



**YIĞMA DUVARLARIN MİKRO MODEL İLE
ANALİZİNDE ÜÇ BOYUTLU SABİT DOĞRULTULU
YAYILI ÇATLAK MODELİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kağan ÇANAKÇI
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Muhammet KARATON

ARALIK-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞMA DUVARLARIN MİKRO MODEL İLE ANALİZİNDE ÜÇ BOYUTLU SABİT
DOĞRULTULU YAYILI ÇATLAK MODELİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

KAĞAN ÇANAKÇI

171115106

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19.11.2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 23.12.2019

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Mekanik

Danışman: Doç.Dr.Muhammet KARATON

Doç.Dr.Erkut SAYIN

Doç.Dr.Burak YÖN

ARALIK-2019

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışmasının her aşamasında bana yardımcı olan, bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan ve değerli zamanını ayıran Doç. Dr. Muhammet KARATON'a teşekkürlerimi sunarım. Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	IX
SİMGELER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. WILLIAM VE WARNKE MODELİ	4
3. JD4, JD6 ve JD7 EİNDHOVEN YIĞMA DUVARLARININ MİKRO MODEL ANALİZİ	7
3.1. Tuğlanın Basınç Dayanımının Çözümler Üzerindeki Etkisi	9
3.2. Harcın Çekme Dayanımının Çözümler Üzerindeki Etkisi	16
3.3. Tuğlanın β_t Katsayısının Çözümler Üzerindeki Etkisi	22
3.4. Harcın β_t Katsayısının Çözümler Üzerindeki Etkisi	28
3.5. Harç Malzemesinin Başlık Bölgesine ait Dayanımın Çözümler Üzerindeki Etkisi..	34
3.6. Harç Malzemesinin Yatak Bölgesine Ait Dayanımın Çözümler Üzerindeki Etkisi	41
3.7. Harç Malzemesi Başlık Bölgesine Ait β_t Katsayısının Çözümler Üzerindeki Etkisi.....	48
3.8. Harç Malzemesi Yatak Bölgesine Ait β_t Katsayısının Çözümler Üzerindeki Etkisi.....	54
4. SONUÇLAR.....	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ	67

ÖZET

Bu çalışmada, yığma duvarların mikro model ile analizinde 3 boyutlu sabit doğrultulu yayılı çatlak modelinin etkinliği incelenmiştir. Duvarın harç ve tuğla kısımlarının lineer olmayan davranışını hesaplamak için William ve Warnke modelinin özel hali olan üç değişkenli beton modeli kullanılmıştır. Nümerik analizler için ANSYS sonlu eleman programı içerisinde bulunan SOLID65 beton elemanı seçilmiştir. Nümerik sonuçların karşılaştırılması amacıyla, JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarının deney sonuçlarından elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme eğrisi ile oluşan çatlak bölgeleri kullanılmıştır. Nümerik çözümlerin ilk aşamasında, tuğlanın basınç dayanımının, harcın çekme dayanımının ve kayma gerilmesi iletim katsayısının çözümler üzerine olan etkisi incelenmiştir. Nümerik çözümlerin ikinci aşamasında, harç kısmı, yatak ve başlık bölgesi olmak üzere iki farklı malzemeye ayrılmıştır. Bu iki farklı harç bölgesinin nümerik çözümler üzerindeki etkileri ayrıca incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Eindhoven duvarları, Mikro Modelleme, Yayılı Çatlak Modeli ve Kayma gerilmesi iletim katsayısı.

SUMMARY

Investigation of Three Dimensional Fixed Smeared Crack Model in Micro Model Analysis of The Masonry Walls

In this study, the effectiveness of 3-dimensional smeared crack model in the micro-model analysis of masonry walls is investigated. The concrete model with three parameters which special case of William Warnke model is used to calculate the nonlinear behavior of mortar and brick regions of this wall. For numerical analyses, SOLID65 concrete elements in ANSYS finite element software are selected. For comparison of the numerical results, the base shear force-top displacement curve and the fracture regions obtained from the experimental results of the Eindhoven walls which JD4, JD6 and JD7, are used. In first phase of the numerical solutions, the effects on the solutions of compressive strength of the bricks, tensile strength of the mortar and shear transfer coefficient are investigated. In the second phase of the numerical solutions, the mortar is discretized two different material as bed and head regions. The effects on the numerical solutions of the two different mortar materials are also investigated.

Keywords: Eindhoven Walls, Micro Modelling, Smeared Crack Model and Shear Transfer Coefficient.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1.	Üç parametrelili model için a) göçme yüzeyi ve b) tek eksenli gerilme-şekil değiştirme bağıntısı	4
Şekil 3.1.	JD4 Eindhoven duvarının sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları	8
Şekil 3.1.1.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	10
Şekil 3.1.2.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	11
Şekil 3.1.3.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	12
Şekil 3.1.4.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	13
Şekil 3.1.5.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	14
Şekil 3.1.6.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	15
Şekil 3.1.7.	Ön yükleme değeri-tuğlanın basınç dayanımı arasındaki bağıntı	16
Şekil 3.2.1.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	17
Şekil 3.2.2.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	18
Şekil 3.2.3.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	19
Şekil 3.2.4.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	20
Şekil 3.2.5.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	21
Şekil 3.2.6.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlak bölgeleri	22
Şekil 3.3.1.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	23
Şekil 3.3.2.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlak bölgeleri	24
Şekil 3.3.3.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	25
Şekil 3.3.4.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlak bölgeleri	26

Şekil 3.3.5.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	27
Şekil 3.3.6.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlak bölgeleri	28
Şekil 3.4.1.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	29
Şekil 3.4.2.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	30
Şekil 3.4.3.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	31
Şekil 3.4.4.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri.	32
Şekil 3.4.5.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	33
Şekil 3.4.6.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	34
Şekil 3.5.1.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	35
Şekil 3.5.2.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	36
Şekil 3.5.3.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	37
Şekil 3.5.4.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	38
Şekil 3.5.5.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	39
Şekil 3.5.6.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	40
Şekil 3.6.1.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	42
Şekil 3.6.2.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	43
Şekil 3.6.3.	JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	44
Şekil 3.6.4.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	45
Şekil 3.6.5.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	46
Şekil 3.6.6.	JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	47
Şekil 3.7.1.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme Grafikleri	48
Şekil 3.7.2.	JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	49

Şekil 3.7.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	51
Şekil 3.7.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	52
Şekil 3.7.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	53
Şekil 3.7.6. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri.	54
Şekil 3.8.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	56
Şekil 3.8.2. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri.	57
Şekil 3.8.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	58
Şekil 3.8.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	59
Şekil 3.8.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri	60
Şekil 3.8.6. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri	61

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.1. JD4 Eindhoven duvarları tuğla malzeme özellikleri	9
Tablo 3.1.2. JD6 Eindhoven duvarları tuğla malzeme özellikleri	9
Tablo 3.1.3. JD7 Eindhoven duvarları tuğla malzeme özellikleri	9
Tablo 3.2.1. JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarları harç malzeme özellikleri	16



SİMGELER LİSTESİ

β_c	:Çatlakların Kapalı Olması Hali İçin Kayma Gerilmesi İletim Katsayısı
β_t	:Çatlakların Açık Olması Hali İçin Kayma Gerilmesi İletim Katsayısı
E	:Elastisite Modülü
ε_{ck}	:Çatlama Sınır Şekil Değiştirmesi
$\delta\varepsilon_{ck}$:Kopma Sınır Şekil Değiştirmesi
f_c	:Tek Eksenli Basınç Dayanımı
f_t	:Tek Eksenli Çekme Dayanımı
ν	:Poisson Oranı
R_t	:Çatlama Durumunda Hesaplanan Elastisite Modülü
T	:Matrisin Transpozesi
T_c	:Çatlamadan Hemen Sonraki Çekme Dayanımı Azaltma Katsayısı
$[T^{ck}]$:Dönüşüm Matrisi

1. GİRİŞ

Yığma duvarlar, bina inşaatı için yüzyıllardır kullanılmış olup duvarı oluşturan malzemelerin birbirleriyle etkileşiminden dolayı kompleks davranışa sahiptirler. Nümerik çözümlerinin gerçeğe yakın olarak edilememesine rağmen hala tercih edilen yapılardır. Yığma duvarlar bir beton veya çelik çerçevede dolgu malzemesi olarak veya taşıyıcı bir eleman olarak inşa edilmektedir. Dolgu malzemesi olarak kullanılan yığma duvarlar, binaların deprem sırasındaki davranışında olumlu katkı sağlamaktadır [1,2]. Bu nedenle bu yapı elemanlarının davranışlarının doğru bir şekilde modellenmesi gerekmektedir.

Bu yapıların statik ve dinamik yükler altındaki davranışlarının belirlenmesinde farklı hesaplama metotları sunulmuştur. Bu hesaplama metotları mikro, makro ve basitleştirilmiş mikro ölçekli analiz olarak üç grupta kategorize edilmiştir. Mikro ölçekli analizlerde, yığma duvarı oluşturan her bir malzemenin doğrusal olmayan davranışı önemlidir. Aynı zamanda bu analizden elde edilen çatlak bölgesinin yörüngesi detaylı bir şekilde incelenmektedir. Makro ve basitleştirilmiş mikro ölçekli analizlerde bileşenlerin global davranışı önemlidir. Her bir bileşenin lineer olmayan davranışları ayrı ayrı dikkate alınmamaktadır. Mikro ölçekli yaklaşımdan elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir seviyede sonuçlar vermektedir [3]. Bu amaçla çatlak ve hasar modelleri kullanılmaktadır [1]. Bu modeller içinde sabit doğrultulu yayılı çatlak modeli yaygın olarak kullanılan modellerden biridir [4]. Bu modelin yığma yapıların mikro model ile modellemesinde etkinliğinin incelenmesi önem arz etmektedir.

Attard ve ark. [5], donatısız yığma duvarların, kesme ve basınç yüklemeleri altındaki doğrusal olmayan davranışını analiz etmek için bir model sundular ve bu modelin doğrulamasını yapmak amacıyla Vermeltoort ve ark. [6]'nın yığma duvarlar için yaptıkları deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Zucchini ve ark. [7], yığma duvarların, doğrusal olmayan analizi için bir mikro mekanik model geliştirmişlerdir ve Vermeltoort ve ark. [8]'nin yığma duvarlar için yaptıkları deney sonuçlarını kullanarak modelin doğrulamasını yapmışlardır. Adam ve ark. [9], yığma yapılar üzerinde yapılan bir dizi laboratuvar testleri için sonlu elemanlar yöntemi ile mikro mekanik modelleme yapmışlardır. Sonlu eleman modeline harç ve tuğla, katı eleman olarak bu iki ortamın ara yüzü ise ara yüzey elemanlarla modellenmiştir. Doğrusal olmayan nümerik analiz sonuçları ile deney sonuçları yük-yer değiştirme ve eğilme momenti-dönme tepkileri

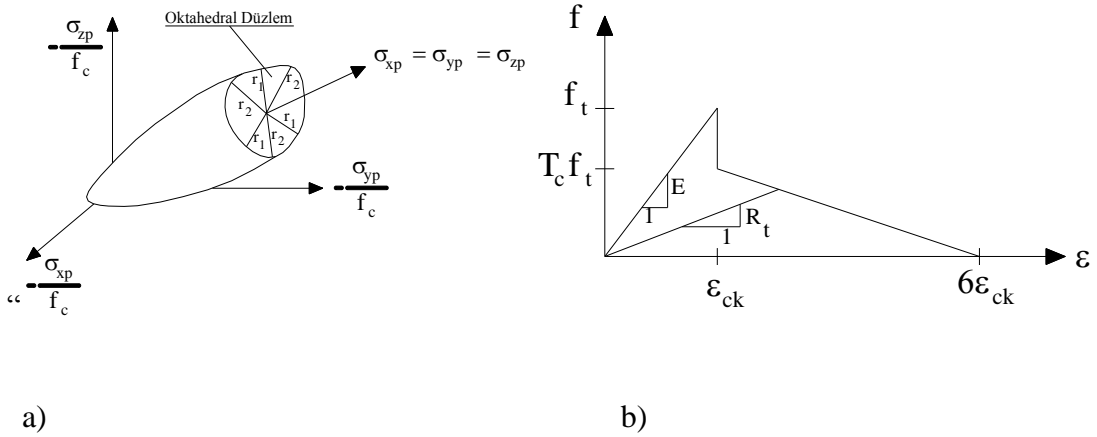
açısından karşılaştırılmıştır. Mohyeddin ve ark. [10], üç boyutlu ayırık sonlu elemanlar kullanarak yığma duvar ile doldurulmuş betonarme çerçevelerin analizlerini elde etmişlerdir. Çözümlerinde, ANSYS sonlu elemanlar programını kullanmışlardır. Bu modelin doğrulamasını yapmak amacıyla literatürde yer alan deneysel verileri kullanılmışlardır. Modelin düzlem içi ve düzlem dışı yükleme durumlarında, dolgu çerçeve üzerindeki etkisini doğru bir şekilde yansıttığını göstermişlerdir. Ghiassi ve ark. [11], FRP ile güçlendirilmiş yığma duvarların davranışlarında harcın etkisini deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Nümerik çözümlerde, üç boyutlu sonlu elemanlarla mikro mekanik modelleme yöntemi kullanılmıştır. Nümerik modellemeden elde edilen duvarların çatlak geometrisi ve göçme durumları deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve uygun sonuçlar elde edilmiştir. Caporale ve ark. [12], farklı duvar örme biçimleri ve yükleme durumlarının kerpiç duvarlar üzerine etkisini incelemek için iki boyutlu mikro mekanik analiz yöntemini kullandılar. Deney sonuçları, basınç ve çekme yüklemeleri altındaki tuğla ve harcın farklı elastisite modüllerine sahip olduklarını göstermiştir. Bu durum mikro model oluşturulurken dikkate alınarak homojenleştirilmiş birim hücreler için asal gerilme düzlemlerindeki kritik eğriler oluşturulmuştur. Aynı zamanda, homojenleştirilmiş elastisite modülü ile yükleme açısı arasında bir ilişki elde edilmiştir. Mahini [13], iki aşamalı makro modelleme yaklaşımı önermiştir ve CFRP ile güçlendirilen tarihi bir binanın performansını değerlendirmiştir. Binanın tuğla ve harç modelleri, yayılı çatlak model olarak kabul edilen malzemeler ve üç boyutlu izoparametrik katı elemanlar kullanılarak, ANSYS sonlu elemanlar programı ile modellenmiştir. FRP elemanları için anizotropik malzeme özellikli katı sonlu elemanlar kullanılmıştır. Önerilen modelin doğruluğu literatürde yer alan homojenleştirilmiş makro modelleme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. El-Diasity ve ark. [14], düşük maliyetli ferrocement ve GFRP kullanılarak güçlendirilmiş yığma duvarlar üzerinde çevrimsel yükleme testleri yaptılar. Nümerik model için ANSYS sonlu elemanlar programını kullanmışlardır. Analiz sonuçları ile deney sonuçları; deformasyona uğramış şekil değiştirme, çatlak geometrisi ve kapasite eğrisi bakımından karşılaştırılmıştır. Nümerik çözümlerin deney sonuçları ile uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Parisi ve ark. [15], tuf taşı ve harçtan oluşan yığma duvarlar için bir mikro mekanik model önerdiler. Mikro modelin doğruluğu için farklı geometrik, sınır ve yükleme koşullarından oluşan aksel ve diyagonal basınç deneyleri yapmışlardır. Sayısal model ve deney sonuçlarını karşılaştırarak önerilen modelin yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Sandoval ve ark. [16] güçlendirilmiş yığma duvarlardaki merkezi bir boşluğa ait açıklığın kayma gerilmesine

olan etkisini deneysel ve sayısal olarak incelediler. Laboratuvar testlerinde üç farklı duvara göçme anına kadar çevrimsel yanal yük uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar, detaylı mikro modelleme yaklaşımına dayalı nümerik modelin doğruluğu için kullanmışlardır. Beyler ve ark. [16] sonlu elemanların kenar yüzeylerinde yer alan kohezyon özelliğine sahip kontak elemanlar kullanılarak detaylı bir mikro modelleme yöntemi geliştirdiler. Modelin doğruluğunu göstermek için geliştirilen model, rastgele örüntüye sahip bir taş duvarın diyagonal basınç test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Petracca ve ark. [18] yığma duvarların analizi için yeni bir hasar mekaniği tabanlı sürekli mikro model sundular. Bu modeli literatürde yer alan ayırık mikro modelleme yöntemleriyle karşılaştırdılar.

Bu tez çalışmasında, yığma duvarların mikro model ile analizinde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarının [6] 3 boyutlu sabit doğrultulu yayılı çatlak yaklaşımı ile doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmıştır. Mikro modelde, tuğlanın basınç dayanımı ve kayma gerilmesi iletim katsayısının çözümler üzerine olan etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda, harcın çekme dayanımı ve kayma gerilmesi iletim katsayısının çözümler üzerine olan etkisi ayrıca incelenmiştir. Eindhoven duvarlarının deney sonuçlarından elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme eğrisi ile oluşan çatlak bölgeleri nümerik sonuçlarla karşılaştırılarak yöntemin etkinliği incelenmiştir. Bu çözümlere ilave olarak harç kısmı, yatak ve başlık bölgesi olmak üzere iki farklı malzemeye ayrılıp nümerik çözümler elde edilmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yığma duvarların mikro seviye nümerik modellemesinde tuğla ve harç için kullanılacak elastik ve elastik olmayan malzeme özelliklerine ait bazı önerilerde bulunulmuştur.

2. WILLIAM VE WARNKE MODELİ

Bu tez çalışmasında, William ve Warnke [19], modelinin özel hali olan üç değişkenli beton modeli kullanılmıştır. Üç değişkenli model William tarafından geliştirilmiş olup, düşük basınç altında çelmeye maruz kesitlerdeki beton için göçme yüzeyini tanımlamaktadır. Zeinkiewicz ve Taylor [20], beton gibi gevrek özelliğe sahip malzemeler için bu malzeme modelinin kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. William Warnke' nin beton göçme yüzeyi modeli yığma yapıların geniş çapta modellenmesinde etkin bir şekilde kullanılmıştır [21]. Bu model, Şekil 2.1.a'da görüldüğü gibi kesiti konveks olan bir koniye yakın görünüme sahiptir. Konveks kesit simetrik ve düzgün yapıdadır. Burada, σ_{xp} , σ_{yp} ve σ_{zp} birbirlerine dik asal gerilmeleri, f_c ise malzemenin tek eksenli basınç dayanımını belirtmektedir. Böyle bir kesit kolayca bir daireye benzetebileceğinden, Von Mises veya Drucker-Prager yaklaşımları bu modelin özel bir durumu olarak belirlenebilir [20]. Bu modelde, göçme yüzeyi içerisinde kalan gerilme değerleri elde edildiğinde malzeme lineer elastik davranış göstermektedir. Göçme yüzeyinin dışına çıkılan gerilme değerleri elde edildiğinde ise malzemede çatlama ve ezilmelerin ortaya çıkacağı ifade edilmektedir.



Şekil 2.1. Üç parametrelili model için a) göçme yüzeyi ve b) tek eksenli gerilme-şekil değıştirme bağıntısı [19]

William ve Warnke [19] modeliyle yapılan sonlu eleman uygulamalarında, çatlağın eleman üzerinde alınan integrasyon noktalarında oluştuğu kabul edilmektedir. Bir integrasyon noktasındaki çatlağın varlığı, çatlağa normal yönde zayıf bir düzlem

tanımlanarak, gerilmeleri şekil değiştirmelere bağlayan matrisin yeniden düzenlenmesiyle elde edilmektedir. Söz konusu değişim malzemenin tek eksenli gerilme-şekil değiştirme eğrisi yardımıyla hesaba katılmaktadır (Şekil 2.1.b). Burada f_t , malzemenin tek eksenli çekme dayanımını, T_c , çatlama dan hemen sonraki çekme dayanımı azaltma katsayısını, E elastisite modülünü ve R_t ise çatlama durumunda hesaplanan elastisite modülünü göstermektedir. Aynı zamanda, ε_{ck} çatlama sınır şekil değiştirmesini, $6\varepsilon_{ck}$ ise kopma sınır şekil değiştirmesini göstermektedir.

Malzeme içerisinde birinci asal doğrultuda çatlama oluşması durumu için gerilme ile şekil değiştirme arasındaki matris,

$$[D_c^{ck}] = \frac{E}{(1+\nu)} \begin{bmatrix} \frac{R^t(1+\nu)}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{(1-\nu)} & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & \frac{1}{(1-\nu)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

formunda olmaktadır. Burada ν poisson oranını göstermektedir. β_t ise açık durum için kayma gerilmesi transfer katsayısını göstermektedir. Çatlağın kapanması durumunda gerilme-şekil değiştirme arasındaki matris,

$$[D_c^{ck}] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_c \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

olarak kullanılmaktadır. Burada β_c kapalı durum için kayma gerilmesi transfer katsayısını ifade etmektedir. İki ve üç asal doğrultuda çatlak oluşması durumunda gerilme-şekil değiştirme matrisi

$$[D_c^{ck}] = E \begin{bmatrix} \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^t}{E} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_t}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

formuna dönüşmektedir. Her iki yöndeki çatlakın tekrar kapanması durumunda ise (2.2) denklemini kullanılmaktadır. (2.1)-(2.3) denklemleri eleman içerisindeki lokal koordinat eksen takımında tanımlanan gerilme-şekil değiştirme matrislerini göstermektedir. Bu matrislerin global eksen takımına dönüştürülmesi için

$$[D_c] = [T^{ck}]^T [D_c^{ck}] [T^{ck}] \quad (2.4)$$

eşitliği kullanılmaktadır. Burada $[T^{ck}]$, dönüşüm matrisini ifade etmekte olup üst indis T ise matrisin transpozisini belirtmektedir.

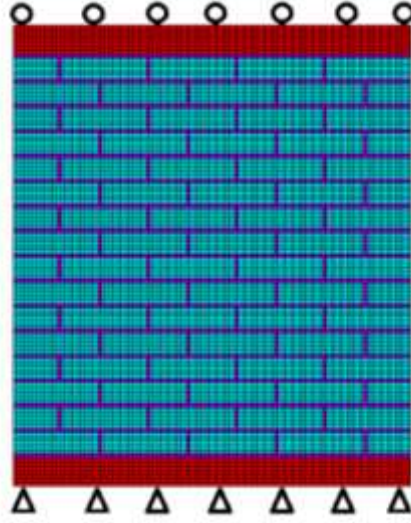
3. JD4, JD6 ve JD7 EİNDHOVEN YIĞMA DUVARLARININ MİKRO MODEL ANALİZİ

Bu tez çalışmasında JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven yığma duvarlarının mikro model analizleri yapılmıştır. Bu duvarların boyutları 990×1000×100 mm olup 210×52×100 mm ölçülerinde sahip tuğlalar ile harç kalınlığı 10 mm olacak şekilde 16 sıra tuğla-harç kullanılarak inşa edilmiştir. Modelin en üst ve en altında 2 sıra çelik kiriş yer almaktadır. Deneysel çalışmada, ön yükleme olarak üst kirişe düşey bir yayılı yük uygulanmış sonraki yükleme adımında ise aynı kirişe yatay yer değiştirme yükü uygulanarak duvarın taşıma gücü elde edilmiştir. Söz konusu bu ön yükleme durumu 30, 120 ve 210 kN olarak uygulanmış ve sırasıyla JD4, JD6 ve JD7 olarak adlandırılmıştır.

Bu modelde harç ve tuğla için ayrı ayrı malzeme özellikleri tanımlanmış olup malzemeler arası bağlantının rijit olduğu kabul edilmiştir. Çözümler için ANSYS sonlu eleman paket programı kullanılmıştır [22]. Sayısal modelde 33600 adet düğüm noktası ve 21978 adet üç boyutlu katı sonlu eleman kullanılmış olup duvarın sonlu elemanlar modeli ise Şekil 3.1’de verilmiştir. Duvarın tabanındaki çelik kirişlerin alt yüzeyi yatay ve düşey doğrultularda tutulu üstteki çelik kirişin üst yüzeyi ise sadece düşey doğrultuda tutulu olacak şekilde sınır şartları uygulanmıştır.

Çözümlerde, duvarın kendi ağırlığı ve üst kirişe uygulanan 30, 120 ve 210 kN’luk düşey yükler ön yükleme aşamasında etki ettirilmiştir. Sonraki yükleme aşamasında ise bu yükler ve yer değiştirme değerleri başlangıç şartları olarak dikkate alınmıştır. Aynı zamanda bu yükleme aşamasında üstteki çelik kirişin düğüm noktalarından yatay yer değiştirme yükleri uygulanarak söz konusu duvarların davranışı elde edilmiştir. Nümerik analizler, SOLID65 elemanında içerisinde yer alan ve malzemenin tek eksenli çekme, basınç dayanımları kullanılarak belirlenen kırılma yüzeyi yardımıyla elde edilmiştir. Aynı zamanda eleman içerisinde 3 asal doğrultuda çatlama ve ezilme özellikleri de her bir eleman integrasyon noktası için tanımlanabilmektedir. Ezilme oluşması durumunda elemanın elastisite modülünün değeri sıfıra yakın olarak alınmaktadır. Çözümlerde çatlama durumu, sabit doğrultulu yayılı çatlak modeli ile hesaba katılmaktadır. Çatlağın açık veya kapalı olması durumlarında kayma gerilmeleri bir katsayı kullanılarak iletilmektedir. Bu iletim katsayıları açık durum için β_t ve kapalı durum için β_c olarak adlandırılmaktadır. Bu

tez çalışmasında tuğlanın basınç dayanımının, harcın çekme dayanımının ve β_t katsayısının çözümler üzerine olan etkisi incelenmiştir.



Şekil 3.1. JD4 Eindhoven duvarının sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları

Tuğla ve harç malzemelerinin elastik ve elastik olmayan malzeme özellikleri Hemant ve ark. [23]'nın önerdiği eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir. Bu çalışmada tuğla malzemesinin elastisite modülü,

$$E_b = 300 f_{b,c} \text{ (MPa)} \quad (3.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada $f_{b,c}$ tuğlanın tek eksenli basınç dayanımını göstermektedir. Tuğla malzemesinin $f_{b,t}$ ile ifade edilen tek eksenli çekme dayanımı ise

$$f_{b,t} = f_{b,c} / 25 \text{ (MPa)} \quad (3.2)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Harç malzemesinin elastisite modülü,

$$E_m = 200 f_{m,c} \text{ (MPa)} \quad (3.3)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada $f_{m,c}$ harcın tek eksenli basınç dayanımını göstermektedir. Tuğla malzemesinin $f_{m,t}$ ile ifade edilen tek eksenli çekme dayanımı ise

$$f_{m,t} = f_{m,c} / 20 \text{ (MPa)} \quad (3.4)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

3.1. Tuğlanın Basınç Dayanımının Çözümler Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarında kullanılan tuğlanın basınç dayanımının yığma duvarın nümerik analizleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tuğlanın basınç dayanımı için 10-60 MPa aralığında değişen değerler seçilmiştir. Tuğlanın çekme ve elastisite modülü değerleri ise (3.1) ve (3.2) denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır. Kayma gerilmesi iletim katsayıları çatlağın açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak dikkate alınmıştır. JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarları için (3.1) ve (3.2) denklemleri yardımıyla hesaplanan tuğla malzeme özellikleri Tablo (3.1.1)-(3.1.3)'de görülmektedir. Söz konusu bu duvarlarda kullanılan harç malzemesi için harcın basınç dayanımı 10 MPa alınmıştır [23]. Harcın basınç dayanımı yardımıyla Elastisite modülü ve çekme dayanımı için sırasıyla (3.3) ve (3.4) denklemleri kullanıldığında 2000 MPa ve 0.5 MPa değerleri elde edilmektedir. Harcın kayma gerilmesi iletim katsayıları ise çatlağın açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak seçilmiştir.

Tablo 3.1.1. JD4 Eindhoven duvarları tuğla malzeme özellikleri

Duvar Adı	Malzeme özelliği	B1	B2	B3	B4	B5
JD4	E_b (MPa)	9000	6000	4500	3750	3000
	$f_{b,c}$ (MPa)	30.00	20.00	15.00	12.50	10.00
	$f_{b,t}$ (MPa)	1.20	0.80	0.60	0.50	0.40

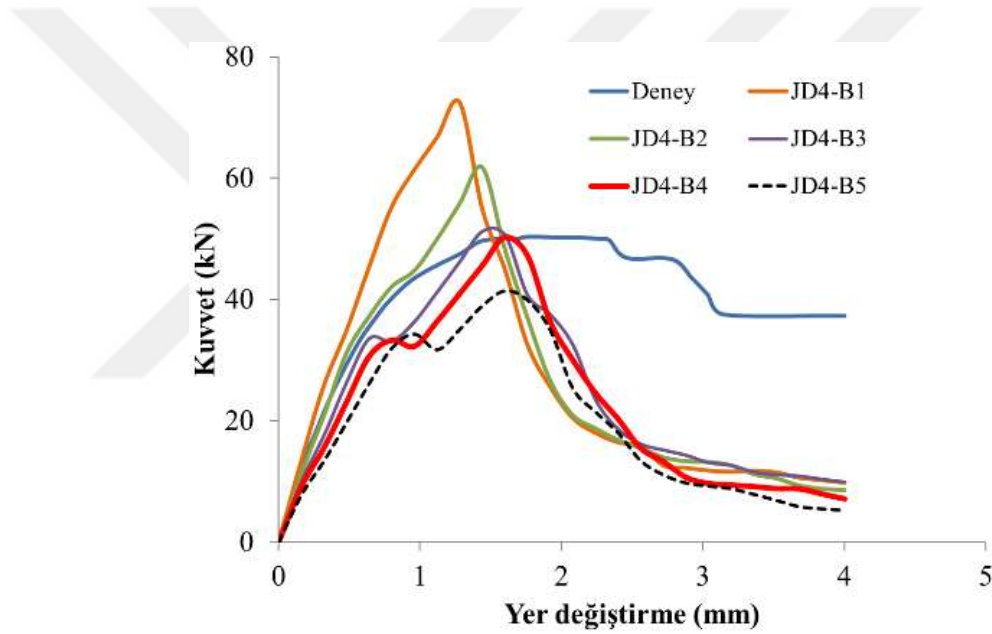
Tablo 3.1.2. JD6 Eindhoven duvarları tuğla malzeme özellikleri

Duvar Adı	Malzeme özelliği	B1	B2	B3	B4	B5
JD6	E_b (MPa)	15000	12000	9000	6000	4500
	$f_{b,c}$ (MPa)	50.00	40.00	30.00	20.00	15.00
	$f_{b,t}$ (MPa)	2.00	1.60	1.20	0.80	0.60

Tablo 3.1.3. JD7 Eindhoven duvarları tuğla malzeme özellikleri

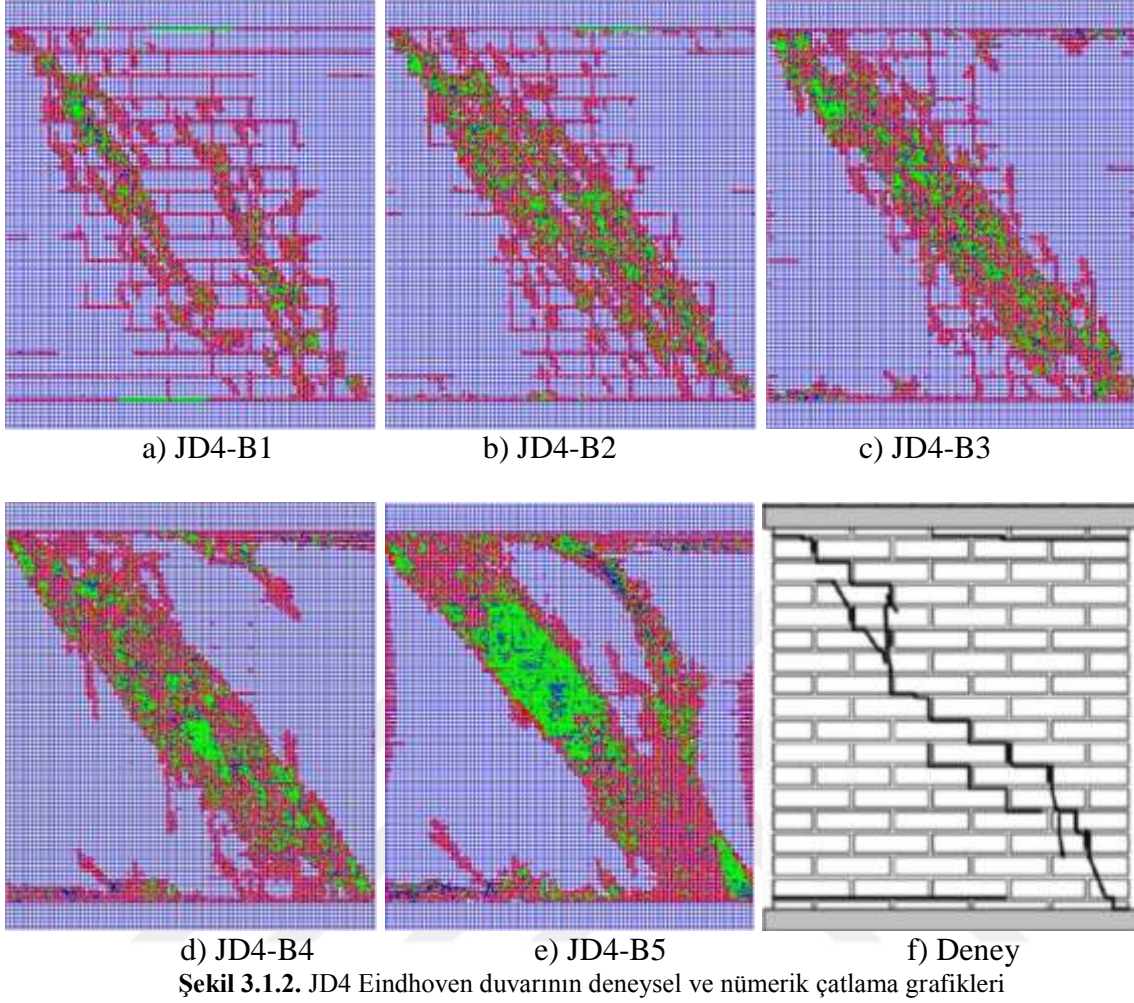
Duvar Adı	Malzeme özelliği	B1	B2	B3	B4	B5
JD7	E_b (MPa)	18000	16500	15000	12000	9000
	$f_{b,c}$ (MPa)	60.00	55.00	50.00	40.00	30.00
	$f_{b,t}$ (MPa)	2.40	2.20	2.00	1.60	1.20

JD4-B1, JD4-B2, JD4-B3, JD4-B4 ve JD4-B5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafiği Şekil 3.1.1.'de g r lmektedir. JD4 duvarının deney sonuçlarındandır maksimum taban kesme kuvveti 50.30 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD4-B1, JD4-B2, JD4-B3, JD4-B4 ve JD4-B5 için sırasıyla 72.46, 61.81, 51.21, 50.21 ve 41.45 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvvetleri değerleri deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; JD4-B1, JD4-B2, JD4-B3, JD4-B4 ve JD4-B5 için sırasıyla %44.15, %22.95, %1.87, %0.13 ve %17.54 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az fark JD4-B4 için hesaplandığı g r lmektedir.

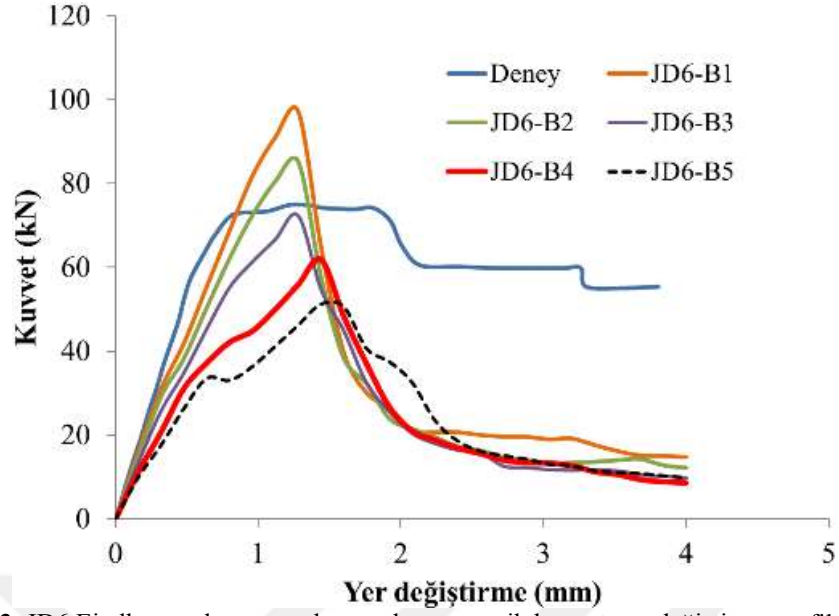


Şekil 3.1.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değıştirme grafikleri

JD4 duvarının deney sonuçlarındandır maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değıştirme değerleri ise 1.74 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değıştirme değerleri, JD4-B1, JD4-B2, JD4-B3, JD4-B4 ve JD4-B5 için sırasıyla 1.28, 1.44, 1.44, 1.60 ve 1.60 mm olarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarıyla karşılaştırıldığında bu yer değıştirme değerleri deney sonuçlarına göre sırasıyla %26.44, %17.24, %17.24, %8.05 ve %8.05 oranlarında daha küçük olarak elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değıştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD4-B4 c z mlerinden elde edilmiştir.



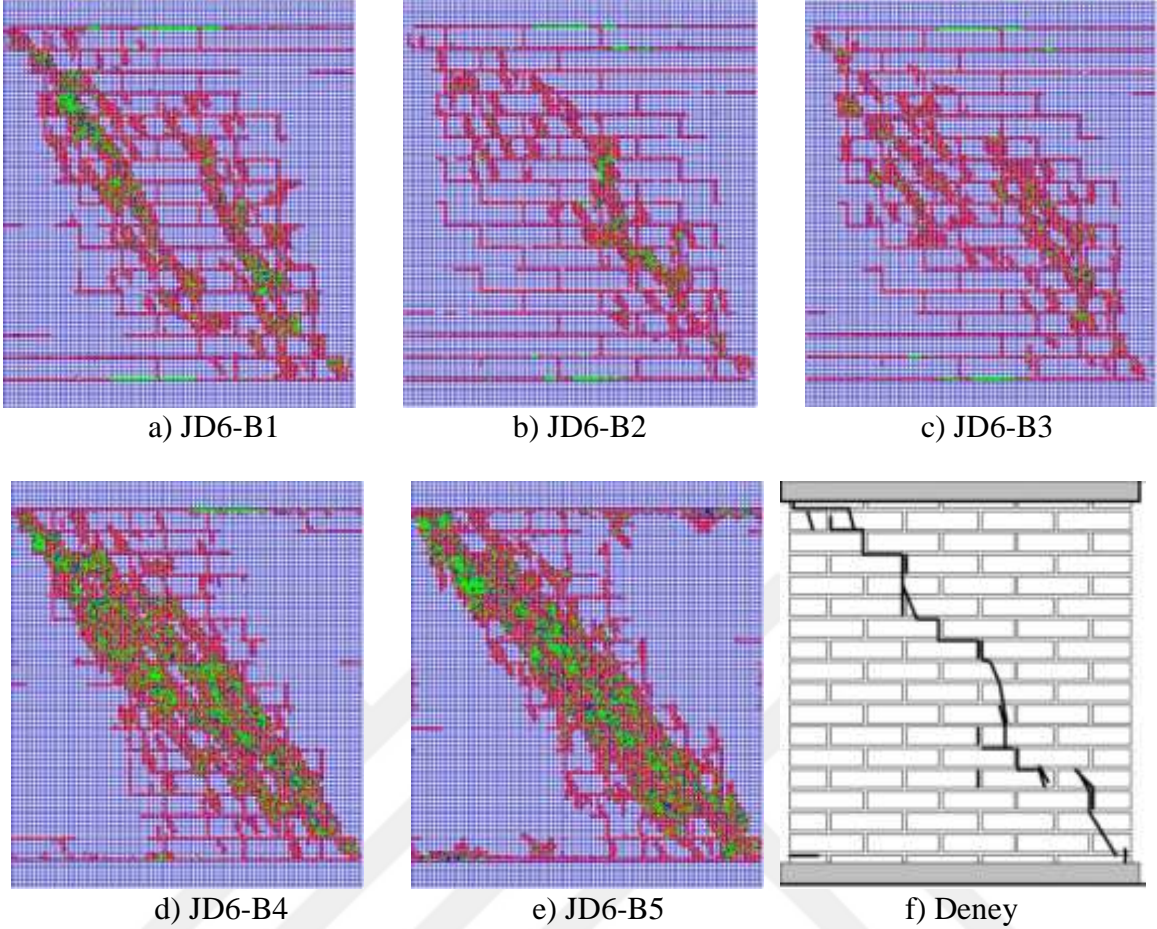
JD4-B1, JD4-B2, JD4-B3, JD4-B4 ve JD4-B5 için tepe yer değıştirme değeri sırasıyla 1.28, 1.44, 1.44, 1.60 ve 1.60 mm'ye ulaştığı anlarda JD4 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.1.2.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri, JD4 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. JD4-B1 çözümünde bu çatlak bölgesi iki parça şeklinde ilerlerken diğer çözümlerde daha geniş bir bölgeye dağınık şekilde elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değıştirme değeri için en uygun çözüm olan JD4-B4' in hasar bölgesi deneyden elde edilen çatlak yörüngesine benzer bölgelerde meydana gelmiş olup çok dağınık bir formda elde edilmiştir.



Şekil 3.1.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

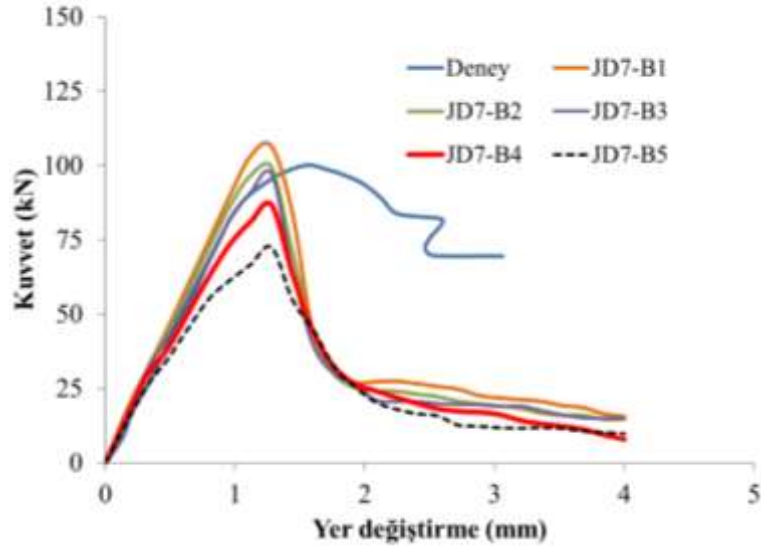
JD6-B1, JD6-B2, JD6-B3, JD6-B4 ve JD6-B5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.1.3.'de görölmektedir. JD6 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 74.87 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD6-B1, JD6-B2, JD6-B3, JD6-B4 ve JD6-B5 için sırasıyla 97.20, 85.18, 72.46, 61.81 ve 51.21 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvvetleri değerleri deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; JD6-B1, JD6-B2, JD6-B3, JD6-B4 ve JD6-B5 için sırasıyla %29.82, %13.76, %3.22, %17.45 ve %31.65 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az fark JD6-B3 için hesaplandığı görölmektedir.

JD6 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün olduğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri 1.22 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri JD6-B1, JD6-B2, JD6-B3, JD6-B4 ve JD6-B5 için sırasıyla 1.28, 1.28, 1.28, 1.44 ve 1.44 mm olarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarıyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerleri deney sonuçlarına göre sırasıyla %4.92, %4.92, %4.92, %18.00 ve %18.00 oranlarında daha büyük olarak elde edildiği belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD6-B3 çözümlerinden elde edilmiştir.



Şekil 3.1.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

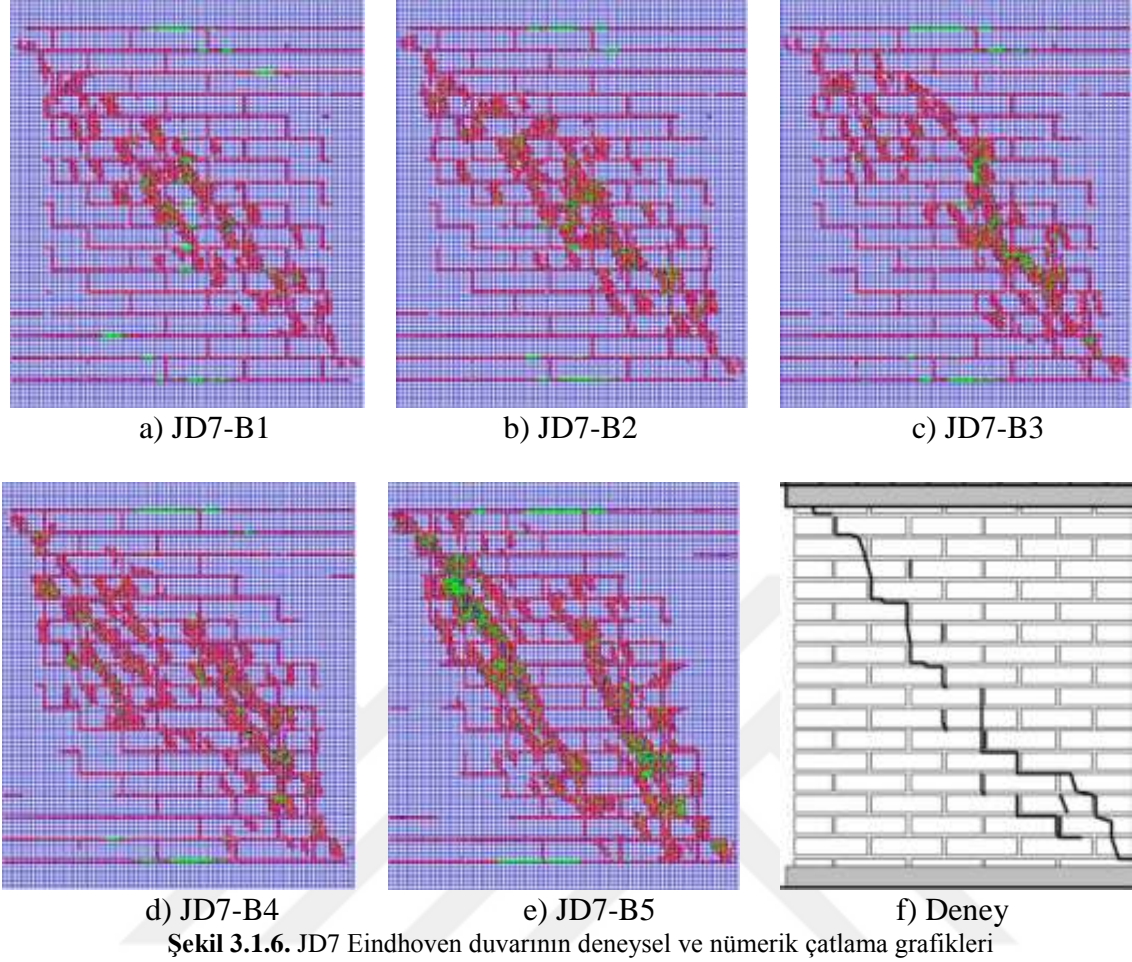
JD6-B1, JD6-B2, JD6-B3, JD6-B4 ve JD6-B5 için tepe yer değıştirme değeri sırasıyla 1.28, 1.28, 1.28, 1.44 ve 1.44 mm'ye ulaştığı anlarda JD6 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.1.4.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD6 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölgesi şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. JD6-B1 çözümünde bu çatlak bölgesi iki parça şeklinde ilerlerken diğer çözümlerde daha geniş bir bölgeye dağınık şekilde elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değıştirme değeri için en uygun çözüm olan JD6-B3'ün hasar bölgesi deneyden elde edilen çatlak yörüngesine benzer bölgelerde meydana gelmiş olup çok dağınık bir formda elde edilmiştir.



Şekil 3.1.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

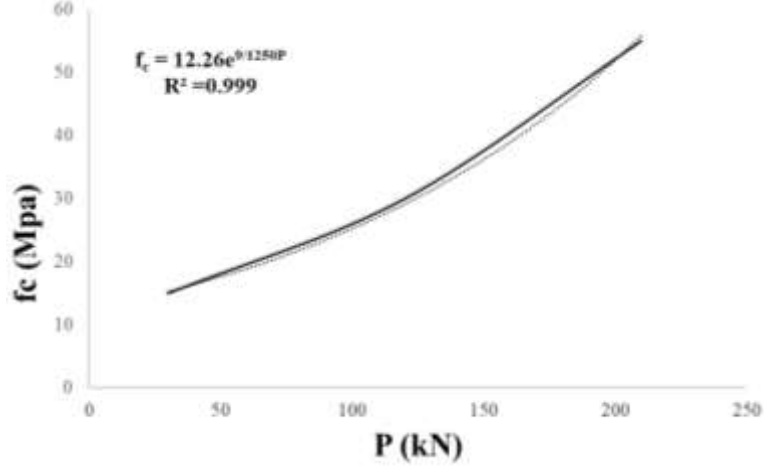
JD7-B1, JD7-B2, JD7-B3, JD7-B4 ve JD7-B5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.1.5.'de görölmektedir. JD7 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 100.17 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD7-B1, JD7-B2, JD7-B3, JD7-B4 ve JD7-B5 için sırasıyla 106.41, 99.62, 97.20, 86.87 ve 72.46 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; JD7-B1, JD7-B2, JD7-B3, JD7-B4 ve JD7-B5 çözümleri için sırasıyla %6.22, %0.55, %2.97, %13.28 ve %27.66 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-B2 için hesaplandığı görölmektedir.

JD7 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.56 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD7-B1, JD7-B2, JD7-B3, JD7-B4 ve JD7-B5 için tüm çözümlerde aynı değere sahip olup 1.28 mm olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlarıyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değeri deney sonuçlarına göre %17.95 daha küçük elde edildiği belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri için en uygun çözümler olan JD7-B2 için hesaplandığı belirlenmiştir.



JD7-B1, JD7-B2, JD7-B3, JD7-B4 ve JD7-B5 için tepe yer değıştirme değeri 1.56 mm'ye ulaştığı anlarda JD7 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.1.6.'da görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD7 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölgesi şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. JD7-B1, JD7-B4, JD7-B5 çözümlerinde bu çatlak bölgesi iki parça şeklinde ilerlerken JD7-B2 çözümünde duvar orta bölgesinde dağınık bir bölge şeklinde elde edilmiştir. JD7-B2 çözümünde ise daha dar ve belirgin bir çatlak bölgesi elde edilmiştir.

Nümerik analizler sonucunda ön yükleme değeri ile tuğlanın basınç dayanımı arasındaki bir bağıntı elde edilmiş olup Şekil 3.1.7'de verilmiştir. Bu eşitlik 3 boyutlu sabit doğrultulu yayılı çatlak modeli kullanılarak yığma yapıların çözümünde kullanılması önerilmiştir.



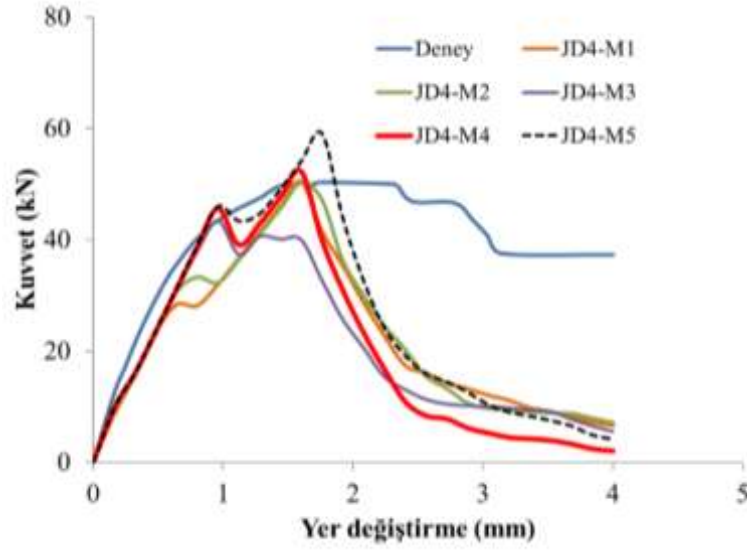
Şekil 3.1.7. Ön yükleme değeri-tuğlanın basınç dayanımı arasındaki bağıntı

3.2. Harcın Çekme Dayanımının Çözümler Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarında kullanılan harcın çekme dayanımının yığma duvarın nümerik analizleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarları için harcın tek eksenli basınç dayanımı 10 MPa olarak seçilmiş olup harcın elastisite modülü değerleri (3.1) denklemi yardımıyla hesaplanmıştır. Harcın tek eksenli çekme dayanım değerleri ise sırasıyla 1/25, 1/20, 1/15, 1/10 ve 1/5 katsayıları kullanılarak hesaba katılmış olup Tablo 3.2.1’de verilmiştir. Kayma gerilmesi iletim katsayıları çatlağın açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak dikkate alınmıştır. JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarları için tuğla malzemesi için sırasıyla Bölüm 3.1’de JD4-B4, JD6-B3 ve JD7-B2 çözümlerinden elde edilen malzeme özellikleri kullanılmıştır.

Tablo 3.2.1. JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarları harç malzeme özellikleri

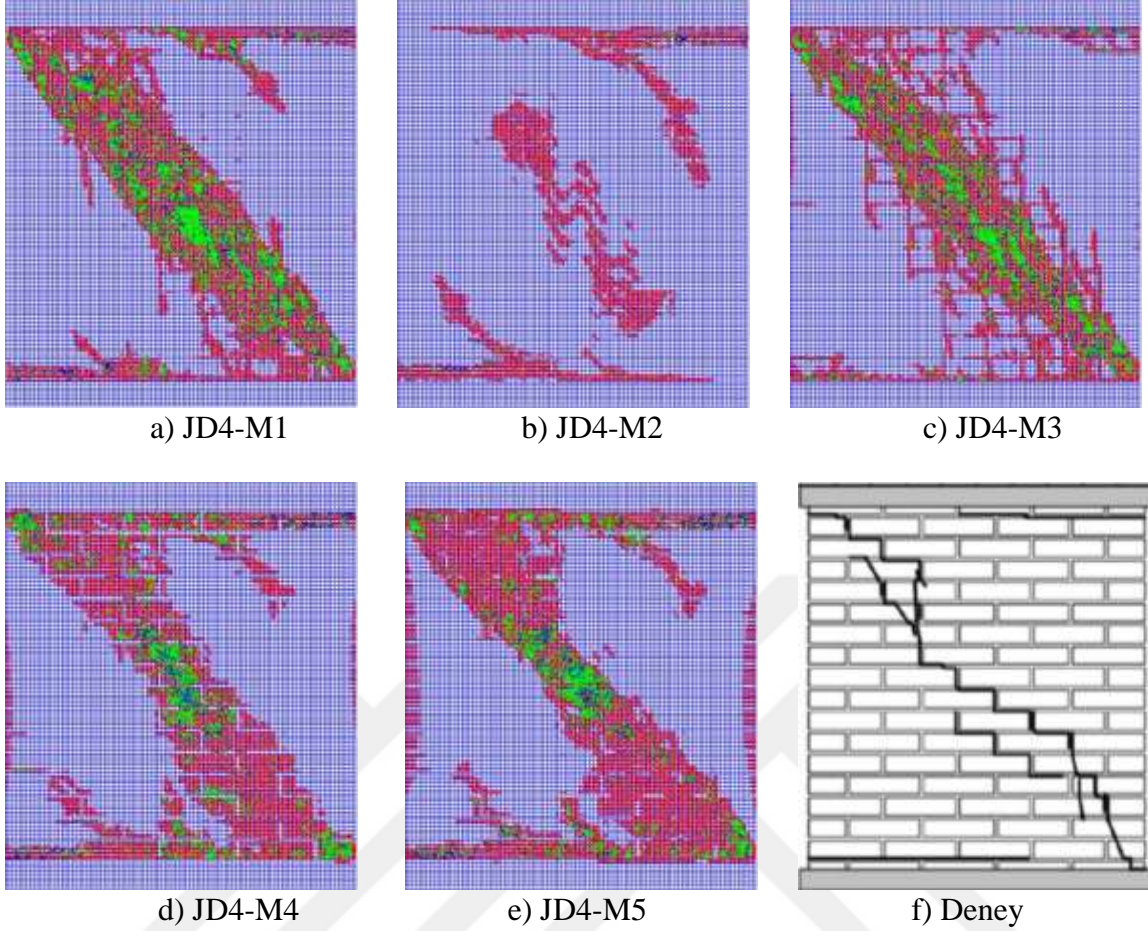
Malzeme Özelliği	M1	M2	M3	M4	M5
E_m (MPa)	2000	2000	2000	2000	2000
$f_{m,b}$ (MPa)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
$f_{m,t}$ (MPa)	0.40	0.50	0.67	1.00	2.00



Şekil 3.2.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

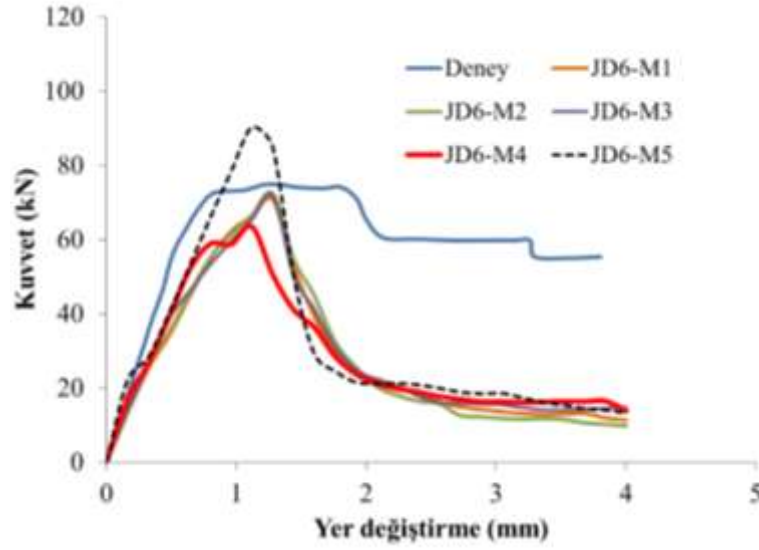
JD4-M1, JD4-M2, JD4-M3, JD4-M4 ve JD4-M5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.2.1.'de görölmektedir. JD4 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 50.30 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD4-M1, JD4-M2, JD4-M3, JD4-M4 ve JD4-M5 için sırasıyla 50.50, 50.21, 43.41, 52.34 ve 59.11 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; JD4-M1, JD4-M2, JD4-M3, JD4-M4 ve JD4-M5 için sırasıyla %0.45, %0.13, %13.65, %4.11 ve %17.5 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-M2 için hesaplandığı görölmektedir.

JD4 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün olduğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri 1.74 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD4-M1, JD4-M2, JD4-M3, JD4-M4 ve JD4-M5 için sırasıyla 1.60, 1.60, 0.96, 1.60 ve 1.76 mm olarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarıyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerleri deney sonuçlarına göre sırasıyla %8.05, %8.05, %44.83, %8.05 ve %1.15 oranlarında farkların elde edildiği belirlenmiştir. Bu farklar içerisinde en küçük değer JD4-M5 çözümlerinden hesaplanmıştır. Ancak, taban kesme kuvvetleri arasındaki farklar dikkate alındığında en büyük farkın bu çözümler için elde edildiği görölmektedir. Bu nedenle en uygun çözümlerin JD4-M2 için elde edildiği belirlenmiştir.



Şekil 3.2.2. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

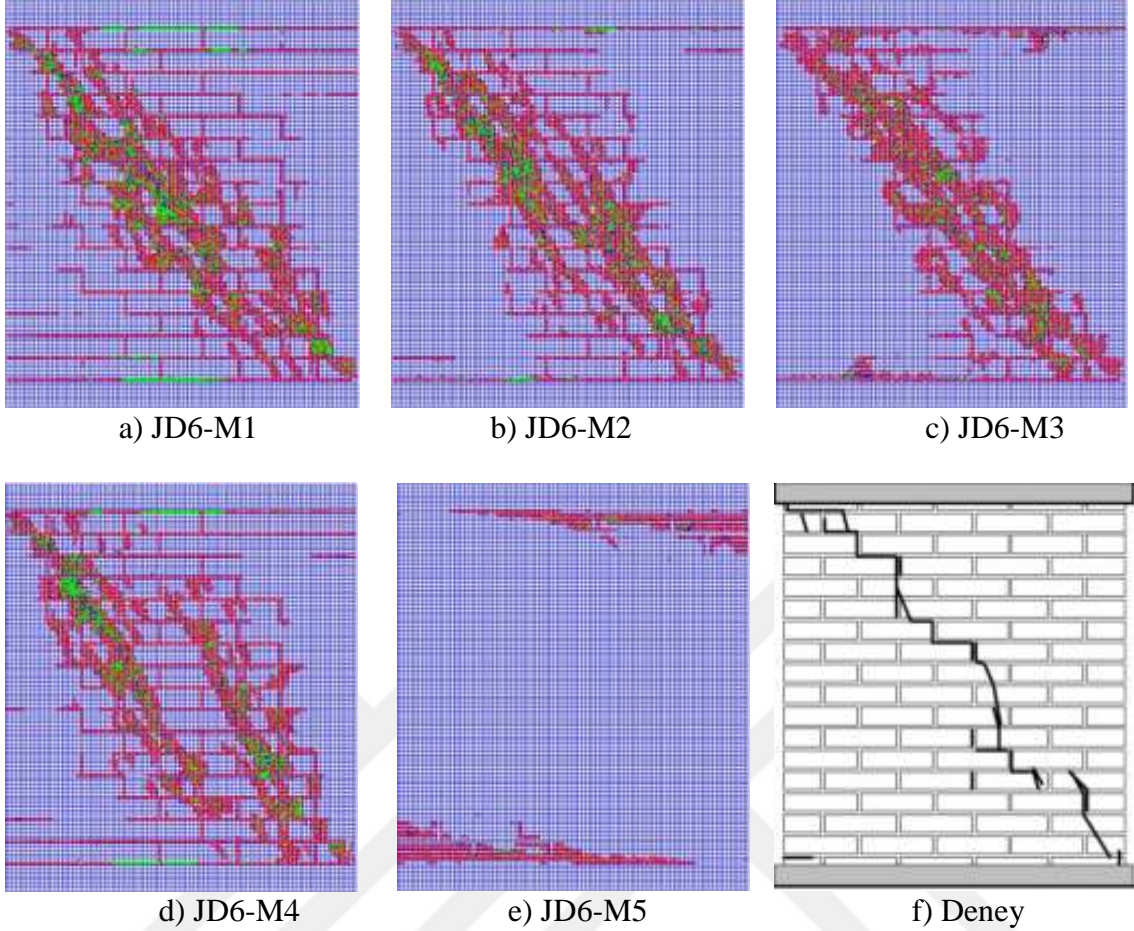
JD4-M1, JD4-M2, JD4-M3, JD4-M4 ve JD4-M5 için tepe yer değıştirme değerlerinin sırasıyla 1.60, 1.60, 0.96, 1.60 ve 1.76 mm'ye ulaştığı anlarda JD4 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.2.2.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD4 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında JD4-M2 çözümü hariç sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. JD4-M2 çözümünde duvar orta bölgesinde yer alan bir çatlak bölgesi elde edilmiştir. Üst ve alt kısımlarda elde edilen çatlak bölgeleri bu çatlak bölgesi etrafında dönerek ilerleyen bir forma geçiş yapmıştır. Bu durum JD4-M1, JD4-M4 ve JD4-M5 çözümlerinde de görülmektedir.



Şekil 3.2.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD6-M1, JD6-M2, JD6-M3, JD6-M4 ve JD6-M5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.2.3.'de görölmektedir. JD6 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 74.87 kN olarak elde edilmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD6-M1, JD6-M2, JD6-M3, JD6-M4 ve JD6-M5 için sırasıyla 70.78, 72.46, 71.70, 63.49 ve 90.33 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvvetleri değerleri deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; JD6-M1, JD6-M2, JD6-M3, JD6-M4 ve JD6-M5 için sırasıyla %5.46, %3.22, %4.24, %15.20 ve %20.65 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiş olup en az fark JD6-M2 için hesaplanmıştır.

JD6 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri, 1.22 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD6-M1, JD6-M2, JD6-M3, JD6-M4 ve JD6-M5 için sırasıyla 1.28, 1.28, 1.12 ve 1.12 mm olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlarıyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerleri deney sonuçlarına göre sırasıyla %4.92, %4.92, %4.92, %8.20 ve %8.20 oranlarında farklar elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD6-M2 çözümlerinden elde edilmiştir.

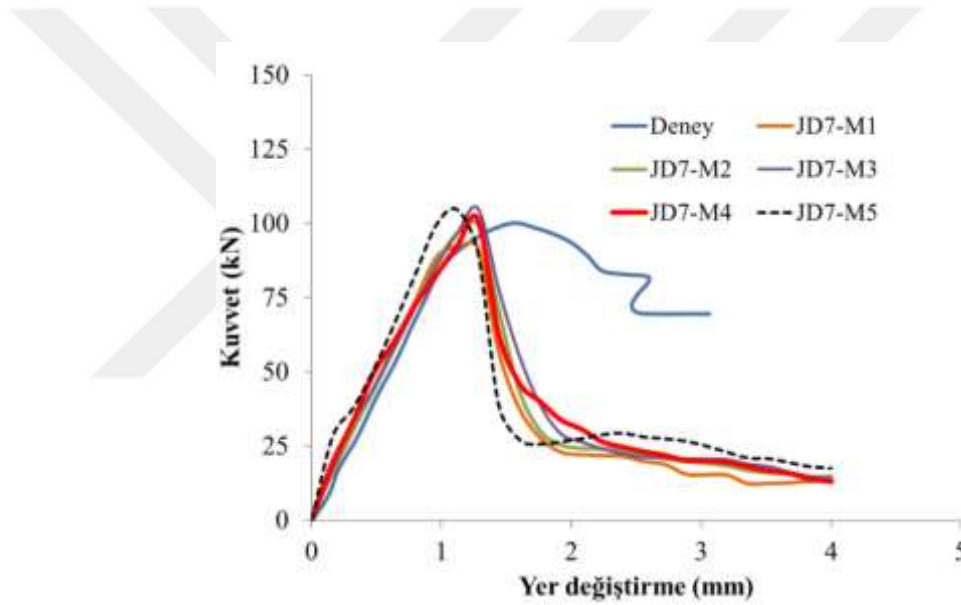


Şekil 3.2.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD6-M1, JD6-M2, JD6-M3, JD6-M4 ve JD6-M5 için tepe yer değıştirme değerlerinin sırasıyla 1.28, 1.28, 1.28, 1.12 ve 1.12 mm'ye ulaştığı anlarda JD6 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.2.4.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD6 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında JD6-M5 çözümü hariç sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. JD6-M4 çözümünde elde edilen bu diyagonal çatlak bölgesi iki parça şeklinde elde edilmiştir.

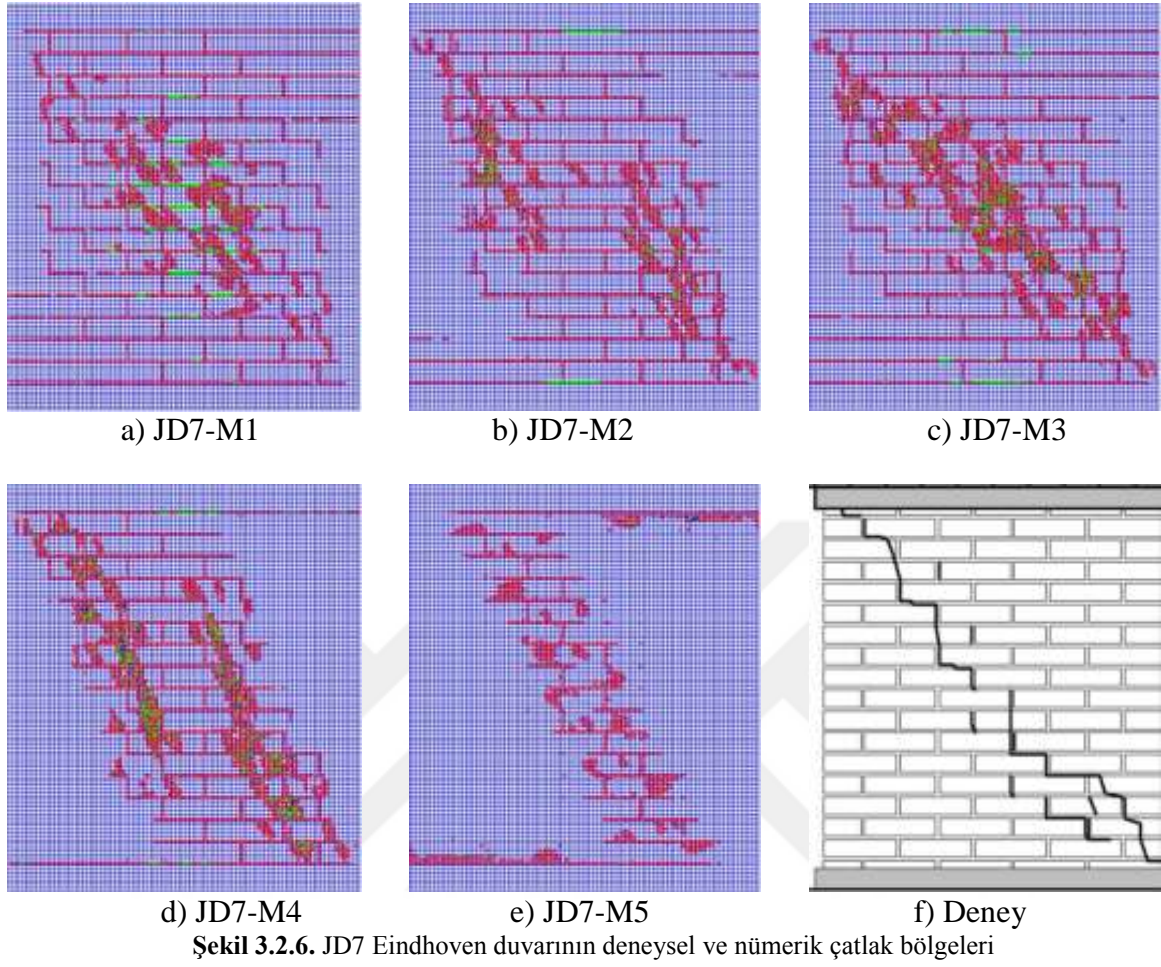
JD7-M1, JD7-M2, JD7-M3, JD7-M4 ve JD7-M5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafiği Şekil 3.2.5.'de görülmektedir. JD7 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 100.17 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değeri ise JD7-M1, JD7-M2, JD7-M3, JD7-M4 ve JD7-M5 için sırasıyla 93.38, 99.62, 104.98, 101.32 ve 104.70 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değeri deney sonuçlarıyla

karşılaştırıldığında; JD7-M1, JD7-M2, JD7-M3, JD7-M4 ve JD7-M5 için sırasıyla %7.78, %0.55, %4.80, %1.15 ve %4.52 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az fark JD7-M2 için hesaplandığı görülmektedir. JD7 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri 1.56 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD7-M1, JD7-M2, JD7-M3, JD7-M4 ve JD7-M5 için sırasıyla 1.12, 1.28, 1.28, 1.28 ve 1.12 mm olarak elde edilmiştir. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değeri deney sonuçlarına göre sırasıyla %28.20, %17.95, %17.95, %17.95 ve %28.20 oranlarında farklar elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD7-M2 çözümlerinden elde edilmiştir.



Şekil 3.2.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD7-M1, JD7-M2, JD7-M3, JD7-M4 ve JD7-M5 için tepe yer değiştirme değerlerinin sırasıyla 1.12, 1.28, 1.28, 1.28 ve 1.12 mm'ye ulaştığı anlarda JD7 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.2.6.'da görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD7 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında tüm çözümler için sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. Bu çatlak bölgesi JD7-M5 çözümü haricindeki tüm çözümlerde dağınık bir formda oluşmuştur. Aynı zamanda JD7-M4 çözümünde elde edilen bu diyagonal çatlak bölgesi iki parça şeklinde elde edilmiştir.

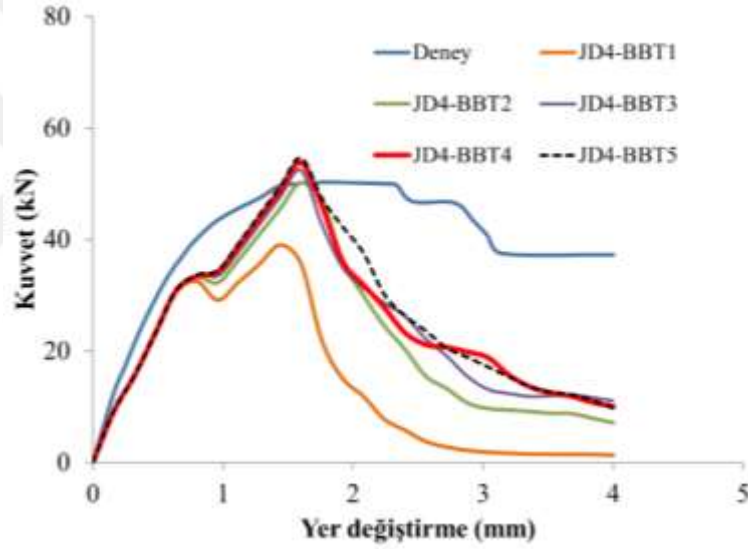


Bu bölümde harcın çekme dayanımı üzerine yapılan nümerik analizler dikkate alındığında, William-Warnke beton modeli için harcın çekme dayanımının $1/20$ katsayısı kullanılarak hesaplanabileceği belirlenmiştir.

3.3. Tuğlanın β_t Katsayısının Çözümler Üzerindeki Etkisi

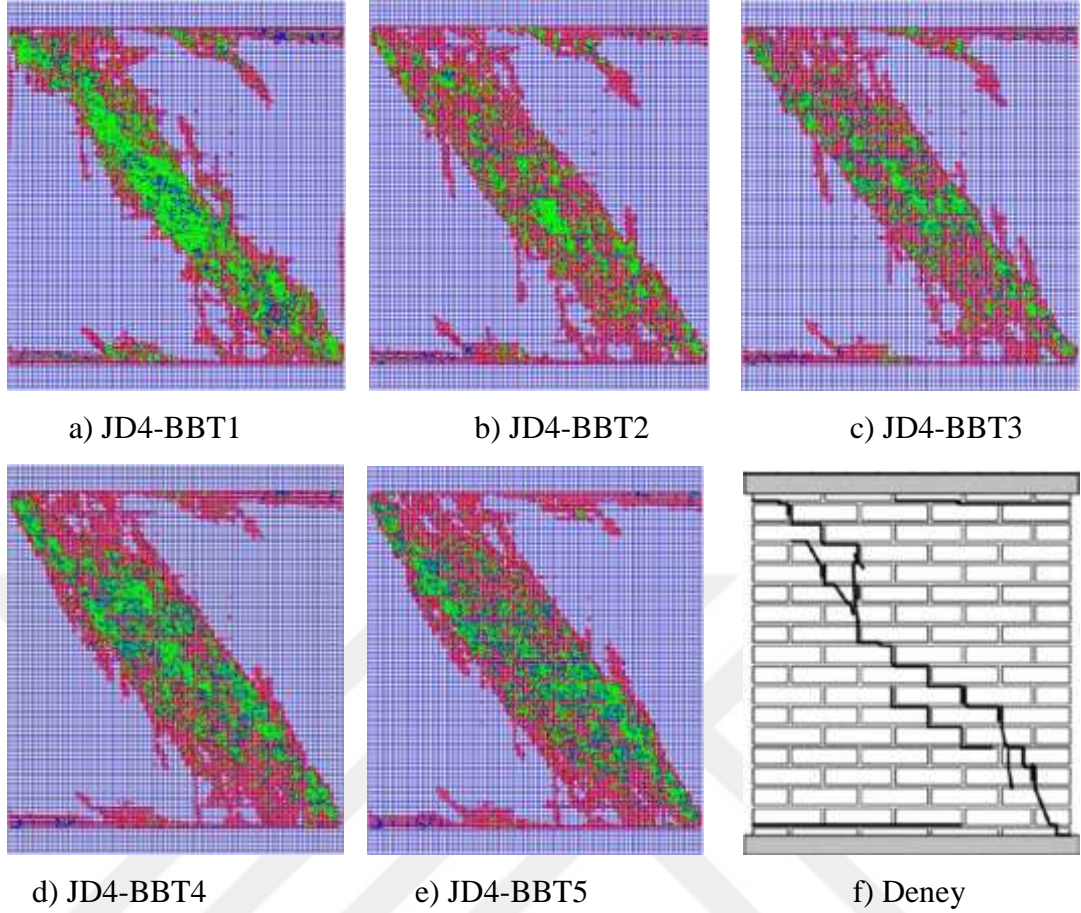
Bu bölümde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarının nümerik çözümlerinde, tuğla malzemesine ait β_t katsayısının çözümler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Nümerik çözümlerde β_c , 0.90 alınmış olup β_t ise 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 değerleri seçilerek sonuçlar elde edilmiştir. Harcın kayma gerilmesi iletim katsayıları ise çatlakın açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak seçilmiştir. Çözümlerde kullanılan tuğla ve harç malzemesinin mekanik özellikleri için Bölüm 3.1’de sırasıyla JD4-B4, JD6-B3 ve JD7-B2 çözümlerinde kullanılan malzeme özellikleri seçilmiştir.

JD4-BBT1, JD4-BBT2, JD4-BBT3, JD4-BBT4 ve JD4-BBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.3.1.'de görülmektedir. JD4 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 50.30 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD4-BBT1, JD4-BBT2, JD4-BBT3, JD4-BBT4 ve JD4-BBT5 için sırasıyla 39.00, 50.21, 52.42, 53.82 ve 54.60 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-BBT1, JD4-BBT2, JD4-BBT3, JD4-BBT4 ve JD4-BBT5 için sırasıyla %22.41, %0.13, %4.28, %7.07 ve %8.61 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-B2 için hesaplandığı görülmektedir.



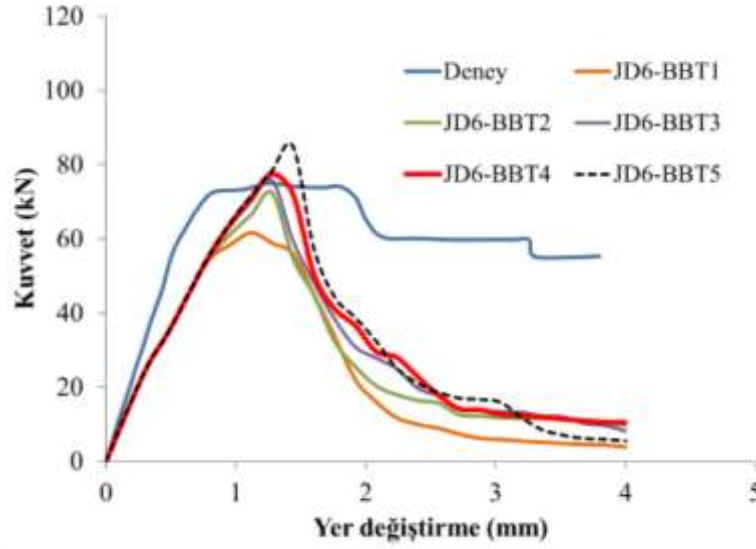
Şekil 3.3.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD4 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.74 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD4-BBT1, JD4-BBT2, JD4-BBT3, JD4-BBT4 ve JD4-BBT5 için sırasıyla 1.44, 1.60, 1.60, 1.60 ve 1.60 mm olarak elde edilmiştir. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %17.24, %8.05, %8.05, %8.05 ve %8.05 oranlarında daha küçük elde edildiği görülmüştür. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD4-BBT2 çözümlerinden elde edilmiştir.



Şekil 3.3.2. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlak bölgeleri

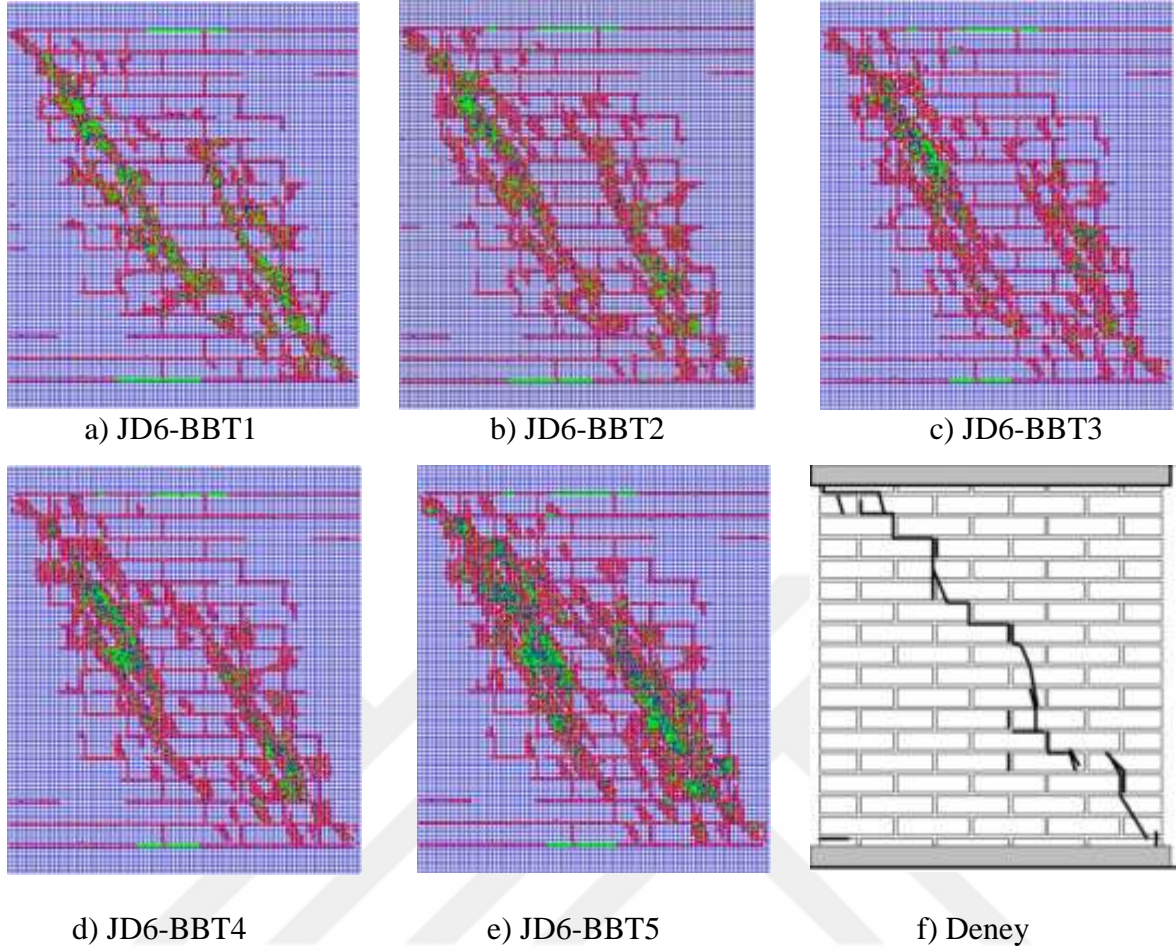
JD4-BBT1, JD4-BBT2, JD4-BBT3, JD4-BBT4 ve JD4-BBT5 için tepe yer değıştirme değeriyle sırasıyla 1.44, 1.60, 1.60, 1.60 ve 1.60 mm'ye ulaştığı anlarda JD4 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.3.2.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri, JD4 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değıştirme değeri için en uygun çözüm olan JD4-BBT2'in hasar bölgesi deneyden elde edilen çatlak yörüngesine benzer bölgelerde meydana gelmiş olup çok dağınık bir formda elde edilmiştir.



Şekil 3.3.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD6-BBT1, JD6-BBT2, JD6-BBT3, JD6-BBT4 ve JD6-BBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.3.3.'de görölmektedir. JD6 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 74.87 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD6-BBT1, JD6-BBT2, JD6-BBT3, JD6-BBT4 ve JD6-BBT5 için sırasıyla 61.23, 72.46, 75.83, 77.58 ve 85.07 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-BBT1, JD6-BBT2, JD6-BBT3, JD6-BBT4 ve JD6-BT5 için sırasıyla %17.69, %3.22, %1.28, %3.61 ve %13.62 oranlarında farkların oluştuğu görölmüştür. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-B3 çözümlünde hesaplandığı belirlenmiştir.

JD6 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri 1.22 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri JD6-BBT1, JD6-BBT2, JD6-BBT3, JD6-BBT4 ve JD6-BBT5 için sırasıyla 1.12, 1.28, 1.28, 1.28 ve 1.44 mm olarak elde edilmiştir. Bu yer değiştirme değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında sırasıyla %8.20, %4.92, %4.92, %4.92 ve %18.00 oranlarında farkların oluştuğu görölmüştür. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark, JD6-BBT3 çözümlünden elde edilmiştir.

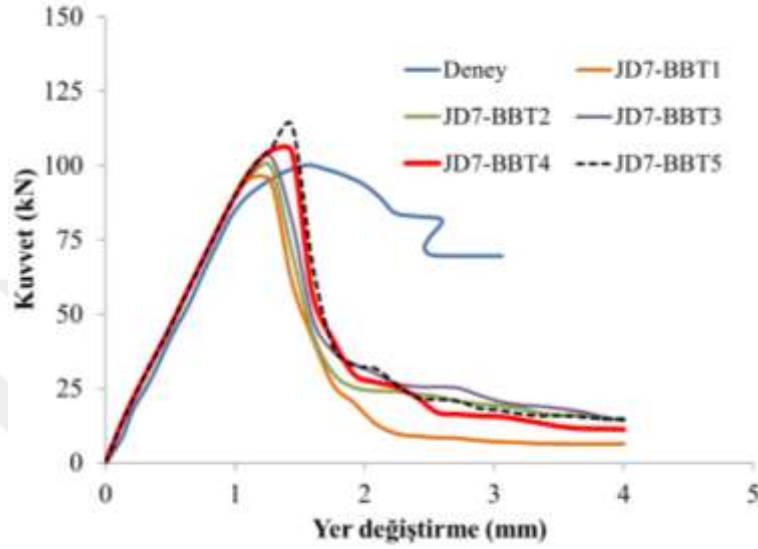


Şekil 3.3.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlak bölgeleri

JD6-BBT1, JD6-BBT2, JD6-BBT3, JD6-BBT4 ve JD6-BBT5 için tepe yer değıştirme değeri sırasıyla 1.28, 1.28, 1.28, 1.12 ve 1.12 mm'ye ulaştığı anlarda JD6 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.3.4.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD6 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında, tüm çözümlerde elde edilen bu diyagonal çatlak bölgesi iki parça şeklinde elde edilmiştir.

JD7-BBT1, JD7-BBT2, JD7-BBT3, JD7-BBT4 ve JD7-BBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafiği Şekil 3.3.5.'de görülmektedir. JD7 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 100.17 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değeri ise JD7-BBT1, JD7-BBT2, JD7-BBT3, JD7-BBT4 ve JD7-BBT5 için sırasıyla 95.66, 99.63, 102.76, 105.00 ve 113.63 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti

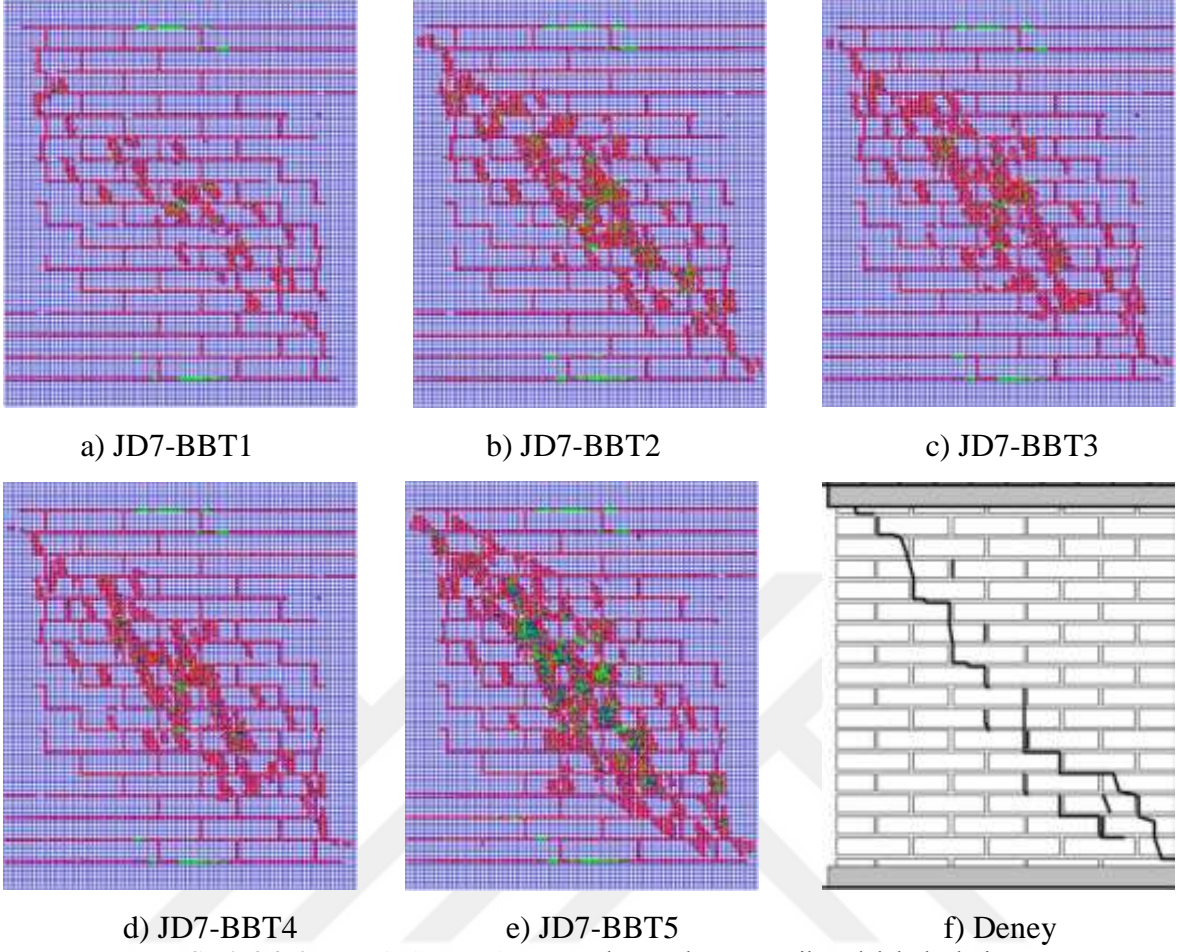
değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-BBT1, JD7-BBT2, JD7-BBT3, JD7-BBT4 ve JD7-BBT5 çözümleri için sırasıyla %4.51, %0.55, %2.59, %4.83 ve %13.17 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-BBT2 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.3.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD7 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.56 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD7-BBT1, JD7-BBT2, JD7-BBT3, JD7-BBT4 ve JD7-BBT5 için sırasıyla 1.12, 1.28, 1.28, 1.28 ve 1.44 mm olarak hesaplanmıştır. Bu yer değiştirme değerlerinin deney sonucuna göre %28.21, %17.95, %17.95, %17.95 ve %7.69 oranlarında daha küçük elde edildiği belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark, JD7-BBT2 çözümünden elde edilmiştir.

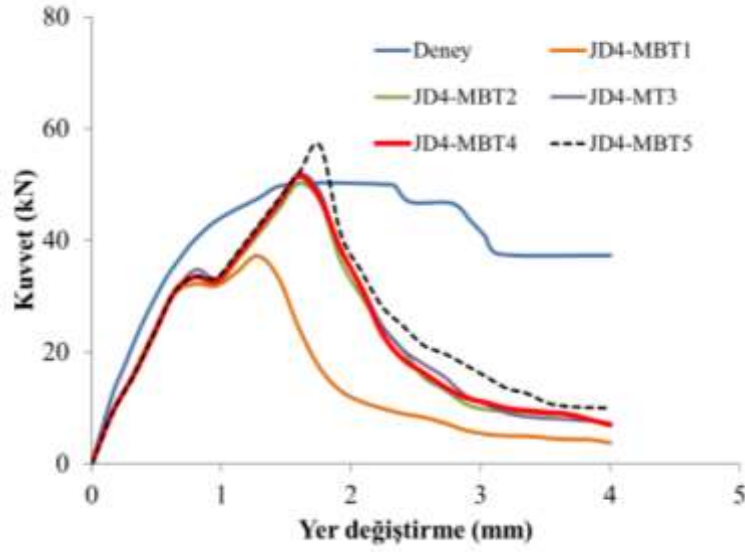
JD7-BBT1, JD7-BBT2, JD7-BBT3, JD7-BBT4 ve JD7-BBT5 için tepe yer değiştirme değerinin sırasıyla 1.12, 1.28, 1.28, 1.28 ve 1.44 mm'ye ulaştığı anlarda JD7 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.3.6.'da görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD7 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölgesi şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.



Şekil 3.3.6. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlak bölgeleri

3.4. Harcın β_t Katsayısının Çözümler Üzerindeki Etkisi

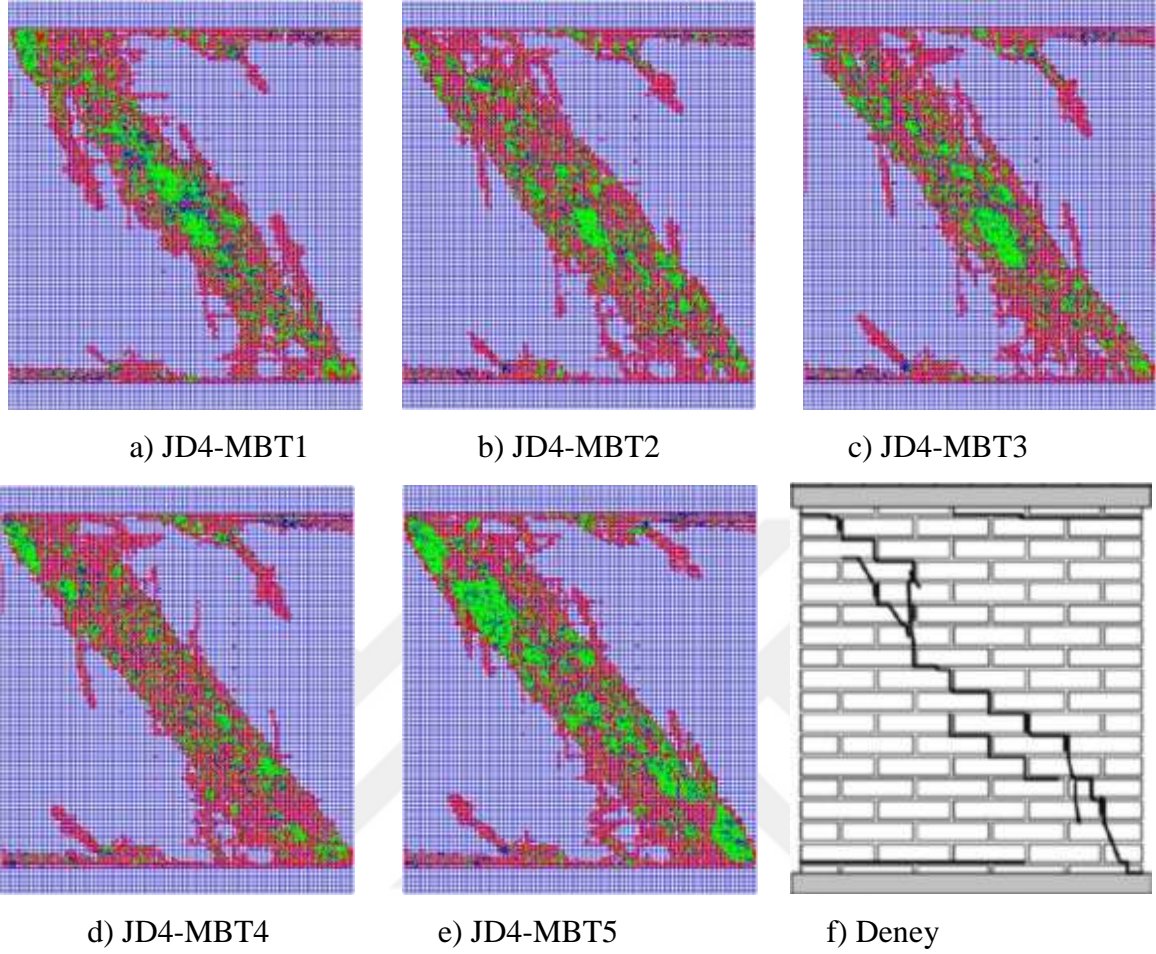
Bu bölümde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarının nümerik çözümlerinde, harç malzemesine ait β_t katsayısının çözümler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Nümerik çözümlerde β_c 0.90 alınmış olup β_t ise 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 değerleri seçilerek sonuçlar elde edilmiştir. Tuğlanın kayma gerilmesi iletim katsayıları ise çatlakın açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak seçilmiştir. Çözümlerde kullanılan tuğla ve harç malzemesinin mekanik özellikleri için Bölüm 3.1'de sırasıyla JD4-B4, JD6-B3 ve JD7-B2 çözümlerinde kullanılan malzeme özellikleri seçilmiştir.



Şekil 3.4.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

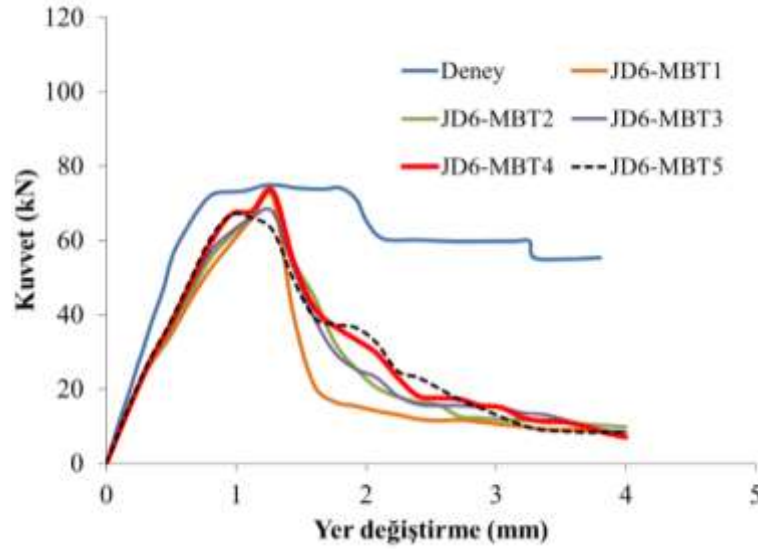
JD4-MBT1, JD4-MBT2, JD4-MBT3, JD4-MBT4 ve JD4-MBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.4.1.'de gürölmektedir. JD4 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 50.30 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD4-MBT1, JD4-MBT2, JD4-MBT3, JD4-MBT4 ve JD4-MBT5 için sırasıyla 37.20, 50.21, 51.85, 51.45 ve 57.00 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MBT1, JD4-MBT2, JD4-MBT3, JD4-MBT4 ve JD4-MBT5 için sırasıyla %25.97, %0.13, %3.15, %2.34 ve %13.58 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MBT2 çözümlerinde hesaplandığı gürölmektedir.

JD4 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün olduğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri 1.74 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD4-MBT1, JD4-MBT2, JD4-MBT3, JD4-MBT4 ve JD4-MBT5 için sırasıyla 1.28, 1.60, 1.60, 1.60 ve 1.76 mm olarak elde edilmiştir. Bu yer değiştirme değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında sırasıyla %27.27, %8.05, %8.05, %8.05 ve %1.15 oranlarında farklar elde edilmiştir. Bu farklar içerisinde en küçük değer JD4-M5 çözümlerinden hesaplanmıştır. Ancak, taban kesme kuvvetleri arasındaki farklar dikkate alındığında en büyük farkın bu çözümler için elde edildiği gürölmektedir. Bu nedenle en uygun çözümlerin JD4-MBT2 için olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.4.2. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

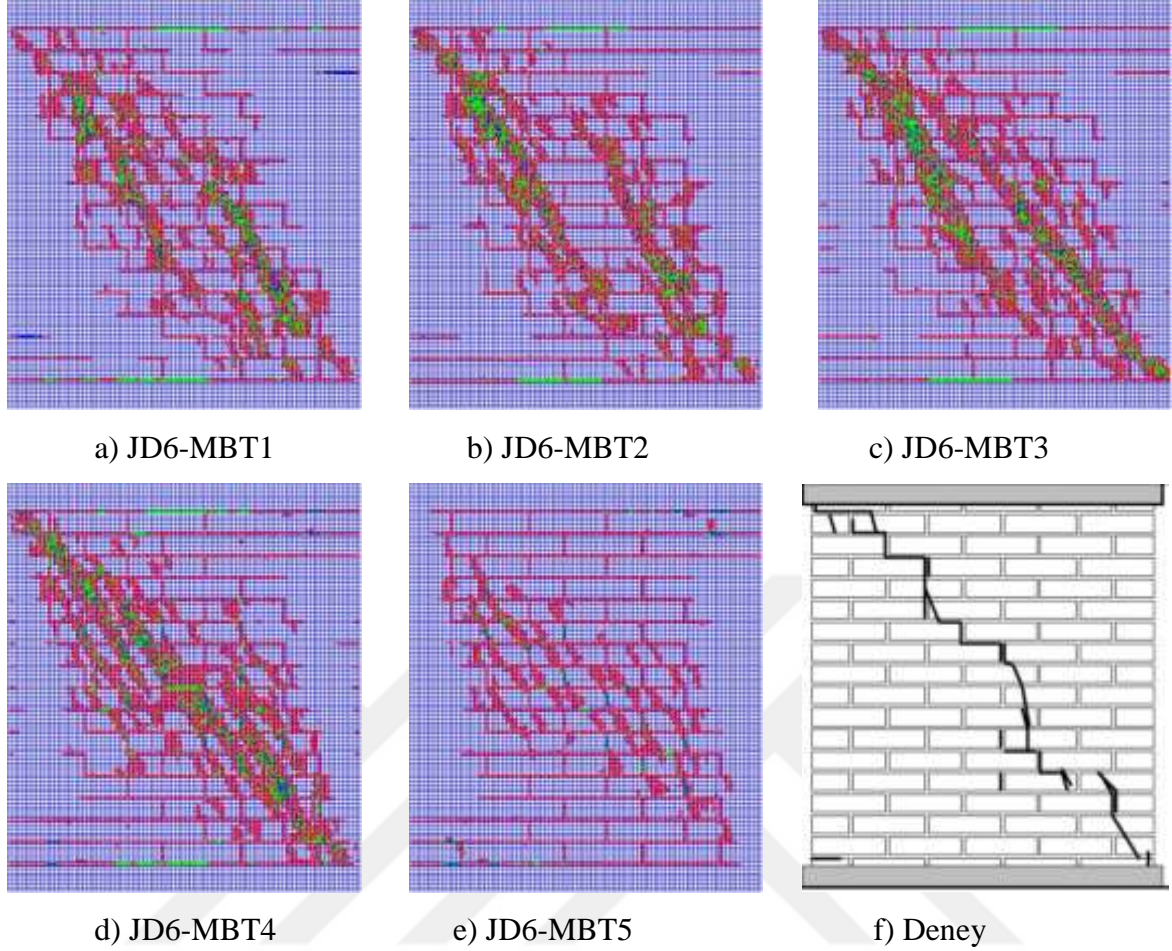
JD4-MBT1, JD4-MBT2, JD4-MBT3, JD4-MBT4 ve JD4-MBT5 için tepe yer değıştirme değeriyle 1.28, 1.60, 1.60, 1.60 ve 1.76 mm'ye ulaştığı anlarda JD4 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.4.2.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri, JD4 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değıştirme değeri için en uygun çözüm olan JD4-MBT2'in hasar bölgesi deneyden elde edilen çatlak yörüngesine benzer bölgelerde meydana gelmiş olup çok dağınık bir formda elde edilmiştir.



Şekil 3.4.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD6-MBT1, JD6-MBT2, JD6-MBT3, JD6-MBT4 ve JD6-MBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.4.3.'de görölmektedir. JD6 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 74.87 kN olarak elde edilmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD6-MBT1, JD6-MBT2, JD6-MBT3, JD6-MBT4 ve JD6-MBT5 için sırasıyla 71.79, 72.46, 67.67, 73.35 ve 66.94 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MBT1, JD6-MBT2, JD6-MBT3, JD6-MBT4 ve JD6-MBT5 için sırasıyla %4.11, %3.22, %9.62, %2.02 ve %10.60 oranlarında farkların olduğu belirlenmiş olup en az fark JD6-MBT4 için hesaplanmıştır.

JD6 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün olduğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri, 1.22 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD6-MBT1, JD6-MBT2, JD6-MBT3, JD6-MBT4 ve JD6-MBT5 için sırasıyla 1.28, 1.28, 1.28, 1.28 ve 0.96 mm olarak hesaplanmıştır. Bu yer değiştirme değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında sırasıyla %4.92, %4.92, %4.92, %4.92 ve %21.31 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark, JD6-MBT4 çözümlerinden elde edilmiştir.

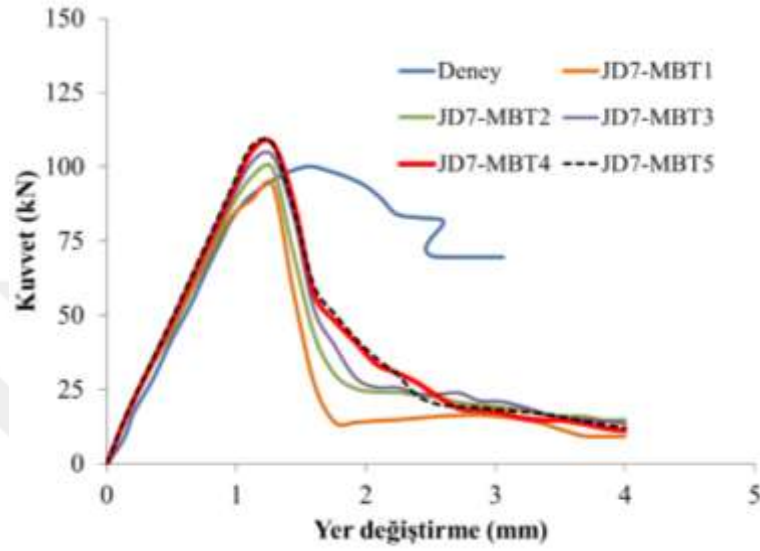


Şekil 3.4.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri.

JD6-MBT1, JD6-MBT2, JD6-MBT3, JD6-MBT4 ve JD6-MBT5 için tepe yer değıştirme değerlerinin sırasıyla 1.28, 1.28, 1.28, 1.28 ve 0.96 mm'ye ulaştığı anlarda JD6 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.4.4.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD6 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında, tüm çözümlerde elde edilen bu diyagonal çatlak bölgesi iki parça şeklinde elde edilmiştir.

JD7-MBT1, JD7-MBT2, JD7-MBT3, JD7-MBT4 ve JD7-MBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafiği Şekil 3.4.5.'de görülmektedir. JD7 duvarının deney sonuçlarından maksimum taban kesme kuvveti 100.17 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD7-MBT1, JD7-MBT2, JD7-MBT3, JD7-MBT4 ve JD7-MBT5 için sırasıyla 94.00, 99.63, 103.81, 107.83 ve 107.76 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti

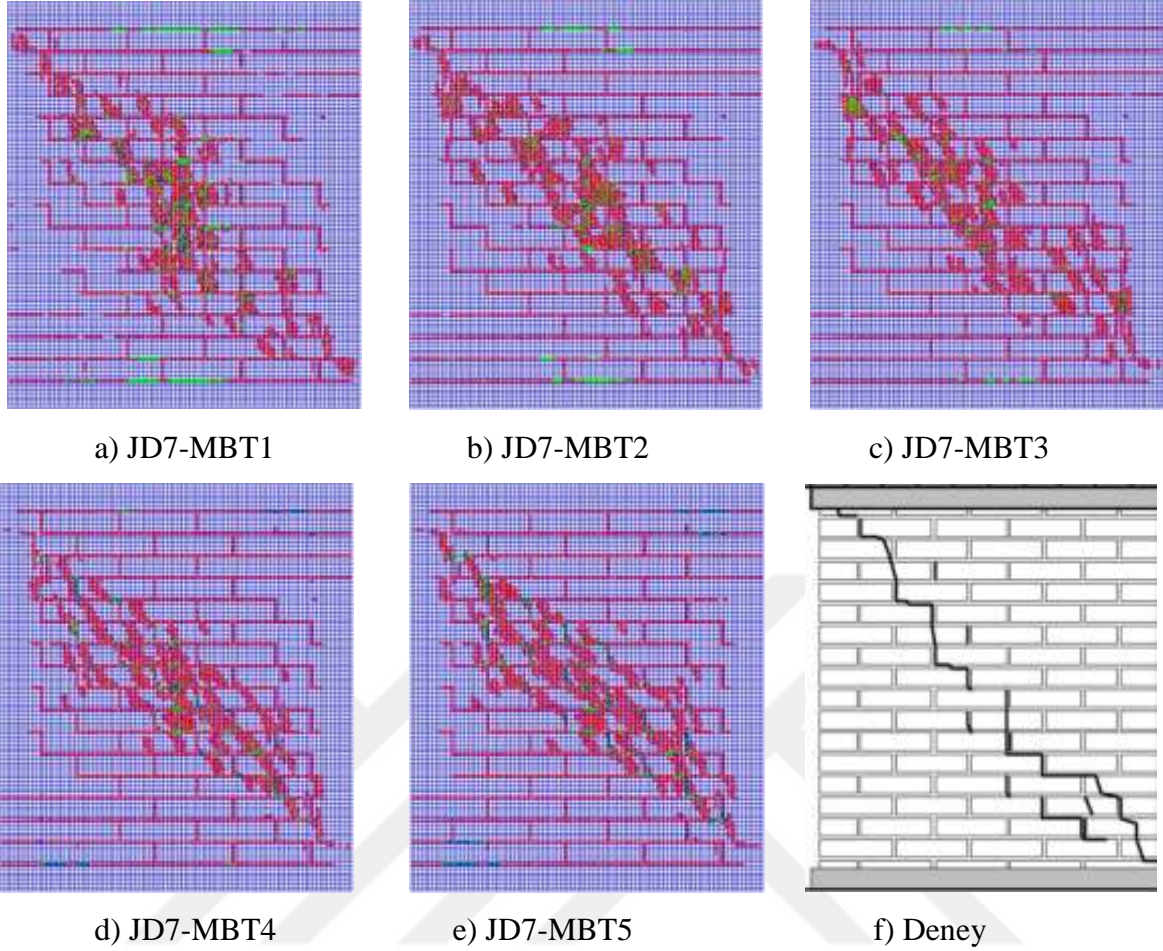
değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MBT1, JD7-MBT2, JD7-MBT3, JD7-MBT4 ve JD7-MBT5 için sırasıyla %6.16, %0.55, %3.63, %7.65 ve %7.58 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az fark, JD7-MBT2 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.4.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD7 duvarının deney sonuçlarından maksimum yükün olduğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri 1.56 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD7-MBT1, JD7-MBT2, JD7-MBT3, JD7-MBT4 ve JD7-MBT5 çözümlerinin tamamında 1.28 mm olarak elde edilmiştir. Bu yer değiştirme değeri deney sonucuyla karşılaştırıldığında %17.95 oranında daha küçük elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD7-MBT2 çözümünden elde edilmiştir.

JD7-MBT1, JD7-MBT2, JD7-MBT3, JD7-MBT4 ve JD7-MBT5 için tepe yer değiştirme değerinin 1.28 mm'ye ulaştığı anlarda JD7 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.4.6.'da görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD7 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölgesi şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.



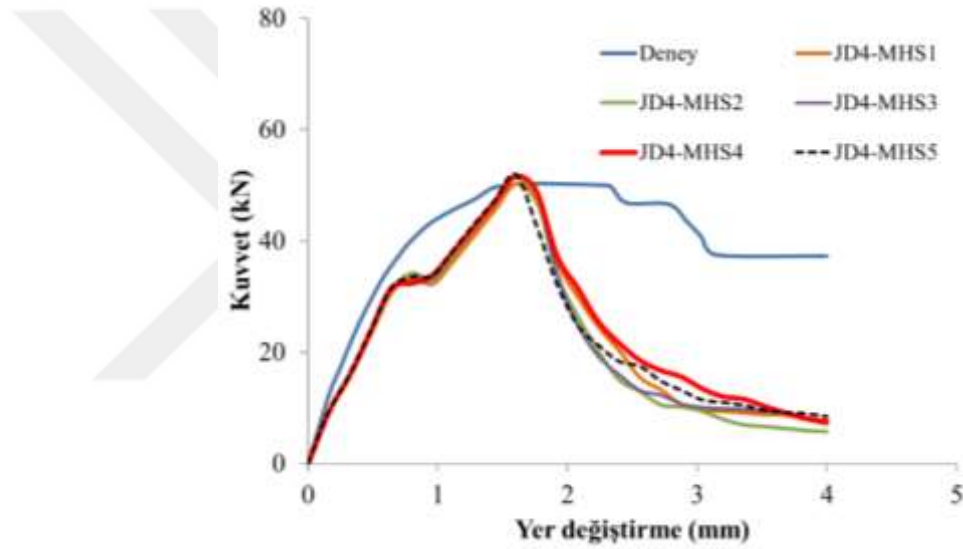
Şekil 3.4.6. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

3.5. Harç Malzemesinin Başlık Bölgesine ait Dayanımın Çözümler Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarının nümerik çözümlerinde kullanılan harç malzemesinin başlık bölgesine ait çekme ve basınç dayanımının söz konusu yığma duvarın nümerik analizleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Başlık bölgesindeki harcın tek eksenli basınç dayanımı sırasıyla 10, 15, 20, 25, 30 MPa olarak seçilmiş olup harcın elastisite modülü değerleri (3.1) denklemi yardımıyla hesaplanmıştır. Harcın tek eksenli çekme dayanım değerleri ise 1/20 katsayısı kullanılarak hesaba katılmıştır. Kayma gerilmesi iletim katsayıları çatlakın açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak dikkate alınmıştır. Harcın yatak bölgesinin ve tuğla malzemesinin özellikleri ise Bölüm 3.1' de sırasıyla JD4-B4, JD6-B3 ve JD7-B2 çözümlerinde kullanılan malzeme özelliği değerleri alınmıştır.

JD4-MHS1, JD4- MHS2, JD4-MHS3, JD4-MHS4 ve JD4-MHS5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen

maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.5.1.'de grlmektedir. JD4 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 50.30 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD4-MHS1, JD4- MHS2, JD4-MHS3, JD4-MHS4 ve JD4-MHS5 için sırasıyla 50.21, 51.40, 51.53, 51.64 ve 52.02 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MHS1, JD4-MHS2, JD4-MHS3, JD4-MHS4 ve JD4-MHS5 için sırasıyla %0.13, %2.52, %2.51, %2.71 ve %3.48 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MHS1 için hesaplandığı grlmektedir.

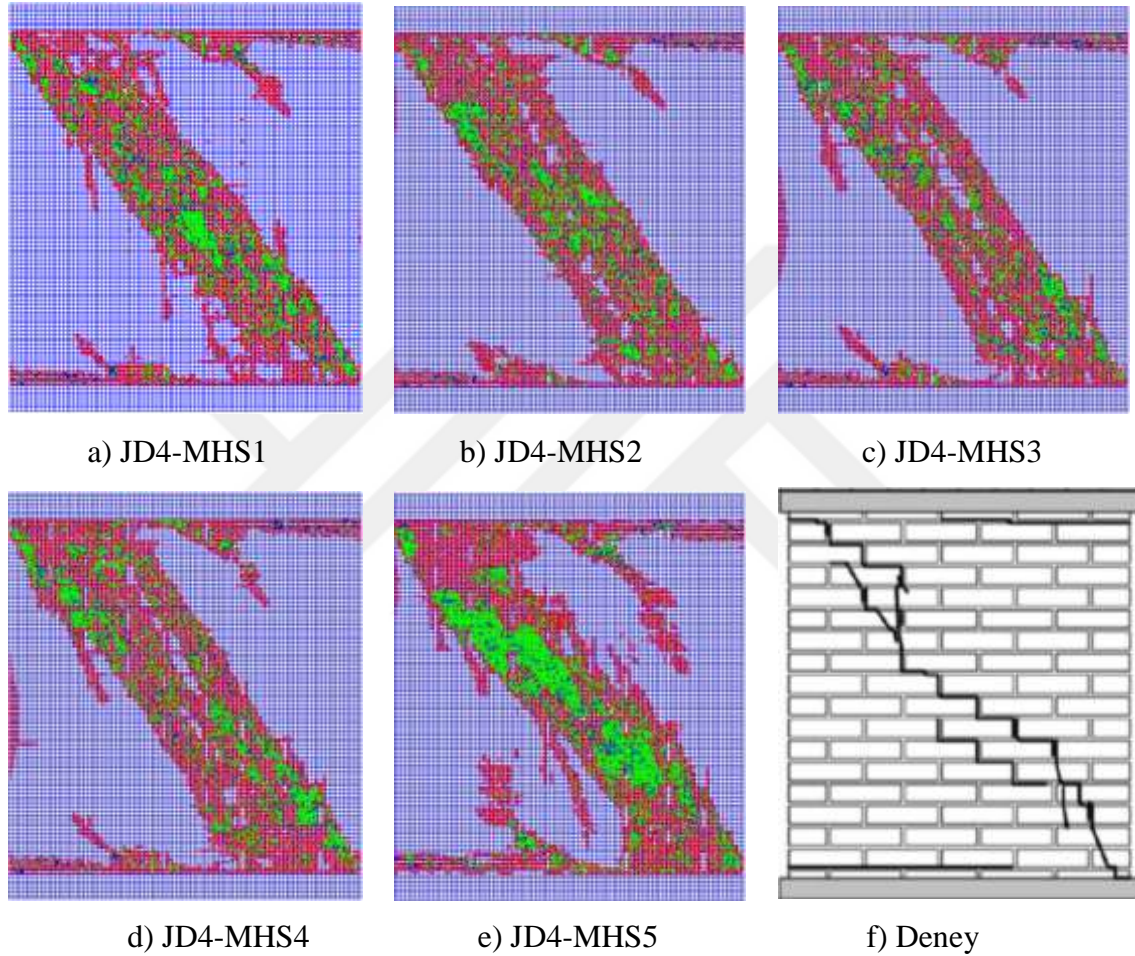


Şekil 3.5.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD4 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.74 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD4-MHS1, JD4-MHS2, JD4-MHS3, JD4-MHS4 ve JD4-MHS5 için tüm çözümlerde 1.60 mm olarak elde edilmiştir. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin %8.05 oranında daha küçük elde edildiği grlmştr. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD4-MHS1 çözümlerinden elde edilmiştir.

JD4 duvarının deney sonucundan elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği yardımıyla enerji yutma kapasitesi 161.29 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Nümerik analizlerden elde edilen bu enerji yutma kapasitesi ise JD4-MHS1, JD4- MHS2, JD4-MHS3, JD4-MHS4 ve JD4-MHS5 zmleri için sırasıyla 90.84, 86.98, 89.43, 96.99

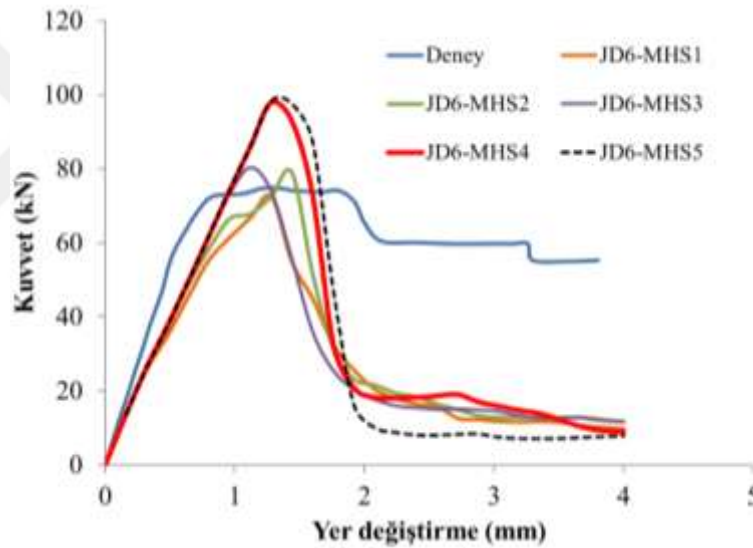
ve 91.90 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MHS1, JD4-MHS2, JD4-MHS3, JD4-MHS4 ve JD4-MHS5 için sırasıyla %43.68, %46.07, %44.56, %39.87 ve %43.02 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MHS4 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.5.2. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

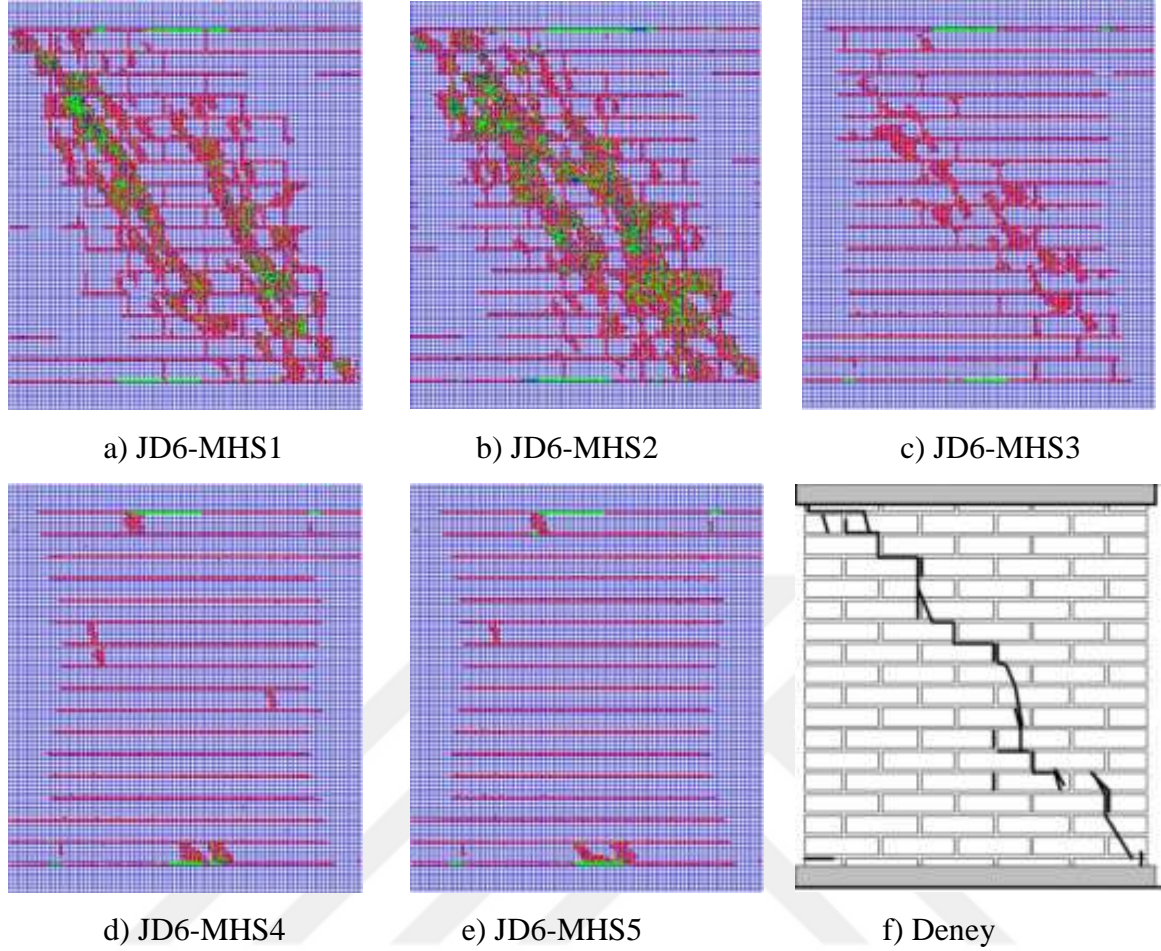
JD4-MHS1, JD4-MHS2, JD4-MHS3, JD4-MHS4 ve JD4-MHS5 için tepe yer değıştirme değeri 1.60'ye ulaştığı anlarda JD4 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.5.2'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri, JD4 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.

JD6-MHS1, JD6-MHS2, JD6-MHS3, JD6-MHS4 ve JD6-MHS5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.5.3.'de görülmektedir. JD6 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 74.87 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD6-MHS1, JD6-MHS2, JD6-MHS3, JD6-MHS4 ve JD6-MHS5 için sırasıyla 72.46, 79.05, 80.41, 97.88 ve 98.36 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MHS1, JD6-MHS2, JD6-MHS3, JD6-MHS4 ve JD6-MHS5 için sırasıyla %3.22, %5.89, %7.39, %30.74 ve %31.37 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-MHS1 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.5.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD6 duvarının deney sonucundan maksimum yükün olduğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.22 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD6-MHS1, JD6-MHS2, JD6-MHS3, JD6-MHS4 ve JD6-MHS5 için sırasıyla 1.28, 1.44, 1.12, 1.28, 1.28 mm olarak hesaplanmıştır. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %4.92, %18.03, %8.20, %4.92 ve %4.92 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD6-MHS1 çözümlerinden elde edilmiştir.

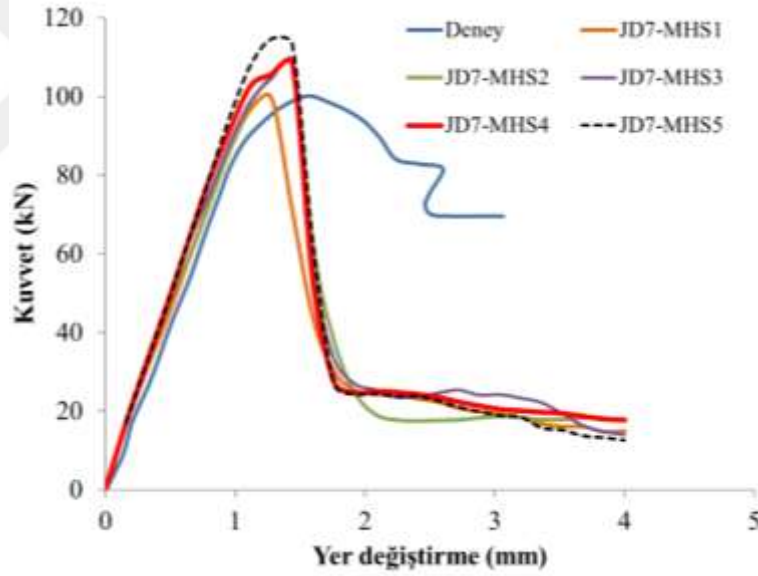


Şekil 3.5.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD6 duvarının deney sonucundan elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği yardımıyla enerji yutma kapasitesi 227.05 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Nümerik analizlerden elde edilen bu enerji yutma kapasitesi ise JD6-MHS1, JD6-MHS2, JD6-MHS3, JD6-MHS4 ve JD6-MHS5 çözümleri için sırasıyla 111.20, 121.13, 115.91, 135.90 ve 126.63 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MHS1, JD6-MHS2, JD6-MHS3, JD6-MHS4 ve JD6-MHS5 için sırasıyla %51.02, %46.65, %48.95, %40.15 ve %43.23 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-MHS4 için hesaplandığı görülmektedir. JD6-MHS1, JD6-MHS2, JD6-MHS3, JD6-MHS4 ve JD6-MHS5 için tepe yer değiştirme değerlerinin sırasıyla 1.28, 1.44, 1.12, 1.28 ve 1.28 mm' ye ulaştığı anlarda JD6 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.5.4.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD6 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen

iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında, tüm çözümlerde elde edilen bu diyagonal çatlak bölgesi iki parça şeklinde elde edilmiştir.

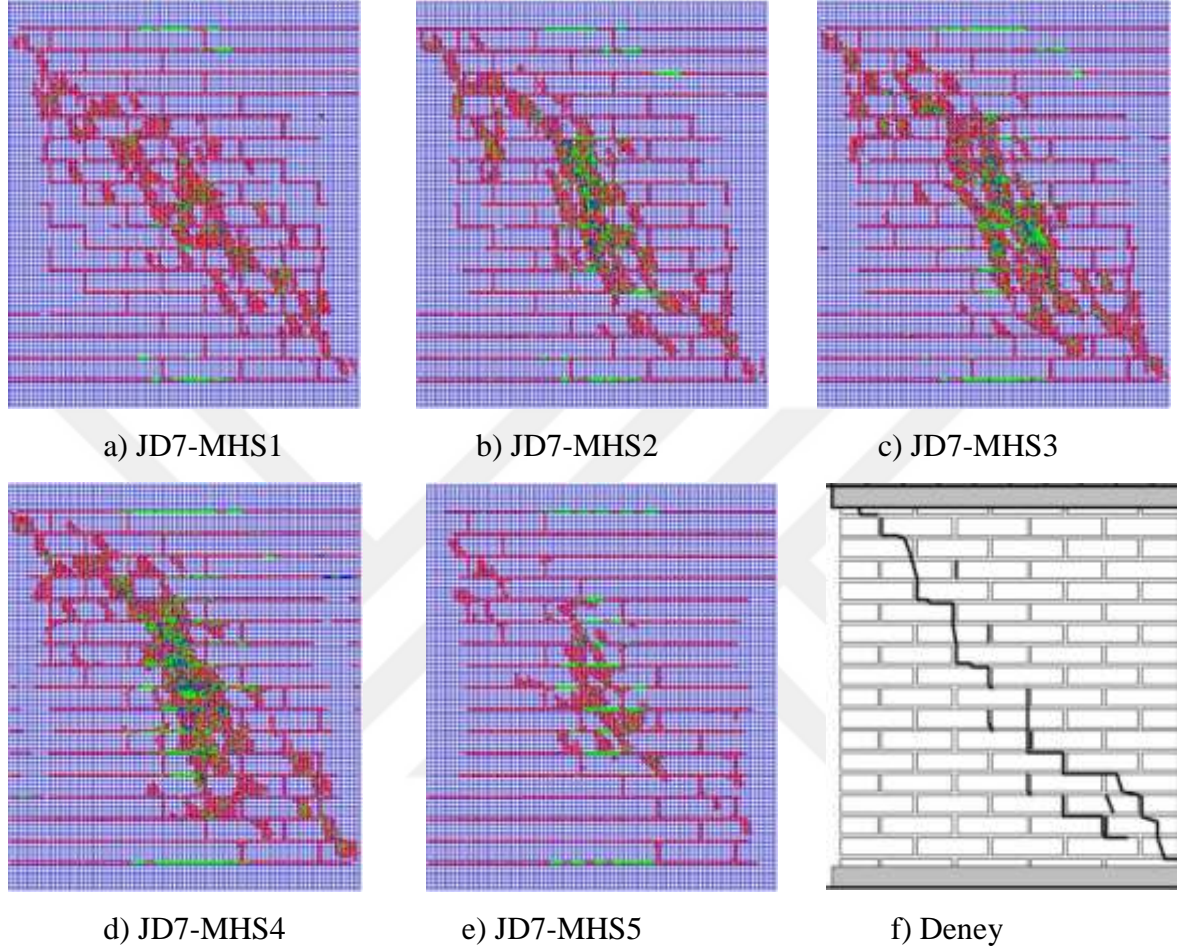
JD7-MHS1, JD7-MHS2, JD7-MHS3, JD7-MHS4 ve JD7-MHS5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.5.5.'de görülmektedir. JD7 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 100.17 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD7-MHS1, JD7-MHS2, JD7-MHS3, JD7-MHS4 ve JD7-MHS5 için sırasıyla 99.63, 108.42, 108.95, 108.57 ve 114.63 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MHS1, JD7-MHS2, JD7-MHS3, JD7-MHS4 ve JD7-MHS5 için sırasıyla %0.55, %8.23, %8.77, %8.38 ve %14.43 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-MHS1 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.5.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD7 duvarının deney sonucundan maksimum yükün olduğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.56 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD7-MHS1, JD7-MHS2, JD7-MHS3, JD7-MHS4 ve JD7-MHS5 için sırasıyla 1.28, 1.44, 1.44, 1.44, 1.28 mm olarak hesaplanmıştır. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %17.95, %7.69, %7.69, %7.69 ve %17.95 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer

değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD7-MHS2 çözümlerinden elde edilmiştir.



Şekil 3.5.6. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

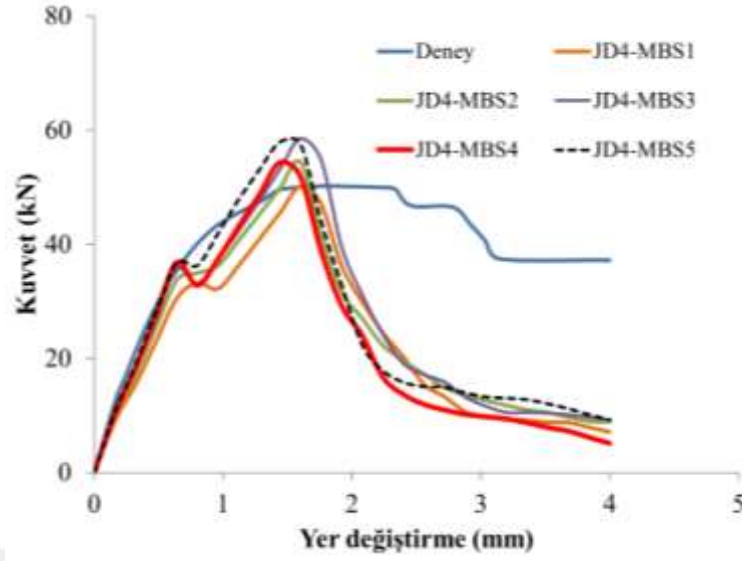
JD7 duvarının deney sonucundan elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği yardımıyla enerji yutma kapasitesi 219.68 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Nümerik analizlerden elde edilen bu enerji yutma kapasitesi ise JD7-MHS1, JD7-MHS2, JD7-MHS3, JD7-MHS4 ve JD7-MHS5 çözümleri için sırasıyla 145.77, 154.97, 162.74, 161.87 ve 162.29 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MHS1, JD7-MHS2, JD7-MHS3, JD7-MHS4 ve JD7-MHS5 için sırasıyla %33.65, %29.46, %25.92, %26.32 ve %26.13 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-MHS3 için hesaplandığı görülmektedir.

JD7-MHS1, JD7- MHS2, JD7- MHS3, JD7- MHS4 ve JD7- MHS5 için tepe yer değiştirme değerlerinin sırasıyla 1.28, 1.44, 1.12, 1.28 ve 1.28 mm'ye ulaştığı anlarda JD7 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.5.6.'da görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD7 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölgesi şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.

3.6. Harç Malzemesinin Yatak Bölgesine Ait Dayanımın Çözümler Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarında kullanılan yatak bölgesine ait harç malzemesinin çekme ve basınç dayanımının yığma duvarın nümerik analizleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Başlık bölgesindeki harcın tek eksenli basınç dayanımı sırasıyla 10, 15, 20, 25, 30 MPa olarak seçilmiş olup harcın elastisite modülü değerleri (3.1) denklemi yardımıyla hesaplanmıştır. Harcın tek eksenli çekme dayanım değerleri ise 1/20 katsayısı kullanılarak hesaba katılmıştır. Kayma gerilmesi iletim katsayıları çatlağın açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak dikkate alınmıştır. Harcın Başlık bölgesinin ve tuğla malzemesinin özellikleri ise Bölüm 3.1'de sırasıyla JD4-B4, JD6-B3 ve JD7-B2 çözümlerinde kullanılan malzeme özelliği değerleri alınmıştır.

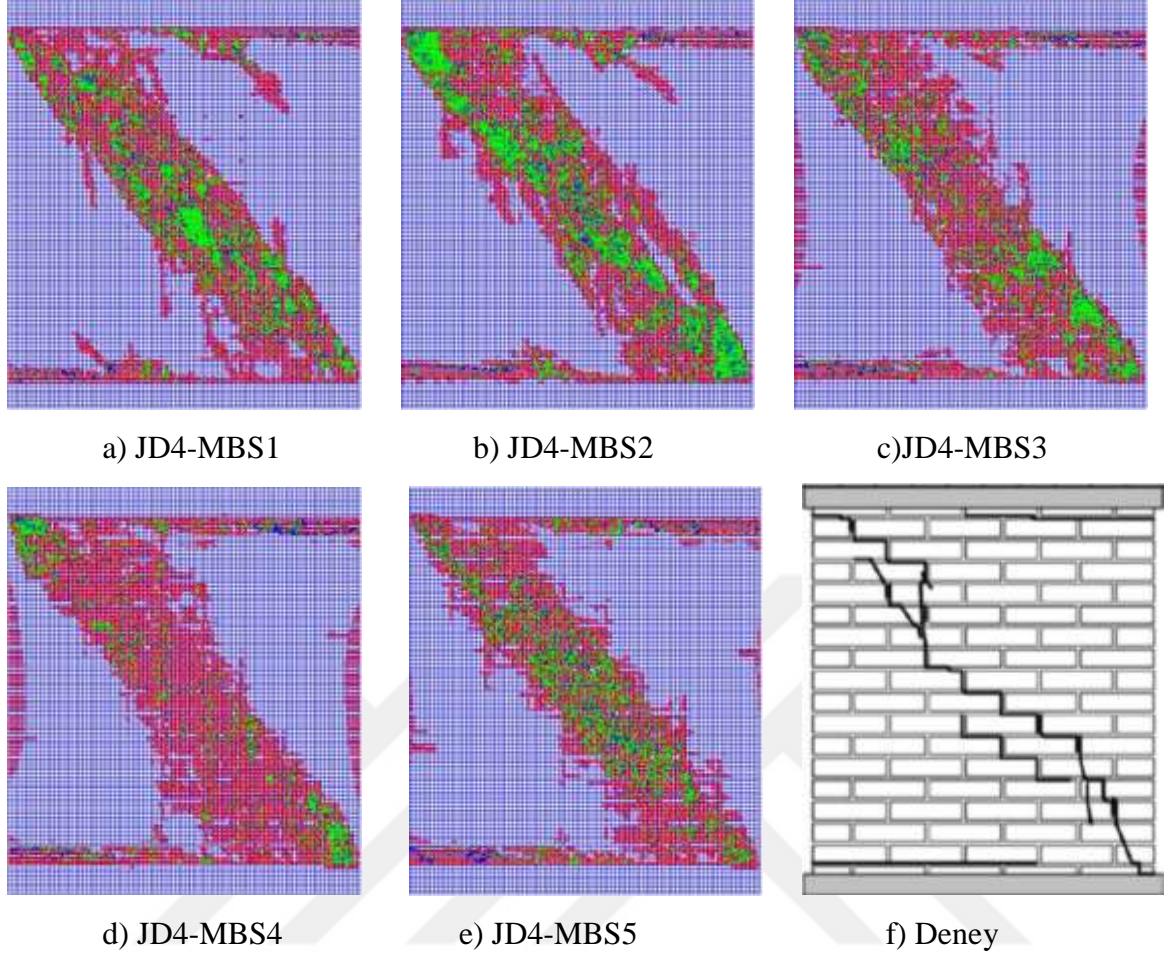
JD4-MBS1, JD4-MBS2, JD4-MBS3, JD4-MBS4 ve JD4-MBS5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.6.1.'de görülmektedir. JD4 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 50.30 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD4-MBS1, JD4-MBS2, JD4-MBS3, JD4-MBS4 ve JD4-MBS5 için sırasıyla 50.21, 54.46, 58.56, 54.37 ve 57.88 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MBS1, JD4-MBS2, JD4-MBS3, JD4-MBS4 ve JD4-MBS5 için sırasıyla %0.13, %8.34, %16.48, %8.16 ve %15.13 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MBS1 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.6.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD4 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri 1.74 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD4-MBS1, JD4-MBS2, JD4-MBS3, JD4-MBS4 ve JD4-MBS5 için sırasıyla 1.60, 1.60, 1.60, 1.44, 1.44 mm olarak elde edilmiştir. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %8.05, %8.05, %8.05, %17.24, %17.24 oranında daha küçük elde edildiği görülmüştür. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD4-MBS1 çözümlerinden elde edilmiştir.

JD4-MBS1, JD4-MBS2, JD4-MBS3, JD4-MBS4 ve JD4-MBS5 duvarlarının nümerik analizlerinden hesaplanan enerji yutma kapasiteleri ise sırasıyla 90.84, 96.08, 102.42, 90.32 ve 100.41 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MBS1, JD4-MBS2, JD4-MBS3, JD4-MBS4 ve JD4-MBS5 için sırasıyla %43.68, %40.43, %36.50, %44.00 ve %37.74 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MBS3 için hesaplandığı görülmektedir.

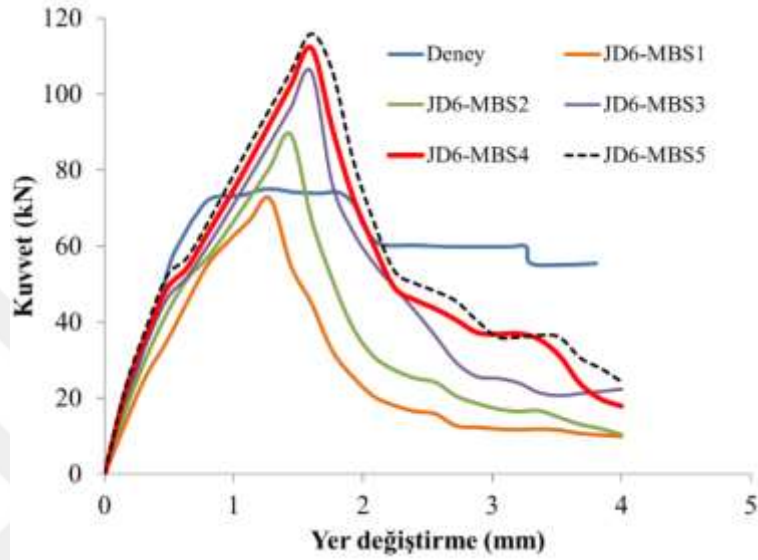


Şekil 3.6.2. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD4-MBS1, JD4-MBS2, JD4-MBS3, JD4-MBS4 ve JD4-MBS5 için tepe yer değiştirme değerlerinin sırasıyla 1.60, 1.60, 1.60, 1.44 ve 1.44 mm'ye ulaştığı anlarda JD4 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.6.2.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri, JD4 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.

JD6-MBS1, JD6-MBS2, JD6-MBS3, JD6-MBS4 ve JD6-MBS5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.6.3.'de görülmektedir. JD6 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 74.87 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD6-MBS1, JD6-MBS2, JD6-MBS3, JD6-MBS4 ve JD6-MBS5 için sırasıyla 72.46, 89.05, 105.89, 112.16 ve 115.85 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti

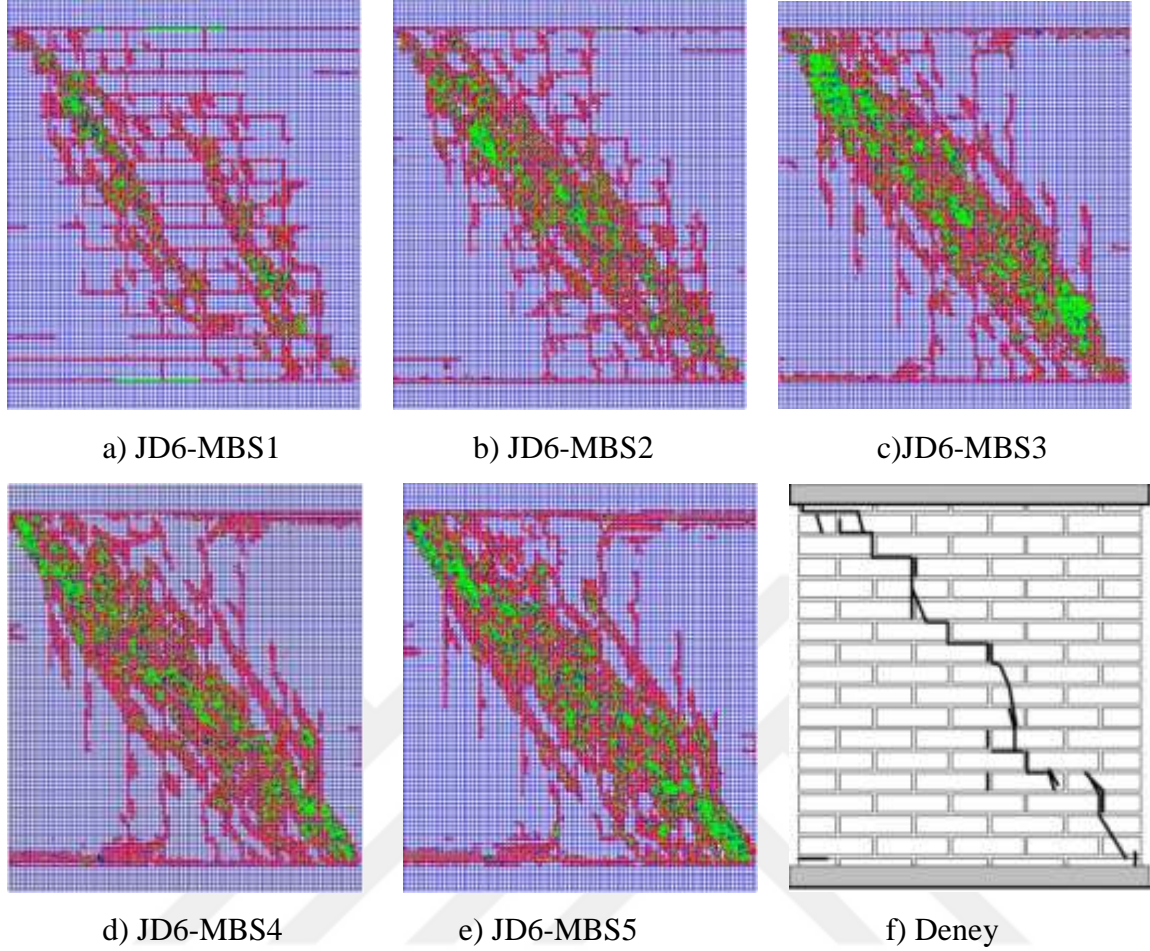
değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MBS1, JD6-MBS2, JD6-MBS3, JD6-MBS4 ve JD6-MBS5 için sırasıyla %3.22, %19.48, %41.22, %49.80 ve %54.73 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-MBS1 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.6.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD6 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.22 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD6-MBS1, JD6-MBS2, JD6-MBS3, JD6-MBS4 ve JD6-MBS5 için sırasıyla 1.28, 1.44, 1.60, 1.60, 1.60 mm olarak hesaplanmıştır. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %4.92, %18.03, %31.15, %31.15 ve %31.15 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD6-MBS1 çözümlerinden elde edilmiştir.

JD6-MBS1, JD6-MBS2, JD6-MBS3, JD6-MBS4 ve JD6-MBS5 duvarlarının nümerik analizlerinden hesaplanan enerji yutma kapasiteleri ise sırasıyla 111.20, 143.45, 186.16, 209.49 ve 222.07 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MBS1, JD6-MBS2, JD6-MBS3, JD6-MBS4 ve JD6-MBS5 için sırasıyla %51.02, %36.82, %18.01, %7.73 ve %2.19 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-MBS5 için hesaplandığı görülmektedir.

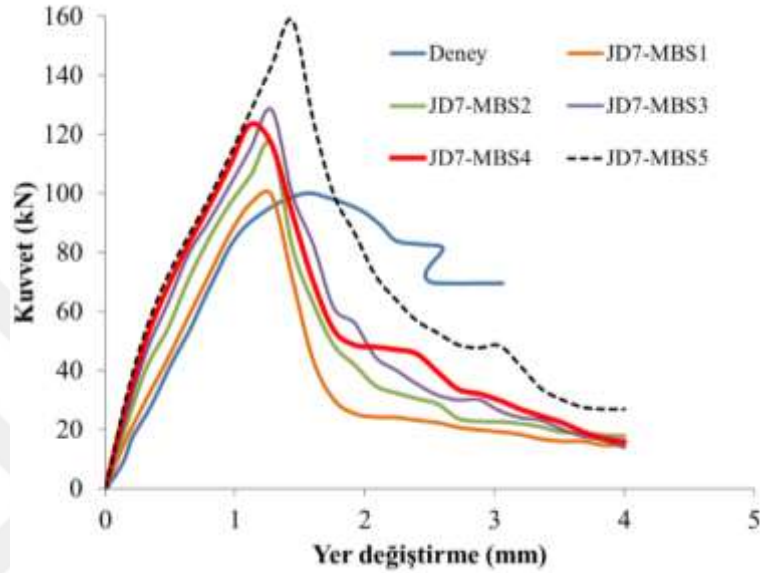


Şekil 3.6.4. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD6-MBS1, JD6-MBS2, JD6-MBS3, JD6-MBS4 ve JD6-MBS5 için tepe yer değıştirme değeriyle 1.28, 1.44, 1.60, 1.60 ve 1.60 mm'ye ulaştığı anlarda JD6 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.6.4.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD6 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında, tüm çözümlerde elde edilen bu diyagonal çatlak bölgesi iki parça şeklinde elde edilmiştir.

JD7-MBS1, JD7-MBS2, JD7-MBS3, JD7-MBS4 ve JD7-MBS5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafiği Şekil 3.6.5.'de görülmektedir. JD7 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 100.17 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değeri ise JD7-MBS1, JD7-MBS2, JD7-MBS3, JD7-MBS4 ve JD7-MBS5 için sırasıyla 99.63, 116.63, 128.41, 123.46 ve 158.68 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti

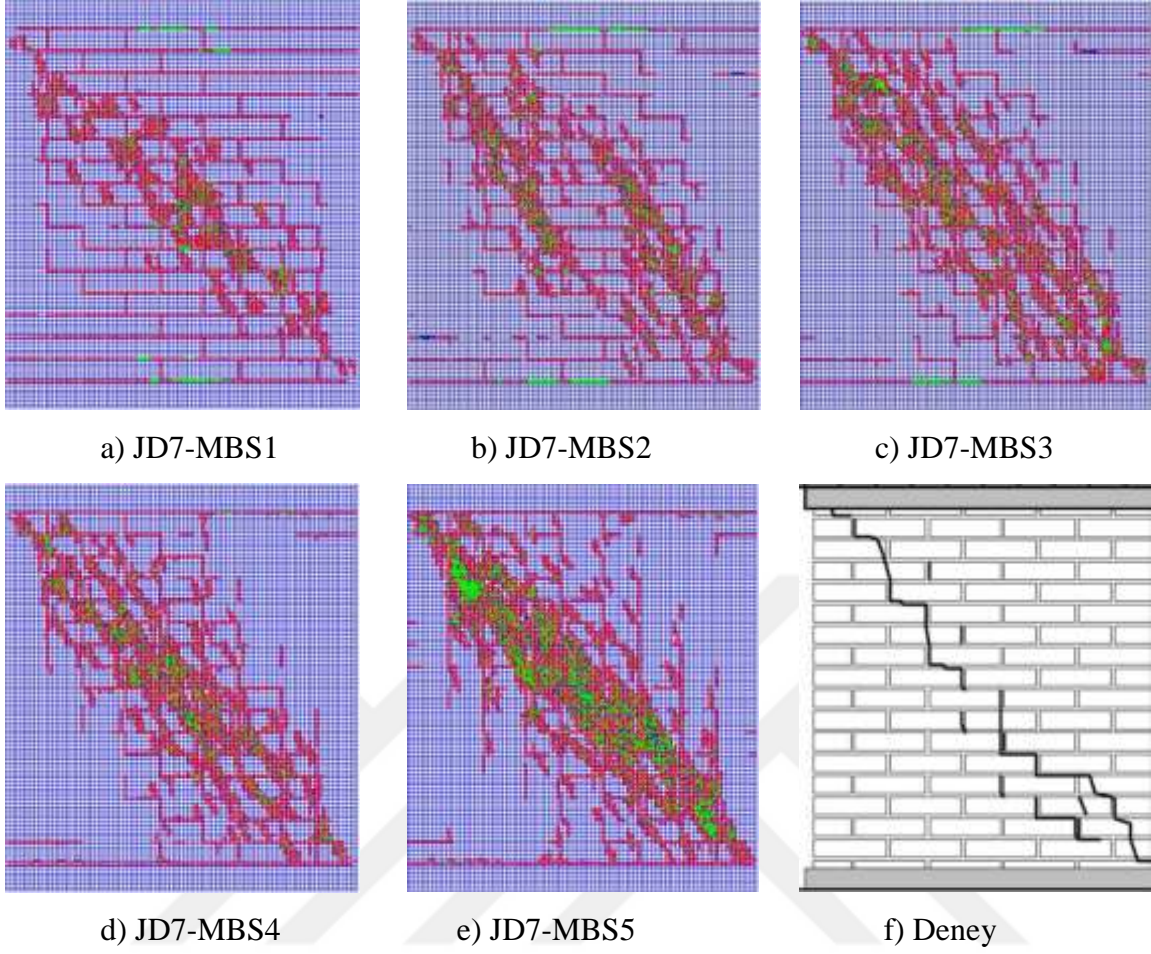
değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MBS1, JD7-MBS2, JD7-MBS3, JD7-MBS4 ve JD7-MBS5 için sırasıyla %3.55, %16.46, %28.19, %23.25 ve %58.41 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-MBS1 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.6.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD7 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.56 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD7-MBS1, JD7-MBS2, JD7-MBS3, JD7-MBS4 ve JD7-MBS5 için sırasıyla 1.28, 1.28, 1.28, 1.12, 1.44 mm olarak hesaplanmıştır. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %17.95, %17.95, %17.95, %28.21 ve %7.69 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD7-MBS1 çözümlerinden elde edilmiştir.

JD7-MBS1, JD7-MBS2, JD7-MBS3, JD7-MBS4 ve JD7-MBS5 duvarlarının nümerik analizlerinden hesaplanan enerji yutma kapasiteleri ise sırasıyla 145.77, 179.26, 205.57, 211.38 ve 274.89 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MBS1, JD7-MBS2, JD7-MBS3, JD7-MBS4 ve JD7-MBS5 için sırasıyla %33.65, %18.40, %6.42, %3.78 ve %25.13 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-MBS4 için hesaplandığı görülmektedir.

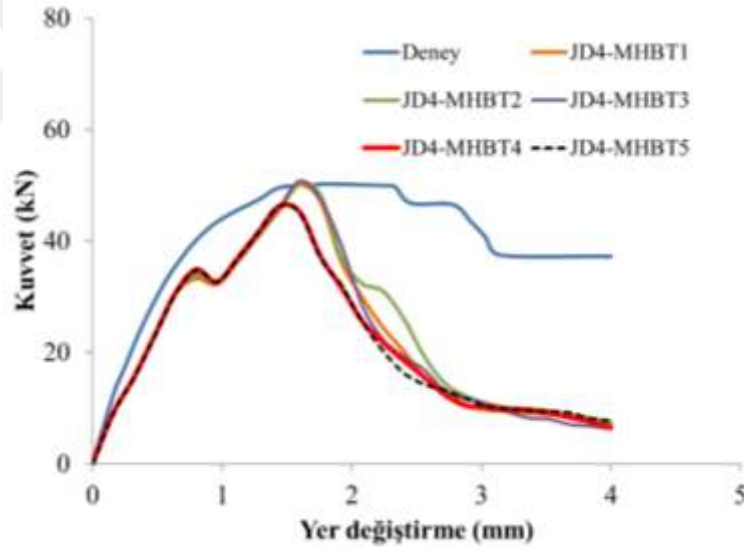


Şekil 3.6.6. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD7-MBS1, JD7- MBS2, JD7- MBS3, JD7- MBS4 ve JD7- MBS5 için tepe yer değıştirme değerlerinin sırasıyla 1.28, 1.28, 1.28, 1.12 ve 1.44 mm'ye ulaştığı anlarda JD7 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.5.6.'da görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD7 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölgesi şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.

3.7. Harç Malzemesi Başlık Bölgesine Ait β_t Katsayısının Çözümler Üzerindeki Etkisi

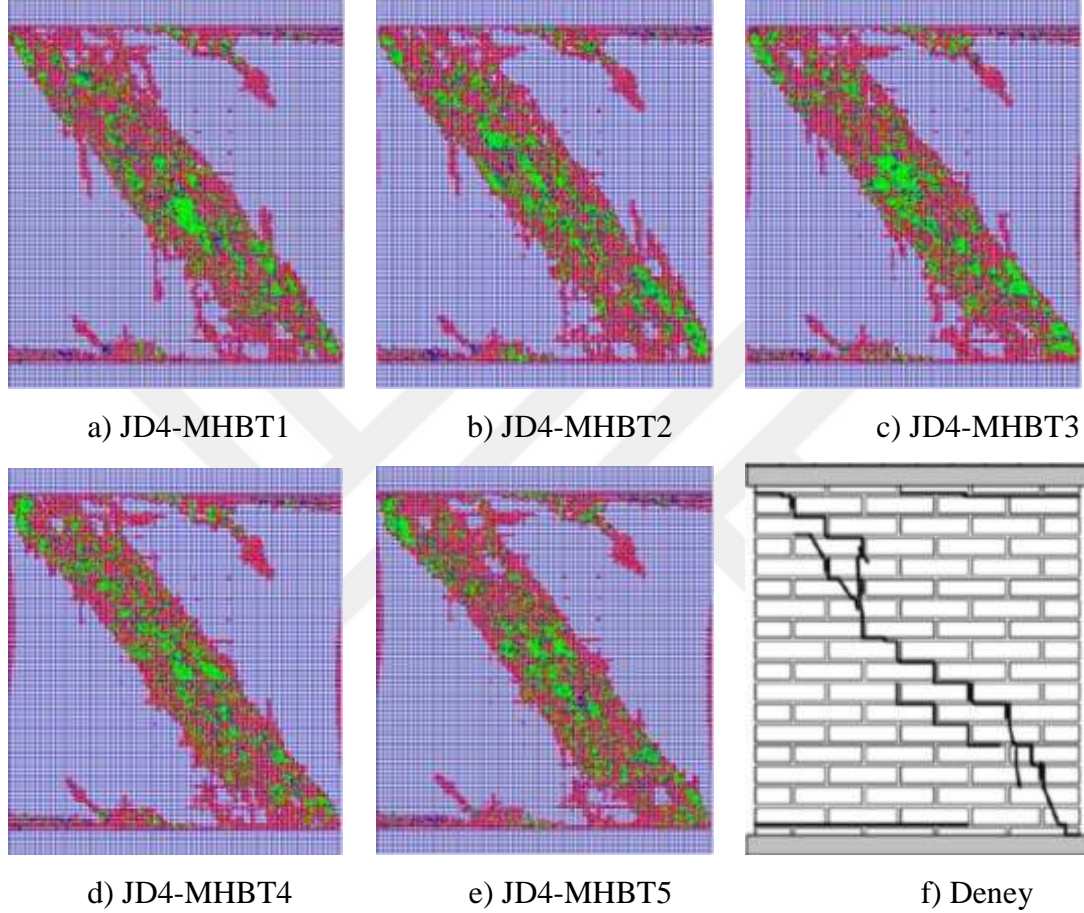
Bu bölümde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarının nümerik çözümlerinde, başlık bölgesindeki harç malzemesine ait β_t katsayısının çözümler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Başlık bölgesi için çözümlerde β_c 0.90 alınmış olup β_t ise 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 değerleri seçilerek sonuçlar elde edilmiştir. Yatak bölgesi için tüm çözümlerde β_c 0.90 alınmış olup β_t ise 0.05 seçilmiştir. Tuğlanın kayma gerilmesi iletim katsayıları ise çatlakların açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak seçilmiştir. Çözümlerde kullanılan tuğla ve harç malzemesinin mekanik özellikleri için Bölüm 3.1’de sırasıyla JD4-B4, JD6-B3 ve JD7-B2 çözümlerinde kullanılan malzeme özelliği değerleri alınmıştır.



Şekil 3.7.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme Grafikleri

JD4-MHBT1, JD4-MHBT2, JD4-MHBT3, JD4-MHBT4 ve JD4-MHBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.7.1.’de görülmektedir. JD4 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 50.30 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD4-MHBT1, JD4-MHBT2, JD4-MHBT3, JD4-MHBT4 ve JD4-MHBT5 için sırasıyla 50.21, 50.49, 50.77, 46.21 ve 46.33 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme

kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MHBT1, JD4-MHBT2, JD4-MHBT3, JD4-MHBT4 ve JD4-MHBT5 için sırasıyla %0.13, %0.44, %1.00, %8.08 ve %7.85 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MHBT1 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.7.2. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD4 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.74 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD4-MHBT1, JD4-MHBT2, JD4-MHBT3, JD4-MHBT4 ve JD4-MHBT5 için sırasıyla 1.60, 1.60, 1.60, 1.44, 1.44 mm olarak elde edilmiştir. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %8.05, %8.05, %8.05, %17.24, %17.24 oranında daha küçük elde edildiği görülmüştür. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD4-MHBT1 çözümlerinden elde edilmiştir.

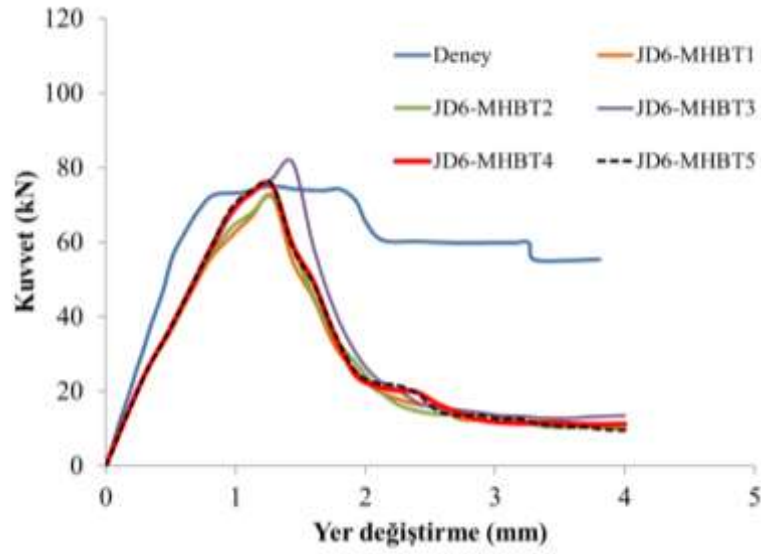
Nümerik analizlerden hesaplanan enerji yutma kapasitesi ise JD4-MHBT1, JD4-MHBT2, JD4-MHBT3, JD4-MHBT4 ve JD4-MHBT5 çözümleri için sırasıyla 90.84,

95.39, 90.82, 86.86 ve 86.75 KN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MHBT1, JD4-MHBT2, JD4-MHBT3, JD4-MHBT4 ve JD4-MHBT5 için sırasıyla %43.68, %40.86, %43.69, %46.15 ve %46.21 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MHBT2 için hesaplandığı görülmektedir.

JD4-MHBT1, JD4-MHBT2, JD4-MHBT3, JD4-MHBT4 ve JD4-MHBT5 için tepe yer değiştirme değerlerinin sırasıyla 1.60, 1.60, 1.60, 1.44 ve 1.44 mm'ye ulaştığı anlarda JD4 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.7.2.' de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri, JD4 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir

JD6-MHBT, JD6-MHBT2, JD6-MHBT3, JD6-MHBT4 ve JD6-MHBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.7.3.'de görülmektedir. JD6 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 74.87 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD6-MHBT, JD6-MHBT2, JD6-MHBT3, JD6-MHBT4 ve JD6-MHBT5 için sırasıyla 72.46, 72.07, 81.35, 75.14 ve 75.54 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MHBT1, JD6-MHBT2, JD6-MHBT3, JD6-MHBT4 ve JD6-MHBT5 için sırasıyla %3.22, %3.74, %8.65, %0.38 ve %0.90 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-MBS4 için hesaplandığı görülmektedir.

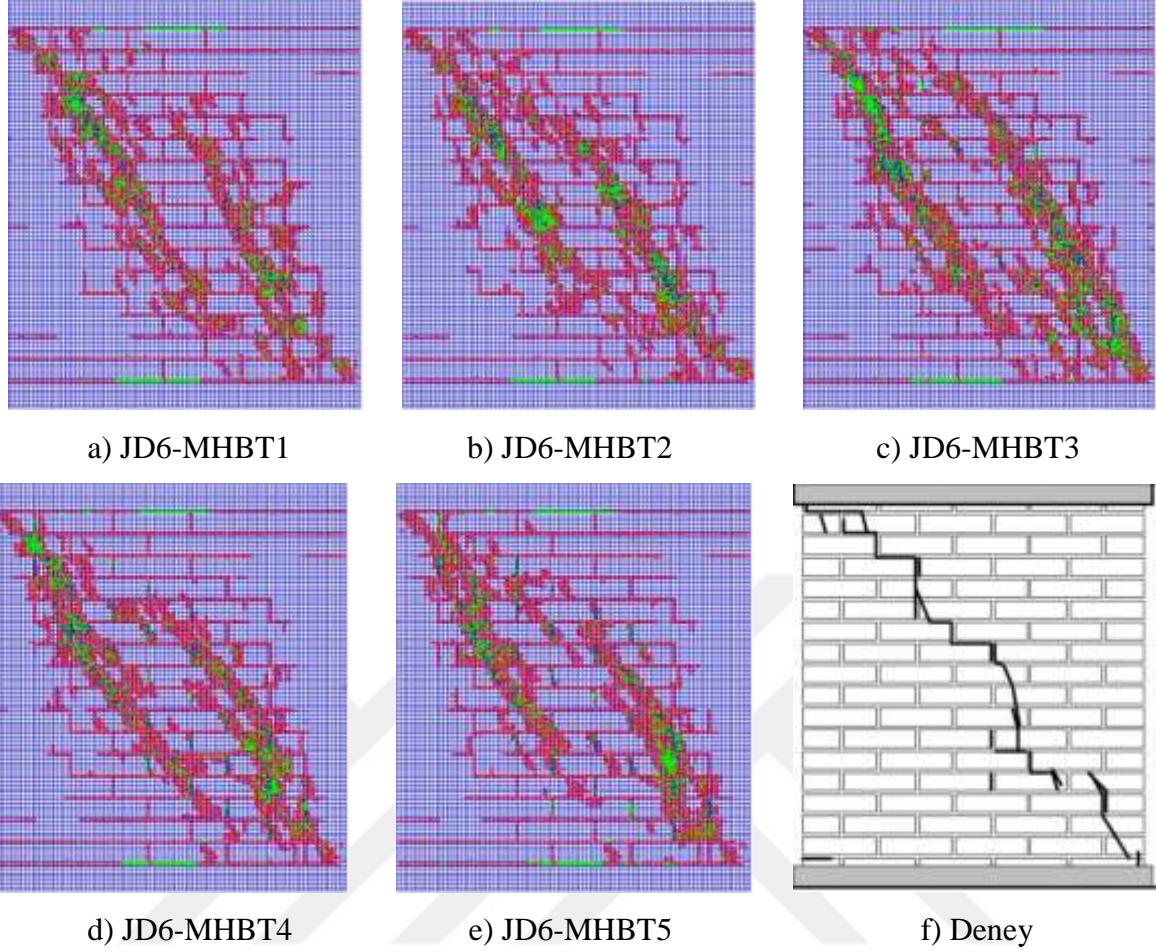
JD6 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.22 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD6-MHBT1, JD6-MHBT2, JD6-MHBT3, JD6-MHBT4 ve JD6-MHBT5 için sırasıyla 1.28, 1.28, 1.44, 1.28, 1.28 mm olarak hesaplanmıştır. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %4.92, %4.92, %18.03, %4.92 ve %4.92 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD6-MHBT4 çözümlerinden elde edilmiştir.



Şekil 3.7.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

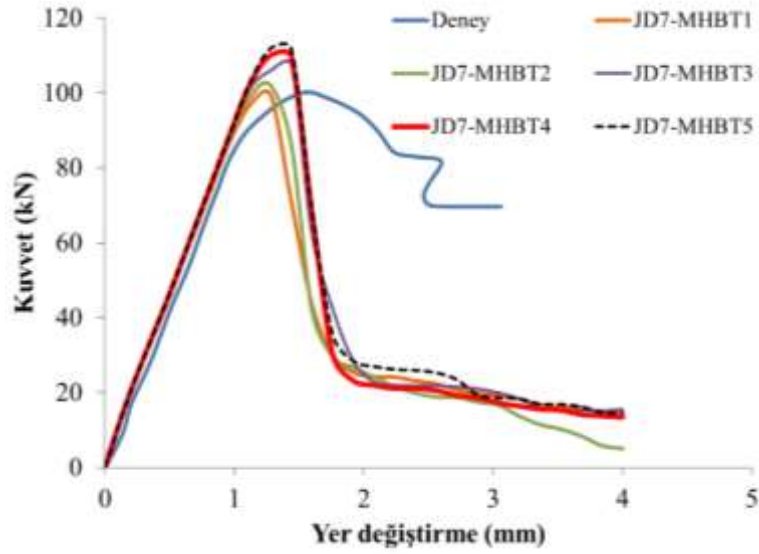
JD6-MHBT1, JD6-MHBT2, JD6-MHBT3, JD6-MHBT4 ve JD6-MHBT5 duvarlarının nümerik analizlerinden hesaplanan enerji yutma kapasiteleri ise sırasıyla 111.20, 113.04, 127.01, 117.60 ve 118.02 KN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MHBT1, JD6-MHBT2, JD6-MHBT3, JD6-MHBT4 ve JD6-MHBT5 için sırasıyla %51.02, %50.22, %44.06, %48.21 ve %48.02 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-MHBT5 için hesaplandığı gürülmektedir.

JD6-MHBT1, JD6-MHBT2, JD6-MHBT3, JD6-MHBT4 ve JD6-MHBT5 için tepe yer değiştirme değerlerinin sırasıyla 1.28, 1.28, 1.44, 1.28 ve 1.28 mm'ye ulaştığı anlarda JD6 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.7.4.' de gürülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD6 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında, tüm çözümlerde elde edilen bu diyagonal çatlak bölgesi iki parça şeklinde elde edilmiştir.



Şekil 3.7.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD7-MHBT, JD7-MHBT2, JD7-MHBT3, JD7-MHBT4 ve JD7-MHBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.7.5.'de görülmektedir. JD7 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 100.17 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD7-MHBT, JD7-MHBT2, JD7-MHBT3, JD7-MHBT4 ve JD7-MHBT5 için sırasıyla 99.63, 101.99, 107.63, 110.00 ve 111.95 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MHBT1, JD7-MHBT2, JD7-MHBT3, JD7-MHBT4 ve JD7-MHBT5 için sırasıyla %0.55, %1.82, %7.44, %9.81 ve %11.76 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-MHBT1 için hesaplandığı görülmektedir.



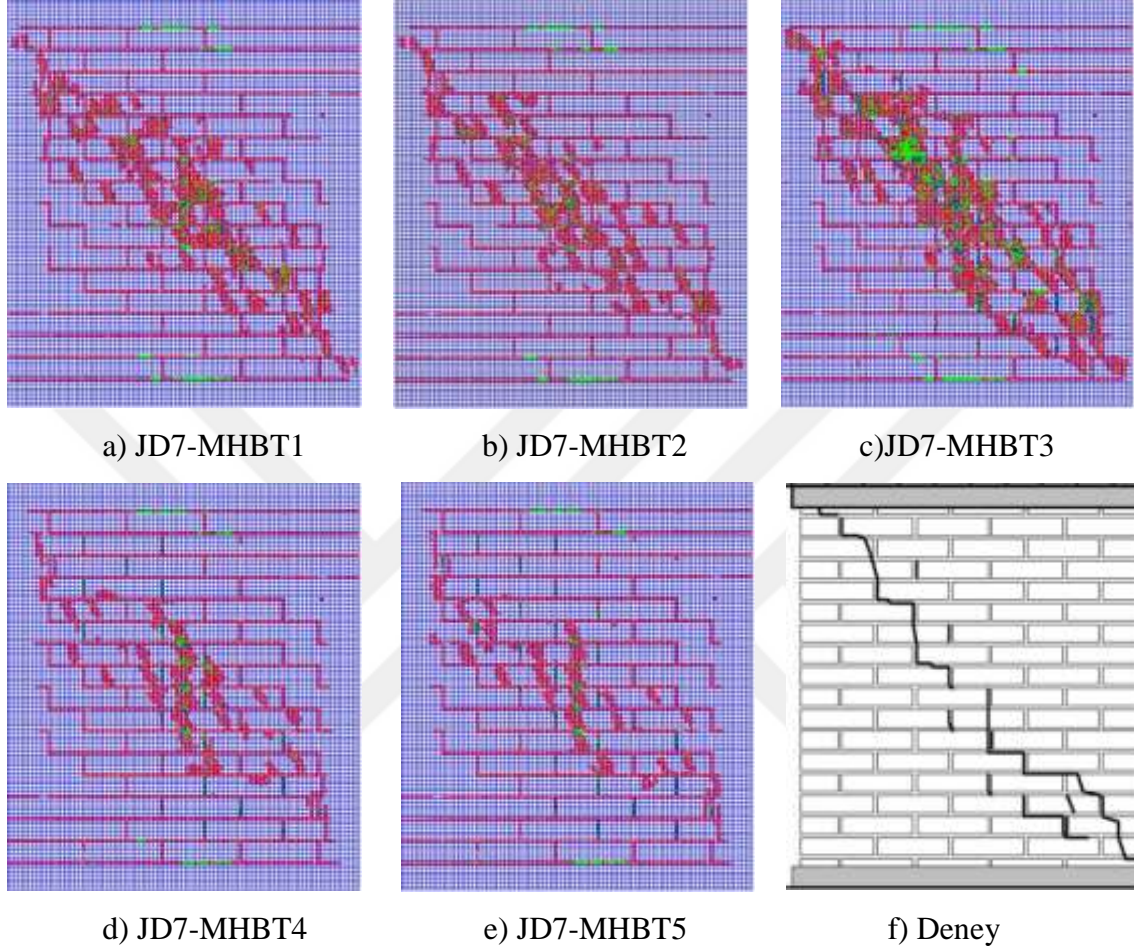
Şekil 3.7.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD7 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.56 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD7-MHBT1, JD7-MHBT2, JD7-MHBT3, JD7-MHBT4 ve JD7-MHBT5 için sırasıyla 1.28, 1.28, 1.44, 1.28, 1.28 mm olarak hesaplanmıştır. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %17.95, %17.95, %7.69, %17.95 ve %17.95 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD7-MHBT1 çözümlerinden elde edilmiştir.

JD7-MHBT1, JD7-MHBT2, JD7-MHBT3, JD7-MHBT4 ve JD7-MHBT5 duvarlarının nümerik analizlerinden hesaplanan enerji yutma kapasiteleri ise sırasıyla 145.77, 140.30, 158.47, 155.30 ve 163.39 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MHBT1, JD7-MHBT2, JD7-MHBT3, JD7-MHBT4 ve JD7-MHBT5 için sırasıyla %33.65, %36.14, %27.87, %29.31 ve %25.62 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-MHBT5 için hesaplandığı görölmektedir.

JD7-MHBT1, JD7-MHBT2, JD7-MHBT3, JD7-MHBT4 ve JD7-MHBT5 için tepe yer değiştirme değerlerinin sırasıyla 1.28, 1.28, 1.44, 1.28 ve 1.28 mm'ye ulaştığı anlarda JD7 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.7.6.' da görölmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD7 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki

bölgesi şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.



Şekil 3.7.6. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri.

3.8. Harç Malzemesi Yatak Bölgesine Ait β_t Katsayısının Çözümler Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarının nümerik çözümlerinde, yatak bölgesindeki harç malzemesine ait β_t katsayısının çözümler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yatak bölgesi için çözümlerde β_c 0.90 alınmış olup β_t ise 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 değerleri seçilerek sonuçlar elde edilmiştir. Başlık bölgesi için tüm çözümlerde β_c 0.90 alınmış olup β_t ise 0.05 seçilmiştir. Tuğlanın kayma gerilmesi iletim katsayıları ise çatlakların açık ve kapalı durumları için sırasıyla 0.05 ve 0.90 olarak seçilmiştir. Çözümlerde

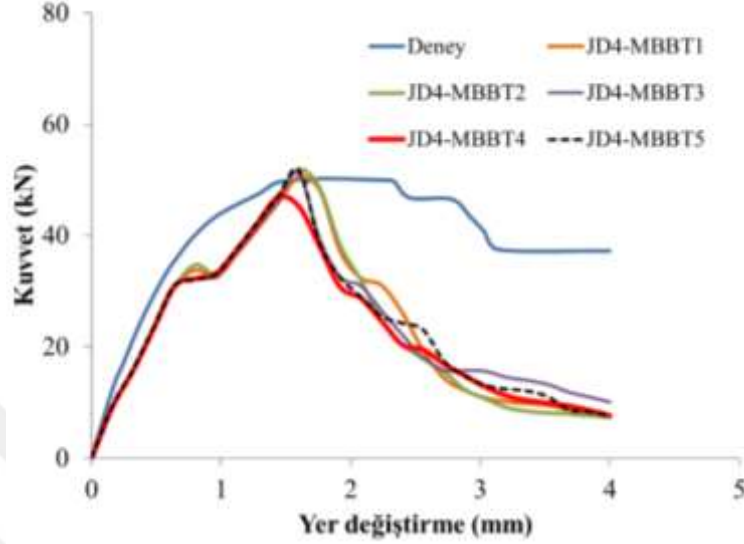
kullanılan tuğla ve harç malzemesinin mekanik özellikleri için Bölüm 3.1'sırasıyla JD4-B4, JD6-B3 ve JD7-B2 çözümlerinde kullanılan malzeme özelliği değerleri alınmıştır.

JD4-MBBT1, JD4-MBBT2, JD4-MBBT3, JD4-MBBT4 ve JD4-MBBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme grafiği Şekil 3.8.1.'de görülmektedir. JD4 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 50.30 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ise JD4-MBBT1, JD4-MBBT2, JD4-MBBT3, JD4-MBBT4 ve JD4-MBBT5 çözümleri için sırasıyla 50.49, 51.85, 51.15, 46.88 ve 51.81 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MBBT1, JD4-MBBT2, JD4-MBBT3, JD4-MBBT4 ve JD4-MBBT5 için sırasıyla %0.44, %3.15, %1.75, %6.74 ve %3.06 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MBBT1 için hesaplandığı görülmektedir.

JD4 duvarının deney sonucundan maksimum yükün olduğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.74 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD4-MBBT1, JD4-MBBT2, JD4-MBBT3, JD4-MBBT4 ve JD4-MBBT5 çözümleri için sırasıyla 1.60, 1.60, 1.60, 1.44, 1.60 mm olarak elde edilmiştir. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %8.05, %8.05, %8.05, %17.24, %8.05 oranında daha küçük elde edildiği görülmüştür. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD4-MBBT1 çözümlerinden elde edilmiştir.

JD4-MBBT1, JD4-MBBT2, JD4-MBBT3, JD4-MBBT4 ve JD4-MBBT5 duvarlarının nümerik analizlerinden hesaplanan enerji yutma kapasiteleri sırasıyla 95.39, 93.78, 96.23, 91.54 ve 93.60 KN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD4-MBBT1, JD4-MBBT2, JD4-MBBT3, JD4-MBBT4 ve JD4-MBBT5 için sırasıyla %40.86, %41.86, %40.34, %43.25 ve %41.97 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD4-MBBT3 için hesaplandığı görülmektedir. JD4-MBBT1 ve JD6-MBBT3 çözümlerinden elde edilen enerji farkları bir birlerine çok yakın oldukları için taban kesme kuvveti ve eşik yer değiştirme değerleri dikkate alındığında, en uygun çözümün JD4-MBBT1 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Böylece, JD4 duvarının yatak harcının β_t değeri 0.05 alınması durumunda, taban kesme kuvveti değerleri arasındaki fark %0.5'den küçük,

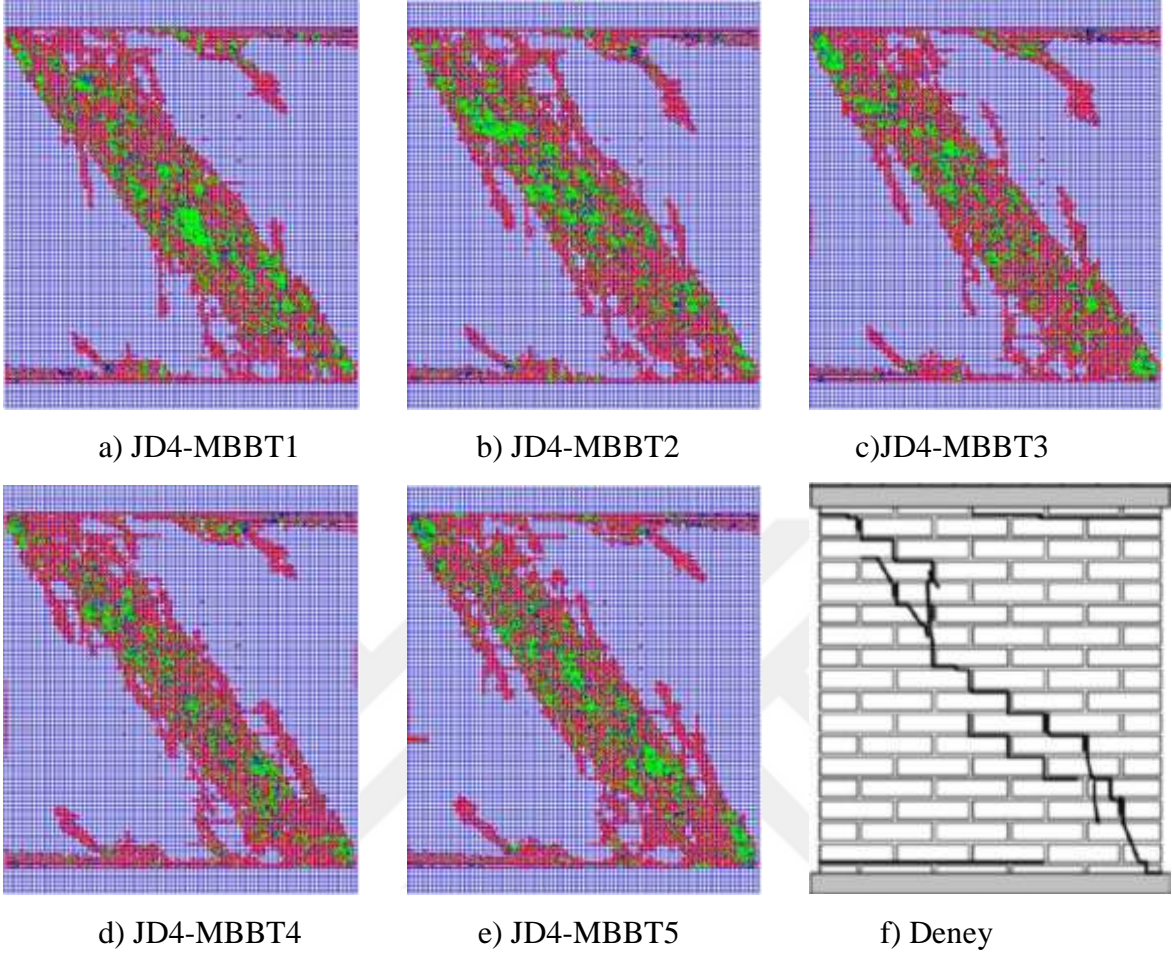
eşik yer değıştirme değeri arasındaki fark %8.5'den küçük ve enerji değeri arasındaki fark ise %41'den küçük olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.8.1. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değıştirme grafikleri

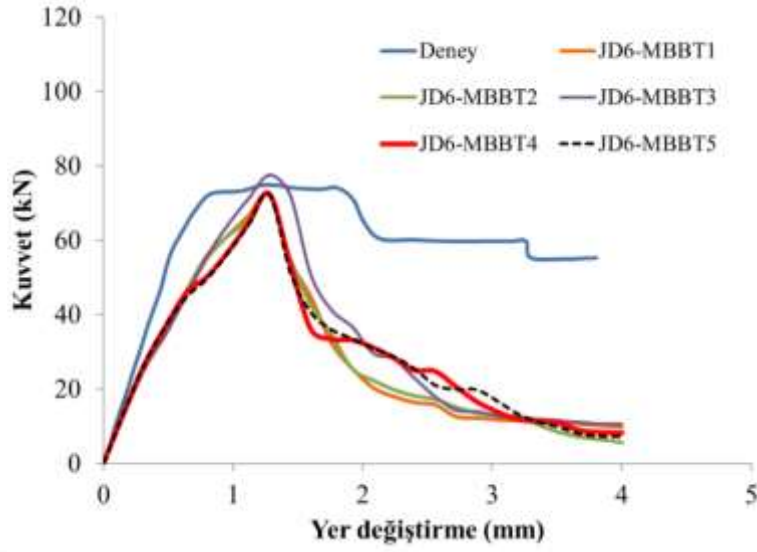
JD4-MBBT1, JD4-MBBT2, JD4-MBBT3, JD4-MBBT4 ve JD4-MBBT5 için tepe yer değıştirme değeri sırasıyla 1.60, 1.60, 1.60, 1.44 ve 1.60 mm'ye ulaştığı anlarda JD4 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.7.2.' de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri, JD4 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.

JD6-MBBT, JD6-MBBT2, JD6-MBBT3, JD6-MBBT4 ve JD6-MBBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafiği Şekil 3.8.3.'de görülmektedir. JD6 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 74.87 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değeri ise JD6-MBBT, JD6-MBBT2, JD6-MBBT3, JD6-MBBT4 ve JD6-MBBT5 için sırasıyla 72.46, 72.13, 77.58, 72.51 ve 72.34 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme kuvveti değeri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MBBT1, JD6-MBBT2, JD6-MBBT3, JD6-MBBT4 ve JD6-MBBT5 için sırasıyla %3.22, %3.66, %3.61, %3.15 ve %3.38 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-MBBT4 için hesaplandığı görülmektedir.



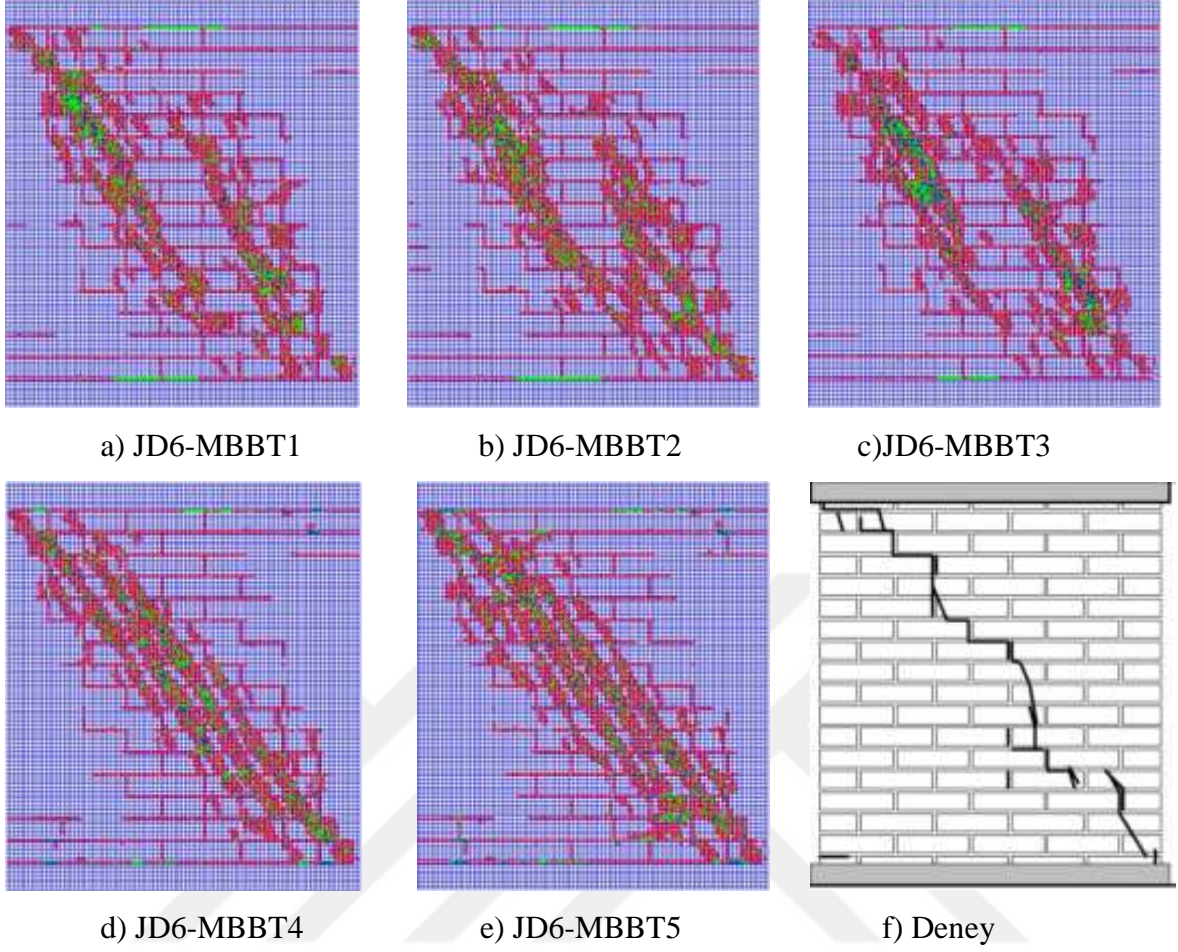
Şekil 3.8.2. JD4 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri.

JD6 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.22 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD6-MBBT1, JD6-MBBT2, JD6-MBBT3, JD6-MBBT4 ve JD6-MBBT5 çözümlerinin tamamında 1.28 mm olarak elde edilmiştir. Bu yer değiştirme değeri deney sonucuyla karşılaştırıldığında %4.92 oranında daha büyük elde edilmiştir.



Şekil 3.8.3. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD6-MBBT1, JD6-MBBT2, JD6-MBBT3, JD6-MBBT4 ve JD6-MBBT5 duvarlarının nümerik analizlerinden hesaplanan enerji yutma kapasiteleri ise sırasıyla 111.20, 111.29, 125.61, 117.39 ve 116.71 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD6-MBBT1, JD6-MBBT2, JD6-MBBT3, JD6-MBBT4 ve JD6-MBBT5 için sırasıyla %51.02, %50.98, %44.68, %48.30 ve %48.60 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD6-MBBT3 için hesaplandığı görölmektedir. JD6-MBBT3 ve JD6-MBBT4 çözümlerinden elde edilen enerji farkları birbirlerine çok yakın oldukları için taban kesme kuvveti ve eşik yer değiştirme değerleri dikkate alındığında, en uygun çözümlerin JD6-MBBT4 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda, JD6-MBBT1 ve JD6-MBBT3 çözümlerinde taban kesme kuvveti değeri açısından yakın farklar elde edilmiştir. Eşik yer değiştirme değeri dikkate alındığında bu iki çözümlerin aynı sonucu verdiği görölmektedir. JD6-MBBT1 çözümlerinden elde edilen enerji farkı %51.02 değerine ulaşmaktadır. Böylece, JD6 duvarının yatak harcının β_t değeri 0.05 alınması durumunda, taban kesme kuvveti değerleri arasındaki fark %3.5'den küçük, eşik yer değiştirme değerleri arasındaki fark %5'den küçük ve enerji değerleri arasındaki fark ise %52'den küçük olarak elde edilmiştir.

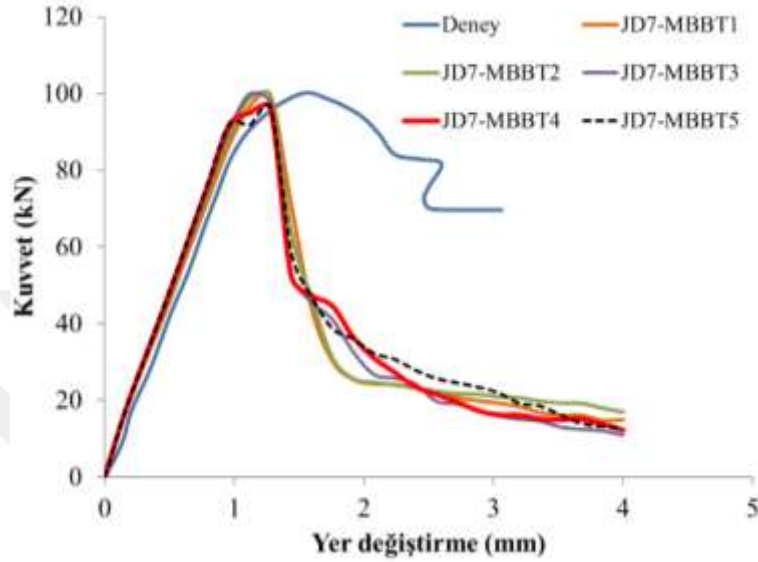


Şekil 3.8.4. JD6 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD6-MBBT1, JD6-MBBT2, JD6-MBBT3, JD6-MBBT4 ve JD6-MBBT5 için tepe yer değıştirme değeri 1.28 mm'ye ulaştığı anda JD6 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.8.4.'de görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD6 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında, tüm çözümlerde elde edilen bu diyagonal çatlak bölgesi iki parça şeklinde elde edilmiştir.

JD7-MBBT1, JD7-MBBT2, JD7-MBBT3, JD7-MBBT4 ve JD7-MBBT5 için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafikleri ile deneyden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirme grafiği Şekil 3.8.5.'de görülmektedir. JD7 duvarının deney sonucundan maksimum taban kesme kuvveti 100.17 kN olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerden hesaplanan taban kesme kuvveti değeri ise JD7-MBBT1, JD7-MBBT2, JD7-MBBT3, JD7-MBBT4 ve JD7-MBBT5 için sırasıyla 99.62, 99.20, 100.06, 96.18 ve 96.34 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum taban kesme

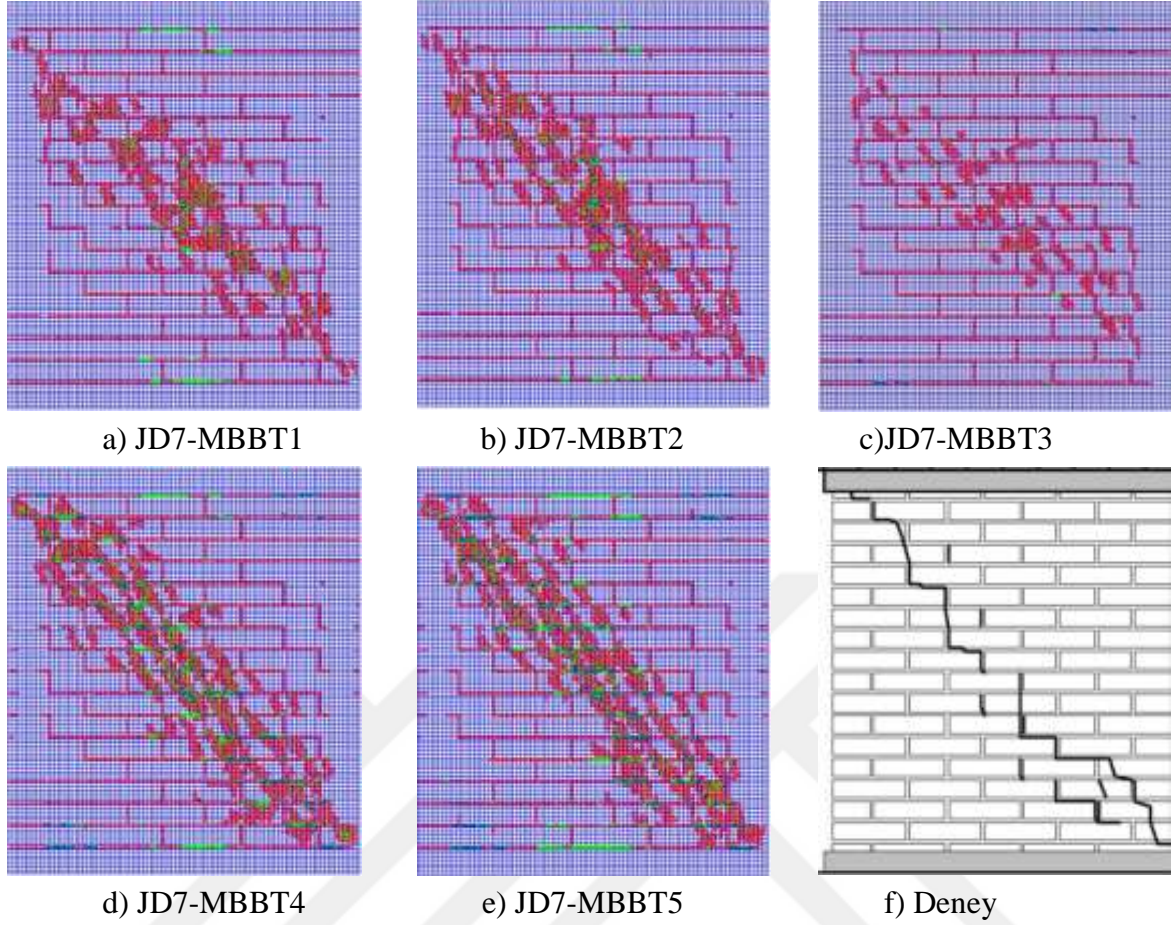
kuvveti değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MBBT1, JD7-MBBT2, JD7-MBBT3, JD7-MBBT4 ve JD7-MBBT5 için sırasıyla %0.55, %0.97, %0.12, %3.98 ve %3.82 oranlarında farkların oluştuğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-MBBT3 için hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 3.8.5. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik kuvvet-yer değiştirme grafikleri

JD7 duvarının deney sonucundan maksimum yükün oluştuğu andaki duvarın tepe yer değiştirme değeri ise 1.56 mm olarak belirlenmiştir. Nümerik analizlerde ise bu yer değiştirme değeri, JD7-MBBT1, JD7-MBBT2, JD7-MBBT3, JD7-MBBT4 ve JD7-MBBT5 için sırasıyla 1.28, 1.28, 1.12, 1.28, 1.28 mm olarak hesaplanmıştır. Deney sonucuyla karşılaştırıldığında bu yer değiştirme değerlerinin sırasıyla %17.95, %17.95, %28.21, %17.95 ve %17.95 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerleri dikkate alındığında her iki büyüklük için en az fark JD7-MBBT1 çözümlerinden elde edilmiştir.

JD7-MBBT1, JD7-MBBT2, JD7-MBBT3, JD7-MBBT4 ve JD7-MBBT5 için tepe yer değiştirme değerlerinin sırasıyla 1.28, 1.28, 1.12, 1.28 ve 1.28 mm'ye ulaştığı anlarda JD7 duvarında oluşan çatlak bölgeleri ve deneyden elde edilen çatlak bölgeleri Şekil 3.5.6.' da görülmektedir. Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri JD7 duvarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölgeyi şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir.



Şekil 3.8.6. JD7 Eindhoven duvarının deneysel ve nümerik çatlama grafikleri

JD7-MBBT1, JD7-MBBT2, JD7-MBBT3, JD7-MBBT4 ve JD7-MBBT5 duvarlarının nümerik analizlerinden hesaplanan enerji yutma kapasiteleri ise sırasıyla 145.77, 149.51, 144.72, 148.15 ve 151.88 kN.mm olarak elde edilmiştir. Enerji yutma kapasitesi değerleri deney sonucuyla karşılaştırıldığında; JD7-MBBT1, JD7-MBBT2, JD7-MBBT3, JD7-MBBT4 ve JD7-MBBT5 için sırasıyla %33.65, %31.94, %34.12, %32.56 ve %30.65 oranlarında farkların olduğu belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında en az farkın JD7-MBBT5 için hesaplandığı görülmektedir. Enerji farkları bir birlerine çok yakın oldukları için taban kesme kuvveti ve eşik yer değıştirme değerleri dikkate alındığında, en uygun çözümün JD7-MBBT1 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Böylece, JD7 duvarının yatak harcının β , değeri 0.05 alınması durumunda, taban kesme kuvveti değerleri arasındaki fark %0.6'dan küçük, eşik yer değıştirme değerleri arasındaki fark %18 den küçük ve enerji değerleri arasındaki fark ise %34'den küçük olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, yığma duvarların mikro model ile analizinde 3 boyutlu sabit doğrultulu yayılı çatlak modelinin etkinliği incelenmiştir. Nümerik analizler için ANSYS sonlu elemanlar programı içerisinde bulunan SOLID65 beton elemanı seçilmiştir. Bu eleman William-Warnke beton modelini içermektedir. Nümerik sonuçların karşılaştırılması amacıyla, JD4, JD6 ve JD7 Eindhoven duvarlarının deney sonuçlarından elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme eğrisi ile oluşan çatlak bölgeleri kullanılmıştır.

Sabit doğrultulu yayılı çatlak modelinde, çatlama oluştuktan sonra kayma gerilmelerinin diğer yüzeye iletimi için “kayma gerilmesi transfer katsayısı” tanımlanmaktadır. Bu iletim katsayıları açık durum için β_i ve kapalı durum için β_c olarak adlandırılmaktadır. Kapalı iken bu katsayı genelde 0.90 alınmaktadır. Açık iken bu katsayı çatlağın boyuna bağlı olarak değişmektedir. Bu tez çalışmasında tuğlanın basınç dayanımının, harcın çekme dayanımının ve β_i katsayısının çözümler üzerine olan etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda harç yatak ve başlık bölgesi olmak üzere iki bölgeye ayrılmış ve bu iki bölgenin çekme, basınç dayanımları ile kayma iletim katsayılarının çözümler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çözümler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Tuğlanın basınç dayanımı üzerine yapılan nümerik analizler sonucunda ön yükleme değeri ile tuğlanın basınç dayanımı arasında $f_{c,b}=12.26e^{9/1250P}$ bağıntısı elde edilmiştir. Bu eşitlik 3 boyutlu sabit doğrultulu yayılı çatlak modeli kullanılarak yığma yapıların çözümünde kullanılması önerilmiştir.
- Tüm duvarlarda tuğla malzeme özellikleri için elastisite modülü basınç dayanımının 300 katı ve çekme dayanımı basınç dayanımının 1/25’i olacak şekilde hesaplandığında uygun çözümler elde edilebileceği belirlenmiştir.
- Harcın çekme dayanımı üzerine yapılan nümerik analizler dikkate alındığında, söz konusu beton modeli için harcın elastisite modülü ve çekme dayanımı sırasıyla basınç dayanımının 200 katı ve 1/20’si alınabileceği önerilmiştir.
- Tüm duvarlar için tuğla ve harcın açık ve kapalı durum için kayma iletim katsayıları sırasıyla 0.05 ve 0.90 seçildiği zaman deney sonucundan elde edilen

taban kesme kuvveti, eşik yer değıştirme değeri ile nümerik çözümler arasında sırasıyla en fazla %3.22 ve %17.95'lik farklar elde edilmiştir.

- Tüm duvarlar için harcın başlık ve yatak bölgesine ait tek eksenli basınç değeri 10 MPa ve çekme dayanımının basınç dayanımının 1/20'sinin ayrı ayrı alındığı durumlarda deney sonucundan elde edilen taban kesme kuvveti, eşik yer değıştirme ve enerji yutma kapasite değeri ile nümerik çözümler arasında sırasıyla en fazla %3.55, %17.95 ve %51.02'lik farklar elde edilmiştir. Bu çözümlerde yatak ve başlık harçlarının β_f değeri 0.05 ve β_c değeri ise 0.90 alınmıştır.
- Tüm çözümlerde çatlak bölgeleri, duvarlarının sağ üst köşesinden başlayıp sola doğru ve sol alt köşesinden başlayıp sağa doğru ilerleyen iki bölge şeklinde elde edilmiştir. İlerleyen yükleme adımlarında sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru ilerleyen diyagonal bir çatlak bölgesi daha meydana gelmiştir. Bu çatlak bölgesi diğer çözüm adımlarında daha geniş bir bölgeye dağınık şekilde yayılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1]. **Dilmac, H., Ulutas, H., Tekeli, H., and Demir, F.,** 2018. The Investigation of Seismic Performance of Existing Rc Buildings with and Without Infill Walls, *Computers and Concrete*, 22(5), 439-447.
- [2]. **Kareem, K.M. and Guneyisi, E.M.,** 2018. Effect of Masonry Infill Wall Configuration and Modelling Approach on The Behaviour of RC Frame Structures, *Arab. J. Sci. Eng.*, 1-16.
- [3]. **Karaton M., Aksoy, H.S., Sayın, E. and Calayır, Y.,** 2017. Nonlinear Seismic Performance of A 12th Century Historical Masonry Bridge Under Different Earthquake Levels, *Engineerin Failure Analysis*, 79, 408-421.
- [4]. **Yalçın, E.,** 2009, Yığma Yapıların Lineer Olmayan Statik ve Dinamik Analizi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5]. **Chaimoon, K., Attard, M. M.,** 2007. Modeling of Unreinforced Masonry Walls Under Shear and Compression, *Engineering Structures*, **29**, 2056-2068.
- [6]. **Vermelthfoort, A.Th, Raijmakers T.M.J., Janssen H.J.M.,** 1993, Shear Tests on Masonry Walls. *Proceeding of The 6th North American Masonry Conference*. 1183–93.
- [7]. **Zucchini, A., Lourenço, P.B.,** 2009, A Micro-Mechanical Homogenisation Model for Masonry: Application to Shear Walls, *International Journal of Solids and Structures*, **46**, 871-886.
- [8]. **Vermelthfoort, A.Th., Raijmakers, T.M.J.,** 1993, *Deformation Controlled Tests in Masonry Shear Walls. Part 2 (In Dutch)*, Report TUE/BKO/93.08.
- [9]. **Adam, J. M., Brencich A., Hughes, T.G. And Tony Jefferson, T.,** 2010. Micromodelling of Eccentrically Loaded Brickwork: Study of Masonry Wallettes, *Engineering Structures*, **32**, 1244-1251.
- [10]. **Mohyeddin, A., Goldsworthy, H.M. And Gad, E.F.,** 2013. FE Modelling of RC Frames with Masonry Infill Panels Under In-Plane and Out-Of-Plane Loading, *Engineering Structures*, **51**, 73-87.
- [11]. **Ghiassi, B., Oliveira D.V., Lourenço, P.B. And Marcari, G.,** 2013. Numerical Study of The Role of Mortar Joints in The Bond Behavior Of FRP-Strengthened Masonry, *Composites:nPart B*, **46**, 21-30.

- [12]. **Caporale, A., Parisi, F., Asprone, D., Luciano, R. And Prota, A.**, 2013. Micromechanical Analysis of Adobe Masonry as Two-Component Composite: Influence of Bond and Loading Schemes, *Composite Structures*, **112**, 254–263.
- [13]. **Mahini B.B.**, 2015. Smearred Crack Material Modelling for The Nonlinear Analysis of CFRP-Strengthened Historical Brick Vaults with Adobe Piers, *Construction and Building Materials*, **74**, 201-218.
- [14]. **El-Diasity, M., Okail, H., Kamal, O. And Said, M.**, 2015. Structural Performance of Confined Masonry Walls Retrofitted Using Ferrocement And GFRP Under In-Plane Cyclic Loading, *Engineering Structures*, **94**, 54-69.
- [15]. **Parisi, F., Balestrieri, C. And Asprone D.**, 2016. Nonlinear Micromechanical Model for Tuff Stone Masonry: Experimental Validation and Performance Limit States, *Construction and Building Materials*, **105**, 165-175.
- [16]. **Calderón, S., Sandoval, C. And Arnau O.**, 2017. Shear Response of Partially-Grouted Reinforced Masonry Walls with A Central Opening: Testing and Detailed Micro-Modelling, *Materials and Design*, **118**, 122-137.
- [17]. **Zhang, S., Mousavi, S.M.T., Richart, N., Molinari, J.F. And Beyer K.**, 2017. Micro-Mechanical Finite Element Modeling of Diagonal Compression Test for Historical Stone Masonry Structure, *International Journal of Solids and Structures*, **112**, 122-132.
- [18]. **Petracca, M., Pelà, L., Rossi, R., Zaghi, S., Camata, G. And Spacone, E.**, 2017. Micro-Scale Continuous and Discrete Numerical Models for Nonlinear Analysis of Masonry Shear Walls, *Construction and Building Materials*, **149**, 296-314.
- [19]. **William K.J., Warnke.**, 1975. Constitutive Model for the Tri-Axial Behaviour of Concrete. *Proceeding of The International Association For Bridge And Structural Engineering*, **Vol.19**, 174.
- [20]. **Zeinkiewicz, O. C., Taylor Taylor, R. L.**, 1991. Finite Element Method. **Vol.2**, Mcgraw-Hill.
- [21]. **Cavicchi, A., Gambarotta, C.**, 2005 Collapse Analysis of Masonry Bridges Taking Into Account Arch Fill Interaction. *Engineering Structures*, **27**, 605-615.
- [22]. **ANSYS**. 2015. Finite Element Software. Houston, TX, USA: Swanson Analysis System. Inc.

- [23]. **Hemant, B. K., Durgesh, C.R., Sudnir K. J.**, 2007 Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry Under Uniaxial Compression. *Journal of Materials In Civil Engineering*, **19**, 728-739.



ÖZGEÇMİŞ

Kağan ÇANAKÇI, 1994 yılında Elazığ'da doğmuştur. İsmet Paşa İlköğretim okulunu tamamladıktan sonra Kaya Karakaya Fen Lisesi'ni tamamlamıştır. 2017 yılında Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2017 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim dalında yüksek lisansa başlamıştır.

