

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasar Görebilirliğin Hakim Periyoda Bağlı Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım: Çanakkale İl Merkezi Örneği

¹Kanat Burak BOZDOĞAN, ²Selen AKTAN

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye, kbzdogan@comu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7528-2418>

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye, saktan@comu.edu.tr, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0003-4927-4187>

Geliş / Received: 16.05.2024;

Kabul / Accepted: 05.06.2024

Öz

Hasar görebilirliğin önemli bir göstergesi görel kat ötelemesi değeridir. 0.01 görel kat ötelemesi sınırı ATC-40'a göre hemen kullanım performans seviyesine karşılık gelmekte olup, bu görel kat ötelemesi sınır değerinin altında binalar elastik davranış göstermektedirler. Bu çalışmada, Çanakkale il merkezindeki düzenli betonarme binaların hasar görmemeleri için hakim periyot değerlerinin hangi aralıklarda olması gerektiği belirlenmiştir. Çalışma; ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında ve DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, maksimum görel kat ötelemesi oranının belirlenmesi için salt perdeli yapılar için eğilme kirişi kabulü yapılırken, salt çerçevesel yapılar için kayma kirişi kabulü yapılmıştır. Çalışmada literatürden farklı olarak daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için eğilme kirişi ve kayma kirişi modelinde kütleler ayrı ayrı kat hizalarında dikkate alınmıştır. Bu modelden yararlanılarak maksimum görel kat ötelemesi oranı için hakim periyoda bağlı bir bağıntı SAP2000 programı yardımıyla elde edilmiştir. Elde edilen bağıntı 0.01 görel kat ötelemesi değerine eşitlenerek binaların hasar görmemesi için gereken minimum hakim periyot değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar üzerinde gösterilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Hakim Periyot, Görel Kat Ötelemesi Oranı, Hasar Görebilirlik

*Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Bozdoğan, K.B., & Aktan, S. (2024). Hasar Görebilirliğin Hakim Periyoda Bağlı Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım: Çanakkale İl Merkezi Örneği. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(1), 13-27. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1485402>

An Approach for Determining Damage Vulnerability Depending on the Fundamental Period: The Case of Çanakkale City Center

Abstract

An important indicator of damage vulnerability is the interstory drift ratio (IDR). 0.01 IDR limit corresponds to the immediate use performance level according to ATC-40 and buildings show elastic behaviour below this IDR. In this study, it was determined in which ranges the fundamental period values should be in order to prevent damage to regular reinforced concrete buildings in the city center of Çanakkale. The study was carried out for soil classes ZC, ZD and ZE and for earthquake levels DD-1 and DD-2. In this context, as a novelty for the determination of the maximum IDR, flexural beams were assumed for pure shear wall structures, while shear beams were assumed for pure frame structures. In the study, as a difference from the literature, in order to obtain more realistic results, the masses are considered lumped at the storey levels in the flexural beam and shear beam model. Using this model, a fundamental period related to the maximum IDR was obtained using SAP2000. The relation obtained was equalized to 0.01 IDR and the minimum fundamental period values required for the buildings not to be damaged were calculated. The results obtained were shown on graphs and tables and the outcomes were evaluated.

Keywords: *Fundamental Period, Interstory Drift Ratio, Damage Vulnerability.*

1. Giriş

Yapıların depreme karşı dayanımlarının belirlenmesi için pratik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuyla ilgili yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Gülkan & Utkuğ, 2003; Akbulut & Aytuğ, 2005; Karaca 2017; Hancılar, Şeşetyan & Çaktı, 2019; Karaşin, 2023). Akbulut ve Aytuğ (2005), mevcut betonarme yapıların deprem hasar görebilirliklerini belirlemeye yönelik bir değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Yöntem, yapıların mimari ve yapısal özelliklerinin pratik bir şekilde gözden geçirilmesi ve yapının deprem davranışını olumsuz yönde etkileyecek özelliklerin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Karaca (2017), yapının kat sayısı ile hasar görebilirliği arasında bir bağıntının yanı sıra, hasar ile hakim periyot, yanal rijitlik katsayısı ve süneklik arasında bir bağıntı olup olmadığını araştırmıştır. Bu parametrelerin hasar görebilirlik ile ilişkisi için çok sayıda bina kullanarak değerlendirme yapmanın uygun olacağı sonucuna varmıştır. Hancılar vd. (2019), 2000 yılından sonra inşa edilen ve 1998 Deprem Yönetmeliği'ne uygun yapıldıkları varsayılan binalar için, tasarıma esas deprem düzeyinde yapısal hasar tahminleri sunmuşlardır. Bu kapsamda, ELER yazılımında kapasite spektrumu yöntemini temel alan Kentsel Deprem Kayıpları Tahmin Modülünü kullanmışlardır. Karaşin (2023), spektral ivme değerini değişken olarak seçerek 7 farklı bölgede ve 7 farklı ilde 2018 ve 2007 Deprem Yönetmelikleri kapsamında 7 katlı bir binayı Kocaeli 1999 deprem kaydı altında analiz ederek

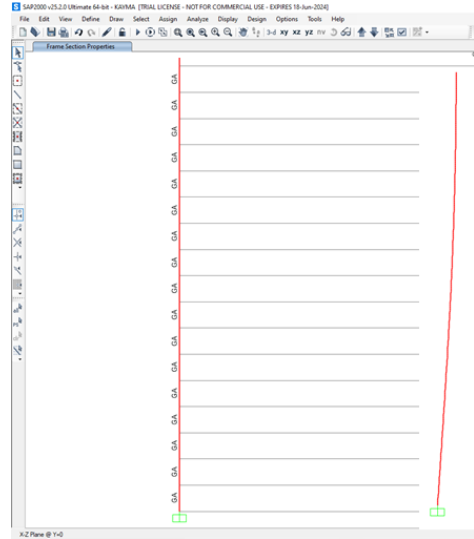
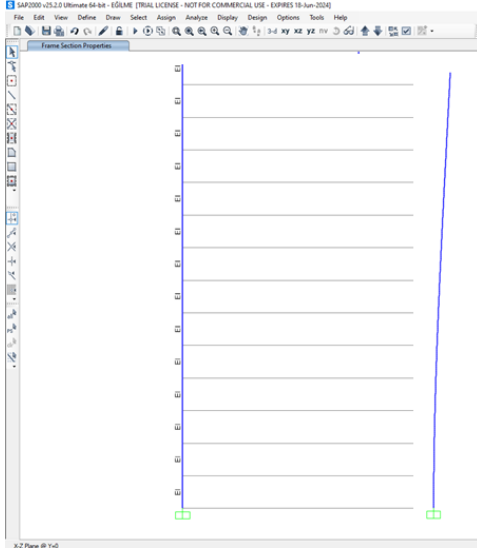
dirençlilik indeksinin bulunması için gerekli parametreleri elde etmiştir.

Gülkan ve Utkuğ (2003), okul binalarının depremlerde elastik bölgede kalarak hasar görmemeleri için gerekli olan minimum perde oranını hesaplamak için bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşımda okul binasına etkiyen deprem yüklerinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı ve çerçevelerin hiçbir yük almadığı kabul edilmiştir. Çalışmada okul binası eşdeğer bir eğilme kirişi olarak modellenmiş olup, güvenli tarafta kalmak için bina kütlesi sisteme yayılı olarak etkilmiş ve farklı görel kat ötelenme oranları için gerekli olan perde yüzdesi hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ise, Çanakkale il merkezi özelinde en çok bulunan zemin sınıfları olan ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında salt perdeli ve salt çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip binaların 0.01 görel kat öteleme oranını aşmaması için gerekli olan hakim periyot değerleri aralığı 1'den 20'ye kadar 20 farklı kat sayısı için hesaplanmıştır. 0.01 maksimum görel kat öteleme (MGKÖ) sınırı hemen kullanım performans seviyesine karşı gelmekte olup (İbrahim & El-Shami, 2011; Teguh, Mahlisani & Saleh, 2019) bu değer altında binalar elastik davranış göstermektedirler.

Çalışmada, salt perdeli yapılar eğilme kirişi olarak, salt çerçeveli yapılar ise kayma kirişi olarak SAP2000'de modellenmiş (Şekil 1), yapılan hesaplar sonucunda görel kat öteleme oranı için periyodun fonksiyonu olan bir bağıntı elde edilmiştir. Bu makalede,

binaların taşıyıcı sistemlerinin simetrik olduğu ve binadaki kolon, perde ve kiriş boyutlarının yapı yüksekliği boyunca değişmediği kabulleri yapılmıştır. Simetrik yapılarda yer değiştirmelerin hesaplanmasında birinci mod baskın olduğundan analizlerde yalnızca birinci mod dikkate alınmıştır.



Şekil 1. SAP2000 modelleri ve şekil değiştirmeleri a. eğilme kirişi b. kayma kirişi

Kayma kiriş modelinde eğilme yer değiştirmelerini ihmal etmek adına eğilme rijitliği için yüksek bir değer girilirken, eğilme kirişi modelinde ise kayma yer değiştirmelerini ihmal etmek adına kayma rijitliği için yüksek bir değer girilmiştir.

Hesaplamalarda, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'deki Deprem Düzeyi -2 (tasarım deprem yer hareketi) ve Deprem Düzeyi -1 (göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi) için tanımlanmış olan yatay elastik tasarım spektrumları kullanılmıştır.

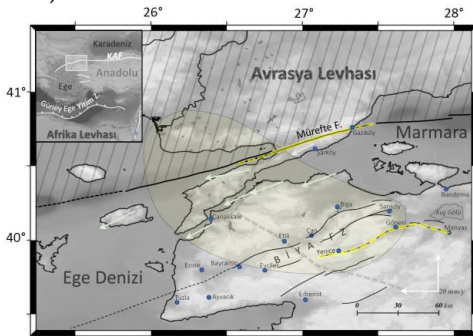
Çalışmada orijinal olarak, yalnızca eğilme kirişi değil aynı zamanda salt çerçevesel yapıları temsil eden kayma kirişi davranışı esas alınarak 0.01 görel kat ötelemesi oranı için gereken periyotlar hesaplanmıştır. Gülkan ve Utkutuğ (2003)'ün kullanmış olduğu sürekli sistem hesap modelinde 7 kat ve üzeri için sonuçlar klasik sonlu elemanlar yöntemiyle uyumludur. Sözü edilen çalışmada yayılı olarak dikkate alınan kütle bu çalışmada ayırık olarak kat hizalarında dikkate alınmıştır. Kütlelerin ayırık olarak dikkate alınmasının sebebi 7 ve daha düşük katlı binalarda sürekli sistem hesap modelinin ayırık kütle hesap modelinden daha uzak sonuçlar vermesidir (Baikov & Sigalov, 1981). Bilindiği üzere kütleler döşeme hizalarında yoğunlaşmakta olup bu nedenle kütlelerin ayırık olarak kat hizalarında dikkate alınması daha gerçekçidir. 7 ve daha düşük kat sayısına sahip binalarda kütlelerin ayırık olarak dikkate alınmasıyla klasik sonlu elemanlar yöntemine daha uyumlu sonuçlar elde edilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu kısımda öncelikle çalışma alanı olan Çanakkale bölgesindeki aktif faylar ve bölgeyi etkileyen geçmiş depremlerden bahsedilmiştir. Daha sonra Çanakkale il merkezi için DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerindeki spektrum eğrileri AFAD Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından elde edilerek ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için verilmiştir. Sonrasında ise periyot ile hasar görebilirlik arasındaki ilişki denklemler yardımıyla açıklanmıştır.

2.1 Çanakkale'nin Depremselliği

Çanakkale, Türkiye'nin en aktif 2 fayından biri olan Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın kuzey ve güney kolları arasında konumlanmaktadır (Şekil 2). Bölgeyi tehdit eden aktif faylar; Saroz-Gaziköy Fayı, Yenice-Gönen Fayı, Çan-Biga Fayı, Etili Fayı ve Sarıköy Fayı olarak sayılabilir (Erginal & Erginal, 2003).



Şekil 2. Çanakkale ve çevresinin aktif tektoniği (Komut, Önder & Özcan, 2023)

Saros-Gaziköy Fayı'nın bulunduğu bölgede farklı büyüklükte çok sayıda deprem kaydedilmiştir. Bu depremler arasında en yıkıcı olanı 09.08.1912

tarikhinde gerçekleşen $M_s=7.4$ büyüklüğündeki Şarköy-Mürefte depremidir. 10.08.1912 günü ise aynı bölgede $M_s=6.2$ ve $M_s=5.3$ büyüklüklerinde depremler yaşanmıştır. Yenice-Gönen Fayı Biga Yarımadası'nın en önemli aktif tektonik yapılarından biridir. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney kolunun bir parçası olduğu değerlendirilen bu fay üzerinde 18.03.1953 tarihinde yıkıcı bir deprem ($M_w=7.2$) meydana gelmiştir (Kürçer, Chatzipetros, Tutkun, Pavlides, Ateş & Valkaniotis, 2008). Yaklaşık 55 km uzunluğundaki bu fayda 03.03.1969 yılında $M_s=5.7$ büyüklüğünde deprem olmuştur. Çan-Biga fay zonu, 2 - 25 km arasında değişen uzunluklarda bir çok fay parçasından oluşmuştur. Bu bölgede 04.01.1935'te $M_s=6.4$ büyüklüğünde, 05.07.1983 tarihinde ise $M_s=6.1$ büyüklüğünde deprem olmuştur. Yaklaşık 40 km uzunluktaki Etili Fayında 26.04.1972 tarihinde $M=5.0$ büyüklüğünde deprem olmuştur (Demirci, 2007).

Çanakkale ilinin Ayvacık ilçesi 06.02.2017 $M_w=5.2$ ve $M_w=5.1$, 07.02.2017 $M_w=5.2$, 12.02.2017 $M_w=5.3$ tarihlerinde orta büyüklükte dört depremlerle sarsılmıştır (Görgün, Kalafat & Kekovalı, 2020). Ayrıca 24.05.2014 tarihinde Ege Denizi'nin kuzeyindeki Gökçeada Adası'nın batısında meydana gelen $M_w=6.9$ büyüklüğündeki deprem, 50'si Çanakkale ilinde ve 200'ü Gökçeada'da olmak üzere yaklaşık 300 binada orta derecede hasara yol açmıştır (Karagöz, Chimoto, Yamanaka, Özel & Citak, 2018).

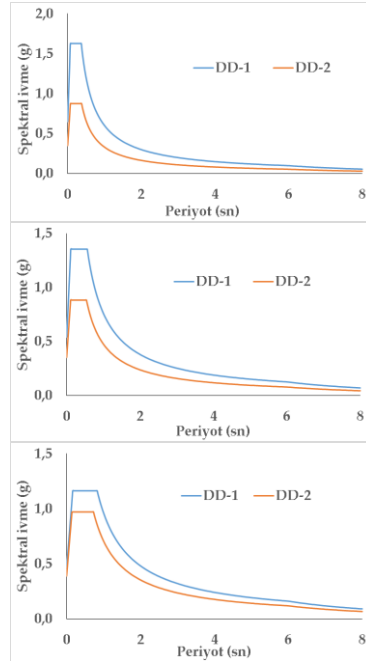
08.01.2013 tarihinde meydana gelen $M_w=5.7$ büyüklüğündeki Kuzey Ege Denizi ve 30.07.2013 tarihinde meydana gelen $M_L=5.3$ büyüklüğündeki Kuzey Ege Depremi Çanakkale'de hissedilen depremler olmuştur. Son olarak 20.02.2019'daki $M_w=5.0$ büyüklüğündeki Tartışık-Ayvacık depremi, 27.02.2024'te $M_L=4.5$ büyüklüğündeki Beypınar-Lapseki depremi ve 04.03.2024'te $M_L=4.9$ büyüklüğündeki Karasu-Yenice depremi, bu bölgede depremlerin sıklıkla meydana geldiğini göstermektedir. Bölgede meydana gelen depremler özet olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bölgede meydana gelmiş önemli depremler

Tarih	Moment Büyüklüğü	Deprem Yeri
09.08.1912	$M_s=7.4$	Şarköy-Mürefte
10.08.1912	$M_s=6.2$	Şarköy-Mürefte
10.08.1912	$M_s=5.3$	Şarköy-Mürefte
04.01.1935	$M_s=6.4$	Çan -Biga fay zonu
18.03.1953	$M_w=7.2$	Yenice-Gönen
03.03.1969	$M_s=5.7$	Gönen
26.04.1972	$M=5.0$	Etili
05.07.1983	$M_s=6.1$	Çan -Biga fay zonu
08.01.2013	$M_w=5.7$	Kuzey Ege Denizi
30.07.2013	$M_L=5.3$	Kuzey Ege Depremi
24.05.2014	$M_w=6.9$	Ege Denizi
06.02.2017	$M_w=5.2$	Ayvacık
06.02.2017	$M_w=5.1$	Ayvacık
07.02.2017	$M_w=5.2$	Ayvacık
12.02.2017	$M_w=5.3$	Ayvacık
20.02.2019	$M_w=5.0$	Tartışık-Ayvacık
27.02.2024	$M_L=4.5$	Beypınar-Lapseki
04.03.2024	$M_L=4.9$	Karasu-Yenice

2.2 Çanakkale İl Merkezi için TBDY2018'e Göre DD-1 ve DD-2 Deprem Düzeyleri için Tasarım Spektrumları

Çanakkale il merkezini temsil eden enlem: 40.1470045 ve boylam: 26.4075808 lokasyonu alınarak farklı zemin sınıfları ile DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için AFAD Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından elde edilmiş olan tasarım spektrumları aşağıda verilmiştir. Şekil 3a,b,c'de sırasıyla ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarına ait yatay elastik tasarım spektrum eğrileri görülmektedir. Tablo 2'de ise S_{D0} (Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı) ve S_{D1} (1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı) değerleri verilmiştir.



Şekil 3. Çanakkale il merkezi DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için yatay elastik tasarım spektrumları a. ZC, b. ZD, c. ZE

Tablo 2. DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerine göre S_{DS} ve S_{D1} değerleri

	DD-1		DD-2	
	S_{DS}	S_{D1}	S_{DS}	S_{D1}
ZC	1.627	0.621	0.876	0.331
ZD	1.356	0.761	0.884	0.477
ZE	1.163	0.962	0.971	0.706

2.3 Periyodun Hasar Görebilirlikle İlişkisi

Hasar gören yapılarda yapılan ölçümlerde rijitliğin azaldığı, dolayısıyla periyodun uzadığı ve yer değiştirmelerin arttığı gözlemlenmiştir (Bayülke, 2021). Yer değiştirmelerin artmasıyla birlikte görelî kat ötelemesi oranları da artmaktadır.

Tespit edilen periyot uzaması ile yapının ne derece hasar gördüğünü belirlemek mümkün olmaktadır (Masi & Vona, 2010; Mucciarelli, Vona, Ditommaso & Gallipoli, 2012; Ditommaso, Vona, Gallipoli & Mucciarelli, 2013; Socarrás-Cordoví, Álvarez-Deulofeu & Lora-Alonso, 2021; Wang, Gao & Yang, 2022). Tepki spektrumları farklı periyota sahip tek serbestlik dereceli sistemlerin aynı deprem kaydı altında aynı sönüm oranı için maksimum ivme, hız ve yer değiştirmeleri içermektedir. Bu spektrumlardan görüleceği üzere yer değiştirmeler ve dolayısıyla görelî kat ötelemesi oranları periyotla değişmektedir. Eğer mevcut bir binanın depremden önceki ve depremden sonraki periyodu ölçülmüşse bu binanın depremde nasıl bir performans sergilediği ve ne kadar hasar gördüğünü belirlemek mümkündür.

2.4 Çalışmada Kullanılan Yöntem

Maksimum görelî kat ötelemesi oranı (MGKÖO) yapı dinamiğinden bilindiği üzere Denklem 1'de verilen bağıntıyla hesaplanabilir (Chopra, 2023).

$$MGKÖO = \frac{\Gamma_1}{H} \frac{d\phi(z)}{dz}_{max} \cdot S_d(T_1) \quad (1)$$

(1) No.lu bağıntıda Γ_1 1. moddaki katılım faktörünü, $\phi(z)$ 1. mod şeklini, z bina yüksekliği boyunca uzanan eksenini, H toplam bina yüksekliğini, $S_d(T_1)$ hakim periyoduna karşı gelen elastik spektral yer değiştirme değerini göstermektedir. Spektral yer değiştirmeye spektral ivme arasında (2) No.lu bağıntıyla verilen ilişki bulunmaktadır (Chopra, 2023).

$$S_d(T_1) = \frac{S_a(T_1)}{\omega_1^2} \quad (2)$$

(2) No.lu bağıntıda $S_a(T_1)$ birinci periyoda karşılık gelen elastik spektral ivme değerini ve ω_1 ise birinci modun açılal frekansını göstermektedir. (3) No.lu bağıntıda verilen periyotla açılal frekans bağıntısı (2) No.lu denklemde yerine yazılırsa (4) No.lu denklem elde edilir.

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} \quad (3)$$

$$S_d(T_1) = \frac{S_a(T_1) \cdot T_1^2}{4\pi^2} \quad (4)$$

Yukarıda verilen (4) No.lu bağıntı (1) No.lu denklemde yerine yazılırsa (5) No.lu bağıntı elde edilir.

$$MGKÖO = \frac{\Gamma_1}{H} \frac{d\phi_1}{dz}_{max} \cdot \frac{S_a(T_1) \cdot T_1^2}{4\pi^2} \quad (5)$$

(5) No.lu bağıntı daha kısa olarak (6) No.lu bağıntı şeklinde yazılabilir.

$$MGKÖO = \frac{\beta \cdot S_d(T_1) \cdot T_1^2}{H} \quad (6)$$

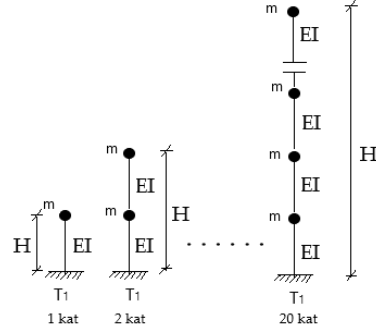
(6) No.lu bağıntıda geçen β katsayısı, MGKÖO katsayısı olarak (7) No.lu bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$\beta = \frac{r_1}{4\pi^2} \frac{d\phi_1}{dz_{max}} \quad (7)$$

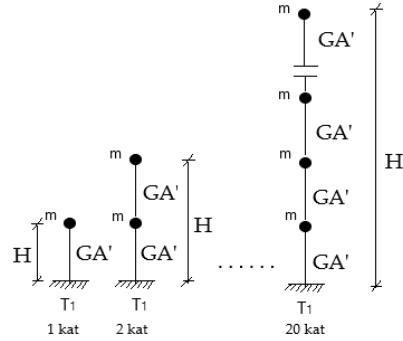
(7) No.lu bağıntıdaki r_1 , birinci modun katılım faktörü, $\frac{d\phi_1}{dz}$ ise birinci mod şeklinin konuma göre türevi olarak tanımlanmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Salt perde duvarlı binalar genellikle yatay yükler altında bir eğilme kirişi gibi davranırlar (Atımtay, 2000). Buna karşı salt çerçevelerden oluşan binalar yatay yükler altında hakim davranış olarak bir kayma kirişi davranışı gösterirler. Perde-çerçeve (karma) binalar ise eğilme+kayma davranışı gösterirler. Bu çalışmada (7) No.lu bağıntıda tanımlı olan β katsayısının bulunması için SAP 2000 programından yararlanılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü üzere salt perde duvarlardan oluşan binalar için duvar davranışını temsil etmek üzere 1'den 20 kata kadar değişen eğilme kirişleri SAP2000 ortamında çözümlenerek β değerleri hesaplanmıştır. Benzer olarak salt çerçevelerden oluşan binaları temsil eden ve Şekil 5'te görüldüğü üzere 1'den 20 kata kadar kayma kirişleri çözümlenerek bu tür binalar için de β katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen β katsayılarının kat adetine ve taşıyıcı sistem türüne bağlı değişimi Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 4. Eğilme kirişi



Şekil 5. Kayma kirişi

Tablo 3'ten görüldüğü üzere β katsayısı salt perdeli binalar için 0.025 ile 0.053 arasında değişirken salt çerçevelerden oluşan binalar için ise 0.025 ile 0.050 arasında değişmekte olup perde-çerçeve binalarda ise β katsayıları salt perde duvar ve salt çerçevelerden oluşan binalar için verilen değerler arasında olacaktır. Örneğin beş katlı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bir binada β katsayısı 0.045 ile 0.049 arasında olacaktır. β katsayıları en büyük değerleri salt perdelerden oluşan binalarda almaktadır. Bu nedenle güvenli tarafta kalmak amacıyla bu çalışmada sınır değer olarak seçilen 0.01 MGKÖO'nu sağlayacak olan hakim periyotların bulunması için salt perdeli binalar için elde edilmiş β katsayıları kullanılmıştır.

Tablo 3. β katsayısının kat adedi ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak değişimi

Kat Adedi	Salt Perdeli	Salt Çerçevesi
1	0.025	0.025
2	0.041	0.037
3	0.046	0.041
4	0.048	0.044
5	0.049	0.045
6	0.050	0.046
7	0.051	0.047
8	0.051	0.047
9	0.052	0.048
10	0.052	0.048
11	0.052	0.048
12	0.052	0.048
13	0.053	0.049
14	0.053	0.049
15	0.053	0.049
16	0.053	0.049
17	0.053	0.049
18	0.053	0.049
19	0.053	0.049
20	0.053	0.050

Çalışmada (6) No.lu bağıntıdan yararlanılarak TBDY2018'e göre Çanakkale il merkezinde ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerine göre 0.01 maksimum görel kat ötelemesi sınırı aşmayan hakim periyot değerleri (8) No.lu eşitsizlik yardımıyla hesaplanmıştır. 8 No.lu eşitsizliğin çözümü için Scilab ortamında bir program yazılmıştır. Eşitsizlikte yer alan $S_a(T_1)$ değerleri için TBDY2018'deki yatay elastik spektrumlar kullanılmıştır.

$$T_1 \leq \sqrt{\frac{0.01.H}{\beta.S_a(T_1)}} \quad (8)$$

TBDY2018'e göre yatay elastik tasarım spektrumunu tanımlayan 4 bölge bulunmaktadır. 4. bölge (sabit yer değiştirme bölgesi) 6 saniye ve üzeri periyoda karşılık gelmektedir. Bu çalışmada 20 ve daha az katlı binalar göz önüne alındığından ve bu binaların periyotlarının 6 saniyeden daha kısa olması nedeniyle 4. bölge çözümlenelerde göz önüne alınmamıştır.

1. bölge Denklem 9'daki gibi tanımlıdır.

$$S_{ae}(T_1) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T_1}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T_1 \leq T_A) \quad (9)$$

Bina periyodunun bu bölgede kalması durumunda (9) bağıntısı (8) No.lu denklemde yerine yazılırsa aşağıda verilen ve T_1 hakim periyodunun bilinmeyen olduğu 3. dereceden bir eşitsizlik elde edilir (Denklem 10).

$$\frac{\beta x g x 0.6 x S_{DS}}{T_A} T_1^3 + 0.4 x S_{DS} x \beta x g x T_1^2 - 0.01 H \leq 0 \quad (10)$$

(10) No.lu eşitsizlik kısaltılmış olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$a T_1^3 + b T_1^2 - c \leq 0 \quad (11)$$

Burada a, b ve c ifadeleri (12) No.lu denklemde tanımlanmıştır.

$$a = \frac{\beta x g x 0.6 x S_{DS}}{T_A}, \quad b = 0.4 x S_{DS} x \beta x g, \quad c = 0.01 H \quad (12)$$

(11) No.lu denklemde verilen 3. dereceden denklemin $0 \leq T_1 \leq T_A$ koşulunu sağlayan kökü hakim periyot değerini verir.

TBDY2018'de 2. bölge (sabit ivme bölgesi) ise Denklem 13'teki gibi tanımlıdır.

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (13)$$

Hakim periyodun bu bölgede yer alması durumunda ise (13) ve (8) No.lu bağıntılardan yararlanılarak (14) No.lu eşitsizlik elde edilir.

$$T_1 \leq \sqrt{\frac{0.01xH}{S_{DS}xgx\beta}} \quad (14)$$

(14) No.lu eşitsizliğin çözümünden MGKÖÖ'nün 0.01'den küçük olması için T_1 hakim periyodunun alabileceği en büyük değeri hesaplanır.

TBDY2018'de ivme spektrumunda sabit hız bölgesi olan 3. bölge için aşağıdaki gibi tanımlıdır (Denklem 15).

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (15)$$

(15) No.lu bağıntının (8) No.lu denklemde yerine yazılmasıyla (16) No.lu eşitsizlik elde edilir.

$$T_1 \leq \frac{0.01xH}{S_{D1}xgx\beta} \quad (16)$$

(11), (14) ve (16) No.lu bağıntılardan yararlanılarak Çanakkale il merkezinde DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerinde ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için MGKÖÖ'nün 0.01'den daha düşük olması için hakim periyotların sınır değerleri hesaplanarak Tablo 4 ve 5'te verilmiştir.

Tablo 4 ve 5'te görüldüğü üzere, hakim periyotların üst sınır değerleri

TBDY2018'de tanımlı 2. ve 3. bölgeye denk gelmektedir.

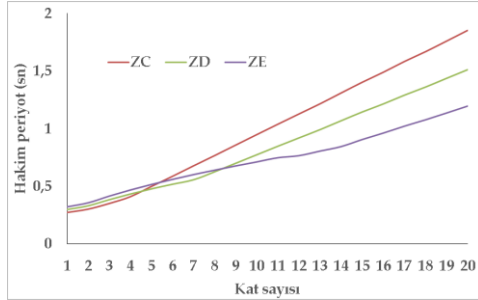
Tablo 4. DD-1 için hakim periyotların üst sınır değerleri (sn)

Kat Sayısı	ZC	ZD	ZE
1	0.273	0.299	0.322
2	0.302	0.331	0.357
3	0.351	0.384	0.415
4	0.410	0.433	0.468
5	0.499	0.478	0.516
6	0.587	0.518	0.560
7	0.678	0.557	0.602
8	0.767	0.626	0.640
9	0.858	0.700	0.677
10	0.949	0.774	0.712
11	1.039	0.848	0.748
12	1.128	0.920	0.766
13	1.216	0.992	0.806
14	1.310	1.069	0.845
15	1.403	1.145	0.906
16	1.490	1.215	0.962
17	1.583	1.291	1.022
18	1.668	1.361	1.077
19	1.760	1.437	1.136
20	1.853	1.512	1.196

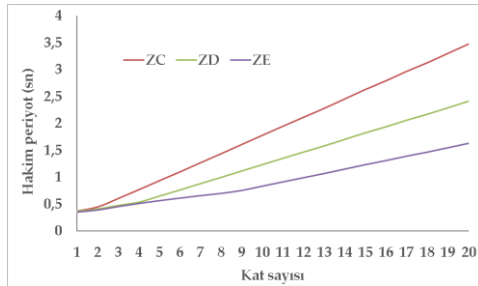
Tablo 5. DD-2 için hakim periyotların üst sınır değerleri (sn)

Kat Sayısı	ZC	ZD	ZE
1	0.371	0.370	0.353
2	0.448	0.410	0.391
3	0.605	0.476	0.454
4	0.768	0.536	0.512
5	0.936	0.649	0.565
6	1.101	0.764	0.613
7	1.271	0.882	0.658
8	1.439	0.998	0.700
9	1.610	1.118	0.755
10	1.781	1.236	0.835
11	1.949	1.353	0.914
12	2.116	1.468	0.992
13	2.281	1.583	1.070
14	2.457	1.705	1.152
15	2.632	1.827	1.234
16	2.795	1.939	1.310
17	2.969	2.060	1.392
18	3.129	2.171	1.467
19	3.303	2.292	1.548
20	3.477	2.412	1.630

Tablo 4 ve 5'ten elde edilen değerler Şekil 6 ve 7'de DD-1 ve DD-2 için ayrı ayrı grafikler halinde verilmiştir.



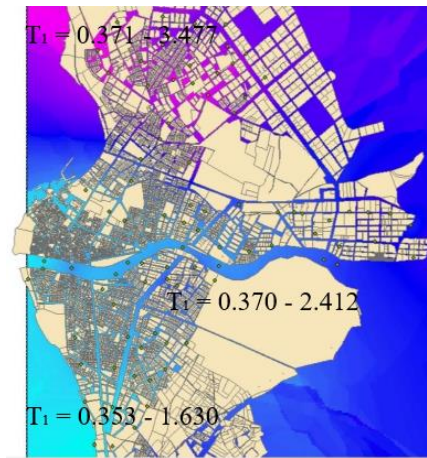
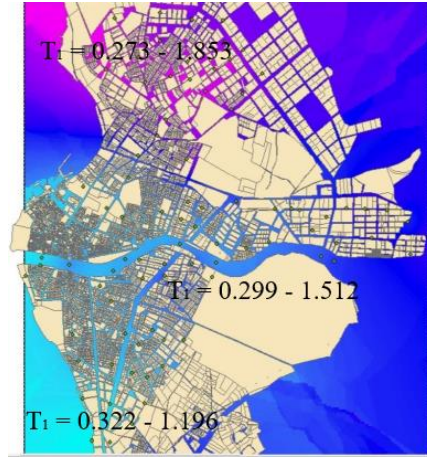
Şekil 6. DD-1 için ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında hakim periyotların dağılımı



Şekil 7. DD-2 için ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarında hakim periyotların dağılımı

Çanakkale il merkezindeki zemin sınıflarını elde etmek amacıyla Çanakkale Belediyesi'nden temin edilen veriler (V_{s30} değerleri), çevrimiçi coğrafi bilgi sistemi hizmetleri yazılımı olan ArcGIS programına aktararak her bir parsel için grid code elde edilmiştir. (V_{s30}) değerlerine bağlı olarak TBDY2018'de yer alan yerel zemin sınıfları Çanakkale il merkezi haritasına işlenmiştir. Harita üzerinde ZC zemin sınıfı pembe renkte, ZD zemin sınıfı koyu mavi renkte ve ZE zemin sınıfı ise açık mavi renkte görülmektedir. Farklı zemin sınıfları için elde edilen hakim

periyot aralıkları temsili olarak Şekil 8 üzerinde gösterilmiştir.

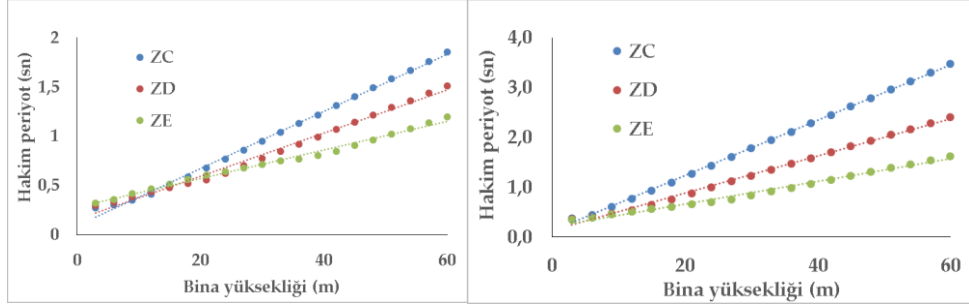


Şekil 8. ZC, ZD ve ZE için hakim periyot değer aralıkları a. DD-1 b. DD-2

Bu çalışmada ayrıca, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için ZC, ZD, ZE zemin sınıflarında hakim periyot ile bina yüksekliği ilişkileri doğrusal kabul edilerek eğilim eğrileri elde edilmiş ve Şekil 9'da verilmiştir. Eğilim eğrileri incelendiğinde R^2 değerlerinin ZC zemin sınıfları için en yüksek değerleri aldığı görülmektedir. Buna karşın, R^2 değerlerine bağlı olarak oluşturulan eğrilerle veriler arasında iyi

bir korelasyon ilişkisi bulunduğu söylenebilir. Elde edilen eğilim eğrilerini tanımlayan denklemler ve

determinasyon katsayısı R-kare değerleri Tablo 6 'da verilmiştir.



Şekil 9. Zemin sınıfları ve deprem düzeylerine göre periyot-bina yüksekliği ilişkisi a. DD-1 b. DD-2

Tablo 6. DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için periyot-bina yüksekliği ilişkilerini tanımlayan parametreler

Deprem Düzeyi		ZC	ZD	ZE
DD-1	Hakim periyot (T_1)	$0.029H+0.0934$	$0.0219H+0.1533$	$0.145H+0.2801$
	R-kare (R^2)	0.9970	0.9910	0.9917
DD-2	Hakim periyot (T_1)	$0.0557H+0.1158$	$0.0375H+0.131$	$0.227H+0.213$
	R-kare (R^2)	0.9995	0.9964	0.9895

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Çanakkale il merkezinde DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerinde ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için MGKÖO'nun 0.01'den küçük olması için 1'den 20'ye farklı kat sayıları için hakim periyodun alabileceği en büyük değerler hesaplanmıştır. Bunun için salt perdeli binaları temsil eden eğilme kirişi ve salt çerçevelerden oluşan binaları temsil eden kayma kirişi modelleri SAP2000 ortamında oluşturulmuştur. Daha gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla literatürden farklı olarak eğilme kirişi ve kayma kirişi modelinde kütleler ayrı olarak kat hizalarında dikkate alınmıştır. SAP2000 ortamında oluşturulan

modeller yardımıyla MGKÖO için bir bağıntı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntıda görel kat ötelemesi oranının hakim periyodun karesi ile orantılı olduğu görülmektedir. TBDY2018'de tanımlanan yatay elastik tasarım spektrumlarından yararlanılarak farklı zemin sınıfları için yapının hasar görmeyeceği hakim periyodun alabileceği değer aralıkları hesaplanmıştır.

Tablolardaki sonuçların pratik kullanımı açısından periyot ile bina yüksekliği arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler ve denklemleri oluşturulmuştur. Elde edilen tablodan Çanakkale'de yapı stoğunun önemli bir kısmını oluşturan

üç katlı ve dört katlı binalarda DD-2 zemin sınıfında 0.01 görelî kat ötelemesi oranı için izin verilebilecek periyotların üst sınır değerleri ZE zemin sınıfı için 0.454 ve 0.512 sn olarak elde edilmiştir. DD-1 deprem düzeyi için ise ZC zemin sınıfı için daha kritik değerler elde edilmiş olup bu değerler 0.351 ve 0.410 sn olarak elde edilmiştir.

Bu çalışma simetrik ve düzenli binalarla sınırlı olup ileride yapılacak çalışmalarda asimetrik ve düzensiz binalar için de geliştirilebilir.

Yalnızca hemen kullanım performans seviyesi için yapılan analizler diğer performans seviyeleri için de gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu çalışmada dikkate alınmayan zemin-yapı etkileşimi de ileriki çalışmalarda dikkate alınabilir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Araştırma, Fikir Sahibi, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak, Kaynaklar, Metodoloji, Analiz ve yorumlama.

Yazar 2: Kaynaklar, Görselleştirme, Doğrulama, Yazma – orijinal taslak, Analiz ve yorumlama.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

- ABYYHY1998 (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
- AFAD Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. (2024). <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/>
- Akbulut, M.T., Aytuğ, A. (2005). Deprem hasar görebilirlik riskinin gözleme dayalı belirlenmesine yönelik öneri değerlendirme yaklaşımı. *Megaron YTÜ Mimarlık Fakültesi e-Dergisi*, 1(1). 88-98.
- ArcGIS, (2022). Enterprise GIS Mapping Platform, Environmental Systems Research Institute.
- ATC-40 (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council. California.
- Atımtay, E. (2000). *Çerçevesi ve perdeli betonarme sistemlerinin tasarımı-Temel kavramlar ve hesap yöntemleri*. Cilt II. Bizimbüro Basımevi.
- Baikov, V., Sigalov, E. (1981). *Reinforced concrete structures. Design of buildings and structures*. Volume 2. Published by MIR.
- Bayülke, N. (2021). *Deprem ve yapı*. Yazardan Direkt Yayınevi. 1. Baskı. Ankara.
- Chopra, A. K. (2023). *Dynamics of structures paperback – Theory and applications to earthquake engineering*. 6th Edition.
- DBYBHY2007 (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
- Demirci, A. (2007). *Çanakkale şehir merkezi sismik mikrobölgelendirmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye.
- Ditomaso, R., Vona, M., Gallipoli, M. R., Mucciarelli, M. (2013). Evaluation and considerations about fundamental periods of damaged reinforced concrete buildings. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 13, 1903–1912.

- <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1903-2013>.
- ELER v3.1 (2010). Earthquake Loss Estimation Routine, Technical Manual and Users Guide, Boğaziçi University, Department of Earthquake Engineering, İstanbul.
- Erginal, A.E., Erginal, G. (2003). Çanakkale şehrinde yer seçiminin jeomorfolojik açıdan değerlendirilmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 8(9). 95-116.
- Görgün, E., Kalafat, D., Kekovalı, K. (2020). Source mechanisms and stress field of the 2017 Ayvacık/Çanakkale earthquake sequence in NW Turkey, *Annals of Geophysics*, 63 (3), SE332, 23 pages. <https://doi.org/10.4401/ag-8194>.
- Gülkan, P., Utkuğu, D. (2003). Okul Binalarının Deprem Güvenliği İçin Minimum Dizayn Kriterleri. *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 425 (3). 13-22.
- Hancılar, U. Şeşetyan, K., Çaktı, E. (2019). İstanbul'daki 2000 yılı sonrası binalar için tasarıma esas deprem seviyesi altında karşılaştırmalı yapısal hasar ve mali kayıp tahminleri. *Teknik Dergi*, 536, 9107-9123. <https://doi.org/10.18400/tekderg.326939>.
- Ibrahim, Y.E., El-Shami, M.M. (2011). Seismic fragility curves for mid-rise reinforced concrete frames in Kingdom of Saudi Arabia. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 4(4). 213-223. <https://doi.org/10.1080/19373260.2011.609325>.
- Karaca, H. (2017). Investigation of the relationship between the various structural parameters and performance displacement by using improved displacement coefficient method. *Neşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 619-632. <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.263972>
- Karagöz, Ö., Chimoto, K., Yamanaka, H., Özel, O., Citak, S. (2018). Broadband ground-motion simulation of the 24 May 2014 Gökçeada (North Aegean Sea) earthquake (Mw 6.9) in NW Turkey considering local soil effects, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(1), 23-43. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0207-6>.
- Karaşin, İ.B. (2023). Sismik dirençlilik ve spektral parametrelerin etkisi. *Dicle University Journal of Engineering*, 14(3), 519-526. <https://doi.org/10.24012/dumf.1334343>.
- Komut, T., Önder, Ş., Özcan, E. (2023). Aktif tektonik rejim içerisinde, Çanakkale Boğazı: Tenkit ve derleme. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 9(3). 748-774. <https://doi.org/10.28979/jarnas.1193877>.
- Kürçer, A., Chatzipetros, A., Tutkun, S. Z., Pavlides, S., Ateş, Ö., Valkaniotis, S. (2008). The Yenice-Gönen active fault (NW Turkey): Active tectonics and palaeoseismology. *Tectonophysics*, 453. 263-275. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.07.010>
- Masi, A., Vona, M. (2010). Experimental and numerical evaluation of the fundamental period of undamaged and damaged RC framed buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8, 643-656. <https://doi.org/10.1007/s10518-009-9136-3>.
- Mucciarelli, M. Vona, M., Ditommaso, R., Gallipoli, M. R. (2012). Experimental measurement of fundamental periods of damaged R.C. buildings. *15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*. Lisbon, Portugal 24-28 September 2012.
- SAP2000. (2024). Structural Analysis and Design. CSI Analysis Reference Manual.
- Scilab, (2021). version 6.1.0: INRIA, ESI Group, Erişim adresi: <https://www.scilab.org>
- Socarrás- Cordoví, Y.C., Álvarez- Deulofeu, E.R., Lora- Alonso, F. (2021). Changes in the fundamental periods of buildings constructed with the great soviet panel. *Estoa*, 19 (10).

<https://doi.org/10.18537/est.v010.n019.a1>

2.

- TBDY2018 (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Teguh, M., Mahlisani, N., Saleh, F. (2019). Pushover analysis of partially strengthened column structures on an existing multi-story building. *MATEC Web Conf. Volume 280. The 5th International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE 2018)*. Banjarmasin, Indonesia. 01003. 1-14.
- Wang, M., Gao, L., Yang Z. (2022). Overall structural seismic damage rapid assessment method based on period and displacement response characteristics. *Scientific Reports*, 12, 19322. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23927-x>.