



Yapı Düzensizliğine Sahip Perdeli-Çerçeveli Betonarme Bir Konut Yapısında Dolgu Duvar Güçlendirmesinin Deprem Davranışı Üzerindeki Etkileri

The Effects of Infill Wall Strengthening on the Seismic Behavior of a Residential Shear Wall-Frame RC Structure with Structural Irregularity

Eda Gökçe Toprak^{1*}, İlker Kalkan²

¹Kırıkkale University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Civil Engineering, Kırıkkale, Turkey

Başvuru/Received: 19/10/2023

Kabul/Accepted: 19/11/2023

Çevrimiçi Basım/Published Online: 31/01/2024

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2024

Öz

Mevcut çalışmada, dolgu duvarların güçlendirilmesinin betonarme perdeli-çerçeveli sistem davranışına etkileri doğrusal olmayan zaman-tanım alanında analiz yöntemiyle araştırılmıştır. Bu bağlamda, Kırıkkale İli Merkez İlçesinde inşa edilmiş olan 12 katlı bir yapı SAP2000 matris yapı analizi yazılımında modellenmiş ve boş (dolgu duvarsız) çerçeve, yalın dolgu duvarlı çerçeve ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeve olarak analiz edilmiştir. Dolgu duvarlar, çerçeve içerisinde eşdeğer basınç çubukları olarak modellenmiş ve bu çubukların kalınlıklarının belirlenmesinde literatürdeki teorik formüllerden faydalanılmıştır. Analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde Kırıkkale İlinin faylanma özellikleri, faya uzaklığı ve ilgili yapının konumundaki zemin özellikleri esas alınmıştır. Yapılan analizler sonucu, dolgu duvar güçlendirmesinin özellikle taban kesme kuvveti değerlerinde önemli azalmalar ortaya çıkardığı belirlenmiştir. Ayrıca, görelî kat ötelenmesi ve kat burulması gibi problemlerin önüne geçmek için dolgu duvar güçlendirmesinin etkili bir çözüm yolu sunduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

"Dolgu duvar güçlendirmesi, Basınç çubuğu, Sismik davranış, Yalın betonarme çerçeve, Çelik levha ile dıştan güçlendirme, Yapı düzensizliği"

Abstract

In the present study, the effects of infill wall rehabilitation on the behavior of reinforced concrete shear wall-frame systems were investigated with the help of the non-linear time-history analysis method. In this context, a 12-story building, built in the Central District of the City of Kırıkkale was modeled in the SAP2000 matrix structural analysis software and analyzed as without infill walls (plain), with bare infill walls and with strengthened infill walls. The infill walls were modeled as equivalent compression struts in the frame and the theoretical formulae in the literature are used to determine the thicknesses of these struts. In the selection of earthquake records to be used in the analysis, the faulting characteristics of Kırıkkale, the distance to the fault and the soil properties at the location of the relevant structure were taken into consideration. The analyses depicted that the infill wall strengthening provided significant reductions in the base shear force values of the related structure. Furthermore, infill wall strengthening was observed to provide an effective method for overcoming the story drift and story twist problems.

Key Words

"Infill wall strengthening, Compression strut, Seismic response, Bare RC frame, External strengthening with steel, Structural irregularity"

1. Giriş

Ülkemizdeki yapı stoğunun önemli bir kısmını betonarme yapı sistemleri oluşturmaktadır. Betonarme çerçevelerdeki boşluklar mimari kaygılarla çeşitli malzeme özelliklerine sahip bölme duvarlar ile doldurulmaktadır. 2007 Deprem Yönetmeliğine kadar (DBYBHY 2007) dolgu duvarların sadece sabit düşey katkısı hesaba katılmıştır. Ancak, 1950li yıllarda başlayan akademik çalışmalarla, taşıyıcı olmayan bu duvarların yapının deprem davranışına olumlu etkileri ortaya konmuş ve bu etkiler uluslararası yönetmeliklerde yer almaya başlamıştır. Ülkemizde ise DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerinde; dolgu duvarlar için malzeme özellikleri, boşluk oranı, uzunluk, yükseklik, çerçeveye bağlantı yöntemleri gibi değişkenlere bağlı formüller ve hesap yöntemleri yer almıştır.

Yapısal analizlerde kullanılacak eşdeğer basınç çubuğu modelinin özelliklerini belirlemek amacıyla Polyakov (1956) eşdeğer basınç çubuğu modelini önererek bu yöntemin çerçevelerin rijitliğini etkili bir biçimde temsil ettiğini öne sürerek çubuk genişliğini veren bağıntılar geliştirmiştir. Holmes (1963) Polyakov' un ileri sürdüğü eşdeğer basınç çubuğunu geliştirerek dolgu duvarlı çerçevelere ait yatay yer değiştirme bağıntılarını ortaya koymuştur. Liauw (1979) duvarlarda bulunan pencere ve kapı boşluklarının çerçeve dayanımı ve rijitliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada çerçeve ve dolgu duvar arasında bağlantı elemanı olup olmamasını, detayları ve çerçeve yüksekliğinin etkilerini araştırmış, sonuç olarak bağlantı elemanı varlığının rijitlik ve dayanımı artırdığını, boşluk oranının artmasının rijitlik ve dayanımı düşürdüğünü ispatlamıştır. Canbay (2001) çalışmasında yapılarda uygulanan onarım sonucunda çerçeve elemanları ile dolgu duvar arasındaki etkileşimi araştırmak adına 3 açıklığa sahip 2 katlı bir deney elemanını teste tabi tutmuştur. Birtakım deneylerle kalibre edilmiş özel bir ölçüm aracı geliştirerek dolgu duvarsız açıklıklardaki kolon altlarına verilen yatay yüklerin oluşturduğu kesit tesirlerini gözlemlemiştir. Geliştirilen özel ölçüm aracı sayesinde kolonlar ile çerçeveye sonradan eklenen betonarme dolgu duvar arasındaki etkileşim hakkında önemli bilgiler elde etmiştir. Söz konusu bilgilere göre, kolonda henüz akma noktasına gelmemiş donatıya sahip çerçevenin dolgu duvar ile güçlendirilmesi ile yeni halde yatay yükün yaklaşık %90'ını taşımaya devam edebildiğini gözlemiştir. Ayrıca dolgu duvarı bulunmayan çerçeveye oranla, betonarme dolgu duvar eklenmiş çerçevelerde rijitliğin yaklaşık 15 kat daha yüksek olduğunu, aynı şekilde yatay yük taşıma kapasitesinin de 4 kat arttığını görmüştür. Asteris (2003) tek kat ve tek açıklıklı ve çok açıklıklı çerçeveler üzerinde yürüttüğü çalışmalarda boşluklu dolgu duvarlarda boşlukların çerçeve rijitliğini azalttığını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak ortaya koymuştur. Dolgu duvarlı çerçevelerde kolonlardaki kesme kuvvetinin azaldığını ancak yumuşak kat varlığında zemin kattaki dolgunsuz çerçevede görülen kesme kuvvetinin çıplak çerçevelere göre önemli ölçüde yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Özcebe (2003) düşük dayanımlı ve düşük süneklik düzeyine sahip yapılara dolgu duvar ekleyerek güçlendirilmelerini sağlamaya çalışmıştır. Tek katlı, iki açıklıklı ve 1/3 ölçekli numuneleri deprem benzeri yanal yüklere maruz bırakarak dolgu duvar güçlendirmesinin çerçeve rijitliği ve yanal dayanıma önemli katkılar sağladığı görmüştür. Dolsek ve Faijar (2008) yaptıkları çalışmada 4 katlı betonarme bir çerçevenin dolgu duvarsız, boşluksuz dolgu duvarlı ve boşluklu dolgu duvarlı olacak şekilde farklı modellerinin deprem yükleri karşısındaki davranışını incelemek üzere doğrusal olmayan deprem analiz yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre dolgu duvar varlığı ve var olan dolgu duvarda kapı ve pencere boşluklarının bulunması durumunda, yapının deprem etkisi altındaki davranışı ve yapı genelindeki hasar dağılımı tamamen değişmiştir. Baran vd. (2010) Türkiye'deki binaların genelinde görülen hatalara sahip (düşük beton dayanımı, yetersiz donatı ve işçilik vb.) 1/3 ölçekli, iki katlı ve tek açıklıklı dört adet deney çerçevesini tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test etmiş ve boşluklu tuğla dolgulı duvarların yüksek dayanımlı ön üretimli beton paneller kullanılarak güçlendirilmesini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda bu güçlendirme yönteminin var olan yapı stokunun depreme karşı güçlendirilmesinde ekonomik, kolay ve etkili bir yöntem olduğunu, beton panellerle güçlendirilen elemanların yapısal performanslarının, yerinde dökme betonarme dolgulı elemanların performanslarının oldukça yakın olduğunu görmüşlerdir. Kaymak ve Tuna (2011) dolgu duvar ve bant pencere varlığının yatay yükler altındaki çelik çerçeve deprem davranışı üzerindeki pozitif veya negatif (yumuşak kat ve bant pencereli modellerde kısa kolon etkileri vb.) tüm etkilerini araştırmışlardır. Marius ve Valeriu (2012) uygulamalı ve analitik olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, betonarme çerçevesiz dolgu duvarlarda, dikey ve şaşırtmalı olarak bırakılan kapı boşluklarının, yanal deprem yüklerinin etkisi altında sismik enerji tüketme kapasitesine olan etkilerini irdelemişlerdir. Bu amaçla kapı boşluklarının yatay açı parametresini değişken olarak kabul ederek 4 farklı model oluşturmuşlardır. Yatayda yönde 250 mm ve düşey yönde de 500 mm olacak şekilde kapı boşluğu bırakılan modeller 1/4 ölçeğindedir. Söz konusu deney modelleri yatay ve düşey olarak yüklemeye maruz bırakılmış, yapılan testler sonucunda da analitik modellerle karşılaştırılmıştır. Böylece uygulama modeli ve analitik model karşılaştırmaları ile yatay yük-yanal yer değiştirme ilişkisi ve enerji sönümleme kapasitesi bakımından birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Deneyler ve analitik hesaplamalar sonucu, boşluk bulunan dolgu duvarlı modeller arasında düşey boşluklu olan modellerin karşılaştırılan parametreler içerisinde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Yakut vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların bina deprem davranışı üzerindeki etkisi analitik olarak incelenmiştir. Ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan yaklaşık 28 adet betonarme bina üç boyutlu olarak SAP 2000 programı ile modellenmiştir. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması ile bina akma taban kesme kuvveti, bina periyodu ve bina rijitliğindeki değişimler dolgu duvar alanına bağlı olarak irdelemiştir. Sayed vd. (2014) yaptıkları çalışmada, yüksek dayanımlı betonla üretilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, tersinir tekrarlanır yükler altında davranışını ve sünekliğini belirlemişlerdir. 1/2 ölçekli, 4 farklı deney çerçevesi oluşturulmuş ve dolgu duvar kalınlığı ile tuğla türü deney parametreleri olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kırmızı tuğla olarak adlandırılan dolgu duvar çeşidinde, yanal yük dayanımının referans çerçevesine göre sırasıyla %184, %61 ve %99 oranlarında arttığı gözlemlenmiştir. Bununla enerji yutma kapasitelerinde %226, %68 ve %92 oranlarında artış olduğu belirlenmiştir. Jiang vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deprem etkisi altındaki davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla birebir ölçekli dolgu duvarlı betonarme çerçeve üzerinde çevrim yükleri uygulayarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Albayrak (2016) tarafından yapılan çalışmada, 1/3 ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı deney numuneleri kullanılarak sabit düşey yük ve depremi benzeştiren artan yatay yük altında dolgu duvar etkisi incelenmiştir. Numuneler ülkemizde kullanılan uygulama hatalarını içerecek şekilde üretilmiştir. Bu çalışmanın yanı sıra analitik çalışmada 3 adet model belirlenerek tasarımda kullanılacak en uygun dolgu duvar çerçeve ilişkisi belirlenmiştir. Furtado vd.

(2017) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarların farklı göçme mekanizmalarını ve dolgu duvar hasarlarını deneysel olarak inceleyerek binanın deprem davranışlarını önemli ölçüde değiştirdiklerini tespit etmişlerdir. Akyürek (2018) tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarların binanın davranışına ve deprem performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla farklı açıklık sayısına ve kat adedine sahip konut türü betonarme binalar model olarak seçilmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak tasarlanan bu binaların deprem performansı doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada plandaki dolgu duvar miktarı ve yerleşim şekli değiştirilerek değişimin binanın kapasite eğrisi, birinci doğal periyodu, hedef yer değiştirme istemi, birinci kat kolonlarına ait hasar dağılımı ve bina performans seviyesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar dolgu duvar yerleşiminin, bina davranışını önemli derece etkilediğini göstermiştir. Brodsky (2021) betonarme dolgu çerçevelerin modellenmesi için çok platformlu bir yöntem sunmaktadır. Dolgu duvarın eşdeğer çoklu payandalarla temsil edildiği bu yöntemde ani kolon kırılmaları durumunda, kolon öncesi ve sonrası analizini de hesaba katmak amaçlanmıştır. Birbirine paralel üç eşdeğer çubukla temsil edilen dolgu duvarlı çalışmada hesaplama süresinin kısaldığı, birleşim bölgelerindeki kritik bölgelerin doğrusal olmayan dinamik analizinde oldukça detaylı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Geçmiş çalışmalar üzerine yapılan detaylı incelemeler, çoklu bölmelerdeki eşdeğer basınç çubuğu oluşumu ile tekli bölmelerde tek eşdeğer basınç çubuğu kullanımının benzer özellikler gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu sebeple, mevcut çalışmada tek çubuk kullanımının uygun olduğu görüşüne varılmıştır.

Literatür çalışmalarında dolgu duvarlarda yer alan kapı ve pencere boşluklarının konum ve boyutlarının, dolgu duvarın nihai mukavemet ve yanal rijitlik değerleri üzerinde önemli etkileri olduğu gösterilmiştir. Bu boşlukların dayanım ve rijitlikler üzerindeki etkilerini hesaba katmak amacıyla azaltma katsayıları kullanılmış ve bu katsayılar yardımıyla özellikle küçük boşlukların etkilerinin doğrulukla ortaya konulduğu belirlenmiştir. İlgili bir çalışmada (Polyakov, 1956) duvar merkezinde bulunan ve açıklığın %24'ü oranında uzunluğa sahip bir boşluğun duvar dayanımını yaklaşık %50 oranında azalttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca, dolgu duvardaki boşlukların uzunluklarının duvar açıklığına oranı ve duvar üzerindeki konumlarını hesaba katan bir dikme modeli önerilmiştir. Yapılan araştırmalar, açıklıkların boyutu ve konumunun dikmelerin eğimi ve etkin genişliği üzerinde de etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur. Boşluk uzunluğunun duvar açıklığına oranının fazla olduğu ve boşluğun yüklenme noktasına yakın konumlandığı durumlarda, kuvvet-yer değiştirme oranlarında boşluksuz duvara göre önemli artışlar olduğu sonucuna varılmıştır.

Dış cephede kullanılan dolgu duvarların genel olarak geniş açıklıklara sahip olmalarına rağmen, birçok araştırmada dış duvarlar dolu duvar olarak modellenmiştir. Bu çalışma mevcut yapılarda bulunan dolgu duvarların güçlendirmesini konu aldığından boşlukların hesaba katılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmada dolgu duvarların yanal rijitliğine boşlukların etkisini belirtmek amacıyla Asteris (2003) tarafından önerilen bir sonlu eleman tekniği uygulanmıştır. Bu analizin temel özelliği dolgu-çerçeve temas uzunluklarının ve temas gerilmelerinin çözümün ayrılmaz bir parçası olmasıdır. Bu tekniğe göre, dolgu duvar sonlu eleman modelinin, duvarın sıkıştırılmış köşegeninin uçlarında, duvarı çevreleyen çerçeve sonlu eleman modeline bağlı olduğu kabul edilir. Daha sonra düğüm yer değiştirmeleri hesap edilir ve dolgu duvar ile çerçeve elemanların düğüm noktalarının örtüşüp örtüşmediği kontrol edilir. Örtüşüyor ise komşu noktalarda işlem tekrarlanır. Örtüşmüyorsa işlem durdurulur ve deforme ağ belirlenir.

Bu tekniği kullanarak dolgu duvarlı çerçevenin sismik tepkisi üzerinde açıklıkların etkisi incelenmiştir. Beklendiği gibi, açıklık yüzdesindeki artış çerçevenin rijitliğinde önemli bir azalmaya sebep olmuş, %50 den daha büyük bir açıklık yüzdesi için rijitlik azaltma faktörünün sıfır olma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (Polyakov, 1956). Literatür taramaları sonucunda çalışmada aşağıda verilen azaltma katsayısının kullanılmasına karar verilmiştir:

$$RF = 1,0 - [0,45\lambda_1 h + 0,60]x \frac{L_0 A_0}{L A} \quad (1)$$

Bu formülde gösterilen RF , azaltma katsayısını; λ_1 , eşdeğer basınç çubuğu katsayısını; h , çerçeve yüksekliğini; L_0 , açıklık uzunluğunu; A_0 , açıklık alanını; L , duvar uzunluğunu; A ise duvar alanını ifade etmektedir. (1) numaralı eşitlikten elde edilen azaltma katsayısı yapının pencere ve kapı bulunan dolgu duvarları için uygulanmıştır.

1.1 Dolgu duvar güçlendirmesi ve yapı davranışı üzerindeki etkileri

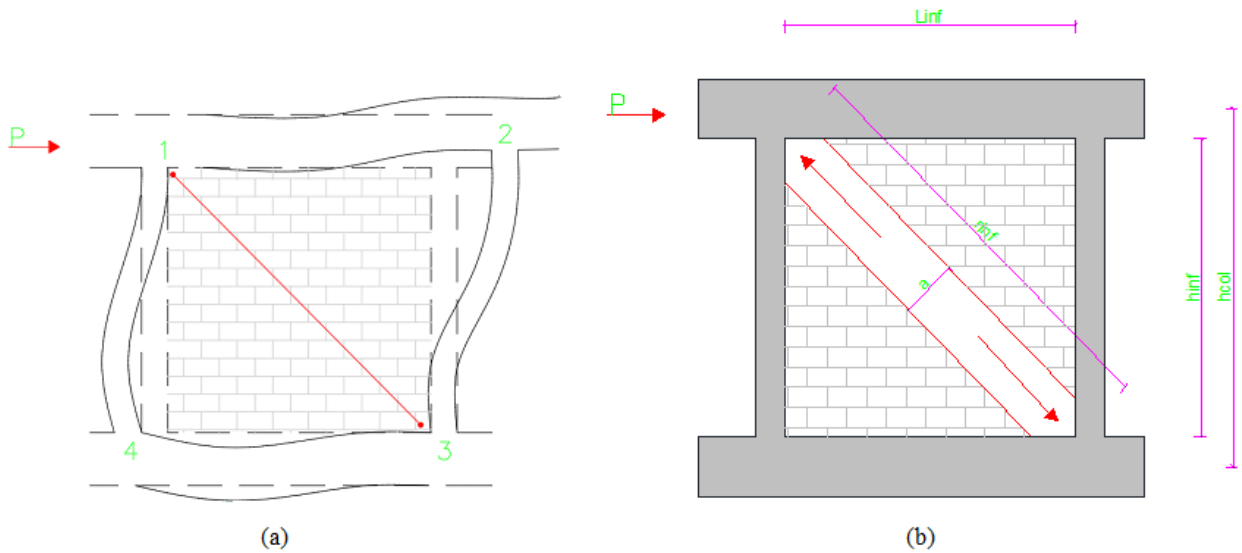
Yapıların sismik davranışına katkı sağlayan dolgu duvarların güçlendirme yöntemlerine ilişkin literatürde ve yönetmeliklerde oldukça fazla yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler Furtado ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan çalışmada sistematik olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada; FRP (Lifli polimerler), CFRP (karbon lifli polimerler), ECC (Çimentolu kompozitler), TRM (Tekstil takviyeli sıvalarla güçlendirilmiş dolgu çerçeveler) ile yapılan dolgu duvar güçlendirmelerinin çerçeveye dayanım, süneklik, enerji sönümlenme katkıları ve göçme modları açısından incelenmiştir. Diğer yandan ülkemizde delikli çelik plakalarla yapılan çalışmalar, malzemenin yerli üretim olması, sünek davranış göstermesi, uygulamada epoksi gibi ithal ve yüksek maliyetli yapıştırıcılara gerek duyulmaması gibi avantajlarından dolayı önem kazanmaktadır. Bu sebepler göz önünde bulundurulduğunda mevcut çalışmada dolgu duvar güçlendirmesinde delikli çelik levha kullanımının uygun olduğu görüşüne varılmıştır. Literatür çalışmaları içerisinde delikli çelik levhalarla yapılan dolgu duvar güçlendirme uygulamaları incelenerek duvar dayanım, rijitlik ve süneklik değerlerine etkileri, Çizelge 1'de sunulmuştur. Bu çalışmalar incelendiğinde; Özbek (2015) tarafından yapılan araştırmada, metal delikli levha uygulamalarının minimum kalınlıkta maksimum sünekliği sağlaması, ekonomik olması ve mevcut yapılarda uygulama kolaylığı açısından tercih edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Mevcut çalışmada kullanmak için 1 mm levha kalınlığına sahip numune özelliklerinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge1. Çelik Plakalarla Güçlendirilen Dolgu Duvar Çalışmalarının Karşılaştırılması

Çalışma	Deney Elemanı	Saç Kalınlığı (mm)	Bulon Aralığı (mm)	Max. Yük (kN)	1.Kat Ötelenme (mm / %)	Süneklik Oranı	Rijitlik (kN/mm)
Babayanni, R (2012)	S0,3-CB	0,3	Standart	164,6	122,3		
	S0,5-200	0,5	200	152,3	105,9		
	S1,0-200	1,0	200	159,3	96,8		
Cumhur, A. (2017)	B1,5-200	1,5	200	141		20,7	10,8
	B2,0-200	2,0	200	120		18,5	9,0
	RP2,0-200	2,0	200	271		17,4	15,3
	FP1,5-100	1,5	100	526		29,7	12,7
	FP2,0-200	2,0	200	367		15,2	4,0
	FP3,0-100	3,0	100	516		22,0	12,5
Özbek, E. (2015)	S1ZY200	1,0	200	232	>%7,3	13	4,3
	S1.5ZY200	1,5	200	241	>%5,2	13	4,4
	S2ZN200	2,0	200	219	>%7,5	18	2,5

1.2 Dolgu duvarların hesap yöntemleri

Bu çalışma kapsamında dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile modellenmiş, çubuk genişliği, rijitlik ve dayanım özellikleri deprem yönetmeliklerinde belirlenen formüllerle saptanmıştır (Fema356 1998, TBDY 2018).



Şekil 1. (a) Eksenel Basınç ile Oluşabilecek Temas Bölgeleri ve Çatlak Durumu; (b) Eşdeğer Basınç Çubuğu Genişliği ve Bağlı Olduğu Parametreler

Dolgu duvar eşdeğer basınç çubuğu modelinde Stafford (1970) dolgu duvarın göreceli rijitlik parametresinin (λ), aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edileceğini belirtmiştir:

$$\lambda = \left[\frac{E_{inf} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{col} I_{col} h_{col}} \right]^{1/4} \quad (2)$$

Bu eşitlikte kullanılan, λ ifadesi, eşdeğer basınç çubuğu katsayısını; E_{inf} , duvarın elastisite modülünü; t_{inf} , dolgu duvar kalınlığını; E betonarme kolonun elastisite modülünü; I betonarme kolonun atalet momentini; θ radyan cinsinden dolgu duvarın yüksekliğinin uzunluğuna oranının tanjant açısını; h_{col} , kolonun merkezden merkeze (kiriş eksenleri arasındaki) yüksekliğini ifade etmektedir. Mainstone (1970), Şekil 1b' de ifade edilen değişkenlere bağlı olarak (3) nolu eşitlik ile eşdeğer basınç çubuğu kalınlığının (a_{inf}) hesaplanacağını ortaya koymuştur. Fema 306 (1998) de, bu formül yer almaktadır.

$$a_{inf} = 0,175 \cdot (\lambda \cdot h_{col})^{-0,4} \cdot r_{inf} \quad (3)$$

Eşdeğer basınç çubuğu genişliği (a_{inf}) ifadesinde, r_{inf} , duvarın köşegen uzunluğunu ifade etmektedir. Çalışma kapsamında (1), (2) ve (3) nolu eşitlikler kullanılarak masif (dolu) ve boşluklu dolgu duvarları temsil edecek olan eşdeğer basınç çubuklarının kalınlıkları hesaplanmış ve bu kalınlıklar Çizelge 3' te sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında 2014 yılında DBYBHY (2007)' e göre tasarımı yapılan mevcut bir yapı seçilerek TBDY (2018)' e göre zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Bu bağlamda, eski deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış yapıların yeni deprem yönetmeliğine göre deprem performansı yeterlilikleri de araştırılmıştır. Analizlerde yapının elastik ötesi davranışına izin verecek

ve ikincil mertebeye etkilerin de analizler esnasından ortaya çıkmasını sağlayacak zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analiz ('non-linear time-history analysis') metodu tercih edilmiştir. Bu sayede, yapıların deprem sonrası hasar durumlarının da takip edilebilmesi mümkün olmuştur. Bu bölümde analiz edilen yapının özellikleri ile analiz esasları detaylı olarak anlatılmıştır.

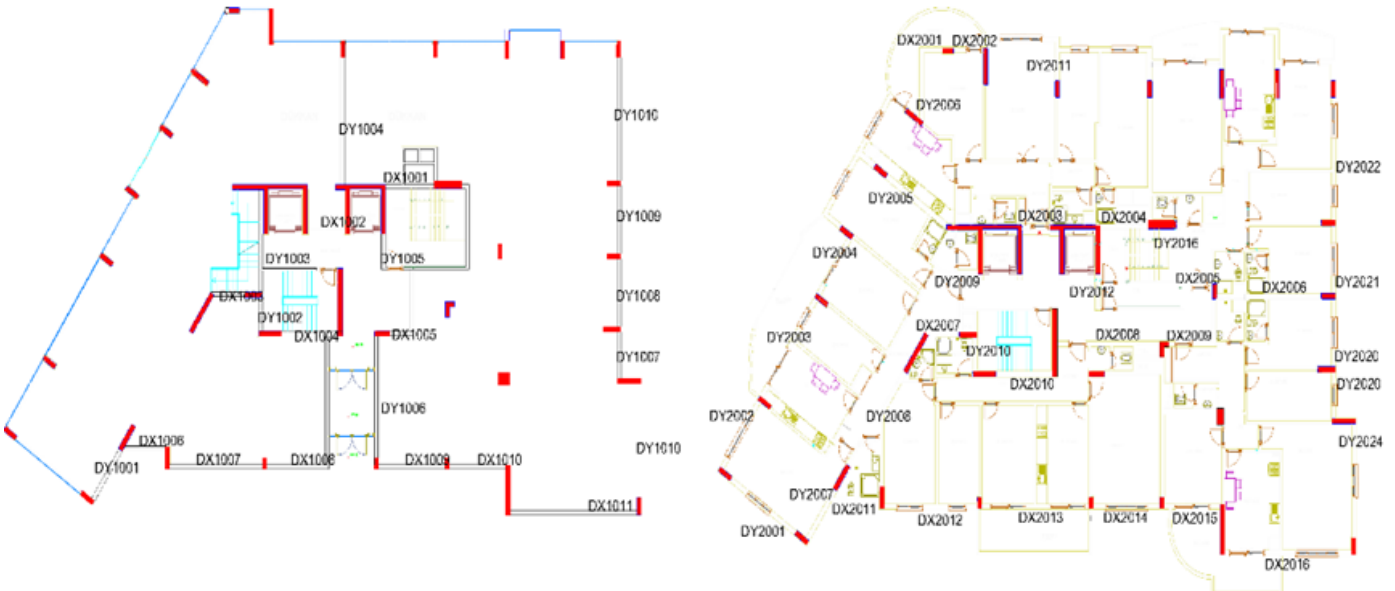
2.1. Analizi yapılacak yapının özellikleri

İncelenen yapı, Kırıkkale İli, Merkez İlçesinde yer alan 2 bodrum kat, bir zemin kat ve 9 normal kat olmak üzere toplam 12 kattan oluşan bir konut yapısıdır. Zemin katta ticari kullanımdan dolayı kat yüksekliği 3,55 metre, birinci bodrum katta ise 3,15 metredir. Diğer katlar konut olarak kullanılmakta olup, her kat 2,9 metre kat yüksekliğine sahiptir. Yapının kat planları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 2. (a) 2. Bodrum Kat; (b) 1. Bodrum Kat; (c) Zemin Kat; (d) Normal Kat Planları

Normal katlarda dolgu duvarlar, her iki düzlemsel doğrultuda dengeli bir yerleşime sahiptir. Ancak zemin katta ticari kullanım sebebiyle dış cephe dolgu duvar yerine cam giydirmeli olarak tasarlanmış, yine ticari kullanım sebebiyle zemin kat planında dolgu duvar sayısı sınırlıdır. Yapıya ait mimari özellikler ve deprem analizine esas teşkil edecek bilgiler, Çizelge 2'de sunulmaktadır.



Şekil 3. Zemin ve Normal Katlarda Dolgu Duvar yerleşimleri**2.2. Analiz yöntemi**

Yapısal sistemde, rijit bodrum katın üzerindeki katların (1. bodrum kattan başlayarak) dolgu duvarları sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi yapılırken, dolgu duvarın yer aldığı kat ve duvarın doğrultusu (x veya y) esas alınmıştır. Örneğin, DX0001 duvarı, bodrum katta yer alan (0) ve x doğrultusunda uzanan birinci duvarı (1) tanımlamaktadır (Şekil 3). Duvarların açıklıkları ve bu duvarları çevreleyen kolonlar birbirlerinden farklılık gösterdiğinden, duvar ve kolonlar tek bir tabloda toplanarak her duvar için ayrı ayrı eşdeğer basınç çubuğu özellikleri belirlenmiştir. İçinde pencere veya kapı boşluğu bulunan duvarlara (1) numaralı eşitliğe göre hesaplanan azaltma faktörü uygulanmıştır. Yapının betonarme çerçeve sistemi için Sap2000 (2014) yazılımında dolgu duvarların durumuna göre üç ayrı model hazırlanmıştır. Bu modelleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Boş (Dolgu Duvarsız) Çerçeve
- Yalın Dolgu Duvarlı Çerçeve
- Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Çerçeve

Boş çerçeve olarak isimlendirilen modelde dolgu duvarlar sadece düşey yük olarak alınmıştır. Yalın dolgu duvarlı çerçeve modelinde 20 cm kalınlığındaki tüm dolgu duvarlar, eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Boşluklu dolgu duvarlara azaltma katsayıları da uygulanmıştır. Güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeve modelinde, içinde boşluk bulunmayan 20 cm kalınlığındaki tüm dolgu duvarların (tam duvarların), duvarın her iki yüzünde 1'er mm kalınlığındaki çelik levhalar monte edilerek güçlendirildiği varsayılmış ve bu duvarlar modele dahil edilmiştir. Boşluklu güçlendirilmiş dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesi için yeterli deneysel ve analitik veri bulunmadığı için, kapı veya pencere boşluğu bulunduran dolgu duvarlar modelde ihmal edilmiştir. Zaman tanım alanında yapılacak analiz öncesinde TBDY (2018)'e uygun olarak eşdeğer basınç çubukları için plastik mafsallar atanmıştır. Bu duvarların modellenmesinde esas alınan değerler Çizelge 3'te gösterilmektedir.

Çizelge 2. Yapıya Ait Bilgiler

Genel Bilgiler	
İl	Kırıkkale
Yapı kullanım amacı	Konut+Ticaret
Yapı koordinatları	X=39,845607 Y=33,517582
Yapı yüksekliği	35.60m
Rijit bodrum üstü yapı yüksekliği	32.80m
Rijit bodrum kat sayısı	1
Max. kat yüksekliği	3,55m
Max. giriş açıklığı	7,2m
Rijit diyafram sayısı	12
Beton Sınıfı	C30
Donatı Çeliği	S420
TBDY2007 Parametreleri	
Deprem Bölgesi	1
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) X/Y	7/7
Dışmerkezlik Oranı	0,05
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Tasarım Yaklaşımı	DGT- Dayanıma Göre Tasarım
Zemin Birim Ağırlığı	2,10 t-f/m ³
Yatak Katsayısı	3000,00 t-f/m ³
Zemin Emniyet Gerilmesi	10.20 t-f/m ²
Zemin Sınıfı	Z3
TA	0,150
TB	0,600
TBDY2018 Parametreleri	
Deprem Bölgesi	1
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) X/Y	7/7
Dışmerkezlik Oranı	0,05
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Tasarım Yaklaşımı	ŞDGT –Şekil Değ. Göre Tasarım
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	2
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	4
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar
Zemin Sınıfı	ZC

TA	0,066
TB	0,330

Çizelge 3. Dolgu duvarların sınıflandırılması ve eşdeğer basınç çubuğu hesabı

Kat	Duvar No	Boşluk (cm)	t _{inf} (m)	a _{inf} (m)	RF ($RF = 1,0 - [0,45\lambda_1 h + 0,60] \frac{L_0 A_0}{L A}$)	R/a _{inf} (m)
1.Bodrum Kat	DX0001	Yok	0,20	0,60	1,0	0,60
	DX0002	100x220	0,20	0,58	0,82	0,48
	DX0003	Yok	0,20	0,49	1,0	0,49
	DX0004	Yok	0,20	0,65	1,0	0,65
	DX0005	Yok	0,20	0,50	1,0	0,50
	DX0006	Yok	0,20	0,55	1,0	0,55
	DY0001	Yok	0,20	1,01	1,0	1,01
	DY0002	Yok	0,20	0,45	1,0	0,45
	DY0003	Yok	0,20	0,43	1,0	0,43
	DY0004	100x220	0,20	1,06	1,0	1,06
	DY0005	Yok	0,20	0,92	0,97	0,89
	DY0006	Yok	0,20	0,66	1,0	0,66
Zemin Kat	DX1001	Yok	0,20	0,67	1,0	0,67
	DX1002	Yok	0,20	0,55	1,0	0,55
	DX1003	Yok	0,20	0,47	1,0	0,47
	DX1004	Yok	0,20	0,59	1,0	0,59
	DX1005	Yok	0,20	0,37	1,0	0,37
	DX1006	Yok	0,20	0,44	1,0	0,44
	DX1007	Yok	0,20	0,70	1,0	0,70
	DX1008	Yok	0,20	0,52	1,0	0,52
	DX1009	Yok	0,20	0,55	1,0	0,55
	DX1010	Yok	0,20	0,65	1,0	0,65
	DX1011	Yok	0,20	1,19	1,0	1,19
	DY1001	Yok	0,20	0,87	1,0	0,87
	DY1002	Yok	0,20	0,31	1,0	0,31
	DY1003	Yok	0,20	0,54	1,0	0,54
	DY1004	Yok	0,20	0,32	1,0	0,32
	DY1005	Yok	0,20	1,02	1,0	1,02
	DY1006	Yok	0,20	0,35	1,0	0,35
	DY1007	Yok	0,20	0,49	1,0	0,49
	DY1008	Yok	0,20	0,41	1,0	0,41
	DY1009	Yok	0,20	0,69	1,0	0,69
DY1010	Yok	0,20	0,74	1,0	0,74	
Normal Katlar	DX2001	Yok	0,20	0,24	1,0	0,24
	DX2002	90x210	0,20	0,34	1,0	0,20
	DX2003	100x220	0,20	0,44	0,59	0,26
	DX2004	Yok	0,20	0,34	1,0	0,34
	DX2005	100x220	0,20	0,33	0,44	0,15
	DX2006	Yok	0,20	0,78	1,0	0,78
	DX2007	Yok	0,20	0,42	1,0	0,42
	DX2008	100x220	0,20	0,93	0,97	0,90
	DX2009	100x220	0,20	0,39	0,97	0,30
	DX2010	Yok	0,20	0,56	1,0	0,56
	DX2011	Yok	0,20	0,43	1,0	0,43
	DX2012	15x140/100x140	0,20	0,71	0,80	0,57
	DX2013	200x220x2	0,20	0,63	0,11	0,07
	DX2014	240x140	0,20	0,42	0,45	0,19
	DX2015	200x220	0,20	0,60	0,58	0,35
	DX2016	200x220/100x140	0,20	1,20	0,58	0,70
	DY2001	160x140	0,20	0,47	0,82	0,39
	DY2002	240x140	0,20	0,52	0,61	0,32
	DY2003	200x220/100x140	0,20	0,58	0,72	0,42
	DY2004	200x220	0,20	0,45	0,38	0,17
	DY2005	Yok	0,20	0,52	1,0	0,52
	DY2006	Yok	0,20	0,50	1,0	0,50
	DY2007	Yok	0,20	0,42	1,0	0,42

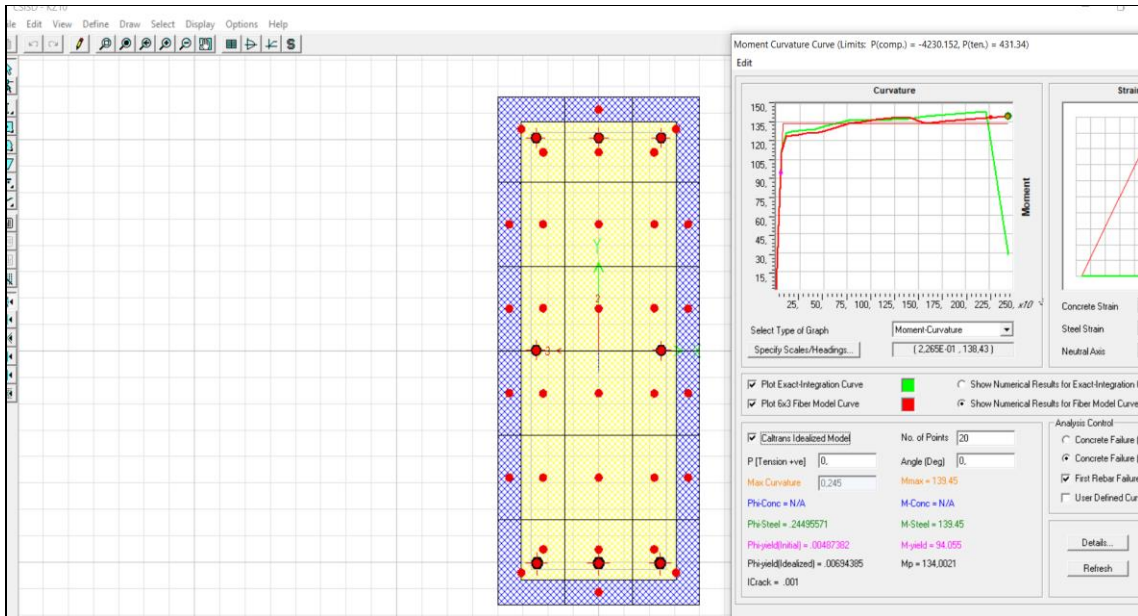
DY2008	Yok	0,20	0,38	1,0	0,38
DY2009	100x220	0,20	0,42	0,81	0,34
DY2010	Yok	0,20	0,34	1,0	0,34
DY2011	Yok	0,20	0,29	1,0	0,29
DY2012	Yok	0,20	0,30	1,0	0,30
DY2013	Yok	0,20	0,72	1,0	0,72
DY2014	Yok	0,20	0,25	1,0	0,25
DY2015	Yok	0,20	0,82	1,0	0,82
DY2016	Yok	0,20	0,82	1,0	0,82
DY2017	Yok	0,20	0,28	1,0	0,28
DY2018	Yok	0,20	0,26	1,0	0,26
DY2019	Yok	0,20	0,26	1,0	0,26
DY2020	100x140	0,20	0,31	0,71	0,22
DY2021	150x140	0,20	0,36	0,67	0,24
DY2022	150x140	0,20	0,37	0,68	0,25
DY2023	Yok	0,20	0,24	1,0	0,24
DY2024	160x140	0,20	0,79	0,94	0,74

Çizelge 2’de t_{inf} eşdeğer duvar kalınlığını; L_{inf} duvar uzunluğunu; r_{inf} duvar köşegen uzunluğunu; I_c kolon atalet momentini; λ eşdeğer basınç çubuğu katsayısını; a_{inf} eşdeğer basınç çubuğu genişliğini; RF , azaltma faktörünü; R/a_{inf} , boşluk bulunan duvarlarda azaltılmış basınç çubuğu genişliğini tanımlamaktadır. Çizelge 2’de yer almayan ve bütün duvarlarda ortak olan sayısal değerlere Çizelge 3’te yer verilmiştir. Çizelge 3’te yer alan h_{col} kolon yüksekliğini; E_{inf} dolgu duvar elastisite modülünü; h_{inf} dolgu duvar yüksekliğini; E_c kolon elastisite modülünü göstermektedir. Çizelge 3’de bulunan değerler kullanılarak a_{inf} ve R/a_{inf} genişlikleri hesaplanmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu kalınlığı TBDY (2018) Madde 15C.2.1’de yer alan “Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı güçlendirilmiş dolgu duvarının kalınlığına eşittir.” ifadesine bağlı olarak 20 cm (0.20 m) alınmıştır.

Çizelge 4. Dolgu Duvar ve Kolonun Elastik Modül ve Yükseklik Değerleri

Analiz Değişkeni	Değer
E_{inf}	3700 MPa
h_{inf}	2,55 m
E_c	15000 MPa
h_{col}	3,15 m

Tüm kirişleri 25cmx60cm ve 30cmx60cm ölçülerinde olan model yapının güçlü kolon-zayıf kiriş özellikleri taşıdığı tespit edildiğinden sadece kirişlerine M3 plastik mafsal özellikleri tanımlanmıştır. Sap2000 (2014) kesit tasarımı (‘section designer’) menüsünde mander sargılı beton özellikleri tanımlanan kirişlerin plastik mafsal boyu (L_p) olarak kesitin ilgili doğrultusundaki yüksekliğinin yarısı alınmıştır (Şekil 3). Mafsalardaki moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4’te ve bu ilişkinin modele tanımlanması Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 4. (a) Kiriş Mander Sargılı Beton Tanımı; (b) Kiriş Moment-Eğrilik Diyagramı

Şekil 3'te gösterilen yöntem yapıdaki tüm kirişlere uygulanarak kirişlerin hem pozitif hem de negatif moment-eğrilik değerleri Sap2000 (2014) yazılımı yardımıyla belirlenmiş ve yapının farklı boyut ve donatı düzenine sahip tüm kirişlerinin plastik mafsalları atanmıştır.

Frame Hinge Property Data for K10 - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0,2	-1,64
D-	-0,2	-0,98
C-	-1,611	-0,98
B-	-1,	0,
A	0,	0,
B	1,	0,
C	1,507	0,98
D	0,2	0,98
E	0,2	1,636

Symmetric

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Curvature

	Positive	Negative
<input type="checkbox"/> Use Yield Moment	Moment SF 96,08	52,68
<input type="checkbox"/> Use Yield Curvature (Steel Objects Only)	Curvature 4,891E-03	4,600E-03

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Immediate Occupancy	2,3	-2,5
<input checked="" type="checkbox"/> Life Safety	6,3	-6,3
<input checked="" type="checkbox"/> Collapse Prevention	0,7	-0,7

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 5. Modeldeki Kirişlere Plastik Mafsalları Moment-Eğrilik İlişkisi Atanması

Yalın dolgu duvarlı çerçeve ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevenin deprem performanslarının karşılaştırılabilmesi için güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevenin analizinde literatürde belirlenmiş değerler referans olarak alınmıştır. Özbek (2019) tarafından geliştirilen (4), (5) ve (6) numaralı formüllerle güçlendirilmiş duvarın elastisite modülü (E_{stme}), yalın dolgu duvarın elastisite modülü (E_{inf}); delikli levha net alanının brüt alana oranı (s), delikli levha kalınlığı (t_p), delikli levhanın akma dayanımı (f_{yp}), dolgu duvar kalınlığı (t_{inf}) ve duvarın yatay doğrultudaki dayanımına (f'_{me90}) değişkenlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Yalın dolgu duvarın elastik modülü (E_{inf}) değeri, FEMA 306 (1998)'da yer verilen bir yaklaşıma uygun olarak duvar dayanımının 550 katı olarak alınmış ve bu yaklaşıma göre ilgili değer 3700 MPa olarak hesaplanmıştır. Betonun elastisite modülü olan E_c değeri

ise güçlendirme ihtiyacı duyulan mevcut yapılarda düşük beton dayanımı gibi sık rastlanan yapısal kusurlar göz önüne alınarak 15000 MPa olarak hesaplanmıştır (Özbek, 2019). Eşitlikte ' w ' delikli levhanın kolonlara bağlantı durumuna göre değişen katsayıdır. Özbek (2019) tarafından yapılan çalışmada, deneysel veriler de göz önüne alınarak levhanın kolonlara bağlandığı durumlarda $w=1,2$ ve bağlanmadığı durumlarda $w=1$ alınmıştır. Bu çalışma mevcut binaların dolgu duvarları üzerine yapıldığından $w=1$ alınmıştır.

$$a_{str} = a_{inf} [1 + (2 \omega s t_p f_{yp}) / (t_{inf} f'_{me90})] \quad (4)$$

$$\lambda = [(E_{stme} t_{inf} \sin 2\theta) / (4 E_c I_{col} h_{inf})]^{1/4} \quad (5)$$

$$E_{stin} = E_{inf} [1 + (2 s E_{st} t_p) / (E_{inf} t_{inf})] \quad (6)$$

Çizelge 5. Güçlendirilmiş Dolgu Duvar Hesabı İçin Kullanılan Değerler

Simgeler	Değerler
E_{inf}	3700 MPa
E_c	15000 Mpa
E_{st}	2.10^6 Mpa
E_{stinf}	5485 Mpa
w	1
s	0,66
t_p	1 mm
t_{inf}	0,148 m
f_{yp}	350 Mpa
f'_{me90}	6,73 Mpa

E_{inf} =Yalın dolgu duvarın elastik modülü,
 E_c =Kolonun elastik modülü,
 E_{st} = Çelik plakanın elastik modülü,
 E_{stme} = Güçlendirilmiş dolgu duvarın elastik modülü

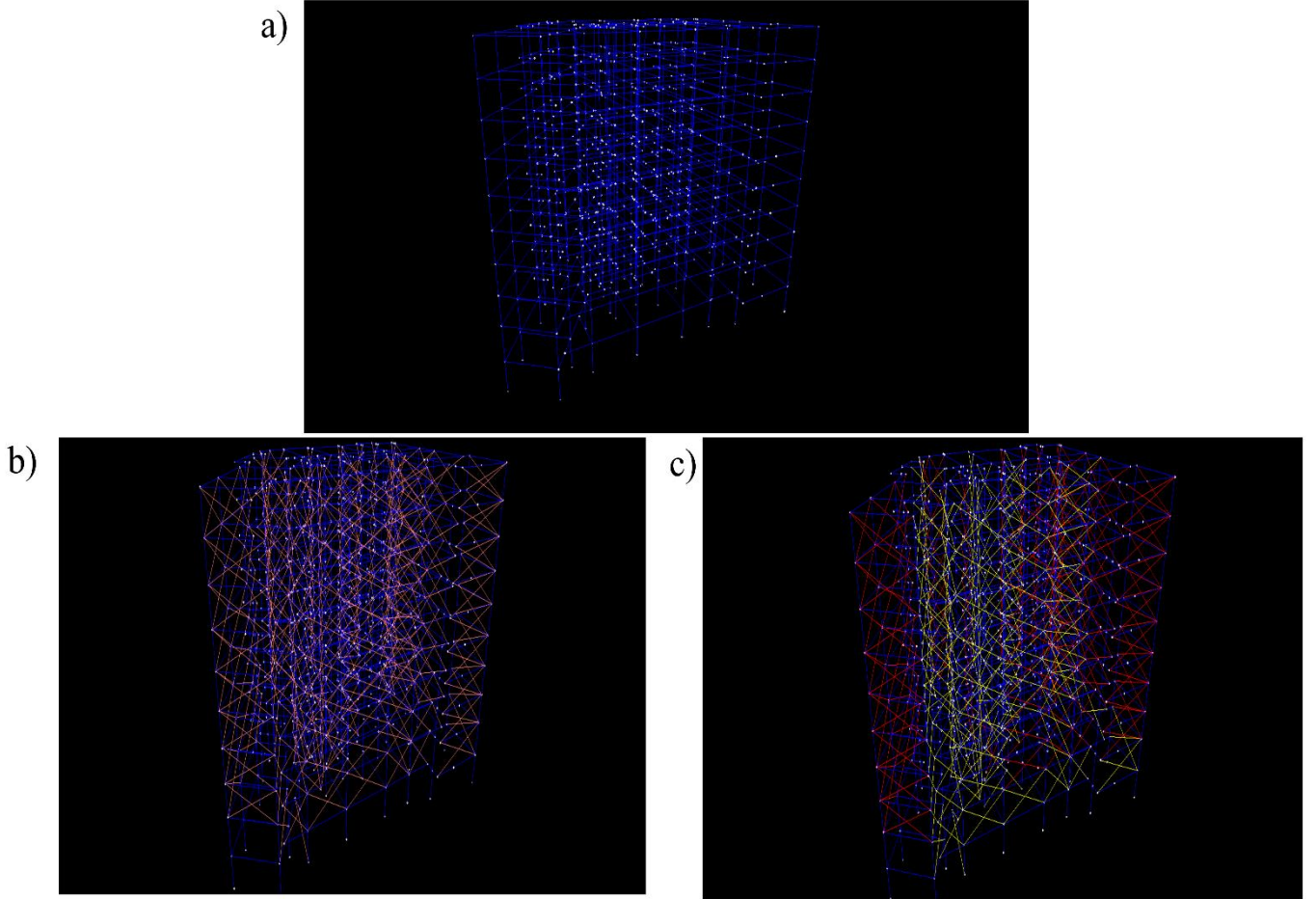
Çizelge 5' te belirtilen değerler (4), (5) ve (6) numaralı eşitliklerde kullanılarak Çizelge 6'da sunulan boşluksuz dolgu duvarların güçlendirilmiş eşdeğer basınç çubuğu değeri (a_{str}) bulunmuştur. Boşluksuz her dolgu duvar için bulunan a_{str} değeri, Sap2000 (2014)' de hazırlanan yeni modelin dolgu duvarını niteleyen eşdeğer basınç çubuğunun genişliği olarak atanmıştır. Güçlendirilmiş dolgu duvarlı modelin duvar elastik modülü değeri olarak, (6) numaralı eşitlikten elde edilen değer $E_{stinf}=5485$ Mpa kullanılmıştır.

Çizelge 6. Güçlendirilmiş dolgu duvarların sınıflandırılması ve güçlendirilmiş eşdeğer basınç çubuğu hesabı (a_{str})

Kat	Duvar No	Boşluk (cm)	t_{inf} (m)	a_{inf} (m)	RF	R/a_{inf} (m)	a_{str} (m)
1.Bodrum Kat	DX0001	Yok	0,148	0,60	1,0	0,60	0,88
	DX0002	100x220	0,148	0,58	0,82	0,48	0,70
	DX0003	Yok	0,148	0,49	1,0	0,49	0,72
	DX0004	Yok	0,148	0,65	1,0	0,65	0,95
	DX0005	Yok	0,148	0,50	1,0	0,50	0,73
	DX0006	Yok	0,148	0,55	1,0	0,55	0,81
	DY0001	Yok	0,148	1,01	1,0	1,01	1,48
	DY0002	Yok	0,148	0,45	1,0	0,45	0,66
	DY0003	Yok	0,148	0,43	1,0	0,43	0,63
	DY0004	100x220	0,148	1,06	1,0	1,06	1,55
	DY0005	Yok	0,148	0,92	0,97	0,89	1,31
	DY0006	Yok	0,148	0,66	1,0	0,66	0,97
	Zemin Kat	DX1001		0,148	0,67	1,0	0,67
DX1002		Yok	0,148	0,55	1,0	0,55	0,81
DX1003		Yok	0,148	0,47	1,0	0,47	0,69
DX1004		Yok	0,148	0,59	1,0	0,59	0,86
DX1005		Yok	0,148	0,37	1,0	0,37	0,54
DX1006		Yok	0,148	0,44	1,0	0,44	0,64
DX1007		Yok	0,148	0,70	1,0	0,70	1,02
DX1008		Yok	0,148	0,52	1,0	0,52	0,76
DX1009		Yok	0,148	0,55	1,0	0,55	0,81
DX1010		Yok	0,148	0,65	1,0	0,65	0,95
DX1011		Yok	0,148	1,19	1,0	1,19	1,74
DY1001		Yok	0,148	0,87	1,0	0,87	1,27
DY1002		Yok	0,148	0,31	1,0	0,31	0,45
DY1003		Yok	0,148	0,54	1,0	0,54	0,79
DY1004		Yok	0,148	0,32	1,0	0,32	0,47
DY1005		Yok	0,148	1,02	1,0	1,02	1,49
DY1006		Yok	0,148	0,35	1,0	0,35	0,51
DY1007		Yok	0,148	0,49	1,0	0,49	0,72
DY1008		Yok	0,148	0,41	1,0	0,41	0,60
DY1009		Yok	0,148	0,69	1,0	0,69	1,01
DY1010	Yok	0,148	0,74	1,0	0,74	1,08	
Normal Katlar							

Normal Katlar	DX2001	Yok	0,148	0,24	1,0	0,24	0,35
	DX2002	90x210	0,148	0,34	1,0	0,20	0,29
	DX2003	100x220	0,148	0,44	0,59	0,26	0,39
	DX2004	Yok	0,148	0,34	1,0	0,34	0,50
	DX2005	100x220	0,148	0,33	0,44	0,15	0,21
	DX2006	Yok	0,148	0,78	1,0	0,78	1,14
	DX2007	Yok	0,148	0,42	1,0	0,42	0,61
	DX2008	100x220	0,148	0,93	0,97	0,90	1,32
	DX2009	100x220	0,148	0,39	0,97	0,30	0,43
	DX2010	Yok	0,148	0,56	1,0	0,56	0,82
	DX2011	Yok	0,148	0,43	1,0	0,43	0,63
	DX2012	15x140/100x140	0,148	0,71	0,80	0,57	0,83
	DX2013	200x220x2	0,148	0,63	0,11	0,07	0,10
	DX2014	240x140	0,148	0,42	0,45	0,19	0,28
	DX2015	200x220	0,148	0,60	0,58	0,35	0,51
	DX2016	200x220/100x140	0,148	1,20	0,58	0,70	0,00
	DY2001	160x140	0,148	0,47	0,82	0,39	0,56
	DY2002	240x140	0,148	0,52	0,61	0,32	0,46
	DY2003	200x220/100x140	0,148	0,58	0,72	0,42	0,61
	DY2004	200x220	0,148	0,45	0,38	0,17	0,25
	DY2005	Yok	0,148	0,52	1,0	0,52	0,76
	DY2006	Yok	0,148	0,50	1,0	0,50	0,73
	DY2007	Yok	0,148	0,42	1,0	0,42	0,61
	DY2008	Yok	0,148	0,38	1,0	0,38	0,56
	DY2009	100x220	0,148	0,42	0,81	0,34	0,49
	DY2010	Yok	0,148	0,34	1,0	0,34	0,50
	DY2011	Yok	0,148	0,29	1,0	0,29	0,42
	DY2012	Yok	0,148	0,30	1,0	0,30	0,44
DY2013	Yok	0,148	0,72	1,0	0,72	1,05	
DY2014	Yok	0,148	0,25	1,0	0,25	0,37	
DY2015	Yok	0,148	0,82	1,0	0,82	1,20	
DY2016	Yok	0,148	0,82	1,0	0,82	1,20	
DY2017	Yok	0,148	0,28	1,0	0,28	0,41	
DY2018	Yok	0,148	0,26	1,0	0,26	0,38	
DY2019	Yok	0,148	0,26	1,0	0,26	0,38	
DY2020	100x140	0,148	0,31	0,71	0,22	0,33	
DY2021	150x140	0,148	0,36	0,67	0,24	0,35	
DY2022	150x140	0,148	0,37	0,68	0,25	0,36	
DY2023	Yok	0,148	0,24	1,0	0,24	0,35	
DY2024	160x140	0,148	0,79	0,94	0,74	1,08	

Çizelge 6'dan elde edilen a_{str} değerleri sadece kapı pencere boşluğu içermeyen dolgu duvarlar için değiştirilerek güçlendirilmiş modelde farklı renkle ifade edilmiştir (Şekil 6c.).



Şekil 6. (a) Yalın Çerçevesel Model (b) Dolgulu Çerçevesel Model (c) Güçlendirilmiş Çerçevesel Model

2.3. Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi

Yapıların deprem davranışını analiz etmek amacıyla kullanılacak yer hareketlerinin seçimi için kullanılacak tasarım depreminin oluşturulması aşamasında belirli parametrelere bağlı kalmak gereklidir. Bu çalışmada ölçeklenmiş deprem kayıtları olarak, daha önce Sönmezer (2016) tarafından Kırıkkale için yapılan çalışmada belirlenen değerler kullanılmıştır

Çizelge 7. Deprem Kaydı Seçim Kriterleri (Sönmezer, 2016)

Parametre	Kriter
Fay Tipi	Doğrultu Atımlı
Büyüklik	6,5-7,5
Mesafe (km)	0-40
Vs30min, max (m/s)	360-760

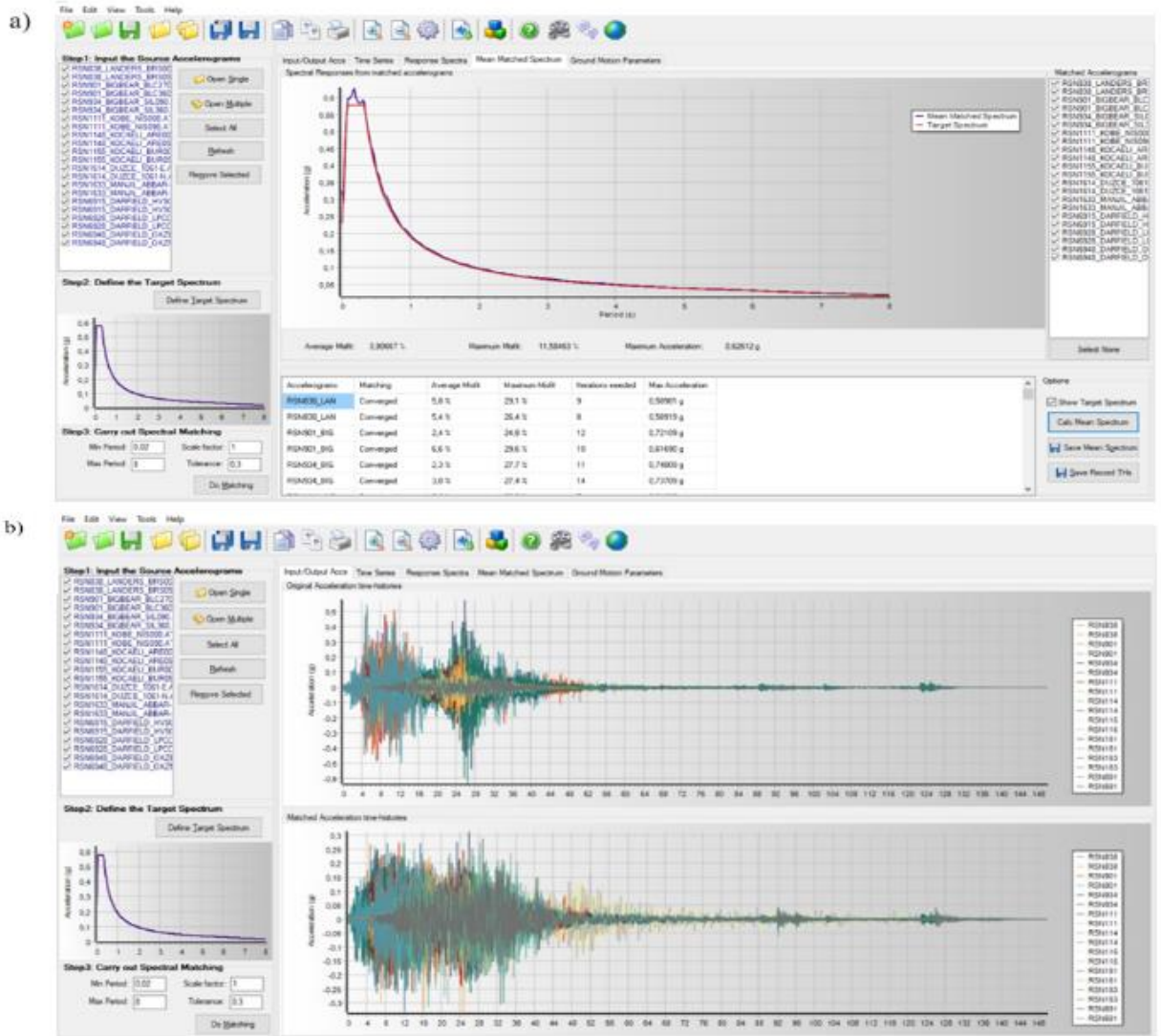
Çizelge 7' de belirtilen kriterleri sağlayan ve PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) sitesinden seçilen deprem kayıtları Çizelge 8' de listelenmiştir.

Çizelge 8. Kriterlere Göre Seçilen Deprem Kayıtları

No	Kayıt	Deprem	Yıl	İstasyon	Büyüklik	Fay tipi	Rjb (km)	Rrup (km)	Vs30 (m/s)
1	1155	Kocaeli	1999	Bursa/Tofaş	7,51	SS	10,56	13,49	523,00
2	1148	Kocaeli	1999	İzmit	7,51	SS	30,73	30,73	476,62
3	1614	Düzce	1999	Lamont1061	7,14	SS	11,46	11,46	481,00
4	1616	Düzce	1999	Lamont 362	7,14	SS	23,41	23,41	517,00
5	1617	Düzce	1999	Lamont 375	7,14	SS	3,93	3,93	454,20
6	164	Imperial V.	1979	Cerro Prieto	6,53	SS	15,19	15,19	471,53
7	838	Landers	1992	Barstow	7,28	SS	34,86	34,86	370,08
8	864	Landers	1992	Joshua Tree	7,28	SS	11,03	11,03	379,32
9	3753	Landers	1992	Fun Valley	7,28	SS	25,02	25,02	388,63
10	8597	EMayorah,	2010	Sam W.	7,20	SS	31,79	31,79	503,00
11	3871	Tottori,	2000	HRS002	6,61	SS	30,71	30,71	458,14

12	3884	Tottori,	2000	HRS021	6,61	SS	36,32	36,33	409,29
13	3907	Tottori,	2000	OKY004	6,61	SS	19,72	19,72	475,80
14	1633	Manjil, İnan	1990	Abbar	7,37	SS	12,55	12,55	723,00
15	6915	Darfield,	2010	Heathcote	7,00	SS	24,36	24,47	422,00
16	6928	Darfield,	2010	LPCC	7,00	SS	25,21	25,67	649,67
17	6948	Darfield,	2010	OXZ	7,00	SS	30,63	30,63	481,62
18	6971	Darfield,	2010	SPFS	7,00	SS	29,86	29,86	389,54
19	901	Big Bear-01	1992	Big Bear L.	6,46	SS	7,31	8,3	430,36
20	934	Big Bear-01	1992	Silent V.	6,46	SS	34,43	35,41	659,09
21	935	Big Bear-01	1992	Snow Creek	6,46	SS	37,04	38,07	523,59
22	727	Superstition	1987	Superstition	6,54	SS	5,61	5,61	362,38
23	1111	Kobe	1995	Nishi-A.	6,90	SS	7,08	7,08	609,00

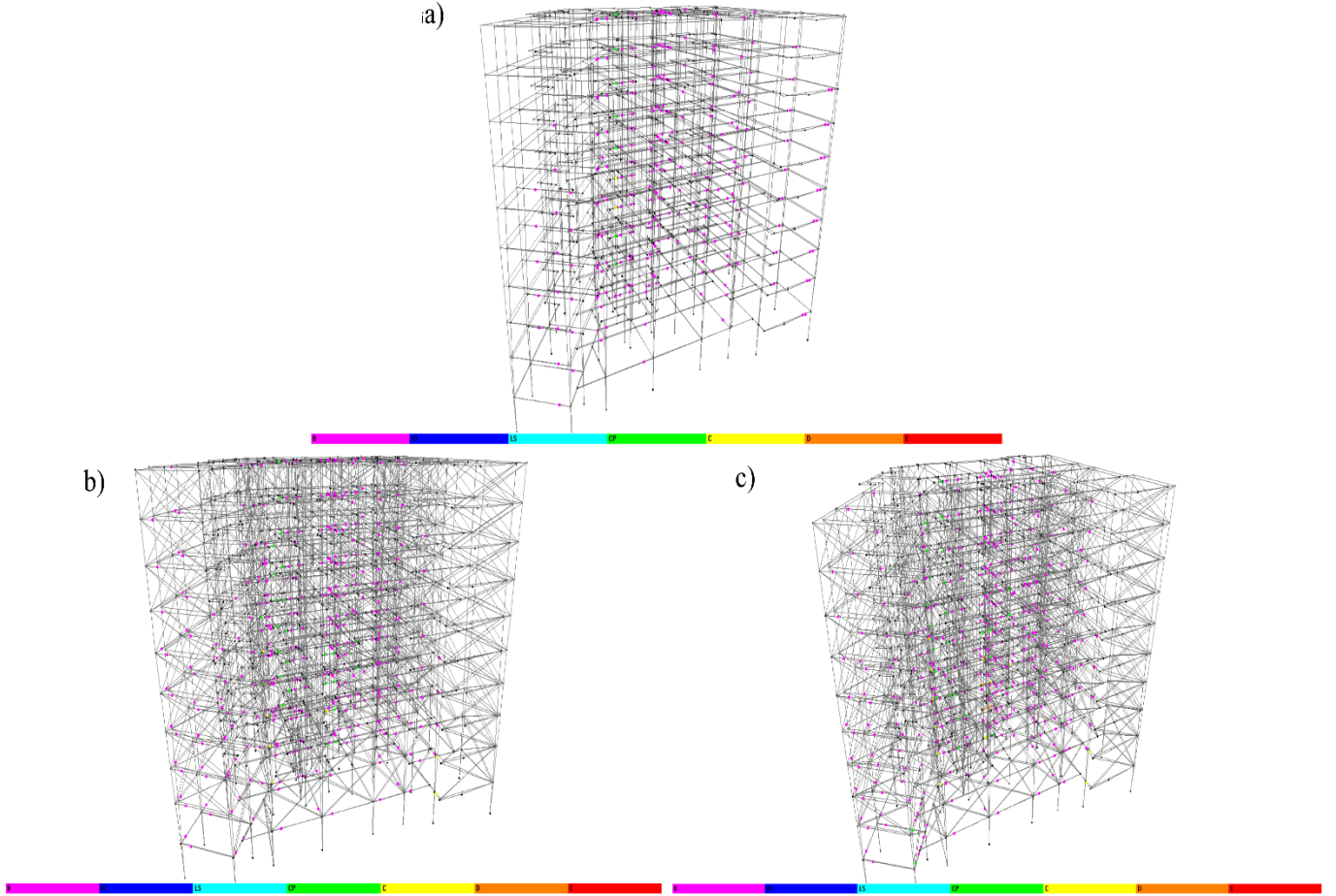
Çizelge 8’ de listelenen gerçek deprem kayıtları TBDY (2018)’ de belirtilen şartlara uygun olarak seçilerek SeismoMatch (2023) programında tasarım ivme spektrumu ile uyuşacak şekilde ölçeklenmiştir (Şekil 7.).



Şekil 7. (a) SeismoMatch Programı İle Seçilen Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi; (b) Ölçeklenmiş İvme-Zaman Grafiği

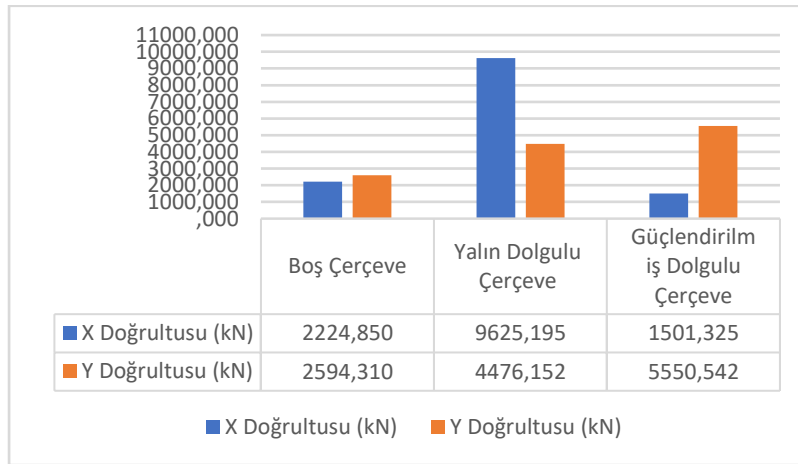
3. Bulgular

Boş çerçevesi, yalın dolgu duvarlı ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı olarak analiz edilen üç ayrı çerçevenin kirişlerinde oluşan plastik mafsallar Şekil 8’ de gösterilmiştir. Zaman tanım alanında (“time-history”) analiz yöntemine göre yapılan analizler, yalın dolgu duvarlı çerçevenin 22 mm maksimum tepe ötelenmesi değerine kadar ulaşabildiğini ve ilk analiz adımında zemin kat kirişlerinin göçme bölgesine ulaştığını; güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevenin ise 24 mm tepe ötelenmesine kadar ulaşabildiğini ve ikinci adımda göçme bölgesine geçtiğini göstermiştir.



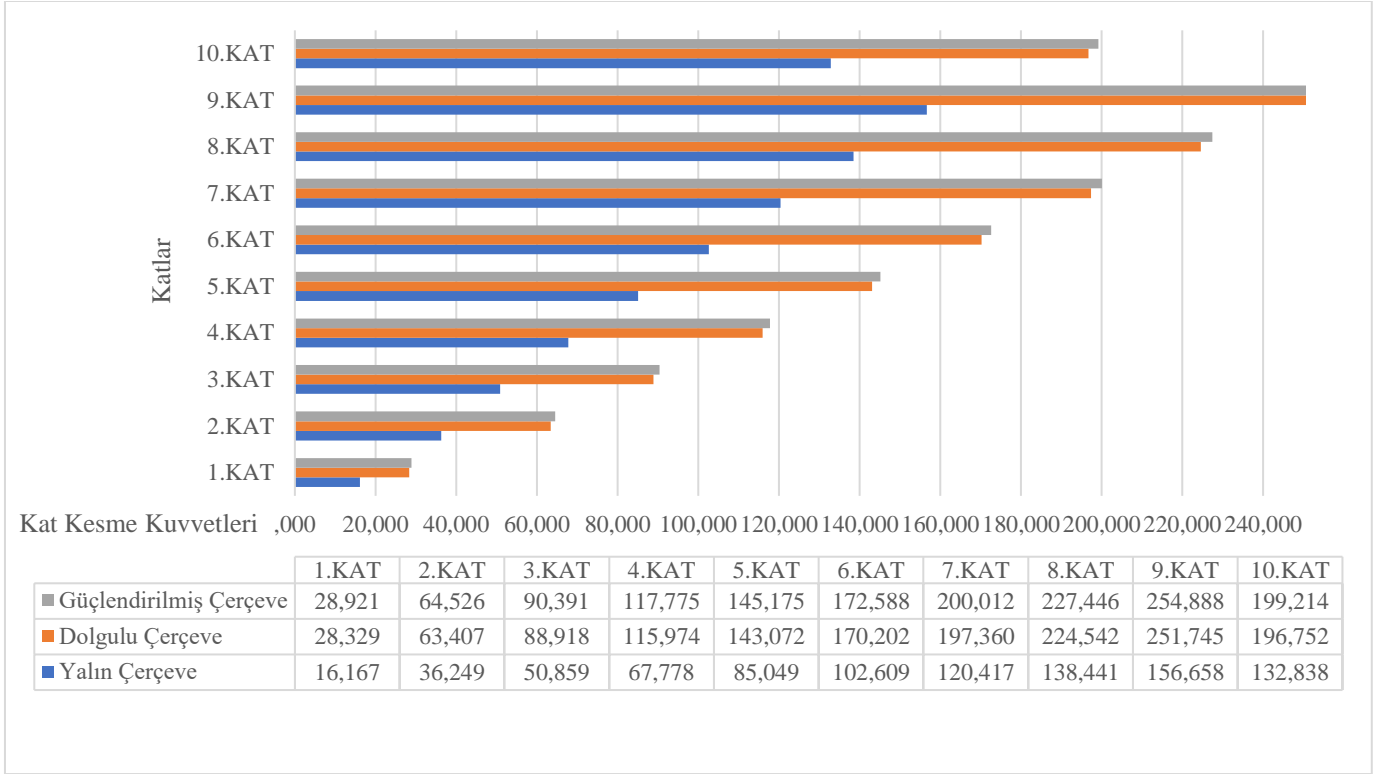
Şekil 8. Zaman-Tanım Alanında Analiz Sonuçları: (a) Boş (Dolgu Duvarsız) Çerçeve; (b) Yalın (Güçlendirilmemiş) Dolgu Duvarlı Çerçeve; (c) Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Çerçeve

Şekil 9'a göre, boş çerçevenin x ve y doğrultularındaki taban kesme kuvvetleri yakın değerlere sahipken (x doğrultusunda 2224 kN ve y doğrultusunda 2594 kN), yalın dolgu duvarlı çerçevede x doğrultusunda 9625 kN ve y doğrultusunda 4476 kN taban kesme kuvvetlerine ulaşılmıştır. Bu değerler, güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevede x ve y doğrultularında sırasıyla 1501 kN ve 5550 kN'dur.



Şekil 9. Taban Kesme Kuvveti Karşılaştırma Grafiği

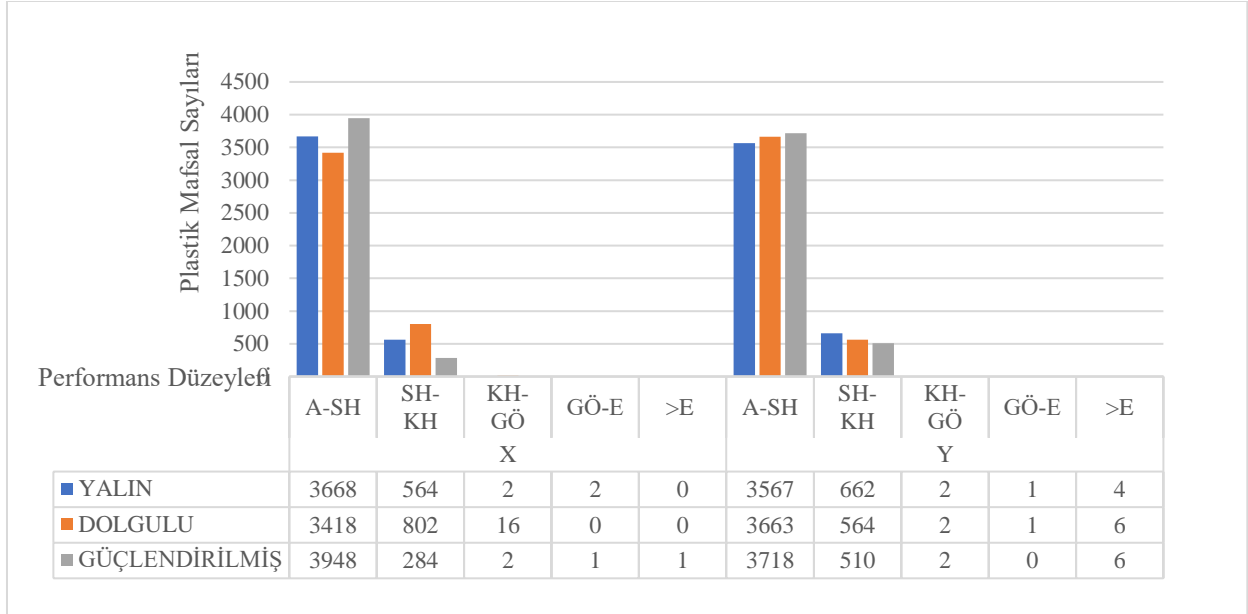
Üç çerçevenin x doğrultusundaki kat kesme kuvvetleri Şekil 10'da karşılaştırılmıştır. Kat yüksekliği arttıkça dolgulu çerçevede yalın çerçeveye göre kat kesme kuvvetlerinde %57'den %68'e varan artışlar gözlenmiştir. Güçlendirilmiş çerçevenin kat kesme kuvvetleri ise dolgulu çerçeveye göre sadece %0,2 mertebesinde fazladır. Y doğrultusundaki kat kesme kuvvetleri için de benzer bir eğilim geçerlidir.



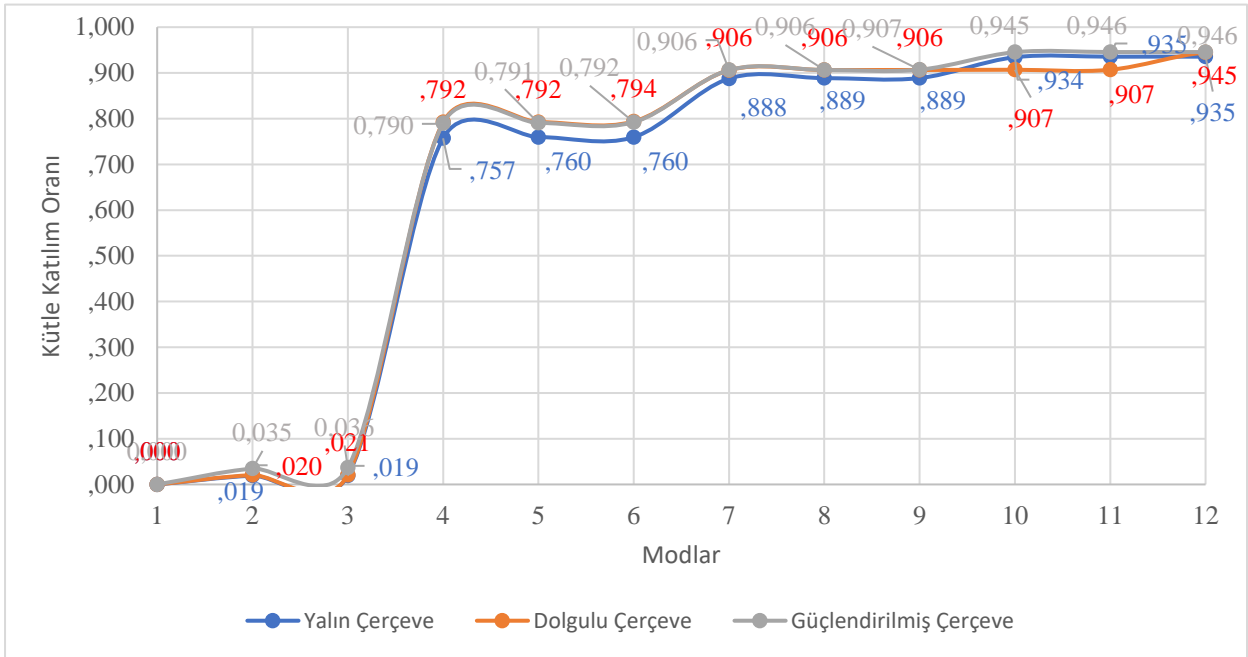
Şekil 10. x Doğrultusu Kat Kesme Kuvvetleri Karşılaştırma Grafiği

Kirişlerdeki plastik mafsallı oluşumlarını gösteren Şekil 11'e göre, güçlendirilmiş dolgulu çerçevenin kirişleri, boş ve yalın dolgulu çerçevelere göre daha büyük oranda sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Bu şekilde GÖ, SH ve KH kısaltmaları, sırasıyla "Göçme Öncesi", "Sınırlı Hasar" ve "Kontrollü Hasar" durumlarını ifade etmektedir. Bölme duvarlar hesaba katılarak yapılan dolgulu çerçeve analizinde kontrollü hasarı geçen kiriş sayısı yalın çerçeveye göre 8 kat artmıştır. Buna göre, çerçevede yalın dolgu duvarlar bulunması durumunda, bu duvarların da çerçevenin düşey taşıyıcı unsurlarının rijitlik ve dayanımlarını artırması sonucu, deprem hasarları yatay taşıyıcılara (kirişlere) daha çok kaymakta ve yatay taşıyıcılardaki hasar düzeyleri artmaktadır. Ancak, dolgu duvarların çelik levhalarla güçlendirilmesi durumunda bu duvarların çerçeve rijitlik ve taşıma gücüne yaptığı önemli katkılar ve çerçeve içindeki iç kuvvetlerin iletim ve taşınmasına yardımcı olmaları nedeniyle, kirişlerdeki hasar seviyeleri azalmakta ve plastik mafsallı oluşumlarında düşüşler meydana gelmektedir.

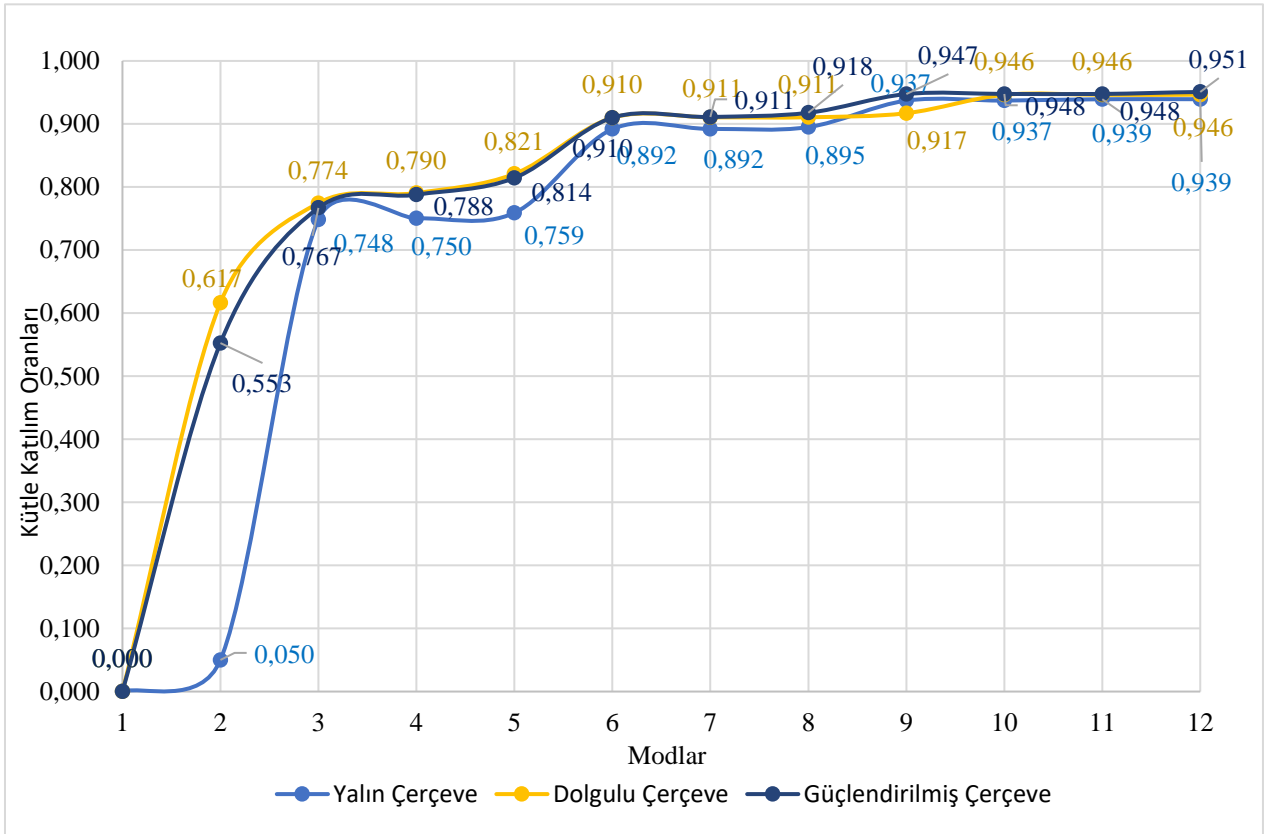
Şekil 12. ve 13'te dolgu duvar güçlendirmesinin, her iki doğrultudaki farklı titreşim modların kütle katılım oranları üzerinde etkin bir fark ortaya çıkarmadığı görülmektedir. x ve y doğrultularındaki toplam % 90 oranında kütle katılımlarına 6. Moddan sonra ulaşılmıştır. x doğrultusundaki katılım oranları incelendiğinde, her üç çerçeve tipi için de en etkin mod niteliği taşıyan 3. modun etkin kütlelerinin %70'i aştığı görülmektedir. y doğrultusunda ise 2. mod, boş çerçeve için %70'in üzerinde bir etkin kütleyle sahip en etkin mod niteliğini taşımaktadır. Ancak, güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevelerde en etkin mod niteliğini taşıyan mod olan 1. modun etkin kütleleri %55-60 mertebesinde dir. Buna göre, x doğrultusunda her üç çerçeve tipi için de tek modlu bir itme analizi mümkündür. Ancak, y doğrultusunda sadece boş çerçeve için tek modlu bir analiz mümkünken, dolgulu çerçevelerde çok modlu itme analizleri zaruridir. Ancak, bu çalışmada zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir analiz metoduna başvurulduğu için tek ve çok modlu itme analizlerine ihtiyaç duyulmamıştır. Genel olarak, her iki yatay deprem doğrultusunda boş ile güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş dolgulu çerçevelerin her üçü için de titreşim modları birbirlerine oldukça yakındır, yani duvar ekleme ve güçlendirme işlemleri ile yapının genel dinamik özelliklerinde büyük değişiklikler meydana gelmemiş ve sadece aynı hareket altında yapısal elemanlardaki zorlanma seviyelerinde farklılıklar ortaya çıkmıştır.



Şekil 11. Kiriş Hasar Düzeyleri Karşılaştırma Grafiği



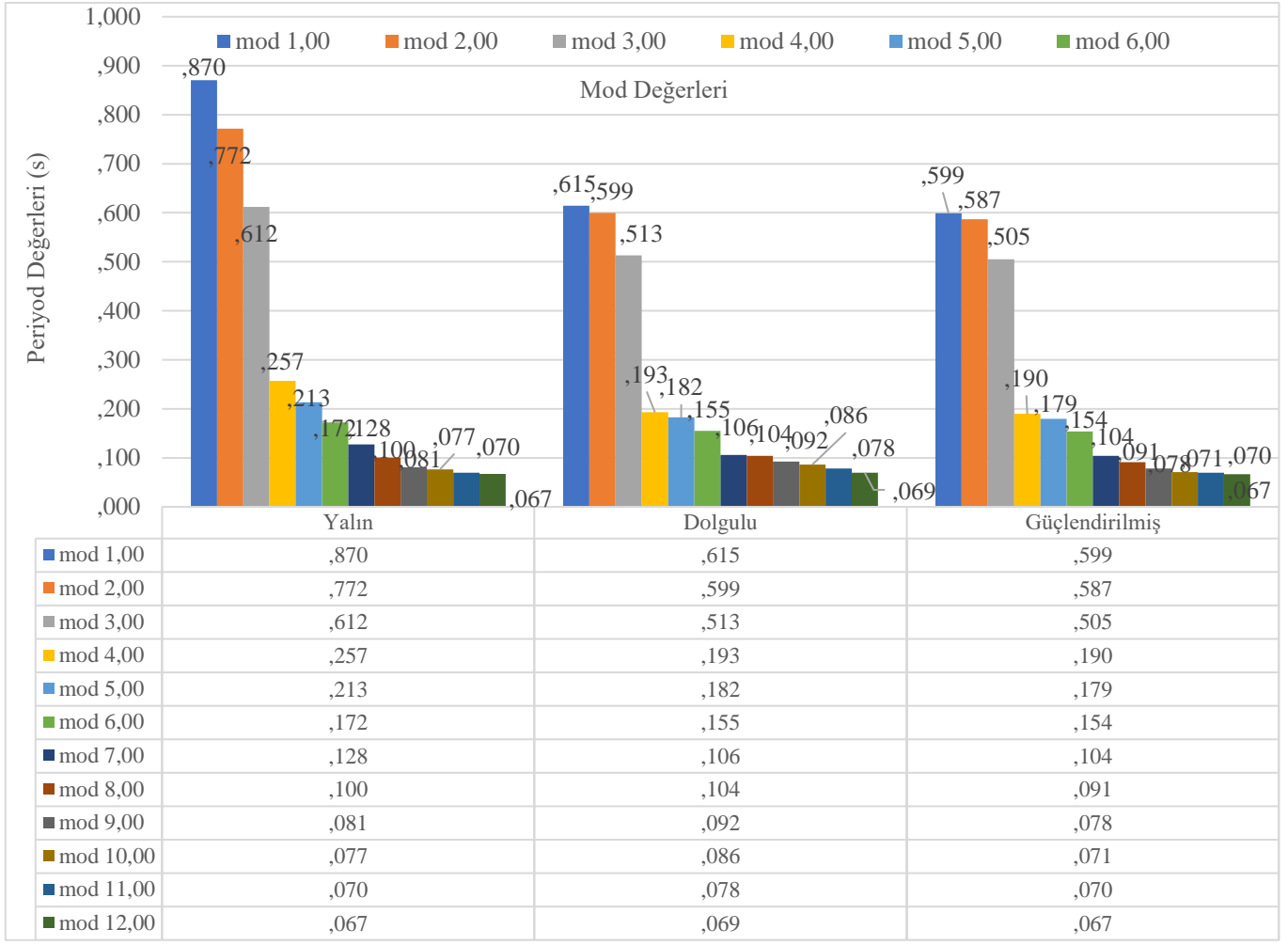
Şekil 12. Modal Analiz x Doğrultusunda Kütle Katılımı Karşılaştırma Grafiği



Şekil 13. Modal Analiz y Doğrultusunda Kütle Katılımı Karşılaştırma Grafiği

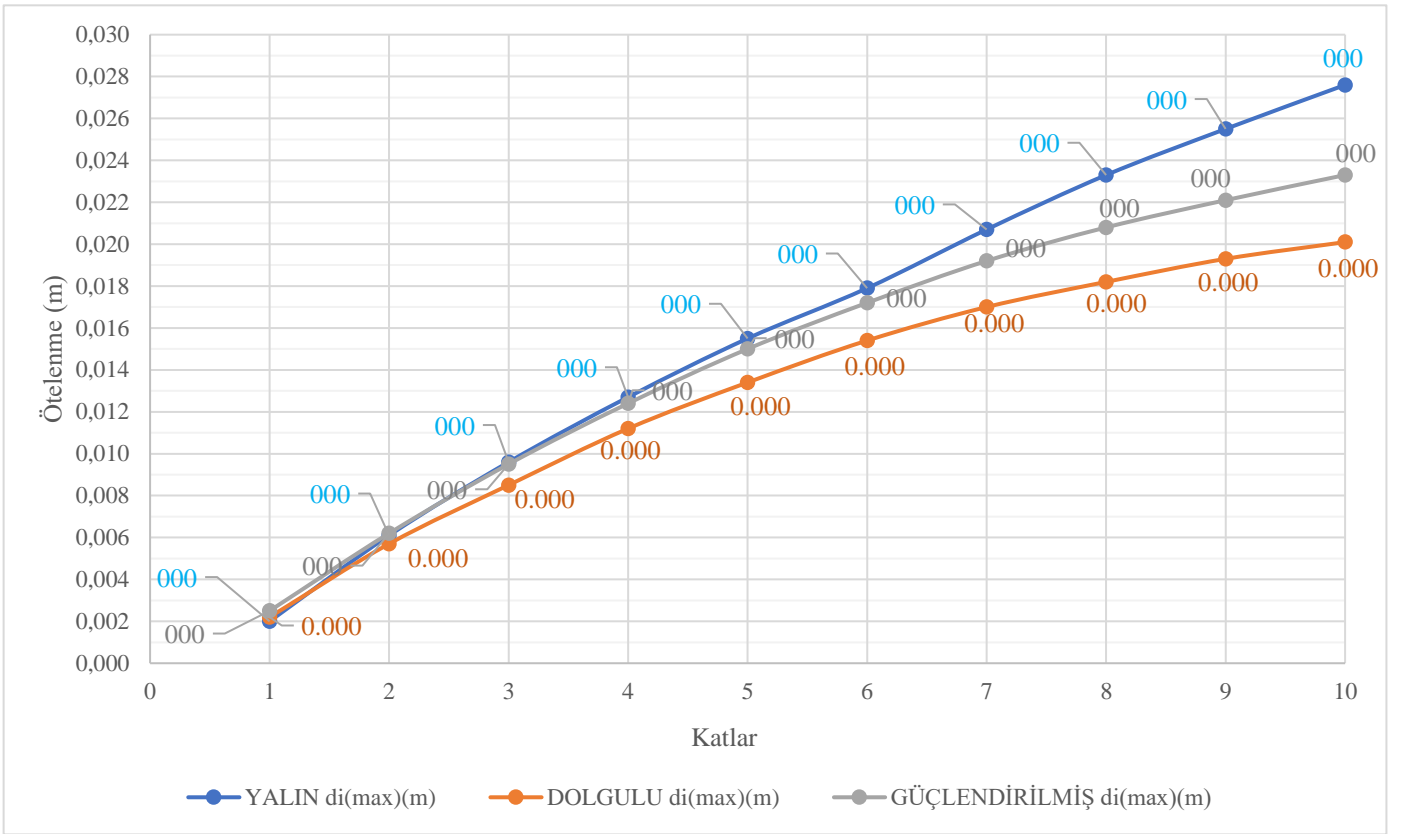
Yapı periyodunun boş çerçeve, yalın dolgulu çerçeve ve güçlendirilmiş çerçeve için değişen değerleri Şekil 14'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, dolgu duvarların güçlendirilmesi ile birinci modun periyot değeri 0.615 saniyeden 0.599 saniyeye düşmüştür. Buna göre, dolgu duvar güçlendirilmesi yapısal sistemin toplam rijitlik değerini kayda değer ölçüde arttırmıştır. Çizelge 1'de belirtilen TBDY (2018)' e göre, üç modelin periyot değerleri köşe periyot değerleri $T_a=0,066s$ ve $T_b=0,330s$ değerlerinin dışındadır, yani yapılar etki eden zemin ivmeleri ivme tepki spektrumunun tepe bölgesine denk gelmemiş ve bu spektrumun kuyruk kısmında kalmıştır.

Şekil 15'te x doğrultusundaki kat yanal ötelenme değerleri incelendiğinde güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevenin x doğrultusunda 0,0048m ile çok az tepe deplasmanı yaptığı görülmektedir. Güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevenin tepe deplasmanı, yalın dolgu duvarlı çerçevenin ilgili değerinin yaklaşık beşte biri, boş çerçevenin yaklaşık 10'da biri mertebesindedir. Bu durum, dolgu duvar güçlendirilmesinin yapının rijitliğine yaptığını üst düzey katkıyı gözler önüne sermektedir. y doğrultusunda ise, dolgu duvar güçlendirmesinin tepe ötelenmesinde ortaya çıkardığı azalma %10-15 mertebesindedir. x ve y doğrultuları arasındaki bu önemli farkın sebebi, x doğrultusunda uzanan dolgu duvarların boşluksuz olması nedeniyle güçlendirilebilmesidir. Boşluklu dolgu duvarların güçlendirilmesi ile ilgili yeterli deneysel ve analitik veri olmadığından, kapı ve pencere boşlukları azaltma faktörü uygulanarak eşdeğer basınç çubuğu modeline yansıtılmış, ancak bu duvarlar güçlendirilmeden bırakılmıştır. Bu sebeple y doğrultusunda uzanan duvarlar boşluk içerdiğinden güçlendirilmemiştir.

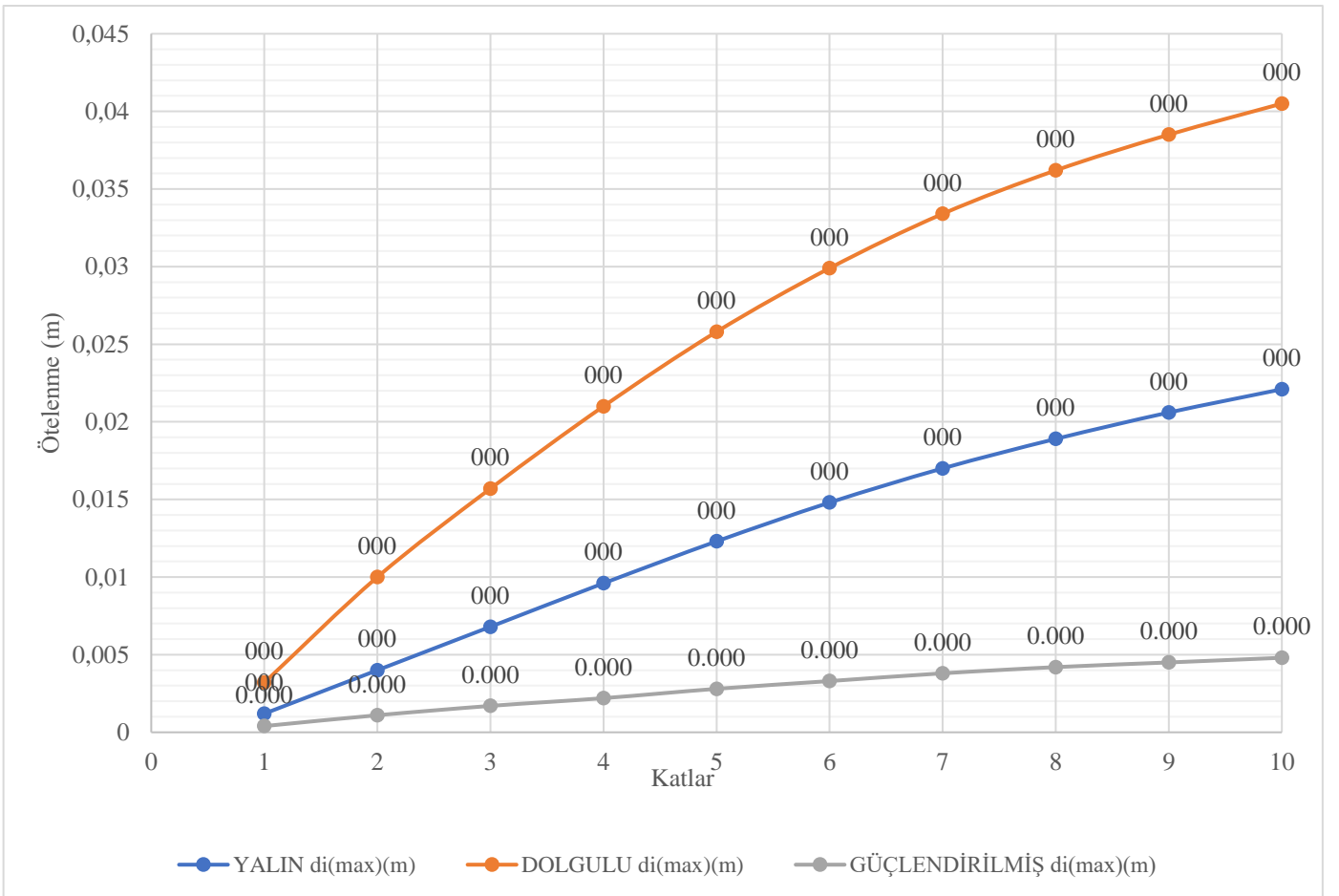


Şekil 14. Modal Analiz Periyod Değerleri Karşılaştırma Grafiği

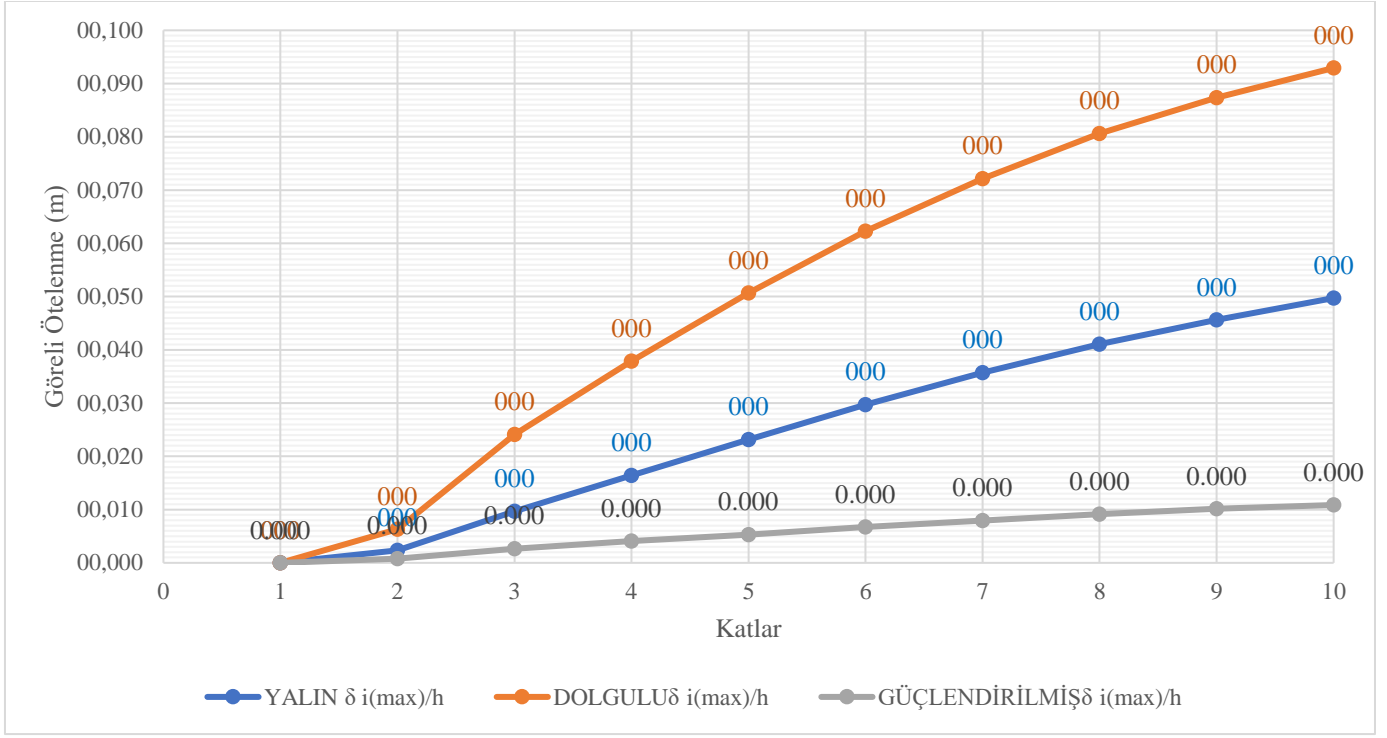
Şekil 18 ve 19’da x ve y doğrultularında görelî kat ötelenmeleri değerleri verilmiştir. Görelî kat ötelenme değerleri Çizelge 9, 10, ve 11’de h_i kat yüksekliği, d_i kolon uçlarında kat seviyesindeki yer değıştirme, $d_{i(max)}$ bir kattaki maksimum yer değıştirme, $d_{i(min)}$ bir kattaki minimum yer değıştirme, Δ_i binanın i. katındaki azaltılmış görelî kat ötelenmesi, $\Delta_{i(ort)} = (\Delta_{i(max)} + \Delta_{i(min)})/2$, $\Delta_i = d_i - d_{i-1}$, R taşıyıcı sistem davranış katsayısı olarak ifade edilmiştir. TBDY (2018)’e göre $[2 d_{i(max)} / h \leq 0.02$ olması durumunda görelî ötelenmelerin sınırlandırılmış olduğunu ifade eder. Bu durum Çizelge 9-11’de hesaplanmış, Şekil 18 ve Şekil 19’da grafiklerle ifade edilmiştir. Çizelgelerdeki “+” sembolü görelî ötelenme sınırı probleminin olduğunu, “-” sembolü ise bu sınırı aşılmadığını yani görelî ötelenme probleminin ortadan kalktığını göstermektedir. Şekil 18’de güçlendirilmiş çerçevenin x doğrultusundaki görelî ötelenmelerinin tüm katlarda sınırlandırıldığı görülmektedir. y doğrultusundaki için ise tüm çerçevelerde ilk dört katta $d_{i(max)}/h \leq 0.02$ eşitliği sağlanmış diğer katlarda sağlanamamıştır.



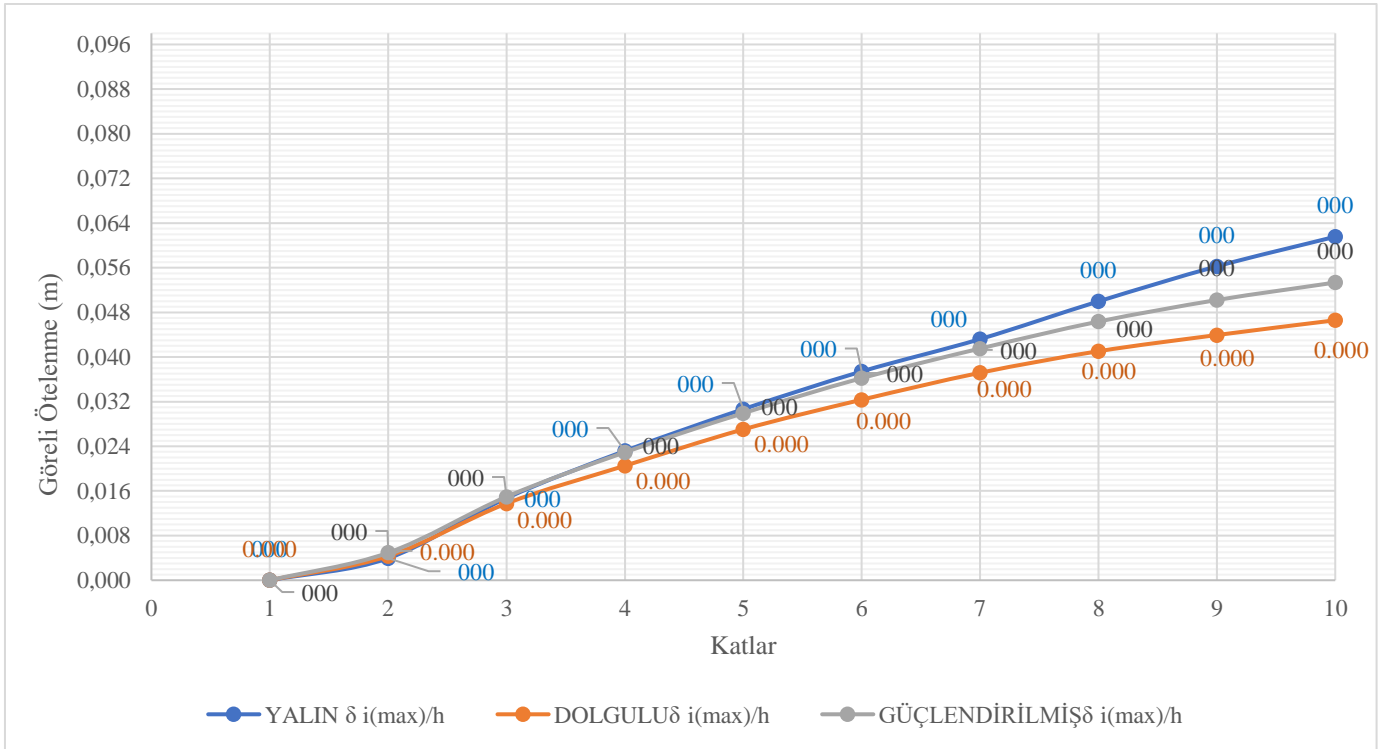
Şekil 15. x Doğrultusundaki Kat Deplasman Değerleri Karşılaştırma Grafiği



Şekil 16. y Doğrultusundaki Kat Deplasman Değerleri Karşılaştırma Grafiği



Şekil 17. x Doğrultusundaki Görelî Kat Ötelenme Değerleri Karşılaştırma Grafiği



Şekil 18. y Doğrultusundaki Görelî Kat Ötelenme Değerleri Karşılaştırma Grafiği

Çizelge 9. Boş Çerçevenin X Doğrultusundaki Görelî Ötelenme Kontrolü

Kat No	$h_i(m)$	$d_{i(\max)}$	$d_{i-1(\max)}$	$\Delta_{i(\max)}$	R	$d_{i(\max)}=R*\Delta_i$	$d_{i(\max)}/h$	$d_{i(\max)}/h (\leq 0.02)$
10	2,90	0,0221	0,0015	0,0206	7	0,1442	0,0497	+
9	2,90	0,0206	0,0017	0,0189	7	0,1323	0,0456	+
8	2,90	0,0189	0,0019	0,0170	7	0,1190	0,0410	+
7	2,90	0,0170	0,0022	0,0148	7	0,1036	0,0357	+
6	2,90	0,0148	0,0025	0,0123	7	0,0861	0,0297	+
5	2,90	0,0123	0,0027	0,0096	7	0,0672	0,0232	+
4	2,90	0,0096	0,0028	0,0068	7	0,0476	0,0164	-
3	2,90	0,0068	0,0028	0,0040	7	0,0280	0,0097	-
2	3,55	0,0040	0,0028	0,0012	7	0,0084	0,0024	-
1	3,15	0,0012	0,0012	0,0000	7	0,0000	0,0000	-

Çizelge 10. Yalın Dolgulu Çerçevenin X Doğrultusundaki Görelî Ötelenme Kontrolü

Kat No	h_i (m)	$d_{i(max)}$	$d_{i-1(max)}$	$\Delta_{i(max)}$	R	$d_{i(max)}=R*\Delta_i$	$d_{i(max)}/h$	$d_{i(max)}/h (\leq 0.02)$
10	2,90	0,0405	0,0020	0,0385	7	0,2695	0,0929	+
9	2,90	0,0385	0,0023	0,0362	7	0,2534	0,0874	+
8	2,90	0,0362	0,0028	0,0334	7	0,2338	0,0806	+
7	2,90	0,0334	0,0035	0,0299	7	0,2093	0,0722	+
6	2,90	0,0299	0,0041	0,0258	7	0,1806	0,0623	+
5	2,90	0,0258	0,0048	0,0210	7	0,1470	0,0507	+
4	2,90	0,0210	0,0053	0,0157	7	0,1099	0,0379	+
3	2,90	0,0157	0,0057	0,0100	7	0,0700	0,0241	+
2	3,55	0,0100	0,0068	0,0032	7	0,0224	0,0063	-
1	3,15	0,0032	0,0032	0,0000	7	0,0000	0,0000	-

Çizelge 11. Güçlendirilmiş Dolgulu Çerçevenin X Doğrultusundaki Görelî Ötelenme Kontrolü

Kat No	h_i (m)	$d_{i(max)}$	$d_{i-1(max)}$	$\Delta_{i(max)}$	R	$d_{i(max)}=R*\Delta_i$	$d_{i(max)}/h$	$d_{i(max)}/h (\leq 0.02)$
10	2,90	0,0048	0,0003	0,0045	7	0,0315	0,0109	-
9	2,90	0,0045	0,0003	0,0042	7	0,0294	0,0101	-
8	2,90	0,0042	0,0004	0,0038	7	0,0266	0,0092	-
7	2,90	0,0038	0,0005	0,0033	7	0,0231	0,0080	-
6	2,90	0,0033	0,0005	0,0028	7	0,0196	0,0068	-
5	2,90	0,0028	0,0006	0,0022	7	0,0154	0,0053	-
4	2,90	0,0022	0,0005	0,0017	7	0,0119	0,0041	-
3	2,90	0,0017	0,0006	0,0011	7	0,0077	0,0027	-
2	3,55	0,0011	0,0007	0,0004	7	0,0028	0,0008	-
1	3,15	0,0004	0,0004	0,0000	7	0,0000	0,0000	-

Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18' de kat deplasman ve görelî ötelenme değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre, çerçeveye yalın dolgu duvar eklenmesi yapının ağırlığını ve buna bağlı olarak yapıya etki eden yanal deprem kuvvetlerini önemli ölçüde arttırmakta, görelî kat ötelenmesi problemini arttırmaktadır. Ancak, dolgu duvarların delikli çelik levhalarla güçlendirilmesi yapının genel rijitliğini önemli ölçüde artırarak kat ötelenmelerini azaltmakta ve görelî kat ötelenmesi sınırının aşılması probleminin önüne geçmektedir.

TBDY (2018)' de burulma düzensizliği katsayısı (7) numaralı eşitlikteki formül ile hesaplanmaktadır. , burulma düzensizliği katsayısı ile ilgili olarak $\eta_{bi} > 1.2$ ise burulma düzensizliği vardır.

$$\eta_{bi} = \Delta_{i(max)} / \Delta_{i(ort)} \quad (7)$$

Şekil 19 ve 20' ye göre güçlendirilmiş dolgu duvarların burulma düzensizliği katsayısı dolgu duvarlı çerçeveye göre 7. kata kadar azalmış, 8, 9 ve 10. katlarda artmıştır. Genel anlamıyla, dolgu duvar güçlendirmesi ilk katlarda burulma düzensizliği problemlerinin önüne geçmekte ve kat burulma etkilerini azaltmakta, ancak kat yüksekliği arttıkça bu katkı azalmaktadır.

Çizelge 12. Boş Çerçevenin X Doğrultusundaki Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat No	h_i (m)	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(ort)}$	η_{bi}	$\eta_{bi} > 1.2$
10	2,90	0,0206	0,0155	1,33	+
9	2,90	0,0189	0,0143	1,33	+
8	2,90	0,0170	0,0129	1,32	+
7	2,90	0,0148	0,0113	1,32	+
6	2,90	0,0123	0,0094	1,31	+
5	2,90	0,0096	0,0074	1,30	+
4	2,90	0,0068	0,0053	1,30	+
3	2,90	0,0040	0,0032	1,27	+
2	3,55	0,0012	0,0010	1,26	+
1	3,15	0,0000	0,0000		

Çizelge 13. Yalın Dolgulu Çerçevenin X Doğrultusundaki Burulma Düzensizliği Kontrolü

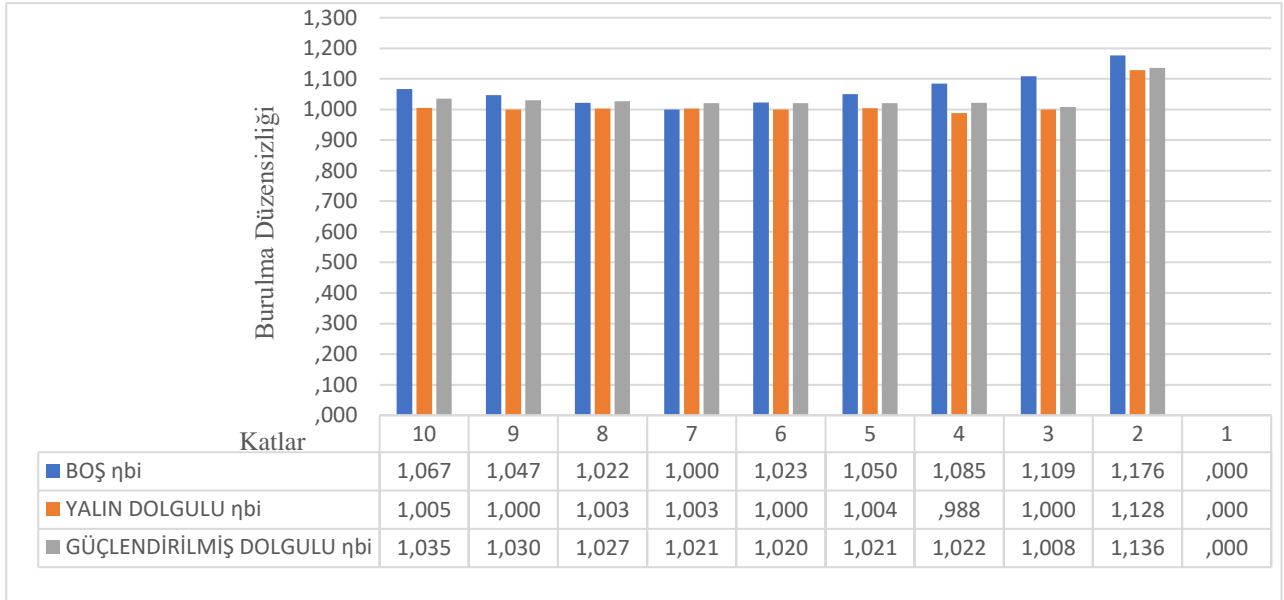
Kat No	h_i (m)	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(ort)}$	η_{bi}	$\eta_{bi} > 1.2$
10	2,90	0,0385	0,0364	1,06	-
9	2,90	0,0362	0,0341	1,06	-
8	2,90	0,0334	0,0316	1,06	-
7	2,90	0,0299	0,0283	1,06	-
6	2,90	0,0258	0,0244	1,06	-

5	2,90	0,0210	0,0200	1,05	-
4	2,90	0,0157	0,0149	1,06	-
3	2,90	0,0100	0,0095	1,05	-
2	3,55	0,0032	0,0032	1,00	-
1	3,15	0,0000	0,0000		

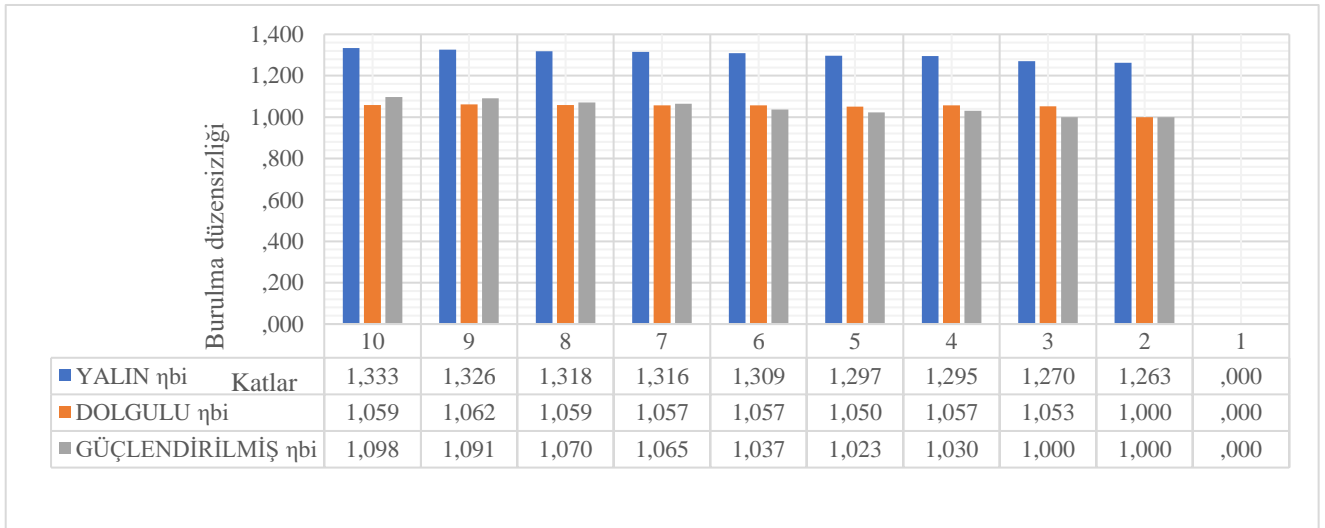
Çizelge 14. Güçlendirilmiş Dolgulu Çerçevenin X Doğrultusundaki Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat No	$h_i(m)$	$\Delta i(max)$	$\Delta i(ort)$	η_{bi}	$\eta_{bi} > 1.2$
10	2,90	0,0045	0,0041	1,10	-
9	2,90	0,0042	0,0039	1,09	-
8	2,90	0,0038	0,0036	1,07	-
7	2,90	0,0033	0,0031	1,06	-
6	2,90	0,0028	0,0027	1,04	-
5	2,90	0,0022	0,0022	1,02	-
4	2,90	0,0017	0,0017	1,03	-
3	2,90	0,0011	0,0011	1,00	-
2	3,55	0,0004	0,0004	1,00	-
1	3,15	0,0000	0,0000		

Çizelge 12, Çizelge 13 ve Çizelge 14' te (7) numaralı eşitliğe göre hesaplanan burulma düzensizlikleri bulunmaktadır. Buna göre boş çerçevede her katta burulma düzensizliği varken dolgulu ve güçlendirilmiş dolgulu çerçevelerde burulma düzensizliği bulunmamaktadır.



Şekil 19. x Doğrultusundaki Burulma Düzensizliği Değerleri Karşılaştırma Grafiği



Şekil 20. y Doğrultusundaki Burulma Düzensizliği Değerleri Karşılaştırma Grafiği

TBDY (2018)' e göre yumuşak kat düzensizliğinin hesaplanması için (8) ve (9) nolu eşitlikler kullanılmaktadır.

Bu eşitlikler sonucunda yumuşak kat düzensizliği katsayısı için $\eta_{ki} < 2.0$ ise yumuşak kat düzensizliği olmadığı sonucuna varılır.

$$\eta_{ki} = \left[(\Delta_i/h_i)_{ort} / [(\Delta_{(i-1)})/h_{(i-1)ort}] \right] \quad (8)$$

$$\eta_{ki} = \left[(\Delta_i/h_i)_{ort} / [(\Delta_{(i+1)})/h_{(i+1)ort}] \right] \quad (9)$$

Çizelge 15. Boş Çerçevenin x Doğrultusundaki Yumuşak Kat Düzensizlik Kontrolü

Kat No	h_i (m)	$\Delta_{i(ort)}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	η_{ki} (-)	η_{ki} (+)	$\eta_{ki} < 2.0$
10	2,90	0,0155	0,0053	1,0842		
9	2,90	0,0143	0,0049	1,1047	0,9223	-
8	2,90	0,0129	0,0044	1,1467	0,9053	-
7	2,90	0,0113	0,0039	1,1968	0,8721	-
6	2,90	0,0094	0,0032	1,2703	0,8356	-
5	2,90	0,0074	0,0026	1,4095	0,7872	-
4	2,90	0,0053	0,0018	1,6667	0,7095	-
3	2,90	0,0032	0,0011	4,0590	0,6000	+
2	3,55	0,0010	0,0003		0,2464	-
1	3,15	0,0000	0,0000		0,0000	

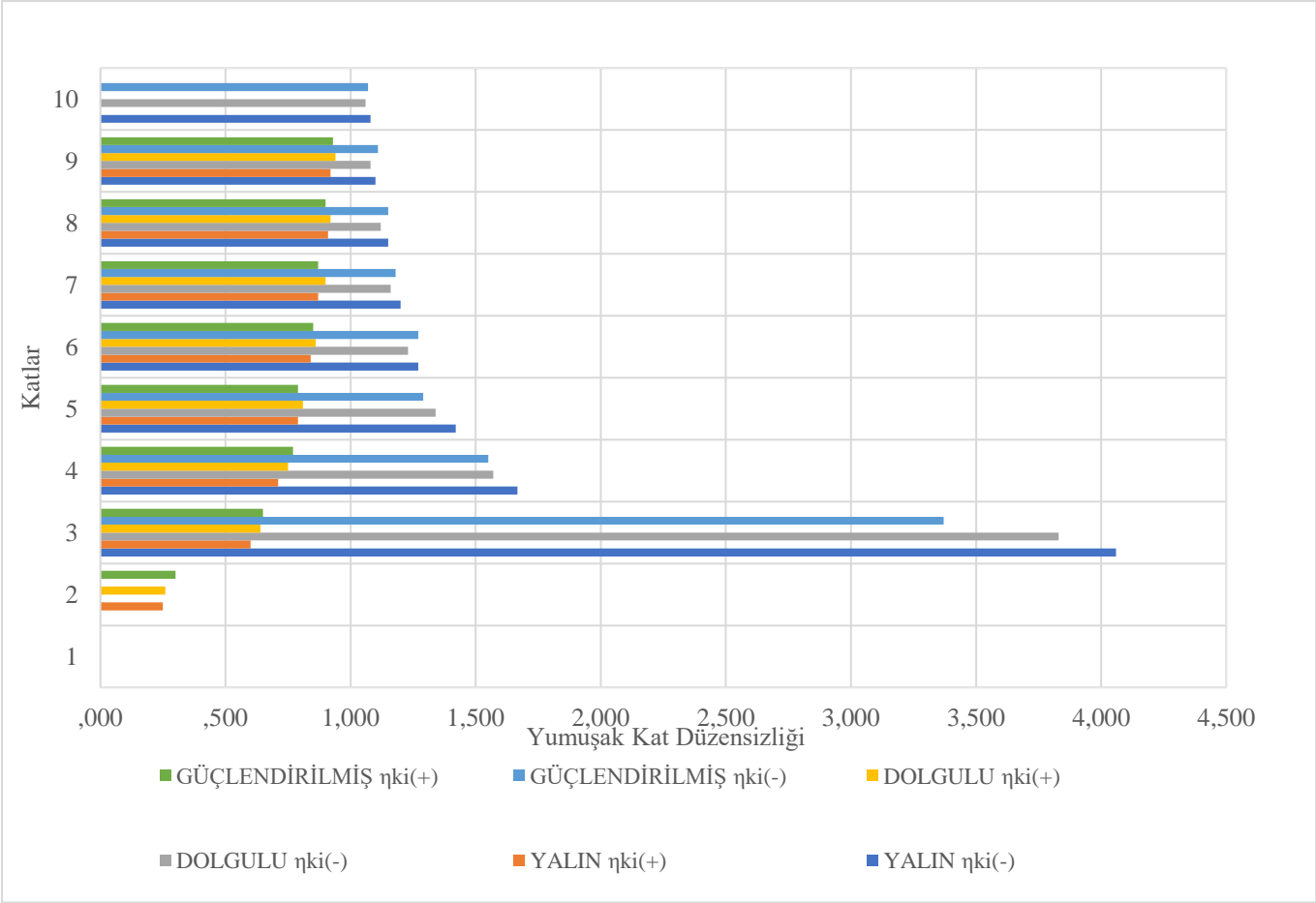
Çizelge 16. Yalın Dolgulu Çerçevenin x Doğrultusundaki Yumuşak Kat Düzensizlik Kontrolü

Kat No	h_i (m)	$\Delta_{i(ort)}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	η_{ki} (-)	η_{ki} (+)	$\eta_{ki} < 2.0$
10	2,90	0,0385	0,0133	1,0635		
9	2,90	0,0362	0,0125	1,0838	0,9403	-
8	2,90	0,0334	0,0115	1,1171	0,9227	-
7	2,90	0,0299	0,0103	1,1589	0,8952	-
6	2,90	0,0258	0,0089	1,2286	0,8629	-
5	2,90	0,0210	0,0072	1,3376	0,8140	-
4	2,90	0,0157	0,0054	1,5700	0,7476	-
3	2,90	0,0100	0,0034	3,8254	0,6369	+
2	3,55	0,0032	0,0009		0,2614	-
1	3,15	0,0000	0,0000		0,0000	

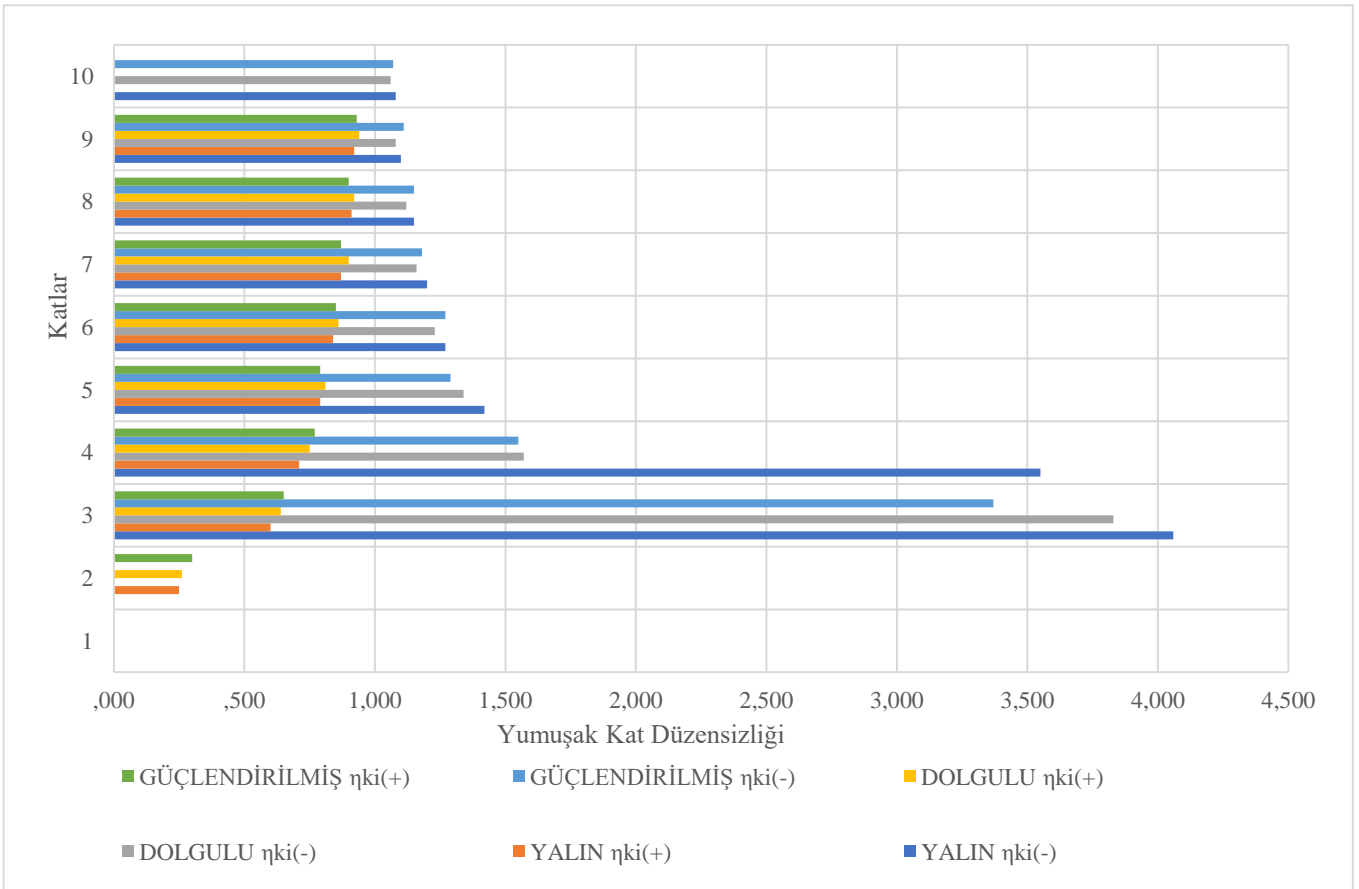
Çizelge 17. Güçlendirilmiş Dolgulu Çerçevenin x Doğrultusundaki Yumuşak Kat Düzensizlik Kontrolü

Kat No	h_i (m)	$\Delta_{i(ort)}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	η_{ki} (-)	η_{ki} (+)	$\eta_{ki} < 2.0$
10	2,90	0,0045	0,0016	1,0714		
9	2,90	0,0042	0,0014	1,1053	0,9333	-
8	2,90	0,0038	0,0013	1,1515	0,9048	-
7	2,90	0,0033	0,0011	1,1786	0,8684	-
6	2,90	0,0028	0,0010	1,2727	0,8485	-
5	2,90	0,0022	0,0008	1,2941	0,7857	-
4	2,90	0,0017	0,0006	1,5455	0,7727	-
3	2,90	0,0011	0,0004	3,3664	0,6471	+
2	3,55	0,0004	0,0001		0,2971	-
1	3,15	0,0000	0,0000		0,0000	

Çizelge 15-16 ve 17'den' den alınan sonuçlara göre tüm çerçevelerde 3. Katta yumuşak kat düzensizliği görülmektedir. Yapının 2. Katı $h=3,55$ m olan en yüksek kat yüksekliğine sahip katıdır. Ticari kullanıma ait olan bu kat sebebiyle yumuşak kat oluşumu gözlenmektedir. Şekil 21 ve 22' de üç çerçevede de üçüncü katta oluşan düzensizlik ifade edilmiştir. Dolgu duvar güçlendirmesi, yumuşak kat düzensizliğinin önlenmesine katkı sağlamamıştır.



Şekil 21. x Doğrultusu Yumuşak Kat Düzensizliği Değerleri Karşılaştırma Grafiği



Şekil 22. y Doğrultusu Yumuşak Kat Düzensizliği Değerleri Karşılaştırma Grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, perdeli-çerçevesel betonarme yapı sistemlerinde bulunan tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesinin yapının deprem davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Bu bağlamda, Kırıkkale ili Merkez İlçesinde uygulanmış gerçek bir yapının projesi ve ilgili komundaki zemin özellikleri kullanılarak, boş çerçevesel, yalın dolgu duvarlı ve delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarlı üç yapı modeli üstüne zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizleri yapılmıştır. Analizlerde kullanılan deprem kayıtları, ilgili konumun depremselliği ve zemin özelliklerini yansıtacak şekilde seçilmiş ve ölçeklenmiştir. Yalın ve güçlendirilmiş dolgu duvarların mutlak ve eşdeğer kalınlıklarının ve malzeme özelliklerinin belirlenmesinde geçmişte bu konu ile ilgili yapılmış çalışmalarda elde edilmiş analitik bağıntılardan faydalanılmıştır. Kapı ve pencere boşluğu bulunduran duvarlara güçlendirme işlemi yapılmayacağı varsayılmıştır. Yapısal sistem, güçlü kolon-zayıf giriş koşulunu sağladığı için plastik mafsallı atamaları sadece yatay taşıyıcılara (kirişlere) yapılmıştır. Yapılan kapsamlı analizler ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Dolgu duvar güçlendirmesinin etkili olarak uygulandığı yatay doğrultuda (x doğrultusu), bu güçlendirme uygulaması sayesinde tepe yanal ötelenmesi ile kat ötelenmesi değerlerinde yalın dolgu duvarlı çerçeveye göre 5 kata varan azalmalar tespit edilmiştir. Bu durum, dolgu duvar güçlendirmesinin yapının yanal rijitliğine sunduğu önemli katkıyı gözler önüne sermektedir.
- Boş bir çerçeveye yalın dolgu duvarların eklenmesi, düşey taşıyıcı elemanların (kolonlar ve perdeler) rijitliklerini önemli ölçüde arttırmakta ve bu nedenle yatay taşıyıcılardaki (kirişlerdeki) hasar seviyelerini ve plastik mafsallaşmaya uğrayan giriş sayısını arttırmaktadır. Dolgu duvarların delikli çelik levhalarla güçlendirilmesi ile bu duvarların yapının rijitliğini büyük ölçüde arttırması ve sistem içinde yük iletimine ve taşınmasına katkıda bulunması, kirişlerdeki hasar seviyelerini ve plastik mafsallaşmaya maruz kalan giriş sayısını azaltmaktadır.
- Boş bir çerçeveye yalın veya güçlendirilmiş dolgu duvar eklenmesi, titreşim modlarının kütle katılım oranlarını önemli ölçüde değiştirmemektedir. Genel olarak, dolgu duvar ekleme ve güçlendirme uygulamalarının yapının hareket özelliklerini önemli ölçüde değiştirmediklerini, yalnızca yapıdaki zorlanmaları azaltarak yapı davranışına katkı yaptığını söylemek mümkündür.
- Dolgu duvar güçlendirmesi uygulamaları, katlardaki burulma düzensizliği problemlerini azaltmakta ve kat burulması etkilerini asgari düzeye çekmektedir. Buna karşın, dolgu duvar güçlendirmesi uygulamalarının yumuşak kat problemlerine karşı etkili bir çözüm sunmadığı görülmüştür.
- Dolgu duvar güçlendirmesi uygulamaları, görelî kat ötelenmelerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum, özellikle yapısal tasarımların etkinliğini arttırmakta ve deprem esnasında ortaya çıkacak ikincil mertebeli momentleri kaynaklı zorlanmaları azaltmada etkili olacaktır.
- Güçlendirilmiş çerçevenin 1. titreşim modunun periyot değeri yalın çerçeve ve dolgu çerçeveye göre düşüktür. İlk titreşim periyodundaki bu azalma, dolgu duvar güçlendirmesi uygulamalarının yapısal rijitliği arttırmada ne denli etkili olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, nispeten düzenli bir kat planına sahip bir yapısal model üzerinde analizler yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda farklı yapısal düzensizlik türlerine ve seviyelerine sahip yapıların analizleri yapılarak, dolgu duvar güçlendirmesinin farklı düzensizlik durumlarındaki etkinlikleri araştırılacaktır.

Referanslar

- Akyürek, O. , Tekeli, H. & Demir, F. (2018). Plandaki dolgu duvar yerleşiminin bina performansı üzerindeki etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 42-55. DOI: 10.29137/umagd.419660
- Albayrak, U. (2016). Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altında Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Asteris, P. G. (2003). Analysis of masonry infilled frames using a finite element technique. *J. Struct. Eng.*, in press.
- Babayanni R. (2012). Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Tuğla Duvarların Tersinir Tekrarlanır Yükler Altındaki Davranış ve Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Baran M., & Sevil T. (2010). Analytical and experimental studies on infilled RC frames. *International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(13)*. 1981-1998.
- Brodsky, A., & Huang, X. (2021). Multi-platform modelling of masonry infilled frames, *Journal of Building Engineering*, Volume 43, 102561, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102561>.
- Canbay E. (2001), Contribution of RC Infills to the Seismic Behaviour of Structural Systems. Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
- Cumhur, A. (2017). Tuğla Dolgu Duvarların Genişletilmiş Çelik Levhalar ile Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.

Dolšek, M., & Fajfar, P. (2008). The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete frame a deterministic assessment. *Engineering Structures*, 30(7).

Essa A., Sayed A. T., Badr M. R., & Zanaty A. H. (2014) Effect of infill wall on the ductility and behavior of high strength reinforced concrete frames, *HBRC Journal*, 10:3, 258-264, DOI: [10.1016/j.hbrcj.2013.12.005](https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2013.12.005)
FEMA 306 (1998). Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Furtado A., Rodrigues H., & Arede A., Varum H., (2017). Simplified macro-model for infill masonry walls considering the out-of-plane behaviour, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.45, pp. 507-524.

Furtado A., Rodrigues H., & Arede A., Varum H., (2020). Experimental tests on strengthening strategies for masonry infill walls: A literature review, *Construction and Building Materials*, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120520>.

Holmes, M. (1963). Combined loading in infilled frames. *Proc. Inst. Civ. Eng., Struct. Build.*, 25(6621), 31–38.

Jiang, H., Liu, X., & Mao, J. (2015). Full-scale experimental study on masonry infilled RC moment-resisting frames under cyclic loads. *Engineering Structures*, 91, 70-84.

Kaymak F., & Tuna M. (2011). Kısmi ve tam dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışının elasto-plastik analiz yöntemi ile incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* , 26 (2) , 0- . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/gazimmfd/issue/6688/88750>

Liauw, T.C. (1979). Test on multistory infilled frames subjected to dynamic lateral loading, *ACI Structural Journal*, 40: 551-563.

Mainstone R. J., & Weeks G. A. (1970). The Influence of a Bounding Frame on the Racking Stiffnesses and Strengths of Brick Walls. 2nd International Brick Masonry Conference, Building Research Establishment, 12-15 April, Watford, England, 165–171.

Marius, M., & Valeriu, S. (2012). Seismic energy dissipation in structural reinforced concrete walls with staggered openings, *Journal of Applied Engineering Sciences*, Vol. 2(15), Issue: 1, pp. 71-78.

Özbek, E. (2015). Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Tuğla Duvarların Çerçeve Davranışı Üzerindeki Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Özbek E., Aykaç B., & Can H., Kalkan İ., Aykaç S. (2019). Recommendations for calculation of strengthened brick walls with perforated plates, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34:1 1-15, 10.17341/gazimmfd.416422

Özcebe, G., Ersoy, U., & Keskin O., et al., (2003). Strengthening of brick-infilled RC frames with CFRP. Middle East Technical University, Ankara.

PEER Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center. (<https://ngawest2.berkeley.edu>)

Polyakov, S. V. (1956). On the interactions between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall. *Translations in Earthquake Engineering Research Institute*, Cairns G. L., trans., Moscow.

SAP2000 User's Manual (2014), Structural Analysis Program Advanced Version 14.0.1, Computers and Structures Inc.

SeismoMatch (2023). Earthquake Engineering Software Solutions.

Sönmez B. (2016). Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi ve Sismik Mikro Bölgelemesi. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Stafford S. B., Carter C., & Mallick D. (1970). Discussion a Method of Analysis for Infilled Frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 46 (2): 229–231.

TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.

Yakut, A., Binici, B., & Demirel, İ. O., Özcebe, G. (2013). Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.

Yekrangnia M., & Asteris P. G. (2020). Multi-strut macro-model for masonry infilled frames with openings, Volume 32, 101683, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101683>