



## Sismik dirençlilik ve spektral parametrelerin etkisi

*Seismic resilience and the influence of spectral parameters*İbrahim Baran KARAŞİN<sup>1\*</sup><sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Teknik Bilimler M.Y.O İnşaat Teknolojisi Bölümü, [baran.karasin@dicle.edu.tr](mailto:baran.karasin@dicle.edu.tr)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-1215>

## MAKALE BİLGİLERİ

## Makale Geçmişi:

Geliş 28 Temmuz 2023  
Revizyon 27 Ağustos 2023  
Kabul 1 Eylül 2023  
Online 30 Eylül 2023

## Anahtar Kelimeler:

*Dirençlilik esaslı tasarım, deprem, dirençlilik indeksi, spektral ivme*

## ÖZ

Yapıların sismik etkilere karşı direncini değerlendirmek ve depremlerin neden olabileceği zararları minimize etmek, deprem mühendisliğinin temel hedeflerinden birini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, deprem mühendisliğinde oldukça güncel ve son yıllarda giderek önem kazanmakta olan sismik dirençlilik kavramı öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, herhangi bir afet sonrası yapıların eski haline dönebilme becerisi olarak tanımlanabilen Sismik dirençlilik konsepti, formülasyonları ile birlikte ele alınmıştır. Konsept olarak izah edilen sismik dirençlilik kavramının dirençlilik indeksi ile sayısallaştırılması bu indeksi oluşturan parametrelerden biri olan spektral ivme değeri değişken olarak seçilmiştir. Spektral ivme değişimine yaklaşımı farklı olan TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği)2018 ve DBYYHY (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik)2007 yönetmelikleri çerçevesinde 7 katlı bir betonarme yapı için Türkiye'nin 7 farklı bölgesinde 7 farklı şehir seçilmiştir. Örnek yapı olarak ele alınan bu yapıya Artımsal Dinamik Analiz (IDA) metodu ile Kocaeli 1999 depremi uygulanmış ve dirençlilik indeksi hesaplaması için gerekli veriler elde edilmiştir. Söz konusu illere ait hesaplanan PGA değerleri esas alınarak elde edilen dirençlilik indeksleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile dirençlilik indeksi DBYYHY2007'e göre tüm şehirlerde sabit %99,7 iken değişken PGA değerleri ile TBDY2018'e göre %79,7-%99,6 aralığında hesaplanmıştır.

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 28 July 2023  
Received in revised form 27 August 2023  
Accepted 1 September 2023  
Available online 30 September 2023

## Keywords:

*Resilience, earthquake, seismic index, spectral acceleration*Doi: [10.24012/dumf.1334343](https://doi.org/10.24012/dumf.1334343)

\* Sorumlu Yazar

## ABSTRACT

Evaluating the resistance of structures against seismic effects and minimizing the damages caused by earthquakes constitute one of the main objectives of earthquake engineering. In this context, the concept of seismic resilience, which is very current in earthquake engineering and has been gaining importance in recent years, comes to the fore. In this study, the concept of seismic resilience, which can be defined as the ability of structures to recover after any disaster, is discussed together with its formulations. The concept of seismic resilience, which is explained as a concept, is quantified with the resilience index and the spectral acceleration value, which is one of the parameters constituting this index, is selected as a variable. Within the framework of TBEC (Turkish Building Earthquake Code)2018 and TSC(Turkish Seismic Code)2007 regulations, which have different approaches to spectral acceleration change, 7 different cities in 7 different regions of Turkey were selected for a 7-storey reinforced concrete building. The Kocaeli 1999 earthquake was applied to this structure, which was taken as a sample structure, with the Incremental Dynamic Analysis (IDA) method and the data required for the resilience index calculation were obtained. The resilience indices obtained based on the calculated PGA values of these provinces were compared. With this comparison, the resilience index was calculated in the range of 79.7%-99.6% according to TBEC2018 with variable PGA values, while it was constant 99.7% in all cities according to TSC2007.

## Giriş

Türkiye, küresel çapta jeolojik özellikleri, topografik yapısı ve iklimsel koşulları sebebiyle doğal afetlerin sıkça tecrübe edildiği ülkelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ülkenin coğrafi konumu, çevresindeki farklı tektonik plakaların etkileşimi ve yoğun sismik aktivitenin hüküm sürdüğü bir bölgede bulunması, depremler, heyelanlar, sel olayları ve taşkınlar gibi değişik doğal felaketlere karşı bir yatkinlik sergilemektedir. Bu tür afetler, sadece insan hayatını ve ekonomiyi etkilemekle kalmaz, aynı zamanda altyapıyı da ciddi anlamda etkileyebilir.

Türkiye, farklı tektonik levha sınırlarında gerçekleşen hareketlilikler nedeniyle dünyanın en aktif deprem bölgelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Depremler, yerkabuğundaki kırılmaların ani titreşimler halinde yayılması sonucu meydana gelir ve yüzeyleri ile yapıları sarsar. Bu doğal afetler arasında depremler, Türkiye için gerek sıklık bakımından gerek ise en büyük tehlikeleri içermesi bakımından en önemli afetlerden biri olarak öne çıkar. Yüksek sismik aktivite, sayısız depremin yaşanmasına ve bunların büyüklüklerine göre zaman zaman ciddi can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle, yapıların deprem etkisine karşı dayanıklılığını artırmak ve direncini güçlendirmek hayati bir öneme sahiptir.

Depremlerin yıkıcı etkileri, yapıların tasarım ve inşasında mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda, son dönemlerde sismik tasarım alanında öne çıkan bir yaklaşım olan "Direncilik Esaslı Tasarım" (Resilience Based Design-RBD), büyük bir öneme sahiptir. RBD, yapıların sadece enerji sönmülme kapasiteleriyle değil, aynı zamanda deprem sonrasında hızla eski haline dönebilme yetenekleriyle de ilgilenir [1]. Bu yaklaşım, yapıların bireysel değil, bölgesel zarar analizine izin veren bir "Portföy Yaklaşımı" içinde ele alınması gerektiğini savunur. Bina tasarımı, sadece yapısal özelliklerle sınırlı kalmayıp, toplulukları ve insanları da hesaba katan kapsamlı bir yaklaşımla şekillendirilmelidir [2]. Bu şekilde, depreme dayanıklı yapılar inşa etmenin yanı sıra, toplulukların afetlerle başa çıkma ve hızlı bir toparlanma yeteneğini artırmayı amaçlar.

Sismik açıdan sağlam ve dayanıklı yapıların inşa edilmesi, doğal afetlerin etkilerini en aza indirme ve toplulukların güvenliğini sağlama konusunda önemli bir adımdır. Bu bağlamda, yapıların deprem davranışlarının incelenmesi, sismik analizlerin yapılması ve ileri teknolojilerin kullanılması büyük bir öneme sahiptir. Türkiye'nin jeolojik yapısına uygun olarak deprem riskini azaltmaya yönelik stratejilerin benimsenmesi ve sismik direncilik konusunda sürekli bir bilgi birikiminin sağlanması, gelecekteki doğal afetlerin etkilerini minimize etme yolunda hayati bir rol oynayacaktır. Bu çalışma, Türkiye'nin doğal afetlerle mücadelesinde kritik bir adım olan sismik direncilik konusunda bir bakış açısı sunmayı hedeflemektedir.

Bruneau vd., direncilik esaslı tasarım konseptini ilk defa ortaya koymuşlardır [1]. Bu çalışmada, konseptin tanımı, gerekliliği ve öngörülen ihtiyaçlar incelenmiş ve açıklanmıştır. Bu ilk tanımdan sonra, Bocchini ve ekibi sürdürülebilirlik ile direncilik kavramlarını

karşılaştırdıkları çalışmada, bu iki yaklaşımın altyapı sistemleri genelinde ve özellikle köprülerde nasıl uygulandığını incelemiştirler [3]. Aynı yıl içinde Bruneau ve arkadaşları, konseptin metodolojisini genişleterek sismik performans, kırılabilirlik eğrileri ve direncilik fonksiyonları arasındaki ilişkileri kurmuşlardır [4]. Cimellaro vd., afetlere karşı direncilik kavramını ve nicel değerlendirmesini sunan bir çalışma yapmışlardır. Sağlık tesislerinin deprem etkisi altında değerlendirilmesi için ortak bir referans çerçevesi önererek birleşik bir terminoloji oluşturmuşlardır [5]. Ekhlaspoor ve ekibi, İran'daki yapıların sismik direncilik indeksini tahmin edebilen, "Ri" olarak adlandırılan bir web tabanlı yazılım aracı geliştirmişlerdir. Kırılabilirlik eğrileri kullanılarak direncilik indeksini hızla hesaplamamın yanı sıra, Artımsal Dinamik Analiz (IDA) sonuçlarını Ri yazılımına entegre ederek yapısal direnciliğin doğru bir şekilde değerlendirilmesine imkân tanımışlardır [6]. Samadian vd. örnek bir olay olarak Tahran'da inşa edilen ve daha sonra betonarme perde duvarlarla güncellenen bir okulu ele almışlardır. Okulun sismik direnciliğini değerlendirmek için hasar görülebilirlik ve kırılabilirlik eğrilerini kullanmışlardır. Ayrıca, bölgesel ekonomik koşullara dayalı yeni bir metodoloji uygulayarak kayıp tahminleri yapmışlardır. Bu örnekte, sismik direncilik, %50, %20, %10 ve %2 olmak üzere dört tehlike seviyesinde 50 yıllık süre içinde değerlendirilmiştir [7]. Hancılar vd. 2000 yılı sonrası İstanbul'da inşa edilen binalar için ekonomik kayıp ve karşılaştırmalı hasar tahminleri yapmışlardır. Bu amaçla ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) yazılımının Kentsel Deprem Kayıpları Tahmin Modülünü kullanmışlardır [8]. Onat ve Yön 2021 yılındaki çalışmalarında, daha kolay yapısal değerlendirmeler yapılabilmesi için TBDY-2018 kapsamında yeni bir görel kat öteleme oranı sınır durumu önerisi sunmuşlardır [9].

Türkiye'de önceki deprem yönetmelikleri ve haritaları ile güncel yönetmelikler arasındaki değişimleri inceleyen birçok yayın bulunmaktadır. Bu çalışmalarda farklı yapı tipleri için deprem kuvveti hesap yöntemleri, taban kesme kuvvetleri, deplasmanlar, periyot, hedef deplasmanlar, katlar arası ötelemler, spektrum eğrileri ve kesit hasar değerleri incelenmiştir. [10-17]

Karasin vd. [18] çalışmalarında coğrafi konuma özel tasarım spektrumlarının betonarme yapı performansına etkisini incelemiştirler. Sarıtaş vd. [19] çalışmalarında yüksek katlı yapıların sismik performansını ve sismik izolasyonun etkilerini incelemiştirler. Avcil vd. [20] aynı deprem bölgesinde yer alan ancak her yerleşim için özel olarak kullanılan tasarım spektrumlarının minarelerin sismik davranışı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Görgün vd. [21,22] hızlı sismik performans yöntemi ile betonarme yapıların deprem performansları incelemiştirler. Onat vd. [23] çalışmalarında spesifik bir bölgenin, geçmişteki ve günümüzdeki sismotektonik özelliklerini, mevcut yapı stokunu ve depremden önceki yapısal koşulları kısaca sunmak, yapısal performans değerlendirme ve depremden kaynaklanan hasarları ve havza etkisinden kaynaklanan hasarları sınıflandırmayı amaçlamışlardır.

Bu çalışmada dirençlilik esaslı tasarım konsepti çerçevesinde oluşturulan dirençlilik indeksinin tüm parametreleri sabit tutularak spektral ivme değeri değişken olarak seçilmiş ve bu değişkenin dirençlilik indeksine etkisi ortaya konulmuştur. Bu çerçevede yerel sismisiteye yaklaşımları birbirinden farklı olan TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği)2018 ve DBYYHY(Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik) 2007 yönetmelikleri seçilmiş ve kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamaların isabetli olması amacıyla 7 farklı bölgeden 7 farklı ile ait veriler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren yönetmelik ile birlikte mikro bölgeleme yönteminin kırılabilirlik eğrilerinden elde edilen dirençlilik indeksi bakımından da önemli bir yere sahip olduğu vurgulanmıştır.

## Metodoloji

### Dirençlilik Esaslı Tasarım

Sismik tasarım alanında ortaya çıkan Dirençlilik Esaslı Tasarım (Resilience Based Design), son dönemde artan önemiyle geleceğin tasarım yaklaşımı olarak kabul edilmektedir. Bu konseptin temelindeki "Dirençlilik" kavramı, yapıların veya yapı elemanlarının enerji sönmüleme kapasitelerinin ötesinde, deprem sonrasında hızla eski ve sağlam durumlarına geri dönebilme yeteneğini ifade etmektedir. Mevcut analizler genellikle binaları sadece yapılar olarak ele alırken, RBD yaklaşımı, binaların tasarımının, toplumun ve insanların ihtiyaçlarına entegre bir şekilde düşünülmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bir binanın tek başına değil, bölgesel zarar analizine izin verecek bir tür 'Portföy Yaklaşımı' kullanılarak, bir bina grubu olarak düşünülmesi gerektiğini vurgular.

RBD'nin amacı, her yapının işlevini olabildiğince hızlı bir şekilde yeniden kazanmasını sağlayan teknolojilerin ve eylemlerin geliştirilmesidir. Binaların ve altyapının sadece deprem sırasındaki performansını değil, aynı zamanda deprem sonrası toparlanma (iyileşme) süreçleri de hesaba katılmaktadır.

Sonuç olarak, Dirençlilik Esaslı Tasarım, sadece depremin etkilerini minimize etmekle kalmaz, aynı zamanda toplumların ve yapıların deprem sonrası etkilenen bölgelerde eski işlevselliğini hızla geri kazanabilmesi için kapsamlı bir yaklaşım sunar. Bu yöntemin işlem adımları kısaca şu şekildedir: Öncelikle incelenecek yapının belirlenmesi ve ardından sismik tehlike analizi yapılması gerekmektedir. Yapı, bir yazılım programında modellemeye tabi tutulduktan sonra Artımsal Dinamik Analiz prosedürleri, seçilen deprem ivme kayıtlarına göre uygulanır. Kırılabilirlik eğrileri, belirlenen hasar sınırları doğrultusunda Artımsal Dinamik Analiz sonuçları kullanılarak oluşturulur. Bu sürecin sonunda, fonksiyonellik eğrisi çıkarılarak dirençlilik indeksi hesaplanabilir.

### Dirençlilik indeksinin hesaplanması

Sismik dirençlilik kavramı, incelenen yapının deprem etkisi altındayken belirli bir süre içinde eski işlevselliğine geri

dönebilme yeteneğini ifade eder. Dirençlilik kavramının hesaplanma yöntemi Denklem (1) şeklinde sunulmuştur.

$$R = \int_{T_{OE}}^{T_{OE}+T_{LC}} \frac{Q(t)}{T_{LC}} dt \quad (1)$$

Bu bağlamda, TOE, E olayının meydana geldiği zamanı temsil ederken, TLC, sistem kontrol süresini ifade eder. Dirençlilik (R), genellikle önceden belirlenmiş olan kontrol süresi (TLC) içinde belirli bir yapı veya topluluğun önceden belirlenmiş işlevselliği veya performans seviyesini sürdürebilme yeteneğini ifade eden bir fonksiyon olarak kabul edilir [1-3]. İşlevsellik fonksiyonu Q(t), yapılan işlemlerde işlevi temsil eder ve Denklem (2) şeklinde tanımlanmıştır.

$$Q(t) = [1 - L(I, T_{RE})] \times [H(t - t_{OE}) - H(t - (t_{OE} + T_{RE}))] \times f_{REC}(t, t_{OE}, T_{RE}) \quad (2)$$

İşlevsellik fonksiyonu içerisinde yer alan  $L(I, T_{RE})$  kayıp fonksiyonunu (Loss Function) ifade etmekte,  $f_{REC}(t, t_{OE}, T_{RE})$  iyileşme fonksiyonunu (Recovery Function) ifade etmekte,  $H(t - (t_{OE} + T_{RE}))$  birim adım fonksiyonunu (Heavyside step Function) ve  $T_{RE}$  E olayı sonrası iyileşme süresi (Recovery Time of Event E) ifade etmektedir. İyileşme süresi ( $T_{RE}$ ), incelenen sistemin afet sonrası işlevselliğini, önceden belirlenmiş bir süre içinde afet öncesi seviyeye veya daha iyi bir seviyeye getirmek için gereken süreyi ifade etmektedir. İyileşme süresi ( $T_{RE}$ ), genellikle kontrol süresi ( $T_{LC}$ ) değerinden daha kısa olmakta ve depremin şiddeti, inşaat süresi, maliyet, iş gücü gibi pek çok belirsiz parametreye bağlı olmaktadır. Bu nedenle, iyileşme süresi ( $T_{RE}$ ), dirençlilik analizinde belirlenmesi en zor ve en belirsiz parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir.

### Kayıp fonksiyonu (Loss Function)

Genel olarak, bir kayıp fonksiyonu, Denklem (3)'te yer görülebileceği üzere, doğrudan ( $L_D$ ) ve dolaylı ( $L_I$ ) kayıp olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır.

$$L(I, T_{RE}) = L_D + \alpha_I \times L_I \quad (3)$$

Afet sırasında meydana gelen doğrudan kayıplar ( $L_D$ ), yapısal ve yapısal olmayan eleman kayıplarını ve doğrudan can kayıplarını içermektedir. Ancak dolaylı kayıplar ( $L_I$ ) zamansal etkilere bağlıdır. Bir ağırlık faktörü olan  $\alpha_I$ , ilgili yapının toplum için önemine ve yapının diğer sistemler üzerindeki etkisine bağlı olarak dolaylı kayıplarla çarpılır. Bu anlamda  $\alpha_I$  bir önem faktörü katsayısı olarak düşünülebilir. Doğrudan ekonomik kayıplar ( $L_{DE}$ ), Denklem (4) kullanılarak bina onarım giderlerinin yenileme maliyetlerine oranı olarak tanımlanır.

$$L_{DE,K}(I) = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{C_{sj}}{I_s} \prod_{i=1}^{t_i} \frac{(1+\delta_i)}{(1+r_i)} \right\} \cdot P_j \{ \cup_{i=1}^n (R_i \geq r_{tim} \ i|I) \} \quad (4)$$

$P_j$ , belirli bir j performans sınırının aşılma koşullu olasılığını ifade etmektedir. I yoğunluğunda bir afet meydana geldiğinde,  $C_{sj}$ , j performans seviyesinin aşılması sonucu oluşan hasar durumuyla ilgili bina onarım maliyetini temsil eder. Ayrıca  $I_s$ , aynı senaryoda yapının yeniden inşa maliyetini ifade eder. İlk yatırım zamanı ile afet olayının meydana geldiği zaman arasındaki  $t_i$  yılı

cinsinden zaman dilimi için uygulanan yıllık iskonto oranı  $r_i$  ile  $\delta_i$  yıllık amortisman oranını ifade etmektedir.

Her bir yapısal ve yapısal olmayan bileşen  $k$  için doğrudan ekonomik kayıpların ( $L_{DE}(I)$ ) değerlendirilmesi, aşağıdaki Denklem (5)'te yer alan ağırlıklı ortalama ifadesi kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$L_{DE}(I) = \frac{\sum_{k=1}^n W_k \times L_{DE,K}(I)}{N} \quad (5)$$

Bu bağlamda,  $W_k$  sembolü, binadaki her bir yapısal ve yapısal olmayan bileşenin önemini yansıtan bir ağırlık faktörünü temsil etmektedir.  $N$  ise asansörler, tavanlar, bölmeler, cam, borular, mekanik ve elektrikli ekipmanlar gibi yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerin toplam sayısını ifade etmektedir.

$L_{DE,K}(I)$  ifadesi,  $K$  bileşeni ile ilişkili doğrudan ekonomik kaybı belirtirken,  $N$  sistemdeki yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerin toplam sayısını gösterir. Bu yapısal olmayan bileşenler arasında tavanlar, asansörler, mekanik ve elektrikli ekipmanlar, borular, bölmeler gibi örnekler bulunabilir.

### İyileşme fonksiyonu (Recovery Function)

İyileşme süreci oldukça karmaşıktır ve birçok değişkenin, zaman boyutunun ve mekânsal boyutun etkisi altındadır. Aynı topluluk veya bölgeler içinde farklı coğrafi alanlar arasındaki farklılıkları ortaya çıkarabilir. Böylelikle, farklı iyileşme hızları ve farklı iyileşme kaliteleri ortaya çıkabilir. Bu durum, bir yapıyı veya sistemin iyileşme modellemesinin karmaşıklığını göstermektedir.

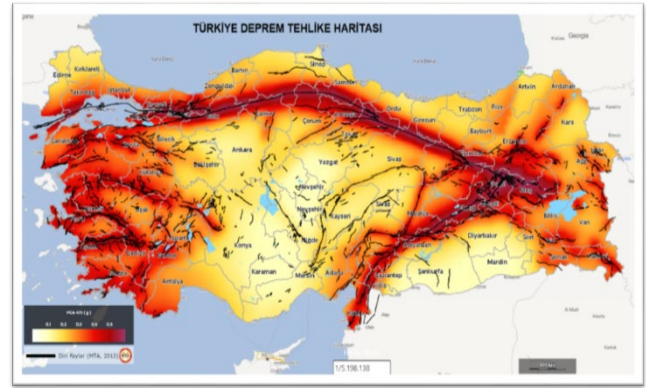
Sisteme ve toplumun hazırlık ve tepkisine bağlı olarak, çeşitli iyileşme fonksiyonu türleri seçilebilir. Genellikle kullanılan iyileşme fonksiyonları lineer, üstel [24] ve trigonometrik [25] olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Bu çalışmada, Denklem (6)'da belirtilen lineer iyileşme fonksiyonu ele alınmıştır.

$$f_{REC}(t, t_{OE}, T_{RE}) = \left\{ 1 - \left( \frac{t - t_{OE}}{T_{RE}} \right) \right\} \quad (6)$$

### Sismik parametrelerin karşılaştırılması

Herhangi bir bölgedeki yapıların tasarımında ve değerlendirilmesinde bölgenin depremsellik unsurları dikkate alınmalıdır. Depremsellik unsurlarının bir bütün olarak kullanılması tasarım spektrumlarının elde edilmesi ile sağlanır. Tasarım spektrumları, bölge ve çevresindeki fay/fay gruplarının özellikleri, bölgedeki deprem aktivitesi, meydana gelen depremlerin özellikleri ve yapının faylara olan uzaklığı gibi birçok parametrenin bir araya getirilmesi ile elde edilir. Yeni yönetmelikte, 2007 yönetmeliğinde deprem tehlikesini tanımlayan ana parametre olan etkin yer ivmesi yerine, kısa periyot ve 1.0 s periyot için Deprem Tehlike Haritasında tanımlanan spektral ivme katsayıları ve yerel zemin etki katsayıları esas alınarak tasarım ivme spektrumu tanımlanmıştır. 2007 deprem yönetmeliğinde deprem parametreleri beş farklı deprem bölgesinin yanı sıra dört farklı zemin sınıfı dikkate alınarak belirlenmekteydi.

Ancak 2019 yılında yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliği ile coğrafi konuma özgü deprem parametre değerleri hesaplanmaktadır [26]. Yeni yönetmelikle birlikte Deprem Bölgeleri yerine Deprem Tehlike Haritası kullanılmıştır. Türkiye'nin güncellenmiş sismik tehlike haritası Şekil 1'de gösterilmektedir. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, 475 yıllık geri dönüş süresine eşdeğer olan 50 yıl içinde %10 olasılıkla ulaşılması veya aşılması beklenen Tepe Yer İvmesi (PGA) değerlerini göstermektedir. PGA konturları sarı renkte olup nispeten düşük tehlike bölgelerini (0,1 g'nin altında), orta tehlike bölgeleri (0,1 ila 0,25 g) sarıdan turuncuya doğru sıralanmakta ve yüksek riskli bölgeler (0,3 g'den fazla) kırmızı renkle gösterilmektedir.



Şekil 1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası [27]

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018), önceki yönetmeliğe kıyasla üç farklı yer hareketi seviyesi (DD-1; DD-3; DD-4) eklenmiştir [28]. DBYYHY-2007'de ise sadece tekrarlanma periyodu 475 yıl ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan standart tasarım depremi yer hareketi seviyesi (DD-2) dikkate alınmıştır [29]. Dört deprem seviyesinden ilk ikisi olan DD-1 ve DD-2'nin ASCE-07'deki tasarım depremlerine karşılık geldiği belirtilmektedir [30]. Mevcut yönetmelikteki dört farklı yer hareketi seviyesi Tablo 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında tüm iller için 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan DD-2 deprem seviyesi dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Deprem yer hareketi düzeyleri [28]

Deprem Düzeyi	Tekrarlanma Periyodu	50 yılda aşılma olasılığı	Açıklama
DD-1	2475	0.02	En büyük deprem düzeyi
DD-2	475	0.1	Standart tasarım deprem düzeyi
DD-3	72	0.5	Sık deprem düzeyi
DD-4	43	0.68	Servis deprem düzeyi

Şekil 1'de verilen kullanımı pratik olan Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından kullanıma açılmıştır. Farklı deprem yer

hareketi seviyeleri, yerel zemin koşulları ve konum (enlem ve boylam) verileri kullanılarak web uygulaması üzerinden herhangi bir konum için deprem parametreleri hesaplanabilmektedir. Kısa periyotlu harita spektral ivme katsayısı ( $S_s$ ) ve 1 saniye periyodu için harita spektral ivme katsayısı ( $S_1$ ), yerel zemin durumu ve herhangi bir coğrafi konum için aşılma olasılığı dikkate alınarak elde edilir. Tasarım spektral ivme katsayıları  $S_{Ds}$  ve  $S_{D1}$ , spektral ivme katsayıları ( $S_s$  ve  $S_1$ ) ve yerel zemin katsayıları ( $F_s$ ,  $F_1$ ) kullanılarak Denklem (7) ve (8)'de gösterildiği gibi dönüştürülmüştür.

$$S_{Ds} = S_s \cdot F_s \quad (7)$$

$$S_{D1} = S_1 \cdot F_1 \quad (8)$$

Seçilen konumlar için farklı aşılma olasılıkları için elde edilen tepe yer ivmesi (PGA) değerleri ve önceki yönetmeliğe göre tepe yer ivmesi değişimleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Her iki yönetmelik içinde DD-2 kullanılırken TBDY-2018 için zemin sınıfı ZC olarak seçilmiştir.

Tablo 2. Deprem yer hareketi düzeyleri

Şehir	En büyük yer ivmesi PGA (g) TBDY2018					DBYYHY 2007
	50 yılda aşılma olasılığı					
	2%	10%	50%	68%	10%	
Adıyaman	0.959	0.514	0.172	0.112		0.4
Çorum	1.145	0.669	0.295	0.173		
Denizli	0.852	0.469	0.189	0.138		
Bingöl	1.137	0.654	0.274	0.140		
Hatay	0.878	0.448	0.148	0.100		
Samsun	1.082	0.624	0.249	0.161		
Yalova	1.012	0.591	0.234	0.146		

Tablo 3. DD-2 için elde edilen değerler

Şehir	PGA(g)	$S_{Ds}$	$S_{D1}$
Adıyaman	0.514	1.472	0.49
Çorum	0.669	1.95	0.70
Denizli	0.469	1.37	0.39
Bingöl	0.654	1.93	0.61
Hatay	0.448	1.26	0.41
Samsun	0.624	1.80	0.65
Yalova	0.591	1.74	0.57

Tablo 3'te, TBDY2018 ile araştırmacıların kullanımına sunulan mikro bölgeleme yöntemi sayesinde her ilden ayrı ayrı elde edilen spektral parametreler verilmiştir. bu çalışmada ele alınan tüm yerleşim birimleri için bir önceki yönetmelikten daha yüksek ve farklı spektral değerler elde edilmiştir. Önceki yönetmelikte her bir deprem bölgesi için

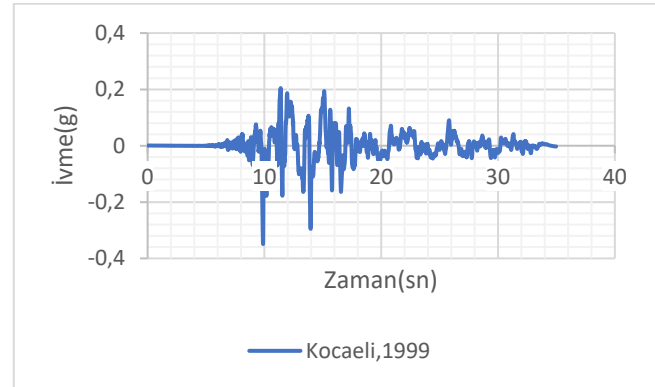
tek bir tasarım spektrumu kullanılırken, mevcut yönetmelikte her bir coğrafi konum için belirli bir tasarım spektrumu kullanılmaktadır. Dolayısıyla, önceki yönetmelik bölgesel bazda olduğu için tüm bu yerleşimler için aynı spektral değerler elde edilmiştir. Bölgeselden coğrafi konum bazlı deprem tehlikesine geçişe bağlı olarak elde edilecek deprem parametrelerinin çok daha anlamlı olabileceği söylenebilir.

### Çalışmada incelenen betonarme yapı

Çalışma kapsamında seçilen şehirlerin tümünde muhtemel olarak bulunabilecek olan 7 katlı X doğrultusunda 4, Y doğrultusunda 2 açıklıklı betonarme bir bina SeismoStruct [27] yazılımında modellenmiştir. Kolon ebatları sabit 40cm\*50cm olarak seçilirken, giriş ebatları sabit 25cm\*60cm olarak seçilmiştir. Binada kullanılan malzemeler TBDY2018 yönetmeliği esas alınarak, beton için 25 MPa dayanıma sahip, donatı dayanımı 420 MPa dayanıma sahip olarak nümerik modelleme tamamlanmıştır. Modellenen bu yapıya 1999 Kocaeli depremi etkilerek zaman-tanım aralığında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Kocaeli depremi verileri

Deprem	İstasyon	M	PGA(g)
Kocaeli, 1999	Sakarya	7.4	0.415

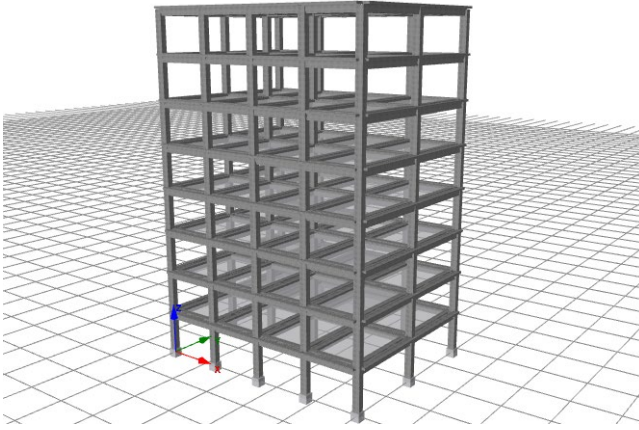


Şekil 2. Kocaeli depremi İvme-Zaman grafiği

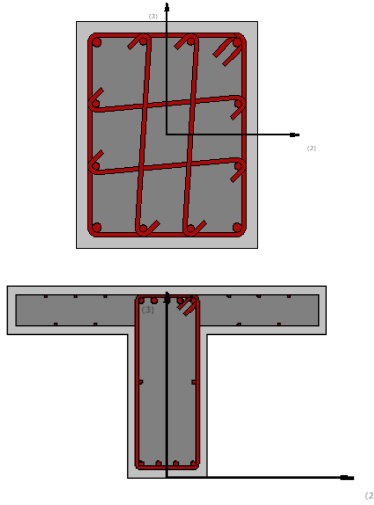
Tablo 4 ve Şekil 2'de verileri gösterilen Kocaeli 1999 depremi, X doğrultusunda gerçekleştirilen IDA analizi 0.1g ile 2g aralığında 0.1g adım aralığı ile ölçeklenerek toplam 20 defa tekrarlanmıştır. Böylelikle her ölçekleme adımı için ayrı ayrı görel kat ötelemeleri hesaplanmış ve dirençlilik indeksi için gerekli veriler elde edilmiştir.

Analize konu olan yapının 3 boyutlu gösterimi Şekil 3'te, kullanılan kolon ve giriş enkesitleri ise Şekil 4'te verildiği gibidir.





Şekil 3. Analiz edilen yapının 3 boyutlu modeli

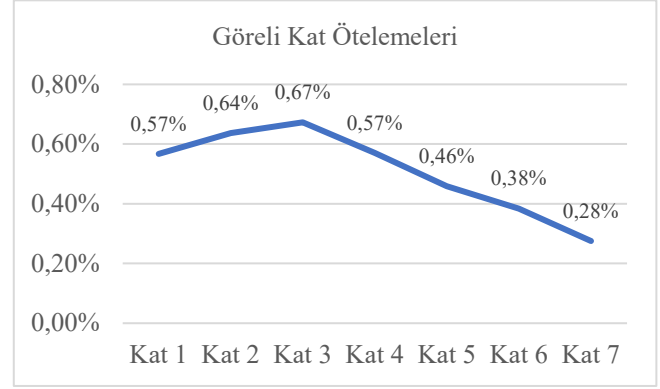


Şekil 4. Kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri

Bu örnek yapının modellenmesi sırasında döşeme kullanılmamış olup rijit diyafram tanımlaması yapılmıştır. Döşemelerde hesaplanan tüm yükler kirişlere düzgün yayılı yük olarak etkilmiştir. Analiz sonuçlarının daha hassas elde edilebilmesi için tüm kolon ve kirişlerde yayılı plastik mafsallı modellemesi sabit 150 lif tanımlamasıyla gerçekleştirilmiştir.

### Bulgular

Çalışma kapsamında incelenen şehirlerin tümünde görülebilecek tipik bir yapı seçilmiş ve modellenmiştir. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizlerin sonuçları sismik dirençlilik indeksinin hesaplanmasında kullanılmıştır. İlk bölümde detaylıca izah edilen sismik dirençlilik indeksinin yapısal olmayan tüm parametreleri sabit olarak seçilmiş ve analiz sonuçlarına doğrudan etki etmemesi sağlanmıştır. Analizler sonucu oluşan maksimum görelî kat ötelemeleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Elde edilen görelî kat öteleme oranları

Maksimum görelî kat ötelemeleri dirençlilik indeksi hesaplamasında kullanılırken sınır değerler belirlenerek ilk bölümde anlatıldığı üzere kırılma eğrilerinden dirençlilik indeksi türetilmiş olup görelî kat ötelemesi sınır değerleri HazUS [32]'den alınan ve Tablo 5'te verilen değerler sınır değerler olarak kullanılmıştır.

Tablo 5. HazUS Görelî kat ötelemesi limitleri

Hafif Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Göçme
0.0025	0.005	0.015	0.04

Aynı yapının farklı illerde bulunması durumu için TBDY2018'e göre yapılan hesaplamalara göre ortaya çıkan dirençlilik indeksleri hesaplanıp Tablo 6'da verildiği gibidir.

Tablo 6. Dirençlilik indeksleri (TBDY2018)

Şehir	PGA(g)	Dirençlilik İndeksi
Adıyaman	0.514	%98
Çorum	0.669	%79.9
Denizli	0.469	%99.6
Bingöl	0.654	%79.7
Hatay	0.448	%99.6
Samsun	0.624	%79.6
Yalova	0.591	%81.7

Aynı yapının farklı illerde bulunması durumunda DBYYHY 2007 yönetmeliğine göre yapılan hesaplamalara göre ortaya çıkan dirençlilik indeksleri tüm iller için sabit 0.4g PGA değerine karşılık Dirençlilik İndeksleri de %99,7 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu bütün illerin 1. Derece deprem bölgelerinde yer alması nedeniyle tamamı aynı ivme değerleri ile değerlendirildiğinden dolayı dirençlilik indeksine sismik parametrelerin katkısı şehirler arasında herhangi bir farklılık göstermemiştir.

## Sonuç

Zaman içinde meydana gelen depremler, bu depremler nedeniyle yaşanan can ve mal kayıpları, bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile yapı teknolojilerindeki yenilikler, depreme dayanıklı yapı tasarımı esaslarında ve deprem tehlike haritalarında değişiklikler yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu süreçte Türkiye de gerekli değişiklikleri, yenilikleri ve eklemeleri yapmıştır. Farklı tarihlerde hem deprem tehlike haritaları hem de depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri açısından önemli değişiklikler yapmıştır. Bu değişikliklerin her biri deprem mühendisliği kapsamında bir kazanım olarak değerlendirilmektedir. Daha detaylı olarak hazırlanan güncel yönetmelikteki önemli değişiklikler arasında farklı deprem yer hareketi seviyeleri ve konuma özgü deprem parametrelerinin hesaplanması yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında farklı konumlar için deprem-yapı parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Yer seçimleri yapılırken, karşılaştırmaların daha doğru yapılabilmesi için, bir önceki deprem bölgesi haritasında aynı derecede deprem bölgesinde yer alan, Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerindeki toplam yedi yerleşim birimi ve hepsinde birer yerleşim birimi dikkate alınmıştır. Önceki yönetmelikte, aynı yerel zemin koşulları altında bu yerleşimlerin tümü için aynı deprem, yapısal parametreler ve tepki spektrumu elde edilmiştir. Ancak her coğrafi konumun kendine has depremsellik özellikleri olduğundan deprem parametreleri değişkenlik göstermekte ve bu değişkenlik yapısal sonuçları etkilemektedir.

Bu çalışmada dikkate alınan tüm yerleşimler birinci derece deprem tehlike bölgesinde yer almaktadır. Önceki

yönetmelikte birinci derece bölgeler için yinelenme periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi seviyesi için etkin yer ivmesi katsayısı 0.40g olarak alınmıştır. Bu değer aynı deprem bölgesinde yer alan tüm yerleşimler için aynı değeri almaktadır. Ancak mevcut yönetmelikte seçilen her yerleşim yeri için PGA değerleri değişmiştir. Aynı deprem yer hareketi seviyesi için PGA değerleri 0.44g ve 0.67g aralığında elde edilmiştir. Bu çalışmada seçilen tüm yerleşim yerlerinde önemli farklılıklar vardır. Bu farklılıklar, TBDY2018 yönetmeliğinin, yerleşimlerin depremsellik unsurlarının özelliklerine bağlı olarak DBYYHY2007'ye göre daha güvenli bir tarafta durduğunu göstermektedir.

Öte yandan, çalışmanın odak noktalarından biri olan dirençlilik esaslı tasarımın diğer tüm parametreleri dışarıda bırakılarak sadece spektral parametrelerin dikkate alınması ile ortaya çıkan dirençlilik indeksi sonuçlarının değişen PGA değerleri ile birlikte belirgin farklar gösterdiği açıktır. Bu durum TBDY2018 yönetmeliği ile birlikte mikro bölgeleme ve sahaya özgü spektral parametrelerin elde edilmesinin önemini bir kez daha göstermiştir.

## Teşekkür

Bu çalışmada söz konusu lokasyonlar için AFAD sismik harita verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan verileri araştırmacıların kullanımına açtıkları için kuruma teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- [1] Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Lee, G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A.M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W.A., Von Winterfeldt, D., "A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities." *Earthq Spectra*, vol. 19(4), pp.733–52, 2003.
- [2] Cimellaro, G.P., "Resilience-Based Design (RBD) modelling of civil infrastructure to assess seismic hazards" *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems*, pp. 268-303, 2013.
- [3] Bocchini, P., Frangopol, D. M., Ummenhofer, T. ve Zinke, T., "Resilience and sustainability of civil infrastructure: Toward a unified approach." *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 20(2), 2014.
- [4] Bruneau, M., Reinhorn, A., "Exploring the concept of seismic resilience for acute care facilities." *Earthq Spectra*, vol. 23(1), pp. 41–62, 2007.
- [5] Cimellaro, G.P., Reinhorn, A.M. ve Bruneau, M., "Framework for analytical quantification of disaster resilience", *Eng. Struct.*, vol. 32(11), pp. 3639-3649, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.08.008>. 2010.
- [6] Ekhaspoor, A., Raissi Dehkordi, M., Eghbali, M., ve Samadian, D., "Pre-event assessment of seismic resilience

index for typical Iranian buildings via a web-based tool." *International Journal of Civil Engineering*, vol. 20, pp. 257-272, 2022.

[7] Samadian, D., Ghafory-Ashtiany, M., Naderpour, H., ve Eghbali, M., "Seismic resilience evaluation based on vulnerability curves for existing and retrofitted typical RC school buildings." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 127, 105844. 2019.

[8] Hancılar, U., Şeşetyan, K. Çaktı, E., "İstanbul'daki 2000 Yılı Sonrası Binalar İçin Tasarım Depremi Altında Karşılaştırmalı Yapısal Hasar ve Mali Kayıp Tahminleri." *Teknik Dergi*, vol. 30(3), pp. 9107-9123. 2019. DOI: 10.18400/tekderg.326939

[9] Onat, O., Yön, B. "A novel inter-story drift limit proposal for TBEC2018 and fragility prognosis with TSC2507." *Journal of Structural Engineering*, vol. 4(2), pp. 068-082. 2021.

[10] Sucuoğlu H., "New improvements in the 2019 building earthquake code of Turkey", *Turk. J. Earthq. Res.* 1(1), 63-75. 2019

[11] Işık, E., Ekinci, Y.L., Sayil, N., Buyuksarac, A., Aydın, M.C., "Time-dependent model for earthquake occurrence and effects of design spectra on structural performance: a case study from the North Anatolian Fault

- Zone, Turkey”, *Turkish J. Earth Sci.*, 30(2), 215-234. 2021 <https://doi.org/10.3906/yer-2004-20>.
- [12] Adar, K., Büyüksaraç, A., Işık, E., Ulu, A.E., “Comparison of 2007 and 2018 seismic codes in the scope of structural analysis”, *Eur. J. Sci. Techn.*, 25, 306-317. 2021 <https://doi.org/10.31590/ejosat.906347>.
- [13] Işık, E., Harirchian, E., Bilgin, H., Jadhav, K., “The effect of material strength and discontinuity in RC structures according to different site-specific design spectra”, *Res. Eng. Struct. Mater.*, 7(3), 413-430. 2021 <http://dx.doi.org/10.17515/resm2021.273st0303>.
- [14] Işık, E., Fatih Avcil, F., Harirchian, E., Arkan, E., Bilgin, H., ve Özmen, H.B. “Architectural Characteristics and Seismic Vulnerability Assessment of a Historical Masonry Minaret under Different Seismic Risks and Probabilities of Exceedance” *Buildings* 12, no. 8: 1200. 2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12081200>
- [15] Avcıl, F., Işık, E., Büyüksaraç, A. “The effect of local soil conditions on structure target displacements in different seismic zones.” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(4) , 1000-1011 . 2022. DOI:10.17714/gumusfenbil.1107506
- [16] Işık, M.F., Avcil, F., Harirchian, E., Bülbül, M.A., Hadzima-Nyarko, M., Işık, E., İzol, R., Radu, D. “A Hybrid Artificial Neural Network—Particle Swarm Optimization Algorithm Model for the Determination of Target Displacements in Mid-Rise Regular Reinforced-Concrete Buildings”. *Sustainability*. 2023; 15(12):9715. <https://doi.org/10.3390/su15129715>
- [17] Arkan, E., Işık, E., Harirchian, E., Topçubaşı, M., Avcil, F. “Architectural Characteristics and Determination Seismic Risk Priorities of Traditional Masonry Structures: A Case Study for Bitlis (Eastern Türkiye).” *Buildings*; 13(4):1042. 2023 <https://doi.org/10.3390/buildings13041042>
- [18] Karasin, İ.B., Işık, E., Demirci, A., Aydın, M.C., “Coğrafi konuma özel tasarım spektrumlarının betonarme yapı performansına etkisi”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1319-1330. 2020. <https://doi.org/10.24012/dumf.682377>.
- [19] Saritaş, F., Bedirhanoglu, I., Konak, A., Keskin, M.S. “Effect of Seismic Isolation on the Performance of High-Rise Buildings with Torsional Instability.” *Sustainability*; 15(1):36. 2023 <https://doi.org/10.3390/su15010036>
- [20] Avcil, F., Işık, E., Bilgin, H., Baytan, H.Ö. “TBDY-2018’de verilen tasarım spektrumlarının anisals yığma yapı sismik davranışına etkisi”, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(16), 165-177. 2022. <https://doi.org/10.54365/adyumbd.1051120>
- [21] Görgün, H., Kaya, D., Öncü, M. E., Çetin, S. Y. “On performance-based seismic assessment method for medium-rise RC buildings.” *Gradevinar*, 71(08.), 663-672. 2019.
- [22] Görgün, H., Kaya, D. Hızlı sismik performans değerlendirme yöntemi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(4), 685-694. 2017.
- [23] Onat, O., Yön, B., Öncü, M. E., Varolgüneş, S., Karaşin, A., Cemalgil, S. “Field reconnaissance and structural assessment of the October 30, 2020, Samos, Aegean Sea earthquake: an example of severe damage due to the basin effect. ‘*Natural Hazards*, 112(1), 75-117. 2022.
- [24] Singh, R. R., Bruneau, M., Stavridis, A., ve Sett, K. “Resilience deficit index for quantification of resilience.” *Resilient Cities and Structures*, vol. 1(2), pp. 1-9. 2022.
- [25] Yin, C., Kassem, M. M., ve Mohamed Nazri, F., “Comprehensive Review of Community Seismic Resilience: Concept, Frameworks, and Case Studies.” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2022, 2022.
- [26] Isik, E., Karasin, I.B., and Karasin, A. "The effect of different earthquake ground motion levels on the performance of steel structures in settlements with different seismic hazards." *Structural Engineering And Mechanics* 84, no. 1: 85-100. 2022.
- [27] <https://tdth.afad.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 08.08.2023)
- [28] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete; 30364, 2018.
- [29] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara, 2007.
- [30] Güler, K., Celep, Z. “On the general requirements for design of earthquake resistant buildings in the Turkish Building Seismic code of 2018”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 737(1), 012015. 2020.
- [31] Seismosoft, “SeismoStruct 2022 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures”, available from <https://seismosoft.com/>. 2022.
- [32] FEMA (Federal Emergency Management Agency), “Hazard Earthquake Model Technical Manual” Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2021. <https://www.fema.gov/flood-maps/tools-resources/flood-map-products/hazus/user-technical-manuals>.