Dicle University Journal of Engineering (DUJE)
web: http://dergipark.gov.tr/dumf

Araştırma Makalesi / Research Article

# Coğrafik Konuma Özel Tasarım Spektrumlarının Betonarme Yapı Performansına Etkisi

## *The Effect of Site-Specific Design Spectra for Geographical Location on Reinforced-Concrete Structure Performance*

**İbrahim Baran Karaşin[1*], Ercan Işık[2], Alper Demirci[3], M. Cihan Aydın[4],**

[1]Arş. Gör. Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, barankarasin@gmail.com
[2]Doç. Dr., Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, eisik@beu.edu.tr
[3]Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü alperdemirci@comu.edu.tr
[4]Prof. Dr., Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, mcaydin@beu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi*:

Geliş: 30 Ocak 2020
Düzeltme: 27 Mayıs 2020
Kabul: 3 Haziran 2020

*Anahtar kelimeler*:

Deprem, tasarım spektrum, yer hareket düzeyi, coğrafik konum, betonarme, adaptif itme analizi

ÖZET

Bir bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını ve risklerini belirlemede kullanılan önemli parametrelerdir. Yapılar ile ilgili analizlerde o bölgenin depremselliği, spektrum eğrileri ile ifade edilebilmektedir. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile noktaya özel spektrum eğrileri kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Türkiye'deki yedi farklı coğrafik bölgeden birer il seçilerek coğrafik konumun hem deprem parametrelerine hem de yapı performans hesaplamalarını hangi düzeyde etkilediği ortaya konmaya çalışılmıştır. Ankara, Antalya, Diyarbakır, Erzurum İstanbul, İzmir ve Samsun illeri için 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde DD-2 olarak belirtilen yer hareket düzeyi ile yerel zemin sınıfı ZE olarak dikkate alınmıştır. Her il için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, yerel zemin etki katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik spektrum eğrisi için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma ile farklı geometrik konumlarda bulunan fakat aynı zemin özellikleri ve yer hareketi olmasına rağmen deprem parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Coğrafik konumun yapı performans hesaplamalarına etkisi ortaya koymak adına tüm illerde aynı yapısal özelliklere sahip yedi katlı betonarme bir yapı seçilmiştir. Seçilen örnek betonarme yapı için her il için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapı analizinde zemin özelliklerinin dikkate alındığı statik adaptif itme analiz kullanılmıştır. Elde edilen tüm sonuç değerleri karşılaştırılmıştır. Coğrafik konum değişikliği hem deprem parametrelerini hem de yapısal analiz sonuçları doğrudan etkilemektedir. Çalışma, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin sahaya özel deprem parametrelerinin bir kazanım olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Herhangi bir noktada yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler aynı olsa bile bölgenin depremsellik öğelerinin dikkate alınması gerekmektedir.

*Doi: 10.24012/dumf.682377*

ARTICLE INFO

*Article history*:

Received: 30 January 2020
Revised: 27 May 2020
Accepted: 3 June 2020

*Keywords*:

Earthquake, design spectra, ground motion level, geographical location, Reinforced-concrete, adaptive pushover analysis

ABSTRACT

Seismicity, local soil conditions and structural properties of a region are important parameters in order to determinate behavior of structures under earthquake impacts and seismic risks. The seismicity of that region can be expressed with spectrum curves in the analysis of the structures. Specific spectrum curves of specific points have begun to be used with " Turkey Seismic Building Regulations " which entered into force in 2019. In this study, the effect of geographical regions on both earthquake parameters and structure performance calculations was investigated by selecting one district in each different geographic region in Turkey. The probability of exceedance in 50 years 10% (repetition period of 475 years) for provinces of Ankara, Antalya, Diyarbakir, Erzurum, Istanbul, Izmir and Samsun and ground motion level DD-2 and the local soil class ZE as specified in the Turkey Building Earthquake Regulation are considered. Short period map spectral acceleration coefficient, maximum ground acceleration, maximum ground velocity, local ground effect coefficients, design spectral acceleration coefficients, horizontal and vertical elastic spectrum curve were calculated for each province. In this study, although the same ground characteristics and ground motion are found in different geographical locations, changes in earthquake parameters were investigated. A seven-storey reinforced concrete structure with the same structural features was selected in all provinces in order to reveal the effect of geographic location on building performance calculations. The analysis of the selected sample reinforced concrete structure was carried out for each province. In the structural analysis, static adaptive pushover analysis was used for soil properties were taken into consideration. All obtained results were compared. Geographical location change affects both earthquake parameters and structural analysis results directly. This study reveals, it is a gain that using site-specific seismic parameters according to updated Turkey Seismic Design Code. Even if local soil conditions and structural characteristics are the same at any point, seismicity elements of the region should be taken into consideration.

* Sorumlu yazar / Correspondence
İbrahim Baran KARAŞİN
✉barankarasin@gmail.com

Please cite this article in press as İ. B. Karasin, E. Isık, A. Demirci, M. C. Aydin, Coğrafik Konuma Özel Tasarım Spektrumlarının Betonarme Yapı Performansına Etkisi", DUJE, vol. 11, no.3, pp. 1319-1330, September 2020.

## Giriş

Deprem etkisindeki yapıların tasarım ve değerlendirmesinde bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu faktörlerin her birinin birbirleri ile karşılıklı etkileşimi hem deprem ile ilgili parametreleri hem de yapısal analiz sonuçlarını etkileyecektir. Herhangi bir bölgede oluşan depremlerin özellikleri, bölge içerisinde yer alan fay/fay grupları ve bunların özellikleri, yapıların fay/fay gruplarına olan uzaklıkları, bölgenin deprem geçmişi gibi veriler, o bölgenin depremselliğini belirlemekte kullanılmaktadır. Yapılaşma planlanan bölgede bulunan zeminlerin cins ve tabaka kalınlıkları, yer altı suyunun varlığı ve seviyesi ile zemin taşıma gücü özellikleri genel olarak yerel zemin koşulları olarak ifade edilmektedir. Yapısal özellikler olarak taşıyıcı sistem türü, taşıyıcı sistem elemanlarının boyut ve özellikleri ile ifade edilebilmektedir. Bu parametrelerin yapısal hesaplamalarda bir anlamda süperpoze edilmesi ile yapıların olası depremler altındaki tasarım ve dayanımları daha bilimsel ve gerçekçi olacaktır. Bunun sonucu olarak oluşabilecek hasar dereceleri daha aşağı düzeylere çekilebilecektir. Depremler sonucu oluşan hasarların varlığı ve oluşma sebepleri bu parametrelerin birlikte kullanılmasının zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

Deprem – zemin – yapı etkileşiminin doğru olarak belirlenmesi ve yapısal hesaplamalara yansıtılması, depreme dayanıklı yapı tasarımına anlam katmaktadır. Yerel zemin koşulları ve bölgenin depremsellik öğelerinin birleşmesi genel olarak tasarım spektrumları ile ifade edilmektedir. Yerel zemin koşulları tasarım spektrumlarını önemli bir şekilde değiştirmektedir. Değişen spektrum eğrileri yapılardaki yer değiştirme istemlerini de değiştirmektedir. Daha yüksek değerlerde yer değiştirme talepleri karşılanmayan yapılarda hasar tahminlerinin ve bina performanslarının gerçek değerlerden uzaklaşacağı açıktır [1-8]. Bu parametrelerin birleşmesi ve analizlerde kullanılması yapı ile ilgili deprem yönetmeliklerinde de kendine yer bulmuştur.

Yapı hesaplamalarında kullanılacak olan deprem yönetmelikleri, zaman içerisinde ortaya çıkan ihtiyaç ve yeni teknolojilerden dolayı yenilenebilmekte veya güncellenebilmektedir. Her yeni yönetmelik yapı tasarım ve değerlendirilmesi için bir kazanımdır. Türkiye'de de 2007 yılından itibaren yürürlükte olan Deprem Yönetmeliği 2018 yılında güncellenmiş ve yenilenmiştir. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile deprem etkilerinin belirlenmesi adına Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılmaya başlanmıştır [9]. Bu çalışma kapsamında bu uygulama kullanılmıştır. Uygulama ile herhangi bir coğrafik nokta için yerel zemin koşulları ve deprem yer hareket düzeyi seçilerek deprem parametreleri hesaplanabilmektedir. Bu parametreler depreme dayanıklı yapı tasarımında doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır. Elde edilecek farklı deprem parametre değerleri yapısal analizleri doğrudan etkileyecektir.

Çalışmada, yapılaşma planlanan coğrafi konum değişken olarak seçilmiştir. Diğer tüm parametreler sabit olarak alınmıştır. Çalışma, aynı yerel zemin koşulları, aynı deprem yer hareket düzeyi ve aynı yapısal özelliklere sahip betonarme bir yapı için farklı coğrafik konumların etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'de yedi coğrafi bölgeyi temsil etmek adına her bir bölgeden birer il seçilmiştir. Bölgelerinde, diğer illere göre daha yoğun nüfusa sahip olduklarından dolayı Ankara, Antalya, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir ve Samsun örnek iller olarak seçilmiştir. Her bir il için rastgele belirlenen coğrafi konum veri girişi ile İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak deprem parametrelerinin sayısal değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmaya konu olan tüm iller için yapılan seçimlerde zemin sınıfı ZE olarak ve deprem yer hareketi olarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi DD-2 dikkate alınmıştır. Bu iki değer tüm iller için aynı şekilde veri olarak girilmiştir. Çalışma ile her bir il için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, yerel zemin etki katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik spektrum eğrileri için hesaplamalar yapılmıştır. Her bir coğrafi konum için elde edilen yatay tasarım spektrum eğrisi yardımı ile yedi katlı betonarme bir yapı tasarlanarak her bir il için ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, yazılım programı içerisinde yer alan statik adaptif itme

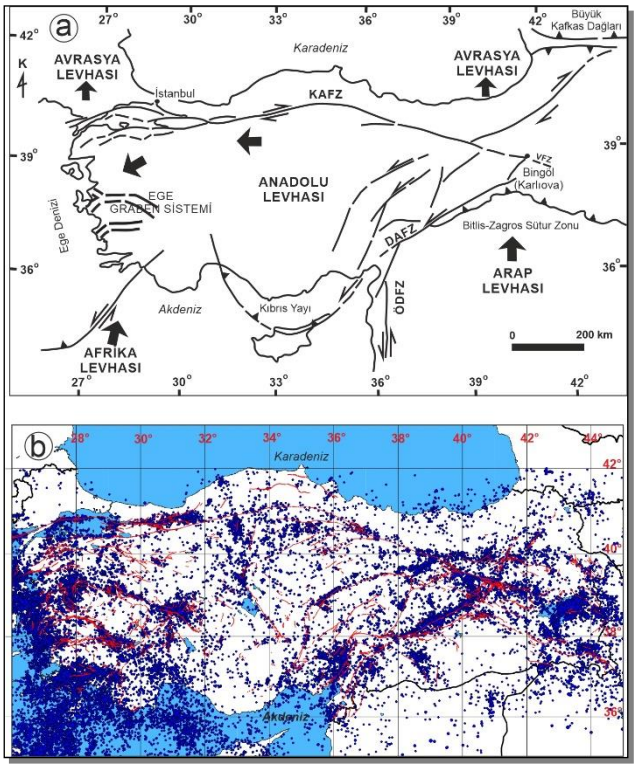
analizi kullanılmıştır. Analizler sonucu taban kesme kuvveti, yer değiştirme, rijitlik ve hasar durumları için yer değiştirme değerleri her bir il için hesaplanmıştır. Çalışma ile farklı coğrafi konumlar için deprem ve yapısal analiz sonuç parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Yapıların depreme dayanıklı tasarımı noktasında yerel zemin koşulları ve yapısal özelliklerinin yanı sıra depremsellik öğelerinin ve bunların etkilerinin bilinmesi ile mühendislik işlemleri anlam kazanacaktır. Çalışma ile yapı – zemin – deprem üçlemesinin önemi bir kez daha ortaya konulmaktadır.

Çalışmada öncelikle Türkiye'nin tektonik yapısı ve deprem tehlikesi hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde coğrafi konum değişiminin deprem parametrelerine etkisi incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise her bir coğrafi konuma göre elde edilen yatay tasarım spektrum eğrileri ile örnek olarak seçilen betonarme yapı analiz sonuç parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak öneriler yapılmıştır.

## Türkiye'nin Tektonik Yapısı

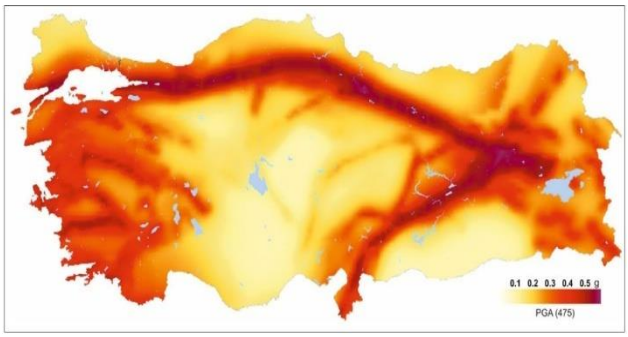
Türkiye, coğrafi konumu ve Avrasya-Arap ve Avrasya-Afrika plakalarının etkileşimi nedeniyle çok sayıda depreme maruz kalmaktadır. Bu etkileşim, Türkiye ve çevresinde önemli sismik kaynakların gelişmesinin ana nedenidir. Anadolu plakası, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) arasındaki bölgede batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareket kuzeye doğru hareket eden Arap Plakası ile kuzeydoğu yönünde nispeten daha yavaş hareket eden Avrasya Plakası arasındaki çarpışmanın bir sonucudur. KAFZ, Karlıova Üçlü Birleşim Noktasından başlayıp, Karadeniz kıyı şeridinin yaklaşık 100 km güneyinde Karadeniz'e paralel olarak konumlanmış, yaklaşık 2000km uzunluğundadır. KAFZ'nun batıya doğru devam etmesi, kuzey ve güney sınırlarında horst yapısı ile Armutlu Yarımadası'na ulaşmadan önce iki kısma ayrılır ve Marmara Denizi'ne ulaşır. Ayrıca üçüncü bir kısmı da Bursa ovasından geçer. Bu kısmın devamı kuzeydeki Saroz Körfezi'nde ve güneydeki Biga Yarımadası'nda gözlenmektedir. KAFZ, tarihsel ve aletsel dönemlerde önemli depremlere maruz kalmıştır.

Benzer deformasyon özelliklerine ve sismisiteye sahip olmasına rağmen, DAFZ, KAFZ kadar iyi bilinmemektedir. DAFZ, yaklaşık 550km uzunluğunda olup Karlıova'da KAFZ ile birleşmektedir (Şekil 1a). Bitlis Kenet Kuşağı, Güneydoğu Türkiye'den İran'daki Zağros dağlarına kadar uzanan, kıta-kıta ve kıta-okyanus çarpışma sınırı olarak tarif edilecek bir komplekstir. Karlıova üçlü birleşim noktasının doğusunda kalan K-G yönlü sıkışma tektonik rejimi ile karakterize edilmektedir (Şekil 1a) [10,11]. Bunların yanı sıra, ülkemizdeki önemli tektonik yapılardan biri Batı Anadolu Graben Sistemi'dir. Ege graben sistemi olarak da adlandırılan bu bölgede, K-G yönlü genişleme oranı yılda 30-40 mm civarındadır [12,13]. Bölgede, neredeyse tüm graben sınır fayları derinlikle düzleşen listrik faylardır [14], dünyanın en sismik olarak aktif bölgelerinden biri olan Ege Graben Sisteminin, kuruluşundan bu yana%50 kuzey-güney genişlemesine maruz kaldığını belirtmektedir. Diğer bir deyişle, Ege graben sisteminin başlangıcından bu yana Ege'deki kuzey-güney mekânsal mesafesi iki katına çıkmıştır (Şekil 1a). Sonuç olarak, böylesine yoğun ve karmaşık tektonik unsurlara sahip olan Türkiye, bugüne kadar birçok depreme maruz kalmıştır (Şekil 1b).




*Şekil 1. a) Türkiye'deki başlıca neo-tektonik yapılar (Bozkurt, 2001), b) Detaylı aktif faylar [15] ve Ocak 2000'den sonraki depremler (M> 3) [16]*

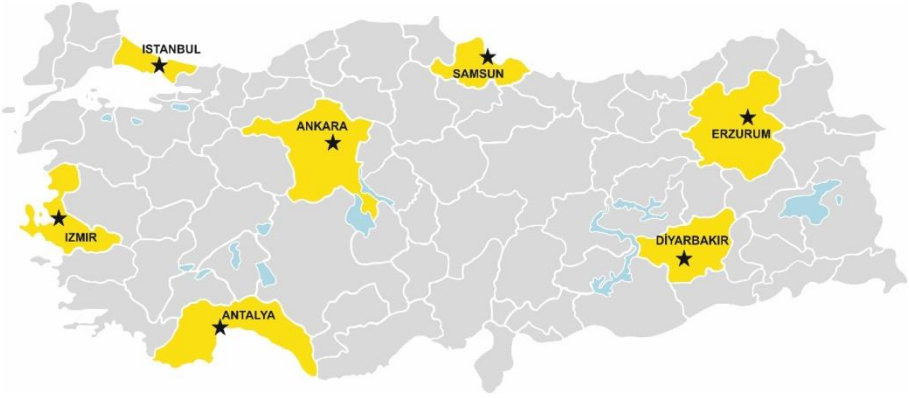
Türkiye'de 01 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile güncellenen Türkiye Deprem Tehlike Haritası Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu harita, 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olması durumunda ulaşılması ve aşılması beklenen en büyük yer ivmesi (PGA) değerlerini göstermektedir. Sarı renge sahip PGA konturları, nispeten düşük bir tehlike bölgesi (0.1 g'ın altında), orta ila tehlikeli bölgeler (0.1g ile 0.25g aralığında) sarıdan turuncu renklere kadar tanımlanır ve yüksek riskli bölgeler (0.3g'dan fazla) kırmızı renk ile temsil edilmektedir.




*Şekil 2. Türkiye deprem tehlike haritası [17]*

**Deprem Parametrelerinin Karşılaştırılması**

Deprem etkileri altında yapılacak yapılarda etkili birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden biri bölgenin depremsellik öğeleridir. Her bir bölge, hatta her bir nokta için depremsellik özellikleri değişken olabilmektedir. Bu çalışma, bu değişikliklerin önemini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda her bir coğrafi bölgeden farklı yerleşim birimleri seçilmiştir. Çalışmada dikkate alınan coğrafi bölgeler ve iller Şekil 3'te gösterilmiştir.




*Şekil 3. Çalışmada dikkate alınan farklı geometrik konumlar*

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018), dört farklı düzeyde deprem yer hareket düzeyi belirlenmiştir (Tablo 1). Çalışma kapsamında tüm iller için DD-2 deprem yer hareket düzeyi dikkate alınmıştır.

*Tablo 1. Deprem yer hareketi düzeyleri (TBDY-2018)*

| Deprem Düzeyi | Tekrarlanma Periyodu | Aşılma Olasılığı (50 yılda) | Tanımı |
|---|---|---|---|
| DD-1 | 2475 | 0.02 | En büyük deprem yer hareketi |
| DD-2 | 475 | 0.1 | Standart tasarım deprem yer hareketi |
| DD-3 | 72 | 0.5 | Sık deprem yer hareketi |
| DD-4 | 43 | 0.68 | Servis deprem hareketi |

TBDY-2018 ile değişen zemin sınıfları ve bu zemin sınıflarına ait özellikler Tablo 2'de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında karşılaştırmaların yapılabilmesi adına yerel zemin sınıfı olarak tüm coğrafik konumlar için ZE sınıfı dikkate alınmıştır.

*Tablo 2. Yerel zemin sınıfları (TBDY-2018)*

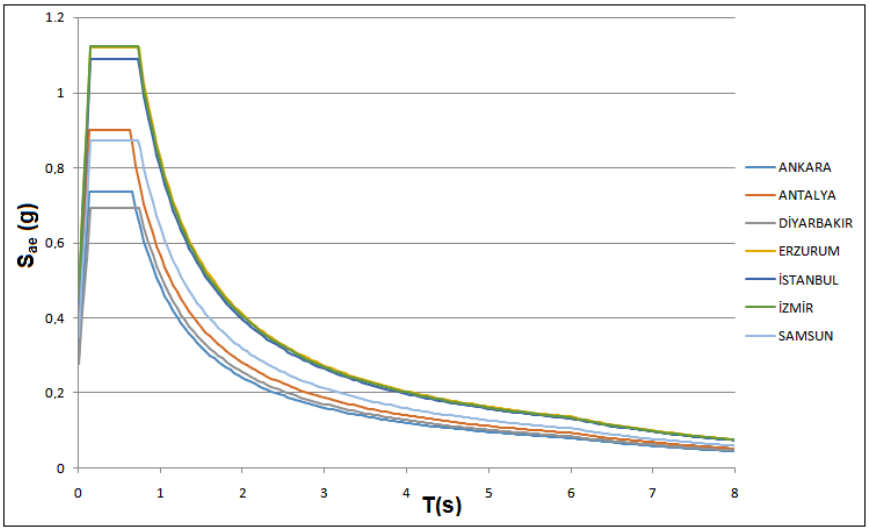
| Yerel Zemin Sınıfı | Zemin Cinsi | Üst 30 metrede ortalama | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $(V_S)_{30}$ [m/s] | $(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm] | $(c_u)_{30}$ [kPa] |
| ZA | Sağlam, sert kayalar | > 1500 | – | – |
| ZB | Az ayrışmış, orta sağlam kayalar | 760 – 1500 | – | – |
| ZC | Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar | 360 – 760 | > 50 | > 250 |
| ZD | Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları | 180 – 360 | 15 – 50 | 70 – 250 |
| ZE | Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%\ 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası $(c_u < 25$ kPa$)$ içeren profiller | < 180 | < 15 | < 70 |
| ZF | Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler:<br>1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.),<br>2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer,<br>3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI$ >50) killer,<br>4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer. | | | |

Çalışma kapsamında Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak her bir coğrafik bölgede yer alan her bir il için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ($S_S$), 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı ($S_1$), en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV), yerel zemin etki katsayıları ($F_S$ ve $F_1$), tasarım spektral ivme katsayıları (Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ($S_{DS}$) ile 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı ($S_{D1}$) ve yatay ile düşey elastik spektrum değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyot değerleri olan TA ve TB, düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyot değerleri TAD ve TBD, her bir coğrafik konum için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Geometrik konum farklılaşmasının dikkate alınması için seçilen her bir il için elde edilen deprem parametre değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3'te gösterilmiştir.

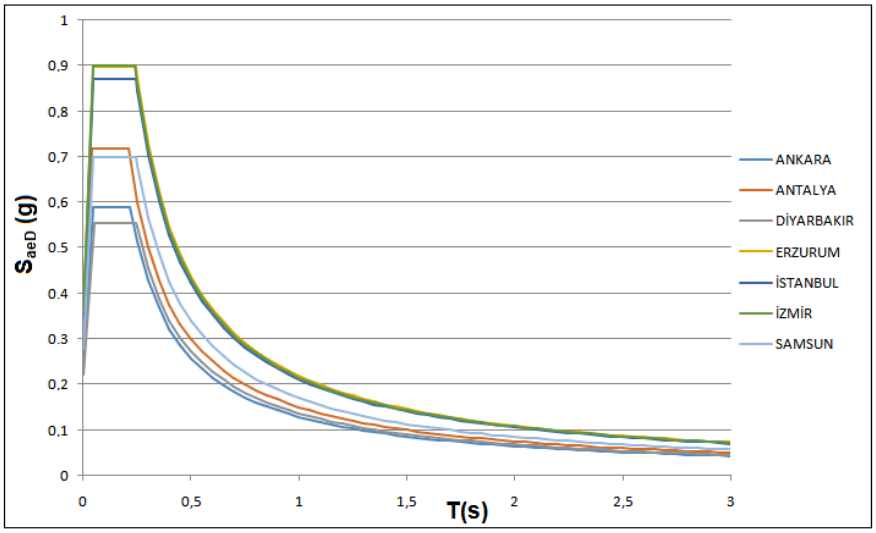
*Tablo 3. Deprem parametre değerlerinin karşılaştırılması*

| Parametre | Ankara | Antalya | Diyarbakır | Erzurum | İstanbul | İzmir | Samsun |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **$S_S$** | 0.344 | 0.561 | 0.310 | 1.091 | 0.966 | 1.128 | 0.527 |
| **$S_1$** | 0.120 | 0.150 | 0.130 | 0.285 | 0.267 | 0.277 | 0.186 |
| **PGA** | 0.149 | 0.262 | 0.138 | 0.458 | 0.396 | 0.460 | 0.224 |
| **PGV** | 10.131 | 11.054 | 10.327 | 27.695 | 24.410 | 27.994 | 15.598 |
| **$F_S$** | 2.137 | 1.602 | 2.232 | 1.027 | 1.127 | 0.998 | 1.657 |
| **$F_1$** | 4.020 | 3.750 | 3.930 | 2.875 | 2.965 | 2.915 | 3.426 |
| **$S_{DS}$** | 0.735 | 0.899 | 0.692 | 1.121 | 1.089 | 1.125 | 0.873 |
| **$S_{D1}$** | 0.482 | 0.563 | 0.511 | 0.819 | 0.792 | 0.807 | 0.637 |
| **$T_A$** | 0.131 | 0.125 | 0.148 | 0.146 | 0.145 | 0.144 | 0.146 |
| **$T_B$** | 0.656 | 0.626 | 0.738 | 0.731 | 0.727 | 0.718 | 0.730 |
| **$T_{AD}$** | 0.044 | 0.042 | 0.049 | 0.049 | 0.048 | 0.048 | 0.049 |
| **$T_{BD}$** | 0.219 | 0.209 | 0.246 | 0.244 | 0.242 | 0.239 | 0.243 |

Her bir il için İnteraktif Web Deprem Uygulaması yardımı ile elde edilen yatay elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 4'te gösterilmiştir. Çalışmada dikkate alınan tüm iller için elde edilen düşey elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.




*Şekil 4. Yatay elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması*




*Şekil 5. Düşey elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması*

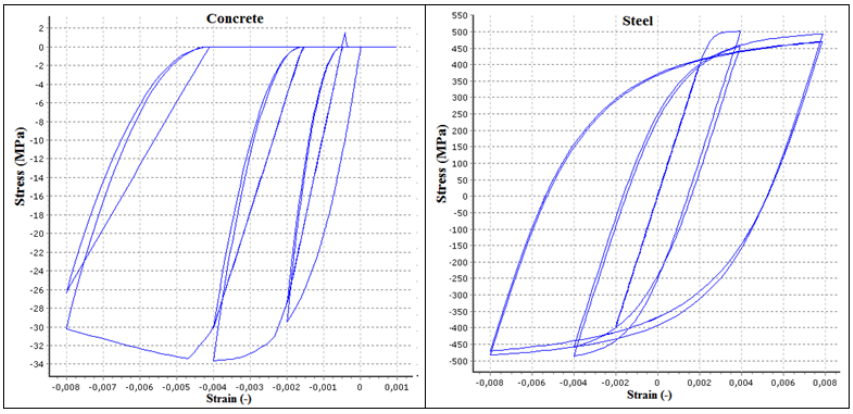
**Yapı Performans Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması**

Farklı coğrafik konumlar için yapısal analizler Seismostruct yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yazılım içerisinde bulunan statik adaptif itme analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde yapının yatay yükler altındaki kapasitesini belirlemek için yer hareketine ait frekans içeriği ve yapının deformasyonunun, dinamik davranışına etkisi tamamı ile dikkate alınmaktadır [18-23]. Adaptif itme analizinde, analiz boyunca her adımda gerçekleştirilen özdeğer analizlerinden elde edilen mod şekilleri ve katılım faktörleri dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem, özellikle yerel zemin koşullarının dikkate alındığı sahaya özel spektrumlarının kullanılmasına imkan tanıyan bir yöntemdir. Yöntem yardımı ile yapı için yük

dağılımları, şekil değiştirme profilleri elde edilebilmektedir Geleneksel itme analizinde dikkate alınan girdi, işlevsellik ve yük kontrol tipleri statik adaptif itme analizi ile benzerdir [24-26].

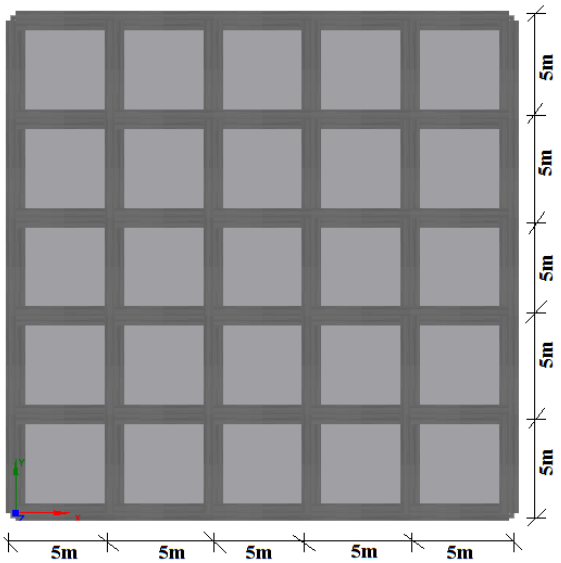
Çalışma kapsamında tüm iller için aynı özelliklere sahip yedi katlı betonarme bir bina örnek olarak seçilmiştir. Yapı simetrik olarak seçildiğinden sadece bir doğrultuda hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Analizler akademik lisanlı olarak Seismostruct yazılımında gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak seçilen betonarme yapıda yapı önem sınıfı olarak IV. sınıf ve sönüm oranı olarak %5 değeri dikkate alınmıştır.

Yapı malzemelerinin yük altındaki davranışları matematiksel modeller yardımı ile yapılmaktadır. Malzeme modelleri yapı tasarım ve değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir [4,27,28]. Örnek olarak seçilen betonarme bina için tüm illerde beton için yazılım programı içerisinde yer alan Mander vd. (1988) [29] tarafından önerilen doğrusal olmayan beton modeli kullanılmıştır. Çelik malzemesi için de Menegetto-Pinto (1973) [30] tarafından önerilen çelik modeli dikkate alınmıştır. Beton ve çelik için dikkate alınan malzeme modellerine ait gerilme-şekil değiştirme ilişkileri Şekil 6'da verilmiştir.



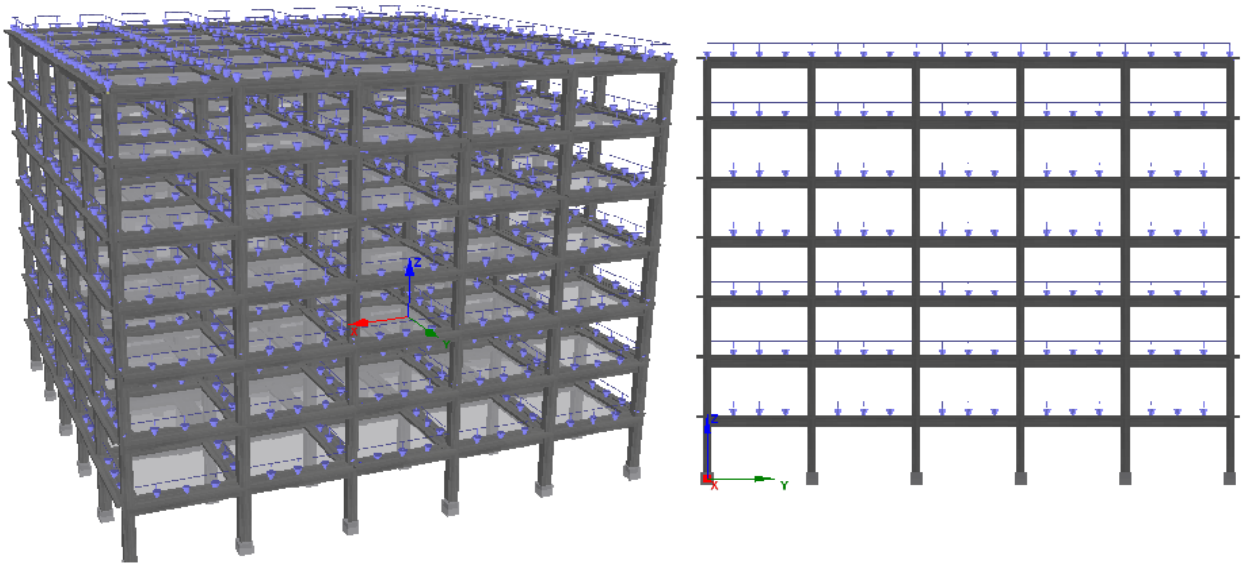

*Şekil 6. Çalışmada dikkate alınan beton ve çelik için malzeme modelleri [31]*

Seçilen betonarme yapıya ait kat kalıp planı Şekil 7'de verilmiştir.



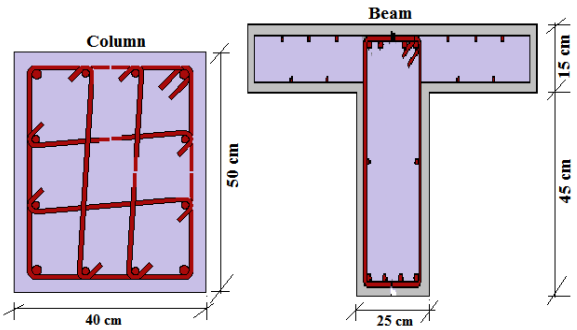

*Şekil 7. Örnek olarak seçilen betonarme yapıya ait kat kalıp planı*

Çalışmada kullanılan betonarme yapı için yazılım programından elde edilen iki ve üç boyutlu yapı modelleri ve uygulanan yüklerin gösterimi Şekil 8‘de verilmiştir.



*Şekil 8. Örnek olarak seçilen BA yapıya ait iki ve üç boyutlu modeller*

Çalışmada dikkate alınan betonarme yapılarda C25-S420 dikkate alınmıştır. Betonarme binada kullanılan kolon ve kiriş en kesitleri Şekil 9‘da verilmiştir. Hem kolon hem de kirişlerde enine donatı olarak ϕ10/10 seçilmiştir. Kolonlarda boyuna donatı olarak köşelerde 4ϕ20, diğer boyuna donatılar ise 8ϕ16 olarak seçilmiştir. Kirişlerde ise alt ve üst bölgede 4 ϕ14 ve gövde donatısı olarak de 2ϕ12 seçimi yapılmıştır.



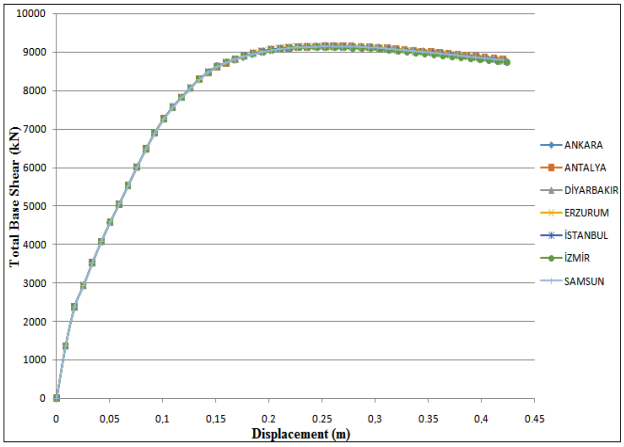

*Şekil 9. Kolon ve kiriş en kesitleri*

Çalışma kapsamında özdeğer (eigenvalue) analiz sonucu elde edilen periyot değerlerinin karşılaştırılması Tablo 4‘te gösterilmiştir.

*Tablo 4. Elde edilen periyot değerlerinin karşılaştırılması*

| Mod | Periyot (sn) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ankara | Antalya | Diyarbakır | Erzurum | İstanbul | İzmir | Samsun |
| 1 | 0.55194 | 0.55194 | 0.55194 | 0.55194 | 0.55194 | 0.55194 | 0.55194 |
| 2 | 0.482932 | 0.482932 | 0.482932 | 0.482932 | 0.482932 | 0.482932 | 0.482932 |
| 3 | 0.481718 | 0.481718 | 0.481718 | 0.481718 | 0.481718 | 0.481718 | 0.481718 |
| 4 | 0.183109 | 0.183109 | 0.183109 | 0.183109 | 0.183109 | 0.183109 | 0.183109 |
| 5 | 0.15971 | 0.15971 | 0.15971 | 0.15971 | 0.15971 | 0.15971 | 0.15971 |
| 6 | 0.158542 | 0.158542 | 0.158542 | 0.158542 | 0.158542 | 0.158542 | 0.158542 |
| 7 | 0.108563 | 0.108563 | 0.108563 | 0.108563 | 0.108563 | 0.108563 | 0.108563 |
| 8 | 0.094447 | 0.094447 | 0.094447 | 0.094447 | 0.094447 | 0.094447 | 0.094447 |
| 9 | 0.092558 | 0.092558 | 0.092558 | 0.092558 | 0.092558 | 0.092558 | 0.092558 |
| 10 | 0.077659 | 0.077659 | 0.077659 | 0.077659 | 0.077659 | 0.077659 | 0.077659 |

Çalışma kapsamında örnek olarak seçilen betonarme bina, her il için elde edilen yatay tasarım spektrum eğrileri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu her bir il için taban kesme kuvvetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yerdeğiştirme değerleri olarak idealize edilmiş eğri üzerinde yer alan üç farklı nokta için değerler elde edilmiştir. İlk değer akma anındaki yer değiştirmeyi (dy), ikinci değer intermediate (dint) ve üçüncü değer ise hedef yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Elastik rijitlik değeri (K_elas) ve etkili rijtllik (effective stiffness) (K_eff) değerleri de tüm modeller için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapıda oluşacak hasar durumları için de hedef deplasmanlar hesaplanabilmektedir. Performansa dayalı deprem mühendisliğinde, yapı elemanlarının belirli performans limitlerine ulaşıldığı anların belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu bakımdan her bir yapısal model için yazılım içerisinde yer alan ve uluslar arası kabul gören Eurocode 8 - Part-3 [32], kriterleri dikkate alınmıştır. Buna göre hasar durumları için üç farklı durum belirtilmiştir. Bunlar; göçme öncesi (NC), önemli hasar (SD) ve hasar sınırlaması (DL) olarak dikkate alınmıştır. Bu değerler tüm iller için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapısal hesaplamalar sonucu X doğrultusunda elde edilen tüm değerlerin karşılaştırılması Tablo 5'te gösterilmiştir. Farklı iller için elde edilen statik itme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 10'da verilmiştir.




*Şekil 10. Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması*

*Tablo 5. X doğrultusunda elde edilen sonuç değerlerinin karşılaştırılması*

| İl | Taban Kesme Kuvveti (kN) | Yer değiştirme (m) | K_elas | K-eff | DL | SD | NC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ankara | 9138.21 | 0.1195<br>0.2427<br>0.4193 | 162058.30 | 76450.08 | 0.069 | 0.089 | 0.154 |
| Antalya | 9150.95 | 0.120<br>0.2691<br>0.4199 | 162058.30 | 76236.54 | 0.122 | 0.156 | 0.271 |
| Diyarbakır | 9173.06 | 0.1208<br>0.2524<br>0.4193 | 162058.30 | 75947.62 | 0.064 | 0.082 | 0.143 |
| Erzurum | 9144.60 | 0.1196<br>0.2504<br>0.4729 | 162058.30 | 76469.35 | 0.213 | 0.272 | 0.473 |
| İstanbul | 9143.10 | 0.1196<br>0.2618<br>0.4208 | 162058.30 | 76426.95 | 0.184 | 0.236 | 0.409 |
| İzmir | 9129.16 | 0.1191<br>0.2455<br>0.4745 | 162058.30 | 76635.71 | 0.213 | 0.274 | 0.474 |
| Samsun | 9154.31 | 0.1201<br>0.2518<br>0.4202 | 162058.30 | 76200.25 | 0.104 | 0.134 | 0.232 |

## Sonuçlar

Çalışmanın amacı coğrafik konum değişikliğinin öncelikle deprem ile ilgili parametreleri hangi düzeyde etkilediğini ortaya koymaktır. Coğrafik konum değişikliğinden dolayı değişen deprem parametrelerinin yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını nasıl etkilediği ayrıca hesaplanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye'de yer alan tüm coğrafik bölgelerden birer adet il nüfus yoğunluklarına göre seçilmiştir. Yerel zemin koşulları, deprem yer hareket düzeyi ve yapısal özellikleri her bir ilde aynı seçilerek analizler yapılmıştır. Çalışmada ayrıca Türkiye'nin tektonik yapısı ve depremselliği hakkında bilgiler verilmiştir.

Seçilen tüm iller için elde edilen deprem parametrelerinde farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıkların olması sonuçların gerçekçi olduğunun göstergesidir. Bir önceki deprem yönetmeliğinde belli bölgeler için aynı katsayılar kullanılarak dikkate alınan deprem tehlikesi yerini artık sahaya özel tasarım spektrumlarına bırakmıştır. Kısaca yerel zemin koşulları ve deprem düzeyi değişmemesine rağmen yapı hesaplamalarında kullanılacak olan deprem parametrelerinin tamamı değişkenlik göstermiştir. Bu farklılıkların sebebi, bölgenin depremsellik öğeleri, fay/fay grupları ve bunların özellikleri, belirlenen coğrafik konumların fay/fay gruplarına uzaklığı, bölgenin deprem geçmişi gibi özelliklerden kaynaklandığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Dolaysıyla daha önceki deprem ile ilgili yapı yönetmeliklerinde yer almayan ancak TBDY -2018 ile sahaya hatta noktaya özel deprem hesaplamalarına imkan sağlanması çok büyük bir kazanım olarak ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada ayrıca coğrafik konum değişikliğinden dolayı değişen deprem parametrelerinden elde edilen tasarım spektrumları ile elde edilen yapısal analiz sonuçlarında da farklılıklar elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti, etkin rijitlik ve yer değiştirme değerlerinde değişiklik var iken sadece yapının elastik rijitlik değeri değişmemiştir. Yapının elastik rijitlik değerinin zemin ve depremsellik öğelerinden bağımsız olarak hesaplanması bu değeri sabit yapmıştır. Tasarım spektrumların değişmesi sonucu yer değiştirme istem taleplerinde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. Bununda yapı ile ilgili hedef deplasman değerlerini değiştireceği sonucu bir kez daha ortaya çıkmıştır. Özdeğer analizi sonucu elde edilen tüm değerler zemin ve bölgenin depremselliğinden bağımsız olduğundan aynı değerler elde edilmiştir. Yapı analizlerinde zemin ve depremden bağımsız olan parametrelerde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Ancak yerel zemin koşulları ve bölgenin depremsellik öğelerinin değişimi yapı analizlerine etki etmiştir. Çalışmada coğrafi konum değişiğinden dolayı elde edilen deprem ve yapı parametrelerinin değişimi arasında uyum olduğu gözlemlenmiştir. Deprem parametre değerleri yapısal analizleri de aynı şekilde etkilemiştir.

Çalışma kapsamında dikkate alınan illerde en büyük PGA değeri İzmir için elde edilirken, en küçük PGA değeri Diyarbakır için elde edilmiştir. Hasar durumları öngörülen hedef yerdeğiştirme durumları için de bu durum geçerliliğini korumuştur. PGA değerinin yüksek olduğu illerde performans hedefleri için öngörülen hedef yerdeğiştirme miktarları da artış göstermiştir. Dolaysı ile PGA değerinin artması yapıdan öngörülen hedef yer değiştirme miktarlarını arttırmaktadır. Bu çalışma kapsamında PGA değeri en düşük çıkan Diyarbakır için hedef yer değiştirme değerleri de en düşük çıkmıştır. Bu bağlamda tüm iller için hesaplanan PGA ve hedef yer değiştirme değerleri sıralanmasında tam bir uyum elde edilmiştir.

Çalışmada hesaplanan diğer yapısal parametreler arasında çok büyük farlılıklar elde edilmemiştir. Ancak daha yüksek katlı ve simetrik olmayan binalar için yapılacak analizler bu farkın daha belirgin olmasına neden olabilecektir.

Çalışma güncellenen yeni Türk Deprem Yönetmeliği'nin sahaya özel olarak elde edilecek tasarım spektrumlarının kullanılması zorunluluğunun yapı analizlerini ve performans

düzeylerinin daha gerçekçi hesaplanmasına imkân tanıyacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

## Kaynaklar


[1] Borcherdt, R. D. (2004). A theoretical model for site coefficients in building code provisions. In Procs. 13th World Conference on Earthquake Engineering (pp. 1-6).

[2] Över, S., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Filazi, A. (2011). Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey. Environmental Earth Sciences, 62(2), 313-326.

[3] Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Yılmaz, H., Arısoy, M. Ö. (2013). Preliminary seismic microzonation of Sivas city (Turkey) using microtremor and refraction microtremor (ReMi) measurements. Journal of Seismology, 17(2), 425-435.

[4] Karaşin, İ.B., Işık E., (2017). Farklı yapı davranış katsayıları için zemin koşullarının yapı performansına etkisi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 8(4), 661-673.

[5] Işık, E., Kutanis, M., Bal, İ. E. (2016). Displacement of the buildings according to site-specific earthquake spectra. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 60(1), 37-43.

[6] Işık, E., Kutanis, M. (2015). Determination of local site-specific spectra using probabilistic seismic hazard analysis for Bitlis Province, Turkey. Earth Sciences Research Journal, 19(2), 129-134.

[7] Işik, E., Büyüksaraç, A., Aydin, M. C. (2016a). Effects of local soil conditions on earthquake damages. Journal of Current Construction Issues. Civil Engineering Present Problems, Innovative Solutions - Sustainable Development in Construction, ed. Jarosław Górecki, BGJ Consulting, 191-198.

[8] Kutanis, M., Ulutaş, H., Işik, E. (2018). PSHA of Van province for performance assessment using spectrally matched strong ground motion records. Journal of Earth System Science, 127(7), 99.

[9] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete; 30364, 2018.

[10] Aksoy E, İnceöz M, Koçyigit A (2007). Lake Hazar basin: a negative flower structure on the East Anatolian fault system (EAFS), SE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences 16: 319-338.

[11] Demirci A (2019). Frequency-dependent body-Q and coda-Q in Karlıova Triple Junction and its vicinity, eastern Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 28: 902-919.

[12]Oral B, Reilinger RE, Toksöz MN, King RW, Barka AA, Kinik I (1995). Coherent plate motions in the eastern Mediterranean continental collision zone. EOS 76 (2), 9–11.

[13] Le Pichon X, Chamot-Rooke N, Lallemant S, Noomen R, and Veis G (1995). Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respectto Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics, Journal of Geophysical Research,100, 12,675–12,690,

[14] Şengör AMC (1980). Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi 2: 40, Ankara (in Turkish).

[15] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1/1.125.000: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi 30. ISBN: 978-605- 5310-56-1.

[16] KOERI (2019) Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute National Earthquake Monitoring Center. Earthquake Catalog Search System http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/earthquake-catalog/ (accessed 15 December 2019).

[17] https://tdth.afad.gov.tr/ (Access date: 08.09.2019)

[18] Antoniou S, Rovithakis A, Pinho R, 2002. Development and Verification of a Fully Adaptive Pushover Procedure. Proceedings of the Twelfth European Conference on Earthquake Engineering, London, UK, Paper No:822.

[19] Antoniou S, Pinho R, 2004. Advantages and Limitations of Force-based Adaptive and Non-Adaptive Pushover Procedures. Journal of Earthquake Engineering, 8(4):497-522.

[20] Ferracuti B, Pinho R, Savoia M, Francia R, 2009. Verification of Displacement-based Adaptive Pushover Through Multi-ground Motion Incremental Dynamic Analyses. Engineering Structures, 31:1789-1799.

[21] Pinho R, Casarotti C, Antoniou S, 2007. A Comparison of Single-run Pushover Analysis Techniques for Seismic Assessment of Bridges. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36(10):1347–1362.

[22] Casarotti C, Pinho R, 2007. An Adaptive Capacity Spectrum Method for Assessment of Bridges Subjected to Earthquake Action. Bulletin of Earthquake Engineering, 5(3):377-390.

[23] Pinho R, Monteiro R, Casarotti C, Delgado R, 2009. Assessment of Continuous Span Bridges Through Nonlinear Static Procedures, Earthquake Spectra, 25(1):143-159.

[24] Seismosoft, 2014. SeismoStruct v7.0 – A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures, available from http://www.seismosoft.com.

[25] Antoniou S, Pinho R, 2004. Development and Verification of a Displacement-based Adaptive Pushover Procedure. Journal of Earthquake Engineering, 8(5):643-661.

[26] Pinho R, Antoniou S, 2005. A Displacement-based Adaptive Pushover Algorithm for Assessment of Vertically Irregular Frames. Proceedings of the Fourth European Workshop on the Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures, Thessaloniki, Greece.

[27] Işık E. Özdemir M. 2017. Consistency of Concrete Material Models that Used for RC Buildings. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture & Civil Engineering., 36(4):92-105.

[28] Işık E. Özdemir M. 2017. Performance Based Assessment of Steel Frame Structures by Different Material Models. International Journal of Steel Structures. 17(3):1021-1031.

[29] Mander JB. Priestley MJN. Park R. 1998. Theoretical Stress-strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Engineerings. 114(8):1804-1825.

[30] MenegottoM. Pinto PE. 1973. Method of Analysis for Cyclically Loaded RC. Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending. Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, 15-22.

[31] Antoniou S. Pinho R. 2003. Seismostruct–Seismic Analysis Program by Seismosoft. Technical Manual and User Manual

[32]Pinto, P. E. (2005). The Eurocode 8-Part 3: the new European Code for the seismic assessment of existing structures.