



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Örneklerle TBDY 2019 zemin parametrelerinin kullanılan yapısal malzeme miktarına ve çatı katı yanal ötelenmesine etkisi

The influence of soil parameters of TEC-2019 over the amount of structural material used and roof drift of structures, a case Study

Yazar(lar) (Author(s)): Hakan KARACA

ORCID: 0000-0003-3291-5822

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karaca H., “Örneklerle TBDY 2019 zemin parametrelerinin kullanılan yapısal malzeme miktarına ve çatı katı yanal ötelenmesine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 25(2): 467-475, (2022).

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

DOI: 10.2339/politeknik.680595

Örneklerle TBDY 2019 Zemin Parametrelerinin Kullanılan Yapısal Malzeme Miktarına ve Çatı Katı Yanal Ötelenmesine Etkisi

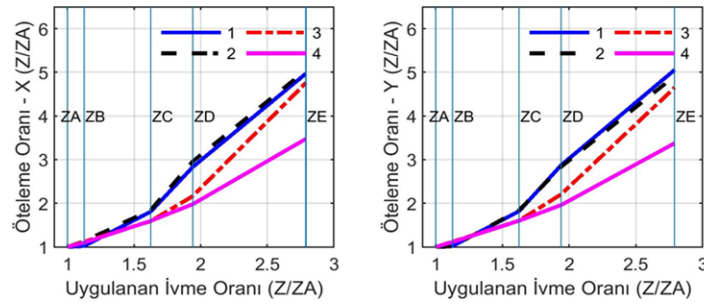
The Influence of Soil Parameters of TEC-2019 over the Amount of Structural Material Used and Roof Drift of Structures, A Case Study

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Zemin sınıflarının deprem hareketi üzerindeki etkisi önemlidir/The soil types have strong influence over ground motions
- ❖ Yeni zemin sınıflarının yapı tasarıma etkisi göreceli olarak artmıştır/ The influence of new soil types have greater influence over structural design
- ❖ Zemin sınıfı zayıfladıkça kullanılan beton ve donatı TDY-2007'ye göre göreceli olarak artmaktadır/ Relative to TEC-2007, the amount of concrete and steel increases more with the weaker soil type
- ❖ Zemin sınıfı zayıfladıkça çatı katı ötelenmesi TEC-2007'ye göre artmaktadır/ The roof drift increases more with the weaker soil relative to TEC-2007

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Yeni deprem şartnamesinin tanımladığı zemin sınıflarının göreceli etkisi, eski şartnameye göre çok daha fazla olup, zemin sınıflarının yapı tasarımında daha etkin olacağı anlaşılmıştır/



Şekil. Taban kesme kuvvetlerinin ivme oranlarına göre değişimi / **Figure.** The variation of base shear forces with respect to the design acceleration

Amaç (Aim)

Yeni deprem şartnamesinde (TBDY-2019) tanımlanan zemin sınıflarının yapı tasarımına etkisi/The influence of newly introduced soil types in new code (TEC-2019) over the design of structures

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

5 Adet yapı hem eski hem de yeni şartnameye ve zemin sınıflarına göre tasarlanmış ve zemin etkileri incelenmiştir/ 5 arbitrarily selected structures are designed according to the old and new codes and the soil types to investigate the relative influence of soil types

Özgünlük (Originality)

Eski ve yeni şartnamede tanımlı zemin sınıflarının kullanılan beton ve donatı miktarına olan göreceli etkisi /The relative influence of old and newly introduced soil types over the amount of concrete and steel

Bulgular (Findings)

Yeni şartnamede tanımlı zemin sınıflarının göreceli etkisi eski şartnamede tanımlı zemin sınıflarına göre çok daha fazladır / The relative influence of the soil types over the design of structures is much more significant than the soil types defined in the old code.

Sonuç (Conclusion)

Zemin sınıfları yeni şartname ile birlikte yapı tasarımında daha etkin oldu / Soil types became much more effective with the new code.

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.

Örneklerle TBDY 2019 Zemin Parametrelerinin Kullanılan Yapısal Malzeme Miktarına ve Çatı Katı Yanal Ötelenmesine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hakan KARACA*

Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 27.01.2020 ; Kabul/Accepted : 18.07.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 21.07.2020)

ÖZ

2019 itibarı ile yürürlüğe girmiş olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2019) uygulama ile güncel bilgi seviyesi arasındaki farkları en aza indirmek ve farklı yapı türlerinin tasarımı ve yeni tasarım yöntemleri için mevzuat ihtiyacına yanıt verebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Özellikle deprem-zemin ilişkisi konusunda uygulamada karşımıza çıkan ama daha önceki yönetmeliklerle tanımlanmayan deprem davranışlarını da daha gerçekçi modellemek üzere yurt dışında hali hazırda uygulamada olan yaklaşımlar, yeni yönetmelikte kendine yer bulmuştur. Bu bağlamda, çalışmada, yeni deprem yönetmeliğimizle birlikte yürürlüğe giren yeni zemin sınıfları ve parametrelerinin yapı tasarımını nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Yeni zemin parametrelerinin etkisini incelemek üzere örnek binalar derlenmiş, düşey taşıyıcı elemanların boyutları değiştirilerek farklı zemin sınıflarına göre uyarlanmış ve yapıların düşey elemanlarının boyutlarının, kullanılan donatının, ve çatı katı yanal ötelemelerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Böylelikle, yeni zemin sınıflarının yapıların tasarımını aşamasında ne kadar etkin bir parametre olabileceği irdelenmiştir. Çalışma sonucunda yeni zemin sınıflarının tasarımcılar, yatırımcılar ve yetkililer açısından önemli bir parametre olma potansiyelinin bulunduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 2019 Türkiye deprem yönetmeliği, zemin sınıfları, zemin büyütmesi, yapısal malzeme miktarı, çatı katı yanal ötelenmesi.

The Influence of Soil Parameters of TEC-2019 over the Amount of Structural Material Used and Roof Drift of Structures, A Case Study

ABSTRACT

The new Turkish Earthquake Code adopted in 2019, was developed to minimize the gap between the application and the current level of knowledge in the field and to respond to ever-growing need in the application of new design methods and design different type of structures. Especially, the problems experienced due to varying ground responses to the earthquakes is more realistically addressed with the introduction of the already applied approaches in different foreign earthquake codes.

Within this context, in the study, the influence of the newly introduced ground types and related parameters over the design of new structures is investigated. For that purpose, sample structures are gathered, and these structures are adopted to each ground type by modification of its vertical structural members and the change in the dimensions of vertical members, amount of reinforcement and the roof drifts of the modified structures are monitored. Consequently, the overall influence of the new ground parameters over the structural design is investigated. As the main result of this study, the studied parameters are determined to be one of the influential factors in the design and have strong influence potential for the designers, investors and the authorities in the industry.

Keywords: 2019 Turkish earthquake code, soil classes, soil amplification, amount of structural material, roof drift.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

TBDY-2019 [1] yönetmeliği ile sunulan yaklaşım, bilimsel olarak kabul görmüş ve hatta bazı ülkelerde de uygulamada geçerli olan yeni bilgilerin, ülkemizde de kullanılmasını zorunlu hale getirerek en yeni bilimsel veriler ile uygulama arasındaki farkları gidermeyi amaçlamıştır. Yeni düzenlemelerin, özellikle zemin etkileri bağlamında NEHRP,1997 temel alınarak yapılan

değişikliklerin, yönetmeliğimizi zeminlerin davranışı bağlamında bilimsel gerçeklerle daha uyumlu hale getirdiği bilinmektedir. İlk olarak Meksiko'da 1986 yılında meydana gelen deprem sonrası ilgi odağı haline gelen zemin büyütmesi gerçeği ile birçok depremlerde de sık karşılaşılmıştır (Azimi vd., 2019). Özellikle 1999 İzmit depreminde zeminlerin deprem genliğini büyütücü özelliği nedeniyle meydana gelen hasarlar sonrası, bu konu hem akademik hem de sektörel ilgi odağı olmuştur. 1999 İzmit depreminin merkez üssünden neredeyse 200 km uzaklıkta olmasına rağmen, İstanbul'un batı ucundaki Avcılarda büyük hasarlar oluşması yetkililer açısından

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : hakan.karaca@ohu.edu.tr

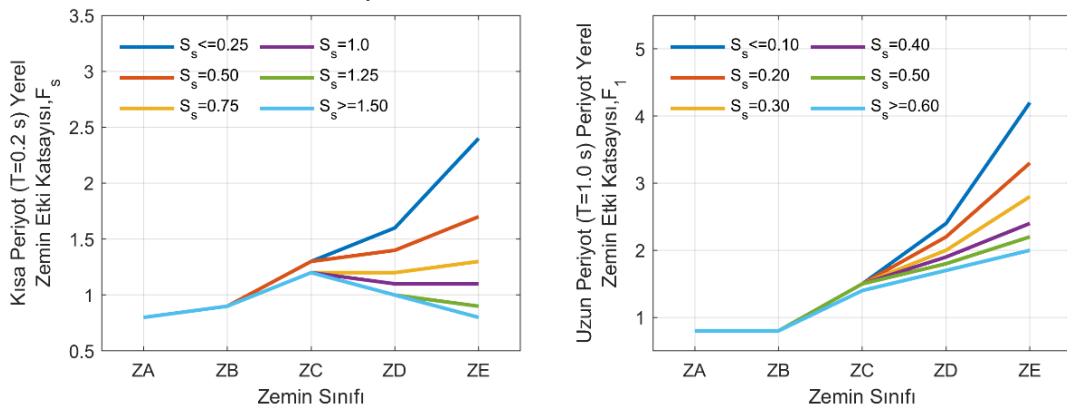
kamuya açıklanması gereken bir olay (Tezcan vd., 2002) olarak kaydedilmiştir. Depremlerde zeminin yapısal özelliklerine bağlı olarak depremin yıkıcı etkisinin arttığı veya azaldığı ve zayıf zeminli alanlarda deprem hasarının daha çok olabileceği akademik çevrelerce bilinmekle birlikte (Borcherdt,1994), zamanının deprem yönetmeliğine tanımlanmayan bir durumdu. Bu bağlamda değerlendirildiğinde, zemin büyütme ve küçültme faktörlerinin TBDY-2019 tarafından zorunlu olarak uygulamaya girmesi, aslında önemli bir açığı da gidermiş olmaktadır.

Zemin büyütme ve küçültme faktörlerinin yeni yönetmelikçe kullanılmasının zorunlu olması ile birlikte, zayıf zeminli ve güçlü zeminli yapıların boyutlarındaki göreceli farkların çok daha artacağı ve bu nedenden dolayı yapılaşma açısından güçlü zeminlerin daha çok tercih edilebileceği öngörülebilir. Bir başka deyişle, zemin etkisinin yeni yönetmelik sayesinde daha büyük rol oynayacağı ve yapı tasarımı ve özellikle yapıların maliyetlerinde eski yönetmeliklere göre daha büyük farklar oluşacağı düşünülebilir. Özellikle yapıların büyük bir kısmında 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)'de ana tasarım yaklaşımı olarak kullanılan Dayanım Göre Tasarım (DGT) esasları çerçevesinde yaklaşımın kullanılacak olması ve hele konutların tasarımında neredeyse sadece DGT yaklaşımına göre tasarım yapılması gerektiği [7], bahsi geçen katsayıların tasarım bağlamında en etkili faktörlerden biri olacağı anlamına gelmektedir.

Zemin sınıflarının yapılara etkileyen yükler, yapı maliyetine ve performansına olan etkisini inceleyen çalışmalar mevcuttur ([8],[9],[10],[11],[12],[13],[3]). Bu çalışmalardan, özellikle Azimi vd., 2019 [3] tarafından gerçekleştirilen çalışmada DBYBHY-2007 zemin sınıflarının yanı sıra, TBDY-2019 zemin sınıflarının temel aldığı ASCE/SEI 07-01 zemin sınıflarının da değerlendirilerek, yapı maliyetine olan etkisinin irdelenmiş olması, çalışmanın değerlendirilmesi açısından önemli veriler sunmaktadır. Ayrıca, Akansel

vd., 2019 [13] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, TBDY2019'da kullanılan sismik tehlike haritası ile DBYBHY-2007 yönetmeliğinde kullanılan sismik tehlike haritası karşılaştırmasında, performans ölçer olarak kullanılan ivme spektrum şiddeti değerlerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiş, bu bağlamda ZA ve ZB zeminlerinin Z1, ve ZC,ZD ve ZE zeminlerinin Z2,Z3 ve Z4 zeminleri ile eşdeğer olduğu varsayımı ile yapılan çözümler sonucunda bu değerlerin, ZA ve ZB için küçük,ZC için çok yakın ve ZD ve ZE zeminleri için yüksek olduğu gösterilmiştir. Yani bir başka anlatımla, ZD ve ZE gibi zayıf zeminlerde yapılacak yapıların tasarlanmasında zemin etkisinin daha etkin bir parametre olarak öne çıkacağı ve tasarım bağlamında düşünüldüğünde bu tür zeminlerde daha rijit yapıların yapılması gerekeceği anlaşılmaktadır.

Bu kapsamda, yapılan çalışmada da zemin etkisinin yapı tasarımına olan etkilerini irdelemek ve bu etkinin sayısal büyüklük olarak ifade edilmesi amacıyla, Niğde İl Merkezinde TBDY-2019'a göre tasarlanmış olan 4 adet bina farklı zemin koşullarına göre uyarlanmış ve düşey elemanların boyutlarındaki değişim ile çatı katı yanal ötelenmeleri gözlemlenmiştir. Böylelikle, mimari proje değiştirilmeden zemin koşullarına göre düşey elemanların boyutları yeniden uyarlanan yapılarda, zemin koşullarının gerekli beton ve donatı miktarına ve çatı katı yanal ötelenmesine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen verilere göre, beton miktarındaki artışın en güçlü zeminden en zayıf zemine, en az %0,4 ve en fazla %3,7 arasında değiştiği ve donatı açısından değerlendirildiğinde ise en az %8,5 ve en fazla %18,5 arasında bir farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle donatı miktarlarındaki yüksek değişim, zayıf zeminlerin yapı maliyetini etkileme açısından çok etkili olduğunu göstermektedir. Yanal ötelenme açısından değerlendirildiğinde ise, zemin sınıfları arası farkların çok daha fazla arttığı anlaşılmış, bu durumun özellikle zayıf zeminler için tasarlanacak yapılarda çok daha rijit tasarım yapılması gerektiğini kanıtlamıştır.

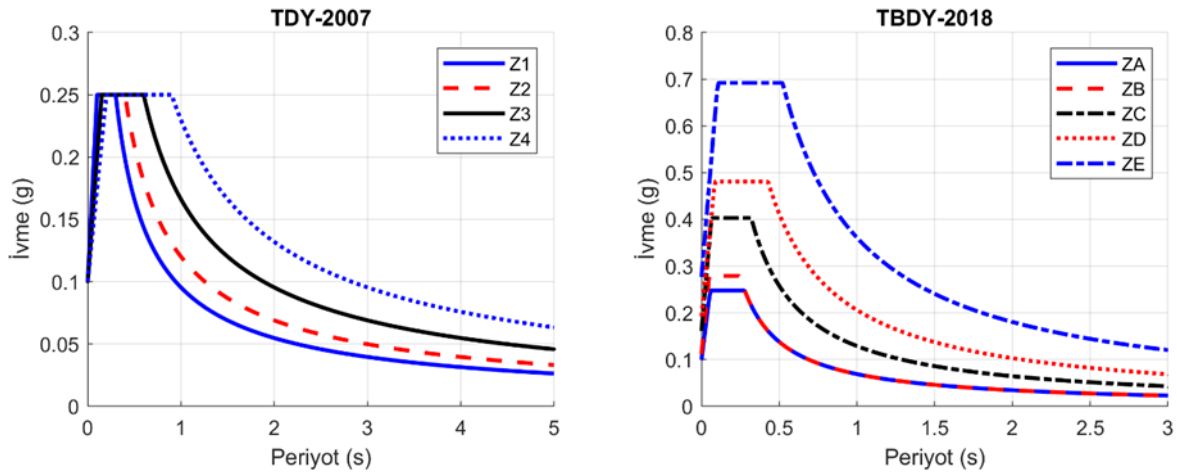


Şekil 1. Kısa Periyot (T=0.2 s) ve Uzun Periyot (T=1.0 s) İçin Yerel Zemin Etki Katsayılarının Zemin Gruplarına Göre Değişimi (The Variation of Soil Amplification Factors with Respect to the Soil Types for Short Period (T=0.2 s) and Long Periyot (T=1.0 s))

2. VERİLER (DATA)

2.1. Tasarım İvme Spektrum Eğrileri (Design Acceleration Spectrum Curves)

TBDY-2019 ile birlikte bina tasarımına esas olmak üzere kullanılacak olan yatay tasarım spektrum ivme değerleri, sismik tehlike haritasından elde edilen verilerin, zemin büyütme parametreleri ile direk çarpımında elde edilmektedir. Bu yeni yaklaşımla birlikte, zemin etkisinin direk olarak yapı tasarımına etki edeceği ve aynı bölgede hatta mahallelerdeki farklı zemin koşullarının yapıların boyutlandırılmasında önemli rol oynayacağı açıktır. Şekil 1'de kısa periyot yerel zemin etki katsayısı, F_s ve uzun periyot yerel zemin etki katsayısı, F_1 değerlerinin farklı zemin koşullarındaki değişimi izlenirse, bu etkinin boyutları ile ilgili olarak da bir ön fikir edinilmiş olur.



Şekil 2. Niğde İl Merkez için Yatay Elastik Tasarım İvme Değerleri (TBDY-2018'e Göre Değerlendirilen Binaların Bulunduğu Alanın Harita Spektral İvme Katsayıları $S_s=0,310$, $S_1=0,086$) (The Horizontal Design Acceleration Spectrum Curves for Niğde (The Map Spectral Acceleration Constants for the Selected Structures are $S_s=0.310$, $S_1=0.086$))

Bu bağlamda, hem TBDY-2019 hem de DBYBHY-2007 tasarım ivme değerlerinin çalışma alanı için karşılaştırmalı olarak incelenmesi ve zemin sınıflarının yapı tasarımına ne derece etki edeceğinin anlaşılması amacıyla tasarım ivme spektrumları elde edilmiştir. DBYBHY-2007'ye göre toplam 4 adet zemin sınıfı için, etkin yer ivmesi katsayısı belirlenmiş ve zemin sınıflarına göre tasarım ivme değerleri elde edilmiştir. TBDY-2019'a göre tasarım ivme değerlerinin elde edilmesi için ilk olarak TBDY-2019 ile kullanımı zorunlu hale gelen yeni sismik tehlike haritaları kullanılarak harita spektral ivme katsayıları elde edilmiş ve yatay elastik tasarım ivme spektrumlarındaki ivme değerlerinin elde edilmesi için kısa ve uzun periyot yerel zemin etki katsayıları kullanılmıştır. Farklı zemin sınıflarında tasarlanacak olan binalara etki ettirilecek ivme değerleri, Şekil 2'den izlenebileceği üzere, hem zemine hem de periyot değerlerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu farklılık şekilden de izlenebileceği üzere TBDY-2019'a göre hazırlanan tasarım ivme spektrumunda çok daha fazladır. Özellikle en sağlam zemin sınıfı ZA ile zayıf zemin sınıfı ZE arasındaki ivme değerlerinin farkının özellikle kısa

Şekildeki her iki panelden de izlenebileceği üzere, en sağlam zemin ZA olmak üzere, ZE zemin sınıfına kadar tanımlı olan katsayıların değişimi izlendiğinde, özellikle zeminlerin zayıf olduğu durumlarda, o zemin üzerinde yapılması planlanan herhangi bir yapıya etkilettirilecek yüklerin, kısa periyot için bazı durumlarda en az 2,4'e varan ve uzun periyotlarda da 4,2'lere varan oranlarda artırılabileceği anlaşılmaktadır. Her iki katsayı içinde, ZA ve ZB zeminlerinde katsayı 1 değerinin altına düşmekle birlikte zeminler zayıfladıkça katsayılar 1 değerinin üzerine çıkmaktadır. Bu durum özellikle zemin koşullarının değişken olduğu bir şehirde, yapılaşmanın daha güçlü zeminli alanlara doğru kaymasını tetikleyebilecektir.

periyotlarda neredeyse 3 katına yakın olması, farklı zemin sınıflarına sahip alanlarda yapılacak olan yapıların yapısal olarak önemli derecede etkileneceği anlamına gelmektedir. Özetle belirtmek gerekirse, yeni tasarım ivme spektrumlarının, Şekil 2'de sol panelde verilen DBYBHY-2007'de kullanılan tasarım ivme spektrumlarının farklı zemin sınıflarına göre gösterdiği değişime nazaran çok daha farklı ve zemin duyarlılığı daha güçlü olması nedeniyle, zemin sınıflarının yapıların boyutlandırılmasında ve şekillendirilmesinde daha etkin rol oynayacağı açıktır.

2.2. Çalışmaya Konu Yapılar (Selected Structures for the Study)

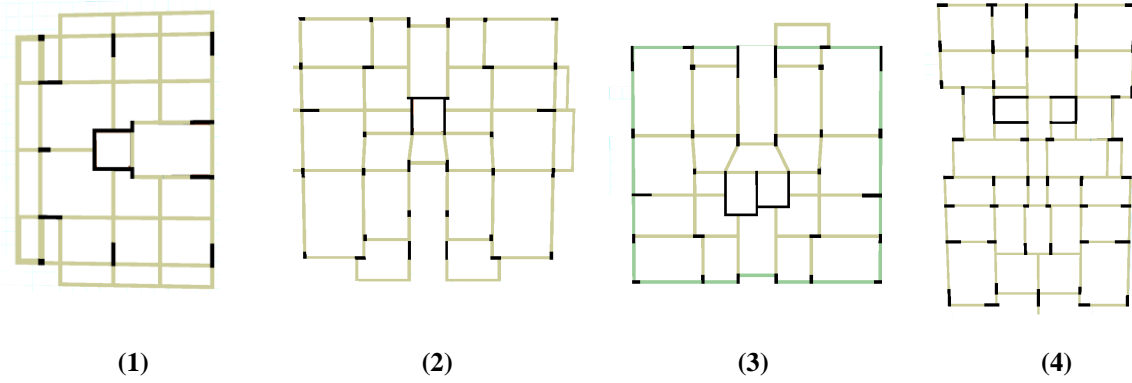
Binaların zemin koşullarına göre değerlendirilebilmesi için Niğde İl Merkezinde Çizelge 1'de kat adetleri, boyutları, yapısal malzeme sınıfları, toplam yükseklikleri ve kat alanları verilen ve Şekil 3'te kat planları gösterilen 4 adet bina seçilmiştir. Yapılar seçilirken kat adetlerinin farklı olması ve ülkemiz çapında yaygın olarak tasarlanan orta ve yüksek katlı binalar olması tercih edilmiştir. Böylelikle yeni deprem şartnamesi ile yeniden tanımlanan deprem tehlikesi seviyelerinin ve zemin

koşullarının tasarım ivmeleri üzerindeki etkisi nedeniyle binaların çok farklı yerlerde aynı tasarım ivmelerine göre

tasarlanacağı göz önüne alınarak, genel bir çalışma gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 1. Çalışma Kapsamında Değerlendirilen Binaların Temel Verileri (The Basic Parameters of the Selected Structures)

Bina No	1	2	3	4
Kat Sayısı	8	10	13	18
Bina Yüksekliği (m)	25,4	31,3	39,3	54,3
Binanın Boyutları (m)	12.65x17.50	19.55x21.60	17.85x18.80	18.20x29.15
Toplam Kat Alanı (m ²)	1546,8	3367,0	4460,0	9800,0
Beton Sınıfı	C25/30	C25/30	C25/30	C25/30

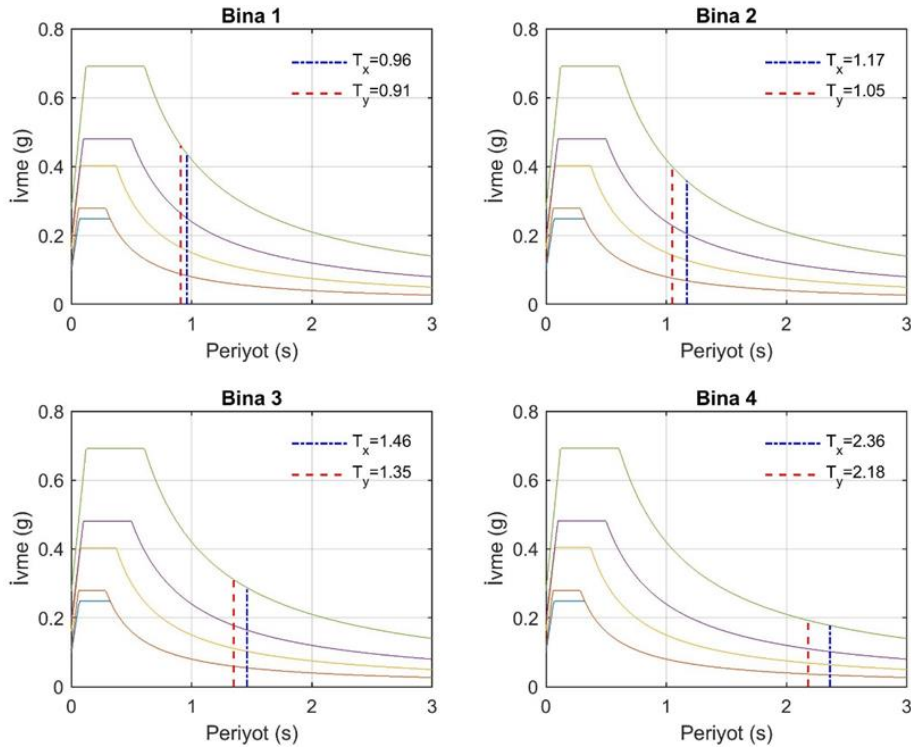


Şekil 3. Değerlendirilen Binaların Kat Planları (Floor Plans of the Buildings)

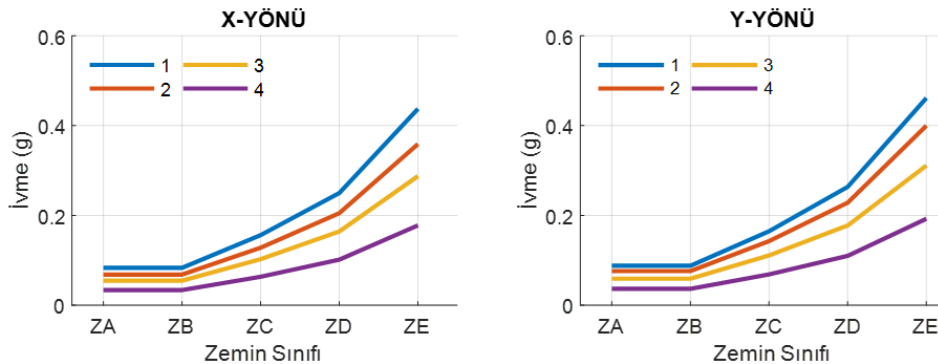
Farklı zemin koşulları için tasarlanan bu yapılar çözümleme için hazırlanırken kolon kesitlerinin sınır durumları araştırılmış ve çalışma için kullanılmadan önce her bir zemin sınıfı için tasarım zemin durumuna göre uyarlanarak boyutlarda optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Her bir zemin için kolon boyutları değiştirilerek olası minimum kolon boyutları ile yapı mimari projesi hiç değiştirilmeden yeni zemin koşullarına göre uyarlanmıştır. Bu işlem öncelikle yapı davranışını genelde etkilemeyecek, güçlü-kolon- zayıf kiriş ilkesini bozmayacak ve yapı çerçevelerine etkileyen kuvvetlerde çerçeve elemanlarını kapasite fazlası zorlamayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şöyle ki, kolonlardan herhangi birinin boyutunun değiştirilmesi, hem ait olduğu çerçeve hem de yapının diğer kolonlarına ek yük getireceğinden dolayı, yük paylaşımı göz önüne alınarak boyutlandırma gerçekleştirilmiştir.

Boyutların özellikle daha güçlü zeminler için uyarlanması, bazı elemanların hâlihazırda minimum boyutlarda tasarlanması nedeniyle sınırlanmış olsa da, mühendislik yaklaşımının gerektirdiği kabullerin her türlü zemin için uygulanabileceği ve minimum boyutlu elemanların her türlü zeminlerde kullanılabileceği göz önüne alındığında bu durumun etkisinin sınırlı olduğu açıktır. Şöyle ki; eğer bir yapının taşıyıcı sistem elemanları en kötü zemin koşullarında ve kullanılabilecek minimum boyutlarda tasarlanmış ise ve

aslında yapının en zayıf zeminde bile böyle bir düzende tasarlanması olası ise, bu yapının boyutlarının daha güçlü zeminler için uyarlanması olanaklı değildir. Böyle bir yapının zaten hâlihazırda minimum boyutlarını değiştirmek mümkün olmadığından zemin değişikliğinin maliyete etkisinin boyutlarını incelemek ancak donatılarındaki değişimle gözlemlenebilir. Ancak minimum boyutlandırma yapılarak en sağlam zemin koşulları için tasarlanmış bir yapının daha zayıf zemin koşullarına göre uyarlanması amacıyla boyut değişikliğine gidilmesi daha olanaklıdır. Ancak, genel tasarım yaklaşımı ve şartlarının bu tür uç durumlara mahal vermemesi nedeniyle, boyutların yeniden uyarlanması sırasında yeterli hareket alanı bulunmuştur. Binaların farklı zeminler için çözülmesi ve düşey yapı elemanlarının boyutlarının zemin koşulları değiştikçe sınır durumlarını zorlayacak derecede yeniden uyarlanması sonrasında yapının hem ağırlığının hem de rijitliğinin değişmesi doğaldır. Ancak bu değişim çok düşük düzeyde kalmış ve yapıların farklı zemin koşullarına göre maruz kalacağı tasarım ivmelerinin büyüklüğü ihmal edilebilir derecede değişmiştir. Şekil 4'te zemin sınıflarına göre tasarım ivme spektrumlarının değişimi ve yapıların ana salınım periyotları sunulmuş, Şekil 5'te ise yapıların maruz kaldığı tasarım ivmelerinin her bir zemin sınıfına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 4. Farklı Zemin Koşullarına Göre Oluşturulan Tasarım İvme Spektrumları ve Değerlendirilen Yapıların Doğal Titreşim Periyotları (The Design Acceleration Spectrum Curves Developed for Different Types of Soil and the Fundamental Vibration Periods of the Structures)



Şekil 5. Farklı Zemin Koşullarına Göre Yapılara Etkiyen Tasarım İvme Değerleri (The Design Acceleration Values Applied in the Design for Different Types of Soil)

Şekil 4'te sunulan eğriler incelendiğinde, binaların salınım periyotlarına göre maruz kaldıkları ivme değerlerinin göreceli değişimi ve Şekil 5'te her iki yön için verilen ivme değerlerinin değişimi incelendiğinde ise, bu değerlerin özellikle zayıf zeminler de göreceli olarak çok daha büyük olduğu anlaşılır. Bu değişimin sayısal olarak büyüklüğü Çizelge 2'de de gösterildiği üzere, yapıların maruz kaldıkları harita spektral ivme katsayılarının aynı olması ve aynı yerel zemin etki katsayılarının kullanılması sonucunda, bütün yapılar ve zemin sınıfları için aynıdır. Akansel vd. (2019) [13]'ün Niğde İli için PGA değerlerinin ortalama 1.23 kat arttığını gösteren çalışmasından elde edilen değerleri ile karşılaştırıldığında Çizelge 1'de ki değerlerin de göreceli olarak daha büyük olduğunu belirtmekte yarar vardır.

3. ÇÖZÜMLEME ve SONUÇLAR (ANALYSIS and RESULTS)

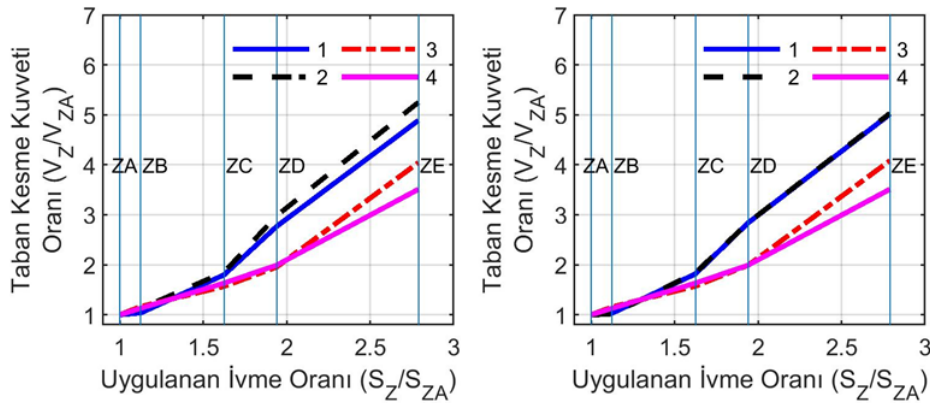
Binaların çözümü Sta4CAD v.14 (2018) [15] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Binaların her birisi düzenli yapılar olup, ana salınım modları kütle katılım oranları da %70'ler seviyesindedir. Her bir zemin sınıfı için gerçekleştirilen uyarlamalar sonrası çözümleme işlemi tekrarlanmış ve taban kesme kuvvetleri, kullanılan malzeme miktarları ve ötelemeler karşılaştırma amaçlı olarak kaydedilmiştir. Taban kesme kuvvetleri, zemin koşullarına göre değişen tasarım ivme spektrumları ve çok az da olsa uyarlamalar nedeniyle değişen salınım periyotlarına denk gelen farklı büyüklükteki ivmeler etkisiyle farklılıklar göstermektedir..

Çizelge 2. Zemin Sınıfların Göre Ana Salınım Periyodu Tasarım İvmeleri Oranları (The Ratio of Design Acceleration at the Fundamental Period of Vibration of Structures)

Karşılaştırılan Zemin Sınıfları	S_{ZA}/S_{ZA}	S_{ZB}/S_{ZA}	S_{ZC}/S_{ZA}	S_{ZD}/S_{ZA}	S_{ZE}/S_{ZA}
Tasarım İvme Oranları (S_z/S_{ZA})	1,00	1,125	1,625	1,940	2,790

Şekil 6'dan da izlenebileceği üzere binalara uygulanan ivmeler arttıkça taban kesme kuvvetlerinde büyük oranlarda artış meydana gelmektedir. Bu artış özellikle uygulanan ivmelerin artış oranından daha fazla olup, özellikle 1 ve 2 no'lu yapılar için ve ZD ve ZE zeminleri için çok daha fazladır. Bu binaların ana salınım

periyotlarının düşük olması nedeniyle maruz kaldıkları ivme değerlerinin hem büyüklüğünün ve hem de zemine göre değişiminin de göreceli büyüklüğünün etkisiyle, taban kesme kuvvetlerinde önemli ölçüde artış olduğu belirtilmelidir.

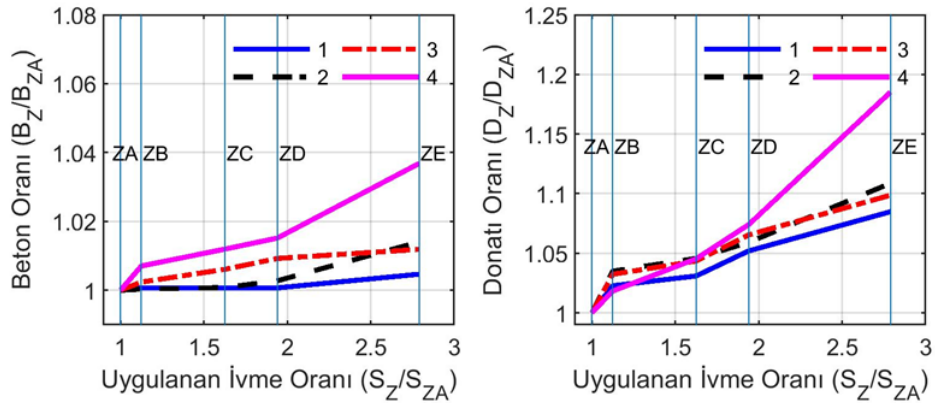
**Şekil 6.** Taban Kesme Kuvvetlerinin İvme Oranlarına Göre Değişimi (Tasarım İvme Oranlarının Değerleri için Çizelge 2'ye Bakınız) (The Variation of Base Shear Forces with Respect to the Design Acceleration (See Table 2 for the Ratios of Design Acceleration))

Çalışmanın amacına uygun olarak, zemin sınıflarının beton ve donatı miktarına ne kadar etki edeceğini ve zemin koşullarının yeni yapı yatırımlarını etkileme potansiyelini irdelemek amaçlı olarak beton ve donatıdaki değişim izlenmiştir. Zemin koşullarına göre sadece düşey taşıyıcı elemanlarda değişiklik yapılmış, radye temel olarak tasarlanan temel yapısında da herhangi bir boyut uyarlaması yapılmamış sadece temel donatılarında meydana gelen değişim izlenmiştir. Aynı zamanda, sadece radye temel boyutlarının artırılması ile çözülemeyecek durumlarda ve özellikle zayıf zeminler için, malzeme miktarındaki artışların zemin güçlendirmesi kapsamında değerlendirilmesi gerektiği göz önüne alınarak herhangi bir boyut değişimi yapılmamıştır. Temel tasarımı kapsamında ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için 280 t/m², 70 t/m², 42 t/m², 21 t/m² ve 15 t/m² zemin dayanımı değerleri ve bu değerlerle orantılı olarak değişen zemin yatak katsayıları kullanılmıştır.

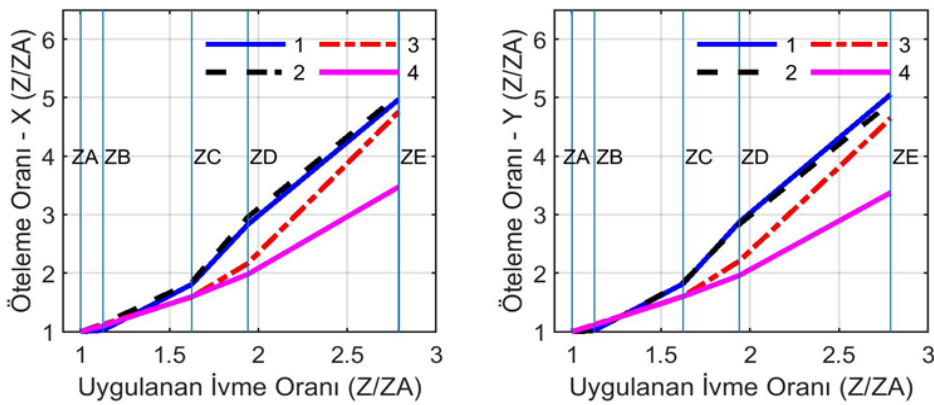
Hem üstyapı hem de temel için kullanılan toplam beton ve donatı miktarlarının zemin sınıflarına göre değişen miktarları Çizelge 3'de listelenmiş, ne derece değiştiğini izleyebilmek için de Şekil 7'de görüldüğü üzere eğriler oluşturulmuştur. Çizelgedeki listelere göre, özellikle beton miktarlarındaki değişim ihtiyacının donatılara göre

çok kısıtlı kalması aslında TBDY-2019 tarafından uygulanan minimum boyutlandırma kısıtlarının bir etkisi olarak görülebilir. Buna benzer çalışmalardan özellikle Gürsoy, 2013 [10] tarafından yürütülen çalışmada da, benzer bir şekilde, beton ihtiyacının farklı zeminler için çok düşük oranlarda değişmesine rağmen donatılardaki değişimin çok daha dikkate değer olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 3'de sunulan değerler incelendiğinde, kullanılan betonun ZA ile ZE zemin sınıflarına göre en az %0,4 ve en fazla %3,7 arasında değiştiği ve donatı miktarı açısından ise en az %8,5 ve en fazla %18,5 arasında bir farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Azimi vd., 2018 [3]'te olduğu gibi zemin zayıfladıkça beton ve donatı miktarlarındaki artışların çok daha fazla belirginleşmesi ve özellikle yapı maliyetini etkileme potansiyeli yüksek olan donatı miktarlarındaki yüksek değişim [9] dikkat çekicidir. Vurgulanması gereken bir başka durum ise, özellikle zayıf zeminlerde binanın kat sayısı arttıkça yapıda kullanılan beton ve donatı miktarlarının göreceli olarak artmasıdır. Bu durum yapı yüksekliğine bağlı artan ana salınım periyot artışı ile birlikte, Şekil 4'te verilen tasarım ivme spektrumları ve Şekil 5'te gösterilen zemin sınıfı ve ivme büyütme oranları göz önüne alındığında anlaşılabilir bir durumdur.



Şekil 7. Yapılarda Kullanılan Beton ve Donatı Miktarlarının Uygulanan İvme Oranlarına Göre Göreceli Değişimi (Tasarım İvme Oranlarının Değerleri için Çizelge 2'ye Bakınız) (The Variation of the Relative Amount of Concrete and Reinforcement used in the Structures with Respect to the Relative Design Acceleration for Different Types of Soil (See Table 2 for the Ratios of Design Acceleration))



Şekil 8. Çatı Katı Ötelemelerinin Uygulanan İvme Oranlarına Göre Göreceli Değişimi (Tasarım İvme Oranlarının Değerleri için Çizelge 2'ye Bakınız) (The Variation of Relative Roof Displacements with respect to the Ratio of Design Accelerations (See Table 2 for the Ratios of Design Acceleration))

Çizelge 3. Zemin Sınıfların Göre Kullanılan Beton ve Donatı Miktarları (The Amount of Concrete and Reinforcement with respect to the Type of Soil)

	S_z/S_{ZA}	Beton (ton)				Donatı (ton)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
ZA	1,000	577,5	1125,7	1514,3	3021,1	50,80	98,86	139,64	288,73
ZB	1,125	577,9	1126,1	1517,9	3042,4	51,95	102,32	144,15	293,99
ZC	1,625	577,9	1126,6	1523,5	3057,2	52,37	103,37	145,71	301,82
ZD	1,940	577,9	1128,8	1528,3	3066,9	53,44	104,70	148,77	310,10
ZE	2,790	580,2	1141,5	1532,3	3132,4	55,11	109,60	153,42	342,20

Binaların çatı katı maksimum ötelenme oranları karşılaştırıldığında ise, Şekil 8'den de izlenebileceği gibi ZA ve ZE zeminleri için farkın 3.5 kat ile 5 kat arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu noktada şurada belirtilmelidir ki, çatı katı ötelenme oranlarının ile Şekil 6'da sunulan taban kesme kuvvetlerinin zeminlere ve yapılara göre değişimi arasındahem büyüklük hem de sıralama açısından benzerlikler bulunmaktadır.

Öteleme oranlarındaki büyük artış ise, çalışmanın başında da belirtildiği üzere, özellikle zayıf zeminlerde

yapıların çok daha fazla rijit olarak tasarlanmasını gerektirecektir. Yapıların daha rijit tasarlanması ise büyük boyutlu düşey elemanlar ve özellikle perdelerin daha fazla kullanımı anlamına gelmektedir. Bu durum ise daha önce sismik tehlikenin yüksek olduğu yerlerde sıklıkla kullanılan perde elemanların, sismik tehlikenin derecesinden bağımsız olarak, zayıf zeminli yapılarda da kullanılmasının zorunlu olacağı anlamına gelmektedir.

4. DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA (EVALUATION and DISCUSSION)

Yeni sismik tehlike haritasının kullanılacak olmasının yanı sıra, yeni zemin sınıfları tanımlanarak tasarım ivmelerinin elde edilmesi aşamasında zemin büyütme/küçültme katsayılarının kullanılacak olması TBDY-2019'un ana değişikliklerindedir. Yapılan bu ana değişikliklerin ve sunulan yeni yaklaşımların, yerleşim dokusunu nasıl etkileyeceğini öngörebilmek kapsamlı ve odaklı çalışmalar gerektirir. Bu bağlamda, zemin sınıflarının ve parametrelerinin yapıların tasarımına direk etkisi olarak hem beton hem de donatı miktarlarında artış ya da azalma beklenir. Yapıların hangi zemin sınıflarında çok daha ekonomik olacağı kestirilebilmekle birlikte, zemin sınıflarının kullanılan yapısal malzemelere dolayısıyla yapı maliyetine ve çatı katı ötelemesine ya da dolaylı olarak performansı üzerindeki etkisinin ölçülebilmesi ve dolayısıyla da yatırımları hangi ölçekte etkileyeceğinin bilinmesi önemlidir. Aslında zayıf zeminlerde meydana gelen deprem hasarlarını önlemeye ve güçlü zeminlerde yapılan binaları da ödüllendirmeye yönelik geliştirilen bu yöntemle, zemin davranışının yapılar üzerindeki etkisi daha gerçekçi modellenmiş olacaktır.

Çalışmada başlıca konu olarak ortaya çıkan zeminin yapı tasarımına olan etkisi, incelenmiş ve özellikle zayıf zeminlerde tasarlanan bir yapının, DBYBHY-2007'ye göre çok daha fazla deprem yüklerine maruz kalacağı gösterilmiştir. Bu durum sismik tehlike haritasının da değişimi sonrasında bazı bölgelerde azalan sismik tehlikeye rağmen, özellikle ZD ve ZE sınıfı zayıf zeminlerde tasarlanacak yapılar için neredeyse bütün ülke sahasında geçerlidir [13].

Çalışmada elde edilen değerlere göre kullanılan beton ve donatı oranlarında da taban kesme kuvvetlerinin artışına paralel olarak artış olduğu açık olmakla birlikte, beton kullanımının ZA ve ZE sınıfları karşılaştırıldığında ortalama %1-4 arasında arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, en iyi zemin koşulları için tasarlanan ve TBDY-2019'a göre minimum boyutlar dikkate alınarak gerçekleştirilen tasarımın çok büyük oranlarda boyut büyütmesine gerek kalmadan en kötü zemin koşullarında bile yeterli olabileceğini göstermektedir. Donatı artış oranlarının ise betona göre çok daha fazla olduğu, bu durumun da kullanılan taşıyıcı kiriş ve kolonların minimum boyutlarda tutulmalarına rağmen taşıma gücü potansiyellerinin yüksek olduğunu gösterir. Bu bağlamda, birim yük başına düşen malzeme açısından düşünüldüğüne, ya da yapılar malzeme verimliliği açısından değerlendirilirse; gelen toplam kuvvet başına en yüksek verimin açık ara ile en kötü zemin sınıfı için olduğunu belirtmekte fayda vardır.

Çalışmanın ana sonucu olarak TBDY-2019'a göre özellikle zayıf zeminlerde tasarlanacak yapıların, DBYBHY-2007 zayıf zemin tasarımlarına göre çok daha fazla rijitlik ve dayanıklılık gerektirdiği anlaşılmıştır. Özellikle dayanım artışı ihtiyacının daha çok donatı miktarlarının artışında kendini gösterdiği görülmüş olup

ve çatı katı yanal ötelemelerindeki büyük farklarında ancak rijitliğin artırılması ile çözülebileceği belirtilmelidir. Bu da özellikle düşey elemanların yükün etkilediği doğrultuda daha büyük tasarlaması ile sağlanabilecek bir durum olduğundan eleman boyutlarında artış kaçınılmaz olmaktadır. Böyle bir durumun, yapılaşma açısından getireceği ek maliyetlerin oluşturacağı baskı nedeniyle, yapılaşma açısından da önemli olduğu da belirtilmelidir. Çalışmanın sadece Niğde ili ile sınırlandırılması yönetmeliğin hangi yerleşim biriminde yapı tasarımı açısından ne kadar etkin olacağı tam kestirilememekle birlikte, daha kapsamlı bir çalışmanın zemin etkilerinin yaratacağı farkların anlaşılması açısından gerekli olduğu da belirtilmelidir.

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.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Hakan KARACA: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir, makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (2019).
- [2] NEHRP, "Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", *Building Seismic Safety Council*, (2001).
- [3] Azimi P., Gazi H., Alhan C., "Zemin Büyütme Katsayılarının Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Sismik Performans Potansiyeline ve Maliyetine Etkileri", *Teknik Dergi*, 8803-8834, (2019).
- [4] Tezcan S., Kaya E., Bal E.I., Özdemir Z., Seismic amplification at Avcılar, Istanbul, *Engineering Structures*, 24: 661-667, (2002).
- [5] Borchardt R.D., "Estimates of site-dependent response spectra for design (Methodology and Justification)", *Earthquake Spectra*, 10: 617-673, (1994).
- [6] DBYBHY, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (2007).
- [7] Karaca H., "Konut tasarımı bağlamında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması, Niğde örneği", *21. Ulusal Mekanik Kongresi, 02-06 Eylül 2019, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi*, Niğde, (2019).
- [8] Türkmen M., Tekeli H., "Deprem Bölgesi ve Yerel Zemin Sınıfının Bina Maliyetine Etkileri", Süleyman Demirel

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(3): 127-130, (2005).
- [9] Türkmen M., Tekeli H., Kuyucular A., “Betonarme Bina Maliyetlerinin Zemin Sınıfı - Kat Adedi Ve Düzensizlik İle Değişimi”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21: 57-65, (2006).
- [10] Dorum A., Özkan Ö., Erdal M., “Farklı deprem bölgeleri ve farklı zemin sınıflarının Kaba yapı maliyetine etkisi”, *Selçuk Teknik Dergisi*, 5(1): (2006).
- [11] Gürsoy Ş., “Farklı Rijitleştirici Elemanlara Sahip Yapıların Depreme Göre Maliyetlerinin Karşılaştırılması”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3): 533-544, (2013).
- [12] Sönmezer Y.B., Akbaş S.O., Işık N.S., Kırıkkale ili yerleşim alanı için en büyük ivme, zemin büyütmesi ve hakim titreşim periyodu özelliklerinin değerlendirilmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(4): 711-721, (2015).
- [13] Koçer M., Nakipoğlu A., Öztürk B., Al-Hagri M.G., Arslan M.H., “Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin TBDY2018 ve TDY2007'ye göre Karşılaştırılması”, *Selçuk Teknik Dergisi*, 17(2): 43-58, (2018).
- [14] Akansel VH, Soysal BF, Kadaş K, Gülkan P. “An evaluation of the 2019 seismic hazard map of Turkey on the basis of spectrum intensity.” *5th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, October 8-11, Ankara, Turkey, (2019)
- [15] ASCE/SEI 7-10, “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”, *American Society of Civil Engineers*, (2010).
- [16] Sta4CAD v.14, Bilgisayar Destekli Tasarım için Yapısal Analiz, Ankara, (2018).