



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 06.09.2025
Kabul Tarihi : 12.12.2025

Received Date : 06.09.2025
Accepted Date : 12.12.2025

MAKRO MODELLEME YAKLAŞIMI İLE TARİHİ YAPILARIN SİSMİK PERFORMANSLARININ 2007 VE 2018 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF THE SEISMIC PERFORMANCE OF HISTORICAL STRUCTURES USING MACRO MODELING ACCORDING TO THE 2007 AND 2018 TURKISH EARTHQUAKE CODES

Mehdi ÖZTÜRK^{1*} (ORCID: 0000-0003-4147-0431)
Merve BOZÜYÜK¹ (ORCID: 0000-0003-1667-7676)

¹ İstanbul Arel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehdi ÖZTÜRK, mehdioturk@arel.edu.tr

ÖZET

Türkiye topraklarının yaklaşık %92'sinin aktif deprem kuşağında yer alması ve nüfusun %95'inin bu bölgelerde yaşaması, mevcut yapı stokunun önemli bir bölümünü oluşturan yığma yapıların deprem güvenliğinin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, yığma yapıların sismik performansı, 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) ile 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) esas alınarak makro modelleme yaklaşımıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İlk aşamada, yığma yapılarda kullanılan taş, tuğla ve kerpiç gibi malzemelerin mekanik özellikleri ile deprem etkileri altındaki davranışları değerlendirilmiştir. Ardından, her iki yönetmelikte yer alan yığma yapılara ilişkin tasarım hükümleri; taşıyıcı sistem boyutlandırması, malzeme dayanımı ve deprem yüklerinin hesaplanması açısından karşılaştırılmıştır. Uygulama kapsamında, Diyarbakır'da bulunan tarihi bir yığma yapı ele alınmış, laboratuvar verilerine dayalı olarak mekanik özellikler belirlenmiş ve SAP2000 yazılımı kullanılarak makro modelleme yöntemiyle analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, TBDY 2018'in DBYBHY 2007'ye kıyasla daha yüksek güvenlik düzeyleri öngördüğünü ve daha güvenli bir tasarım yaklaşımı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yığma yapılar, Diyarbakır evi, makro modelleme, SAP2000.

ABSTRACT

Approximately 92% of Turkey's territory is located within active seismic zones, and about 95% of the population lives in these areas. This situation necessitates the assessment of the seismic safety of masonry buildings, which constitute a significant portion of the existing building stock. In this study, the seismic performance of masonry structures is comparatively evaluated using the macro-modeling approach in accordance with the 2007 Regulation on Buildings to Be Constructed in Seismic Zones (DBYBHY-2007) and the 2018 Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018). In the first stage, the mechanical properties of masonry materials such as stone, brick, and adobe, as well as their behavior under seismic loads, are examined. Subsequently, the provisions of both codes related to masonry design are compared in terms of structural dimensioning, material strength, and seismic load calculations. For the application, a historical masonry structure located in Diyarbakır is selected; its mechanical properties are determined based on laboratory data and analyzed using the macro-modeling method in SAP2000. The results show that TBEC-2018 provides a safer design approach than DBYBHY-2007.

Keywords: Masonry structures, Diyarbakır house, macro modeling, SAP2000

GİRİŞ

Türkiye, jeolojik konumu itibarıyla dünyanın en etkin deprem kuşaklarından biri üzerinde yer almakta ve tarih boyunca yaşanan depremler hem modern hem de geleneksel yapılarda ciddi hasar ve can kayıplarına neden olmuştur. Bu durum, yapı güvenliğini artırmaya yönelik araştırmaların ve deprem yönetmeliklerinin sürekli olarak güncellenmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle yığma yapılar, kırsal ve kentsel bölgelerde yaygın kullanılan bir yapı türü olmasının yanı sıra, kültürel mirasın korunması açısından da ayrı bir öneme sahiptir. Ancak kullanılan malzeme özellikleri, üretim teknikleri ve yapım detayları nedeniyle bu tür yapılar deprem etkileri karşısında sınırlı dayanım sergilemekte, bu da gerek mevcut yapıların güvenliği gerekse korunması gereken tarihî yapılar için önemli bir risk oluşturmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, yığma yapıların sismik davranışlarının hem malzeme özellikleri hem de yönetmelikler çerçevesinde kapsamlı bir şekilde ele alınması gerektiğini göstermektedir. İzol vd. (2024), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında yaptıkları saha çalışmaları ve sonlu eleman analizleriyle mühendislik hizmeti almayan yığma yapılarda tipik göçme mekanizmalarını ortaya koymuş ve deprem güvenliği açısından mühendislik katkısının kritik önemini vurgulamıştır. Benzer şekilde Karaşın vd. (2016), mevcut bir yığma yapıyı hızlı değerlendirme yöntemleri ile inceleyerek riskli yapıların önceliklendirilmesinde pratik yöntemlerin uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Diyarbakır gibi tarihî kentlerde yapılan araştırmalar, kullanılan tuğla ve taş malzemelerin parametrelerinin ve taş işçiliğinin hem kültürel mirasın korunması hem de yapısal performansın anlaşılması açısından belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017; Halifeoğlu, 2013).

Türkiye’de deprem yönetmelikleri zaman içinde geliştirilmiş, özellikle 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ile 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) arasındaki farklılıklar çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Akyıldız ve Ayhan (2022), zemin parametreleri ve maliyetler üzerinden yaptıkları karşılaştırmada 2018 yönetmeliğinin yaklaşık %1,6 oranında ek maliyet getirdiğini belirtmiştir. Çaycı ve Eldemir (2021), performans seviyelerinin TBDY-2018’de daha katı tanımlandığını ortaya koymuş, Karaca (2021) ise farklı zemin koşullarında elde edilen tasarım ivmelerinin yeni yönetmelikte zemin büyütme etkisiyle değiştiğini göstermiştir. Atmaca vd. (2019), farklı taşıyıcı sistemlerde 2007 ve 2018 yönetmeliklerini karşılaştırarak 2018’in daha güvenli ama daha konservatif sonuçlar verdiğini ifade etmiştir. Ayrıca Baran vd. (2022), farklı malzemelerle inşa edilmiş yığma yapıların yönetmeliklere göre analiz edilmesiyle malzeme özelliklerinin performansı doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur.

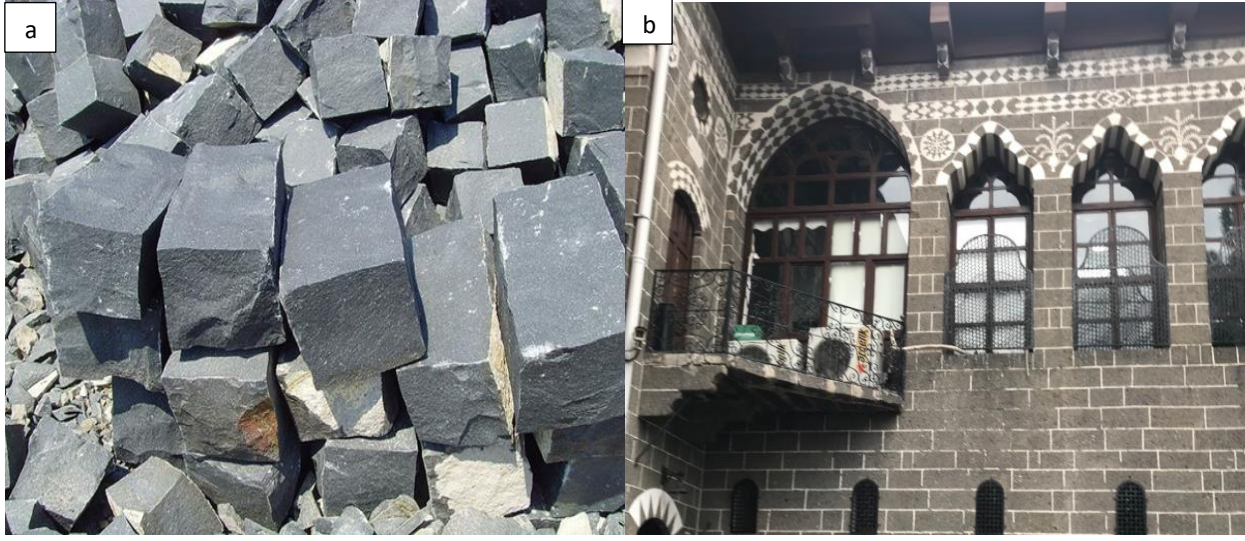
Deprem tehlike haritalarında da kayda değer dönüşümler gerçekleşmiştir. Büyüksaraç vd. (2022), 2018 yönetmeliğiyle birlikte bölgesel değerlendirmenin yerine yerel (site-specific) yaklaşımların benimsendiğini ve bunun yapısal analiz çıktıları üzerinde belirgin etkiler yarattığını belirtmektedir. Bununla birlikte, 6 Şubat 2023 depremleri bazı bölgelerde TBDY-2018’de öngörülen tasarım spektrumlarının yetersiz kaldığını göstermiş; Alpyürür ve Ulutaş (2024) bu nedenle yerel spektrumların kullanılmasının daha güvenilir sonuçlara ulaştırdığını ortaya koymuştur.

Tüm bu çalışmalar, yığma yapıların deprem davranışlarının yalnızca yönetmelik hükümleri açısından değil, aynı zamanda malzeme özellikleri, zemin koşulları ve yerel spektrumların etkisi dikkate alınarak incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda yürütülen bu çalışmada, Diyarbakır’daki tarihî bir yığma yapının makro modelleme yöntemiyle sismik davranışı analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar DBYBHY (2007) ile TBDY (2018) yönetmelikleri çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma, farklı yönetmeliklerin aynı yapı üzerinde öngördüğü güvenlik düzeylerini ortaya koymakta; malzeme özellikleri, taşıyıcı sistem detayları ve yönetmeliklerin getirdiği yaklaşım farklılıklarının yığma yapıların deprem performansına etkilerini irdelemektedir. Böylece hem mevcut yapı stokunun güvenlik düzeyine dair güncel bir değerlendirme sunulmakta hem de tarihî yapıların korunmasına yönelik yapılacak mühendislik çalışmalarına katkı sağlanmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada incelenen yapı, Diyarbakır Sur İçi’nde, kentin yöresel ve tarihsel konut geleneğini sürdüren bir örnek olarak değerlendirilmiştir. Taşıyıcı duvarlarda bölgeye özgü bazalt taşı kullanılmıştır. Diyarbakır’ın Karacadağ eteklerinde bulunması, volkanik tüf ve bazalt tabakalarının yapı malzemesi olarak yaygın biçimde kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca Ergani yöresindeki kalker ocakları, özellikle avluya bakan cephelerde bazalt ile birlikte karma duvar örgüsünde tercih edilmiştir. Bazalt taşı, düşük su emme oranı, dona, darbelere ve kimyasal etkilere karşı yüksek dayanımı nedeniyle bölgede yüzyıllardır kullanılmaktadır. Fiziksel ve mekanik özellikleriyle öne çıkan bazalt, gözenekli (dişi taş) ve gözeneksiz (erkek taş) olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Sur içindeki yapılarda ana

malzeme olarak işlenmesi kolay olan gözenekli bazalt tercih edilmiş; gözeneksiz bazalt ise daha yüksek dayanımı nedeniyle söve, lento, sütun ve eşik gibi taşıyıcı ve estetik unsurlarda kullanılmıştır.



Şekil 1. a. Karacadağ Bazaltı b. Örnek Bina

Modelde Kullanılacak Malzemelerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılmış olan Karacadağ bazaltının mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde, gözeneksiz bazalt numunelerin ortalama tek eksenli basınç dayanımı 89,10 MPa, gözenekli bazalt numunelerin ise 51,76 MPa olarak elde edilmiştir (Tablo 1). Bu değerler, Kahveci ve Kadayıfçı (2013) tarafından bildirilen bazalt grubu kayaların suya doymun haldeki basınç dayanımı aralığı olan 85,35–121,43 MPa ile ve kuru haldeki dayanım aralığı olan 82,70–163,35 MPa ile uyum göstermektedir. Türk Standartları Enstitüsü'nün TS EN 1469 ve TS EN 1467 standartlarında, doğal taşların kaplama ya da yapı taşı olarak kullanılabilmesi için basınç dayanımının en az 10 MPa olması gerektiği belirtilmiştir. Elde edilen deneysel veriler, hem kuru hem de suya doymun durumlar için bu sınır değerinin oldukça üzerinde olup, Karacadağ bazaltının yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Çekme dayanımı açısından değerlendirildiğinde ise, gözeneksiz bazalt numunelerde ortalama 13,94 MPa, gözenekli bazalt numunelerde ise 7,16 MPa'lık değerler elde edilmiştir. Bu sonuçlar, gözenekliliğin mekanik dayanım üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve bu etkinin özellikle çekme dayanımında belirgin biçimde ortaya çıktığını göstermektedir.

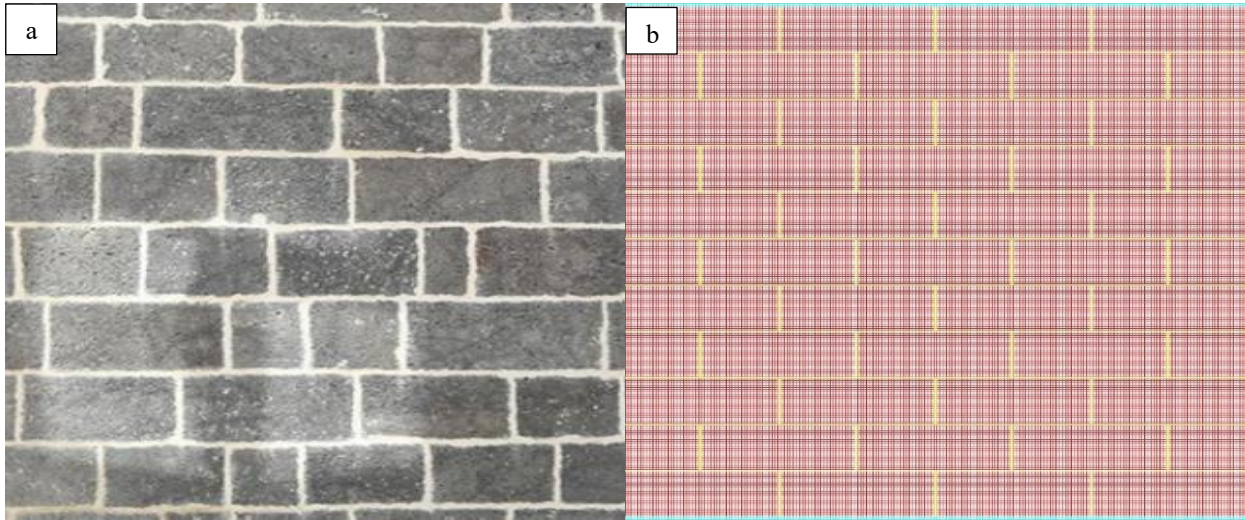
Tablo 1. Numunlerin Çekme ve Basınç Değerleri

No	N. Cinsi	Basınç Çap (mm)	Boy (mm)	Yüze Alanı (mm ²)	Göçme (kN)	Basınç Day. (MPa)	Çekme Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Göçme (kN)	Çekme Day. (MPa)
1	Gözeneksiz	41	101	1320,25	147,0	111,34	56	27	32,9	14,37
2	Gözeneksiz	42	102	1385,44	140,8	101,63	56	27	33,0	14,42
3	Gözeneksiz	42	102	1385,44	104,5	75,43	56	27	38,5	16,82
4	Gözeneksiz	41	104	1320,25	103,6	78,46	56	27	26,0	11,36
5	Gözeneksiz	41	104	1320,25	103,8	78,62	56	27	29,4	12,84
6	Gözenekli	42	104	1385,44	60,8	43,89	56	27	16,0	6,99
7	Gözenekli	42	103	1385,44	69,2	49,95	56	27	19,3	8,43
8	Gözenekli	42	102	1385,44	71,1	51,32	56	27	13,2	5,77
9	Gözenekli	41	108	1320,25	80,7	61,12	56	27	16,1	7,03
10	Gözenekli	42	102	1385,44	73,3	52,51	56	27	17,4	7,60

Yapılan diğer deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulara göre, Karacadağ bazaltının statik elastisite modülü ortalama 68,5 GPa, Poisson oranı ise yaklaşık 0,25 olarak belirlenmiştir. Gözeneksiz bazaltın yoğunluğu 2852 kg/m³, gözenekli bazaltın yoğunluğu ise 2282 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Çimento harcının basınç dayanımı ise 6,6 MPa, eğilmede çekme dayanımı 489 N ve elastisite modülü 8000 MPa olarak tespit edilmiştir. Söz konusu veriler, makro model tasarımı açısından kritik öneme sahip olduğundan, literatürden alınmak yerine deneysel çalışmalarla elde edilmiş ve böylece daha gerçekçi bir yaklaşım benimsenmiştir.

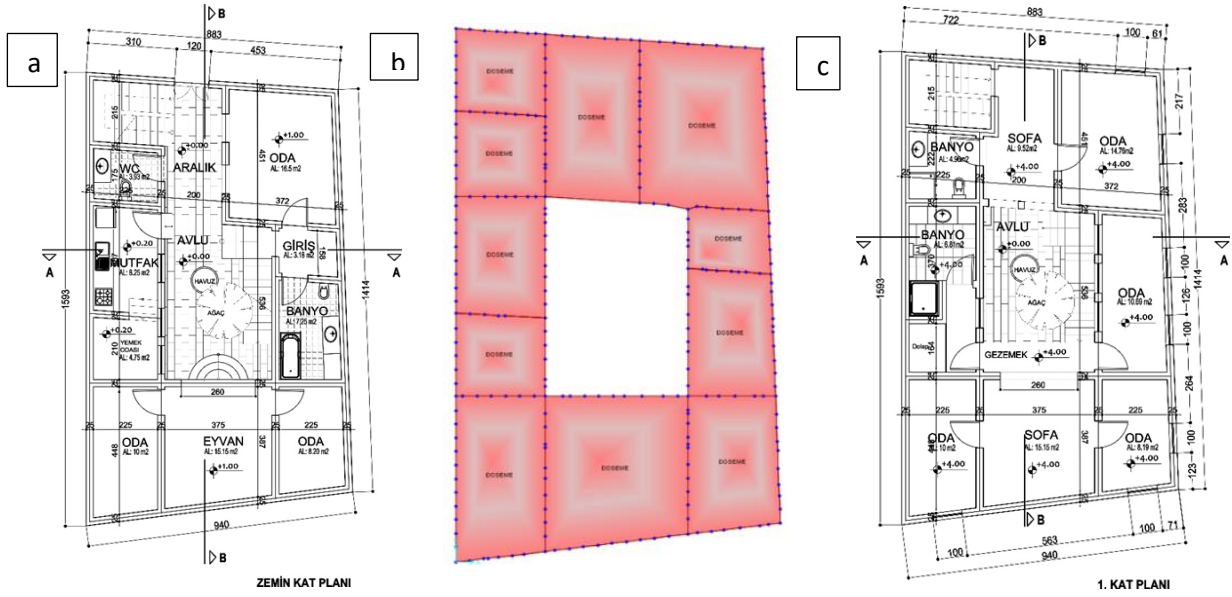
SAP2000 Yığma Yapı Makro Modeli

Örnek yığma yapı, makro modelleme yöntemiyle SAP2000 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu yöntemde, yapıyı temsil eden bir yığma duvar alanı seçilmiş ve bazalt taşı ile harcın ortak mekanik özellikleri dikkate alınarak kompozit kesit oluşturulmuştur. Modelleme, bu kompozit kesit üzerinden gerçekleştirilmiştir. Modelin doğruluğu için taş diziliminin düzenli, boyutların sabit ve derz kalınlıklarının 5–15 mm arasında olması gerekmektedir. Yeni yapılarda bu koşullar sağlanabilse de tarihi yapılarda genellikle sağlanamamaktadır. Bu nedenle, özellikle malzemenin anizotropik davranışı göz önünde bulundurularak anizotropik bir makro modelleme tercih edilmesi, daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Model, 50x25x50 cm boyutlarındaki bazalt taşlarının 1 cm kalınlığındaki derz ile şaşırtmalı şekilde örülmesiyle oluşturulmuştur. Yükleri ve yer değiştirmeleri uniform bir şekilde tanımlamak amacıyla modelin alt ve üst kısmında elastik bir tabaka yerleştirilmiştir. Modelin toplam boyutları ise 2.03x2.85x0,5 metredir (Şekil 1).



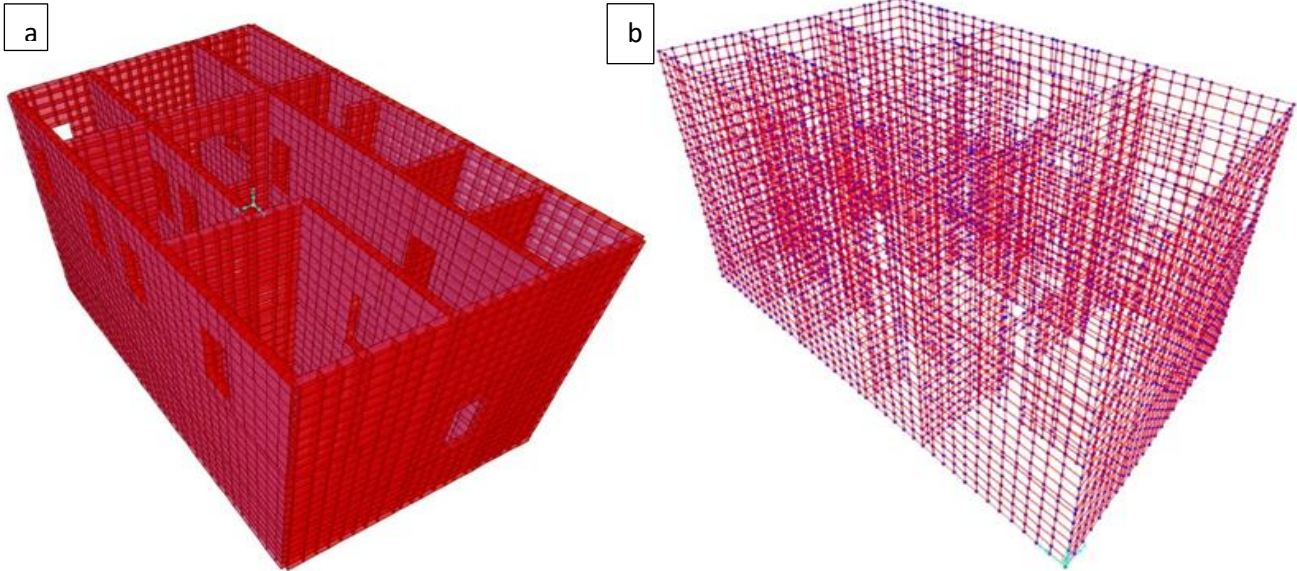
Şekil 1. a. Örnek Bina Duvar Kesiti b. SAP2000 Taşıyıcı Duvar Makro Modeli

İncelenen yapıda taşıyıcı yığma duvarların kalınlığı 50 cm olarak kabul edilmiş olup, yapının plan geometrisi, duvar uzunlukları ve açıklık düzenindeki farklılıklara bağlı olarak duvarlar yaklaşık 30–50 cm aralıklarla sonlu elemanlara bölünerek modellenmiştir. Bu ayrıklaştırma aralığı, kullanılan taş malzemenin yaklaşık 51 × 25 cm boyutlarında olması dikkate alındığında, duvar örgüsünün sürekliliğini ve yığma sistemin makro ölçekteki rijitlik, dayanım ve deformasyon özelliklerini temsil edebilecek yeterli bir çözünürlük sunmaktadır. Böylece, duvarların deprem etkileri altındaki genel davranışı, çatlak oluşumu ve yük aktarım mekanizmaları sayısal modelde gerçekçi bir şekilde yansıtılabilmektedir. Sayısal modelde yapı tabanında ankastre mesnet koşulu tanımlanarak temelin rijit davrandığı varsayılmış, buna karşın temel sistemi ve zemin-yapı etkileşimi analize dâhil edilmemiştir; bu yaklaşım ile üstyapı davranışının yönetmelik esasları çerçevesinde daha net bir biçimde incelenmesi amaçlanmıştır. Yapının çatı sistemi doğrudan modele tanımlanmamış, çatıdan kaynaklanan sabit yükler ile kar yükleri ilgili yönetmelik hükümlerine uygun şekilde döşemelere eşdeğer yayılı yükler olarak aktarılmıştır. Döşemeler 15 cm kalınlığında kabuk (shell) elemanlar kullanılarak modellenmiş, döşemelerin ve yığma duvarların kendi ağırlıkları analiz programı tarafından otomatik olarak hesaplanmış ve bu sayede düşey yüklerin taşıyıcı sistem üzerindeki etkileri, deprem yükleri ile birlikte bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.



Şekil 2. a. Zemin Kat Kalıp Planı b. SAP2000 Döşeme Modeli c. 1.Kat Kalıp Planı

Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile modellenen yapıda, taban ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır. Modelin üst kısmında yer alan elastik eleman üzerindeki 204 noktaya, toplam 26,520 N olacak şekilde düşey yük uygulanmıştır. Yapı, toplam 58,667 sonlu elemana bölünerek analiz edilmiştir. Uygulanan yüklemeler sonucunda, modelde 0,0014 mm'lik düşey yer değiştirme meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 2). Kütle değerleri, her bir shell elemanı için program tarafından otomatik olarak hesaplanmış ve ilgili düğüm noktalarına dağıtılmıştır. Modelde toplam 58,667 shell eleman ve 59,160 düğüm noktası bulunmaktadır (Şekil 2). Her bir düğüm noktasına aktarılan kütlelerin toplanmasıyla, 2,03x 2,85x0,5 m boyutlarındaki duvar modelinin toplam kütlesi 8,14 kN.s²/m, ağırlığı ise 79,85 kN olarak elde edilmiştir. Duvarın hacmi boyutların çarpımı ile 2,89275 m³ olarak hesaplanmış; bu verilere dayanarak duvarın birim hacim ağırlığı yaklaşık 27,6 kN/m³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. a. Diyarbakır Evi Kabuk Model b. SAP2000 Sonlu Eleman Ağı

İncelenen yapı; bodrum, zemin ve bir normal kat olmak üzere toplam üç kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri sırasıyla 2,60 m, 3,00 m ve 3,50 m olarak tasarlanmıştır. Döşeme açıklıkları genellikle 3,00 m ile 4,00 m arasında değişmekte olup, maksimum açıklık 4,70 m olarak ölçülmüştür. Bu geometrik veriler, taşıyıcı sistemin statik ve dinamik analizlerinde dikkate alınarak modelleme sürecine dâhil edilmiştir (Şekil 3).

Deprem Yönetmelikleri Kapsamında Yığma Yapıların Değerlendirilme Esasları

DBYBHY 2007'ye göre tüm yığma yapılar için deprem analizinde spektrum katsayıları sabit olarak $S(T_1) = 2,5$ ve $R_a(T_1) = 2,0$ alınmaktadır. Ancak bu yönetmelikte, yığma yapıların taşıyıcı sistemlerinin modellenmesine veya sonlu

elemanlar ile eşdeğer çubuk modellerinin tercihine ilişkin net bir yöntem tanımlanmamıştır. Buna karşılık, TBDY 2018'in 11. Bölümünde, yığma yapıların analizlerinin 4. Bölümdeki genel esaslara uygun şekilde yapılması gerektiği ve yapının düşey-yatay yük birleşimi altında modellenmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca bu analizlerin sonlu elemanlar yöntemi ya da eşdeğer çubuk modeli ile gerçekleştirilebileceği ifade edilmiştir. Yığma yapıların sınıflandırılması ise süneklik düzeyine göre yapılmakta ve TBDY 2018 Tablo 4.1'e göre; donatısız yığma yapılar $R = 2,5$ $D = 1,5$ parametrelerine sahiptir. Bu çalışmada incelenen Diyarbakır'daki örnek yapı, donatısız yığma yapı sınıfına girmektedir.

DBYBHY 2007'de deprem bölgesine göre kat sınırlamaları getirilmiş olup, 1. derece deprem bölgelerinde maksimum iki kat izni verilmektedir. Örnek yapı bu sınırlar içindedir. TBDY 2018'e göre ise maksimum bina yüksekliği, Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) ve Deprem Tasarım Sınıfı'na (DTS) bağlı olarak belirlenmektedir. Bu doğrultuda, ZB zemin sınıfına sahip ve DTS=1 olan yapının azami yüksekliği 7 m olarak belirlenmiş ve örnek yapı bu sınırı aşmamaktadır. Kat yüksekliği konusunda DBYBHY 2007'de her kat için 3,0 m sınırı bulunurken, TBDY 2018'de doğrudan bir kat yüksekliği sınırlaması yer almamaktadır. Bunun yerine, TS EN 1996-1-1 standardına uygun olarak duvarın etkin yüksekliği (hf) üzerinden stabilite kontrolleri yapılması öngörülmektedir. Örnekte, duvarların her iki ucu rijit döşemelerle sabitlendiği için $hf = 0,5 \times \text{açıklık}$ olarak alınmış, narinlik oranı $\lambda = 4,5$ bulunmuş ve bu değerin 20'nin altında olması nedeniyle stabilite açısından uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Taşıyıcı duvarların sürekliliği bakımından her iki yönetmelik de benzer yaklaşımlar sunmakta; tüm taşıyıcı duvarların düşeyde sürekli ve planda üst üste gelmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, örnek yapı kısmi bodrum içermemekte ve kurallara uygunluk göstermektedir. Yapılarda kullanılan doğal taşların karakteristik basınç dayanımı en az 5,0 MPa olmalı, bodrum katlarda ise bu sınır 10,0 MPa'dır. Kullanılan Karacadağ bazaltının 89 MPa'lık yüksek dayanımı, bu kriterleri fazlasıyla karşılamaktadır. DBYBHY 2007'ye göre doğal taş sadece zemin ve bodrum katlarda kullanılabilirken, TBDY 2018 bu sınırlamayı kaldırmıştır. Ayrıca, DBYBHY 2007'de minimum duvar kalınlığı 50 cm iken, TBDY 2018'de bu değer 35 cm'ye kadar indirilebilmektedir. Bu da daha esnek ve mühendislik temelli tasarımların önünü açmaktadır. Duvar kalınlığı ve kat yüksekliğine yönelik sınırlamaların kaldırılmasının bir diğer nedeni de TBDY 2018'in üç boyutlu modelleme ve gelişmiş analiz tekniklerini esas almasıdır.

Plan düzenine ilişkin olarak DBYBHY 2007, taşıyıcı duvarların toplam uzunluğunun brüt kat alanına oranının en az 0,2 m/m² olması gerektiğini belirtmektedir. Örnek yapı bu oranı 0,34 m/m² ile sağlamaktadır. Ayrıca, taşıyıcı duvarlar arasındaki maksimum mesafe 5,5 m'yi aşmamalıdır; örnekteki mesafe 4,86 m olup bu sınırın altındadır. Kapı ve pencere açıklıkları ile ilgili olarak, bina köşesine en yakın dolu duvar parçasının uzunluğu 1,50 m olmalıdır. Örnekte bu mesafe 50 cm olduğu için bu koşul sağlanmamaktadır. Açıklık uzunlukları da yönetmelikteki 3,0 m sınırının altındadır.

Son olarak, merdiven sahanlıkları dahil tüm döşemelerin oturduğu duvarlarda, betonarme yatay hatıllar bulunması zorunludur. Örnek yapıda 15 cm kalınlığında betonarme döşemeler ve yatay hatıllar mevcuttur bu da yönetmelik hükümlerine uygundur. DBYBHY 2007'ye göre yığma kagir yapılarda kat döşemelerinin TS 500'e uygun betonarme plak veya dişli döşeme olması zorunludur; aksi durumda en fazla iki kata izin verilmektedir. İncelenen projede bu koşul sağlanmış ve betonarme plak döşemeler kullanılmıştır.

NÜMERİK ANALİZ SONUÇLARI

Kabuk elemanlar üzerinde oluşan gerilmeler, her bir elemanın yerel eksen takımına göre hesaplanmakta olup, bu gerilmeler esasen çekme/basınç ve kayma bileşenleri şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kabuk elemanlar, düzlemsel ve eğilme etkilerini birlikte taşıyabilen yapısal elemanlar olduklarından, analiz sonucunda elde edilen gerilme değerleri genellikle membran (düzlem içi) ve eğilme (düzlem dışı) bileşenleri içermektedir.

Çekme ve basınç gerilmeleri, yerel eksen sistemine göre yönlendirilmiş normal gerilmeler olarak ifade edilmekte olup, gerilme değerinin işareti fiziksel yorumu belirlemektedir. Bu kapsamda, negatif işaretli gerilme değerleri basınç etkisini, pozitif işaretli değerler ise çekme etkisini göstermektedir. Kayma gerilmeleri ise, kabuk elemanın yüzeyi üzerinde, iki farklı eksen doğrultusundaki gerilme bileşenleri olarak değerlendirilmekte ve genellikle τ_{12} , τ_{13} , τ_{23} gibi bileşenler şeklinde ifade edilmektedir.

Bu tür gerilmelerin doğru yorumlanabilmesi, hem yapısal performansın değerlendirilmesi hem de taşıyıcı sistem elemanlarının uygun biçimde boyutlandırılması açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle çekme ve basınç etkilerinin doğru ayrıştırılması, çatlama kontrolü, stabilite analizi ve donatı yerleşimi gibi tasarım kriterlerinde belirleyici rol oynamaktadır.

Eşdeğer Deprem Yükü - Burulma Düzensizliği Tahkiki ve Yönetmeliklere Göre Değerlendirilmesi

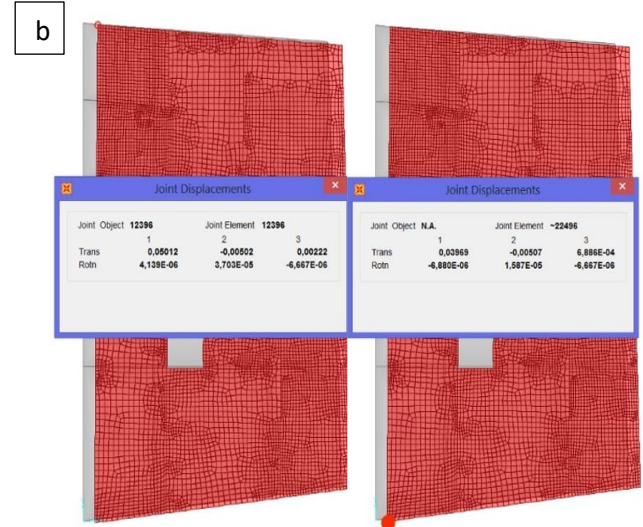
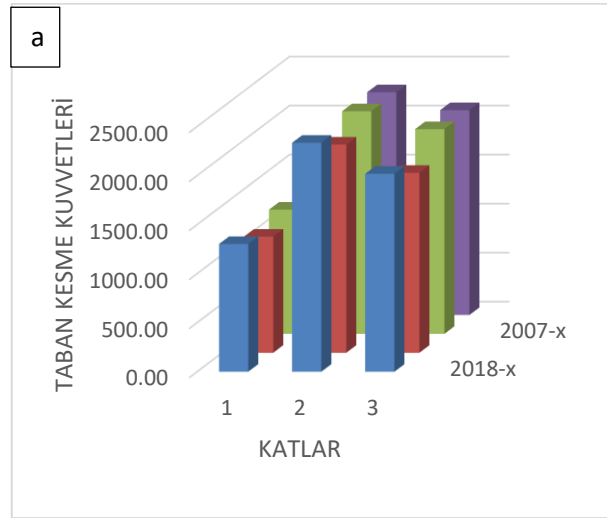
2007 DBYBHY ve 2018 TBDY'ye göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri karşılaştırılarak, yönetmeliklerin yapısal tasarıma etkileri sayısal olarak değerlendirilmiştir (Tablo 2-3). 2007 DBYBHY'ye göre hesaplanan taban kesme kuvveti 5625 kN iken, 2018 TBDY'de X yönünde 5654 kN (%0,5 artış), Y yönünde ise 5142 kN (%8,6 azalma) olarak elde edilmiştir. Ortalama değerlere bakıldığında, 2018 yönetmeliği yaklaşık %4 daha düşük taban kesme kuvveti öngörmektedir. Katlar bazında dağılım incelendiğinde, her iki yönetmelikte de en yüksek yük ikinci katta toplanmıştır. 2018 yönetmeliğine göre X yönünde yükler %2-3 aralığında farklılık göstermiş, Y yönünde ise tüm kat yükleri %12-15 oranında azalmıştır (Şekil 4.a). Bu sonuç, 2018 TBDY'nin spektral ivme tanımlarının bölgesel olarak daha düşük değerler üretebileceğini göstermektedir.

Tablo 2. DBYBHY 2007'ye Göre Katlara Etkiyen Kesme Kuvvetleri

Kat	h _i (m)	H _i (m)	W _i (kN)	W _i × H _i (kN·m)	Oran	Fix (kN)	Fiy (kN)
3	3,50	9,10	2185,67	19889,58	0,36	2087,77	2087,77
2	3,00	5,60	4108,43	23007,20	0,41	2270,42	2270,42
1	2,60	2,60	4937,37	12837,17	0,23	1266,81	1266,81
Toplam	–	–	11231,47	55733,95	1,00	5625,00	5625,00

Tablo 3. TBDY 2018'e Göre Katlara Etkiyen Kesme Kuvvetleri

Kat	h _i (m)	H _i (m)	W _i (kN)	W _i *H _i (kNm)	X-X YÖNÜ			Y-Y YÖNÜ		
					V _t -ΔFN (kN)	F _i (kN)	V _i (kN)	V _t -ΔFN (kN)	F _i (kN)	V _i (kN)
3	3,50	9,10	2185,67	19889,60	5654,16	2017,78	2017,78	5142,89	1835,33	1835,33
2	3,00	5,60	4108,43	230007,20	5654,16	2334,06	4351,84	5142,89	2123,01	3958,33
1	2,60	2,60	4937,37	12837,20	5654,16	1302,32	5654,16	5142,89	1184,56	5142,89

**Şekil 4. a.** 2007 DBYBHY ve 2018 TBDY Taban Kesme Kuvvetleri **b.** 3. Kat Max. ve Min. Deplasmanlar

Yapının burulma düzensizliği durumu, görel kat ötelemeleri üzerinden hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı ile değerlendirilmiştir (Denklem 1-4). Yapı için hesaplanan en küçük ve en büyük görel kat ötelemeleri sırasıyla 0,01216 ve 0,01378 olup (Şekil 4.b), ortalama değer 0,01297 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre burulma düzensizliği katsayısı 1,06 olarak elde edilmiştir. Yönetmelikte belirtilen 1,20 sınır değerinin altında kaldığından, yapıda A1 türü burulma düzensizliği bulunmamaktadır ve çözüm eşdeğer deprem yükü yöntemine göre uygundur.

En büyük, en küçük ve ortalama görel kat öteleme değerleri;

$$(\Delta_i)_{min} = 0,03969 - 0,02753 = 0,01216$$

(1)

$$(\Delta_i)_{max} = 0,05012 - 0,03634 = 0,01378 \quad (2)$$

$$(\Delta_i)_{ort} = \frac{1}{2} [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}] = \frac{1}{2} [0,01378 + 0,01216] = 0,01297 \quad (3)$$

Burulma Düzensizliği Katsayısı;

$$\vartheta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{max}}{(\Delta_i)_{ort}} = \frac{0,01378}{0,01297} = 1,06 \leq 1,20 \quad (4)$$

Çekme ve Basınç Gerilmelerinin Tahkiki ve Yönetmeliklere Göre Değerlendirilmesi

Kabuk elemanlara ait gerilme dağılımları, program tarafından tanımlanan yerel eksen sistemine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, elemanlarda oluşan gerilmeler çekme ve kayma gerilmeleri şeklinde hesaplanmaktadır. Çekme gerilmeleri negatif değer aldığımda basınç, pozitif değer aldığımda ise çekme olarak yorumlanmaktadır. Böylece, hem basınç hem de çekme davranışları yerel eksenler doğrultusunda ayrı ayrı takip edilerek yapısal davranışın daha ayrıntılı şekilde incelenmesi mümkün olmaktadır.

DBYBHY (2007), duvar parçası deneyinin yapılmadığı durumlarda blok basınç dayanımının %50'sini duvar basınç dayanımı, %25'ini ise emniyet gerilmesi olarak kabul etmekte ve bu yaklaşımla örnek yapıda 11,1 MPa elde edilmektedir (Denklem 5-6).

$$F_d = 89 \times 0,5 = 44,5 \text{ MPa} \quad (5)$$

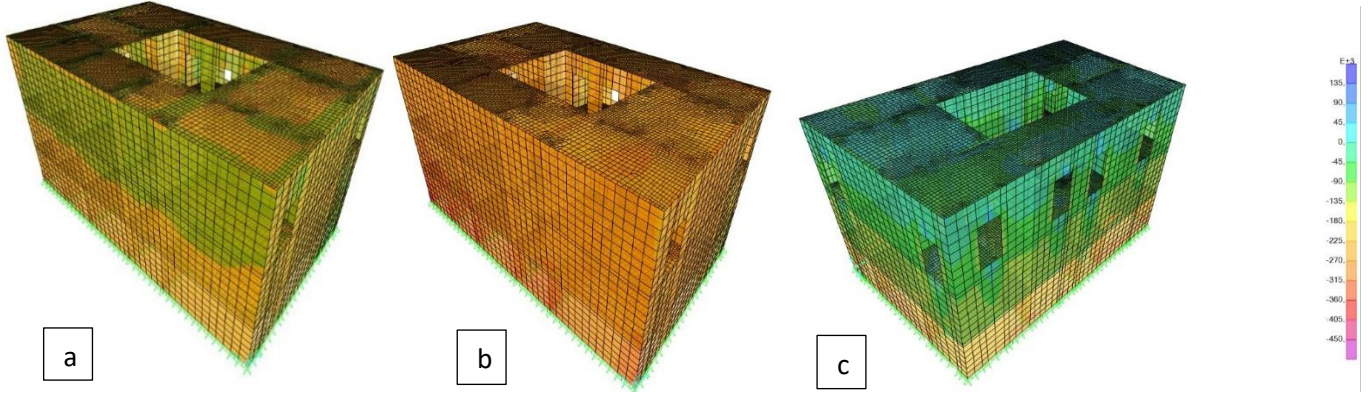
$$F_{em} = 44,5 \times 0,25 = 11,1 \text{ MPa} \quad (6)$$

Ancak aynı yönetmelikteki tablolar, özellikle doğal taş için 0,3–1,8 MPa aralığında oldukça düşük değerler öngörmektedir. TBDY (2018) ise blok ve harç için TS EN 772-1 ve TS EN 1015-11 standartlarına göre deney yapılmasını zorunlu kılmış, bu çalışmada elde edilen 89 MPa (birim) ve 6,6 MPa (harç) dayanımlarıyla 7,5 MPa karakteristik değer seçilmiş, dayanım azaltma katsayısı $\gamma_m=2$ ile 3,75 MPa emniyet gerilmesi bulunmuştur. Dolayısıyla, 2007 yönetmeliği deney yapılmadığımda daha yüksek dayanım (11,1 MPa) verirken, 2018 yönetmeliği daha düşük fakat deney zorunluluğuna dayalı güvenli değer (3,75 MPa) üretmektedir. Bu durum, 2007'nin tablo değerlerinin yetersiz, 2018'in ise daha temkinli ama deneylere bağımlı bir yaklaşım benimsediğini göstermektedir.

Yapı modelinde çekme gerilmeleri G+Q-EXP+0,3EYP yük kombinasyonunda incelenmiştir. Şekil 5.b'de görüldüğü üzere çekme gerilmeleri cephe duvarlarında pencere boşlukları çevresinde, bina köşelerinde ve alt katlardaki duvar-duvar birleşim bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Düşey çekme gerilmeleri üst katlardan alt katlara doğru artmakta; 2. ve 3. katlarda yaklaşık 0,1 MPa seviyesinde iken, alt katta köşe bölgelerinde sınırlı alanlarda 1,0 MPa değerine kadar ulaşmaktadır.

Düşey basınç gerilmeleri ise 1,4G+1,6Q yük kombinasyonuna göre değerlendirilmiştir (Şekil 5c). Basınç gerilmeleri de kat seviyeleri arttıkça büyümekte; 3. katta yaklaşık 0,08 MPa, 2. katta 0,2 MPa, 1. katta ise 0,36 MPa seviyesine çıkmaktadır. Köşe bölgelerinde sınırlı alanlarda bu değerler 0,5 MPa'a kadar yükselmektedir. Hesaplanan bu değerler, yönetmeliklerde öngörülen emniyet basınç gerilmelerinin (DBYBHY 2007 için 11,1 MPa, TBDY 2018 için 3,75 MPa) oldukça altında kalmaktadır.

Yönetmeliklerde düşey çekme gerilmeleri için doğrudan bir emniyet sınır değeri tanımlanmamıştır. Ancak kullanılan bazalt taşına ait serbest çekme dayanımı esas alınarak yapılan değerlendirmede, emniyet çekme dayanımı $F_{ç,em} = 3,5$ MPa olarak belirlenmiştir. Yapı üzerinde yapılan sayısal analizler sonucunda elde edilen en büyük çekme gerilmesinin 2,0 MPa seviyesinde kaldığı ve bu değer belirlenen emniyet sınırının altında olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, duvar kalınlığının 30 cm'ye düşürülmesi durumunda, özellikle gerilme yığılmalarının olduğu bazı yerel bölgelerde çekme gerilmelerinin emniyet değerini aşabildiği tespit edilmiştir. Bu olumsuzlukların sınırlı alanlarla kısıtlı kaldığı ve söz konusu bölgelerde derz aralarına mukavemet bandı uygulanması gibi basit güçlendirme önlemleriyle gerilmelerin güvenli seviyelere indirilebileceği değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, uygun yerel güçlendirme tedbirleri ile 30 cm duvar kalınlığının da mühendislik açısından kabul edilebilir bir çözüm olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu yaklaşım, tarihi yapıların özgün mimari özellikleri korunarak minimum müdahale ile güvenliğin artırılabilmesini göstermektedir.



Şekil 5 a. Düşey Gerilmeler b. Duvar Yüzeyi Çekme Gerilmeleri c. Aks Basınç Gerilmeleri

Örnek yapının duvar narinliği $h/t = 260/50 = 5,2$ olup, DBYBHY 2007 Tablo 5.4'te verilen sınır değer (6) altında kaldığından basınç emniyet gerilmesinde düşürme yapılmasına gerek bulunmamaktadır. Bu durumda en büyük basınç gerilmesi emniyet değerinin yaklaşık 20 kat altında kalmıştır. Duvar kalınlığı 30 cm olarak seçilse dahi en büyük basınç gerilmesi 0,83 MPa olarak bulunmakta ve narinlik oranı $\lambda = 8,66$ değerine karşılık basınç emniyet gerilmesinin 0,90 katsayı ile azaltılması gerekmektedir. Buna rağmen elde edilen değer, yönetmelik sınırlarının altında kalmakta ve yapı güvenli tarafta yer almaktadır.

TBDY 2018'de duvar yüksekliğine doğrudan bir sınırlama getirilmemekte, etkin yükseklik (hef) kavramı tanımlanarak stabilite ve burkulma kontrollerinde kullanılmaktadır. TS EN 1996-1-1 standardına göre hesaplanan etkin yükseklik, örnek yapıda döşemeler ile rijit mesnetlenen duvarlar için $hef = 0,5$ olarak alınmış ve $\lambda = 4,5$ elde edilmiştir. Bu değer sınır $\lambda \leq 20$ koşulunun altında olduğundan, burkulma açısından da güvenli kabul edilmektedir.

Sonuç olarak, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 kapsamında yapılan analizler, örnek yapıda oluşan düşey çekme ve basınç gerilmelerinin yönetmeliklerde tanımlanan emniyet değerlerinin oldukça altında kaldığını göstermektedir. Ancak, yönetmeliklerde çekme gerilmesine yönelik açık bir sınırlandırma bulunmadığından, özellikle pencere boşlukları ve köşe bölgelerindeki çekme etkileri için güçlendirme önlemlerinin alınması önerilmektedir.

Kayma Gerilmesinin Tahkiki ve Yönetmeliklere Göre Değerlendirilmesi

DBYBHY (2007)'de duvar kayma emniyet gerilmesi $\tau_{em} = \tau_0 + \mu\sigma$ bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Çimento harcı ile taş duvar için $\tau_0 = 0,10$ MPa, sürtünme katsayısı $\mu = 0,8$ alınmıştır. Düşey yüklerden elde edilen ortalama basınç gerilmesi $\sigma = 234$ kN/m² olup, bu değer kullanıldığında ;

$$\tau_{em} = 0,10 + 0,8 \times 0,234 = 0,287 \text{ MPa} \quad (7)$$

Ancak doğal taşlarda kayma mukavemeti genellikle serbest basınç dayanımının yaklaşık üçte biri kadardır. Karacabey Bazaltı için serbest basınç dayanımı 89 MPa olduğundan, kayma mukavemeti alt sınırdan 20 MPa kabul edilip 0,25 güvenlik katsayısı ile azaltıldığında $\tau_{em} \approx 5$ MPa elde edilmektedir. Bu sonuç, yönetmelikte doğal taşların kayma mukavemetine dair herhangi bir farklılaştırma yapılmadığını, tüm taşların tek tip kabul edildiğini göstermektedir.

Yönetmeliğe göre hesaplanan ortalama kayma gerilmeleri x yönünde $\tau_x = 5625/22,5 = 0,25$ MPa ve y yönünde $\tau_y = 5625/25,3 = 0,225$ MPa olup, her ikisi de $\tau_{em} = 0,287$ MPa sınırının altında kalmaktadır. Buna karşın TBDY (2018)'de karakteristik kesme dayanımı f_{vk} , deneysel yöntemlerle veya Denklem (8) ile belirlenmektedir.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d \quad (8)$$

$f_{vko} = 0,10$ MPa ve $\sigma_d = 0,234$ MPa kullanıldığında $f_{vk} = 0,194$ MPa bulunmakta, bu değer $\gamma_m = 2$ ile azaltılarak tasarım kesme dayanımı 0,096 MPa olmaktadır. Böylece, TBDY 2018 kapsamında elde edilen kesme dayanımının, DBYBHY 2007'de öngörülen 0,287 MPa değerine kıyasla yaklaşık üç kat daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda, DBYBHY 2007'ye göre yapı güvenli kabul edilirken, TBDY 2018'e göre aynı yapı kesme dayanımı

açısından yetersiz kalmaktadır. Bu fark, güncel yönetmeliğin yığma yapılar için daha muhafazakâr ve güvenlik odaklı bir yaklaşım benimsediğini açıkça ortaya koymaktadır.

Bir diğer önemli nokta G+Q+EXP-0,3EYP yük kombinasyonunda 1. katta birim uzunlukta elde edilen en büyük kesme kuvveti $F_{12} = 120 \text{ kN/m}$ olup, duvar kalınlığı 0,5 m dikkate alındığında kayma gerilmesi 240 kN/m^2 (0,24 MPa) olarak bulunmuştur. Bu değer, sınırlı alanlarda oluşmakta ve yerel gerilmelerin yönetmelik sınırlarını aşabildiğini göstermektedir. Bu tür bölgelerde mukavemet bandı, yerel donatı veya enjeksiyon gibi güçlendirme yöntemleri uygulanarak emniyet sağlanabilir. Ancak TBDY 2018’de sonlu elemanlar analizinde zayıf bölgeler için güçlendirme ile boyutlama yapılmasına yönelik açık bir hüküm bulunmamaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de geniş bir yığma yapı stoğu bulunmakta olup, bu yapıların önemli bir kısmı kültürel miras niteliğinde korunması gereken tarihi yapılardır. Bu durum, yığma yapıların deprem performanslarının doğru ve gerçekçi biçimde değerlendirilmesini, aynı zamanda güncel deprem yönetmeliklerinin bu yapı türlerinin özgün davranışlarını dikkate alacak şekilde ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Özellikle yığma yapıların heterojen malzeme özellikleri, düşük çekme dayanımları ve sınırlı süneklikleri, bu yapıların betonarme sistemlerden farklı değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında DBYBHY 2007 ile TBDY 2018 yönetmelikleri karşılaştırılarak, yığma yapıların taşıyıcı sistem özellikleri, kullanılan analiz yaklaşımları ve yönetmeliklerin yığma yapılar açısından güçlü ve zayıf yönleri kapsamlı biçimde incelenmiştir. Ayrıca, her iki yönetmeliğin yığma yapıların deprem güvenliğini değerlendirmedeki yeterliliği sorgulanmış ve uygulamada karşılaşılan temel eksiklikler ortaya konmuştur. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Yığma yapıların geometrik özellikleri nedeniyle doğal titreşim periyotları kısa olup, bu durum yapıların rijit davranış göstermesine neden olmaktadır.
- TBDY 2018, sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme ve analiz yapılmasına imkân tanırken, DBYBHY 2007 bu konuda net bir yaklaşım ortaya koymamaktadır.
- DBYBHY 2007’de doğal taş sadece bodrum ve zemin katta kullanılabilirken, TBDY 2018 böyle bir sınırlama getirmemektedir.
- TBDY 2018, donatısız yığma yapılarda minimum duvar kalınlığını 35 cm olarak belirlemiş ve daha esnek mühendislik tasarımına imkân tanımıştır; oysa DBYBHY 2007’de bu değer 50 cm’dir.
- Yapının periyoduna bağlı olarak belirlenen davranış katsayısı ($R_a(T)$), TBDY 2018’de deprem hesabını daha gerçekçi kılmakta, ancak tasarım sonuçlarında büyük farklar oluşmamaktadır.
- Yapılan analizlerde SAP2000 programında taşıyıcı duvarlar “Shell” elemanlar ile modellenmiş, sadece düzlem içi gerilmeler dikkate alınmış; düzlem dışı gerilmeler ihmal edilmiştir.
- DBYBHY 2007’de yığma sistemler için süneklik düzeyi tanımlanmamış olup, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tablosunda bu tür yapılara yeterince yer verilmemektedir.
- Yüksek dayanımlı doğal taşlar (örneğin Karacabey bazaltı) kullanıldığında, hem DBYBHY 2007 hem de TBDY 2018’deki standart dayanım tabloları yetersiz kalmakta, deneysel değerler yönetmelik sınırlarının çok üzerine çıkmaktadır.
- TBDY 2018’de deney yapma zorunluluğu getirilmesine rağmen, basınç dayanım değerlerinin 25 MPa ile sınırlandırılması bazı taş türleri için gerçek değerlerin altında kalmasına sebep olmaktadır. Yönetmelik bu konuda deneylerde kullanılan değerlerin kullanılmasına izin vermelidir.
- TBDY 2018’e göre basınç emniyet gerilmesi yaklaşık 3,75 MPa olarak elde edilirken, DBYBHY 2007’ye göre bu değer 1,8 MPa’dır; bu da yöntemsel farkları göstermektedir.
- Her iki yönetmelikte de çekme emniyet gerilmesine dair herhangi bir tanım yer almamaktadır; ancak yığma yapıların çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık onda biri kadar olduğundan bu bölgelerde güçlendirme yapılması gereklidir.
- Yapısal analizlerde bazı bölgelerde emniyet gerilmesinin aşılması sınırlı ve yereldir; ancak mevcut yönetmelikler, bu alanlarda lokal güçlendirme yapılmasına ve buna göre boyutlandırmaya izin vermemektedir.
- Doğal taşların farklı mukavemet özellikleri olmasına rağmen, yönetmelikler tüm doğal taşları aynı mekanik özellikte kabul ederek gerçek dışı varsayımlar yapmaktadır.
- Özellikle zemin katlarda sınırlı alanlarda oluşan elverişsiz kayma gerilmeleri, uygun yerel güçlendirme teknikleri (donatı, mukavemet bandı vb.) ile giderilebilecekken, bu uygulamalara yönetmeliklerde açıkça yer verilmemektedir.

Yapay Zeka Katkı Beyanı

Bu makale tamamen herhangi bir yapay zeka aracının yardımı olmadan yazılmış, düzenlenmiş, analiz edilmiş ve hazırlanmıştır. Metin, veri analizi ve şekiller dahil tüm içeriğin yalnızca yazarlar tarafından oluşturulduğunu beyan ederim.

KAYNAKLAR

- Akyıldız, M. H., & Ayhan, E. (2022). 2007 ve 2018 yılları Türkiye deprem yönetmeliklerine göre zemin parametreleri ve deprem verilerinin karşılaştırılması; Siirt ili vaka çalışması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(1), 271–282. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1095089>
- Alpyürür, M., & Ulutaş, H. (2024). Comparison of performance analysis results with developed site-specific response spectra and Turkish seismic design code: A case study from the SW Türkiye region. *Buildings*, 14(5), 1233. <https://doi.org/10.3390/buildings14051233>
- Atmaca, N., Atmaca, A., & Kılçık, S. (2019). Comparison of 2018 and 2007 Turkish earthquake regulations. *The International Journal of Energy & Engineering Sciences*, 4(2), 19–25.
- Baran, B., Bozdoğan, K. B., & Atabey, İ. İ. (2022). Comparison of masonry building constructed from different wall materials according to 2007 and 2018 Turkish earthquake codes. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(3), 1066–1075. <https://doi.org/10.21923/jesd.989947>
- Büyüksaraç, A., Işık, E., & Bektaş, Ö. (2022). A comparative evaluation of earthquake code change on seismic parameter and structural analysis: A case of Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47, 12301–12321. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07099-4>
- Çaycı, B. T., & Eldemir, O. (2021). TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 deprem yönetmelikleri performans seviyelerinin karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1386–1397. <https://doi.org/10.21923/jesd.876935>
- Dalkılıç, N., & Nabikoğlu, A. (2017). Traditional manufacturing of clay brick used in the historical buildings of Diyarbakir (Turkey). *Frontiers of Architectural Research*, 6(3), 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.06.003>
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. (2007, 6 Mart). Resmî Gazete (Sayı: 26454). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3.htm>
- Genç, A. F., Ergün, M., Günaydın, M., Altunişik, A. C., Ateş, Ş., Okur, F. Y., & Mosallam, A. S. (2019). Dynamic analyses of experimentally-updated FE model of historical masonry clock towers using site-specific seismic characteristics and scaling parameters according to the 2018 Turkey building earthquake code. *Engineering Failure Analysis*, 105, 402–426. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.054>
- Halifeoğlu, F. M. (2013). Castle architecture in Anatolia: Fortifications of Diyarbakir. *Frontiers of Architectural Research*, 2(3), 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2013.04.003>
- İzol, R., Işık, E., Avcil, F., Arslan, M. H., Arkan, E., & Büyüksaraç, A. (2024). Seismic performance of masonry structures after 06 February 2023 earthquakes; site survey and FE modelling approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 186, 108904. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108904>
- Kahveci, A. E., & Kadayıfçı, A. (2013). Diyarbakır yöresi bazalt taşının yapısal özelliklerinin incelenmesi. *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 5(3), 56–69.
- Karaca, H. (2021). 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri kullanılarak farklı zeminlere göre ve farklı kentler için elde edilen tasarım ivmelerinin karşılaştırılması, Kapadokya örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 4(1), 42–52. <https://doi.org/10.35341/afet.828828>
- Karaşin, İ. B., Eren, B., & Işık, E. (2016). Mevcut bir yığma yapının farklı hızlı değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 70–76.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018, 18 Mart). Resmî Gazete (Sayı: 30364). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>