (Comparison of 1st period building periods for the extraction of beams in a static project with reinforced concrete shear wall – TBDY 2018)

Tbdy 2018'de kolon-perde gibi yapı elemanların sistemden çıkarılması durumunda (Çizelge-2) rijit bodrum perdelerinin üst katı olan zemin katın en fazla etkilendiği görülmektedir. Zira şekilde görüldüğü üzere bu katta bulunan düşey taşıyıcı elemanların sistemden ayrılmasıyla yapı periyodunda ciddi anlamda artışlar yaşanmıştır. Öyle ki grafik üzerinde bu katın diğer katlardan ayrıştığı anlaşılmaktadır. Normal yapı periyot değeri 0.3957sn iken, zemin katta düşey taşıyıcı elemanların bireysel olarak yapıdan ayrılmalarında gözlenen periyot artışı 0.4378sn'lere ulaşmaktadır. Bu durum artış oranının %10.64 olduğu göstermektedir. Yapı elemanlarında betonarme perdelerin periyot hesabında en fazla etkiye sahip olduğu, bunun haricinde de özellikle çerçeve oluşturmayan, konsol yapılmış bölgede periyot farklılıkları belirgin olmaktadır. Bunun dışında bütün katlarda her bir yapı elemanının, yapıda olmadığı kabulü ile oluşan periyot durumu grafikten kolaylıkla analiz edilebilmektedir. Aynı durumda kirişlerin çıkarılması senaryolarına baktığımızda, benzer şekilde zemin kattaki kirişlerin çıkarılması durumunda, periyotta en fazla etkili olduğu, bundan sonra ise 1.kattaki kirişler önem arz etmektedir. Zemin kattaki kirişlerden yapı periyodunu en fazla etkileyen elemanlar konsol kirişler olmayıp, konsolun hemen arkasında çerçeve oluşturan kirişlerin olduğu anlaşılmaktadır. Buradaki elemanlardan çıkarım yapıldığında yapı periyot değerinin 0.4078 değerine ulaştığı görülmektedir. Detaylı inceleme için Çizelge-3'de grafik yeterli olacaktır. Kirişlerde yapı periyodu üzerindeki etkinliği perde-kolondaki gibi olmasa da, bu elemanlardan sonra

etkilendiği görülmektedir. Aynı katta taşıyıcı eleman olarak betonarme perdeye de sahip olan sistemde, grafiğe bakıldığında bazı elemanların münferit olarak ön plana çıktığı görülmektedir. Örneğin bir yapı elemanının çıkarılmasıyla elde edilen maksimum periyot değeri 0.3952sn 'ye ulaşabilmektedir. Yapının Tdy 2007'de analizinde normal şartlar altında gerçek periyot değeri 0,3332sn olmaktadır. Söz konusu değişim %18.60 oranına kadar çıkmaktadır. Bu olay ise düşey taşıyıcı elemanların yapıya katkısındaki homojenliğin nispeten olmadığı anlamına gelmektedir. Eleman bazında periyot değerini etkileyen duruma bakıldığında, betonarme perdeler baskın olsa da Tbdy 2018 'deki gibi hepsi yeterince etkin olamamaktadır. Kolonlardaki dağılımda ise belli bir bölgede yoğunlaşmadığı görülmektedir. Aynı şekilde 2007 deprem yönetmeliğinde kirişlerin çıkarılması durumuna bakıldığında ise bazı istisnaların haricinde periyot üzerinde etkinliğinin fazla olmadığı söylenebilmektedir. Bu değer normal şartlarda yapı periyot değeri 0.3332sn olduğu halde, kirişlerin çıkarılması ile ulaşabildiği değer en fazla 0.3418sn olmaktadır. Söz konusu durum ise şekil-9'da verilmiştir. Betonarme perdeli durumda her iki yönetmelik karşılaştırıldığında Tdy 2007'de kirişlerin periyot üzerindeki etkinliğinin nispeten oldukça az olduğu görülmektedir.



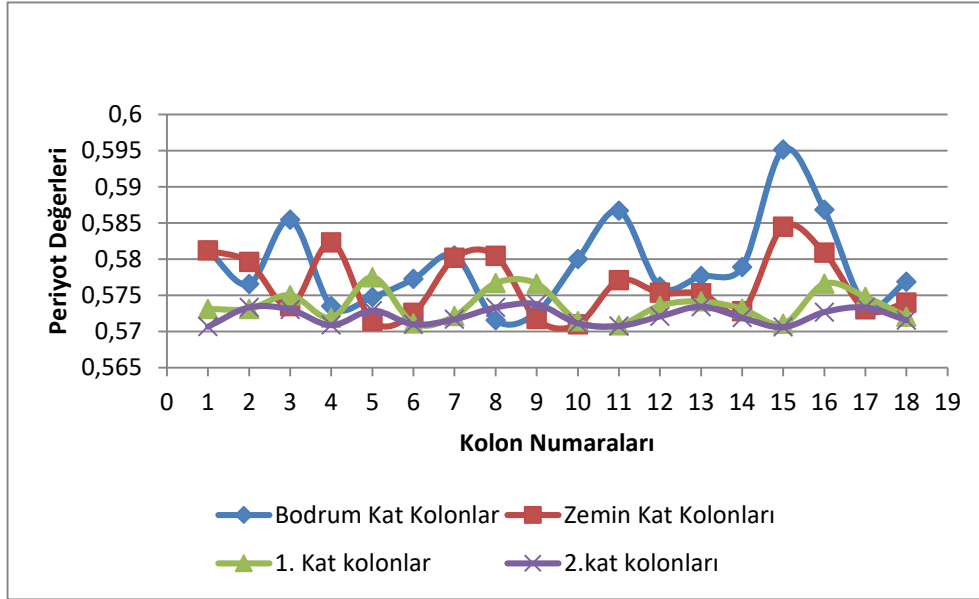
Şekil 8. Betonarme perdeli statik projede kolonların çıkarılması durumu için 1. mod yapı periyotlarının karşılaştırılması TDY2007. (Comparison of 1st period building periods for the extraction of columns in a static project with reinforced concrete shear wall – TDY 2007)



Şekil 9. Betonarme perdeli statik projede kirişlerin çıkarılması durumu için 1. mod yapı periyotlarının karşılaştırılması TDY 2007. (Comparison of 1st period building periods for the extraction of beams in a static project with reinforced concrete shear wall – TDY 2007)

Projenin betonarme perde olmayan tasarımı da benzer şekilde analiz edilerek grafiksel olarak sunulmuştur. Tbdy 2018 için sadece betonarme kolon-kiriş'ten oluşan sistemde kolonların çıkarılma senaryolarına ait grafik şekil-10'da verilmiştir. Kolonların çıkarılma durumunda kolonlar arasında periyot değeri en fazla 0.5951sn

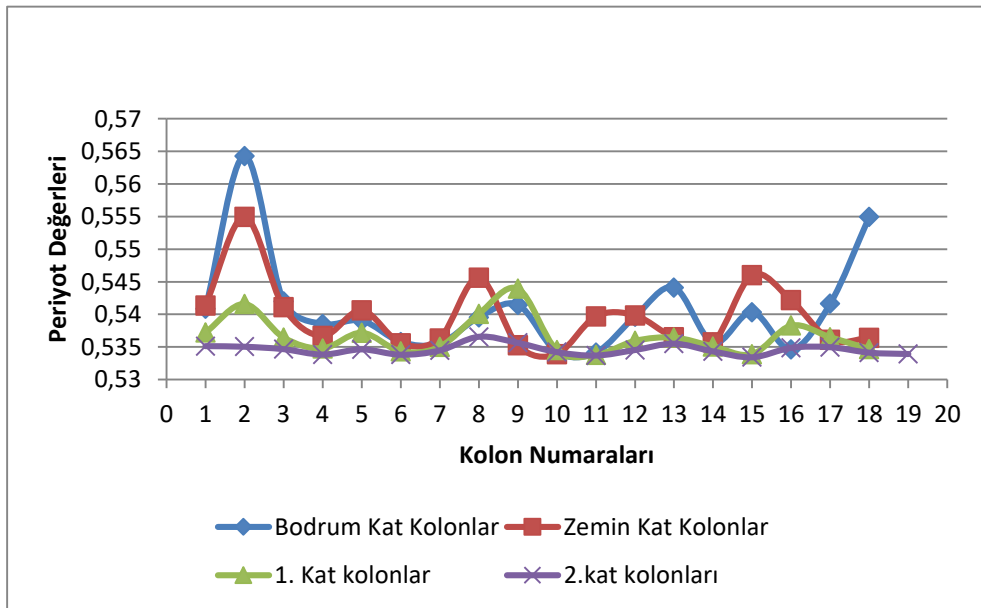
olmaktadır. Perdesiz normal şartlarda yapı periyodu 0.5707sn 'dir Dolayısıyla kolonlar arasında periyot değeri en fazla %4.27 oranında olmaktadır. Bu halde kolonların periyot değişimini en fazla yaşadığı kolonlar ise, dış akslarda ve kiriş çerçevesinin tam oluşmadığı, konsol oluşturan bölgede olmaktadır.



Şekil 10. Betonarme perdesiz statik projede kolonların çıkarılması durumu için 1. mod yapı periyotlarının karşılaştırılması (TBDY 2018). (Comparison of 1st period building periods for the extraction of columns in a static project without reinforced concrete shear wall – TBDY 2018)

Çalışmada kullanılan diğer model ise, sadece betonarme çerçeveden oluşan Tdy 2007'ye göre mevcut yapının periyot değeri 0.5336sn olmasına karşılık, kolonların çıkma ihtimalleri arasında en fazla 0.5643sn olmaktadır. Oransal olarak ifade edilecek olursa, %5,75'lik bir artış olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde periyot ekinliği en fazla dış akslarda ve çerçeve oluşturmayan konsol bölgesinde olmaktadır. Grafikselsel olarak gösterim şekil-11'de verilmektedir.

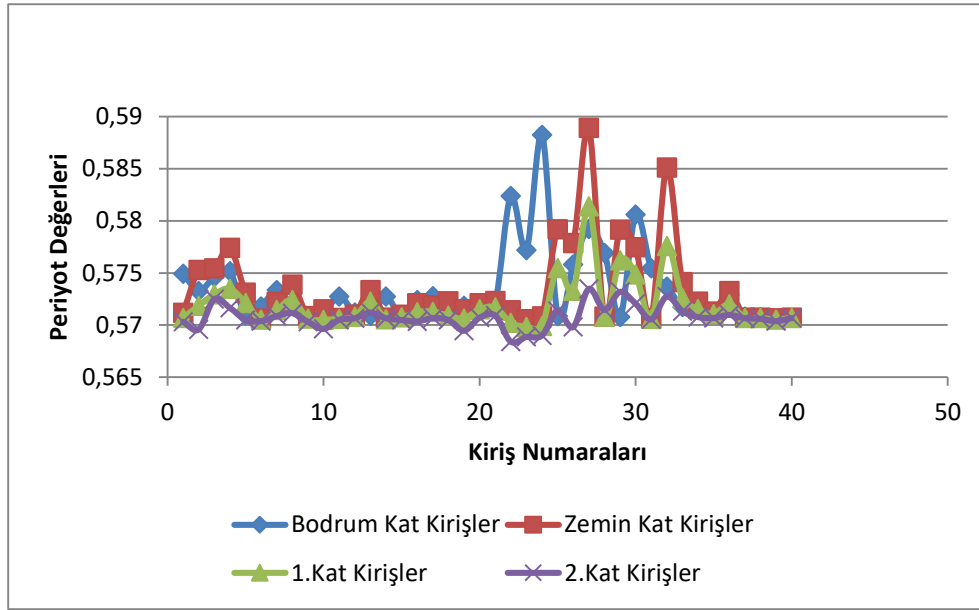
Sadece kolonların karşılaştırıldığı bu iki durumda 2018 deprem yönetmeliğinin, 2007 deprem yönetmeliğine göre daha aktif bir periyot etkinliğinin olduğu söylenebilmektedir. Maksimum periyot değeri daha azdır, ancak daha fazla kolon bu etkinliğe sahip olmaktadır. Kolonların beraber hareket edebilme kabiliyeti daha fazla ön plandadır. Tüm modellerin dışında, betonarme perdeye sahip olmayıp, sadece betonarme çerçevelerden oluşan sistemde, kirişlerin



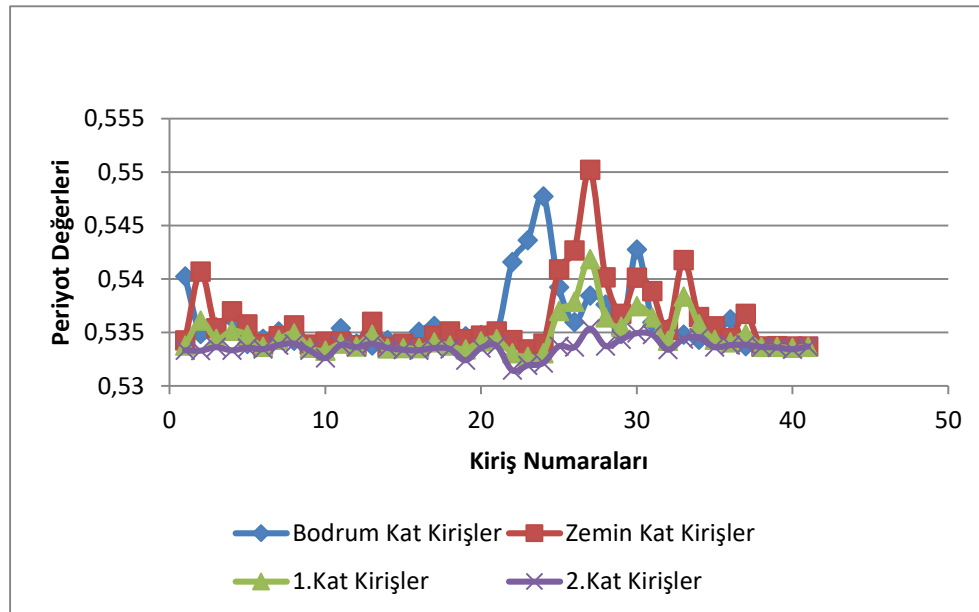
Şekil 11. Betonarme perdesiz statik projede kolonların çıkarılması durumu için 1. mod yapı periyotlarının karşılaştırılması - TDY 2007. (Comparison of 1st period building periods for the extraction of columns in a static project without reinforced concrete shear wall – TDY 2007)

çıkartılma durumu incelenmiştir. Kirişlerin yapı sisteminde, yine münferit olmaması durumu şekil-12’de ve Çizelge-13’da verilmiştir. Benzer şekilde bütün kirişler değerlendirilmiştir. Perdeli duruma benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tdy 2007’ye göre mevcut 0.5336sn olmasına karşılık, tüm kirişlere tek tek bakıldığında en fazla 0.5427sn olarak, Tbdy 2018 ise mevcut durumda yapı periyodu 0.5707sn olmasına karşılık kirişlerin olmama ihtimalinde en fazla 0.5889sn değerini almaktadır. Yüzdesel fark %1.70 ve % 3.18 olmaktadır. Bu da 2018 yönetmeliğinde kiriş etkinliğinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Çalışmada MATLAB kodlarıyla farklı model ve yönetmelikler için kolon-perde-kiriş gibi yapı elemanlarının her birinin, yapı sisteminde olmaması durumlarına göre periyot hesapları yapılmıştır. Bu hesaplar ilk 5 mod için 440 farklı koşullara göre sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sayısal verilerin çok uzun olması nedeniyle burada ayrıca verilmemiştir. Bunun yerine hakim mod olan, birinci mod değerleri kullanılmıştır ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil-14’de ise şimdiye kadar yapılan ve yorumlanan kısımlardan kolonların tüm yapı modelleri ve deprem yönetmelikleri durumlarına göre özet olarak verilmiştir.



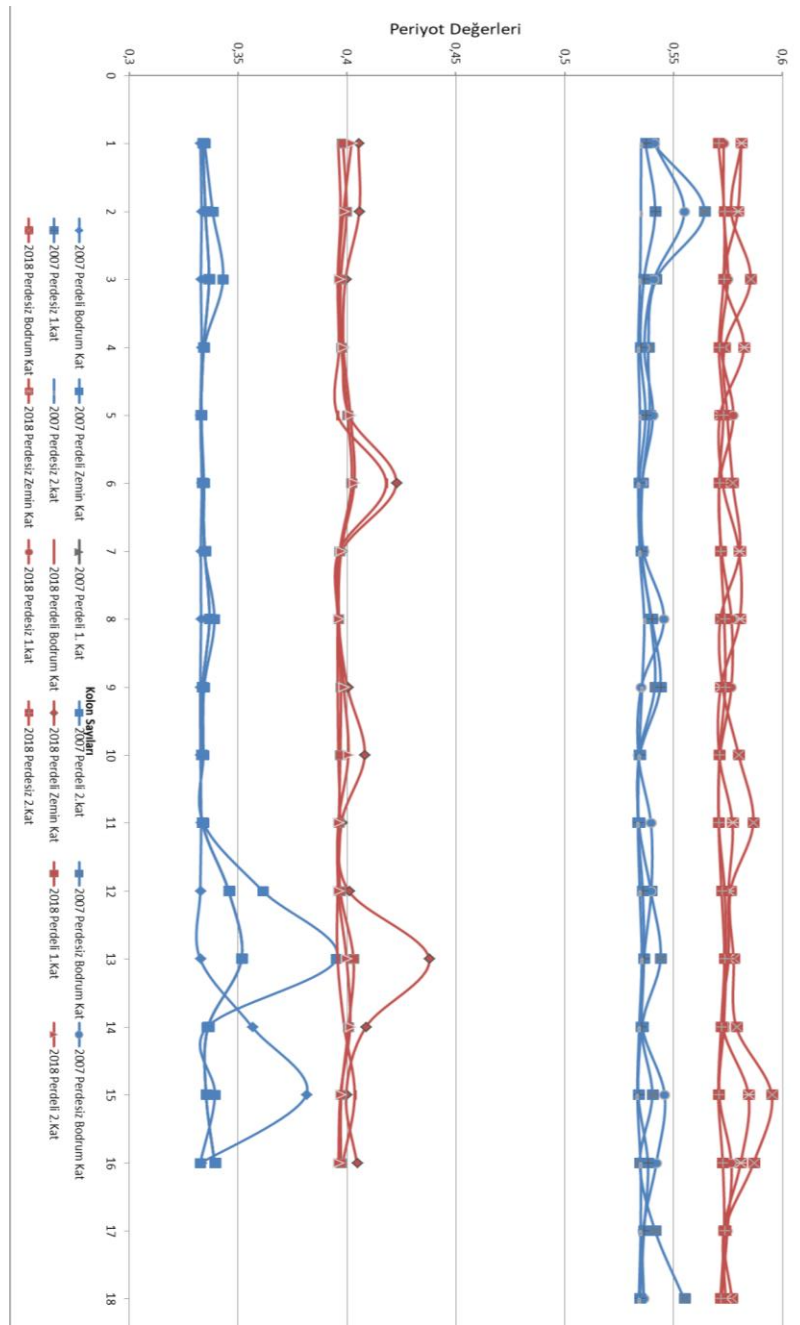
Şekil 12. Betonarme perdesiz statik projede kirişlerin çıkarılması durumu için 1. mod yapı periyotlarının karşılaştırılması (TBDY 2018). (Comparison of 1st period building periods for the extraction of beams in a static project without reinforced concrete shear wall – TBDY 2018)



Şekil 13. Betonarme perdesiz statik projede kirişlerin çıkarılması durumu için 1. mod yapı periyotlarının karşılaştırılması - TDY 2007. (Comparison of 1st Period Building Periods for the Extraction of Beams in a Static Project Without Reinforced Concrete Shear Wall – TDY 2007)

Verilen özet şekilde (şekil-14) çalışmada yapılmış olan kolon bazında tüm durumların kısa bir ifadesi yer almaktadır. Kırmızı renk ile tarif yapılan periyot değerleri TBDY 2018, mavi renk ile tarif yapılan periyot değerleri TDY 2007 standardını belirtmektedir. Betonarme çerçeve ile birlikte perdelerle sahip olan yapı periyotları beklendiği üzere her iki durumda nispeten düşük olduğu görülmektedir. 2018 Deprem yönetmeliğindeki periyot değerleri, 2007 deprem yönetmeliğine göre daha yüksek sonuç vermiştir. 2007 Deprem yönetmeliğinde bir yapı elemanın sistemi periyot olarak daha fazla etkileyebildiği görülmektedir. Örneğin sadece çerçeve olan durumda 3,6,13 numaralı kolonların sistemden çıkarılması ile elde edilen periyot değerleri,

2007 deprem yönetmeliğinde daha belirgin bir şekilde farklılaşmaktadır. Perdeli durumda da 2 numaralı perde için aynı şekilde belirgin periyot farklılaşmasını söylemek mümkün olacaktır. Burada 2 numaralı perde u şeklinde büyük bir rijitlik oluşturabilecek asansör çevresinde yapılan betonarme elemandır. Periyot üzerinde etkinliği belli bir miktarda kabul edilse bile, yeni deprem yönetmeliğinde elemanların etkisi sınırlı tutulmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu konuya ilişkin olarak yeni yönetmelikte, taşıyıcı sistemde tek bir perdenin alabileceği taban devrilme momentinin, binanın tamamından gelen deprem yükleri nedeniyle oluşan toplam devrilme momentinin 1/3'ünden fazla olması istenmemektedir [29].



Şekil 14. Kullanılan model ve deprem yönetmeliklerinin kolonların çıkarılması durumu için yapı periyot değerleri özeti. (Created model and summary of building period values for earthquake regulations)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu makalede SAP2000 yapısal analiz programına entegre olarak çalışabilen, MATLAB kodları kullanılarak yazılım oluşturulmuştur. Çalışma içerisinde yazılan MATLAB kodları da paylaşılmıştır. Bu yazılımla iterasyon tekniğini de kullanarak yapıya modal analiz yaptırılmıştır ve yapı periyotlarına ait sayısal veriler hızlı bir şekilde toplanmıştır. Yine bu çalışmada söz konusu yazılım ile 2007 ve 2018 Türk Deprem yönetmeliklerince tasarlanan farklı modellerde yapı periyotları, elemanların çeşitli nedenlerle yapıdan ayrılması durumuna göre incelenmiştir. Elde edilen değerlendirme ve sonuçlar şu şekilde olmuştur;

*Bu yazılımda iterasyon tekniği ile yapıdan taşıyıcı sisteme ait herhangi bir elemanın olmaması durumu için hızlı bir şekilde analiz yapılmıştır ve bütün durumlar için ayrı ayrı yapı periyodu hesaplanmıştır.

*Toplamda 440 adet modal analiz yapılmıştır ve yazılım sayesinde %95 zaman tasarrufu sağlanmıştır.

*Yapılan tüm analizlerin verileri çok seri bir şekilde toplanmıştır ve grafik haline dönüştürülerek yorumlanmıştır.

*Bu çalışmada Tbdy 2018 ile Tdy 2007'ye göre herhangi bir katta, herhangi bir perde-kolon-kiriş'in yapı periyodunu ne kadar etkileyebildiği incelenmiştir.

*Tbdy 2018'de kolon-perde gibi yapı elemanların sistemden çıkarılması durumunda artış oranının %10.64 iken, Tdy 2007'de söz konusu değişim %18.60 oranına kadar çıkmaktadır. Betonarme perdesi olmayan diğer durumda da %4.27 iken, %5.75'e kadar çıkmaktadır. Aynı zamanda sayısal verilere ve özet Çizelgelere bakıldığında elemanların Tbdy 2018'de nispeten yakın tepkiler verdiği söylenebilmektedir.

*Elde edilen veriler ışığında da Tbdy 2018'de Tdy 2007'ye göre daha gerçekçi sonuçlar oluştuğu kanaatine varılmıştır. Şöyle ki yapı dinamik karakteristik özelliği hakkında çok değerli bir bilgi olan yapının periyot değeri, bu yönetmelikte taşıyıcı elemanların homojen etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir. Oluşan kuvvetlere karşı sistemin tek perdenin etrafında toplanmasına müsaade etmemektedir.

*Aynı zamanda yeni yönetmelikte birden çok perdenin birlikte sisteme dahil olması öngörülmüştür. Perde-kolon-kiriş elemanlarının kendi içerisinde homojen kapasiteye sahip olması ihtimali ön planda tutulmuştur.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Sanayei, M. and Rohela P., "PARAmeter Identification System (PARIS) for Atomated Finite Element Model Updating of Full-Scale Structures", *Structures Congress*, 376-387, (2013).

- [2] Hu, Z., Zhang, X., Wang, H. and Kassem, M., "Improving interoperability between architectural and structural design models: An industry foundation classes-based approach with web-based tools," *Automation in Construction*, 66: 29–42, (2016).
- [3] Wu, J.R., Dong, C.C., Xua, A. and Fu, J.Y., "Structural optimization of long span portal-rigid frames under wind action," *The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications (BBAA7)* Shanghai, China; September 2-6, (2012).
- [4] Arshian, A.H., Morgenthal, G. and Shanmugam, Narayanan., "Influence of modelling strategies on uncertainty propagation in the alternate path mechanism of reinforced concrete framed structures," *Engineering Structures*, 110: 36–47, (2016).
- [5] Kamari, M., "Yenlikçi Çelik Bağlantılarla, yerleştirilmiş çerçeve doğrusal yüklemeye dayanımı", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi*, (2016).
- [6] Kamari, M. and Güneş, O., "Fitting Cyclic Experimental Load-Deformation Data to The Pivot Hysteresis Model Using Genetic Algorithm", *International Conference On Civil Engineering, Architecture and City Scape (ICCACS)*, (2016).
- [7] Tayfur B., "Perde duvarlarda bırakılan pencere boşluklarındaki boyut etkilerinin SAP2000 OAPI ile incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi*, (2018).
- [8] Karakaş, A.İ., "Elastik zemine oturan kule tipi yapıların SAP2000-OAPI kullanarak yapısal analizi ve optimum tasarımı", *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi*, (2017).
- [9] Hussein, G. and Taysi, N., "Genetic Algorithm Optimization of Space Frame, 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, Albania 23-25 May (2013).
- [10] Fu, J., Wu, B., Wu, J., Deng, T. And Pi, Y., "Zhuang-Ning Xie_Wind resistant size optimization of geometrically nonlinear lattice structures using a modified optimality criterion method", *Engineering Structures*, 173: 573–588, (2018).
- [11] Artar, M. and Daloğlu, A.T., "Optimum weight design of steel space frames with semi-rigid connections using harmony search and genetic algorithms", *Neural Comput & Applic*, 29: 1089–1100, (2018).
- [12] Mortazavia, A., Toğan, V. and Moloodpoor, M., "Solution of structural and mathematical optimization problems using a new hybrid swarm intelligence optimization algorithm", *Advances in Engineering Software*, 127: 106-123, (2019).
- [13] Sextos, A.G. and Balafas, G.K., "Using the new SAP2000 open application programming interface to develop an interactive front end for the modal push over analysis of bridges", *COMPdyn 2011 3rd ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering* Corfu, Greece, 25–28 May (2011).
- [14] Weinstein, J.C., Sanayei, S. and Brenner, B.R., "Bridge Damage Identification Using Artificial Neural Networks", *Journal of Bridge Engineering*, 223(11): 04018084, (2018).
- [15] Talaei, S., Beitollahi, A., Moshirabadi, S. and Fallahian M., "Vibration-based Structural Damage Detection Using

- Twin Gaussian Process (TGP)”, *Structures*, 16: 10–19, (2018).
- [16] Sanayei, M., Rohela, P., “Automated finite element model updating of full-scale structures with PARAmeter Identification System (PARIS)”, *Advances in Engineering Software*, 67: 99–110, (2014).
- [17] Abdeljaber, O., Avci, O., Kiranyaz, M.S., “Boashash, B., Sodano, S. and Inman, D.J, 1-D CNNs structural damage detection: Verification for on a structural health monitoring benchmark data”, *Neurocomputing* 275: 1308–1317, (2018).
- [18] Kılıç, İ., Bozdoğan, K. B., Aydın, S., Gök, S. G. ve Gündoğan S., “Kule tipi yapıların dinamik davranışının belirlenmesi: Kırklareli Hızırbey Camii minaresi örneği”, *Politeknik Dergisi*, 23(1): 19-26, (2020).
- [19] Topal, U., Dede, T., Öztürk, H.T., “Stacking Sequence Optimization for Maximum Fundamental Frequency of Simply Supported Antisymmetric Laminated Composite Plates using Teaching–Learning–Based Optimization”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(6): 2281-2288, (2017).
- [20] Kazaz, İ., Kocaman, İ., “Seismic load capacity evaluation of stone masonry mosques”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(2): 557-573, (2018).
- [21] Fema 454 / Designing for Earthquakes A Manual for Architects (111-137) December (2006).
- [22] Tay, C.G., Koh, C.G., Liew J.Y.R., “Efficient progressive collapse analysis for robustness evaluation of buildings experiencing column removal”, *Journal of Constructional Steel Research*, 122: 395–408, (2016).
- [23] Rashidian, O., Abbasnia, R., Ahmadi R., “Progressive Collapse of Exterior Reinforced Concrete Beam–Column Sub-assemblages: Considering the Effects of a Transverse Frame”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 479–497, (2016).
- [24] Bao, Y., Lew, H.S., Kunnath, S.K., “ Modeling of Reinforced Concrete Assemblies under a Column Removal Scenario”, *Journal of Structural Engineering*, 495–541, (2012).
- [25] Jayashankar, K.M., Jayashankar B.S., ”Progressive Collapse Resistance of Seismically Designed RC Framed Structures”, *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(7): 8619-8624, (2016).
- [26] Ilyas, U., Farooq, S.H., Qazi, A.u., Ilyas, M., “Progressive Collapse of RC Frame Under Different Levels of Damage Scenarios”, *The Nucleus* 54(4): 232-241, (2017).
- [27] Le, J., XueBao, B., Y., “Probabilistic analysis of reinforced concrete frame structures against progressive collapse”, *Engineering Structures*, 313–323, (2014).
- [28] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (2007).
- [29] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, (2018).
- [30] TS500 Türk Standardı: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Şubat (2000).
- [31] STA4-CAD, Structural Analysis for Computer Aided Design, Bilgisayar Destekli Tasarım için Yapısal Analiz, Ankara, (2019).
- [32] MATLAB, The language of technical computing, The Mathworks Inc., Natick, MA, (2014).
- [33] SAP2000, Integrated Software for Structural Analysis and Design: Computers and Struct. Inc. Berkeley, California, (2014).
- [34] Aslay, S.E., Okuyucu, D., “Erzincan Değirmenliköy Kilisesi apsis hasarının teknik olarak araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1): 387-402, (2020)