



Yangının mod birleştirme analizi sonuçlarına etkisi

Effect of fire on mode superposition analysis results

Hakan Erdem^{1,*} , Emine Erdem² 

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde Türkiye
² Metropol İnşaat, Adana, Türkiye

Öz

Yapılarda meydana gelebilecek yangın nedeniyle zamana bağlı olarak artan yüksek sıcaklıklar oluşur. Betonarme yapıları oluşturan elemanların rijitlikleri ve kütleleri de bu yüksek sıcaklık nedeniyle etkilenir ve azalır. Yapının deprem kuvvetlerinin analizinde kullanılan yapının titreşim periyotları ve buna bağlı olarak hesaplanan birçok değer değişir. TS-EN 1992 1-2'de yüksek sıcaklığın malzeme özellikleri üzerindeki etkileri için verilen bağıntılar kullanılarak kütle ve rijitlik matrisleri yeniden oluşturulması gerekir. Bu çalışmada yapının kütlesi ve elastisite modülündeki sıcaklığa bağlı değişimler dikkate alınarak seçilen bir betonarme yapının birinci periyotlarındaki, yatay elastik tasarım spektral ivmelerindeki, taban kesme kuvvetlerindeki ve seçilen bir düğüm noktası için yer değiştirmelerindeki değişimler incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yangın, Yüksek sıcaklık, Birinci periyot, Spektral ivme, Taban kesme kuvveti, Yer değiştirme

1 Giriş

Depreme maruz kalan yapılar, deprem öncesi ve/veya sonrasında yangına maruz kalmış olabilir. Bu yapılara artçı depremler veya yeni depremler yeniden etki edebilir. Yangının neden olduğu hasar bazen depremin neden olduğu hasardan çok daha ağır olabilmektedir [1]. 1906 San Francisco, 1994 Northridge, 1995 Kobe ve 2011 Kesennuma depremleri deprem sonrası oluşan yangınların, depremin kendisinden bile daha büyük felaketlere sebep olabileceğini göstermiştir [2]. 1906 San Francisco depreminde 12 km² alan içerisinde 28000 bina hasar görmüş ve 3000 kişiden fazla kişi ölmüştür. Bu depremde, deprem sonrası yangından kaynaklanan kaybın yer hareketinden 10 kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir [3]. 1923 yılındaki Tokyo depreminde ise 575000 bina hasar görmüş ve 140000 insan ölmüştür. Bunların %77'sinin yangından kaynaklandığı belirtilmiştir [4].

Yangına maruz kalan betonarme yapı elemanlarının dayanımı ve yüksek sıcaklığın etkileri üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır [5-7]. Yangının betonarme yapıların dinamik davranışlarına etkileri üzerine ise literatürde bazı çalışmalar da mevcuttur [8-11].

Bu çalışmada önce seçilen bir yapı için, ISO 834'de verilen bağıntı ile zamana bağlı oluşan yüksek sıcaklıklar

Abstract

High temperatures occur that increase over time due to the product emerging in buildings. The stiffness and mass of reinforced concrete structural elements also decrease over time due to this high temperature. Management voting periods used in the analysis of the earthquake forces of the structure and many values calculated accordingly are changing. You need to re-introduce the mass and stiffness matrices in the relations given in TS-EN 1992 1-2 for data on material properties at high temperature. Considering this regime and the temperature-dependent changes in the elastic modulus, in the first periods of a selected reinforced concrete maintenance, the changes in the extreme elastic design spectral accelerations, base shear forces and displacements for a selected node change.

Keywords: Fire, High temperature, First period, Spectral acceleration, Base shear force, Displacement

hesaplanmıştır. Sonrasında hesaplanan sıcaklıklar için yapının rijitliği ve kütledeki değişimler TS-EN 1992 1-2 'de verilen bağıntılar ile hesaplanmış ve yapının Sap2000 ile modal ve dinamik analizi yapılmıştır. Seçilen yapı için farklı sıcaklık değerlerinde, elastisite modülündeki ve kütledeki değişim dikkate alınarak yapının birinci periyotlarındaki, yatay elastik spektral ivmelerindeki, taban kesme kuvvetlerindeki ve seçilen bir düğüm noktasındaki yer değiştirmelerin değişimleri incelenmiştir.

2 Materyal ve metod

Yapı sisteminin mod şekilleri ve titreşim periyotları, dış yükün olmadığı sönümsüz serbest titreşim durumundaki hareket denkleminin çözümünden elde edilir.

$$[m]\{\ddot{x}\} + [k]\{x\} = \{0\} \quad (1)$$

Serbest titreşim hareketi basit harmonik bir harekettir ve sinüs fonksiyonu ile ifade edilir. Bu durumda yer değiştirmeler $\{x\}$ aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$\{x\} = \{A\} \sin(\omega t) \quad (2)$$

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: herdem@ohu.edu.tr (H. Erdem)

Geliş / Received: 29.09.2023 Kabul / Accepted: 29.11.2023 Yayınlanma / Published: 15.01.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1368595

Bu denklemde $\{A\}$ hareketin genlik vektörünü ve ω açısal frekansı göstermektedir. $\{x\}$ kullanılarak ivme $\{\ddot{x}\}$ ifadesi elde edilir ve hareket denklemi içerisinde yerlerine yazılırsa öz değer problemi elde edilir.

$$-\omega^2[m]\{A\} + [k]\{A\} = \{0\} \quad (3)$$

$$\{A\}([k] - \omega^2[m]) = \{0\} \quad (4)$$

Elde edilen homojen lineer denklem sisteminin sıfırdan farklı bir çözümünün olması katsayılar matrisinin determinantının sıfır olması ile mümkündür.

$$|[k] - \omega^2[m]| = \{0\} \quad (5)$$

Determinantın açılımının yapılması durumunda i . dereceden bir polinom elde edilir. Bu polinomun kökleri ω_i^2 öz değerleri verir. Sonuç olarak çok serbestlik dereceli bir sistemde çözüm sonucu serbestlik derecesi kadar açısal frekans ω_n ve titreşim periyodu T_n elde edilir.

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (6)$$

Mod birleştirme yönteminde her bir modun katkısı kullanılarak taban kesme kuvvetleri ve diğer parametreler hesaplanır.

2.1 Sıcaklığın zamana göre değişimi

Yangınların neden olacağı sıcaklığın belirlenmesinde yangının gerçekleştiği ortama göre değişen farklı modeller kullanılmaktadır. Yangının ürettiği sıcaklığın zamana göre değişiminin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yangın modellerinden ISO834'de verilen sıcaklık-zaman eğrisi,

$$T = T_0 + 345 \log(8t + 1) \quad (7)$$

şeklinde ifade edilmektedir [12]. Burada T_0 santigrat cinsinden ortam sıcaklığını, t ise dakika cinsinden yangın etkime süresini tanımlamaktadır.

2.2 Beton elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi

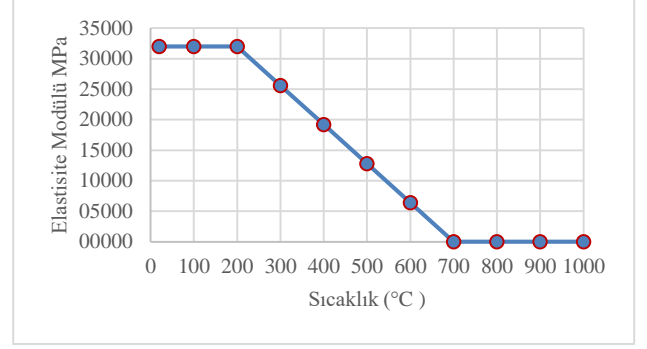
Elastisite modülünün değeri 200°C'ye kadar değişmezken, sıcaklığın artmasıyla azalmaya başlar. Bu değişimi ifade etmek TS-EN 1992-1-2'de verilen bağıntı kullanılabilir (Şekil 1) [13]:

$$E_{cT} = E_{c20^\circ\text{C}} \quad 20^\circ\text{C} \leq T \leq 200^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$E_{cT} = \frac{(700 - T)}{500} E_{c20^\circ\text{C}} \quad 200^\circ\text{C} < T \quad (9)$$

2.3 Yoğunluğun yüksek sıcaklıkla değişimi

Sıcaklığa bağlı olarak betondaki serbest su moleküllerinin buharlaşması sonucu betonun yoğunluğu azalır. Yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişimi için TS-EN 1992-1-2'de bağıntılar verilmiştir [13]. Yoğunluğun 115°C'ye kadar değişmediği sıcaklığın artmasıyla ise değerinin bir miktar azaldığı görülmektedir (Şekil 2).



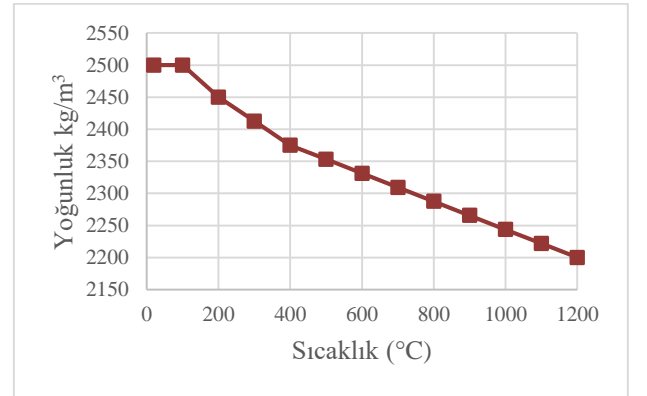
Şekil 1. Zamana bağlı sıcaklığın değişimi

$$\rho_T = \rho_{20^\circ\text{C}} \quad 20^\circ\text{C} \leq T \leq 115^\circ\text{C} \quad (10)$$

$$\rho_T = \rho_{20^\circ\text{C}} \left[1 - 0.02 \frac{T - 115}{85} \right] \quad 115^\circ\text{C} < T \leq 200^\circ\text{C} \quad (11)$$

$$\rho_T = \rho_{20^\circ\text{C}} \left[0.98 - 0.03 \frac{T - 200}{200} \right] \quad 200^\circ\text{C} < T \leq 400^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$\rho_T = \rho_{20^\circ\text{C}} \left[0.95 - 0.07 \frac{T - 400}{800} \right] \quad 400^\circ\text{C} < T \leq 1200^\circ\text{C} \quad (13)$$



Şekil 2. Yoğunluğun sıcaklığa bağlı değişimi

2.4 Yatay elastik tasarım spektral ivmesi

TBDY, gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatı olan yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi $[g]$ cinsinden tanımlanmıştır [14].

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (14)$$

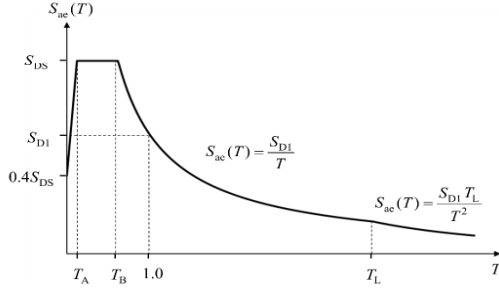
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (15)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L \quad (16)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad T_L \leq T \quad (17)$$

Burada S_{DS} ve S_{D1} tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B , S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır. Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6sn$ alınır.

Şekil 3'den görüleceği üzere maksimum ivme spektrumu yapının periyodunun, T_A ve T_B aralığında bulunması durumunda gerçekleşmektedir.



Şekil 3. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (18)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (19)$$

Yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyodu, yapının enlem boylam bilgileri, deprem yer hareketi düzeyi ve yapının zemin sınıfına bağlı olarak belirlenir. Deprem kuvveti de bu değer kullanılarak hesaplanacak azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$ ile hesaplanır.

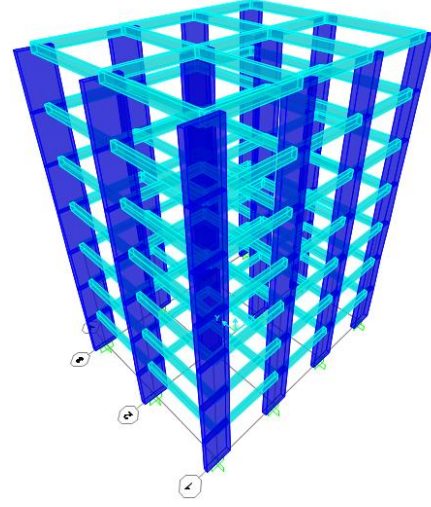
3 Bulgular ve tartışma

Yangın nedeniyle oluşan sıcaklıktaki artış malzemenin elastisite modülünün ve kütesinin azalmasına neden olur. Yapının modal analizi sonucu elde edilen periyotlar da buna bağlı olarak değişir. Periyotların ve kütlelerin değişmesi mod birleştirme yönteminde her bir modun taban kesme kuvvetine katkısının alınması ile hesaplanan yapıya etkiyecek taban kesme kuvveti değerlerinin de değişmesine neden olur. Deprem kuvvetlerinin değişmesi de yapının yapacağı yer değiştirmelerin değerlerini etkiler.

Bu çalışmada Şekil 4'de verilen yapının, yüksek sıcaklığa bağlı olarak azalan elastisite modülü ve birim hacim ağırlığı değerleri kullanılarak Tablo 1'deki değerler kullanılarak modal ve dinamik analizi Sap2000 programı ile yapılmıştır. Yapının bütün katlarında, her elemana aynı sıcaklığın etkideği kabul edilmiştir.

İncelenen yapı her biri 3m olan 7 kata, x yönünde 5m olan üç açıklığa ve y yönünde 6m olan iki açıklığa sahiptir. Ara katlardaki kirişlere 10 kN/m sabit yük, 5 kN/m hareketli yük, son kattaki kirişlere ise 5 kN/m sabit yük ve 5 kN/m hareketli yük etkimektedir. C30/37 betonundan yapılmış olan kirişler 25/50cm, perdeler ise 180/30cm boyutlarındadır. Etkin kesit rijitliği çarpanı perde için 0.50, kiriş için ise 0.35 olarak alınmıştır.

Yapının zemin sınıfı ZC, kullanım amacı konuttur. Yapı 37.977862° enlem 34.652006° boylamda bulunmaktadır. Deprem yer hareketi düzeyi DD2 seçilmiştir.

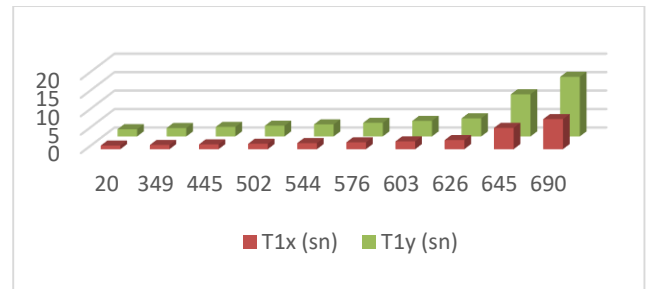


Şekil 4. Analiz edilen yapı

Tablo 1. Elastisite modülünün ve birim hacim ağırlığının sıcaklıkla değişimi

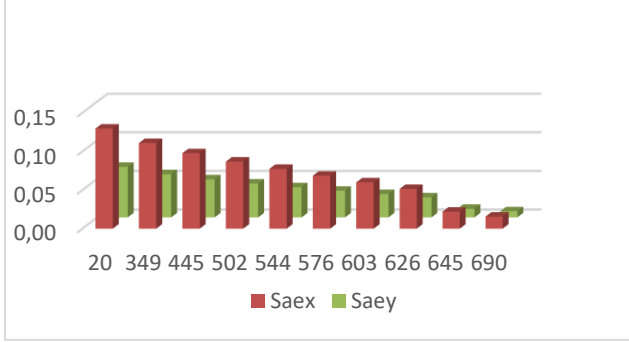
t (dakika)	T (°C)	E_c (MPa)	γ ($\frac{kN}{m^3}$)
0	20	32000	25.00
1	349	22450	23.94
2	445	16352	23.65
3	502	12653	23.53
4	544	9991	23.44
5	576	7910	23.36
6	603	6200	23.31
7	626	4750	23.26
8	645	3491	23.19
...	690	640	23.12
...	695	320	23.10
12	705	0	23.08

Yapının periyotları modal analiz ile elde edilmiş, x ve y doğrultularına ait birinci periyotlar farklı sıcaklık değerleri için Şekil 5'de verilmiştir. Yapı x doğrultusunda y'ye göre daha rijit olduğundan, x yönüne ait periyotlar y'ye göre daha küçük değere sahiptir.



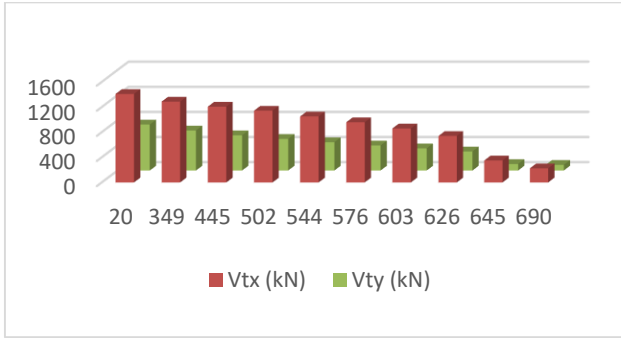
Şekil 5. Yapının x ve y doğrultularında birinci periyotlarının sıcaklığa bağlı değişimleri

Yapının x ve y yönlerinde yapının elastik yatay spektral ivme katsayıları hesaplanmış ve farklı sıcaklık değerleri için değişimleri Şekil 6'de verilmiştir.



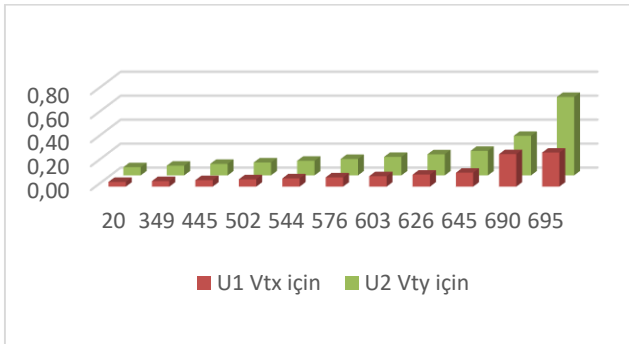
Şekil 6. Yapının elastik yatay spektral ivme katsayılarının sıcaklığa bağlı değişimleri

Yapının x ve y yönlerinde EX ve EY deprem yüklemelerinde geçerli taban kesme kuvvetleri hesaplanmış ve farklı sıcaklık değerleri için değişimleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Yapının taban kesme kuvvetlerinin sıcaklığa bağlı değişimleri

Yapının x ve y yönlerinde EX yüklemesi için U1 ve EY yüklemesi için U2'deki değişimler yapının son katında seçilen bir düğüm noktası için hesaplanmış ve farklı sıcaklık değerleri için değişimlerinde Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. EX ve EY deprem yüklemesi için seçilen düğüm noktasında sıcaklığa bağlı x ve y doğrultularında yer değiştirmeler

4 Sonuçlar

Yapılarda teknik nedenler, kullanıcı hataları ve deprem gibi değişik nedenlerle yangın meydana gelebilmektedir. Yapıyı oluşturan elemanların bazı özelliklerinde değişimler olabilmektedir. Bu çalışmada elastisite modülü ve kütledeki değişim dikkate alınarak yapının sap2000 programı ile modal ve dinamik analizleri farklı sıcaklık değerleri için yapılmış ve elde edilen değerler incelenmiştir.

İncelenen yapı, rijitliğin etkisini görebilmek için bir doğrultuda diğer yöne göre daha rijit oluşturulmuştur. Betonun elastisite modülünün azalması yapı rijitlik matrisinin, kütlelerinin azalması da kütle matrisinin değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Sıcaklığın artmasıyla kütledeki azalmanın etkisi, rijitliğin azalmasındakine göre çok düşük kaldığından yapının periyotlarının değerleri artmıştır. İvme değerleri ve buna bağlı olarak da taban kesme kuvvetleri, yapının birinci periyotlarının T_B 'den daha büyük olması nedeniyle sıcaklık artışıyla azalmıştır. Ancak yapının yatay yer değiştirmeleri sıcaklığa bağlı olarak rijitlikteki azalma nedeniyle sıcaklık artışıyla artmıştır. Yer değiştirmelerin artması yapıda bazı düzensizlikler oluşumuna neden olabilir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, yüksek sıcaklık artışlarının yapısal düzensizliklere etkisi ve farklı katlarda yangın etkime durumları incelenebilir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 18

Kaynaklar

- [1] S. Chen, G.C. Lee and M. Shinozuka, Hazard mitigation for earthquake and subsequent fire. ANCER Annual Meeting: Networking of Young Earthquake Engineering researchers and Professionals, Honolulu, Hawaii, 2004.
- [2] J. Mohammadi, S. Alysian, Analysis of post-earthquake fire hazard, Tenth World Conference Earthquake Engineering, Chicago, 1992.
- [3] J Charles Scawthorn, Fire following earthquakes, Earthquake Engineering Handbook, W.F. Chen (editör), 2003.
- [4] T. Usami, N. Higai and J. Soran, List of damaging Japanese earthquakes, University of Tokyo Press, Tokyo, 1996.
- [5] H. Erdem, Prediction of the moment capacity of reinforced concrete slabs in fire using artificial neural networks, Advances in Engineering Software, 41(2), 270-276, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2009.07.006>.
- [6] H. Erdem, Predicting the moment capacity of RC beams exposed to fire using ANNs, Construction and Building Materials, 101(1), 30-38, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.049>.
- [7] E. Güvenç, Kolonların taşıma gücü kapasitesi üzerinde yangının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2019.

- [8] E. Yılmaz, Yangına maruz kalan betonarme yapının dinamik davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2022.
- [9] H. Erdem ve E. Erdem, Yangının betonarme yapının birinci periyotlarına etkisi. 23. Ulusal Mekanik Kongresi, Konya Teknik Üniversitesi, 04-08 Eylül 2023.
- [10] H.R. Ronagh, and B. Behnam, Investigating the effect of prior damage on the post-earthquake fire resistance of reinforced concrete portal frames, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 6(4), 209–220, 2012. <https://doi.org/10.1007/s40069-012-0025-9>
- [11] H.O. Şentürk, Betonarme binalarda depremlerin ve yangınların binaya etkisinin incelenmesi ve bir uygulama örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [12] SO834, Fire resistance tests elements of building construction Part 1–9. International Standards Organisation, Geneva, 1975.
- [13] TS-EN 1992-1-2, Betonarme Yapıların Tasarımı-Bölüm 1-2: Genel Kurallar-Yapısal Yangın Tasarımı (Eurocode2), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [14] TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yürürlük tarihi: Ocak 2019, 416 sayfa, 2018.

