

# **Yığma Yapıların Lastik Şeritlerle Güçlendirilmesi**

**Proje No: 106M116**

Prof. Dr. Hasan KAPLAN  
Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ

OCAK 2008  
DENİZLİ

## ÖNSÖZ

Afet Risklerinin azaltılması insan yaşamı ve sürdürülebilir kalkınma için büyük önem taşımaktadır. Türkiye’de, 1992 Erzincan depremi ile başlayan süreçte neredeyse her 2 yılda bir yıkıcı deprem yaşanmıştır. Birçoğu orta büyüklükteki bu depremler kırsal-kentsel, gelişmiş-gelişmemiş bölge farkı olmaksızın ağır hasarlara ve ekonomik kayıplara sebep olmuştur..

Türkiye’deki bina stokunun yarısından fazlasını yığma binalar oluşturmaktadır. Geçmiş depremlerde, özellikle kırsal kesimde, birçok yığma yapı göçmüş veya ağır hasar görmüştür. Henüz deprem olmayan ancak deprem riski taşıyan yerleşim alanlarında benzer tarzda inşa edilen ve kullanılan yapıların olduğu da bir gerçektir.

Genelde gelir düzeyi düşük olan yığma yapı sahiplerinin pahalı yöntemler ile yapılarını güçlendirmeleri mümkün olamamaktadır. Kırsal kesimde bulunan bu tür yapıların güçlendirilmesi için ucuz ve kolay uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi riskin azaltılması açısından katkı sağlayacaktır.

TÜBİTAK tarafından desteklenen bu araştırma projesi kapsamında Ege Bölgesindeki yığma yapılar envanter çalışması yapılarak değerlendirilmiştir. İncelenen yapıların büyük kısmının yönetmelik şartlarını sağlayamadığı ve önemli bir bölümünün de daha deprem etkilerine maruz kalmadan bile hasara uğradıkları görülmüştür.

Çalışmanın ikinci aşamasında atık oto lastiklerinden elde edilen lastik şeritler kullanılarak, deprem bakımından yetersiz yığma yapıların deprem güvenliğini iyileştirmeye yönelik deneysel verilere dayalı yeni bir güçlendirme metodu önerilmiştir. Bu yeni yöntem Afet zararlarının azaltılması için özellikle kırsal kesimde yapı sahiplerince pratik bir şekilde uygulanabilecektir. Aynı zamanda çevreye zararlı bir atık olan oto lastiklerinin de kullanımı öngörülmüştür.

Yığma yapıların deprem yükleri altında davranışının da deneysel olarak incelenmesine imkân sunan bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarının daha da geliştirilmesine, uygulamacı mühendislerin ve henüz eğitim almakta olan lisans ve lisansüstü öğrencilerinin deneyleri izlemesi ile uygulamalı eğitime de katkı sağlamıştır.

Proje sonuçları çeşitli sempozyumlarda ve meslek içi eğitim faaliyetlerinde akademisyen ve profesyonel mühendislerle sunulmuştur. Proje kapsamında deneyleri yapılan bazı numuneler halen PAÜ Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarı sergisinde eğitim amaçlı olarak sergilenmektedir.

Prof. Dr. Hasan KAPLAN

## TEŐEKKÜR

Proje ekibi, deneysel çalışmalarda yardımcı olan Dr. Nihat etinkaya, İnş. Müh. Ahmet Sarışın ve Pamukkale Üniversitesi Deprem ve Yapı Teknolojileri Laboratuvarı personeli Mevlüt Sungu ve Adnan Hafızoğlu'na teőekkürü bir borç bilir.

Proje kapsamındaki çalışmalara bursiyer öğrenci olarak katkı koyan Dr. Halil Nohutcu ve İnş. Yük. Müh. Sadık Durak'a teőekkür ederiz.

Saha alışması esnasında yardımları bulunan Pamukkale Üniversitesi lisans öğrencilerine de ayrıca teőekkür ederiz.

Projenin sayısal analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için laboratuvarımıza sunucu bilgisayar temin edilmesi dolayısıyla Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi Döner Sermaye İşletmesine teőekkür ederiz.

Projeye destek sağlayarak laboratuvarımızın faaliyetlerinin sürekliliğine katkı sağlayan TÜBİTAK'a şükranlarımızı sunarız.

## ÖZET

Depreme dayanıksız olduğu belli olan yığma yapı stokunun güçlendirilmesi ülkemiz için ciddi bir problemdir. Geçmiş depremlerde özellikle kırsal kesimdeki yığma yapılar az katlı olmalarına rağmen göçmüş veya ağır hasar görmüştür. Bu problem, yığma yapılarda yaşayan insanların alt gelir gruplarında yer almasıyla daha da ciddi bir hal almaktadır. Genelde gelir düzeyi düşük olan yığma yapı sahiplerinin pahalı yöntemler ile yapılarını güçlendirmeleri mümkün değildir. Bu yapıların güçlendirilmesi için ucuz ve kolay uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi önemli bir gerekliliktir.

Çalışmada, deprem bakımından yetersiz yığma yapıların deprem güvenliğini iyileştirmeye yönelik olarak yeni bir güçlendirme metodu önerilmektedir. Atık oto lastiklerinden elde edilen lastik şeritlerle yığma binaların güçlendirilmesi, bire bir ölçekli yığma yapı modelleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ile araştırılmıştır. Nümerik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yöntemin etkinliği incelenmiştir.

Projenin ilk aşamasında Ege Bölgesindeki yığma yapılar üzerinde rastgele örneklem oluşturularak 741 yapıdan oluşan bir envanter oluşturulmuş ve bu yapıların DBYBHY-2007 şartlarına göre değerlendirmeleri yapılmıştır. İncelenen yapıların büyük kısmının yönetmelik şartlarını sağlayamadığı belirlenmiştir. Hatta %20'sinin hiçbir deprem etkisine maruz kalmadan bile hasar gördüğü belirlenmiştir. Riskin azaltılması için bu duruma dikkat çekilmelidir.

Deneysel çalışmalar hem 2 boyutlu duvarlar üzerinde hem de 3 boyutlu yapılar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen 17 adet duvar deneylerinde, farklı şekilde güçlendirilmiş yığma duvarların kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Duvar deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak, 7 adet tam ölçekli model bina üzerinde 9 adet deney gerçekleştirilmiştir. Yatay yükler deprem yükünü temsil edecek şekilde deplasman kontrollü artımlı tersinir tekrarlı olarak uygulanmıştır. Duvar ve yapı modellerine yapı ağırlığını temsil edecek şekilde eksenel yük uygulanmıştır. Deney modellerinde öngörülen noktalarda deplasman ölçümleri yapılarak yük altındaki davranışları elde edilmiştir.

Deneysel sonuçlarda lastik şeritlerin uygun şekilde yerleştirilmesi ile duvar dayanımında az miktarda artış sağlanabildiği ancak bunun yanında süneklik ve enerji tüketimi bakımından ciddi bir iyileşmenin olduğu görülmüştür. Lastiklerin tamir harcı ile kapatılmasının sıva harcına kıyasla performansla daha olumlu etki yaptığı ayrıca boşluk kenarlarının lastiklerle sargılandığı ve boşluk etrafına ilave lastik koyulduğu durumlarda deplasman kapasitesindeki ve enerji tüketimindeki artışın daha belirgin olduğu görülmüştür.

Bu çalışma ile önerilen lastik şeritlerle güçlendirme yöntemi bina kullanıcılarının kendilerinin bile uygulayabileceği basit bir yöntem olarak bu binaların performansında iyileşme sağlayacaktır. Pek çoğu sıvasız olan bu yapıların güçlendirme esnasında sıvanması ile de ekstra bir dayanım artışı sağlanabilecektir. Bu veriler ışığında yöntemin mühendislik hizmeti alan yapılarda uygulanması ekonomik olarak uygun olmayacaktır. Ancak, özellikle kırsal kesimdeki konut sahiplerine konutlarının dayanımını belli bir miktar artıracak bir araç olarak sunulabilecektir.



## ABSTRACT

Rehabilitation of seismically vulnerable masonry building stock is an important problem for Turkey. In the past earthquakes, many of this type of buildings in especially rural areas were seriously damaged or collapsed although they were low-storey. This problem is getting more serious due to their low-income householders of masonry buildings. It is not possible for these people to strengthen their buildings with high-cost methods. For this reason development of low-cost strengthening methods is an essential.

In this study, a new strengthening method is proposed for the improvement of seismic safety of seismically vulnerable buildings. Strips made from scarp car tyres were utilized for the strengthening and it has been investigated experimentally on full scale models. Results of the numerical analysis and experimental works were compared to each other and efficiency of the method is discussed.

In the first stage of the project an inventory of 741 randomly selected masonry buildings were collected from south-east Turkey and they were evaluated according to Turkish Earthquake Code (2007). Most of them does not meet the criterias of the code. Even one-fifth of the buildings were damaged without experiencing any severe earthquakes. It is important to highlight this point for mitigation studies.

Experimental studies were carried out on both 2-D and 3-D models. During the 2-D experiments on 17 models, different strengthening lay-outs were compared. In light of the findings of 2-D experiments, 9 experiments on 7 full scale model buildings were carried out. Lateral loads simulating the seismic forces were applied to the models as reversed cyclic sway. Axial loads were applied on the models to represent the vertical loads. Displacement measurements were taken from several points to investigate the behavior of the test models.

Experiments proved that a limited increase may be satisfied in lateral load capacity of the models if strips are properly placed. On the other hand, method provides an important improvement in ductility and energy absorption capacity. Use of a high strength mortar as covering material enhances the performans better than the use of plastering mortar. Moreover, the improvement in ductility and energy absorbption is clearer in cases of additional strips around the wall openings.

Proposed method, use of strips made from scrap car tyres, is a simple method, which can be applicable even by householders and it will provide improvement in building performance. Additionally, it was found out that many of target buildings were unplastered and use of the method will force plastering, which will provide some additional capacity to the structure. In light of the findings, the method is not a feasible method for engineered buildings. However, for the people in rural areas, it can be an important tool, which can improve seismic resistance of masonry houses.

## İÇİNDEKİLER

1	GİRİŞ.....	17
1.1	Konu .....	17
1.2	Amaç.....	18
1.3	Kapsam.....	18
2	ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	20
2.1	Genel .....	20
2.2	Türkiye'deki Yığma Yapıların Deprem Dayanımı ile İlgili Çalışmalar.....	20
2.3	Yığma Yapıların Güçlendirilmesine Yönelik Çalışmalar .....	20
2.4	Literatür Değerlendirmesi.....	23
3	MATERYAL VE METOD .....	25
3.1	Saha Çalışması .....	25
3.2	Kullanılan Modeller .....	25
3.2.1	Malzeme .....	26
3.3	Duvar Numunelerinin Özellikleri.....	27
3.3.1	RD Numunesi.....	29
3.3.2	RDS Numunesi.....	29
3.3.3	GDSD1T Numunesi .....	30
3.3.4	GDSY1T Numunesi.....	30
3.3.5	GDSC1T Numunesi .....	31
3.3.6	GDSD2T Numunesi .....	31
3.3.7	GDSK1T Numunesi .....	32
3.3.8	GDSC2T Numunesi .....	32
3.3.9	GDSY2T Numunesi.....	33
3.3.10	RDP ve RDP-E Numunesi .....	33
3.3.11	GDPC1T ve GDPC1S Numuneleri .....	34
3.3.12	GDPCUIS ve GDPCUIS-E Numuneleri .....	34
3.3.13	GDPCUIS2 Numunesi .....	35
3.3.14	GDPCYD1S-E Numunesi .....	35
3.4	Bina Numunelerinin Özellikleri .....	36
3.4.1	Numunelerin Üretimi.....	38
3.4.2	Model duvarların imalatı .....	39
3.5	Sayısal Çalışmalar .....	42
3.5.1	Modelleme Esasları.....	42
3.5.1.1	Çalışmada kullanılan yazılım ve eleman modelleri .....	43
3.5.1.2	Çatlakların modellenmesi .....	44
3.5.1.3	Lastik şeritlerin modellenmesi .....	44
3.5.1.4	Program girilen duvar, lastikler ve hatılın özellikleri .....	44
3.5.1.5	Eksenel ve yatay yük ve deplasman uygulanması .....	46
3.5.1.6	Mesnet durumları .....	47
3.5.2	Çözüm Tipi ve Seçenekleri .....	47
3.6	Deney Sistemi .....	48
4	SAHA ÇALIŞMASINDAN ELDE EDİLEN VERİLER.....	50
4.1	Genel .....	50
4.2	Ege Bölgesindeki Yığma Yapı Karakteristiklerinin Tespiti: Kamu Yapıları.....	50
4.3	Ege Bölgesindeki Yığma Yapı Karakteristiklerinin Tespiti: Konut Yapıları.....	51
4.3.1	Yığma yapıların kat sayıları .....	52

4.3.2	<i>Yığma yapılarda bodrum kat durumu</i> .....	53
4.3.3	<i>Yığma yapıların komşu yapılarla konumu</i> .....	53
4.3.4	<i>Yığma yapıların komşu binalarla derz durumu</i> .....	55
4.3.5	<i>Yığma yapıların taşıyıcı sistem türü</i> .....	55
4.3.6	<i>Yığma yapıların taşıyıcı duvar malzemesi</i> .....	57
4.3.7	<i>Yığma yapıların bodrum duvar malzemesi</i> .....	59
4.3.8	<i>Yığma yapıların döşeme sistemi</i> .....	60
4.3.9	<i>Yığma yapılarda kalkan duvar durumu</i> .....	61
4.3.10	<i>Yığma yapılarda sıva durumu</i> .....	62
4.3.11	<i>Yığma yapılarda köşe birleşimi durumu</i> .....	63
4.3.12	<i>Yığma yapılarda hasar durumu</i> .....	65
4.4	<i>Ege Bölgesinde Yığma Yapıların DBYYHY-2007'ye Uygunluğu</i> .....	66
5	<b>SAYISAL ANALİZ SONUÇLARI</b> .....	68
5.1	<b>DUVAR MODELLERİ</b> .....	68
5.1.1	<i>RD Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	68
5.1.2	<i>RDS Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	70
5.1.3	<i>GDSD1T Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	72
5.1.4	<i>GDSY1T Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	74
5.1.5	<i>GDSC1T Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	76
5.1.6	<i>GDSD2T Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	78
5.1.7	<i>GDSK1T Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	80
5.1.8	<i>GDSC2T Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	82
5.1.9	<i>GDSY2T Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	84
5.1.10	<i>RDP Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	86
5.1.11	<i>RDP-E Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	88
5.1.12	<i>GDPC1T Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	90
5.1.13	<i>GDPC1S Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	92
5.1.14	<i>GDPCUIS Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	94
5.1.15	<i>GDPCUIS2 Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	96
5.1.16	<i>GDPCUIS-E Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	98
5.1.17	<i>GDPCYDIS-E Numunesinin Sayısal Çözümü</i> .....	100
5.2	<b>BİNA MODELLERİ</b> .....	102
5.2.1	<i>YB 1A, YB2A ve YB4A Deneylerinin Sayısal Çözümü</i> .....	102
5.2.2	<i>YB2A-HG, YB3A-G ve YB4A-HG Deneylerinin Sayısal Çözümü</i> .....	105
5.2.3	<i>YB5B Deneyi Sayısal Çözümü</i> .....	109
5.2.4	<i>YB7C Modelinin Sayısal Çözümü</i> .....	111
5.2.5	<i>YB8C-G Modelinin Sayısal Çözümü</i> .....	114
6	<b>DENEY SONUÇLARI</b> .....	117
6.1	<b>DUVAR DENEYLERİ</b> .....	117
6.1.1	<i>RD Numunesi</i> .....	117
6.1.2	<i>RDS Numunesi</i> .....	119
6.1.3	<i>GDSD1T Numunesi</i> .....	121
6.1.4	<i>GDSY1T Numunesi</i> .....	122
6.1.5	<i>GDSC1T Numunesi</i> .....	125
6.1.6	<i>GDSD2T Numunesi</i> .....	128
6.1.7	<i>GDSK1T Numunesi</i> .....	130
6.1.8	<i>GDSC2T Numunesi</i> .....	132
6.1.9	<i>GDSY2T Numunesi</i> .....	134
6.1.10	<i>RDP Numunesi</i> .....	136

6.1.11	<i>RDP-E Numunesi</i> .....	139
6.1.12	<i>GDPC1T Numunesi</i> .....	141
6.1.13	<i>GDPC1S Numunesi</i> .....	143
6.1.14	<i>GDPCUIS Numunesi</i> .....	145
6.1.15	<i>GDPCUIS2 Numunesi</i> .....	146
6.1.16	<i>GDPCUIS-E Numunesi</i> .....	149
6.1.17	<i>GDPCYD1S-E Numunesi</i> .....	151
6.2	<i>MODEL BİNA DENEYLERİ</i> .....	153
6.2.1	<i>YB1A -YB2A ve YB4A Numuneleri Referans Deneyleri</i> .....	153
6.2.2	<i>YB2A-HG Deneyi</i> .....	157
6.2.3	<i>YB3A-G Deneyi</i> .....	159
6.2.4	<i>YB4HG Deneyi</i> .....	162
6.2.5	<i>YB5B Deneyi</i> .....	164
6.2.6	<i>YB7C Deneyi</i> .....	167
6.2.7	<i>YB8C-G Deneyi</i> .....	169
7	<i>ANALİZ VE DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</i> .....	173
7.1	<i>Analiz ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi</i> .....	173
7.2	<i>Güçlendirilmiş Sistemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi</i> .....	179
8	<i>SONUÇLAR</i> .....	184
8.1	<i>Envanter Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar</i> .....	184
8.2	<i>Sayısal ve Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar</i> .....	184
8.3	<i>Öneriler</i> .....	185
9	<i>KAYNAKLAR</i> .....	187

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Ülkemizde son yıllardaki depremlerde hasar gören yığma yapılardan örnekler.....	17
Şekil 3.1. Deney platformu ve üzerindeki 2 ve 3 boyutlu yığma yapılar .....	26
Şekil 3.2. Mini-duvar basınç deneyi sonuçları .....	27
Şekil 3.3. RD Numunesinin yandan görünüşü .....	29
Şekil 3.4. RDS Numunesinin yandan görünüşü .....	29
Şekil 3.5. GDS DIT Numunesinin yandan görünüşü .....	30
Şekil 3.6. GDS YIT Numunesinin yandan görünüşü .....	30
Şekil 3.7. GDS C1T Numunesinin yandan görünüşü .....	31
Şekil 3.8. GDS D2T Numunesinin yandan görünüşü .....	31
Şekil 3.9. GDS K1T Numunesinin yandan görünüşü .....	32
Şekil 3.10. GDS C2T Numunesinin yandan görünüşü .....	32
Şekil 3.11. GDS Y2T Numunesinin yandan görünüşü .....	33
Şekil 3.12. RDP ve RDP-E Numunesinin yandan görünüşü .....	33
Şekil 3.13. GDPC1T, GDPC1S Numunelerinin güçlendirme şekli .....	34
Şekil 3.14. GDPCU1S Numunesinin yandan görünüşü .....	34
Şekil 3.15. GDPCU1S2 Numunesinin yandan görünüşü .....	35
Şekil 3.16. GDPCYDIS-E Numunesinin detay çizimi .....	35
Şekil 3.17 A Plan tipine sahip bina numunelerinin ölçüleri .....	36
Şekil 3.18. B ve C Plan tipine sahip bina numunelerinin ölçüleri .....	37
Şekil 3.19. YB2 ve YB5B Numunesinin yapım aşamasındaki görünümü .....	38
Şekil 3.20. Tuğlaların istiflenmesi .....	39
Şekil 3.21. Platform kalıp ve donatılarının hazırlanması .....	39
Şekil 3.22. Tuğla duvarların boyutları (ölçü birimi cm dir) .....	40
Şekil 3.23. Tuğla duvarların üretilmesi .....	40
Şekil 3.24. Duvar üstü hatlı kalıbı .....	41
Şekil 3.25. Sıvanın yapılması .....	41
Şekil 3.26. Sıvada lastik şeridi yerlerinin açılması .....	42
Şekil 3.27. Yığma yapıların, elemanın büyüklüklerine göre modelleme yöntemleri; a) Detaylı mikro modelleme, b) Basitleştirilmiş detaylı mikro modelleme, c) Makro modelleme (Özen, 2006) .....	42
Şekil 3.28. Ansys Solid65 sonlu eleman özellikleri .....	43
Şekil 3.29. LINK10 elemanı .....	44
Şekil 3.30. Duvarın çatlama ve ezilme için malzeme özellikleri .....	45
Şekil 3.31. Lastik şeritler için gerilme-şekil değiştirme davranışı .....	46
Şekil 3.32. Çapraz lastikli modelde lastikler .....	46
Şekil 3.33 Duvar ve yığma yapı modelinde mesnetlenme ve yükleme örneği .....	47
Şekil 3.34 Çözüm seçenekleri .....	48
Şekil 3.35. Deney sistemi .....	48
Şekil 3.36. Deplasman ölçer ve yük hücrelerinin yerleşimi .....	49
Şekil 3.37. Deneylerde uygulanan deplasman geçmişi .....	49
Şekil 4.1 Uşak merkezde 4 kat + çatı piyesli yığma bir bina .....	52
Şekil 4.2 Ege Bölgesinde yığma yapıların kat sayıları oranları .....	52
Şekil 4.3 Ege Bölgesinde yığma yapıların bodrum kat durumu oranları .....	53
Şekil 4.4 Karahallı ilçesinde bitişik (orta ve kenar) nizamlı yapılar .....	54
Şekil 4.5 Ege Bölgesinde yığma yapıların komşu yapılarla konumu oranları .....	54
Şekil 4.6 Ege Bölgesinde yığma yapıların komşu yapılarla konumu oranları .....	55

Şekil 4.7 Çeşitli yığma taşıyıcı sistem yapı tipleri.....	56
Şekil 4.8 Ege Bölgesinde yığma yapıların taşıyıcı sistem türü oranları .....	56
Şekil 4.9 Yığma taşıyıcı malzeme çeşitleri .....	57
Şekil 4.10 Ege Bölgesinde yığma yapıların taşıyıcı duvar malzemesi oranları.....	58
Şekil 4.11 Fabrikasyon taşıyıcı duvar malzeme ve teknik özellikleri .....	59
Şekil 4.12 Yığma yapıda çok farklı malzemelerin kullanılması durumu .....	59
Şekil 4.13 Uygun malzeme ve bağlayıcı harç kullanılmaması sonucu oluşan hasar .....	60
Şekil 4.14 Ege Bölgesinde yığma yapıların bodrum kat perde malzemesi oranları .....	60
Şekil 4.15 Yığma yapılarda döşeme uygulamaları .....	61
Şekil 4.16 Ege Bölgesinde yığma yapıların döşeme sistemleri oranları.....	61
Şekil 4.17 Yığma yapılarda kalkan duvar .....	62
Şekil 4.18 Çeşitli kalkan duvar uygulamaları .....	62
Şekil 4.19 Ege Bölgesinde yığma yapıların kalkan duvar durumu oranları .....	63
Şekil 4.20 Ege Bölgesinde yığma yapıların sıva durumu oranları .....	63
Şekil 4.21 Bina köşesinde derz oluşması ve uygunsuz harç kullanımı .....	64
Şekil 4.22 Doğru köşe birleşimine örnekler .....	64
Şekil 4.23 Ege Bölgesinde yığma yapıların köşe birleşimi durumu oranları.....	64
Şekil 4.24 Yığma yapı hasarlarına örnekler.....	65
Şekil 4.25 Ege Bölgesinde yığma yapıların hasar durumu oranları .....	65
Şekil 5.1. Yük deplasman grafiği.....	68
Şekil 5.2. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	68
Şekil 5.3. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	69
Şekil 5.4. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	69
Şekil 5.5. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	69
Şekil 5.6. Yük deplasman grafiği.....	70
Şekil 5.7. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	70
Şekil 5.8. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	71
Şekil 5.9. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	71
Şekil 5.10. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	71
Şekil 5.11. Yük deplasman grafiği.....	72
Şekil 5.12. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	72
Şekil 5.13. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	73
Şekil 5.14. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	73
Şekil 5.15. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	73
Şekil 5.16. Yük deplasman grafiği.....	74
Şekil 5.17. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	74
Şekil 5.18. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	75
Şekil 5.19. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	75
Şekil 5.20. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	75
Şekil 5.21. Yük deplasman grafiği.....	76
Şekil 5.22. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	76
Şekil 5.23. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	77
Şekil 5.24. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	77
Şekil 5.25. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	77
Şekil 5.26. Yük deplasman grafiği.....	78
Şekil 5.27. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	78
Şekil 5.28. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	79
Şekil 5.29. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	79
Şekil 5.30. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	79

Şekil 5.31. Yük deplasman grafiği.....	80
Şekil 5.32. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	80
Şekil 5.33. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	81
Şekil 5.34. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	81
Şekil 5.35. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	81
Şekil 5.36. Yük deplasman grafiği.....	82
Şekil 5.37. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	82
Şekil 5.38. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	83
Şekil 5.39. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	83
Şekil 5.40. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	83
Şekil 5.41. Yük deplasman grafiği.....	84
Şekil 5.42. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	84
Şekil 5.43. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	85
Şekil 5.44. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	85
Şekil 5.45. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	85
Şekil 5.46. RDP numunesi Yük yerdeğiştirme grafiği .....	86
Şekil 5.47. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	86
Şekil 5.48. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	87
Şekil 5.49. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	87
Şekil 5.50. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	87
Şekil 5.51. Yük yerdeğiştirme grafiği .....	88
Şekil 5.52. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	88
Şekil 5.53. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	89
Şekil 5.54. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	89
Şekil 5.55. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	89
Şekil 5.56. Yük deplasman grafiği.....	90
Şekil 5.57. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	90
Şekil 5.58. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	91
Şekil 5.59. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	91
Şekil 5.60. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	91
Şekil 5.61. Yük deplasman grafiği.....	92
Şekil 5.62. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	92
Şekil 5.63. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	93
Şekil 5.64. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	93
Şekil 5.65. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	93
Şekil 5.66. Yük yerdeğiştirme grafiği .....	94
Şekil 5.67. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	94
Şekil 5.68. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	95
Şekil 5.69. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	95
Şekil 5.70. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	95
Şekil 5.71. Yük yerdeğiştirme grafiği .....	96
Şekil 5.72. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	96
Şekil 5.73. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	97
Şekil 5.74. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	97
Şekil 5.75. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	97
Şekil 5.76. Yük yerdeğiştirme grafiği .....	98
Şekil 5.77. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	98
Şekil 5.78. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	99
Şekil 5.79. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	99

Şekil 5.80. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	99
Şekil 5.81. Yük yerdeğiştirme grafiği .....	100
Şekil 5.82. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	100
Şekil 5.83. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	101
Şekil 5.84. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	101
Şekil 5.85. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	101
Şekil 5.86 Deney numunesi sonlu eleman modeli .....	102
Şekil 5.87. Yük deplasman grafiği .....	102
Şekil 5.88 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-1 .....	103
Şekil 5.89 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-2 .....	103
Şekil 5.90. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	104
Şekil 5.91. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	104
Şekil 5.92. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	104
Şekil 5.93 Deney numunesi sonlu eleman modeli .....	105
Şekil 5.94. Yatay yük - yerdeğiştirme grafiği .....	105
Şekil 5.95. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	106
Şekil 5.96 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-1 .....	107
Şekil 5.97 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-2 .....	107
Şekil 5.98. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	108
Şekil 5.99. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	108
Şekil 5.100. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	108
Şekil 5.101 Ansys hacim sonlu eleman modeli .....	109
Şekil 5.102. Yatay yük - yerdeğiştirme grafiği .....	109
Şekil 5.103. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	110
Şekil 5.104. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	110
Şekil 5.105. xy düzlemi kayma gerilmesi dağılımı .....	110
Şekil 5.106 Deney numunesi sonlu eleman modeli .....	111
Şekil 5.107. Yük deplasman grafiği .....	111
Şekil 5.108 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-1 .....	112
Şekil 5.109 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-2 .....	112
Şekil 5.110. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	113
Şekil 5.111. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	113
Şekil 5.112. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	113
Şekil 5.113 Deney numunesi sonlu eleman modeli .....	114
Şekil 5.114. Yük deplasman grafiği .....	114
Şekil 5.115 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar .....	115
Şekil 5.116. Y yönü normal gerilme dağılımı .....	115
Şekil 5.117. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı .....	115
Şekil 5.118. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı .....	116
Şekil 6.1. Yatay yük-deplasman davranışı .....	117
Şekil 6.2. Numunenin deney öncesi görünümü .....	117
Şekil 6.3. Numunede eğilme ile başlayan çatlak .....	118
Şekil 6.4. Numunede basınç ezilmesi .....	118
Şekil 6.5. Duvar tabanında deney sonunda gözlenen kayma ve düzlem dışı davranış .....	119
Şekil 6.6. Yatay yük-deplasman davranışı .....	119
Şekil 6.7. RDS Numunesinin deney öncesi son durumu .....	120
Şekil 6.8. RDS Numunesinde kayma çatlak oluşumu .....	120
Şekil 6.9. RDS Numunesinin deney sonu görünümü .....	121
Şekil 6.10. Yatay yük-deplasman davranışı .....	121



Şekil 6.11. Deney öncesi görünüm .....	122
Şekil 6.12. Deney sonu görünüm ve düzlem dışı davranış .....	122
Şekil 6.13. Yatay yük-deplasman davranışı .....	123
Şekil 6.14. Deney öncesi görünüm .....	123
Şekil 6.15. Eğilme altında ilk çatlak oluşumu .....	124
Şekil 6.16. Ardışık çevrimde eğilme çatlağı .....	124
Şekil 6.17. Eğilme çatlaklarının oluşturduğu kayma yüzeyi ve düzlem dışı davranış .....	125
Şekil 6.18. Yatay yük-deplasman davranışı .....	125
Şekil 6.19. Deney öncesi görünüm .....	126
Şekil 6.20. Duvarda ezilme .....	126
Şekil 6.21. Ezilen bölgede asal çekme çatlakları .....	127
Şekil 6.22. Ezilen bölgelerdeki hasar .....	127
Şekil 6.23. Yatay yük-deplasman davranışı .....	128
Şekil 6.24. Deney öncesi görünüm .....	128
Şekil 6.25. Ardışık çevrimlerde oluşan çatlaklar .....	129
Şekil 6.26. Çatlak kapanması sonrası basınç altında sıva dökülmesi .....	129
Şekil 6.27. Duvar köşesinde diyagonal çatlaklar .....	129
Şekil 6.28. Duvarın deney sonu görünümü .....	130
Şekil 6.29. Yatay yük-deplasman davranışı .....	130
Şekil 6.30. Deney öncesi .....	131
Şekil 6.31. Kayma yüzeyini oluşturacak eğilme çatlağı .....	131
Şekil 6.32. Basınç ezilmesi ve diyagonal çatlaklar .....	132
Şekil 6.33. Yatay yük-deplasman davranışı .....	132
Şekil 6.34. Deney öncesi .....	133
Şekil 6.35. Numune tabanında çatlak oluşumu .....	133
Şekil 6.36. Duvarda basınç eğilmesi .....	134
Şekil 6.37. Yatay yük-deplasman davranışı .....	134
Şekil 6.38. Deney öncesi görünüm .....	135
Şekil 6.39. Çatlak oluşumu .....	135
Şekil 6.40 Duvar köşesinde diyagonal çatlak oluşumu .....	136
Şekil 6.41. Duvar üstünde diyagonal çatlak oluşumu .....	136
Şekil 6.42. Yatay yük-deplasman davranışı .....	136
Şekil 6.43. Numunenin deney öncesi görünümü .....	137
Şekil 6.44. Numunede oluşan ilk asal çekme çatlakları .....	137
Şekil 6.45. Çatlakların gelişimi .....	138
Şekil 6.46. Numunenin deney sonu görünümü .....	138
Şekil 6.47 RDP-E numunesi yatay yük – deplasman davranışı .....	139
Şekil 6.48. Deney öncesi görünüm .....	139
Şekil 6.49. Ardışık çevrimlerde oluşan çatlaklar .....	140
Şekil 6.50. Duvarın deney sonu görünümü .....	140
Şekil 6.51. Yatay yük-deplasman davranışı .....	141
Şekil 6.52. GDPCIT Numunesinin deney öncesi son durumu .....	141
Şekil 6.53. GDPCIT Numunesinde ilk çatlakların oluşumu .....	142
Şekil 6.54. GDPCIT Numunesinde hasarın gelişimi .....	142
Şekil 6.55. Deney sonu görünüm .....	143
Şekil 6.56. Yatay yük-deplasman davranışı .....	143
Şekil 6.57. Deney öncesi görünüm .....	144
Şekil 6.58. Deney sonu görünüm .....	144
Şekil 6.59. Yatay yük-deplasman davranışı .....	145

Şekil 6.60. Deney öncesi görünüm .....	145
Şekil 6.61. Duvarın deney sonundaki görünümü.....	146
Şekil 6.62. Yatay yük-deplasman davranışı.....	146
Şekil 6.63. Deney öncesi görünüm .....	147
Şekil 6.64. Duvarda hasar başlangıcı .....	147
Şekil 6.65. Deneyin ilerleyen aşamalarında artan hasarlar .....	148
Şekil 6.66. Deney sonundaki hasar durumu .....	148
Şekil 6.67. Yatay yük-deplasman davranışı.....	149
Şekil 6.68. Deney öncesi görünüm .....	149
Şekil 6.69. Ardışık çevrimlerde oluşan çatlaklar .....	150
Şekil 6.70. Duvarın deney sonu görünümü .....	150
Şekil 6.71. Yatay yük-deplasman davranışı.....	151
Şekil 6.72. Deney öncesi görünüm .....	151
Şekil 6.73. Ardışık çevrimlerde oluşan çatlaklar .....	152
Şekil 6.74. Duvarın deney sonu görünümü .....	152
Şekil 6.75. YB1A Numunesi yatay yük - deplasman davranışı .....	153
Şekil 6.76. YB2A Numunesi yatay yük - deplasman davranışı .....	153
Şekil 6.77. YB4A Numunesi yatay yük-deplasman davranışı .....	154
Şekil 6.78. Deney öncesi eksenel yüklenmiş yapı (YB1A) .....	154
Şekil 6.79. İlk çatlak oluşumları (YB1A) .....	155
Şekil 6.80. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar.....	155
Şekil 6.81 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar .....	156
Şekil 6.82 Onarılmak üzere hasar verilen yapının (YB2A) deney sonu görünümü.....	156
Şekil 6.83 Onarılmak üzere hasar verilen yapının (YB4A) deney sonu görünümü.....	157
Şekil 6.84. YB2HG Numunesi yatay yük-deplasman davranışı.....	157
Şekil 6.85. Deney öncesi eksenel yüklenmiş yapı .....	158
Şekil 6.86. İlk çatlak oluşumları.....	158
Şekil 6.87. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar.....	159
Şekil 6.88 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar .....	159
Şekil 6.89. YB3G Numunesi yatay yük-deplasman davranışı.....	160
Şekil 6.90. Deney öncesi eksenel yüklenmiş yapı .....	160
Şekil 6.91. İlk çatlak oluşumları.....	161
Şekil 6.92. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar.....	161
Şekil 6.93. Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar .....	162
Şekil 6.94. YB4HG Numunesi yatay yük-deplasman davranışı.....	162
Şekil 6.95. Deney öncesi eksenel yüklenmiş yapı .....	163
Şekil 6.96. İlk çatlak oluşumları.....	163
Şekil 6.97. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar.....	164
Şekil 6.98 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar .....	164
Şekil 6.99. YB5B Numunesi yatay yük-deplasman davranışı .....	165
Şekil 6.100. Deney öncesi eksenel yüklenmiş yapı .....	165
Şekil 6.101. İlk çatlak oluşumları.....	166
Şekil 6.102. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar.....	166
Şekil 6.103 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar .....	167
Şekil 6.104. YB7C Numunesi yatay yük-deplasman davranışı.....	167
Şekil 6.105. Deney öncesi eksenel yüklenmiş yapı .....	168
Şekil 6.106. İlk çatlak oluşumları.....	168
Şekil 6.107. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar.....	169
Şekil 6.108 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar .....	169

Şekil 6.109. YB8C-G Numunesi yatay yük-deplasman davranışı.....	170
Şekil 6.110. Deney öncesi eksenel yüklenmiş yapı .....	170
Şekil 6.111. İlk çatlak oluşumları .....	171
Şekil 6.112. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar .....	171
Şekil 6.113 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar .....	172
Şekil 7.1. Boşluksuz deney elemanlarında sayısal modelde ve deneyde oluşan hasar şekilleri .....	173
Şekil 7.2 Deney ve analiz sonucunda elde edilen model kapasiteleri .....	174
Şekil 7.3. Boşluklu deney elemanlarında sayısal modelde ve deneyde oluşan hasar şekilleri .....	175
Şekil 7.4 Deney ve analiz sonucunda elde edilen model kapasiteleri .....	176
Şekil 7.5. Bina numunelerinin sayısal modelinde ve deneyde oluşan hasar şekilleri .....	177
Şekil 7.6 Bina modelleri için deney ve analiz sonucunda elde edilen kapasiteler .....	178
Şekil 7.7 Boşluksuz duvarlarda enerji tüketimi .....	180
Şekil 7.8 Boşluklu duvarlarda enerji tüketimi .....	181
Şekil 7.9 Bina modellerinde enerji tüketimi .....	182

## TABLULAR DİZİNİ

<i>Tablo 3.1 Deney numunelerinin kodlanması ve özellikleri .....</i>	28
<i>Tablo 3.2 Bina numunelerinin özellikleri .....</i>	36
<i>Tablo 4.1 İncelenen kamu yapıları .....</i>	50
<i>Tablo 4.2 Ege Bölgesi yığma yapıların DBYYHY hükümlerini karşılama oranları .....</i>	66

# 1 GİRİŞ

## 1.1 Konu

Türkiye'deki yerleşim alanlarının büyük bir çoğunluğu deprem riski altındadır. 1992 Erzincan depremi ile başlayan süreçte neredeyse her iki yılda bir yıkıcı deprem yaşanmıştır. Birçoğu orta büyüklükteki bu depremler kırsal-kentsel, gelişmiş-gelişmemiş bölge farkı olmaksızın tüm ülkede ağır hasarlara ve ekonomik kayıplara sebep olmuştur. Bugün itibarı ile Türkiye'nin öncelikli konularından birisi de depremde ağır hasar görme/yıkılma riski taşıyan yapı stokunun hızlı bir şekilde azaltılmasıdır.

Türkiye'deki bina stokunun büyük bir bölümünü yığma yapılar oluşturmaktadır [DİE, 2000]. Geçmiş depremlerde, özellikle kırsal kesimde, genel teknik kurallara hiç uygun olmayan yığma yapılar az katlı olmalarına rağmen göçmüş veya ağır hasar görmüştür (Şekil 1.1). Henüz deprem olmayan ancak deprem riski taşıyan yerleşim alanlarında benzer tarzda inşa edilen ve kullanılan yapıların deprem bakımından yetersiz olduğu da bir gerçektir. Bu yapılar ülke için büyük risk teşkil etmektedir. Bu riskin azaltılması da büyük önem taşımaktadır.

Büyük çoğunluğu deprem bakımından yetersiz yığma yapılarda yaşayan insanların alt gelir gruplarında yer alması da, yapıların mevcut yöntemler ile hemen iyileştirilemeyeceği gerçeğini de ortaya koymaktadır. Genelde gelir düzeyi düşük olan yığma yapı sahiplerinin pahalı yöntemler ile yapılarını güçlendirmeleri mümkün değildir. Bu yapıların güçlendirilmesi için ucuz ve kolay uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi bu sorunun giderilmesi, riskin azaltılması açısından katkı sağlayacaktır.



Şekil 1.1 Ülkemizde son yıllardaki depremlerde hasar gören yığma yapılardan örnekler

Bu proje çalışmasının konusu, deprem bakımından yetersiz yapıların deprem güvenliğini iyileştirmeye yönelik deneysel verilere dayalı yeni bir güçlendirme metodunun araştırılmasıdır. Bu çalışma kapsamında, atık oto lastiklerinden elde edilen lastik şeritlerle yığma binaların güçlendirilmesi, laboratuarda yapılan bire bir ölçekli yığma yapı modelleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ile araştırılmıştır. Nümerik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yöntemin etkinliği incelenmiştir.

## 1.2 Amaç

Bu çalışmada en temel amaç, deprem afeti oluşmadan önce iyileştirme safhasında, mevcut riskin azaltılmasına katkı sağlamaktır. Çalışma kapsamında deprem bakımından yetersiz yığma yapıların güçlendirilmesi için ucuz ve kolayca uygulanabilir bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile ortaya koyulan güçlendirme yöntemi; konut sahibinin kendisi tarafından da rahatlıkla uygulanabilecektir. Güçlendirme projesi hazırlayarak uygulayacak yeterli teknik personelin az olması, diğer taraftan proje maliyetlerinin kırsal kesimde yaşayan gelir düzeyi düşük olan yapı sahibince karşılanamayacak olması dikkate alındığında, çalışmada önerilen yöntemin önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Ülkemiz açısından önemli bir sorun olan deprem afetlerini önlemek için hem parasal hem de teknik işgücü bakımından ciddi bir sıkıntı bulunduğu da açıktır. Bu durum dikkate alındığında; kolay uygulanabilecek, tipik detaylara sahip ucuz güçlendirme yöntemlerinin özellikle kırsal bölgelerde yaşayan gelir düzeyi düşük insanlar için önemli bir ihtiyaç olduğu açıktır. Bu proje ile bu ihtiyaca cevap verilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Bunun yanında çevresel sorunlar günümüzün en önemli problemleridir. Doğal bir madde olmayan lastiğin doğada yok olması yüzyıllar almaktadır. Çalışma ile ciddi bir çevre sorunu olan kullanılmış oto lastiklerinin, yığma yapıların deprem güvenliğinin iyileştirilmesinde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Çalışmanın bilimsel amaçları yanında kurumsal olarak da uygulamada görev alan İnşaat Mühendisleri ve henüz eğitim aşamasında olan öğrencilerinin yığma yapılar ve davranış biçimleri konusundaki görgü ve bilgisinin artırılması sağlanmıştır. Laboratuarda bir program dahilinde yapılan deneyler, uygulama çevrelerinin yanında öğrenciler tarafından da ilgi ile izlenmiştir. Çalışma kapsamında yaklaşık 2 yıla yayılan deneyler boyunca, İnşaat Mühendisliği Bölümündeki lisans ve lisansüstü öğrencinin yığma yapılar konusundaki bilgilerinde gelişme sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında iki lisansüstü öğrenci de yetiştirilmiştir. Laboratuarda, 2004-2006 yılları arasında prefabrik yapıların güçlendirilmesi ve betonarme yapıların dış-perde duvarlarla güçlendirilmesine ilişkin deneyler bir DPT projesi kapsamında yapılmıştır. Tamamlanan bu proje ile laboratuardaki faaliyetler aralıksız devam etmiş ve laboratuvar personelinin tecrübesi daha büyük projeler için artırılmıştır.

## 1.3 Kapsam

Çalışma kapsamında, yığma yapıların güçlendirilmesinde, kullanılmış oto lastiklerinden elde edilecek şeritlerin kullanılması araştırılmıştır. Deney modellerinin sayısal olarak çözümleri, ANSYS yazılımı ile doğrusal olmayan davranışı ortaya koyacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizleri yapılan modeller, laboratuarda üretilerek tersinir tekrarlı artımlı yatay yük

altında denenmiştir. Deneysel çalışmada 2 boyutlu, tek duvar deneyleri ile 3 boyutlu yapı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Duvar deneylerinde, farklı şekilde güçlendirilmiş yığma duvarların kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında 17 adet yığma duvar deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan duvarlar 1/1 ölçekli olarak üretilmiştir.

Duvar deneylerinden elde edilecek veriler kullanılarak, 3 boyutlu 1/1 ölçekli model bina deneyleri tasarlanmıştır. Üç boyutlu model bina deneylerinde, lastik şeritlerin kullanım şekli, kaplama malzemesi ve duvarın kaç yönden güçlendirilmesi gerektiğine, duvar deneylerinden elde edilen sonuçlara göre karar verilmiştir. Çalışmada, 7 adet 3 boyutlu yapı kullanılarak 9 adet üç boyutlu yapı deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden dördü güçlendirilmemiş, ikisi hasar sonrası güçlendirilmiş, üçü de hasar görmeden güçlendirilmiş yapı deneyleridir.

## 2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1 Genel

Ülkemizde ve hatta tüm dünyada yapı stokunun ciddi bir kısmı yığma yapılardan oluşmasına rağmen betonarme yapılar için yapılan çalışmaların yanında yığma yapılar konusundaki araştırmalar oldukça sınırlıdır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda ciddi bir artış gözlenmektedir. Bu çalışmalarda yığma duvarların kesme kapasitelerini artırmak için çeşitli yöntemler önerilmiştir.

### 2.2 Türkiye'deki Yığma Yapıların Deprem Dayanımı ile İlgili Çalışmalar

Bozdoğanlı (1998) yaptığı deneysel çalışmada, yığma duvarlardaki boşluklar arasında kalan ve yatay yükleri taşıyan duvar parçalarının dayanımlarını düşey ve yarı-statik yatay yükler altında incelemiştir.

Saberi (1998) deneysel çalışmasında kapı ve pencere boşlukları yanlarında kalan duvar parçalarının davranışını araştırmıştır. Yapılan deneylerde duvar parçalarının altlarından kayarak hasar gördükleri belirlenmiştir.

Batur (1999) yayınladığı tez çalışmasında Türkiye'de tez tarihinde yürürlükte bulunan 1997 Afet Yönetmeliğinin yığma yapılarla ilgili hükümleri ile TS2510 hükümlerini yabancı şartnamelerle (Eurocode8, 1993; AIJ,1989; ACI530, 1992; BS5628, 1992) karşılaştırmış ve Türk yönetmeliklerinin geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunmuştur.

Gürel (2001) doktora çalışmasında yığma dolu duvarların kendi ağırlıkları ve düzlem dışı kuvvetler altındaki bileşik yük etkisine karşı davranışını araştırmıştır. Duvarın düzlem dışı davranış bakımından düşey yükteki artışa olumlu cevap verdiği görülmüştür. Küçük görelî kat ötelenmeleri durumunda kargir dolu duvarların çerçeve elemanlarla oluşturulan sınır şartlarına bağılı olarak kemerlenme etkisine dayanan oldukça iyi bir dayanımları olduğu görülmüştür.

Türer ve Dilsiz (2005) Türkiye'deki yığma yapılar için bir taslak depremsel risk haritasını CBS yardımıyla geliştirmişlerdir. İllerin deprem bölge katsayısı, deprem geçmişi, yığma yapı sayısı ve bu yapılarda yaşayan nüfus bir parametre olarak kullanılmıştır. Çalışma sonunda, Ege Bölgesi ile Doğu Anadolu bölgesinin yığma yapıların deprem güvenliği bakımından en tehlikeli bölgeler olduğu görülmüştür.

### 2.3 Yığma Yapıların Güçlendirilmesine Yönelik Çalışmalar

Binda ve diğ. (1997) yığma taş duvarların enjeksiyon yöntemiyle güçlendirilmesi konusunu araştırmışlardır. Taş duvarlı yapıların en önemli problemi duvar kesitinin içerisinde yer alan boşluklardır. Bu boşluklar duvarın iç ve dış kesitlerinin birlikte çalışmasını da engellemektedir. Araştırmacılar, duvar kesitine enjeksiyon yapılarak duvarların iyileştirilmesini hedeflemişlerdir. Yapılan saha çalışmasında da enjeksiyon yapılmış duvarlar incelenerek boşlukların kayda değer şekilde doldurulabildiği görülmüştür.

Gilstrap ve Dolan (1998) çalışmalarında FRP ile güçlendirilmiş duvarların düzlem dışı eğilme dayanımlarını araştırmışlardır. Farklı yapıştırıcı malzemesi ve fiber malzemesi kullanılarak



üretilen 7 numuneden 6 tanesi düzgün yayılı birisi de çizgisel olarak yüklenmiştir. Deneyler sonucunda FRP kullanımının düzlem dışı davranışa katkı sağladığı ancak, FRP –duvar arayüzündeki yapıştırıcının kalitesinin oldukça önemli olduğu yazarlarca belirtilmiştir.

Benedetti ve diğ. (1998) ½ ölçekle hazırlanmış 24 yığma yapı modeli üzerinde 119 sarsma tablası deneyi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar basit güçlendirme tekniklerinin bile faydalı olduğunu ifade etmişlerdir. Yatay kuşakların duvarların ayrışmasını ve dolayısıyla göçmeyi engellediği ortaya koyulmuştur. Yazarlar, binaların güçlendirme performansının dayanımı yetersiz mevcut yapının yapım kalitesinden nihai yatay yük katsayısı, ve yatay ivme katsayısı bakımından olumlu etkilendiğini gözlemişlerdir.

Taghdi ve diğ. (2000) deneysel olarak çelik şeritlerle güçlendirilmiş yığma duvarların ve küt perdelerin davranışını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda çelik şeritle güçlendirmenin dayanım, süneklik ve enerji sönümü üzerine olumlu etkileri ortaya koyulmuştur. Çelik şeritlerle yapılan güçlendirmenin tüm modellerde yatay yük kapasitesini yaklaşık 300 kN artırdığı görülmüştür.

Albert ve diğ. (2001) donatısız yığma duvarların FRP ile güçlendirilmesi konusundaki çalışmalarını yayınlamışlardır. Çalışmada 4 metre yüksekliğe sahip dış cepheden FRP ile güçlendirilmiş duvarların düzlem dışı dayanım deneyleri yapılmıştır. Çalışmada fiber türü, miktarı ve düzeninin yanında ortalama aksel basıncın bulunması ve tekrarlı yüklemenin etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonunda FRP ile güçlendirilen duvarların dayanım ve sünekliklerinde ciddi oranda artış sağlanmıştır. FRP miktarı ve türünün numune rijitliğini etkilediği, ancak yerleşiminin global duvar davranışından ziyade local derz şekil değiştirmelerine etkisi olduğu görülmüştür. Tekrarlı yükleme yapılması durumunda elde edilen global davranışla statik itme yapılması durumunda elde edilen davranış arasında ciddi farklar gözlenmemiştir.

Wipplinger (2004) iki katlı yığma yapıya pasif izolasyon sistemi uygulayarak sarsma tablası testleri gerçekleştirmiştir. Yapılan deneylerde uygulanan izolasyon sisteminin yığma yapının hasar görmesini engellediği gösterilmiştir.

Türer yürütücülüğünde tamamlanan SPIM 1451 projesi (2005, 2006) kapsamında kullanılmış oto lastikleri yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu projede oto lastiklerinin taban ve yanak kısımları ayrılarak halka şeklinde şeritler elde edilmekte ve bu şeritler çelik bir aparatla uç-uca eklenerek uzun şeritler meydana getirilebilmektedir. Oluşturulan şeritlerle duvar yatay – düşey farklı şekillerde sarılarak yapıya ard-germe uygulanmakta, duvarda oluşacak asal çekme çatlakları engellenmekte veya geciktirilmektedir. Proje kapsamında kaldırma masası ile 1/1 ölçekli deney sonuçları; Gölalmış ve Türer (2005) tarafından yayınlamıştır. Deneyler sonucunda otomobil lastikleri ile ard-germe uygulanan deney numunelerinin dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Aynı proje kapsamında yapılan deneylerde (Korkmaz ve diğ., 2005) 1/10 ölçekli numune deneyleri sarsma tablasında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde değişik ard-germe konfigürasyonlarının etkinliği araştırılmıştır. Hem düşey olarak ard-germe uygulanan hem de çatı seviyesinde sargılanan binaların en yüksek dayanıma sahip oldukları görülmüştür. Bu şekilde güçlendirilen elemanlarda göçme ivmesinin referans numunenin yaklaşık 2,1 katına yakın olduğu görülmüştür. Bu artışta yatay sargılamanın %70, düşey sargılamanın ise %40 katkısı olduğunu araştırmacılar belirtmiştir.

Altın ve diğ. (2005) yaptıkları deneysel çalışmada tek katlı ve tek açıklıklı 3 boyutlu bir yığma yapıyı sarsma tablası testine tabi tutmuşlardır. Aynı deney yapısında meydana gelen hasarlar onararak yapıya düşey ve çapraz şekilde çelik levhalarla güçlendirme uygulanmış ve aynı ivme ile deney tekrarlanmıştır. Deney sonucunda onarıp güçlendirilen yapıda ciddi bir çatlak oluşumu gözlenememiştir. Araştırmacılar önerilen yöntemin başarılı olduğunu belirtip, bu başarının levha ve duvar arasındaki bağlantıların kalitesine bağlı olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Sallio (2005) yaptığı tez çalışmasında 3 katlı bir yığma yapının 36000 elemandan oluşan sonlu eleman modellerini oluşturmuş, deprem dayanımı yetersiz bulunan yapının güçlendirilmesi için dış cepheden hasır donatılı püskürtme beton uygulaması yapılması öngörülmüştür. Güçlendirilmiş duruma ait sonlu eleman modelleri de hazırlanarak güçlendirme sonrasında oluşan gerilmelerin güvenli düzeye geldiği, kayma gerilmelerinin büyük kısmının hasır donatılı püskürtme betonla güçlendirilen bölgelerde taşındığı görülmüştür.

Mayorca ve diğ. (2006) yığma yapıların güçlendirilmesinin önemine değindikleri çalışmalarında polipropilen bantlarıyla (PP-B) hazırlanmış hasırların yığma yapı duvarlarının güçlendirilmesinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada ¼ ölçekli tek katlı yığma yapı modeli önerilen yöntemle güçlendirilmiş ve hem güçlendirilen hem de güçlendirilmeyen referans yapı aynı ivme kaydı ile sarsma tablasında deneye tabi tutulmuştur. Yazarlar PP-B hasırlarıyla güçlendirilen yapının davranışında ciddi iyileşmeler gözlemişlerdir. Yapılan deneylerde PP-B hasırla güçlendirilmiş modelin göçürülmesi için referans modele uygulanan ivmenin 4 ve 10 katı PGA ve PGV değerlerine sahip ivme kaydı uygulanması gerekmiştir.

Dolce ve diğ. (2006) çalışmalarında İtalya'da rastlanan tipik yığma yapıların 2/3 ölçekli modelini oluşturarak iki farklı güçlendirme yöntemi ile bu yapıları güçlendirmiş ve sarsma tablası deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada uygulanan sismik izolasyon yönteminin başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Faella ve diğ. (2006) yayınladıkları çalışmalarında karbon fiber hasırla güçlendirilmiş yığma duvarların kayma dayanımlarını araştırmışlardır. Altısı güçlendirilmiş olmak üzere toplam dokuz numune üzerinde diyagonal basınç uygulanarak deneyler yapılmıştır. Güçlendirilmiş duvarlarda yapılan deneylerde çatlak oluşumunun geciktiği ve duvar kayma dayanımının 4-6 kat arasında artış gösterdiği görülmüştür.

Langone ve diğ. (2006) bildirimlerinde yığma yapıların Cam-FRP şeritleri ile güçlendirilmesi konusunu ele almışlardır. Sacco adı verilen tarzda (Bu tarz yapı örneğine proje kapsamında yapılan envanter çalışmasında rastlanmamıştır) ölçekli olarak inşa edilen tek odalı iki katlı yığma yapı sarsma tablasında test edilmiştir. Deney sonrası onarılan yapı öngörülen yöntemle güçlendirilerek iki farklı deprem kaydıyla tekrar denemiştir. Bunlardan birisi sonunda hasar oluşumu görülmemiş, Calitri deprem kaydının uygulanması sonrasında ise sadece bir CFRP şeridinin yığma duvardan ayrıştığı görülmüştür.

Blondet ve diğ. (2006) deneysel çalışmalarında kerpiç yapıların deprem dayanımlarını artırmak için polimer hasır kullanmışlardır. Yapılan çalışmada birisi referans yapı olmak üzere beş yapı üzerinde sarsma tablası deneyleri yapılmıştır. Deneylerden birisinde referans yapı tamamen hasırla sarılmış, ikisinde farklı konfigürasyona sahip daha az hasır içeren modeller denenmiş, son deneyde ise ucuz bir polimer hasır kullanılmıştır. Deneyler

sonucunda tamamen hasır sarılan yapının hasar görmediği, güçlendirilen diğer modellerde hasar oluştuğu ancak davranışın kabul edilebilir performans seviyesinde olduğu görülmüştür.

Honarbaksh ve diğ. (2006) Tahrandaki bir yığma okul yapısının güçlendirilmesini ele aldıkları çalışmada, hasır donatılı püskürtme betonla güçlendirilen yapıda köşe noktalarda yeni bağ kolonları oluşturulmuş, böylece birbirini dik kesen duvarların uygun şekilde bağlanması hedeflenmiştir. Uygulamaya dönük çalışmada duvar boşluklarının küçültülmesi örneklenmiştir.

Maria ve Alcaino (2006) çalışmalarında yığma duvarların güçlendirilme alternatiflerini değerlendirmişlerdir. Düzlem içi kuvvetlere maruz 4 yığma duvarda statik deneyler yapılmıştır. Bu deneylerden birisinde çelik hasır ile güçlendirilmiş, birisinde yatay FRP şeritleri ile güçlendirilmiş ikisinde ise çapraz FRP şeritleri ile güçlendirilmiş duvarlar kullanılmıştır. Deneyler sonucunda çelik hasırla güçlendirilen duvarın çok gevrek bir davranış gösterdiği, çapraz FRP şeritlerle güçlendirilen duvarlarda dayanımın %24 ve %35 artış gösterdiği, yatay FRP şeritle güçlendirilen duvarların %13 dayanım artışı gösterdiği görülmüştür. Ancak, yatay şeritlerle güçlendirilen numunenin daha sünek bir davranış gösterdiği deneylerde görülmüştür.

Russo ve diğ. (2006) hasır donatılı sıva ile güçlendirilmiş duvarların düzlem içi kuvvet etkisindeki davranışını araştırmışlardır. Çift yönden güçlendirilen numunelerde %112 dayanım artışı sağlanırken tek yönden güçlendirilen numunelerde bu oran %40'a düşmüştür. Çift yönden güçlendirilen numunelerde sıva ile duvar bağlantısının yetersiz olması durumunda %112 olan dayanım artışı %67'ye gerilemiştir. Araştırmacılar düzlem için davranışın hasır donatılı sıva ile güçlendirme ile iyileştirilebileceği deneysel olarak göstermişlerdir.

Kanıt ve diğ. (2006) yığma duvarların düzlem dışı davranış deneylerini yapmış ve güçlendirme önerileri sunmuşlardır. Çalışma kapsamında 4 deney yapılmıştır. Referans numune haricindeki numuneler duvar köşesine içeride kalacak şekilde konulan L şeklinde levha, dıştan koyulan L şeklinde levha ve duvarı ortasından dikey geçen FRP uygulanarak güçlendirilmiştir. En büyük dayanım artışı FRP uygulamasında sağlanmış, duvar dayanımı iki katına çıkmıştır. Duvar güçlendirmesinde kullanılan L şeklindeki köşe levhasının duvar dayanımına ciddi katkısı olmamakla beraber sünekliğe önemli katkı sağladığı görülmüştür.

Onar (2007) yüksek lisans tezi kapsamında yığma yapı taşıyıcı duvarlarının CFRP ile güçlendirilmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada hazırlanan deney modelleri eğik basınç etkisine maruz bırakılarak, aksel ve kesme yükleri altında denenmiştir. ½ ölçekle küçültülen tuğlalarla 17,5x19,5 cm boyutunda 3 seri halinde 36 adet deney elemanı üretilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. CFRP kumaşın şeritlere göre daha iyi sonuç verdiği çalışma sonucunda görülmüştür.

## 2.4 Literatür Değerlendirmesi

Literatürde yer alan güçlendirme yöntemleri daha çok mühendislik hizmeti alabilecek yapı sahiplerine hitap eden pahalı yöntemlerdir. Hâlbuki ülkemizde yığma yapılarda yaşayan

önemli bir kitle; genelde kırsal alanlarda mühendislik hizmeti almadan yapılarını inşa etmekte ve ekonomik açıdan da bu tür yöntemleri uygulayacak durumda değildirler.

Bu kişilerin de ihtiyaçlarını karşılamak üzere ucuz ve kolay uygulanabilir güçlendirme yöntemlerin geliştirilmesi hayati öneme sahiptir. Geliştirilecek yöntemlerin maliyetinin düşük olması yanında teknik personel ihtiyacını da en aza indirmesi gereklidir.

Bu proje kapsamında ucuz ve kolay uygulanabileceği düşünülen bir yöntemin yığma yapı davranışına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Önerilen yöntemin fizibilitesi çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

### 3 MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Saha Çalışması

Saha çalışmasında bölgesel olarak yığma yapılarda gözlenen yetersizliklerin ve yığma yapıların karakteristik özelliklerinin ortaya koyulması hedeflenmiştir. Çalışma, Ege Bölgesinin değişik yörelerinde sürdürülmüştür. Proje önerisinde ortaya koyulan Denizli ve Uşak illerindeki saha araştırmasının yeterli olmayacağı düşünülerek saha çalışması bu illerin yanında Aydın, İzmir, Muğla, Kütahya illerine de yaygınlaştırılmıştır. Ayrıca, başlangıçta sadece şahıs mülkiyetindeki yapılarda bir tarama planlanırken, kamu yapılarını da kapsayan bir tarama yapılmıştır. İçerikteki bu genişleme de saha çalışmasının uzamasının bir başka nedenidir.

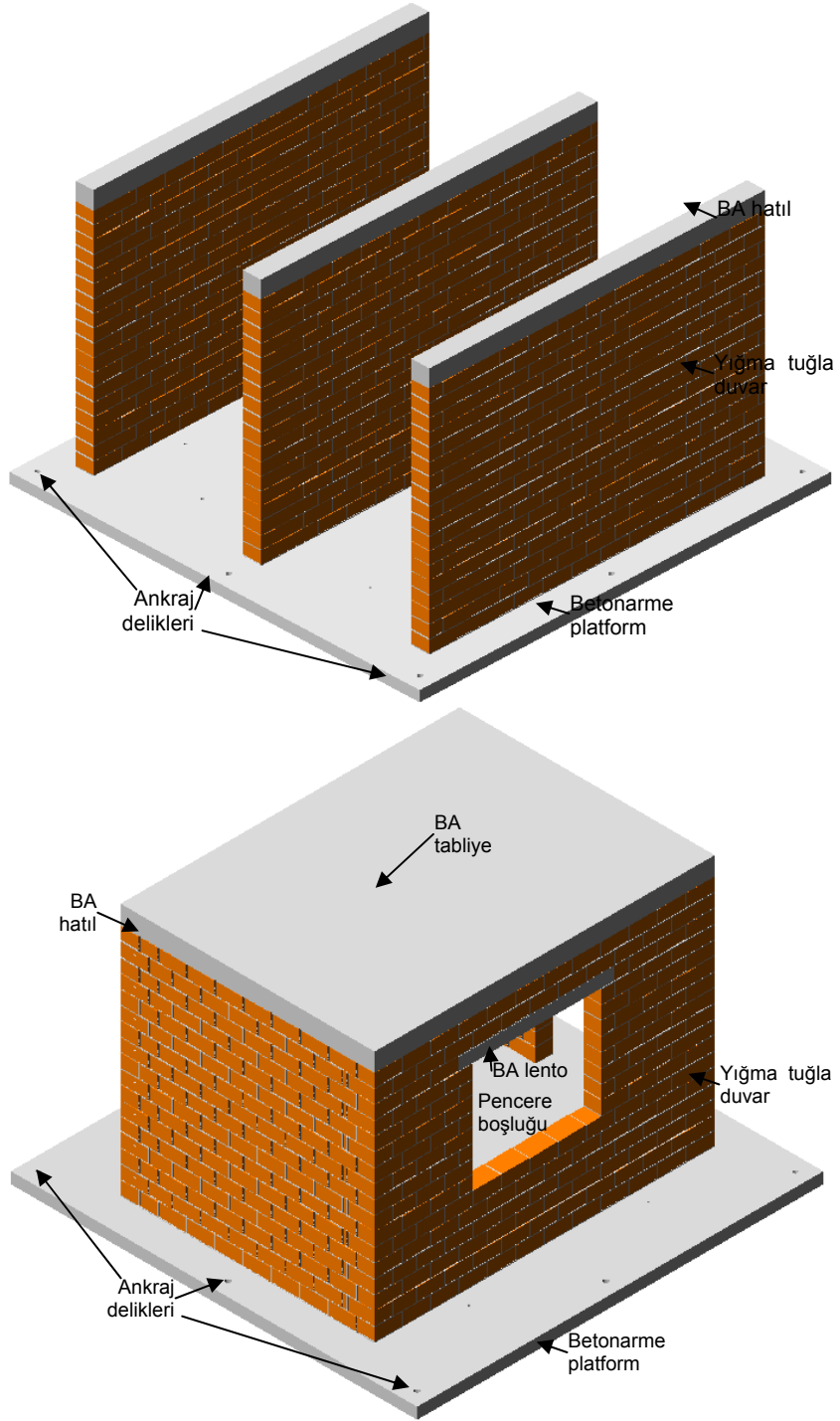
Yapılan çalışmalar sonunda kamu yığma yapı stokunun karakteristikleri ile konut amaçlı yığma yapıların birbirinden çok farklı özelliklere sahip oldukları gözlenmiştir. Bu sebeple bu bölümde her iki yapı sınıfına ayrı ayrı değinilecektir. Kamu yapılarının sayıca az olması ve incelemenin rahat olması nedeniyle bu yapılarda bina içerisinden de detaylı incelemeler yapılmıştır. Özel yapılarda ise, her zaman bina içerisinden inceleme mümkün olmadığı için sokak taraması ile yapı karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Yığma yapı stoğunu temsil edecek şekilde seçilen yapıların, teknik özellikleri ve fotoğrafları, proje ekibince geliştirilen değerlendirme formlarına işlenmiştir. Bu formların ön yüzlerinde, değerlendirmeye alınan yığma yapının adresi, kat sayısı, bodrum katı olup olmadığı, komşu binalarla konumu, komşu binalarla derz olup olmadığı, komşu binalarla kat seviyesi, taşıyıcı sistem türü, taşıyıcı duvar malzemesi, bodrum duvar malzemesi, döşeme sistemi, kalkan duvar olup olmadığı, kalkan duvar varsa yatay ve düşey hatıl bulunup bulunmadığı, kalkan duvar yüksekliği, dış sıva olup olmadığı, duvar köşe birleşimlerinin doğru yapıp yapılmadığı, ve deprem yada oturma hasarı olup olmadığı yönünde tespitler yapılmıştır.

Değerlendirme formunun arka yüzünde ise, 2007 “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” in beşinci bölümünde belirtilen yığma binalar için depreme dayanıklı tasarım kurallarında belirtilen maddeler sıralanmış ve envanter çalışması için seçilen 741 adet yığma yapı için değerlendirme yapılmıştır. Envanter çalışması sonuçları hızlı değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilerek, deprem sonucu oluşması muhtemel can ve mal kayıpları ve bu yapıların hasar dereceleri hakkında öngörülerde bulunulmuştur.

#### 3.2 Kullanılan Modeller

Yığma yapıların tersinir tekrarlı yatay yük altında davranışının deneysel olarak ortaya konulması için 1/1 ölçeğinde model duvarlar ve 3 boyutlu yapılar üretilmiştir. (Şekil 3.1). Deneyler için 17 adet 2 boyutlu, 8 adet 3 boyutlu yapı modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3.1. Deney platformu ve üzerindeki 2 ve 3 boyutlu yığma yapılar

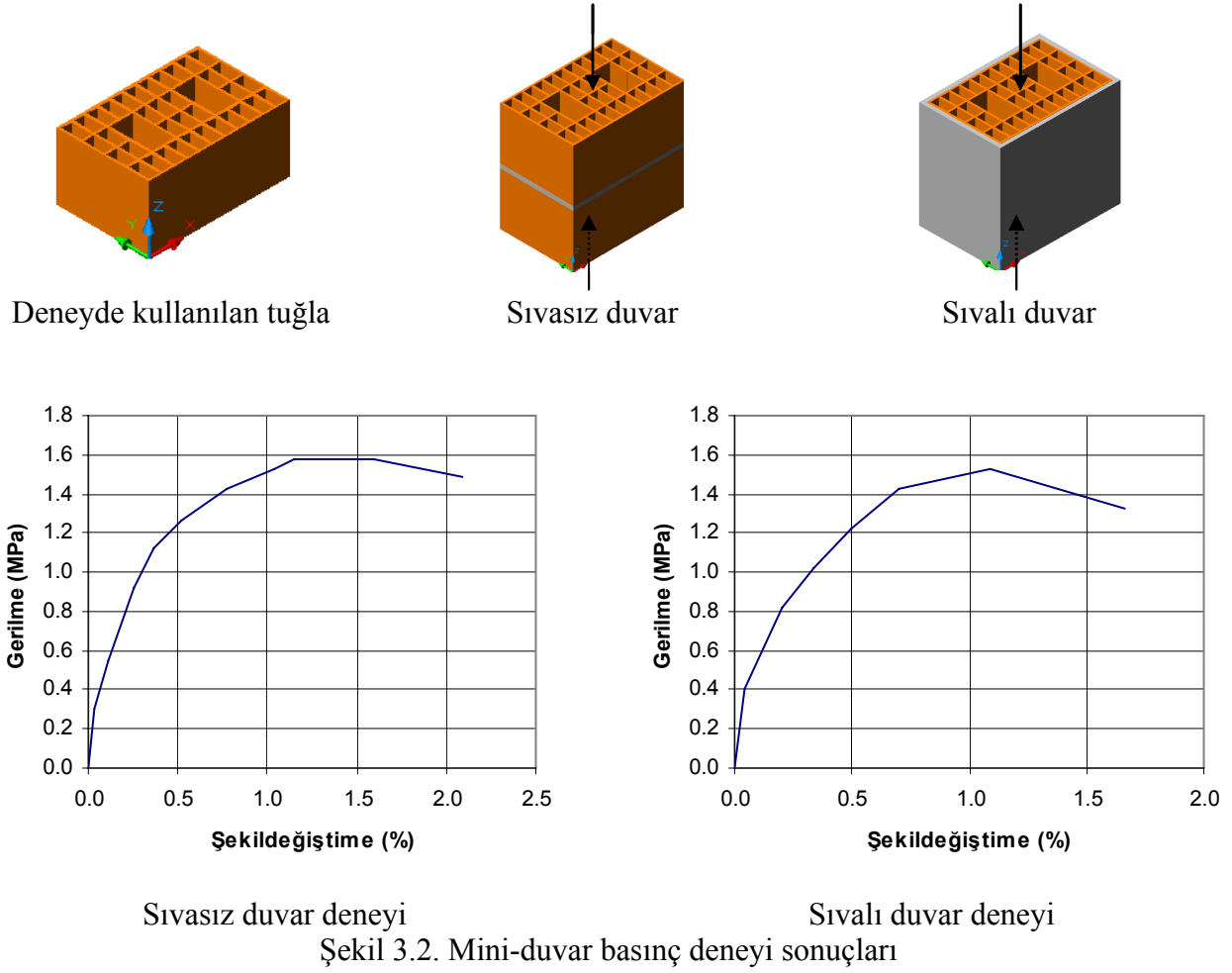
### 3.2.1 Malzeme

Model duvarların yapımında uygulamada yaygın olarak kullanılan malzemeler seçilmiştir. Modellerin üretiminde, Ege bölgesinde uygulamada da yaygın olarak kullanılmakta olan 19×29×13.5 düşey delikli taşıyıcı tuğla kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmada kullanılan düşey delikli tuğlanın fiziksel özellikleri, ortalamayı yansıtmak üzere tespit edilmiştir. Buna göre; bir adet tuğlanın hacmi  $0.007438 \text{ m}^3$ , ağırlığı

45 N, birim hacim ağırlığı 6 kN/m<sup>3</sup> tür. Sıvasız duvarın hacmi 0.015428 m<sup>3</sup>, ağırlığı 114 N, birim hacim ağırlığı 7 kN/m<sup>3</sup> tür. Sıvalı duvarın hacmi 0.018228 m<sup>3</sup>, ağırlığı 205.8 N, birim hacim ağırlığı 11.3 kN/m<sup>3</sup> tür.

Sayısal modellerde kullanılan malzeme özelliklerinin belirlenmesi için, ortalama ölçülere uygun 2 adet tuğla kullanılarak 6 adet sıvasız, 6 adet sıvalı mini-duvar yapılmıştır. Duvarların üzerine çimento harcından başlık yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve dayanımları belirlenmiştir. Duvarların basınç deneyleri sonuçları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Tuğlalar arasındaki harcın yapımında kireçli hazır harç çimento ile karıştırılarak kullanılmıştır. Sıvanın yapımında da yine aynı harç kullanılmıştır. Harcın yapımında KPC 42.5 çimento kullanılmıştır.

Yığma duvarların üstündeki betonarme hatılda boyuna donatı olarak 4Φ10 BÇIII nervürlü betonarme çeliği, enine donatı olarak ise Φ8/25 BÇI nervürlü çelik kullanılmıştır.

### 3.3 Duvar Numunelerinin Özellikleri

Çalışma kapsamında üretilen duvar modellerinin özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Üretilen güçlendirilmiş modellerde lastik aralığı, lastiklerin döşenme şekli, lastiklerin kaplanması için kullanılan malzeme, lastik yerleşim yönü gibi farklı parametreler kullanılmıştır. Referans duvarlar ise pencere ve eksenel yük düzeyine göre farklılaşmaktadır.

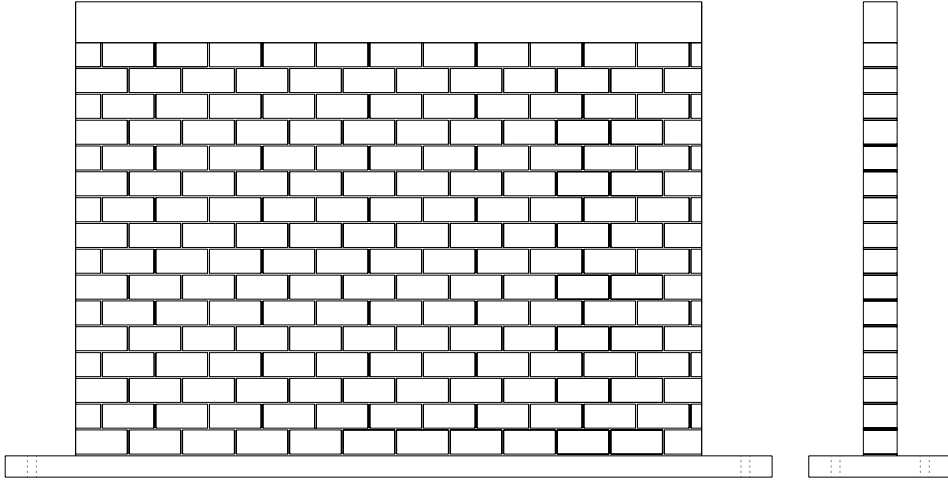
Tablo 3.1 Deney numunelerinin kodlanması ve özellikleri

Numune No	Numune adı	Sıva	Duvar yüksekliği (m)	Eksenel yük (kN)	Pencer e	Lastik yönü	Lastiklerin kaplanması	Lastik döşeme şekli	Lastik aralığı (cm)
1	RD	Yok	2,55	120	Yok	-	-	-	-
2	RDS	Var	2,55	120	Yok	-	-	-	-
3	GSDS1T	Var	2,55	120	Yok	1	Tam. harcı	Düşey	30
4	GDSY1T	Var	2,55	120	Yok	1	Tam. harcı	Yatay	30
5	GDSC1T	Var	2,55	120	Yok	1	Tam. harcı	Çapraz	30
6	GSDS2T	Var	2,55	120	Yok	2	Tam. harcı	Düşey	30
7	GDSK1T	Var	2,55	120	Yok	1	Tam. harcı	Karelaj	30
8	GDSC2T	Var	2,55	120	Yok	2	Tam. harcı	Çapraz	30
9	GDSY2T	Var	2,55	120	Yok	2	Tam. harcı	Yatay	30
10	RDP	Var	2,55	120	Var	-	-	-	-
11	GDPC1T	Var	2,55	120	Var	1	Tam. harcı	Çapraz	30
12	GDPC1S	Var	2,55	120	Var	1	Sıva harcı	Çapraz	30
13	GDPCU1S	Var	2,55	120	Var	1	Sıva harcı	Çapraz	30
14	GDPCU1S2	Var	2,55	120	Var	1	Sıva harcı	Çapraz	15
15	RDP-E	Var	2,55	180	Var	-	-	-	-
16	GDPCU1S-E	Var	2,55	180	Var	1	Sıva harcı	Çapraz	30
17	GDPCYD1S-E	Var	2,55	180	Var	1	Sıva harcı	Ç/Y/D	30



### 3.3.1 RD Numunesi

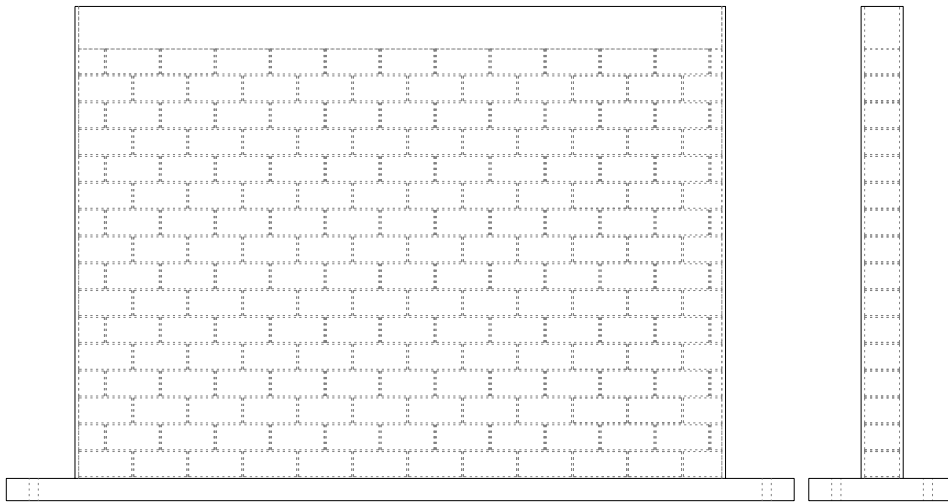
RD Numunesi sıvasız duvar davranışının ortaya koyulması için hazırlanmıştır. Literatür taraması esnasında özellikle kırsal kesimdeki pek çok yığma yapının duvarlarının sıvasız olarak yapıldığı görülmüştür. Bunun davranışa etkilerinin incelenmesi için bu tarz bir duvar imal edilmiştir. Şekil 3.3’de duvarın detayı verilmiştir.



Şekil 3.3. RD Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.2 RDS Numunesi

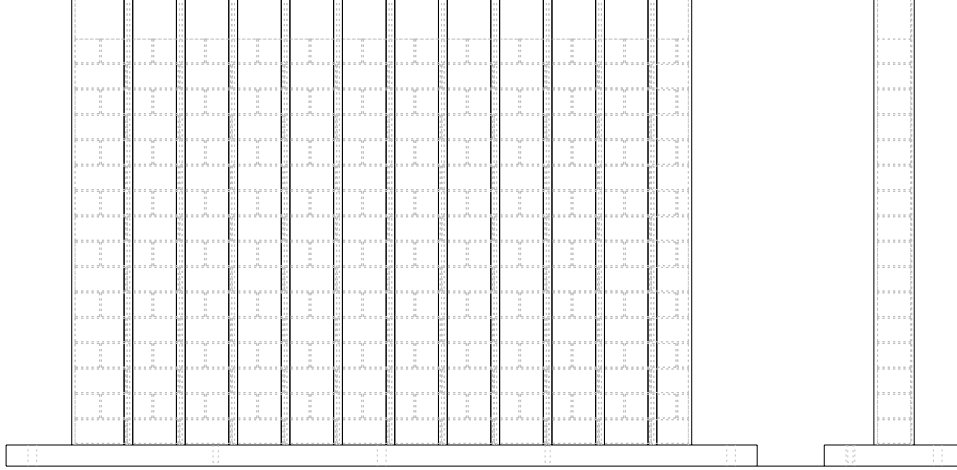
RDS Numunesi sıvalı duvar davranışının ortaya koyulması için hazırlanmıştır. RD Numunesine göre farkı duvarın sıvalı olmasıdır. Şekil 3.4’te RDS numunesinin yan görünüşü gösterilmiştir. RDS numunesi, lastik şeritle güçlendirilen duvarlar için referans numunedir.



Şekil 3.4. RDS Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.3 GDS1T Numunesi

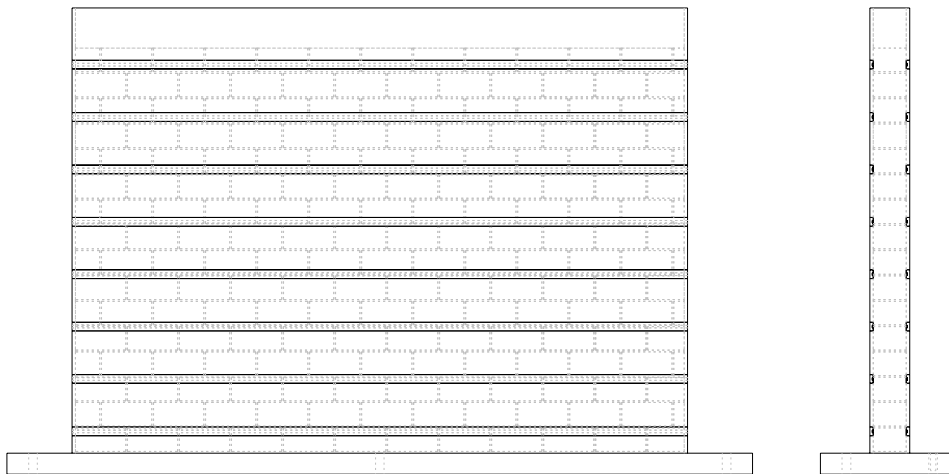
GDS1T Numunesi duvarın sıvanması sonrasında, 1 yönden düşey lastik şeritlerle güçlendirilmiştir. Güçlendirme için açılan oluklara şeritlerin yerleştirilmesi sonrasında, oluklar tamir harcı ile kapatılmıştır. Düşey şeritler 30 cm ara ile duvara monte edilmiştir. Numuneye ait detay çizimler Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. GDS1T Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.4 GDSY1T Numunesi

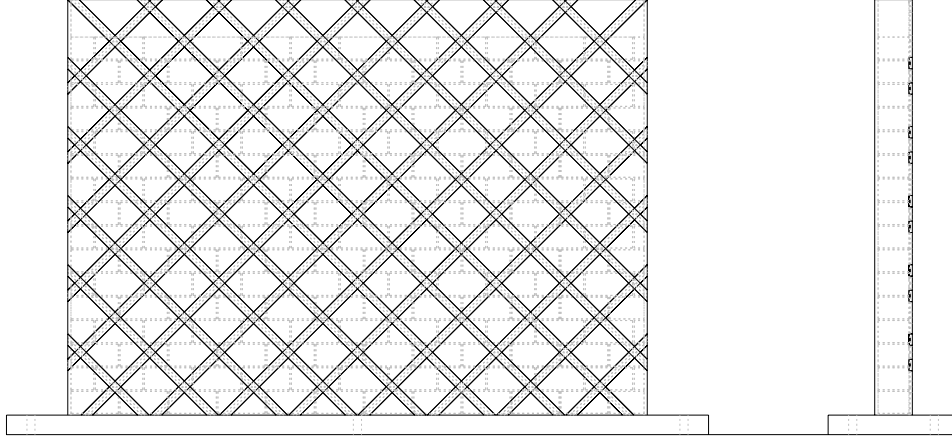
GDSY1T Numunesi duvarın sıvanması sonrasında, 1 yönden yatay lastik şeritlerle güçlendirilmiştir. Güçlendirme için açılan oluklara şeritlerin yerleştirilmesi sonrasında, oluklar tamir harcı ile kapatılmıştır. Yatay şeritler 30 cm ara ile duvara monte edilmiştir. Şekil 3.6’da detay çizimler verilmiştir.



Şekil 3.6. GDSY1T Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.5 GDSC1T Numunesi

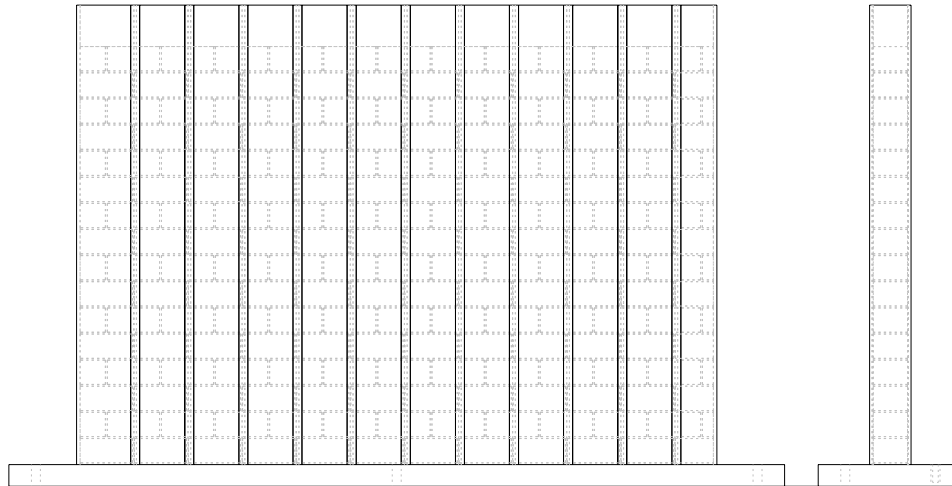
GDSC1T Numunesi duvarın sıvanması sonrasında, 1 yönden çapraz olarak yerleştirilen lastik şeritlerle güçlendirilmiştir. Güçlendirme için açılan oluklara şeritlerin yerleştirilmesi sonrasında, oluklar tamir harcı ile kapatılmıştır. Şeritler 30 cm ara ile duvara monte edilmiştir. Şekil 3.7’de detay çizimler verilmiştir.



Şekil 3.7. GDSC1T Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.6 GDSD2T Numunesi

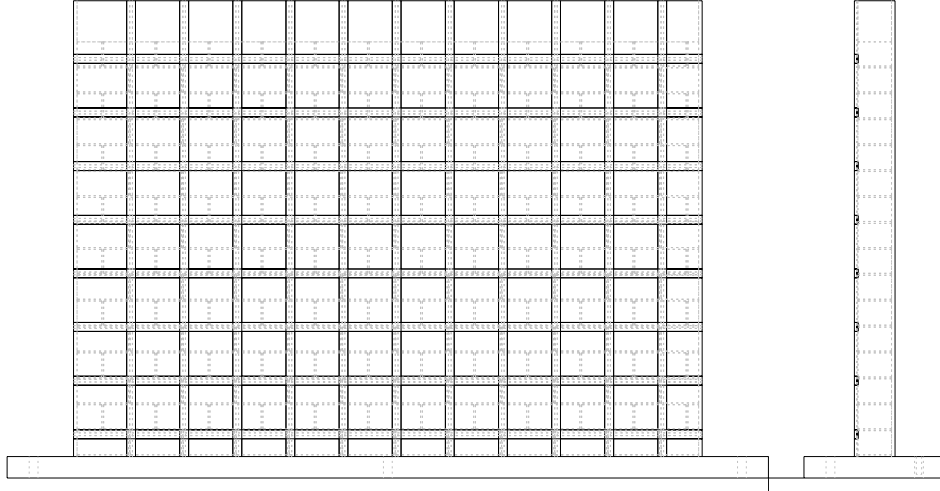
GDSD2T Numunesi duvarın sıvanması sonrasında, 2 yönden dikey olarak yerleştirilen lastik şeritlerle güçlendirilmiştir. Güçlendirme için açılan oluklara şeritlerin yerleştirilmesi sonrasında, oluklar tamir harcı ile kapatılmıştır. Şeritler 30 cm ara ile duvara monte edilmiştir. Şekil 3.8’de detay çizimler görülmektedir.



Şekil 3.8. GDSD2T Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.7 GDSK1T Numunesi

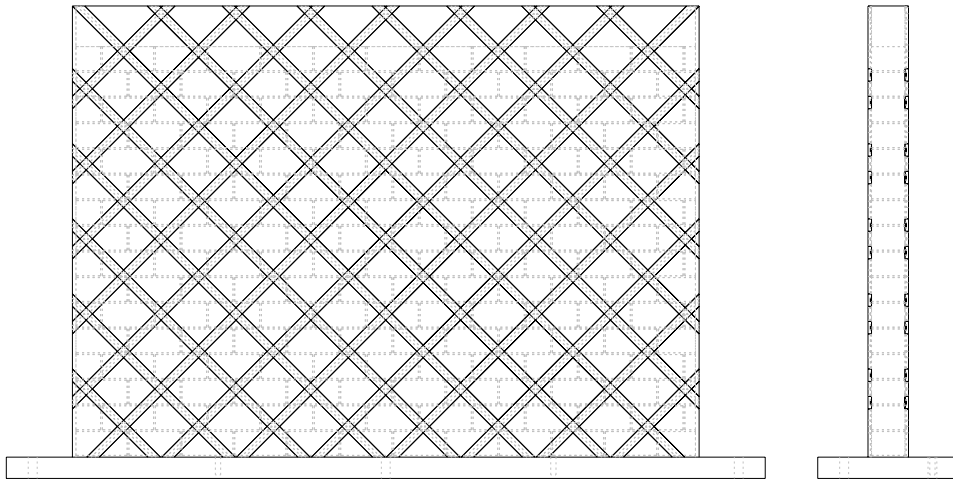
GDSK1T Numunesi duvarın sıvanması sonrasında, 1 lastik şeritlerle güçlendirilmiştir. Lastik şeritler yatay ve düşey olarak karelaj oluşturacak şekilde duvara yerleştirilmiştir. Güçlendirme için açılan oluklara şeritlerin yerleştirilmesi sonrasında, oluklar tamir harcı ile kapatılmıştır. Şeritler 30 cm ara ile duvara monte edilmiştir. Şekil 3.9’da detay çizimler verilmiştir.



Şekil 3.9. GDSK1T Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.8 GDSC2T Numunesi

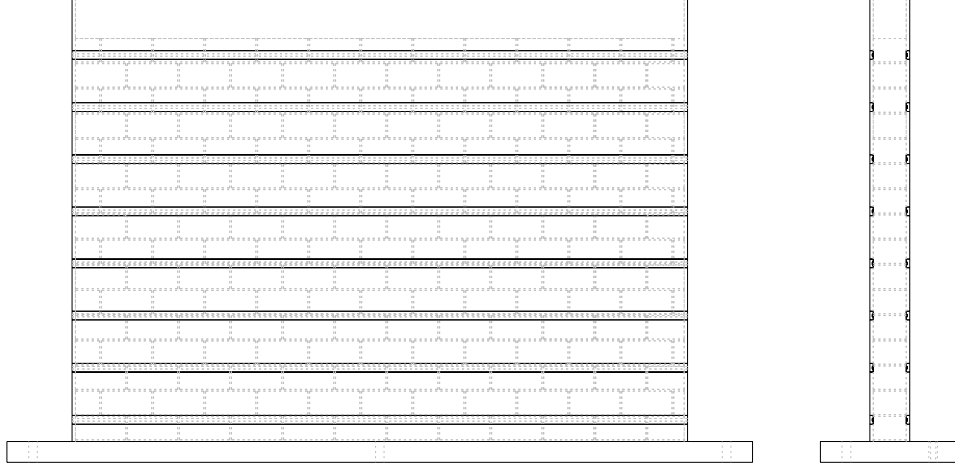
GDSC2T Numunesi duvarın sıvanması sonrasında, 2 yönden lastik şeritlerle güçlendirilmiştir. Lastik şeritler diyagonal şekilde duvara yerleştirilmiştir. Güçlendirme için açılan oluklara şeritlerin yerleştirilmesi sonrasında, oluklar tamir harcı ile kapatılmıştır. Şeritler 30 cm ara ile duvara monte edilmiştir. Detay çizimler Şekil 3.10’da görülmektedir.



Şekil 3.10. GDSC2T Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.9 GDSY2T Numunesi

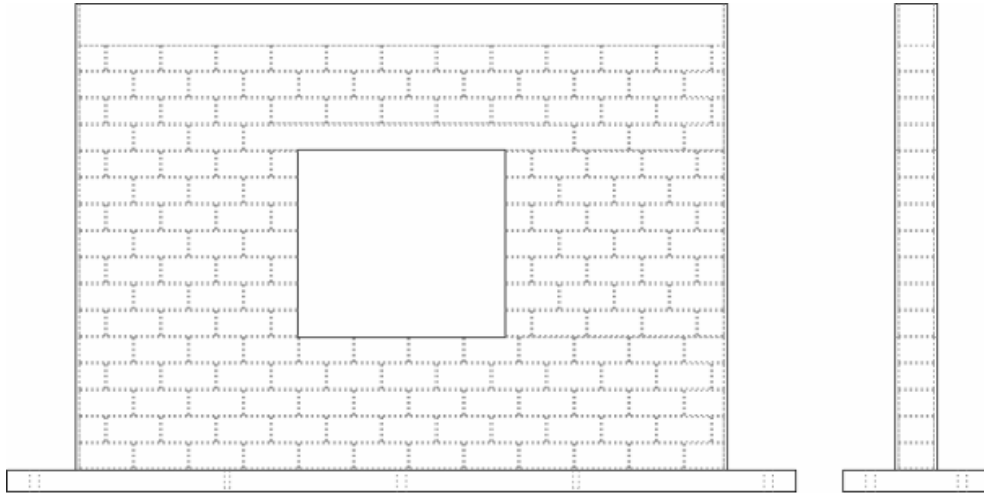
GDSY2T Numunesi duvarın sıvanması sonrasında, 2 tarafından lastik şeritlerle güçlendirilmiştir. Lastik şeritler yatay olarak duvara yerleştirilmiştir. Güçlendirme için açılan oluklara şeritlerin yerleştirilmesi sonrasında, oluklar tamir harcı ile kapatılmıştır. Şeritler 30 cm ara ile duvara monte edilmiştir. Şekil 3.11’de detay çizimler verilmiştir.



Şekil 3.11. GDSY2T Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.10 RDP ve RDP-E Numunesi

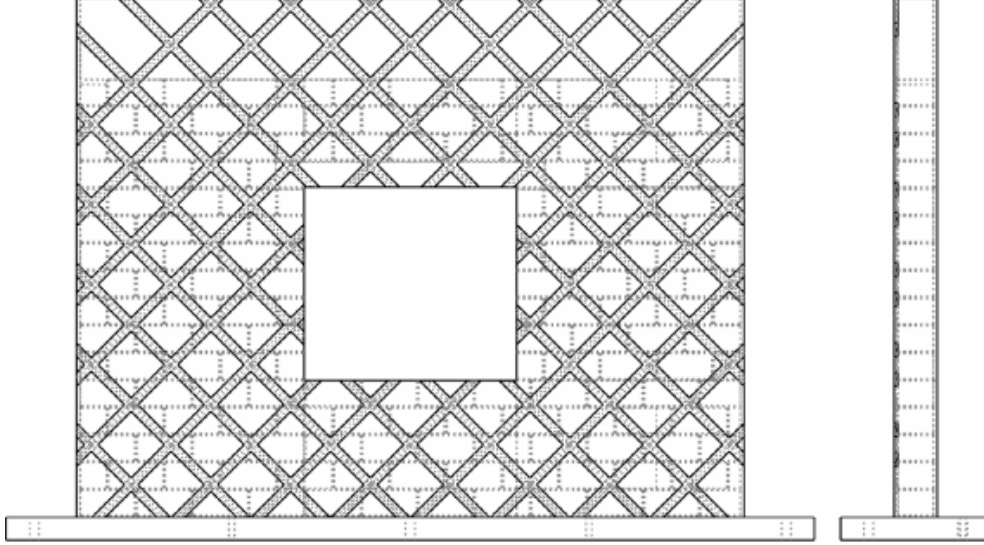
RDP Numunesi pencere boşluklu duvar davranışının ortaya koyulması için hazırlanmıştır. Uygulamada özellikle cephe duvarlarının tümünde bu tür boşluklar bulunmaktadır. Pencere boşluklarının duvar davranışına etkisinin incelenmesi için boşluklar bırakılarak üretim yapılmıştır. Şekil 3.12’de duvarın detayı verilmiştir. RDP-E numunesi de RDP ile benzer özelliklerde olup, deney esnasında uygulanan aksenal yük seviyesi RDP numunesine göre artırılmıştır.



Şekil 3.12. RDP ve RDP-E Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.11 GDPC1T ve GDPC1S Numuneleri

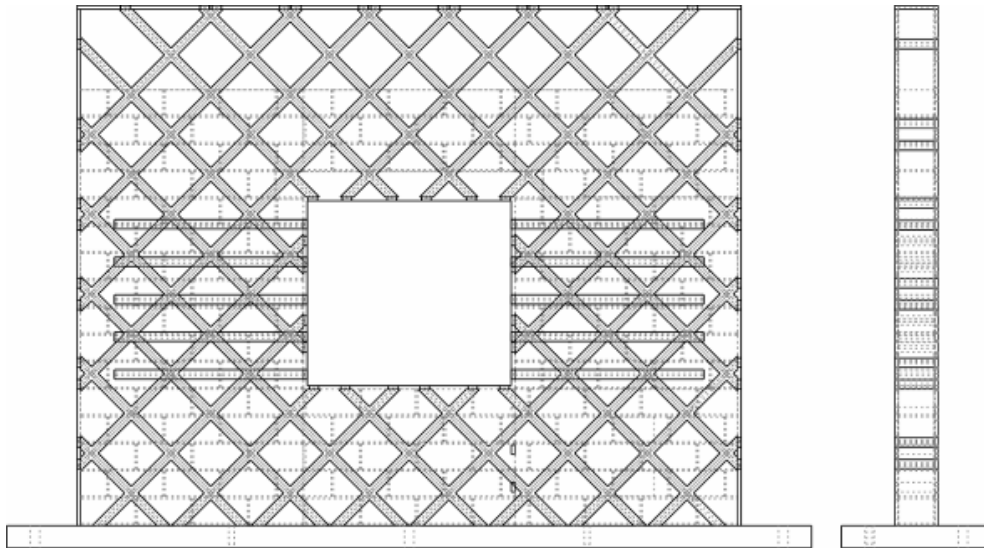
Bu numuneler RDP numunesinin tek yönden çapraz lastiklerle güçlendirilmiş durumlarıdır. GDPC1T numunesinde lastik şeritler tamir harcı ile GDPC1S numunesinde ise sıva harcı ile kapatılmıştır. Şekil 3.13'te duvarların güçlendirme detayı verilmiştir.



Şekil 3.13. GDPC1T, GDPC1S Numunelerinin güçlendirme şekli

### 3.3.12 GDPCUIS ve GDPCUIS-E Numuneleri

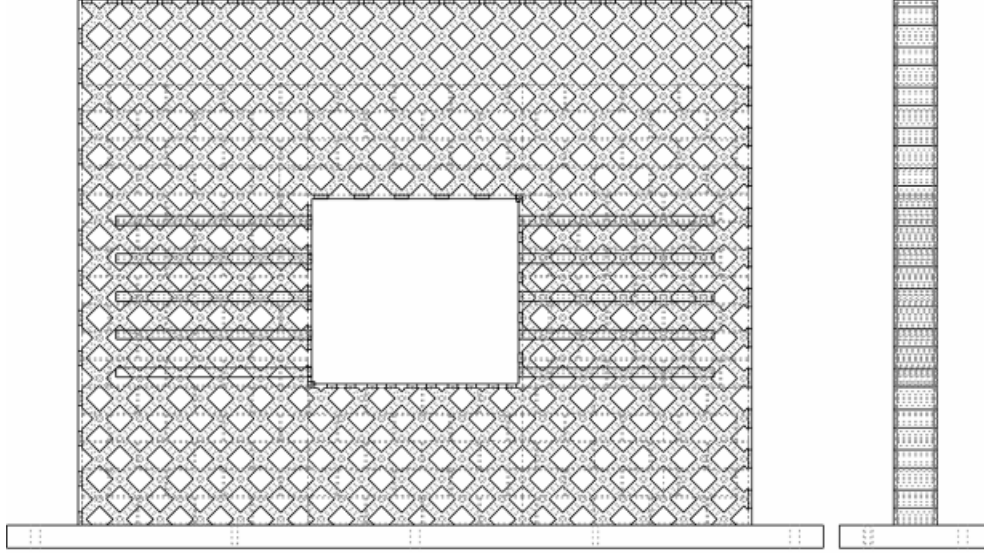
Bu numunelerde pencere boşluklu duvarda çapraz lastikler kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. Ancak, GDPC1S numunesinden farklı olarak pencere kenarı duvarın her iki tarafını kapatacak şekilde U şeklinde şeritlerle dolaşarak pencere kenarındaki hasarın giderilmesine yönelik önlemler alınmıştır. Şekil 3.14'te duvarın detayı verilmiştir. Numuneler farklı eksenel yüklere maruz bırakılmışlardır.



Şekil 3.14. GDPCUIS Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.13 GDPCUIS2 Numunesi

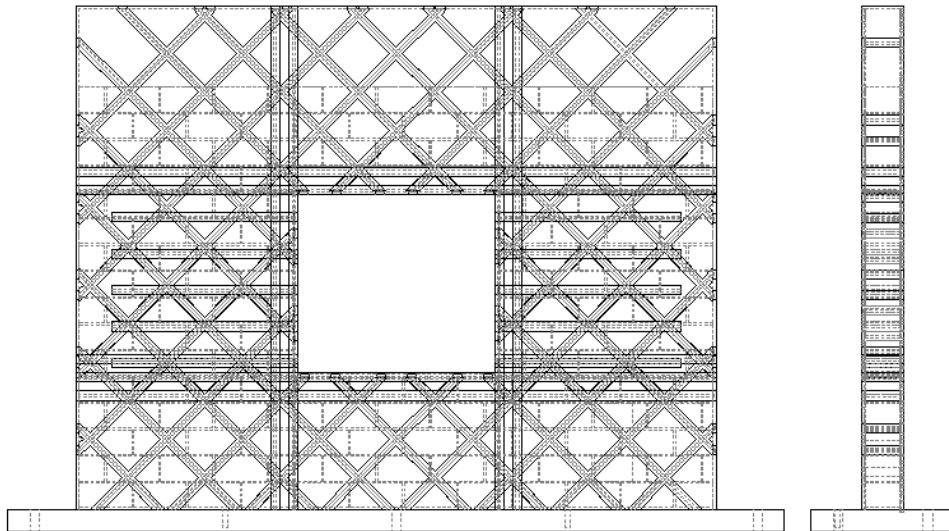
GDPCU1S Numunesi ile benzer bir güçlendirme şablonuna sahip bu numunede tek fark, lastik şeritlerin 30 cm yerine 15 cm arayla yerleştirilmiş olmasıdır. Böylece lastik şerit miktarının davranışa etkisini araştırılması hedeflenmiştir. Şekil 3.15’de duvarın detay çizimi verilmiştir.



Şekil 3.15. GDPCUIS2 Numunesinin yandan görünüşü

### 3.3.14 GDPCYD1S-E Numunesi

GDPCYD1S-E Numunesi duvar deneyleri serisinin son elemanıdır. Numune yüksek aksenal yük seviyesinde denenmiş olup, çapraz lastiklerin yanında pencere kenarını saran U şeritler ve pencere kenarına koyulan yatay ve düşey ilave lastiklerle güçlendirilmiştir. Şekil 3.16’da duvarın detayı verilmiştir.



Şekil 3.16. GDPCYD1S-E Numunesinin detay çizimi

### 3.4 Bina Numunelerinin Özellikleri

Proje kapsamında, deneyler süresince 7 adet yığma yapı modeli laboratuvar ortamında inşa edilmiştir. Bu numuneler üzerinde hasarlı ve hasarsız iken güçlendirilerek veya referans numune olarak toplam 9 deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden 5 tanesinde numuneler güçlendirilmeden deney yapılmış, bu aşamada sınırlı hasar verilen iki numune güçlendirilerek bir daha denenmiştir. Diğer 2 deneyde ise hasarsız iken güçlendirilmiş, yapılar kullanılmıştır.

Bina deneylerinde kullanılan numune özellikleri ve deney serisine ait bilgiler Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

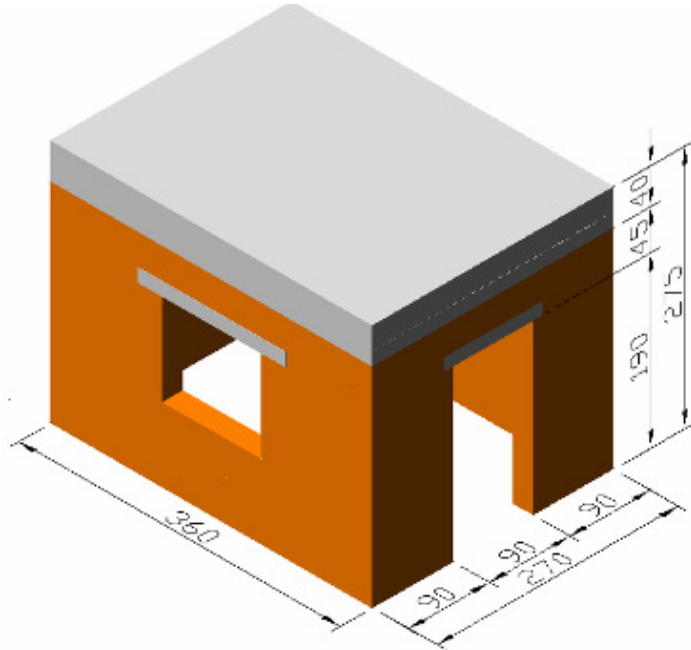
Tablo 3.2 Bina numunelerinin özellikleri

Deney No	Deney Adı*	Model Adı	Yapı hasarlı mı?	Köşe Birleşimi
1	YB1A	YB1A	Hayır	Düzenli
2	YB2A	YB2A	Hayır	Düzenli
3	YB2A-HG	YB2A	Evet	Düzenli
4	YB3A-G	YB3A	Evet	Düzenli
5	YB4A	YB4A	Hayır	Düzenli
6	YB4A-HG	YB4A	Evet	Düzenli
7	YB5B**	YB5B	Hayır	Düzensiz
8	YB7C	YB7C	Hayır	Düzensiz
9	YB8C-G	YB8C	Hayır	Düzensiz

\* HG: Hasarlı iken onarıp güçlendirilen modeller, G: Hasarsız iken güçlendirilen modeller  
\*\* YB5 modelinin güçlendirilmiş hali olan YB6G modeli denenmemiştir.

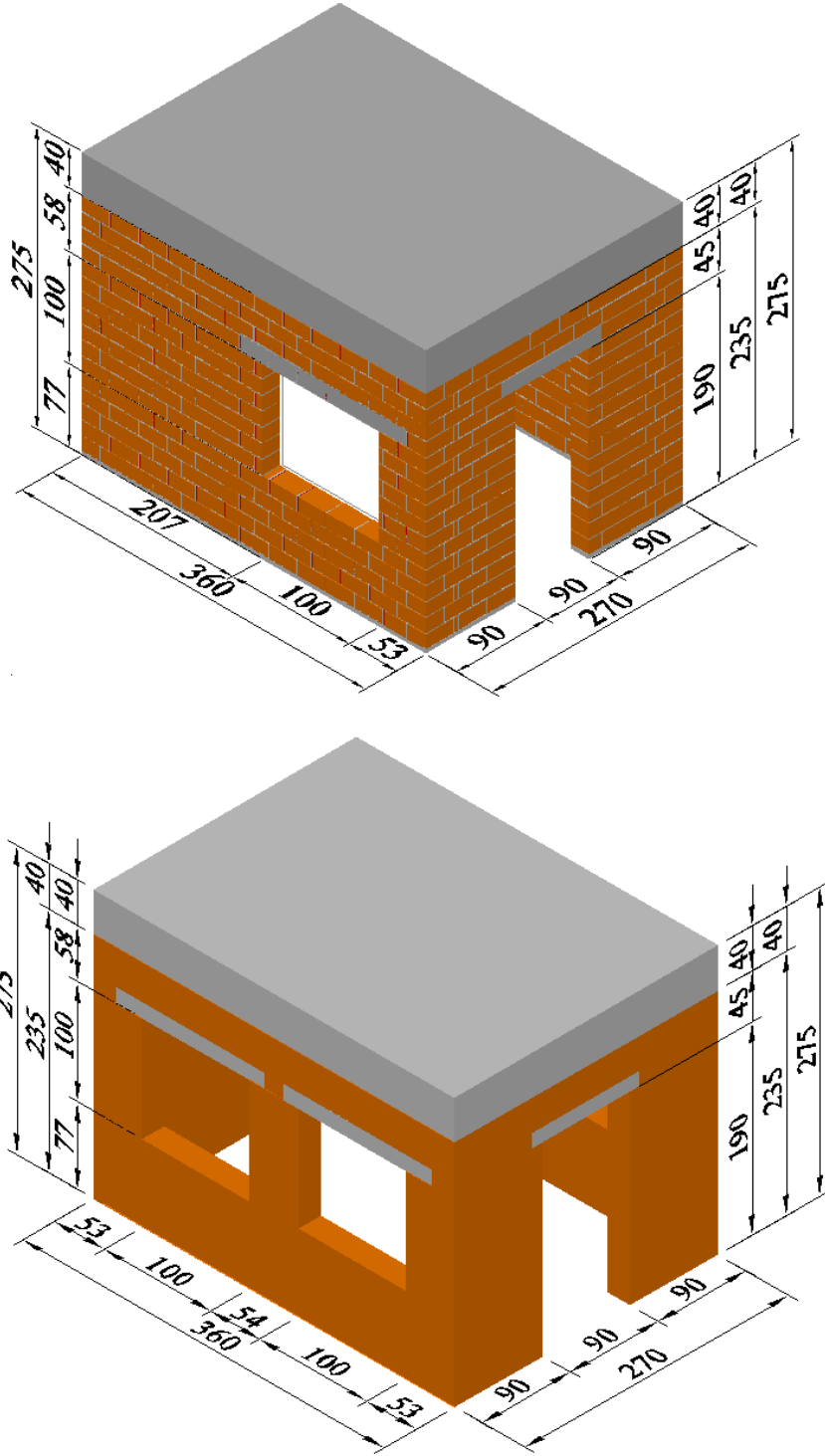
A,B, C kodları yapı plan tipini göstermektedir.

A, B ve C plan tipine sahip numunelerin geometrik özellikleri Şekil 3.17-18’de gösterilmiştir. Her 3 plan tipinde de numunelerde burulma düzensizliği oluşmamasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.17 A Plan tipine sahip bina numunelerinin ölçüleri





Şekil 3.18. B ve C Plan tipine sahip bina numunelerinin ölçüleri

Bina numunelerinin üretimi sırasında alınan bazı görüntüler YB1A ve YB5B numuneleri için Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



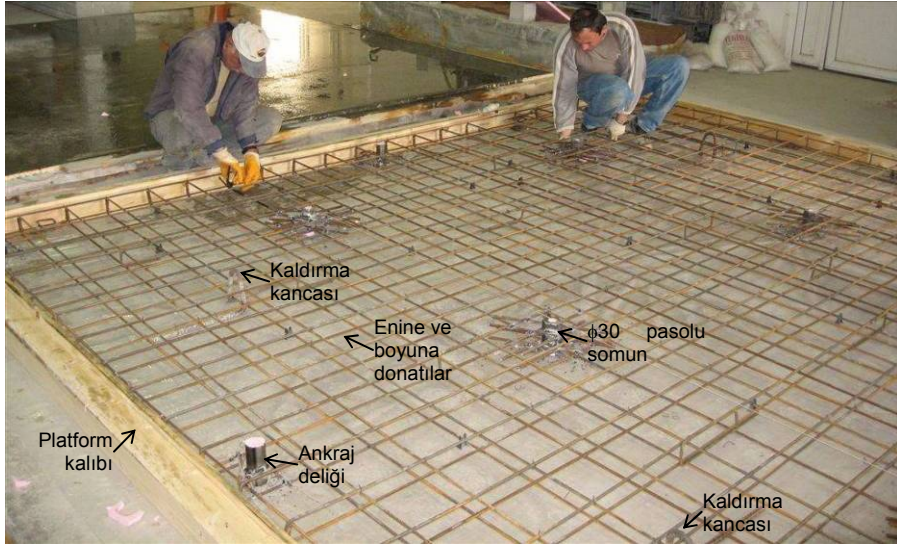
Şekil 3.19. YB2 ve YB5B Numunesinin yapım aşamasındaki görünümü

### 3.4.1 Numunelerin Üretimi

Deneylerde kullanılan malzemeler laboratuarda depolanarak imalata başlanmıştır (Şekil 3.20). Öncelikle duvar ve bina modellerinin üzerine imal edileceği betonarme platformlar imal edilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.20. Tuğlaların istiflenmesi

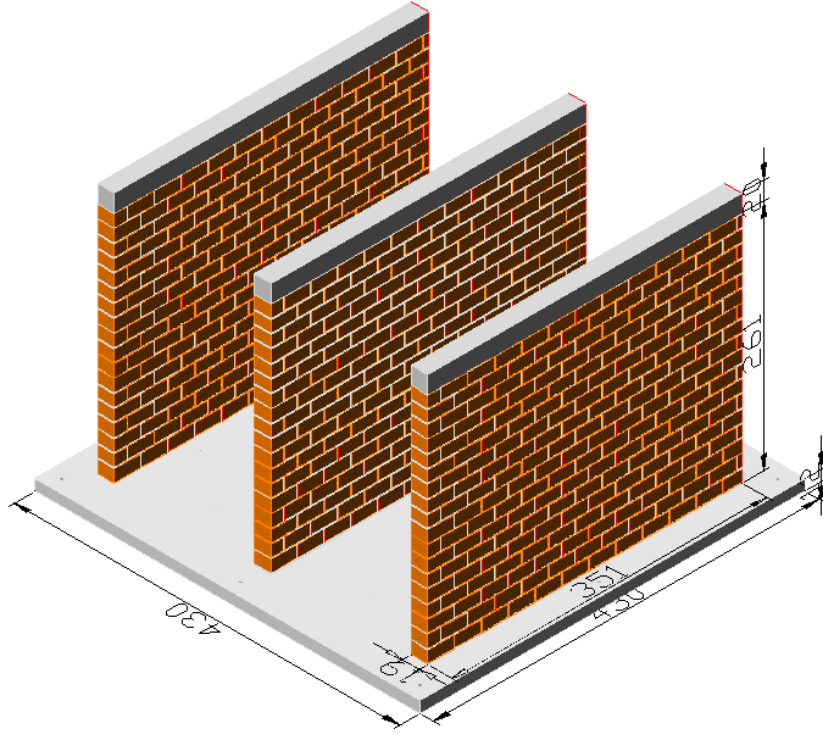


Şekil 3.21. Platform kalıp ve donatılarının hazırlanması

### 3.4.2 Model duvarların imalatı

İlk aşamada duvarların üzerinde imal edileceği betonarme platformlar üretilmiş daha sonra bunların üzerinde model duvarlar 1/1 ölçeğinde imal edilmiştir. Deneyler için hazırlanan her bir platformun üzerinde 3 adet duvar numunesi üretilmiştir. Numunelerin boyutları Şekil 3.22' de gösterilmektedir.





Şekil 3.22. Tuğla duvarların boyutları (ölçü birimi cm dir)

Duvarlar uygulamaya uygun şekilde tuğlaları şaşırtmalı olarak örülmüştür. Tuğla bloklarının araları 1.5 cm harç ile doldurulmuştur. Üretim aşamalarından bazıları Şekil 3.23-25'te gösterilmiştir. Üretilen modellerde sıva kalınlığı piyasada uygulanan şekli ile 2.5 cm olarak imal edilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.23. Tuğla duvarların üretilmesi

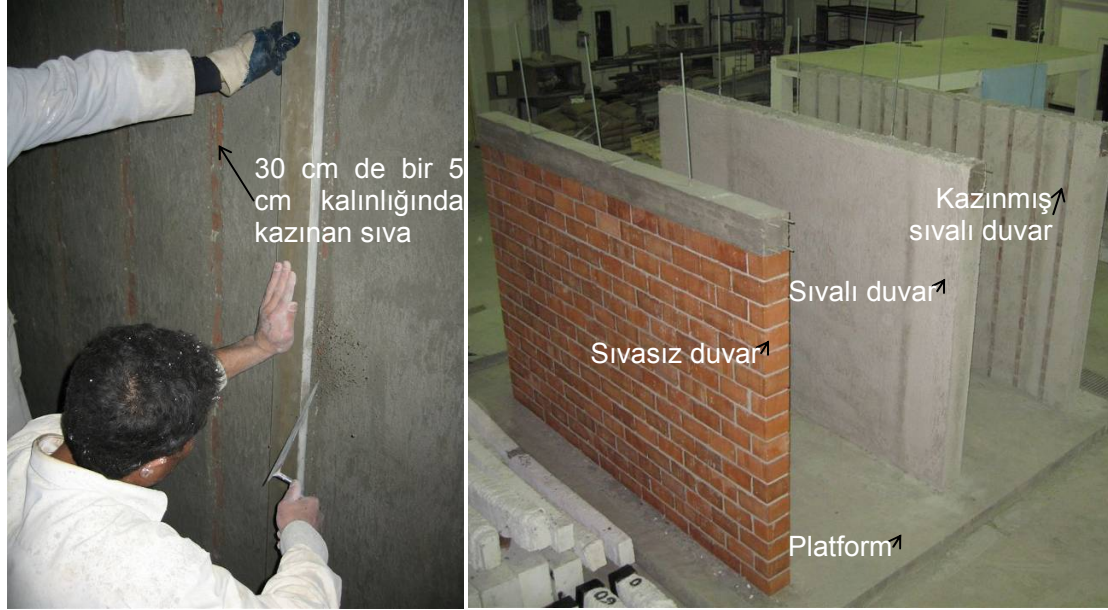


Şekil 3.24. Duvar üstü hatlı kalıbı



Şekil 3.25. Sıvanın yapılması

Sıvasız olarak duvarın yatay yüklere dayanımı ve sıvalı numune ile sıvanın dayanıma etkisi araştırılmıştır. Dıştan güçlendirmenin etkisini araştırmak için, tek tarafı düşey doğrultuda 30 cm'de bir oluklar açılıp, lastik şeritler ile güçlendirilmesi planlanan duvar numuneleri üretilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Sıvada lastik şeridi yerlerinin açılması

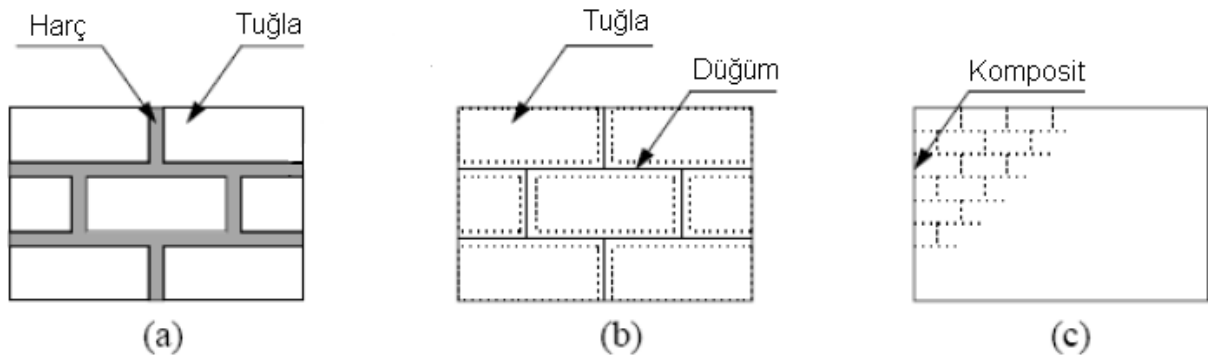
Duvarın üzerindeki hatılda yatay yük uygulanacak kısımda hidrolik verenin ucuna gelecek şekilde 4 adet  $\phi 14$  bağlantı bijonları yerleştirilmiştir. Deney esnasında binanın ağırlığını temsil edecek şekilde düşey yükleme ayrıca yapılmıştır.

### 3.5 Sayısal Çalışmalar

#### 3.5.1 Modelleme Esasları

ANSYS yazılımı ile yapılan sayısal çözümlerde doğrusal ötesi sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Yığma duvar ve betonarme hatıl ve döşeme elemanlarının doğrusal ötesi davranış gösterdiği öngörülmüştür.

Eleman boyutlarına göre, detaylı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modelleme olmak üzere, üç türlü modelleme yöntemi vardır (Şekil 3.27). Genel olarak tüm deneylerin modellenmesinde makro modelleme tekniği kullanılmıştır.



Şekil 3.27. Yığma yapıların, elemanın büyüklüklerine göre modelleme yöntemleri; a) Detaylı mikro modelleme, b) Basitleştirilmiş detaylı mikro modelleme, c) Makro modelleme (Özen, 2006)

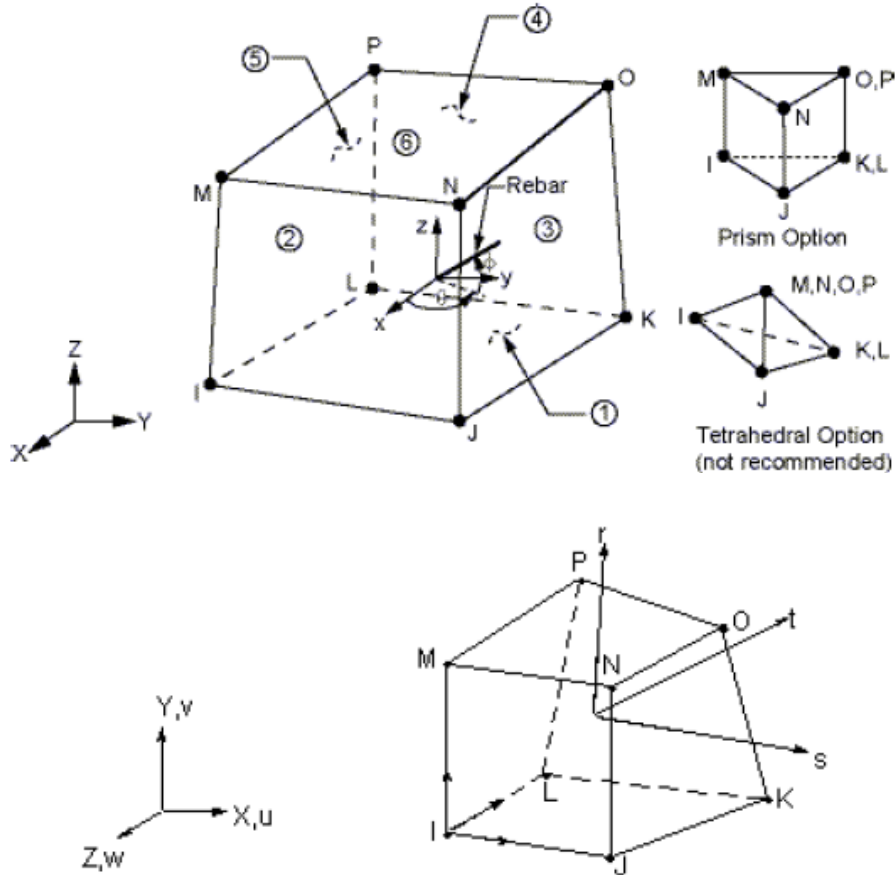


Doğrusal ötesi sonlu eleman çözümleri uzun vakit almaktadırlar. Bu sebeple hızı ve kapasitesi yüksek bilgisayarların kullanılması gerekmektedir. Modellemeler, Deprem ve Yapı teknolojileri laboratuvarında bulunan yüksek kapasiteli ana bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

### 3.5.1.1 Çalışmada kullanılan yazılım ve eleman modelleri

Sistemlerin çözümü ifadesinin kısaltılmış hali olan Ansys (ANalysis of SYStems) yazılımı farklı fiziksel sistemlerinin çözümünü yapabilen gelişmiş bir sonlu eleman programıdır.

Ansys'te çözümde kullanılan birçok katı (solid) eleman türleri vardır. Bu çalışmada beton ve duvarların modellenmesinde SOLID65 (3 boyutlu betonarme katı) elemanı kullanılmıştır. Betonarme eleman için öngörülen elemanın veri girişinde donatı miktarı kısmı girilmeyerek tuğla duvar modellenebilmektedir. Ansys sonlu elemanlar programı doğrusal ötesi problemlerin çözümlerinde Newton-Rapson metodunu kullanmaktadır. SOLID65 elemanı çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon ve sünme özelliklerini barındıran, donatı özelliği girilebilen 8 düğüm noktalı katı elemandır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Ansys Solid65 sonlu eleman özellikleri

Eleman her 3 yönde oluşan çatlakları gösterebilmektedir. Model elemanı başlangıçta izotrop kabul edilmektedir.

Duvar imalatında kullanılacak olan malzemenin mekanik özellikleri deneysel olarak laboratuvarında belirlenmiş ve bu değerler ANSYS programında modelleme aşamasında

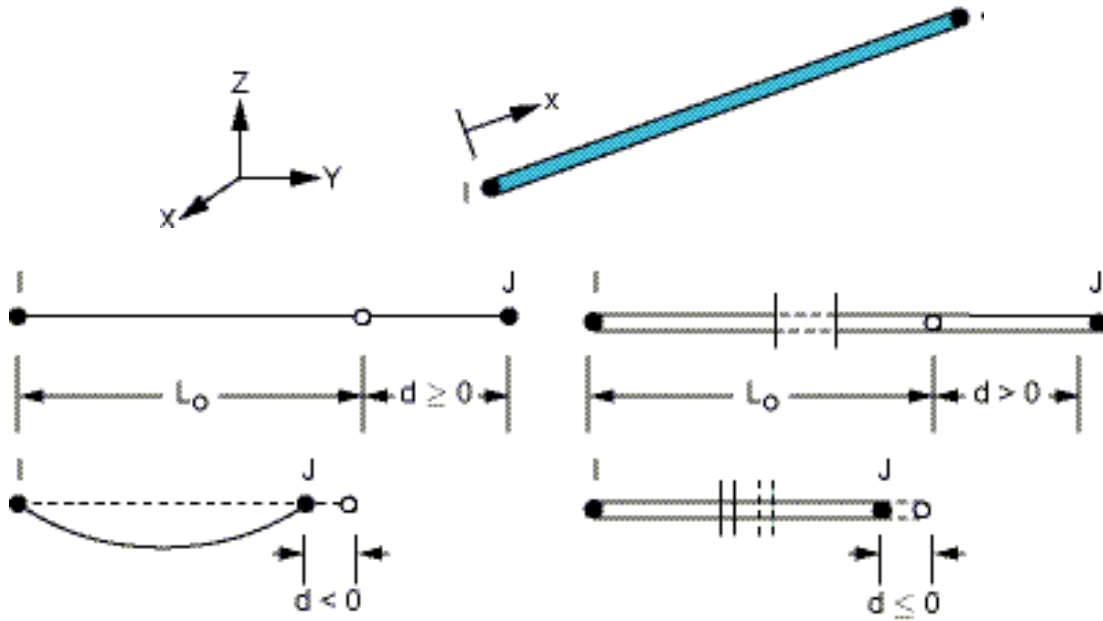
kullanılmıştır. Duvar, hatıl, yüklü hatıl ve lastik elemanlarının sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur.

### 3.5.1.2 Çatlakların modellenmesi

Elemanın üzerinde bir çatlakın oluşması çatlakla dik yönde kesitin çekmeye veya basınca dayanmadığını gösterir. Eğer çatlak kapanırsa, basınç gerilmelerinin istenilen oranda miktarı tekrar çatlakın diğer yüzeyine aktarılır. ANSYS yazılımında concrete malzeme modeli seçilerek çatlak özelliği girilebilmektedir.

### 3.5.1.3 Lastik şeritlerin modellenmesi

Bu proje çalışmasında yığma duvar güçlendirilmesinde kullanılan atık lastik şeritlerin modellenmesinde LINK10 elemanı kullanılmıştır. LINK10 elemanı her düğüm noktasında 3 serbestlik derecesine sahiptir (Şekil 3.29). Elemanın basınç ve çekmeye çalışmasını sağlayan seçenekleri vardır. Bu çalışmada lastik özelliğini gösterebilecek şekilde modellenen elemanların sadece çekme yükü taşımaları sağlanmıştır.



Sadece çekmeye çalışan eleman (kablo)      Sadece basınca çalışan eleman (gap)

Şekil 3.29. LINK10 elemanı

### 3.5.1.4 Programa girilen duvar, lastikler ve hatılın özellikleri

Duvarın elastisite modülünü hesaplamak için deprem yönetmeliğinde  $E_d = 200 \cdot f_d$  formülü verilmiştir. Sıvalı ve sıvasız duvarın basınç dayanımları  $f_d=1.5$  MPa, elastisite modülü ise 300 MPa olarak bulunmuştur. Hazırlanan modellerde  $E_d=300$  MPa olarak kullanılmıştır. ( $f_d$ =duvarın basınç dayanımı). Duvarın poisson oranı 0.2 olarak girilmiştir.



Duvar basınç ve kesme deneyinden elde edilen gerilme değerleri programa girilmiştir. Doğrusal olmayan ezilme ve çatlama özelliklerini modellemek için değerler ANSYS programına Şekil 3.30'da gösterildiği şekilde girilmiştir.

T1	
Temperature	0
ShrCf-Op	0.2
ShrCf-CI	0.9
UnTensSt	0.8
UnCompSt	1.5
BiCompSt	0
HydroPrs	0
BiCompSt	0
UnTensSt	0
TenCrFac	0

Şekil 3.30. Duvarın çatlama ve ezilme için malzeme özellikleri

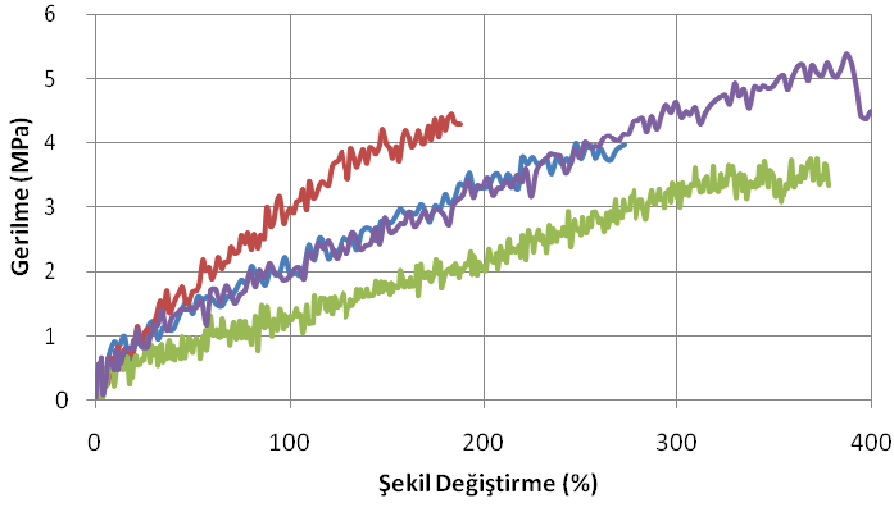
Şekil 3.30'da görülen veri giriş ekranında;

- ShrCf-Op: Açık çatlakta kesme kuvveti aktarma katsayısı
- ShrCf-CI: Kapalı çatlakta kesme kuvveti aktarma katsayısı
- UnTensSt: Tek Eksenli çekmede çatlama gerilmesi
- UnCompSt: Tek Eksenli ezilme gerilmesi (pozitif) olduğunu ifade etmektedir.

Betonarme hatılın ve tuğla duvarın modellenmesinde SOLID65 elemanı kullanılmıştır. Bunların her birine birim ağırlıkları da girilmiştir. Basınç dayanımı testinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme özellikleri çok doğrulu (Multi linear) olarak girilmiştir.

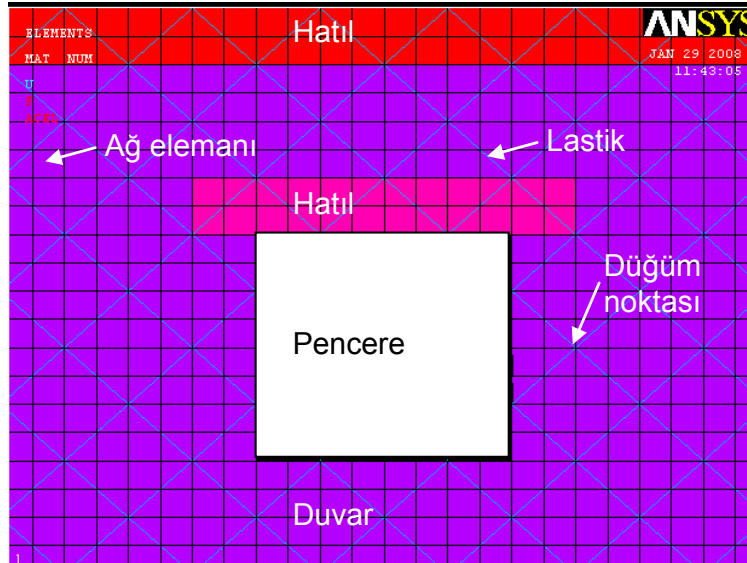
Lastikler elemanlar LINK10 elemanı olarak modellenmiştir. Lastik elemanların deneyde elde edilmiş gerilme şekil değiştirme grafiği Şekil 3.31'de verilmektedir.

Lastik malzemesinin deneysel olarak belirlenen gerilme-şekildeğiştirme değerleri çok doğrulu (multilinear) olarak programa girilmiştir. Lastikli duvarlarda duvar elemanları lastiklerin geçtiği yerlerde düğüm (keypoint) oluşturulmuştur (Şekil 3.32). Deney modellerinin üretimindeki uygulamada olduğu gibi lastiklerin birleştiği noktalarda lastikler çivi ile duvara tutturulmuştur. Lastiğin kesit alanı  $0.9 \text{ mm}^2$  ( $6\text{mm} \times 15\text{mm}$ ) dir.



Şekil 3.31. Lastik şeritler için gerilme-şekil değiştirme davranışı

Oluşturulan sonlu eleman modelinin, dörtgen prizma (hexagonal-sweep) metodu ile ağ oluşturularak, sonlu eleman çözümü yapılmıştır.



Şekil 3.32. Çapraz lastikli modelde lastikler

### 3.5.1.5 Eksenel ve yatay yük ve deplasman uygulanması

Modelde aksenal yük basitleştirilerek üstteki hatıla hacim yükü olarak etki ettirilmiştir. Deney modellerinde uygulanan yükler, sonlu eleman modelinde duvarın üzerindeki hatıla birim hacim yükü (density) verilerek uygulanmıştır. İki boyutlu duvar deneyleri ve 3 boyutlu yığma yapı deneylerinde, deney tipine göre yapının üzerine gelen yük dikkate alınarak, düşey yük miktarı değiştirilmiştir. Değiştirilen bu yükler deney tipine göre sonlu eleman modelinde de uygulanmıştır.

Deney numunesine verilen yatay hareket pistonun yapıya temas eden alanı kadar bir bölgeden yayılı olarak verilmiştir. Sonlu eleman modelinde de aynı şekilde yükleme basınç olacak şekilde 4 noktadan verilmiştir.

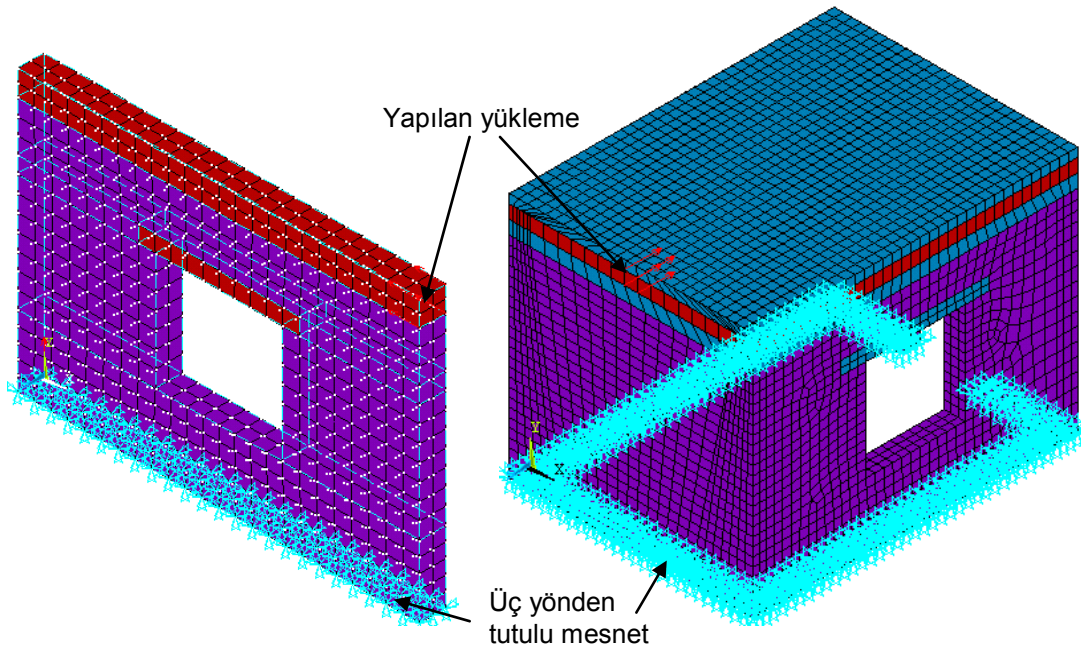
Pencereli yığma yapıların sonlu eleman modelinin ikisine hem yük hem de yerdeğiştirme verilerek sistemler çözülmüştür.

### 3.5.1.6 Mesnet durumları

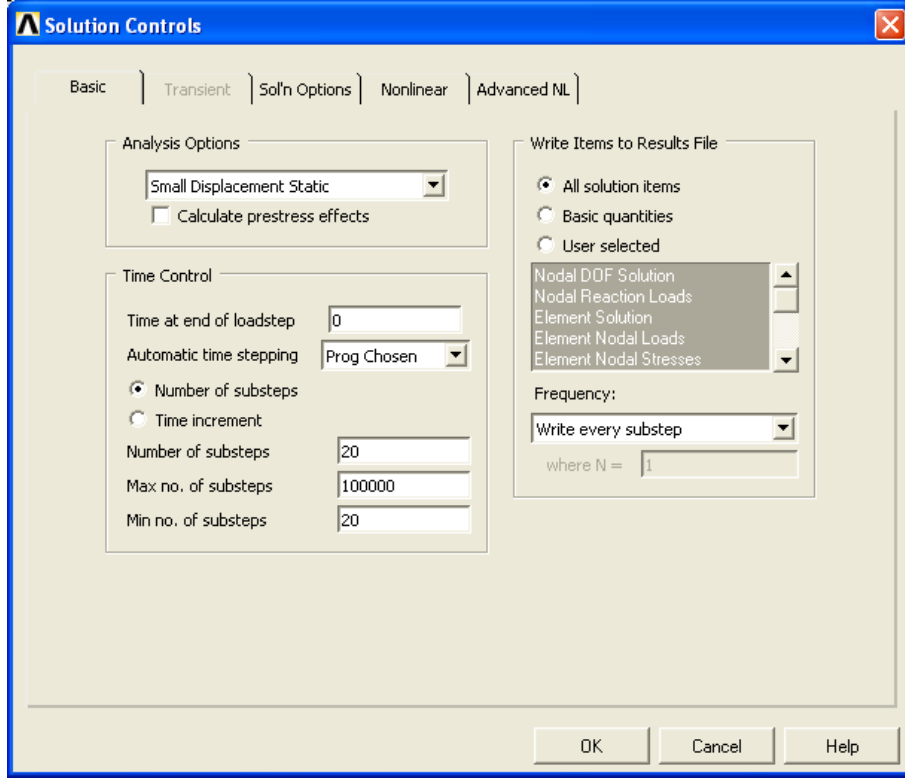
Beton platform üzerine oturan duvar ve yığma yapı modellerinin mesnet bölgeleri 3 yönde tutulu kabul edilmiştir. Sonlu eleman modelinde de duvarın oturduğu bölgede her yönde tutulu mesnet şartları uygulanmıştır (Şekil 3.33).

### 3.5.2 Çözüm Tipi ve Seçenekleri

Kullanılan çözüm tipi statiktir. Oluşturulan sonlu eleman modelinin, artımlı yükleme tipi ile doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Yük sonlu elemanın miktarına ve çözümün hassasiyetine göre belirli sayıda adıma bölünerek yatay artımlı yükleme yapılmıştır. Ardışık iterasyon adımlarında, yükün ve yer değiştirmenin yakınsaması kontrol edilmektedir. Yakınsama gerçekleştiğinde çözüme ulaşılmış olur. Çözüm için programa girilen seçenekler Şekil 3.34’te gösterilmiştir.



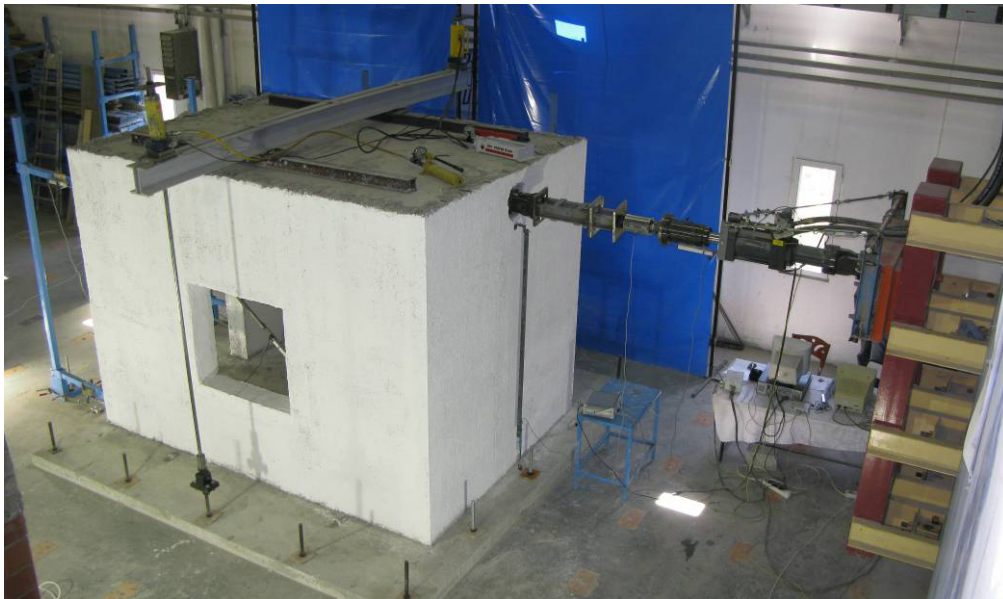
Şekil 3.33 Duvar ve yığma yapı modelinde mesnetlenme ve yükleme örneği



Şekil 3.34 Çözüm seçenekleri

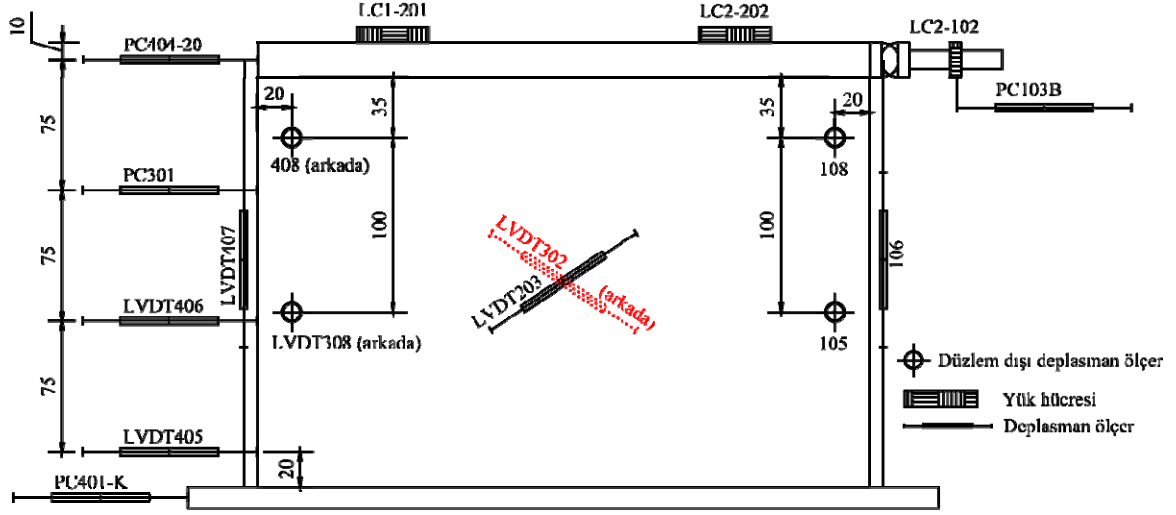
### 3.6 Deney Sistemi

Deneyel çalışma için hazırlanan sistem Şekil 3.35’de görülmektedir. Deney numunesi üzerine iki yükleme kirişi ile düşey yük uygulanmaktadır. Yükleme kirişleri numune üzerine yerleştirilen profiller üzerine oturtulmuş olup, yükleme döşeme üzerine mümkün olduğunca yayılmaya çalışılmıştır. El pompaları ile verilen statik düşey yüklerden sonra duvar tek tarafından tersinir tekrarlı deplasmana zorlanmaktadır.

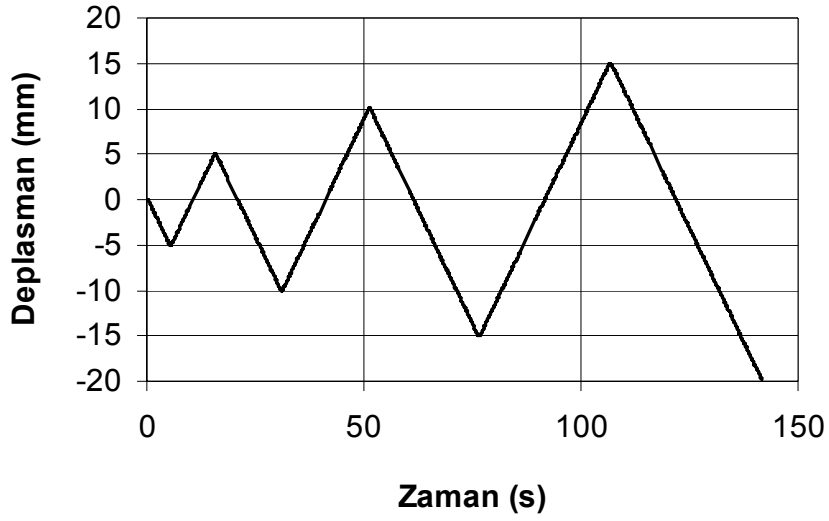


Şekil 3.35. Deney sistemi

Uygulanan yükler altında sistemdeki yük ve deplasman değişimleri Şekil 3.36’da yerleşimi verilen ölçüm sistemi ile kayıt altına alınmıştır. Deneylerde uygulanan tersinir-tekrarlı deplasman geçmişi Şekil 3.37’de gösterilmiştir.



Şekil 3.36. Deplasman ölçer ve yük hücrelerinin yerleşimi



Şekil 3.37. Deneylerde uygulanan deplasman geçmişi

Deneylerde kullanılan PAÜ Deprem ve Yapı Teknolojileri laboratuvarı reaksiyon duvarı ve kuvvetli döşeme sistemi hakkında detaylı bilgi Kaplan, vd., (2009)'da yer almaktadır.

## 4 SAHA ÇALIŞMASINDAN ELDE EDİLEN VERİLER

### 4.1 Genel

Bu bölümde Ege Bölgesindeki yığma yapıların depreme dayanıklı tasarım ilkelerini karşılama noktasında nerede bulunduğu incelenmiştir. Söz konusu yığma yapıların genel karakteristik özellikleri ve deprem davranışına etki edebilecek durumlar incelenmiştir.

İncelenen yığma yapıların DBYYHY hükümlerine uygunluğu açısından değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma gözlemsel bir çalışma olmakla birlikte basit ölçümler de yapılmıştır (Örneğin; Kat yüksekliği ve duvar kalınlıkları vb.).

Bununla birlikte yönetmeliğin laboratuvar çalışması ile tespit edilebilecek hükümleri, genel kabullere göre değerlendirilmiştir. Örneğin DBYYHY 5.4.2.2. maddesinde yığma yapıda kullanılan malzemelerin 5 MPa basınç dayanımına sahip olması istenmektedir. Tüm yapılarda böyle bir laboratuvar çalışması bu çalışma kapsamında mümkün bulunmamaktadır. Bundan dolayı dolu harman tuğlası, düşey delikli taşıyıcı tuğla, kesme taş vb malzemeler bu dayanımı sağladığı, kerpiç moloz taş, boşluklu briket malzemelerin ise taşımadığı kabulü ile değerlendirme yapılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen yapılar kamu yapıları ve özel mülkiyetli konut yapıları olmak üzere iki gruba ayrılmışlardır. Sayıca az olan kamu yapılarında bina içerisinden daha detaylı incelemelerin yapılması da mümkün olmuştur. Ancak, konut yapıları için envanter daha büyük tutulmuş fakat sokak taraması ile yetinilmiştir. Çalışmanın konusu daha çok özel mülkiyetli yapılara yönelik olduğu için bu yapılardaki sorunlara daha kapsamlı olarak değinilmiştir.

### 4.2 Ege Bölgesindeki Yığma Yapı Karakteristiklerinin Tespiti: Kamu Yapıları

Proje kapsamında 11 kamu yapısı detaylı olarak incelenmiştir (Tablo 4.1). İncelenen binalardan birisi müze, ikisi hastane ve sekiz tanesi de eğitim amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Tablo 4.1 İncelenen kamu yapıları

Yapı Adı	Yer
19 Mayıs İ.Ö.O.	Denizli/Merkez
Ahmet Fitnat Engin İ.Ö.O.	Denizli/Merkez
Buldan Göğüs Hastalıkları Hastanesi	Denizli/Buldan
Kızılcabölük Müze Binası	Denizli/Kızılcabölük
Cumhuriyet İ.Ö.O.	Muğla/Dalaman
Fehmi Başoğlu İ.Ö.O.	Muğla/Köyceğiz
Zekeriya Gümüşkesen İ.Ö.O.	Muğla/Milas
Amiral Turgut Reis İ.Ö.O.	Muğla/Bodrum
Yusuf Koyucuoğlu İ.Ö.O.	Kütahya/Simav
Adnan Menderes İ.Ö.O.	Kütahya/Merkez
Muğla Devlet Hastanesi	Muğla/Merkez

Projenin daha çok özel mülkiyetli yapılara yönelik olarak tasarlanması dolayısıyla kamuya ait yığma yapılara fazla ağırlık verilmemiştir. Ancak incelenen kamu yapıları, tip projelere sahip olduğundan genellikle kamu yapı stoğunu yansıtmaktadır. Bu sebeple yapılan incelemeler sonucunda kamu yapılarının deprem dayanımları bakımından en önemli eksiklikleri şu şekilde sıralanabilir:

- **Kat yüksekliklerinin fazlalığı:** Genellikle kat yüksekliği 3 metreden fazladır.
- **Duvarlarda büyük boşluk oranı:** Özellikle iç mekanların aydınlatılması gibi mimari kaygılarla pencereler büyük tutulmuş böylece duvarlardaki boşluk alanı izin verilen sınırı aşmıştır.
- **Yetersiz duvar alanı:** Büyük boşlukların getirdiği bir başka ciddi sıkıntı da boşlukların gereken duvar alanının sağlanmasını imkansızlaştırmasıdır.
- **Boşluk yerleşiminde hatalar:** Kapı ve pencere boşlukları düzenli bir yığma sistemde birbirinden ve köşelerden uzaklaştırılmalıdır. Halbuki kamu yapılarında neredeyse tüm dış cephe pencerelerle dolduğu için pencereler hem birbirine hem de köşelere çok yakındır. Bu durumda yapıların yatay yük dayanımını ciddi miktarda azaltmaktadır.
- **Mesnetlenmemiş duvar uzunluğunun fazlalığı:** Yığma yapılarda önemli bir göçme sebebi yığma duvarların düzlem dışı davranışdır. Bu sebeple yığma duvarların belli aralıklarla düzlemine dik duvarlarla desteklenmesi gereklidir. Ancak, genellikle sınıf ve hasta odası olarak kullanılan yığma yapı bölümleri bu şartları sağlamaktan çok uzaktır.
- **Kat sayısının fazlalığı:** Yığma yapıların kat sayıları yönetmeliklerce sınırlanmışlardır. Yukarıda sayılan 5 ciddi kusurun aksine kat sayısının fazlalığı kamu yapılarında az görülen bir kusurdur. İncelenen 11 kamu yapısından sadece 3 tanesinde kat fazlalığı tespit edilmiştir.

Bu kusurların yanında önemli hasar sebepleri olan duvar kalınlığının az oluşu duvar malzemesinden kaynaklanan yetersizlikler kamu yapılarında genellikle karşımıza çıkmamaktadır. Ayrıca, incelenen yapıların simetrik veya simetriğe çok yakın olduğu incelemeler sonucunda görülmüştür.

#### 4.3 Ege Bölgesindeki Yığma Yapı Karakteristiklerinin Tespiti: Konut Yapıları

Proje kapsamında Ege Bölgesinin değişik yörelerinde konut olarak kullanılan yığma yapılar da sokak taraması yöntemiyle incelenmiştir. Bu kapsamda 741 yapının envanteri çıkarılmıştır. İncelemeler sonucunda kamu yapılarından çok farklı bir karakteristiğe sahip olan özel şahıslara ait yığma yapılarda gözlenen kusurlar ve genel özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Özel yapılarda ise yukarıda kamu yapıları için bahsedilen kusurlardan kat yüksekliğinin ve sayısının fazlalığı ve duvarlarda büyük boşluklar bulunması hemen hemen hiç rastlanmayan kusurlardır. Zaman zaman boşlukların yerleşiminde hatalara rastlanmış ancak az miktarda boşluk kullanılmasından dolayı yapıların büyük bölümünde boşluk yerleşimiyle alakalı sorunlarla karşılaşmamıştır. En önemli problemler ise köşe birleşimlerinin teşkilinde ve kullanılan duvar malzemesinin kalitesinde ortaya çıkmaktadır. Envanterle ilgili detaylı değerlendirmeler ilerleyen sayfalarda verilmiştir.

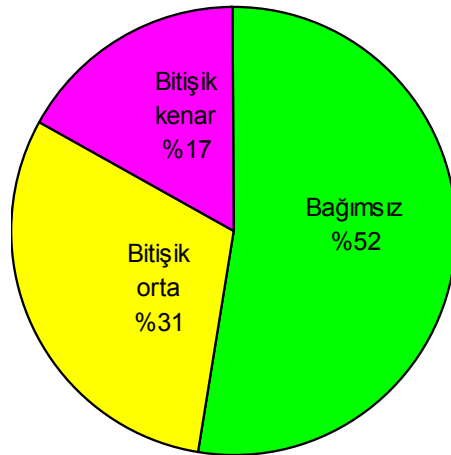
#### 4.3.1 Yığma yapıların kat sayıları

DBYYHY 5.2.2 maddesinde yığma yapılar için izin verilen katsayıları belirtilmiştir. Buna göre 1. derece deprem bölgelerinde yığma yapılar için kat sayısı 2 kat ile sınırlandırılmıştır. Sayısı az olmakla birlikte bu sınırlamayı fazlası ile aşan yığma yapılarla da karşılaşmıştır (Şekil 4.1).

Çalışılan coğrafyanın tamamı 1.derece deprem bölgesinde kalmaktadır. İncelenen yapılardan 321 adedi tek katlı, 373 adedi iki katlı, 39 adedi üç katlı, 6 adedi dört katlı ve 1 adedi beş katlıdır. Katsayılarına göre yığma yapı yüzdeleri(%) oranlar Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Uşak merkezde 4 kat +çatı piyesli yığma bir bina



Şekil 4.2 Ege Bölgesinde yığma yapıların kat sayıları oranları.



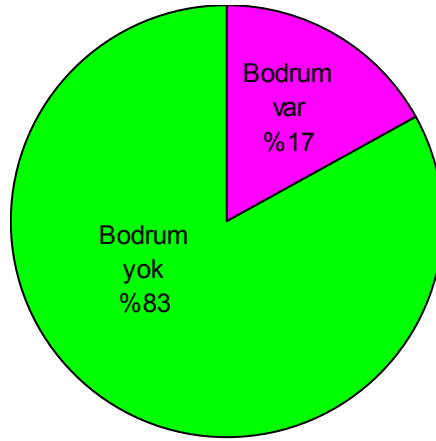
Burada kat sayılarına ilişkin yığma yapı sahiplerinin genel eğiliminden bahsetmek gerekmektedir. 2 den fazla katsayısına sahip yığma yapıların tamamına yakını kentsel alanda yer almaktadır. Katsayısı fazla olan bu yapıların kullanılan taşıyıcı malzemelerin ve yapı sisteminin de katlara göre de değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu da katların belli zaman aralıklarında inşa edildiğini göstermektedir. Kentsel alanlarda arsa bedellerinin yüksek olması nedeniyle nispeten gelir düzeyi düşük olan yığma yapı sahipleri, belli dönemlerde kat ilavesine yönelmektedirler. Ülkemizde belli aralıklarla çıkarılan imar afları da bu durumun oluşmasında etkili olmaktadır. Bu tür kat ilaveleri ile 5 kata kadar çıkan yığma yapılar, 1. derece deprem riski altında bulunan kent merkezleri için büyük risk taşımaktadır.

#### 4.3.2 Yığma yapılarda bodrum kat durumu

Envanter çalışması kapsamında incelenen binalardan 615 adedinin bodrumu bulunmazken 126 adedinin bodrumu bulunduğu tespit edilmiştir. Bodrumu olan yapıların incelenen yapılar içindeki oranı %17 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.3).

Yığma yapılardaki temel sorunlardan biri de taşıyıcı sistem ile temel bağlantısının zayıf olması durumudur. Bodrum katı olan yapılar incelendiğinde, bodrum katlarında taşıyıcı duvar kalınlığının 50 cm civarında yapıldığı gözlemlenmiştir.

DBYYHY hükümlerine göre; tek bodrum kat yapılması durumunda bunun izin verilen kat sayısına dahil edilmeyeceği, daha fazla bodrum kat yapılması halinde bu sayının izin verilen katsayısına dahil edileceği belirtilmektedir. Çalışma alanı içinde incelenen yapılardan bodrum katı olan yapıların tamamının tek bodrumu bulunmaktadır.



Şekil 4.3 Ege Bölgesinde yığma yapıların bodrum kat durumu oranları

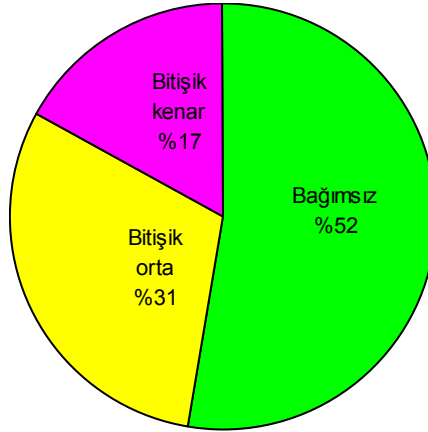
#### 4.3.3 Yığma yapıların komşu yapılarla konumu

Ege Bölgesindeki yığma yapıların incelenmesi kapsamında yığma yapıların konumları hakkında tespitler yapılmıştır. Bunun için incelenen yığma binaların, komşu binalarla konumu; bağımsız, bitişik kenar bina ve bitişik kenar bina olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.4). Envanter çalışması kapsamında, incelenen yığma yapılardan 388 adedi (%52) “bağımsız bina”, 228 adedi (%31) “bitişik orta bina”, 125 adedi (%17) ise “bitişik kenar bina” olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 Karahallı ilçesinde bitişik (orta ve kenar) nizamlı yapılar

Bağımsız binalar etrafındaki yapılarla taşıyıcı duvarları temas etmeyen yapılar olarak değerlendirilmiştir. Bitişik binalar ise iki cepheden taşıyıcı duvarı temas eden yapılar için “bitişik orta bina” tanımlaması, tek cepheden taşıyıcı duvarları temas eden yapılar için “bitişik kenar bina” tanımlaması yapılmıştır. Bu tanımlama; yığma yapıların bir deprem anında tekil mi yoksa birlikte mi hareket zorunluluğu olduğunun tespiti noktasında katkı sağlayacaktır.



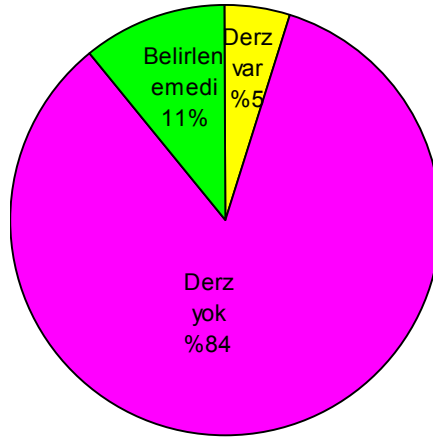
Şekil 4.5 Ege Bölgesinde yığma yapıların komşu yapılarla konumu oranları.

Kırsal bölgelerde etkin bir imar çalışması bulunmadığından, kadastro parselinin izin verdiği ve yapı sahibinin tercihi şeklinde bir yapılaşma bulunduğu gözlenmektedir. Kentsel alanlarda ise imar planına göre yapılaşma zorunlu olduğundan, yapıların bitişik veya ayırık nizamda yapılacağı belediyelerin imar planında belirtilen kısıtlamalara göre belirlenmektedir. Bu aşamada Belediye imar planlarının daha bütüncül bir bakış açısıyla yapılması gerektiğini ifade etme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

#### 4.3.4 Yığma yapıların komşu binalarla derz durumu

Bitişik nizamda inşa edildiği tespit edilen 353 adet binanın 297 adedinde derz bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu oransal olarak %84'e karşılık gelmektedir (Şekil 4.6). Bitişik olarak inşa edilen yapılarda dilatasyon derzi bırakılması gerekmektedir. Bu derz özellikle depremlerde yapıların birbirinden bağımsız olarak hareket etmesi için önem arz etmektedir. Dilatasyon derzi uygulaması basit bir teknik detay olmasına rağmen, bitişik betonarme binalarda dahi yeni yeni yaygınlaşmaya başlamıştır.

İnceleme alanında dilatasyon derzi olduğu tespit edilen yaklaşık % 5 lik bir kısmın geneli de kentsel alanda ve yapım yılı 5-10 yıl öncesine dayanan yapılardır. İnceleme alanı içinde bitişik nizamda inşa edilen yığma binaların dilatasyon derzi olup olmadığına dair tespitleri içeren yüzdelik(%) oranları (Şekil 4.6)' da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Ege Bölgesinde yığma yapıların komşu yapılarla konumu oranları

#### 4.3.5 Yığma yapıların taşıyıcı sistem türü

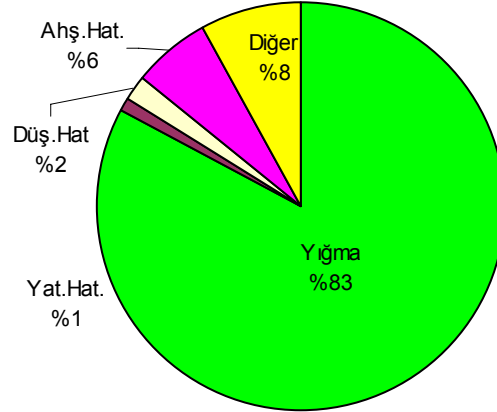
Yığma yapı tanımı içinde kargir inşaat olarak tanımlanan, yapı malzemesi taş, tuğla vb. malzemelerden oluşan ve hatılı bulunmayan yapılar değerlendirilmiştir. DBYYHY 5.4.5.1 maddesinde 1. derece deprem bölgeleri için desteklenmemiş duvar uzunluğunun 5,5 mt yi geçemeyeceği, bu şartın sağlanamaması durumunda ise eksende aralığı 4 mt yi geçmeyen düşey hatıllar yapılması öngörülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, yığma yapılarımızda düşey hatıl kullanımının çok önemli olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).

İnceleme alanı içinde tespit edilen 741 binadan 614 adedi “yığma yapı”, 45 adedi “ahşap hatıllı yığma”, 14 adedi “yatay hatıllı yığma yapı”, 8 adedi “düşey hatıllı yığma olarak tespit edilmiştir.

İnceleme alanı içerisinde sadece 8 adet binada düşey hatıl tespit edilebilmiştir. İncelenen yapılar içerisinde bunun sadece %1'e tekabül etmesi, özellikle ege bölgesi yığma yapılarında düşey hatıl kullanımının çok düşük seviyede olduğu görülmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7 Çeşitli yığma taşıyıcı sistem yapı tipleri



Şekil 4.8 Ege Bölgesinde yığma yapıların taşıyıcı sistem türü oranları

İnceleme kapsamındaki yığma binalardan 14 adedi yatay hatıllı yığma bina olarak tespit edilmiştir. Bu da yatay hatıllı uygulamasının da yaygın olmadığını göstermektedir. Yatay hatıllar duvarın bütünlüğünün sağlanması ve katlar arasında hasarın dağılımını düzenlemesi bakımından etkili araçlardır.



#### 4.3.6 Yığma yapıların taşıyıcı duvar malzemesi

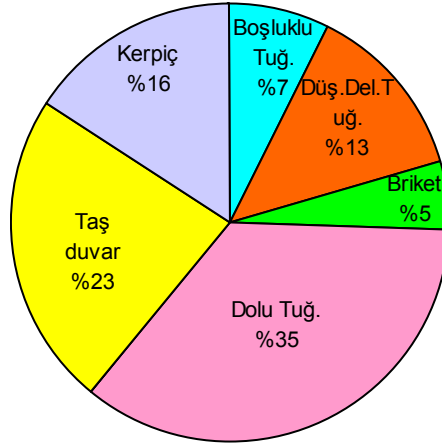
Yığma yapıların yapımında kullanılan yapı malzemeleri boşluklu fabrika tuğlaları, düşey delikli taşıyıcı tuğlalar, beton briket tuğlalar (boşluklu veya dolu), taş (kesme ve moloz), kerpiç vb malzemelerdir (Şekil 4.9). Bu malzemelerin kullanım yoğunlukları kentsel ve kırsal alanda farklılık gösterdiği gibi, yapım yılları itibariyle de farklılık göstermektedir.



Şekil 4.9 Yığma taşıyıcı malzeme çeşitleri

İncelenen yığma binalar içerisinde; taşıyıcı duvar malzemesi dağılımı Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Buna göre, 261 adet bina ve %36'lık payla "dolu harman tuğlası" en yaygın kullanılan malzemedir. Taşıyıcı duvar malzemesi olarak taş kullanımı(172 adet) %23'lük payla ikinci sırada gelmektedir. Sonrasında kerpiç malzeme kullanımı (117 adet) %16 lık payla üçüncü sırada yer almaktadır. Düşey delikli tuğla (97 adet) %13, boşluklu fabrika tuğlası(55 adet) %5 'lik oranlarda kullanım sıklığına ulaşmaktadır.

Dolu harman tuğlası dikdörtgen şeklinde kesite sahip ve boşluksuz olarak imal edilmektedir. DBYYHY 5.4.1 maddesinde taşıyıcı duvar malzemelerinin neler olabileceği ve hangi dayanımlara sahip olmaları gerektiği belirtilmiştir. TSE EN 771-1 de belirtilen maksimum boşluk oranını taşıyan tuğlalar ve 5.0 Mpa dan daha büyük dayanıma sahip doğaltaş ve kargir malzemeler yığma yapı malzemesi olarak kullanılabilir (Şekil 4.9).

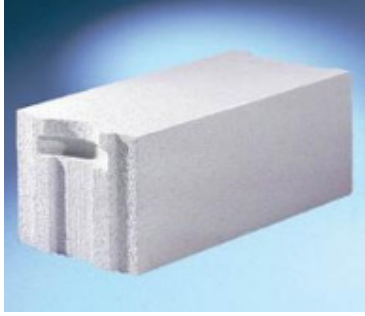
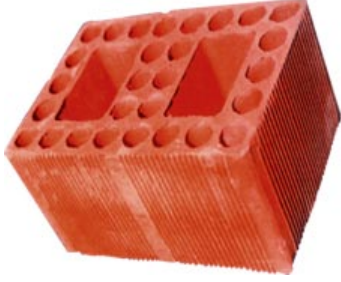
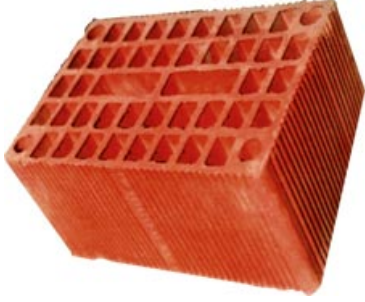


Şekil 4.10 Ege Bölgesinde yığma yapıların taşıyıcı duvar malzemesi oranları

Tuğla bloklar hem yük taşıyan yığma duvar hem de bölme duvar malzemesi olarak inşaat sektöründe yıllardır kullanılmaktadır. Fakat son yıllarda inşaat teknolojilerindeki gelişmeler neticesinde gazbeton duvar blok ve panellerine olan ilgi artmaktadır. Artan bu ilgiyi hem teknik hem de ekonomik nedenlere bağlamak mümkündür. Gazbeton malzemenin gözenekli dokusu nedeni ile etkin ısı yalıtım özelliği, hafifliği, yanmaz olması, bunun yanında kolay işlenebilmesi ve hassas boyutlarda üretilebilmesi gazbeton malzemenin sahip olduğu üstünlüklerdir (Şekil 4.11). İnceleme gözlemsel olarak yapıldığı ve basit ölçümler yapılabildiğinden malzeme dayanımlarının test edilmesi mümkün olmamıştır. Ancak dolu harman tuğlalarının tamamen dolu olması, düşey delikli taşıyıcı tuğlaların ilgili standardına göre imal ediliyor olması ve kesme taşların dayanımının yüksek olarak bilinmesi dikkate alınarak dolu harman tuğlası, düşey delikli tuğla ve kesme taş malzemenin dayanımlarının yeterli olduğu kabulü yapılmıştır.

Taşıyıcı duvar malzemesi kırsal kesimlerde, yerel malzemelerle özellikle kerpiç ve taş duvar ile karşılanmaya çalışılmıştır. Ekonomik durumu düşük kırsal kesimlerde karma olarak da bu malzemelerin kullanıldığı göze çarpmaktadır (Şekil 4.12). Yerelde, yapı malzemesi temin edildiği süre içinde, yapı tamamlanmaya çalışılmıştır. Yerel malzemelerin temin edilemediği durumlarda fabrikasyon malzemelerle yapıma devam edilmiştir. Bu şekilde farklı yapı malzemelerinin kullanılması sonucu yapı malzemeleri arasında derzler oluşmakta ve duvar bütünlüğü bozulmaktadır.

Ayrıca yığma yapıyı yapanların genelde yapıyı kullanacak olan kişiler olduğu, yapım aşamasında nitelikli ustaların yer almadığı da gözlenen başka bir problemdir. Bu da duvar bütünlüğünün oluşmasında sıkıntılara yol açan başka bir sebeptir.



### Yığma Tuğla

Teknik Özellikler

EN	UZ.	YÜK	ADET(m <sup>2</sup> )	ADET(kg)
19	29	13.5	23	4.8

### Yuvarlak Yığma Tuğla

Teknik Özellikler

EN	UZ.	YÜK.	ADET(m <sup>2</sup> )	ADET(kg)
19	29	13.5	23	4.3

### Gazbeton

Teknik özellikler

Değişken boyutlarda.

Şekil 4.11 Fabrikasyon taşıyıcı duvar malzeme ve teknik özellikleri



Şekil 4.12 Yığma yapıda çok farklı malzemelerin kullanılması durumu

#### 4.3.7 Yığma yapıların bodrum duvar malzemesi

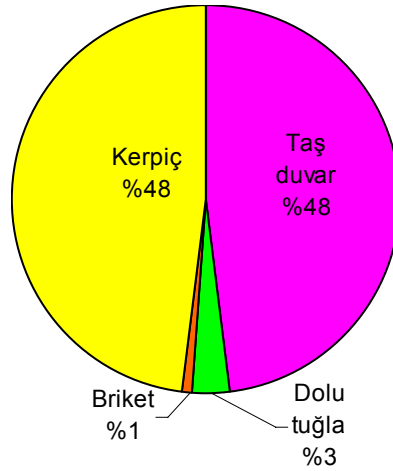
Bodrum katı olan yığma yapıların bodrum kat taşıyıcı malzemesinin uygun olmaması sonucu oluşan hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Bodrum katı olan 127 binadan 62 tanesinin bodrum kat duvar malzemesi taş duvar, 62 tanesinin bodrum kat malzemesi kerpiç vb

malzemelerden oluşmaktadır. Bodrum katı olan yapılardan 4'ünün bodrum katı harman tuğla, 1 adedinin ise beton briket ile yapıldığı görülmüştür.



Şekil 4.13 Uygun malzeme ve bağlayıcı harç kullanılmaması sonucu oluşan hasar

Bodrum kat taşıyıcı duvar malzemesi olarak %48 oranında taş duvar ve %48 oranında harman tuğlanın tercih edildiği ve buna göre imalat yapıldığı görülmüştür. Düşük oranlarda kerpiç ve beton brikette tercih edilmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Ege Bölgesinde yığma yapıların bodrum kat perde malzemesi oranları

Kırsal alanda taş duvar kullanımı daha yoğun iken kentsel alanlarda dolu harman tuğlası bodrum kat taşıyıcı duvar malzemesi olarak tercih edilmektedir. DBYBHY hükümlerine göre bodrum katta kullanılacak kargir malzemenin dayanımının 10 MPa olması istenmektedir. Değerlendirmede toplama moloz taşların bu dayanımı sağlamadığı, kesme taşların ise bu dayanım şartını sağladığı kabulü yapılmıştır.

#### 4.3.8 Yığma yapıların döşeme sistemi

İnceleme alanı içerisindeki yapıların döşeme sistemleri de ayrı bir parametre olarak incelenmiş ve tespit edilmiştir (Şekil 4.15). Değerlendirme sonuçlarına göre Ege bölgesinde yığma

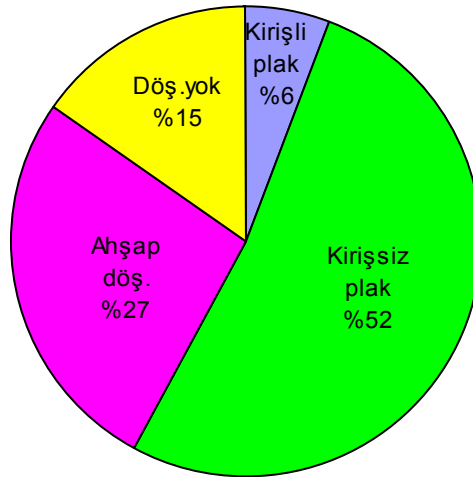


yapıların yarısından fazlasının (%52), döşeme sistemi kirişsiz plak döşemedir. Yani döşemeler doğrudan duvarların üzerine oturmaktadır. Bu kapsamda incelenen 741 adet yığma yapının %27 sinin döşeme sistemi ahşap döşemedir. Özellikle kırsal alanlarda ahşap döşeme yapımı yaygınlık göstermektedir.



Şekil 4.15 Yığma yapılarda döşeme uygulamaları

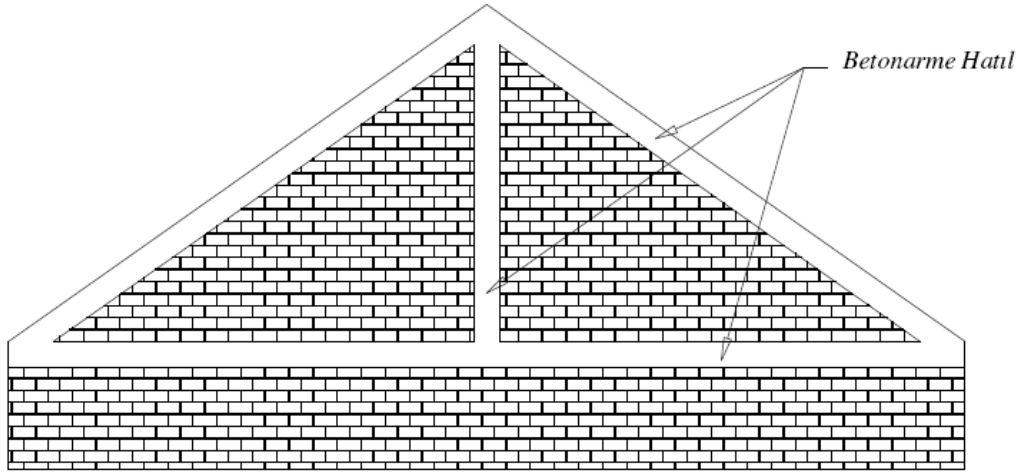
İnceleme kapsamındaki yapıların % 15 inin döşemesi bulunmamaktadır. Özellikle tek katlı yapılarda döşeme yapılmamakta ve ahşap çatı makası, duvarların üzerine oturtulmaktadır. Bu döşeme sisteminin uygulamada yaygın bir eğilim olduğu görülmektedir. Kirişli plak kullanımı ise % 6 ile düşük bir oranda yer almaktadır. Ahşap döşeme uygulaması özellikle kırsal alanlarda çok yaygındır (Şekil 4.16). Özellikle kerpiç yapıların tamamı ahşap döşemelidir. Kentsel alanlarda ise kirişsiz betonarme plak döşeme uygulaması yoğunluk arz etmektedir.



Şekil 4.16 Ege Bölgesinde yığma yapıların döşeme sistemleri oranları

#### 4.3.9 Yığma yapılarda kalkan duvar durumu

Betonarme yapılar gibi yığma binalarda da kalkan duvarlar deprem sırasında ilk yıkılan ve zarar gören yapı elemanları arasında yer almaktadır. Kalkan duvarlar üzerinde ağır ve bağlayıcı bir kütle bulunmaması dezavantaj oluşturan bir durumdur. Kalkan duvarlar özellikle beşik çatı denem çatı sisteminde mimari bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Yığma yapılarda kalkan duvar

Kalkan duvarların deprem davranışında etkili olan bir husus ise, yatay ve/veya düşey hatıl oluşturulmuş olmasıdır. Yatay ve düşey hatıllar kalkan duvarların stabilitesini arttırmakta ve bir bütün olarak davranmasına katkı sağlamaktadır. Yapı sahiplerinin, çatı katını geniş alanlar oluşturarak değerlendirmek istemesi de kalkan duvar oluşturulmasında etken olabilmektedir. Ayrıca imar planında bitişik nizam komşu binalar arasında kat adedi farkı olması durumunda kalkan duvar oluşturulması gerekli olmaktadır (Şekil 4.18).



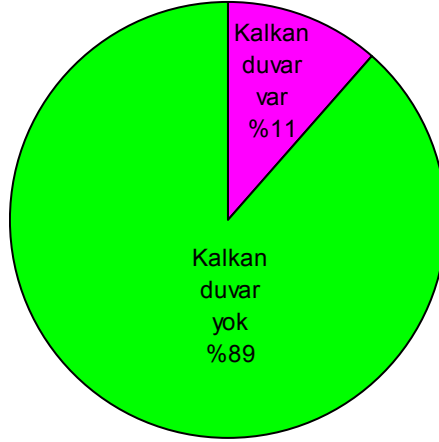
Şekil 4.18 Çeşitli kalkan duvar uygulamaları

İnceleme kapsamındaki 741 adet yığma yapının 85 tanesinde kalkan duvar yapıldığı görülmüştür (Şekil 4.19). Kalkan duvarı olan 85 yapıdan ancak 6 tanesinde düşey hatıl tespit edilebilmiştir. Kalkan duvarda yatay hatıl kullanımına ise hiç rastlanılmamıştır. Bu tür hatılsız kalkan duvarlar depremde ilk devrilecek elemanlar olarak değerlendirilebilir.

#### 4.3.10 Yığma yapılarda sıva durumu

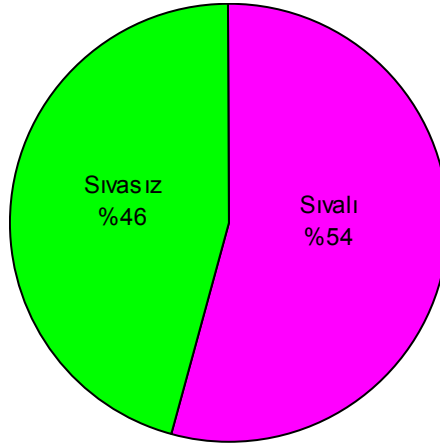
İnceleme alanı içinde tespit edilen yığma binaların dış cephelerinde sıva olup olmadığı noktasında tespitler yapılmıştır. Dış sıva kırsalda kerpiç yapılarda, kentsel alanda ise dolu harman tuğlası ile yapılan yapılarda tercih edilmemektedir. Dolu harman tuğlası ile yapılan yapıların dış cephelerinin güzel görünmesi, yalıtım ihtiyacının nispeten az olması ayrıca boya ihtiyacı hissedilmemesi nedeniyle sıva gereği duyulmadığı gözlenmektedir. Boşluklu tuğla ile yapılan yığma binalarda ise gerek güneş gerekse don etkisi ile tuğlaların aşınması ve erimesi nedeniyle sıva yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yönüyle özellikle boşluklu tuğla ile

yapılan taşıyıcı duvarlarda duvar dayanımının korunması açısından dış cephelere sıva yapılması önemli görülmektedir.



Şekil 4.19 Ege Bölgesinde yığma yapıların kalkan duvar durumu oranları

İncelenen 741 adet yığma yapıdan 403 tanesinin dış cephesinde sıva yapıldığı 341 adedinde ise sıva yapılmadığı tespit edilmiştir. Yüzdeler dilim açısından değerlendirildiğinde ise İnceleme alanı içindeki yığma yapıların %54'ünde dış sıva yapıldığı, %46'sında ise yapılmadığı görülmüştür (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Ege Bölgesinde yığma yapıların sıva durumu oranları

Yığma yapılarda sıva bulunmadığı durumlarda; kullanılan taşıyıcı duvar malzemesi, bağlayıcı harç durumu, taşıyıcı sistem özellikleri köşe birleşimi ve hasar durumları hakkında detaylı bilgilere ulaşılabilmektedir.

#### 4.3.11 Yığma yapılarda köşe birleşimi durumu

Yığma yapılarda dik kesişen duvarların birbirine bağlanması ve bina köşelerinin birleşim detayı deprem kuvvetinin yapı tarafından karşılanabilmesi açısından önemli noktalardır (Şekil 4.21). Bina köşelerinde taşıyıcı duvar örülürken taşıyıcı blokların homojen ve şaşırtmalı olarak örülmesi gerekir. Bir eksen boyunca bir sıra tuğla örüldüğünde, bir üst sıra diğer ekseninde örülmeli ve köşe tuğlaları birbirine bindirilmelidir (Şekil 4.22).

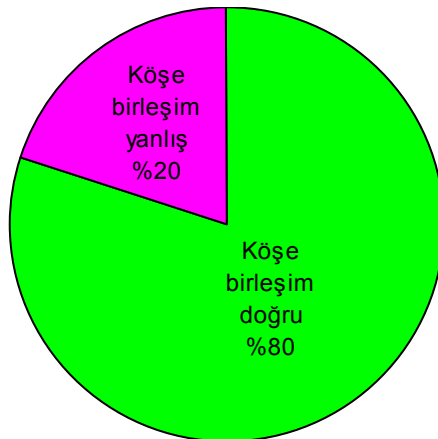


Şekil 4.21 Bina köşesinde derz oluşması ve uygunsuz harç kullanımı



Şekil 4.22 Doğru köşe birleşimine örnekler

Yapılan alan çalışmasında 741 adet binanın 149 adedinde köşe birleşimlerinin doğru teşkil edilmediği tespit edilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Ege Bölgesinde yığma yapıların köşe birleşimi durumu oranları

Köşe birleşimi uygun yapılmayan bu yapıların yapı köşelerinden ayrılması, yapıda stabilite kaybına yol açabilecek önemli bir kusurdur.

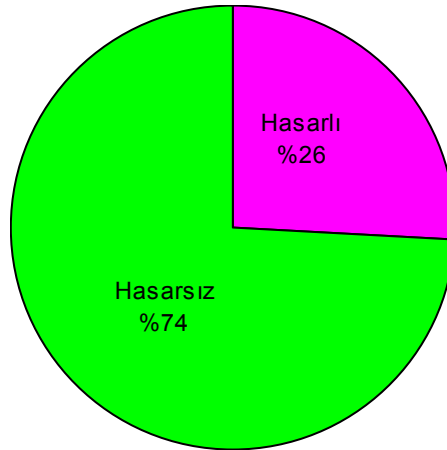


#### 4.3.12 Yığma yapılarda hasar durumu

Ege bölgesinde yapılan alan taramasında yığma yapıların hasar durumları incelenmiş ve tespit edilmiştir. Şekil 4.24'te yığma yapı hasarlarına ilişkin örnek yapı resimleri verilmiştir. Kerpiç yapılarda ahşap döşemeyi taşıyan elemanların bindiği kısımlarda dikey çatlaklar oluşmaktadır. Kalkan duvarlı yapılarda kalkan duvarın hatıllarla desteklenmemesi sonucu kalkan duvardan başlayan çapraz çatlaklar görülmektedir. Örnekleme yoluyla seçilen 741 adet yığma yapının 193 tanesinde yapısal hasar tespit edilmiştir (Şekil 4.25). Bunların büyük çoğunluğu, bina köşe birleşimlerinin ayrılması, oturma çatlakları ve eğimli araziden kaynaklanan hasarlar olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 4.24 Yığma yapı hasarlarına örnekler



Şekil 4.25 Ege Bölgesinde yığma yapıların hasar durumu oranları

#### 4.4 Ege Bölgesinde Yığma Yapıların DBYYHY-2007'ye Uygunluğu

Envanter çalışması sonucunda; Ege Bölgesinde bulunan yığma yapıların DBYYHY hükümlerini karşılama noktasında nerede yer aldığı konusunda net veriler elde edilmiştir. Yığma yapılarda hangi dizayn ve uygulama hataları yapıldığı ve bu hataların hangi yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2** Ege Bölgesi yığma yapıların DBYYHY hükümlerini karşılama oranları

Yönetmelik Madde	Hüküm	Sınır	UYGUN DEĞİL	UYGUN
5.2.2	Yığma kargir binalar için kat sayısı 1. Derece Deprem Bölgelerinde en fazla 2 kat, 2. ve 3. derece deprem bölgeleri için 3 kat olabilir.	2 3	7%	93%
5.2.4	Yığma kargir binalarda her bir katın yüksekliği, döşeme üstünden döşeme üstüne 3 m'den kerpiç binalarda 2,70 m' fazla olmayacaktır.	3 m 2,70 m	12%	88%
5.2.5	Yığma kargir binalarda, taşıyıcı duvarlar düzenli ve olabildiğince simetrik olacaktır.	3 m 2,70 m	13%	87%
5.2.6	Tüm taşıyıcı duvarlar planda mutlaka üst üste gelecek biçimde yapılacaktır.		13%	87%
5.4.1.1	Taşıyıcı duvarda yığma malzemesi olarak, Türk Standartlarına uygun doğal taş, dolu tuğla, TS 2510 ve TS EN 771-1 de izin verilen en büyük boşluk oranını aşmayan boşluk oranı olan tuğla ve blok tuğlalar gazbeton yapı malzeme ve elemanları, kiriş kumtaşı, d		25%	75%
5.4.2.2	Taşıyıcı duvarlarda kullanılacak yığma yapı malzemelerinin en düşük basınç dayanımı, brüt basınç alanına göre en az 5 MPa den daha az olmayacaktır. Bodrum katlarda kullanılacak doğal taşların basınç dayanımı ise en az 10 MPa olacaktır.	5 Mpa	26%	74%
5.4.3	1. ve 2. Derece deprem bölgelerinde zemin ve 1. Kat duvar kalınlıkları 20 cm den az olamaz.	20 cm	3%	97%
5.4.4	Planda birbirine dik doğrultuların her biri boyunca uzanan taşıyıcı duvarların toplam uzunluğunun brüt kat alanına oranı $(0,2 I) m/m^2$ den az olmayacaktır. $Ld/A > 0.20 * I$ I: Bina Önem Katsayısı (Konutlar için 1.0)	0,2	6%	94%
5.4.5.1	Herhangi bir taşıyıcı duvarın, planda kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan mesnetlenmemiş uzunluğu, birinci derece deprem bölgesinde 5.5 m'yi, diğer deprem bölgelerinde ise 7.0 m'yi geçmeyecektir.	5.5 m	1%	99%
5.4.5.2	5.4.5.1. deki şartın sağlanamaması durumunda, planda eksenden eksene aralıkları 4 mt yi geçmeyen düşey hatlılar yapılacaktır.	4 m	1%	99%
5.4.6.1	Bina köşesine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.5 m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 1.0 m'den az olmayacak	1.5 m	51%	49%
5.4.6.2	Bina köşeleri dışında, pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.0 m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 0.8 m'den az olmayacaktır.	1.0 m	32%	68%
5.4.6.4	Bina köşeleri dışında, birbirini dik olarak kesen duvarların arakesitine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu, tüm deprem bölgelerinde 0.50 m'den az olmayacaktır.	0.5 m	13%	87%
5.4.6.5	Kapı ve pencere boşluklarının herbirinin plandaki uzunluğu 3.0 m'den fazla olmayacaktır.	3.0 m	11%	89%
5.4.6.6	Herhangi bir duvarın 10.3.4'te tanımlanan mesnetlenmemiş uzunluğu boyunca kapı ve pencere boşluklarının plandaki uzunluklarının toplamı, mesnetlenmemiş duvar uzunluğunun %40'ından fazla olmayacaktır.	40%	34%	66%

Yönetmeliğin 5.4.6.1 maddesinde yer alan “Bina köşesine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.5 m’den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 1.0 m’den az olmayacaktır” hükmü yığma yapılarımızda %51 gibi yüksek bir oranda karşılanamamaktadır. Bu oran her iki yığma binadan daha fazlasında bu hükmün karşılanmadığını ortaya koymaktadır.

Yönetmeliğin 5.4.6.6 maddesinde yer alan “Herhangi bir duvarın 10.3.4’te tanımlanan mesnetlenmemiş uzunluğu boyunca kapı ve pencere boşluklarının plandaki uzunluklarının toplamı, mesnetlenmemiş duvar uzunluğunun %40’ından fazla olmayacaktır” hükmü yığma yapılarımızda %34 oranında karşılanamamaktadır. Özellikle bitişik nizam konutlar ve ticari alanlarda karşılaşılan bu durumun oldukça yüksek bir orana sahip olduğu gözlenmektedir.

Yönetmeliğin 5.4.6.2 maddesinde yer alan “Bina köşeleri dışında, pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.0 m’den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 0.8 m’den az olmayacaktır” hükmü yığma yapılarımızda %32 lik bir oranda karşılanamamaktadır. Bu durum bina boşlukları arasında öngörülen mesafenin sağlanması hususunda da sorun yaşandığını göstermektedir.

Yönetmeliğin taşıyıcı duvar malzemesi ile ilgili nitelik ve dayanım hükümlerini içeren 5.4.2.2. maddesi ve 5.4.1.1 maddesi sırası ile %26 ve %25 oranlarında karşılanmamaktadır. Bu durum Ege Bölgesindeki her dört yığma binadan birinin taşıyıcı duvar malzemesinin sorunlu olduğunu göstermektedir.

Yönetmeliğin yığma duvarlarda taşıyıcı duvarların düzenli ve simetrik olması şartını getiren 5.2.5 maddesi ve taşıyıcı duvarların planda mutlaka üst üste gelmesini şart koşan 5.2.6 maddesi % 13’erlik oranlarla karşılanamamaktadır.

Bina köşeleri dışında birbirini dik kesen duvarların ara kesitine en yakın pencere ve kapı boşluğu ile duvarın ara kesiti arasında bırakılacak olan duvar parçasının uzunluğunun 0,50 mt’den az olmayacağını hükme bağlayan yönetmeliğin 5.4.6.4 maddesi de %13 oranında karşılanamamaktadır.

Yığma binaların kat yüksekliğini düzenleyen 5.2.4 maddesi %12 oranında, kapı ve pencerelerin plandaki uzunlukların 3,0 mt’den fazla olmayacağını düzenleyen 5.4.6.5 maddesi %11 oranında karşılanamamaktadır.

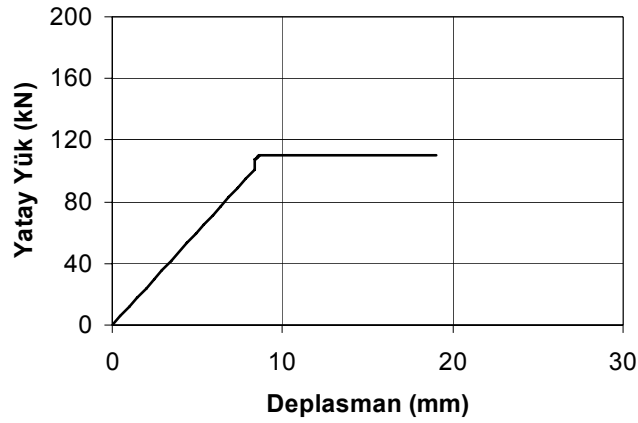
Tespiti yapılan diğer yönetmelik maddelerinin karşılanamama oranları %10’un altında yer almaktadır. Yönetmelik hükümlerine göre, Ege Bölgesi envanter kapsamında değerlendirilen yığma yapılarının uygun olup olmadığını gösteren tablo yukarıda verilmiştir.

## 5 SAYISAL ANALİZ SONUÇLARI

### 5.1 DUVAR MODELLERİ

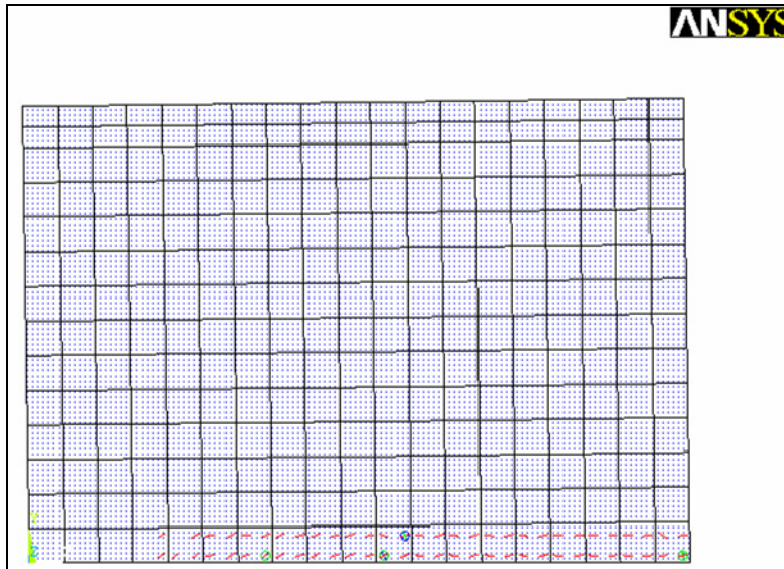
#### 5.1.1 RD Numunesinin Sayısal Çözümü

Sıvasız olarak inşa edilen RD Numunesine ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.2’de görülmektedir. Eğilme etkileri ile çekme bölgesinde daha çok eğilmeden kaynaklanan yatay çekme çatlakları oluşurken, basınç bölgesinde ise basınç gerilmeleri ve kayma gerilmelerinin bileşkesi ile ortaya çıkan eğik açılı asal çekme çatlakları görülmektedir.

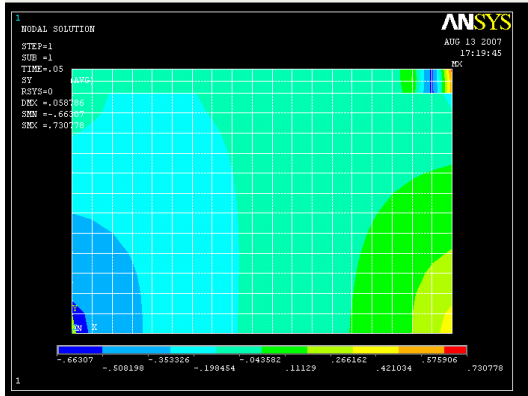


Şekil 5.2. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

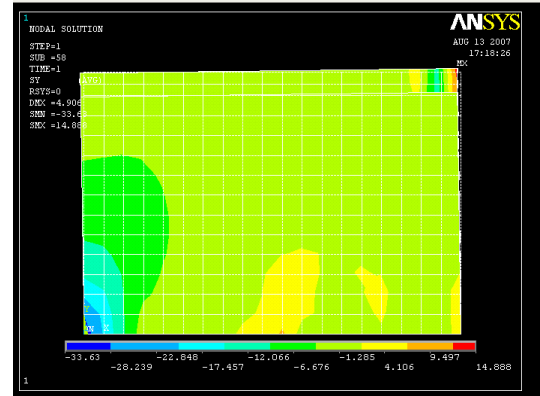
Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.3’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.4’te gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde duvar kesitlerinde doğrusal



bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir.



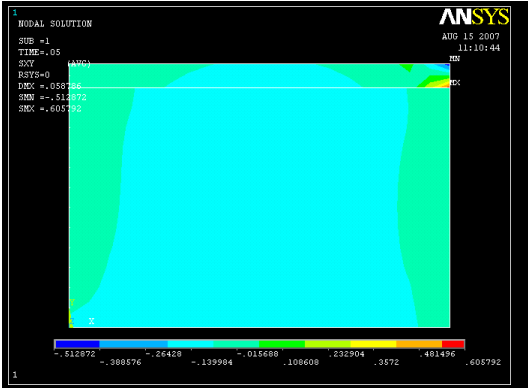
1. adım



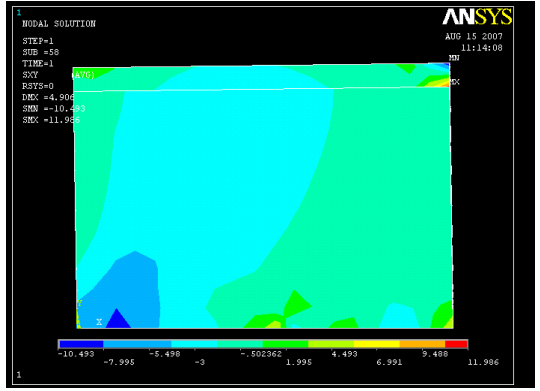
Son adım

Şekil 5.3. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır.



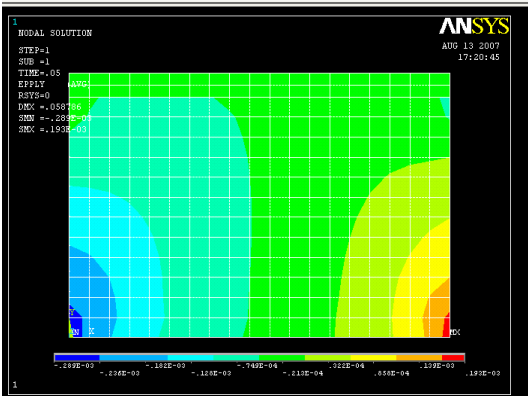
1. adım



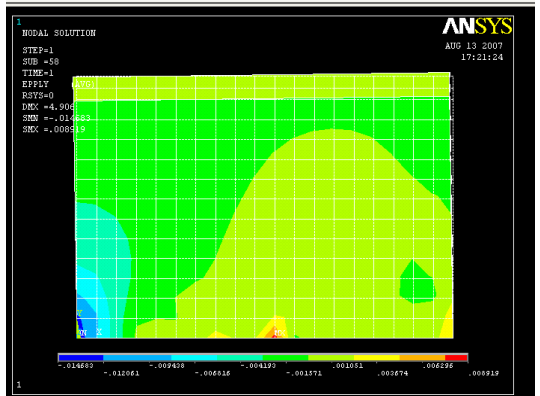
Son adım

Şekil 5.4. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.5'de ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

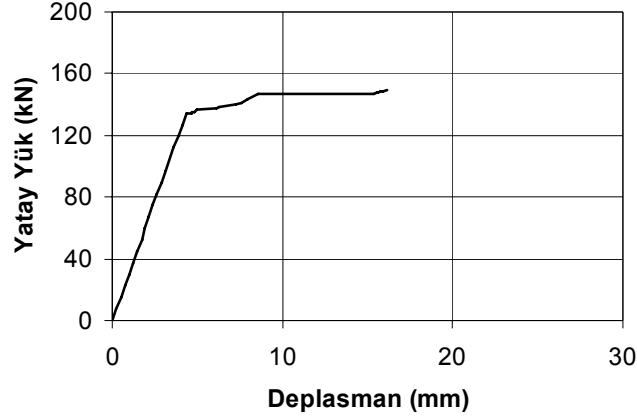


Son adım

Şekil 5.5. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

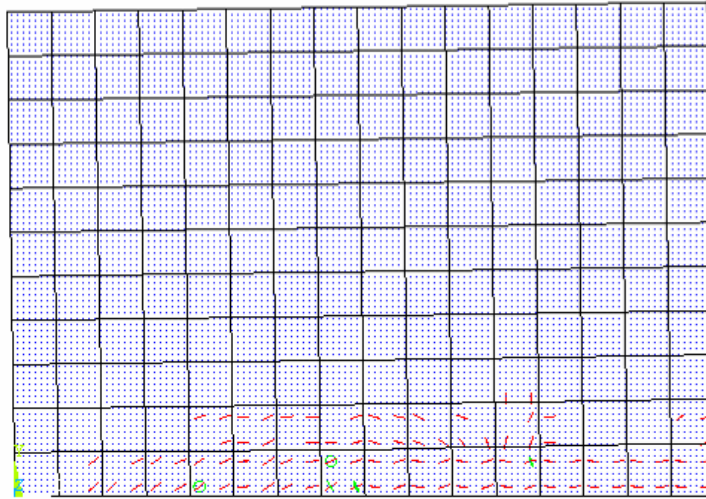
### 5.1.2 RDS Numunesinin Sayısal Çözümü

RD numunesinden farklı olarak sıvalı inşa edilen RDS referans duvar numunesine ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.6’da verilmiştir.



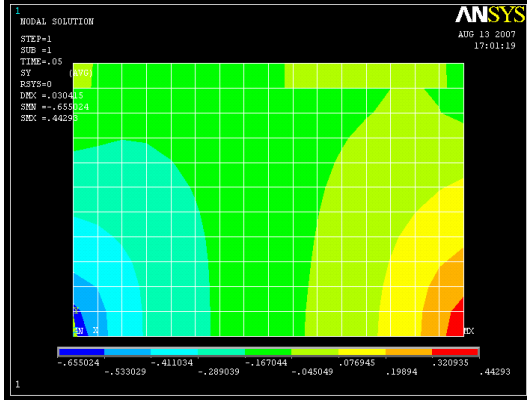
Şekil 5.6. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı(Şekil 5.7) RD numunesininkine benzemekle beraber daha yaygın bir çatlak oluşumu gözlenmektedir.

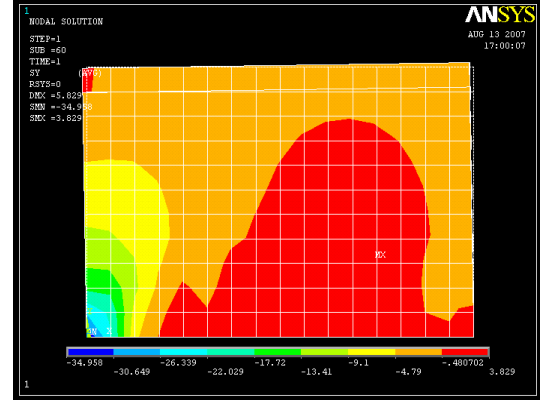


Şekil 5.7. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Model duvarın Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.8’de, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir.



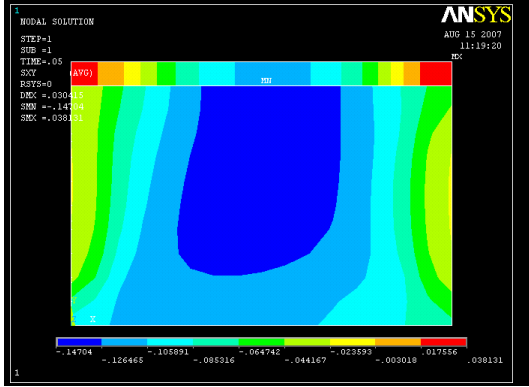
1. adım



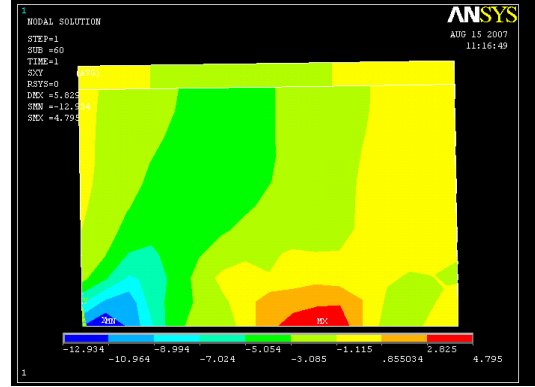
Son adım

Şekil 5.8. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır.



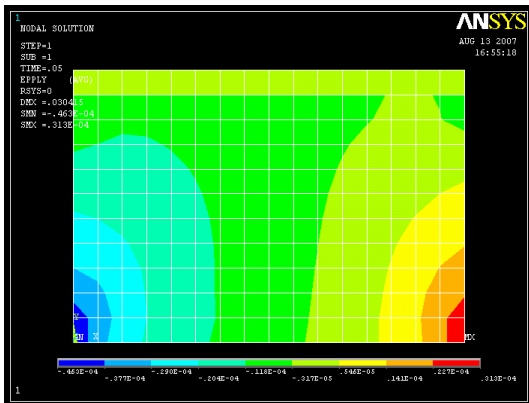
1. adım



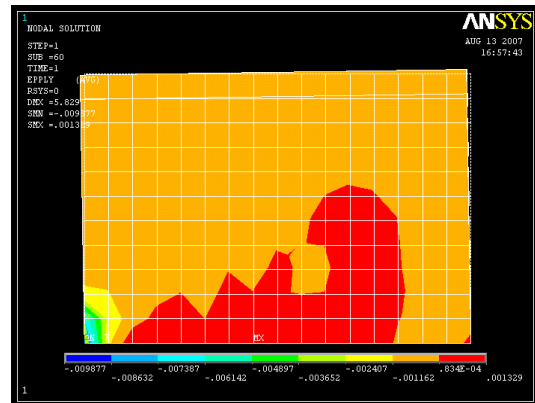
Son adım

Şekil 5.9. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.10'da ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

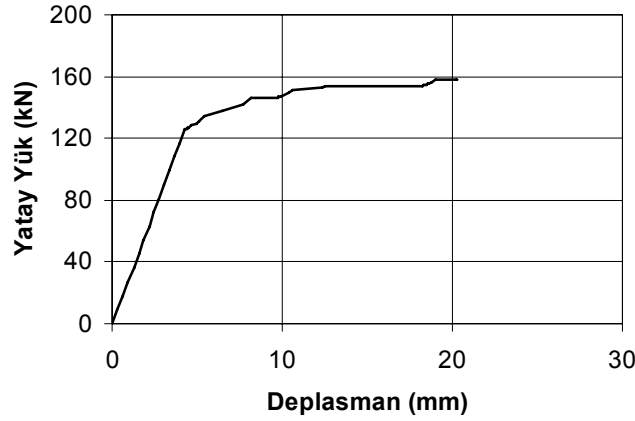


Son adım

Şekil 5.10. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

### 5.1.3 GDS DIT Numunesinin Sayısal Çözümü

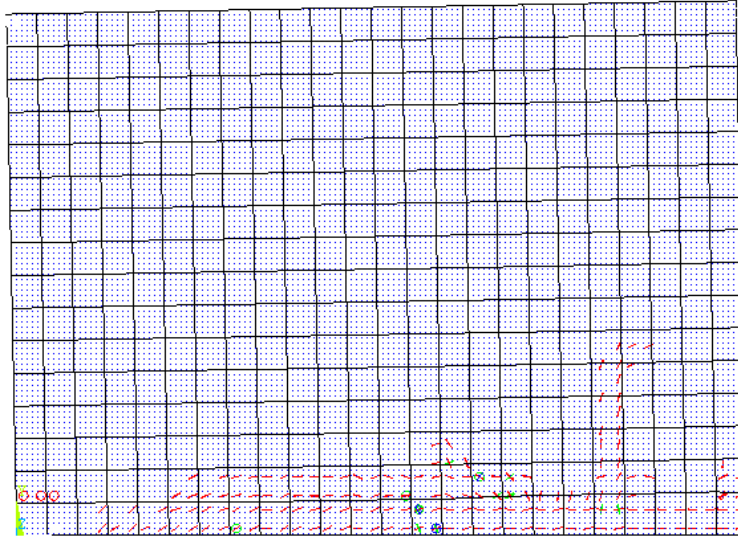
Sıvalı referans duvar olan RDS numunesine tek tarafından düşey lastikler uygulanarak güçlendirilen GDS DIT duvarı tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Yük deplasman grafiği

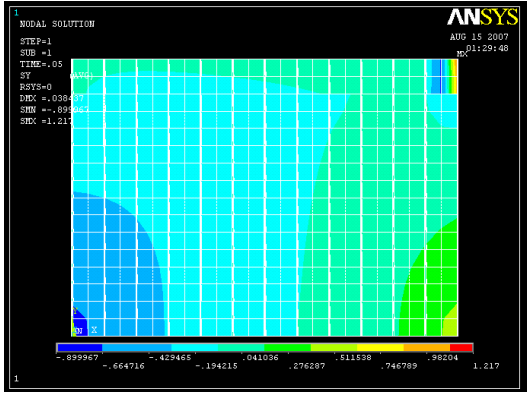
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.12’de görülmektedir. Çatlak dağılımı referans RDS numunesine göre daha yaygındır. Bu durum enerjinin daha çok noktada sönmüldüğüne işaret etmektedir.

**ANSYS**

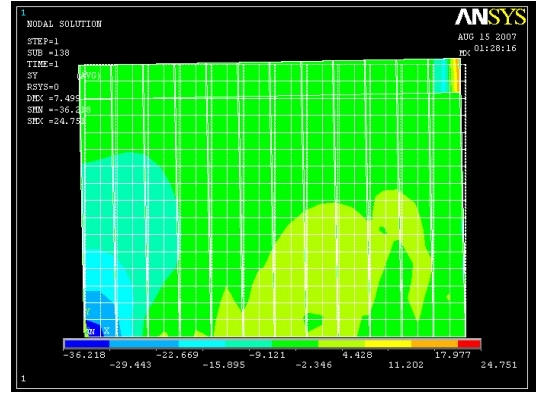


Şekil 5.12. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.13’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.14’te gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir. Kopmamış lastiklerin de bir miktar çekme gerilmesi taşıdığı görülmektedir.



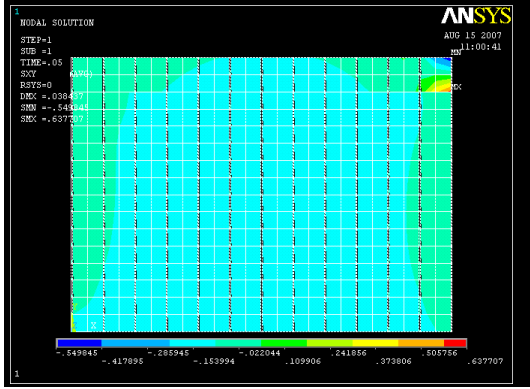
1. adım



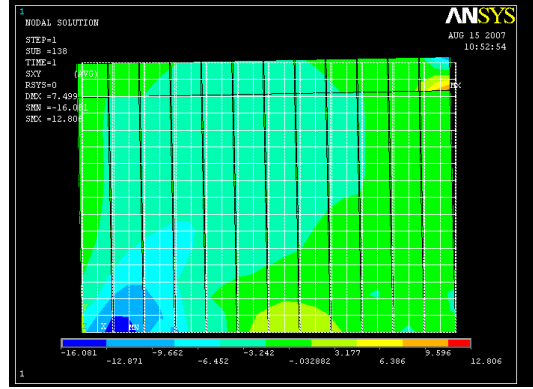
Son adım

Şekil 5.13. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır.



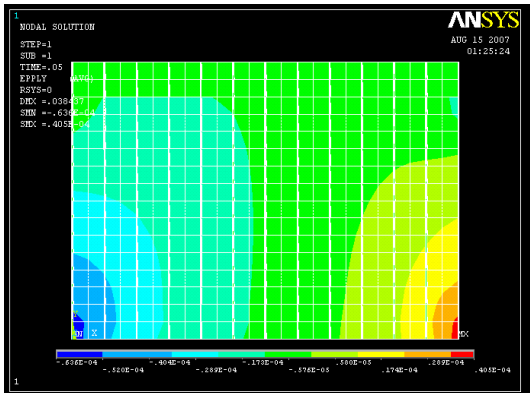
1. adım



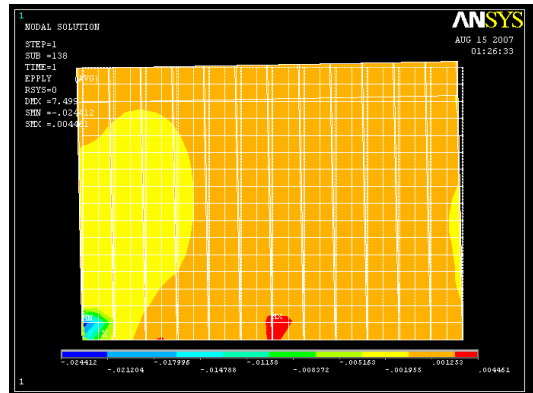
Son adım

Şekil 5.14. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.15'te ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

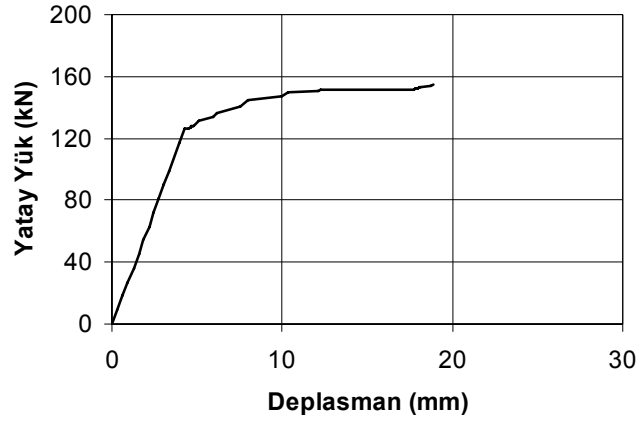


Son adım

Şekil 5.15. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

#### 5.1.4 GDSYIT Numunesinin Sayısal Çözümü

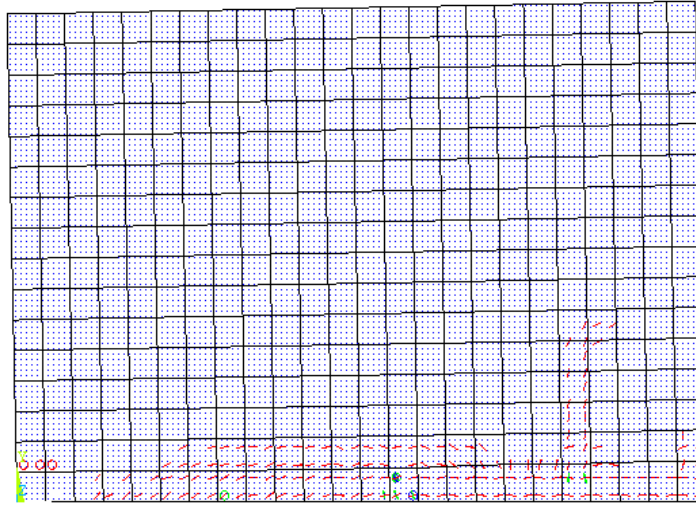
Yatay lastiklerle güçlendirilen GDSYIT duvar numunesine ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Yük deplasman grafiği

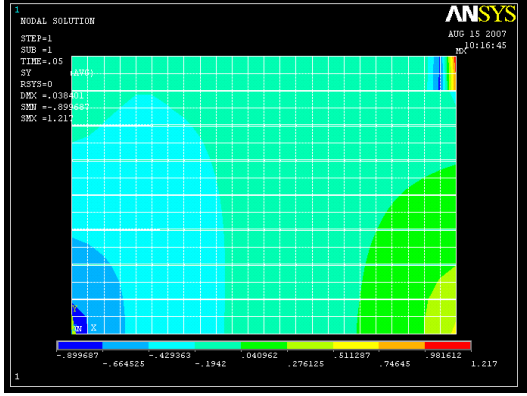
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.17'de görülmektedir. Çatlak dağılımı RDS numunesinde gözlenen dağılıma benzemektedir.

**ANSYS**

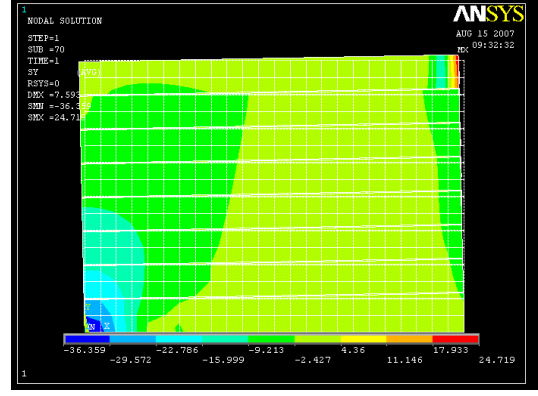


Şekil 5.17. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.18'de, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir. Çatlayan kesitlerde, kesite paralel olmayan lastik bulunmadığından çekme gerilmesi taşınmadığı da görülmektedir.



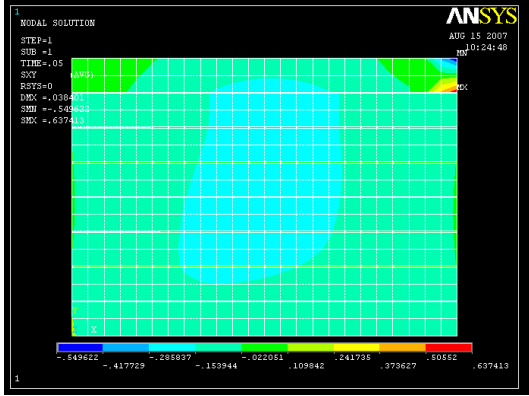
1. adım



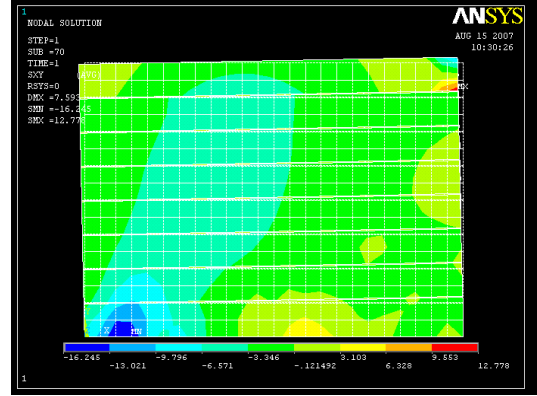
Son adım

Şekil 5.18. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır.



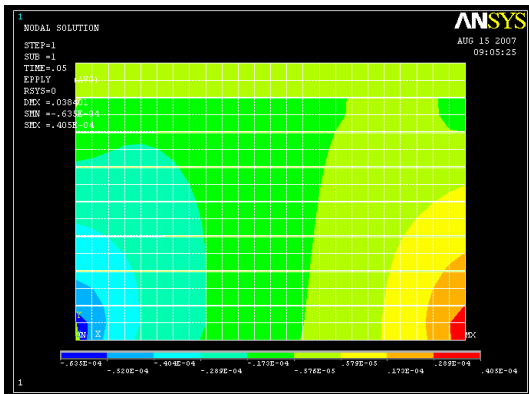
1. adım



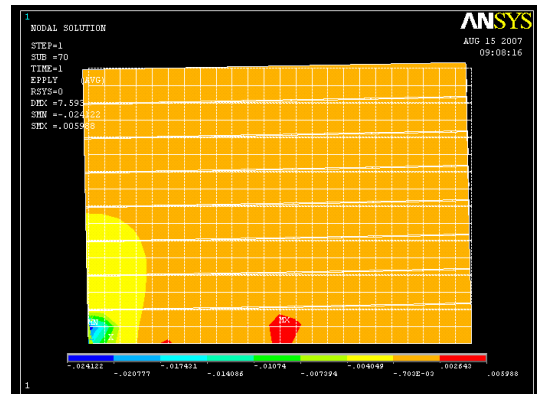
Son adım

Şekil 5.19. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.20’de ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım



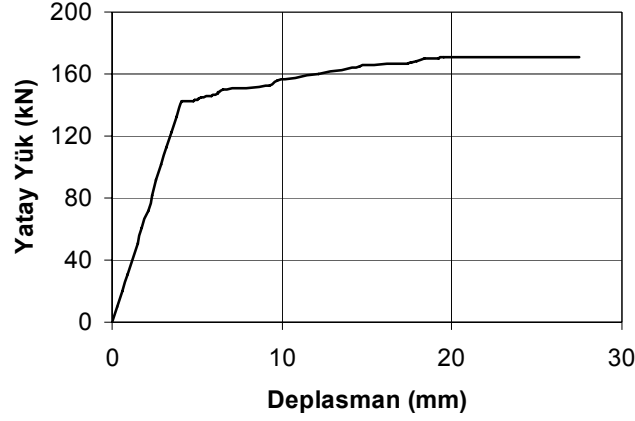
Son adım

Şekil 5.20. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı



### 5.1.5 GDSC1T Numunesinin Sayısal Çözümü

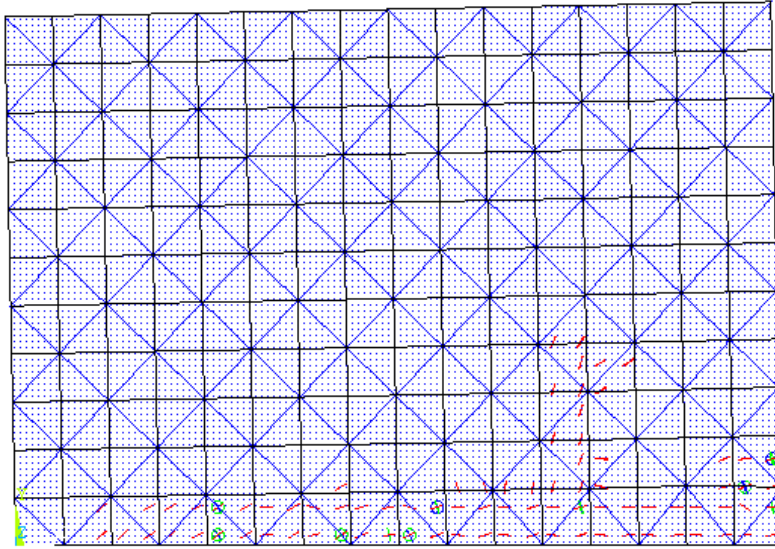
GDSC1T duvar numunesine ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.21’de verilmiştir.



Şekil 5.21. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.22’de görülmektedir. Çatlak dağılımı RDS numunesininkine benzemektedir.

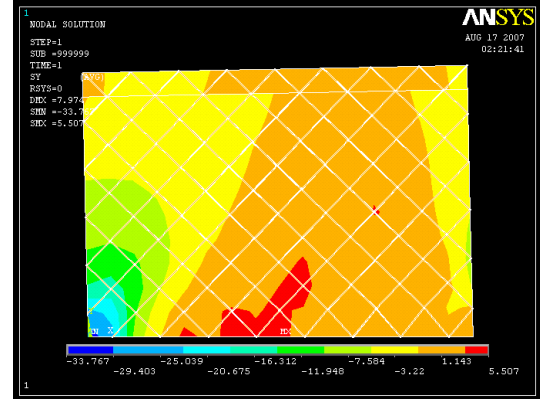
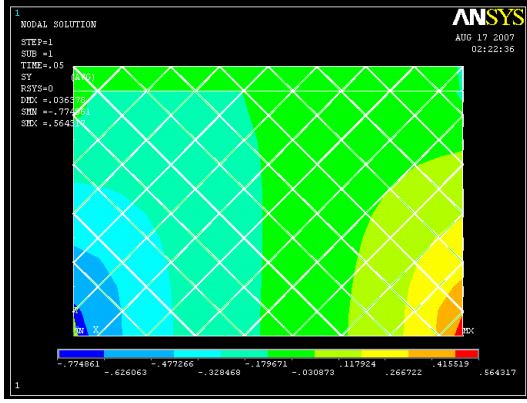
**ANSYS**



Şekil 5.22. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

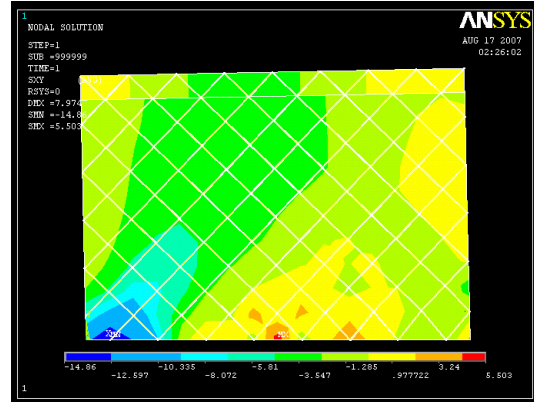
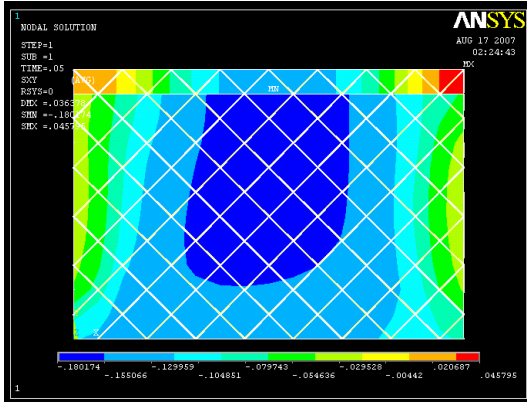
Modelde Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.23’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.24’te gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk aşamalarda duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir. Kopmamış olan lastik şeritlerin de çekme kuvveti taşıdığı açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum da duvarın yatay yük kapasiteni olumlu olarak etkilemektedir.





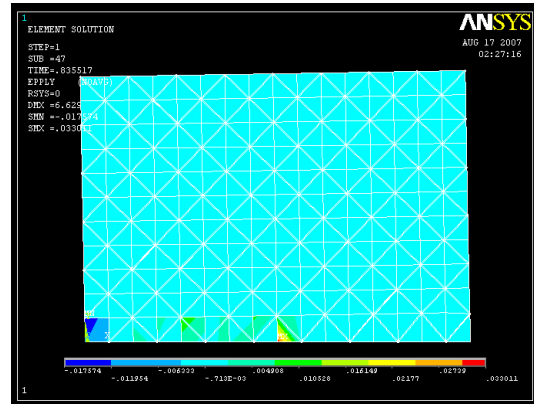
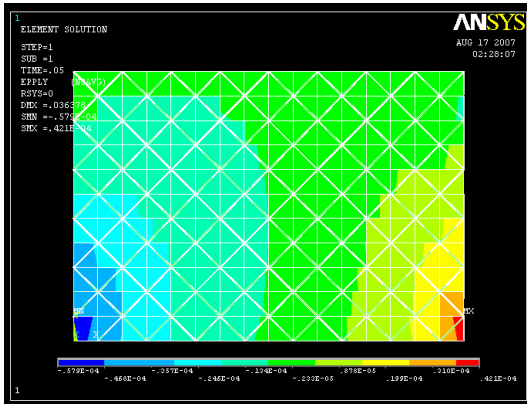
Şekil 5.23. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır.



Şekil 5.24. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

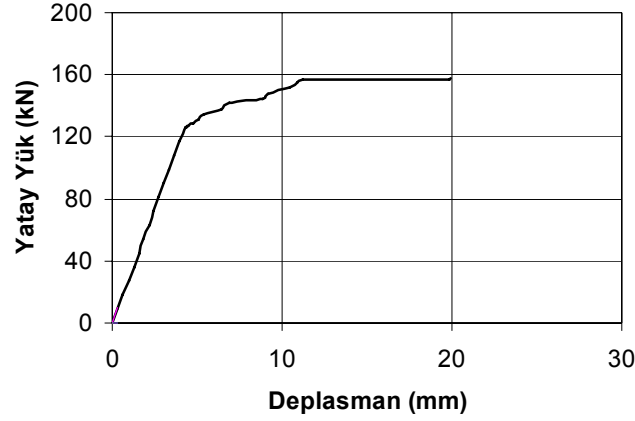
Şekil 5.25'te ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bu numunede plastik deformasyonların kesite daha düzgün yayıldığı görülebilmektedir.



Şekil 5.25. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

### 5.1.6 GDS2T Numunesinin Sayısal Çözümü

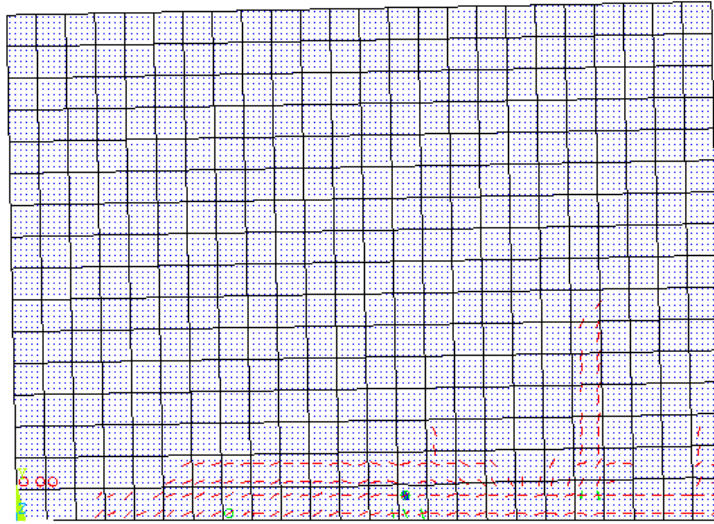
Bu numunede düşey lastikler duvara 2 tarafından uygulanmıştır. Model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.26. Yük deplasman grafiği

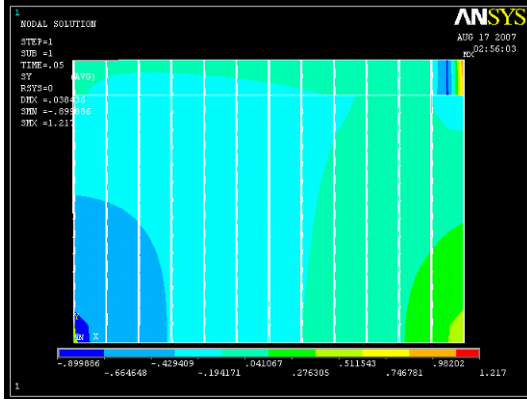
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.27'de görülmektedir. Çatlak dağılımı RDS numunesininkine benzemekle beraber daha yaygın bir çatlak oluşumu gözlenmektedir.

**ANSYS**

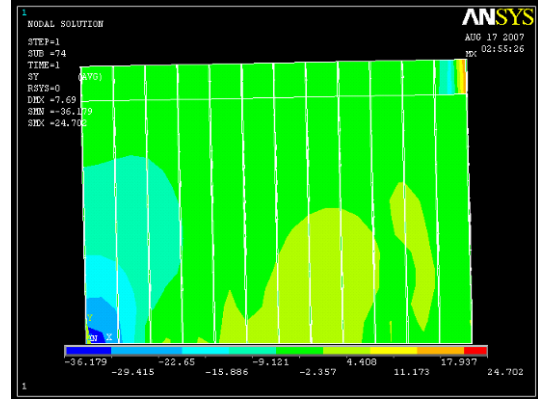


Şekil 5.27. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.28'de, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.29'da gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir. Düşey lastiklerin de yine bir miktar çekme taşıyabildiği görülmektedir.



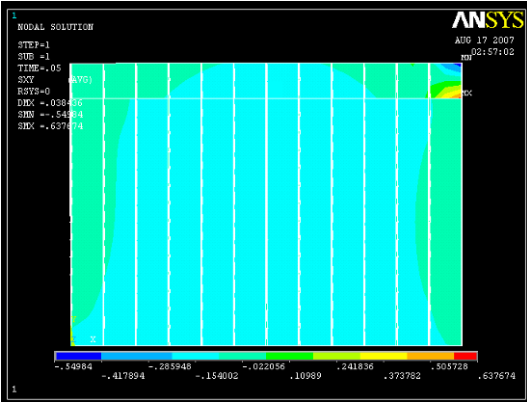
1. adım



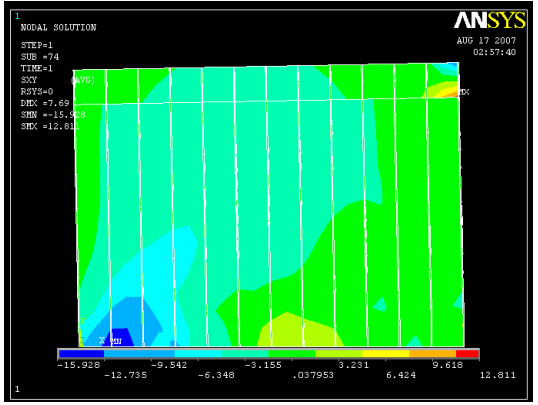
Son adım

Şekil 5.28. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır.



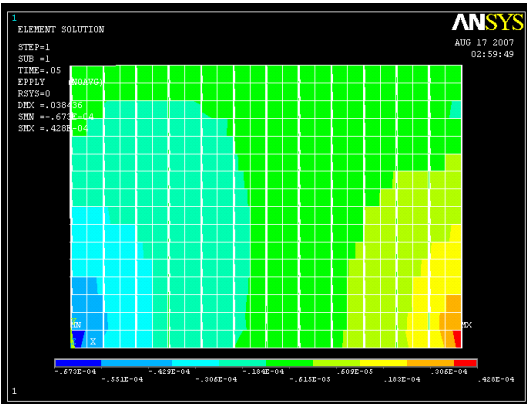
1. adım



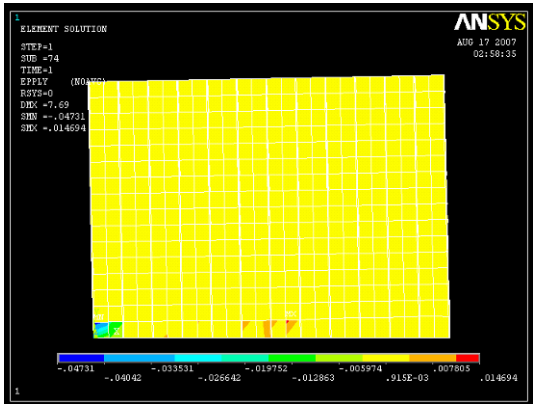
Son adım

Şekil 5.29. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.30'da ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

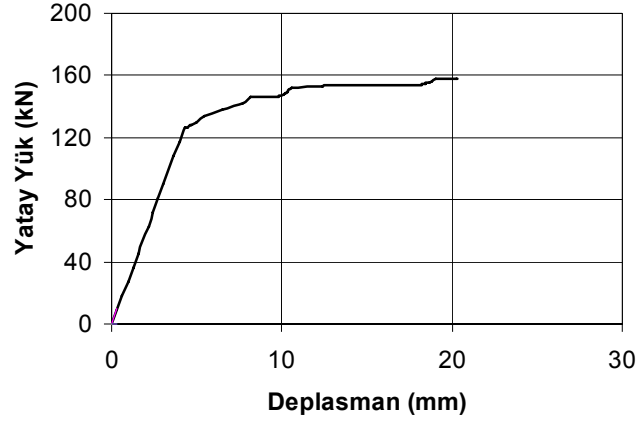


Son adım

Şekil 5.30. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

### 5.1.7 GDSK1T Numunesinin Sayısal Çözümü

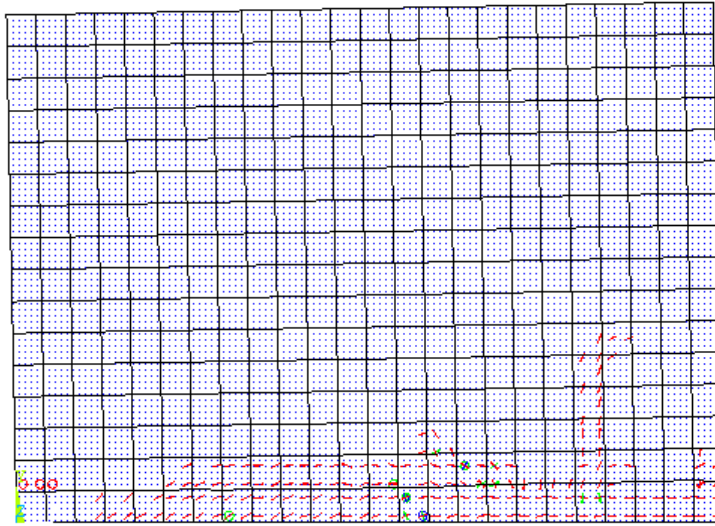
Standart sıvalı RDS duvar tipine karelaj oluşturan düşey ve yatay lastik ilave edilmiş olarak imal edilen numunesine ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.31’de verilmiştir.



Şekil 5.31. Yük deplasman grafiği

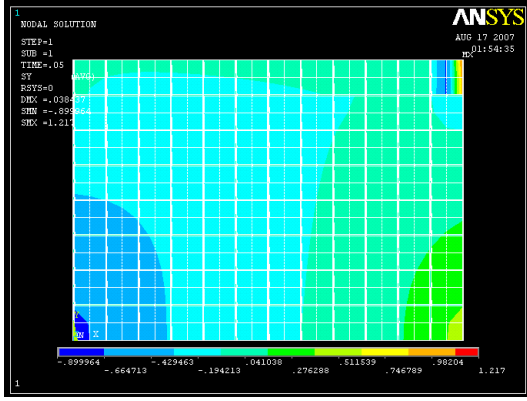
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.32’de görülmektedir. Çatlak dağılımı diğer numunelerle benzer şekildedir.

**ANSYS**

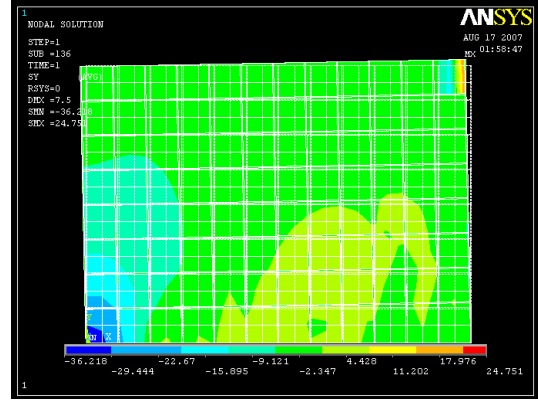


Şekil 5.32. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.33’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.34’te gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir. Duvarda yine bir miktar çekme gerilmesi düşey lastiklerle karşılanabilmektedir.



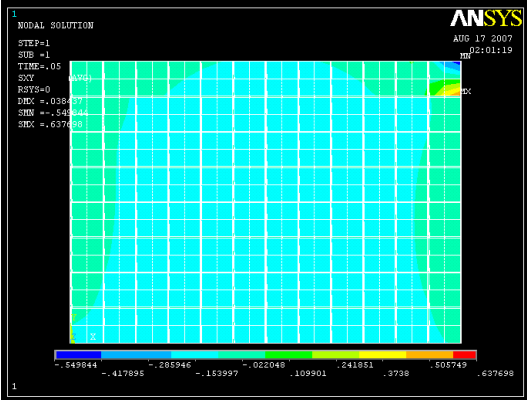
1. adım



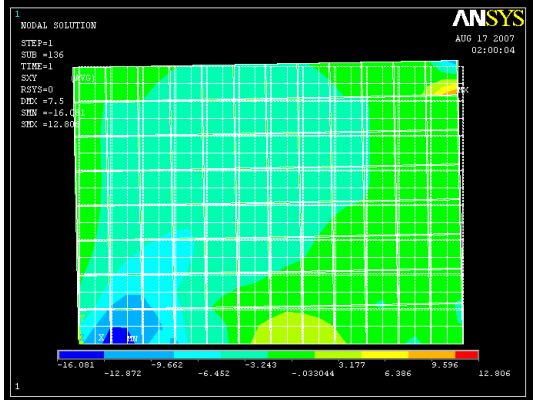
Son adım

Şekil 5.33. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır.



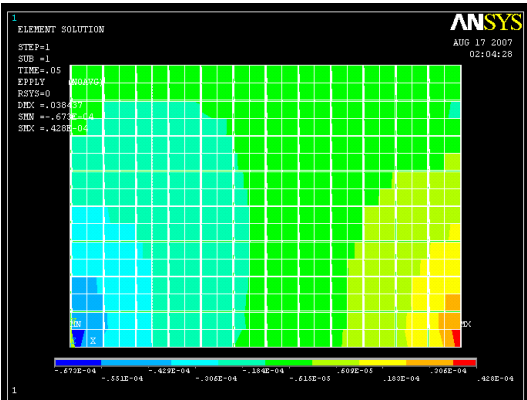
1. adım



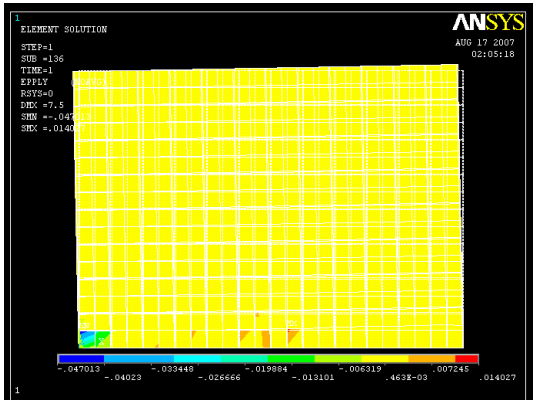
Son adım

Şekil 5.34. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.35'te ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

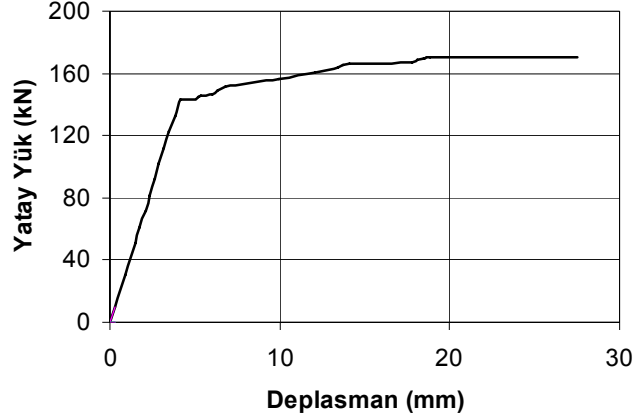


Son adım

Şekil 5.35. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

### 5.1.8 GDSC2T Numunesinin Sayısal Çözümü

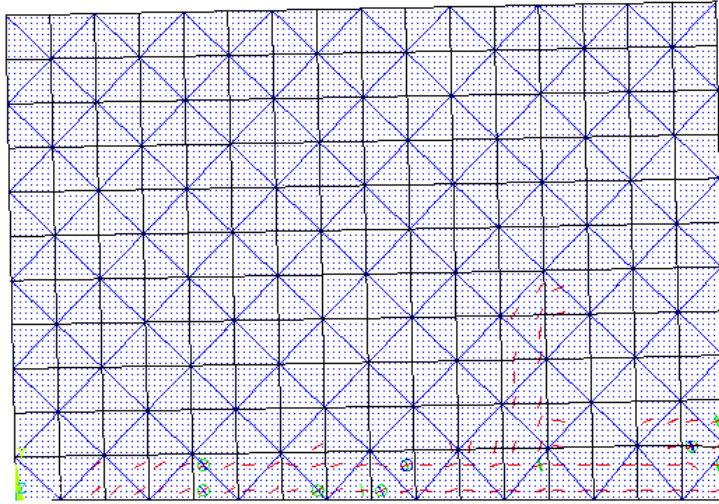
Çapraz lastiklerin 2 taraftan uygulanması ile güçlendirilen RDS referans duvar numunesine ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.36'da verilmiştir.



Şekil 5.36. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında duvardameydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.37'de görülmektedir. Çatlak dağılımı tek yönde çapraz lastiklere sahip numune ile benzer şekildedir.

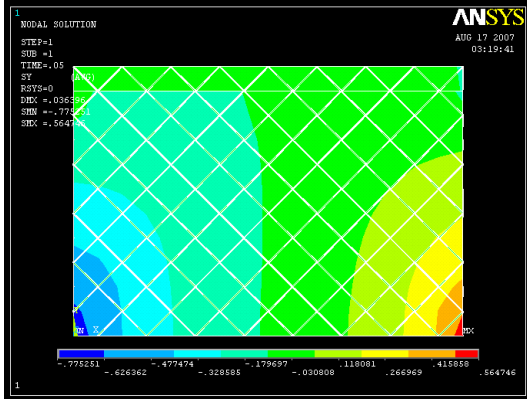
**ANSYS**



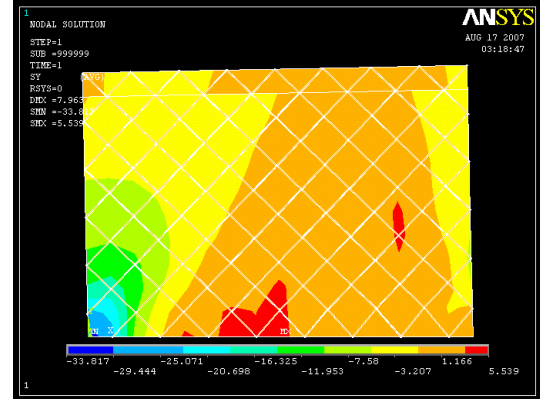
Şekil 5.37. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.38'de, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.39'da gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir. Duvarın çekme bölgesinde lastiklerin etkisiyle çekme gerilmelerinin taşındığı görülebilmektedir.





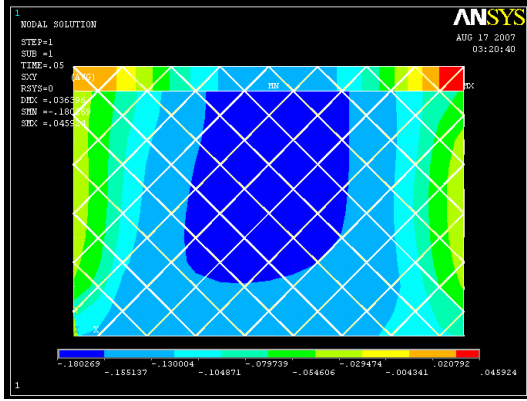
1. adım



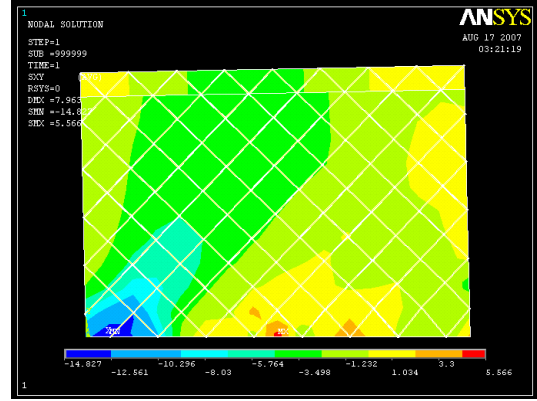
Son adım

Şekil 5.38. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır. Şekilde duvarın büyük bölümünde kayma gerilmelerinin bulunduğu gösterilmiştir.



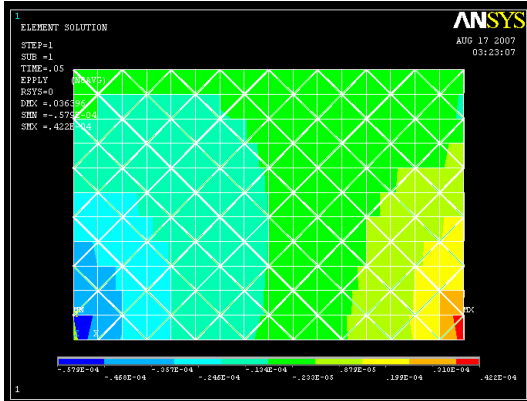
1. adım



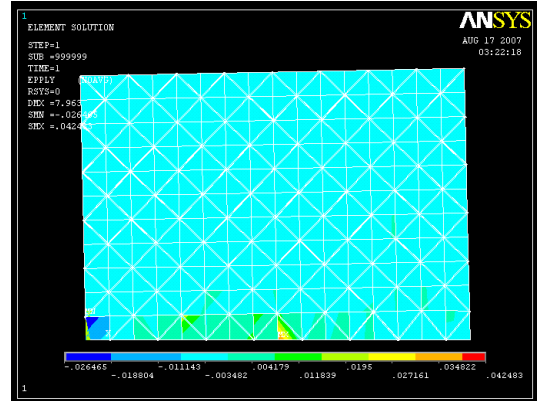
Son adım

Şekil 5.39. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.40'ta ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

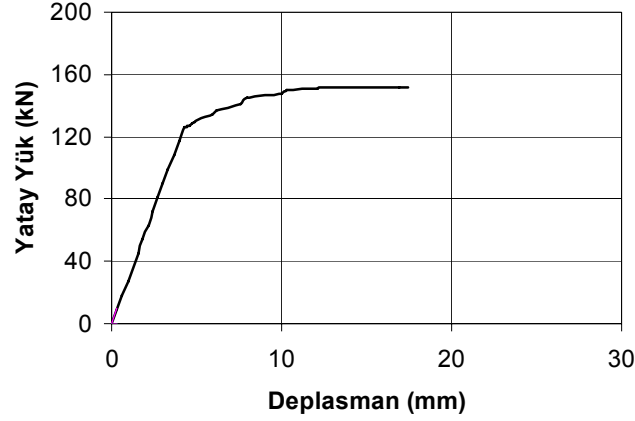


Son adım

Şekil 5.40. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

### 5.1.9 GDSY2T Numunesinin Sayısal Çözümü

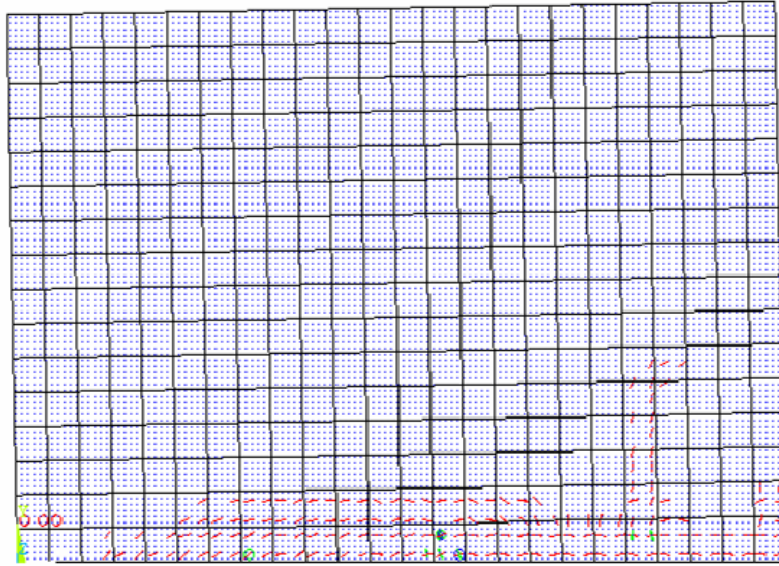
GDSY2T numunesinde lastikler yatay olarak iki yönden uygulanmıştır. Model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.41’de verilmiştir.



Şekil 5.41. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.42’de görülmektedir. Çatlak dağılımı diğer modellere benzer şekildedir.

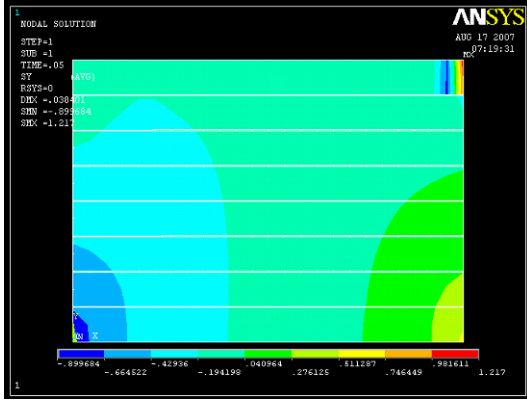
**ANSYS**



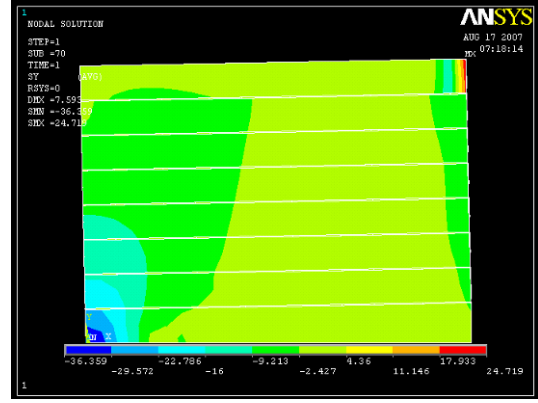
Şekil 5.42. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.43’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.44’te gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan bir gerilme dağılımı gözlenmiştir. Tek yönlü yatay lastikli ve lastiksiz duvarlarda olduğu gibi, çatlakan bölgelerde çekme gerilmesi taşınmamaktadır.





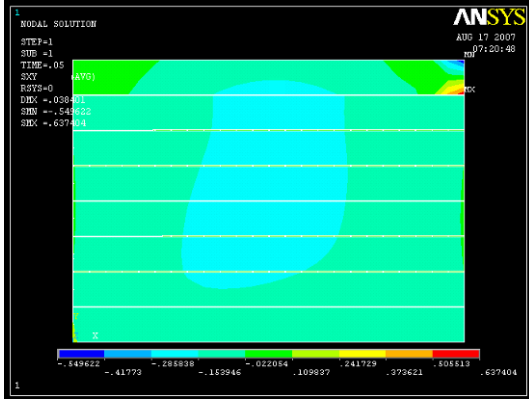
1. adım



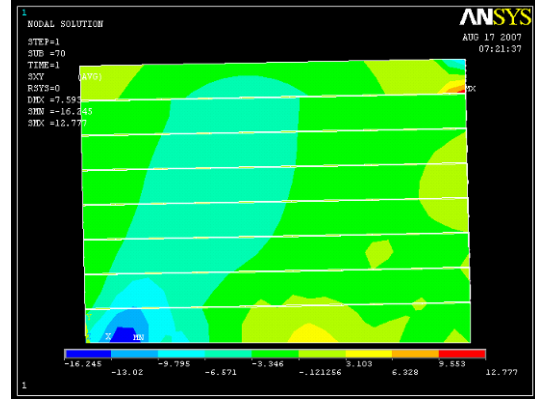
Son adım

Şekil 5.43. Y yönü normal gerilme dağılımı

İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır. Geniş bir alana yayılan çatlak sebebiyle duvarın büyük kısmında kayma gerilmesi oluşmamaktadır.



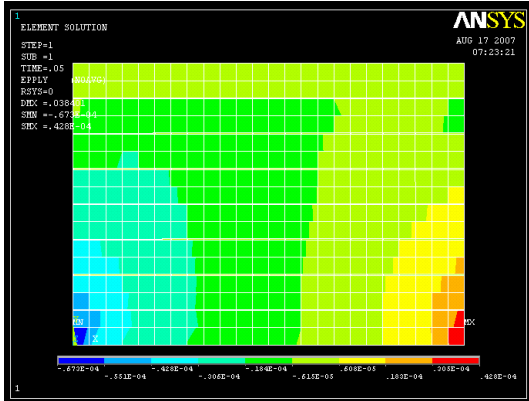
1. adım



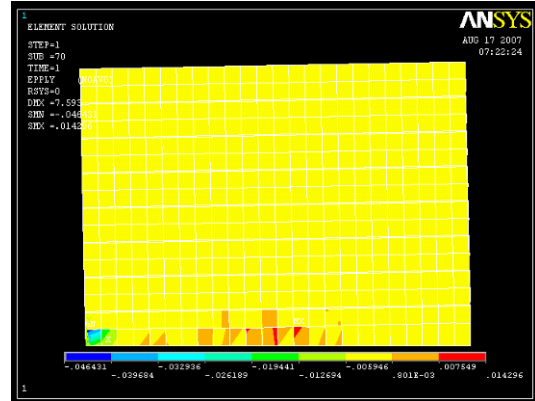
Son adım

Şekil 5.44. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.45'te ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

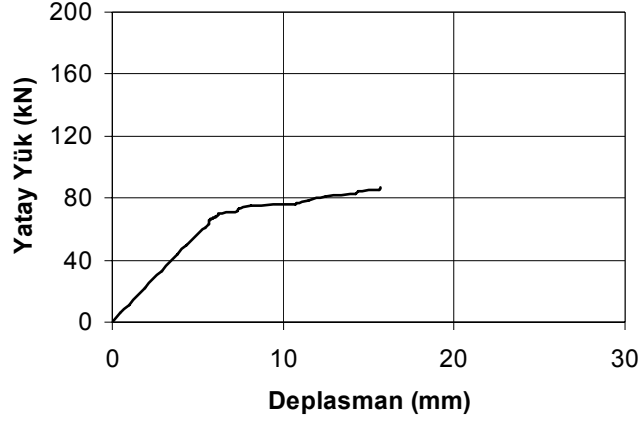


Son adım

Şekil 5.45. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

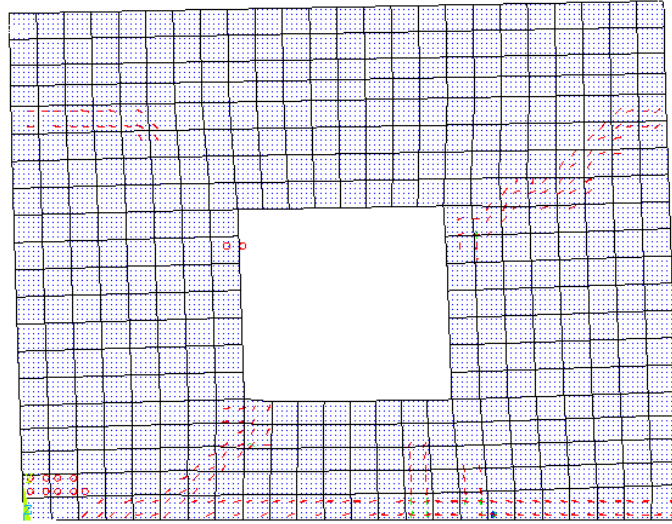
### 5.1.10 RDP Numunesinin Sayısal Çözümü

Referans numune olarak inşa edilen RDP Numunesine ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.46'da verilmiştir. RDP numunesi üzerine 120 kN düşey yük uygulanmıştır.



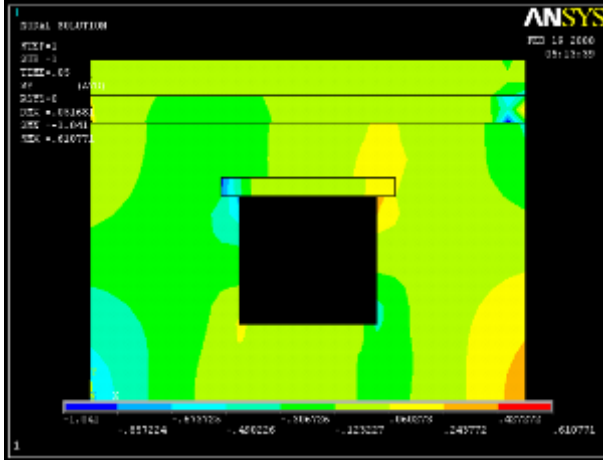
Şekil 5.46. RDP numunesi Yük yerdeğiştirme grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.47'de görülmektedir. Boşluklu duvarlarda en sık görülen pencere köşelerinden duvar köşelerine doğru ilerleyen çatlaklar ve duvar tabanında gözlenen çatlaklar yanında basınca çalışan sol alt köşede de bir miktar ezilme etkisi görülmektedir.

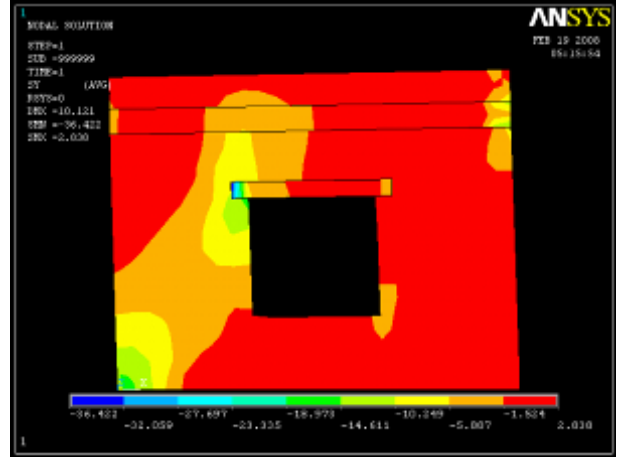


Şekil 5.47. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.48'de, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.49'da gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde pencere kenarında kalan duvar parçalarında doğrusal gerilme dağılımı görülmektedir. Hasarların başlaması sonrasında pencere köşesi ile duvar alt ucu arasında diyagonal bir basınç bölgesi oluşmuştur. .

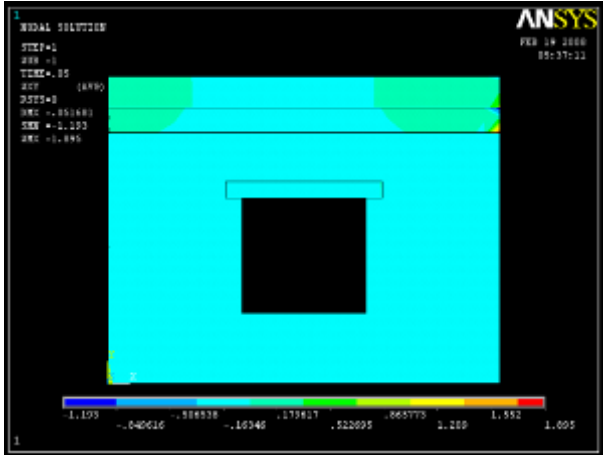


1. adım

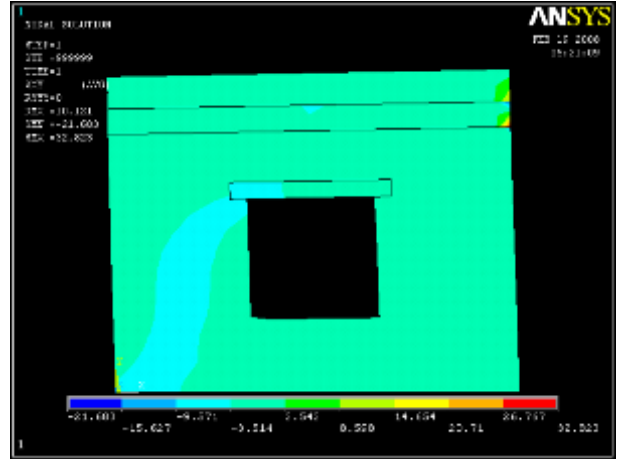


Son adım

Şekil 5.48. Y yönü normal gerilme dağılımı



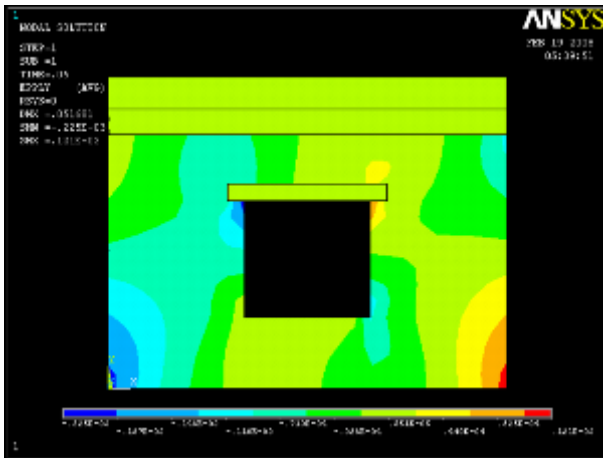
1. adım



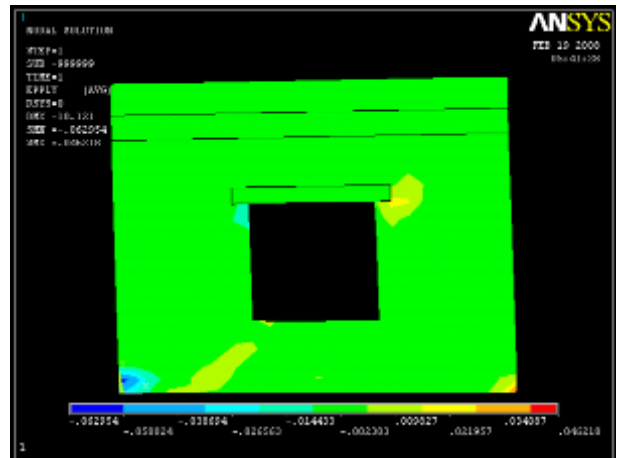
Son adım

Şekil 5.49. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.50’de ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

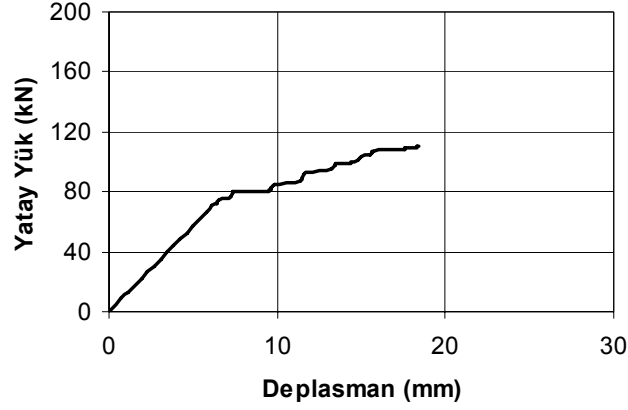


Son adım

Şekil 5.50. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

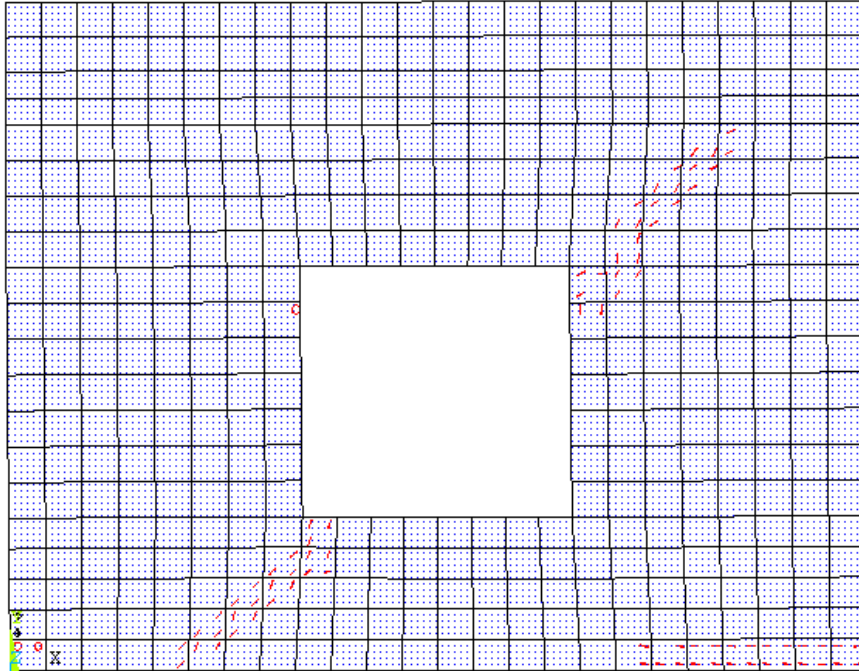
### 5.1.11 RDP-E Numunesinin Sayısal Çözümü

Bu numune RDP numunesi ile aynı özellikte olup, deneyde yüklenen eksenel yük seviyesi RDP numunesinden farklıdır. Numune üzerine toplam 180 kN düşey yük uygulanmıştır. Numuneye ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.51’de verilmiştir.



Şekil 5.51. Yük yerdeğiştirme grafiği

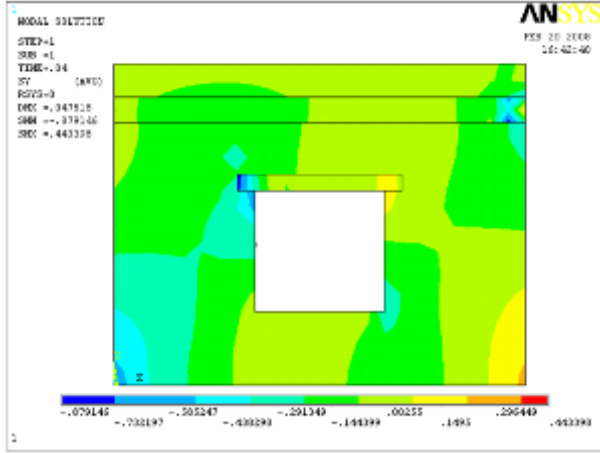
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.52’de görülmektedir. Pencere köşelerinde diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Eksenel yük seviyesi artırılmış deneyde, RDP deneyinden farklı olarak duvar tabanındaki çatlaklar azalmıştır.



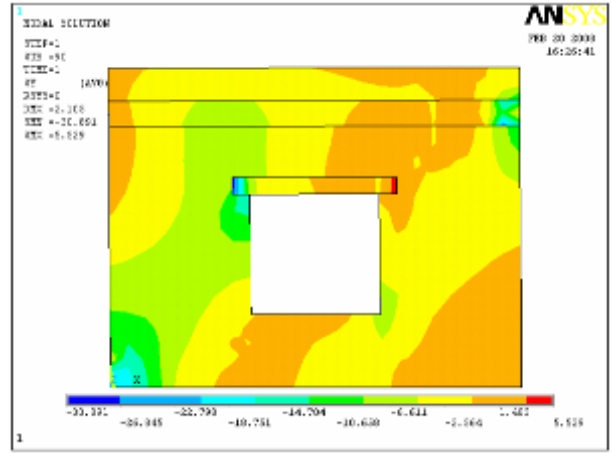
Şekil 5.52. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.53’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.54’te gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde boşluk kenarındaki duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, çatlak oluşumu sonrasında, duvarda diyagonal basınca dönüşmeye başlayan gerilme dağılımı ortaya

çıkılmaktadır. Şekil 5.55'te ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. Plastik şekil değiştirme davranışının çatlak deseniyle uyumlu olduğu görülmektedir.

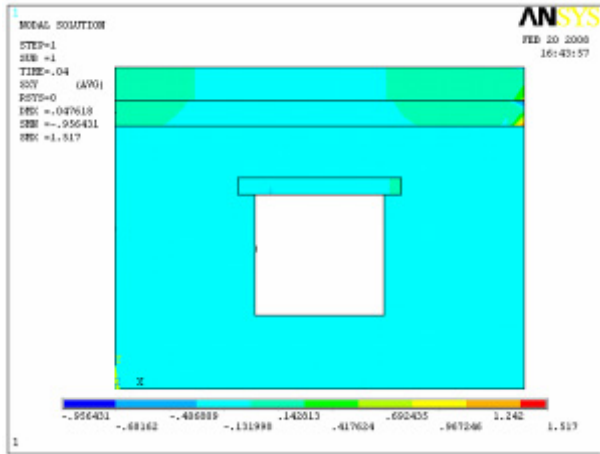


1. adım

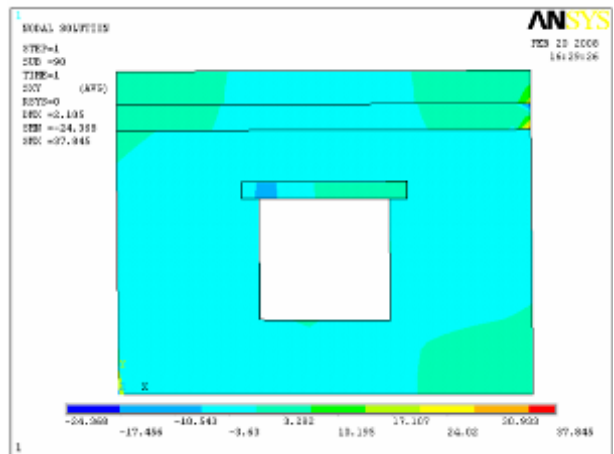


Son adım

Şekil 5.53. Y yönü normal gerilme dağılımı

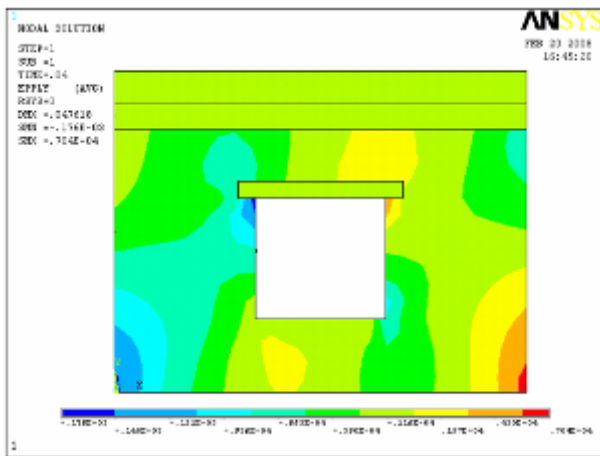


1. adım

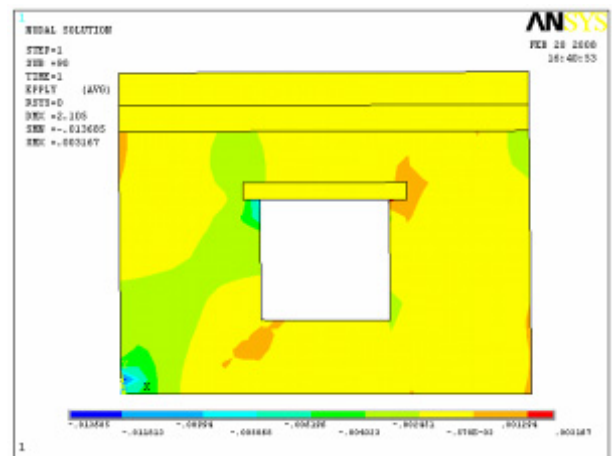


Son adım

Şekil 5.54. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı



1. adım

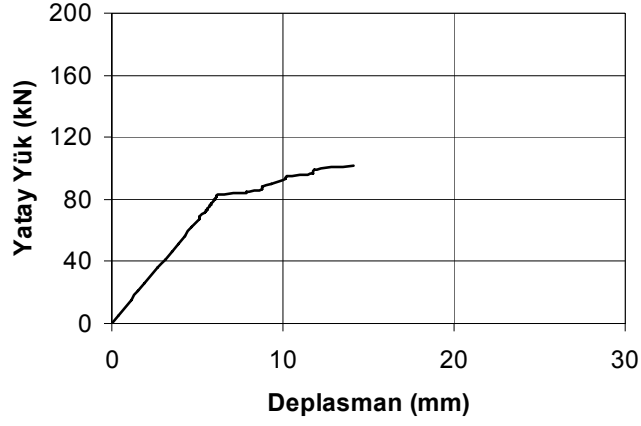


Son adım

Şekil 5.55. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

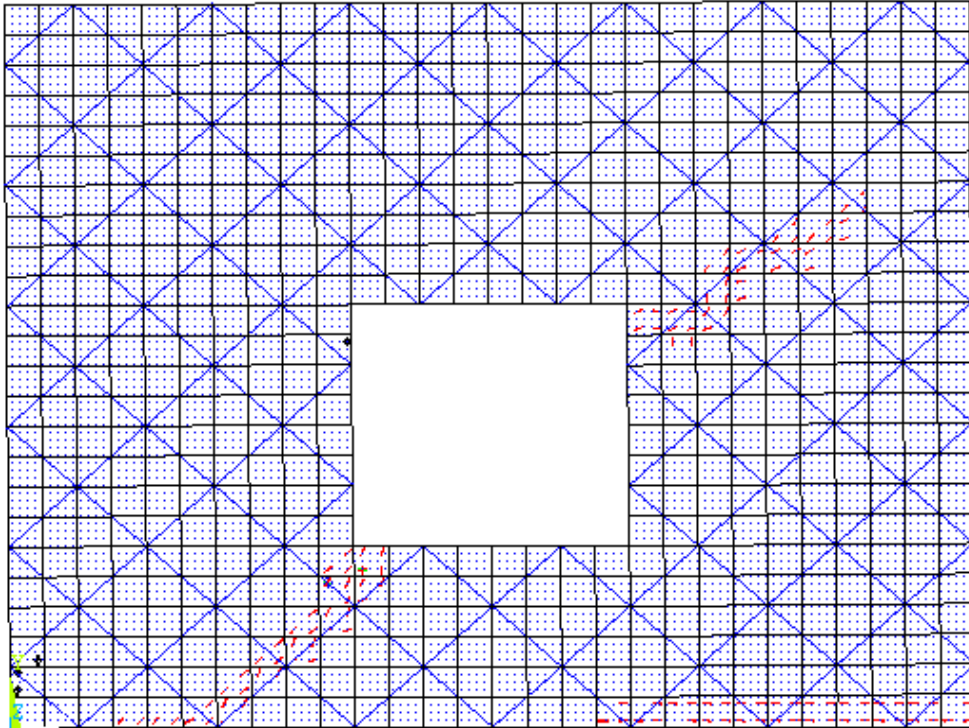
### 5.1.12 GDPCIT Numunesinin Sayısal Çözümü

Sayısal model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.56'da verilmiştir.



Şekil 5.56. Yük deplasman grafiği

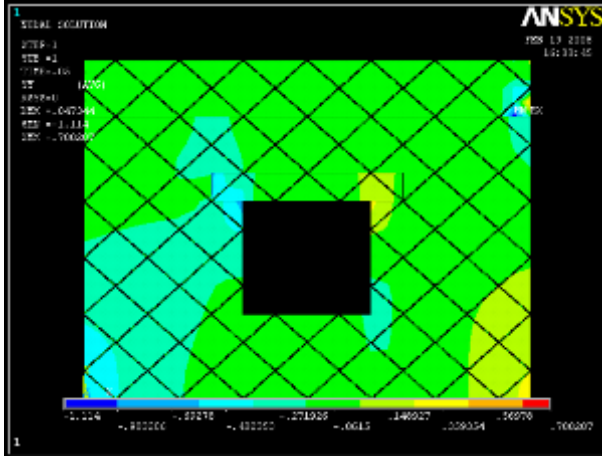
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.57'de görülmektedir.



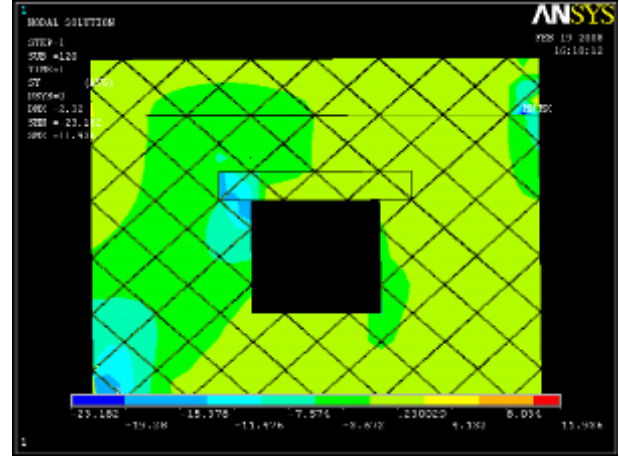
Şekil 5.57. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.58'de, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.59'da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki modellerle benzer özelliktedir.



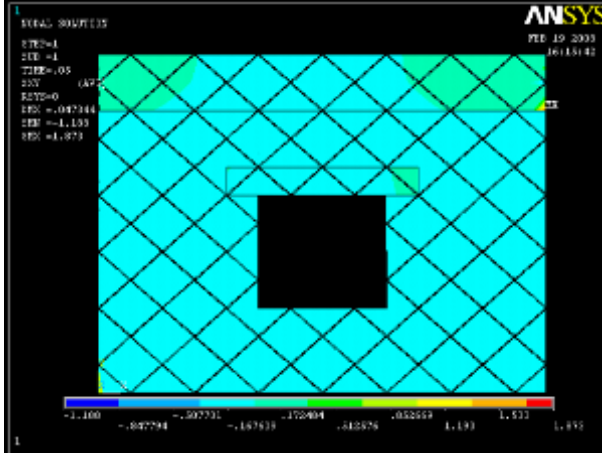


1. adım

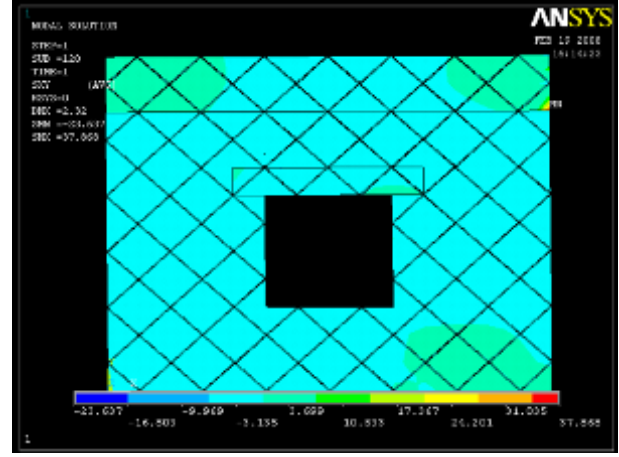


Son adım

Şekil 5.58. Y yönü normal gerilme dağılımı



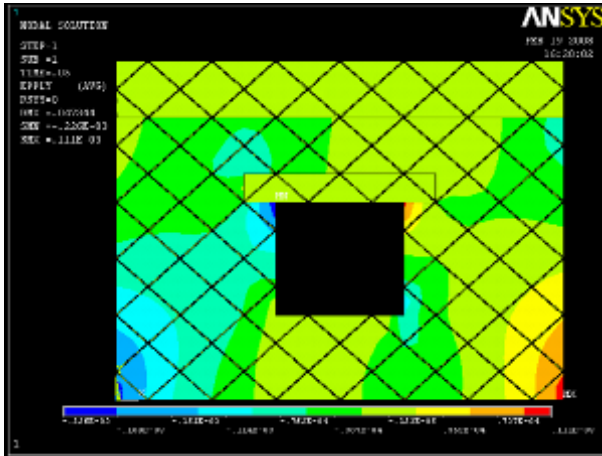
1. adım



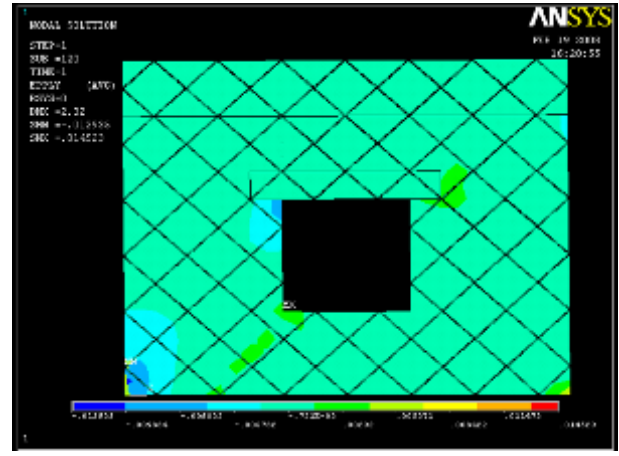
Son adım

Şekil 5.59. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.60'da ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, asal çekme çatlaklarının oluşması sonrasında plastik deformasyonlar duvar köşelerindeki asal basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım



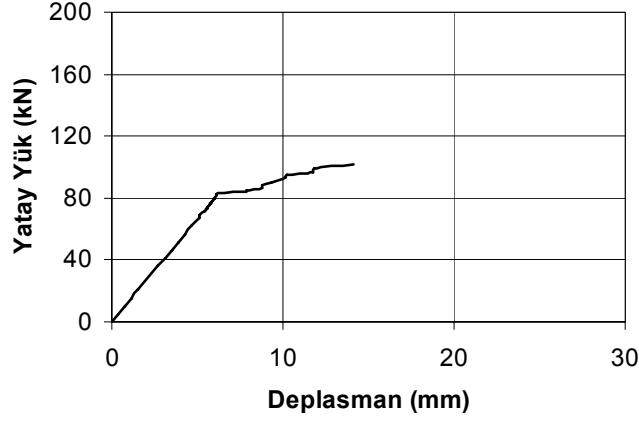
Son adım

Şekil 5.60. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı



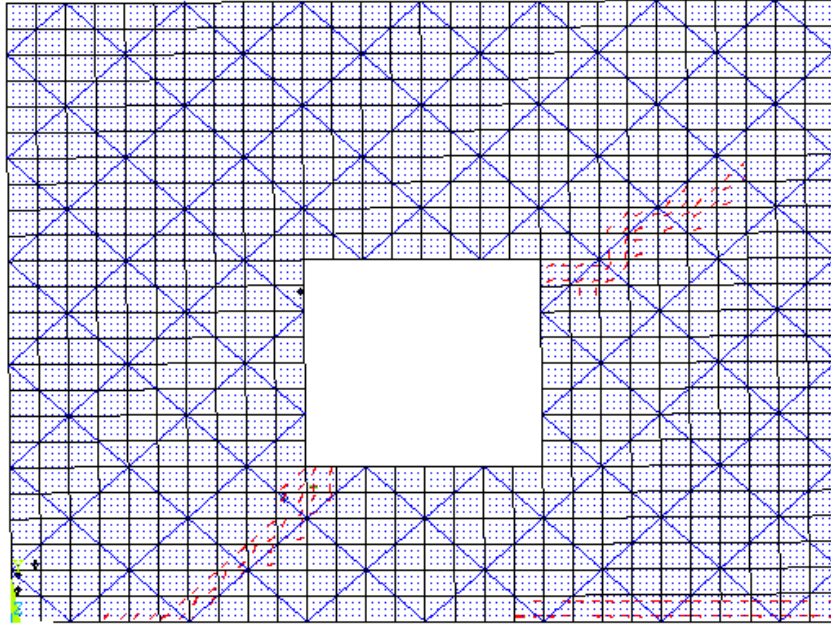
### 5.1.13 GDPC1S Numunesinin Sayısal Çözümü

Hazırlanan model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.61’de verilmiştir.



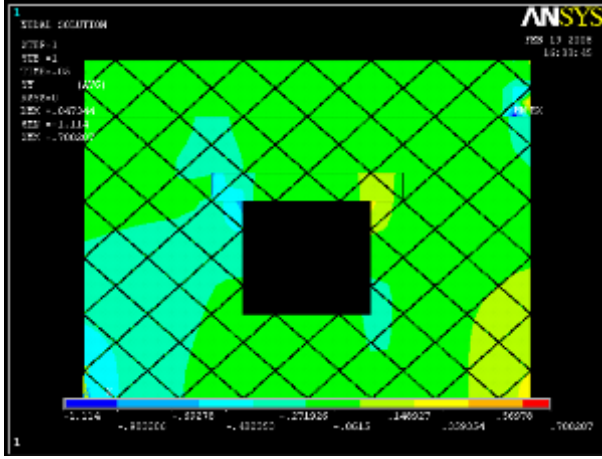
Şekil 5.61. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.62’de görülmektedir.

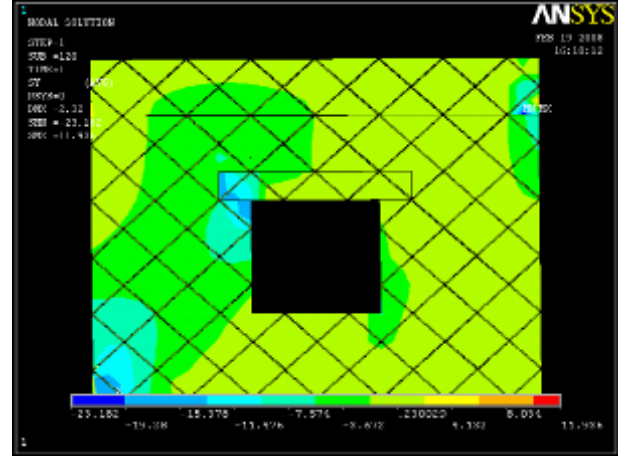


Şekil 5.62. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.63’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.64’te gösterilmiştir. Duvarın doğrusal çalıştığı ilk bölümde pencere kenarlarındaki duvar kesitlerinde doğrusal bir gerilme dağılımı varken, daha sonra bir parçada çekme, diğerinde basınç gerilmeleri diyagonal şekilde yoğunlaşmıştır.. İlk adımlarda duvar tabanına düzgün yayılan kayma gerilmeleri, duvarda hasar oluşumu sonrasında, çatlak oluşmayan bölgelerden temele aktarılmaya başlanmıştır.

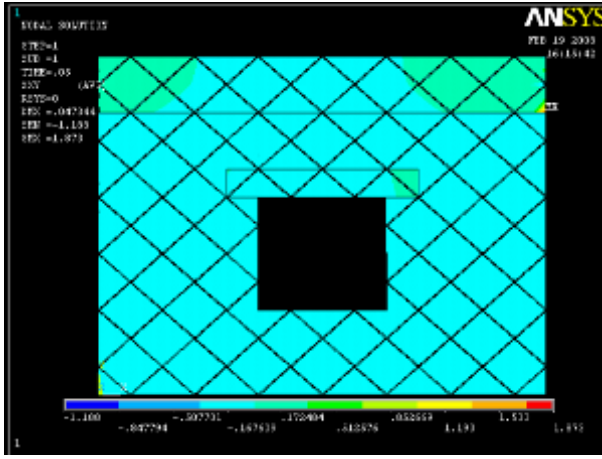


1. adım

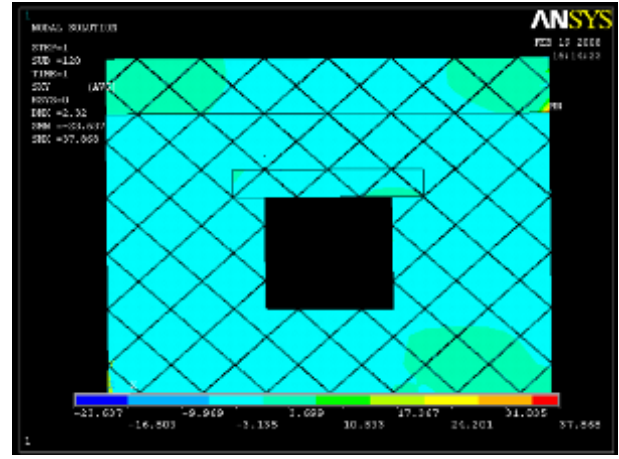


Son adım

Şekil 5.63. Y yönü normal gerilme dağılımı



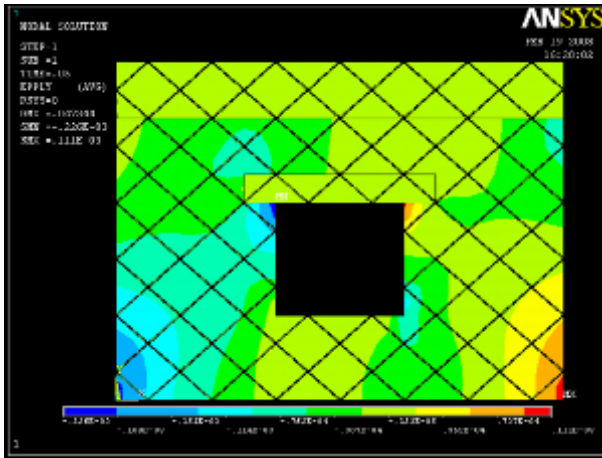
1. adım



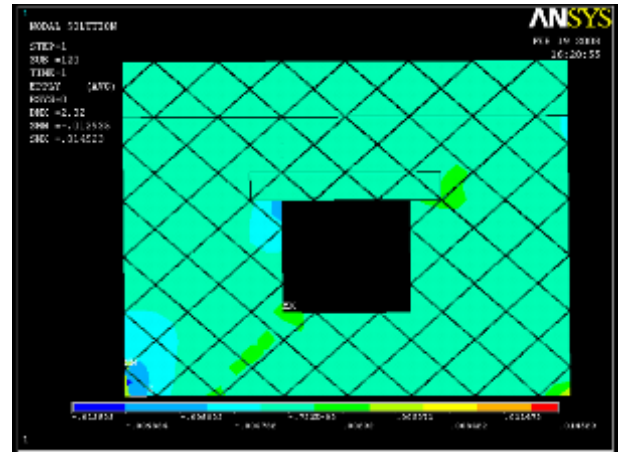
Son adım

Şekil 5.64. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.65'te ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. Plastik deformasyonlar diğer deneylerle uyumludur.



1. adım

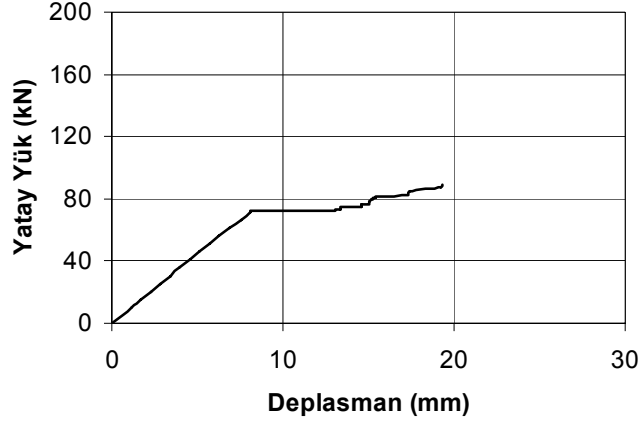


Son adım

Şekil 5.65. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

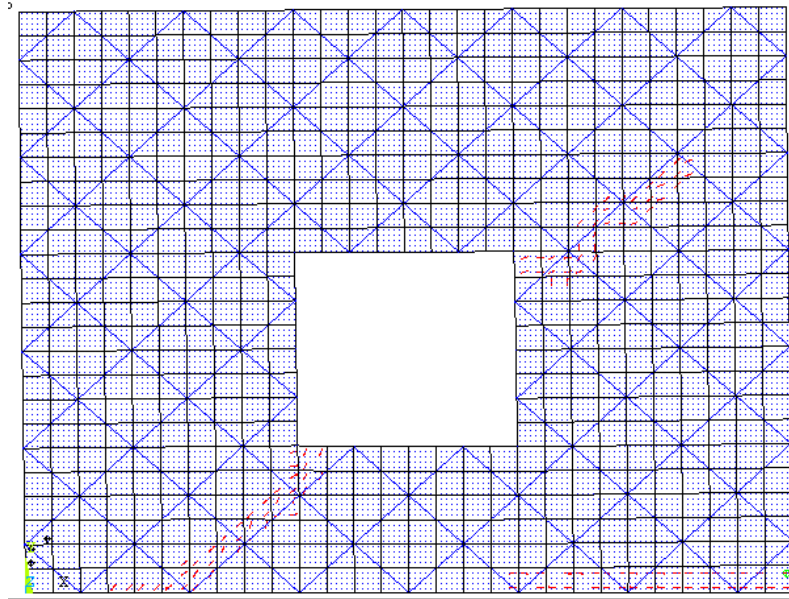
#### 5.1.14 GDPCUIS Numunesinin Sayısal Çözümü

GDPCUIS modeli de tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.66'da verilmiştir.



Şekil 5.66. Yük yerdeğiştirme grafiği

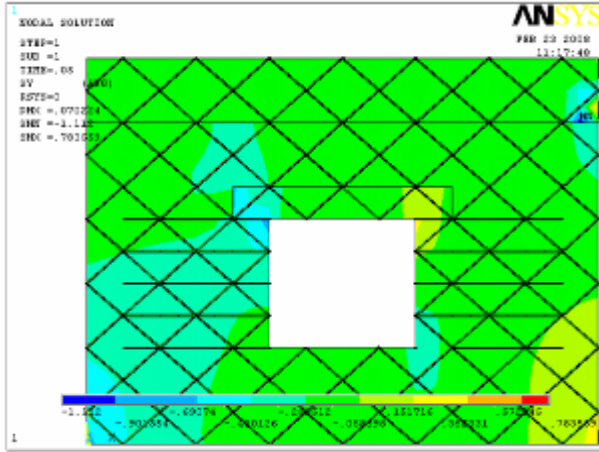
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.67'de görülmektedir. Çatlak deseni diğer deneylerle benzerdir.



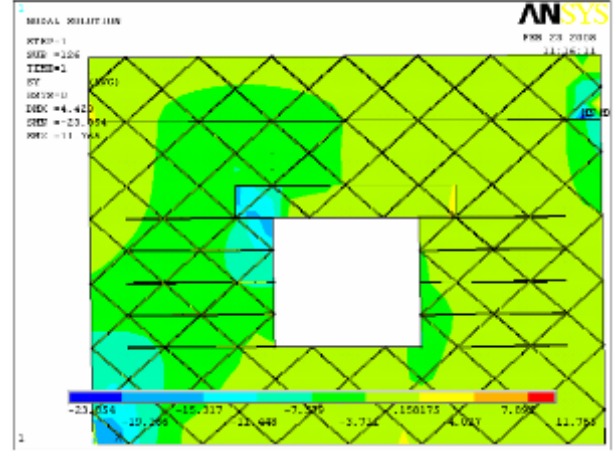
Şekil 5.67. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.68'de, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.69'da gösterilmiştir.

Modelde gerilme ve şekil değiştirmeler yönüyle diğer deney modellerinden çok farklı bir desen ortaya çıkmamıştır.

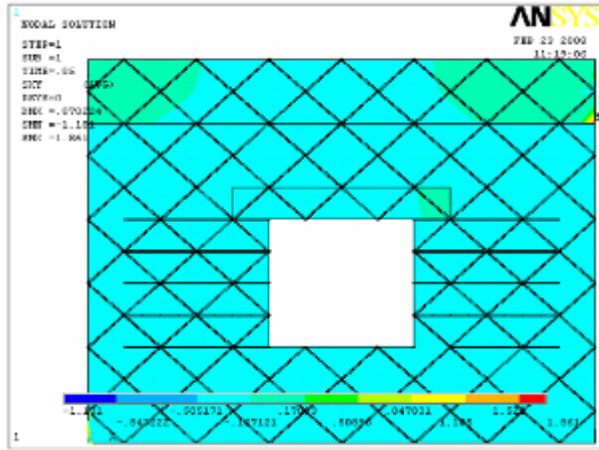


1. adım

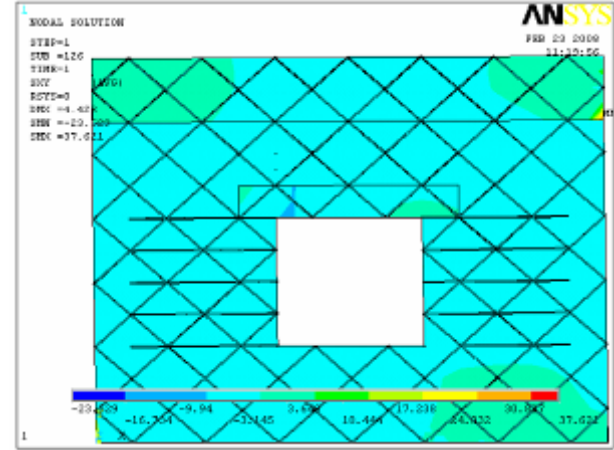


Son adım

Şekil 5.68. Y yönü normal gerilme dağılımı



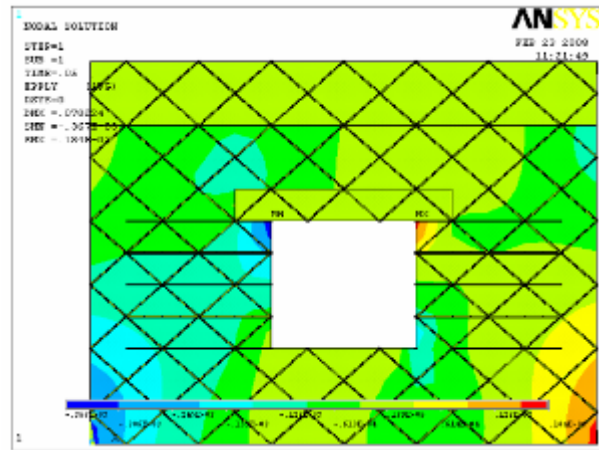
1. adım



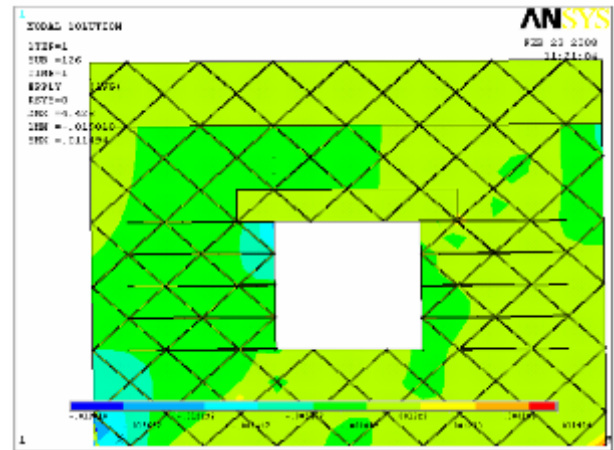
Son adım

Şekil 5.69. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Şekil 5.70’de ise plastik şekil değiştirme dağılımları gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınca çalışan duvar parçasında yoğunlaşmıştır.



1. adım

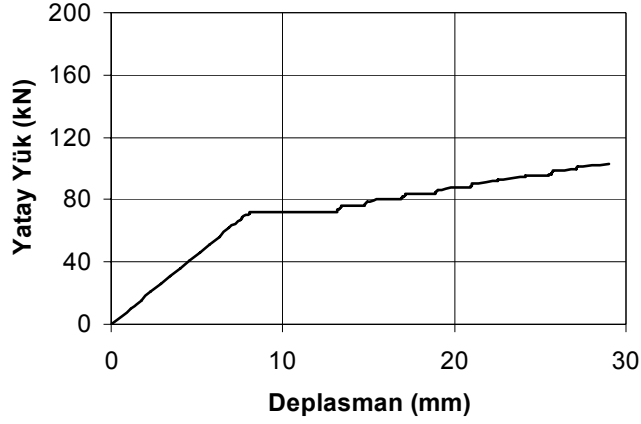


Son adım

Şekil 5.70. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

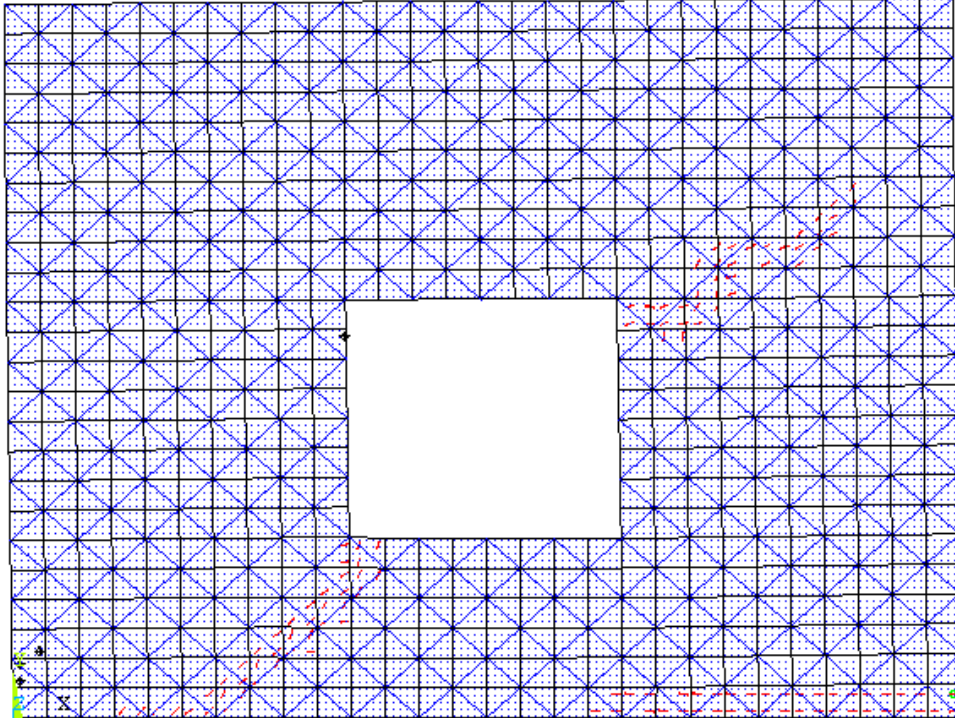
### 5.1.15 GDPCUIS2 Numunesinin Sayısal Çözümü

Lastik şeritlerin sıklaştırılarak uygulandığı GDPCUIS2 modeli tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.71’de verilmiştir.



Şekil 5.71. Yük yerdeğiştirme grafiği

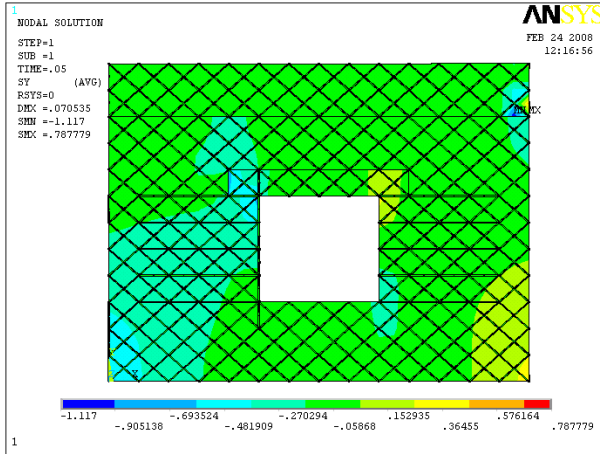
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.72’de görülmektedir. Pencere kenarlarında diyagonal çatlaklar ve duvar parçalarının çekme bölgelerinde eğilme çatlakları görülmektedir.



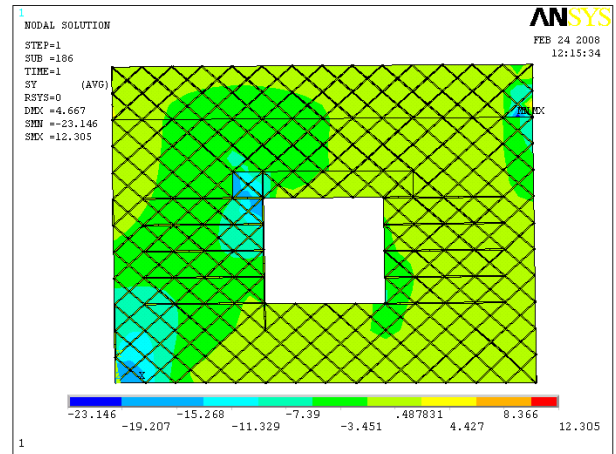
Şekil 5.72. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.73’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.74’te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar diğer deneylerle benzer özelliktedir.



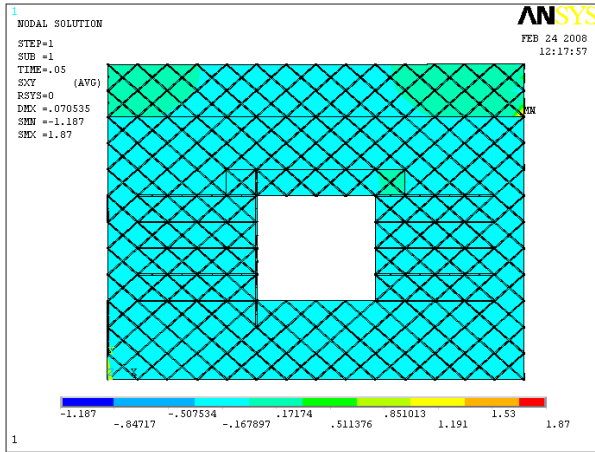


1. adım

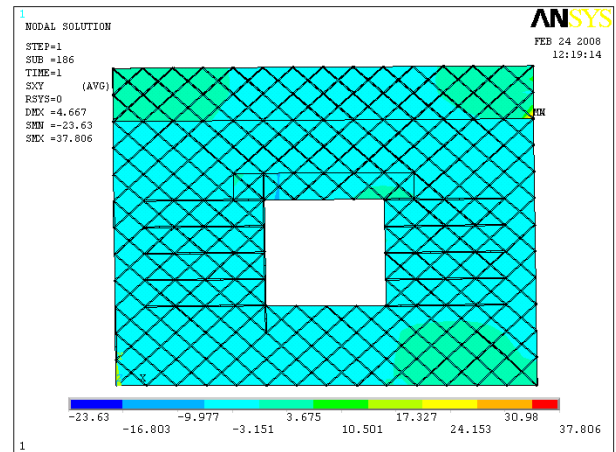


Son adım

Şekil 5.73. Y yönü normal gerilme dağılımı



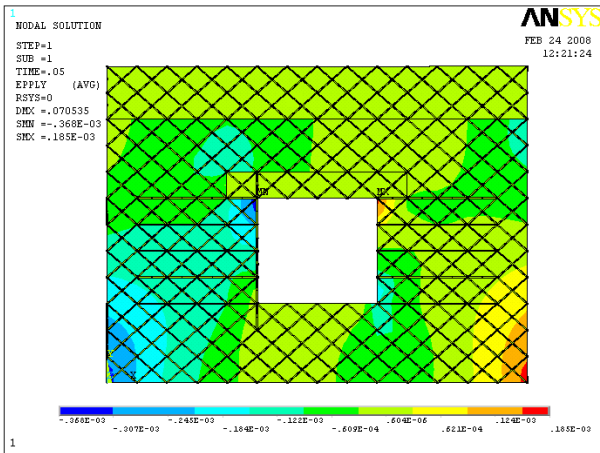
1. adım



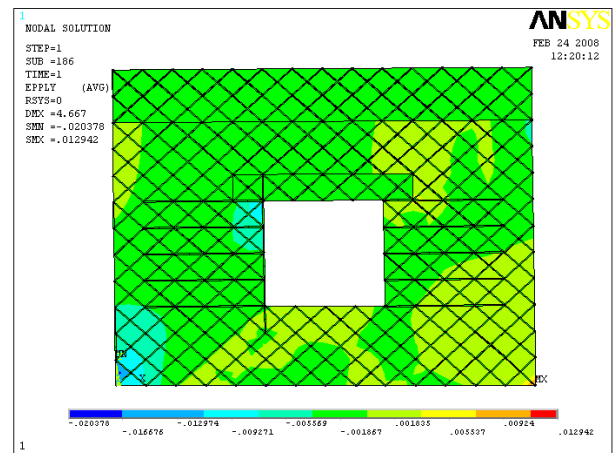
Son adım

Şekil 5.74. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Plastik şekil değiştirme dağılımları Şekil 5.75'te gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

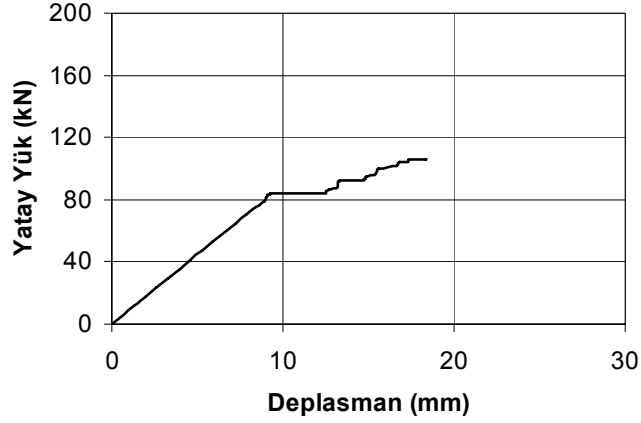


Son adım

Şekil 5.75. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

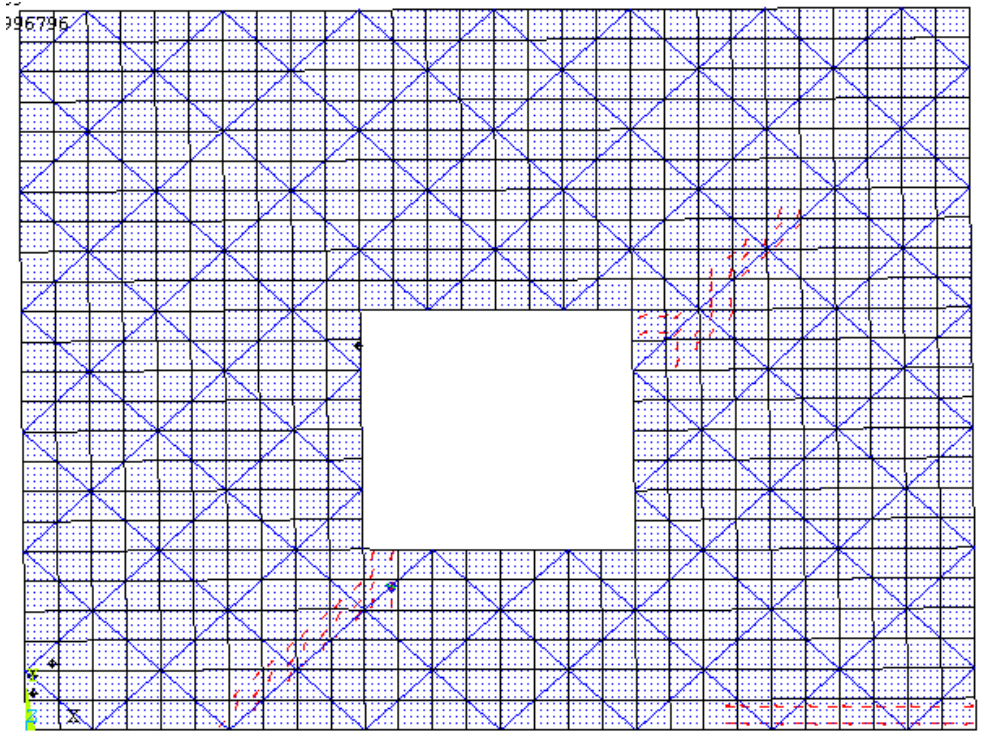
### 5.1.16 GDPCUIS-E Numunesinin Sayısal Çözümü

Sayısal model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.76’da verilmiştir.



Şekil 5.76. Yük yerdeğiştirme grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.77’de görülmektedir. Çatlak deseni aksenal yük seviyesi yüksek olan RDP-E ile benzerdir.



Şekil 5.77. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

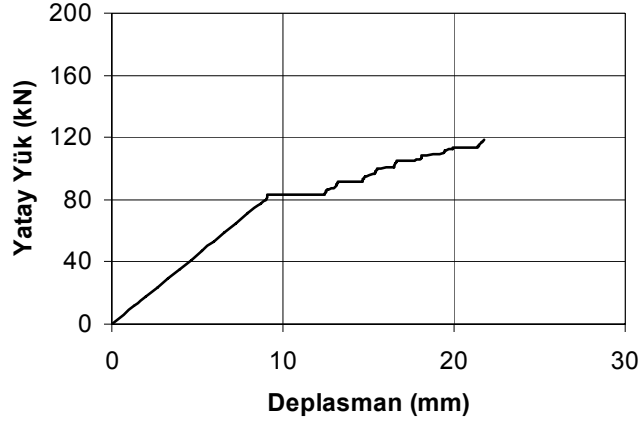
Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.78’de, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.79’da gösterilmiştir.





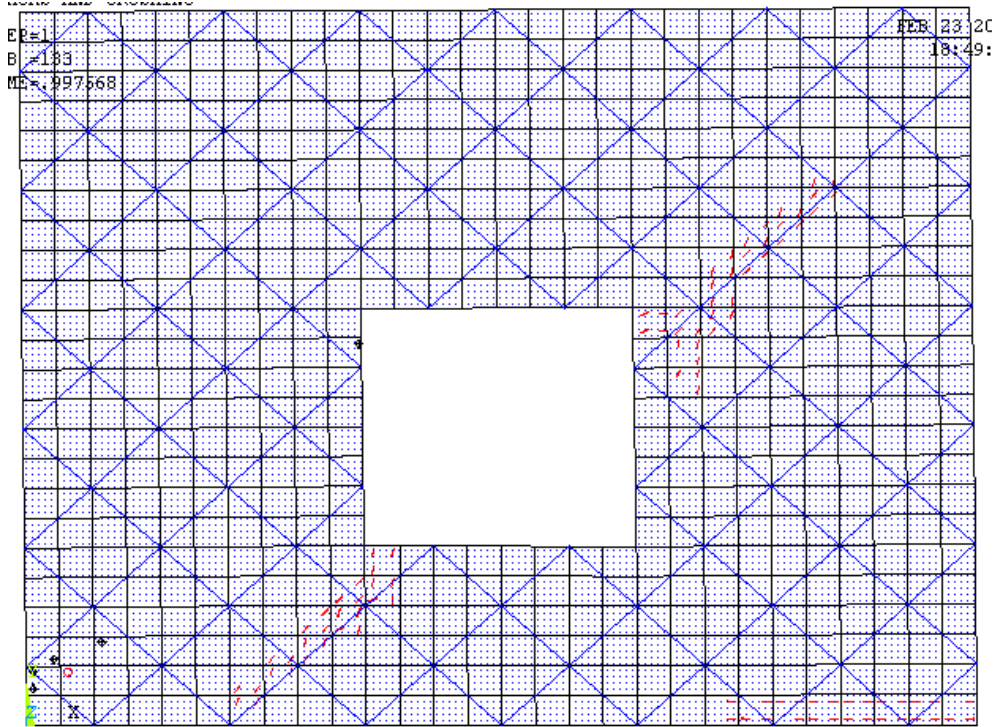
### 5.1.17 GDPCYD1S-E Numunesinin Sayısal Çözümü

GDPCYD1S-E numunesine ait model tek yönde itme analizine tabi tutulmuş ve analiz sonucunda elde edilen doğrusal olmayan kapasite eğrisi Şekil 5.81’de verilmiştir.



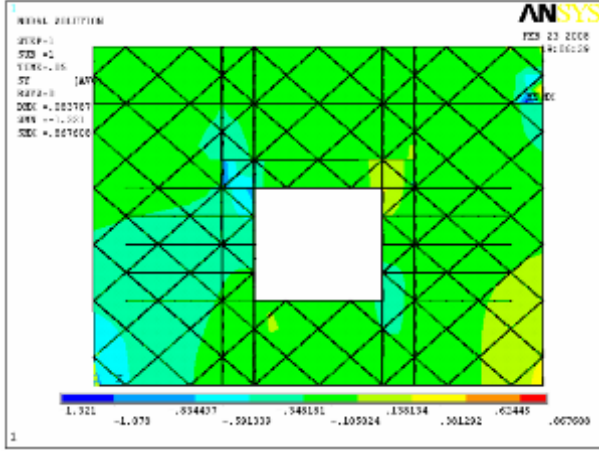
Şekil 5.81. Yük yerdeğiştirme grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.82’de görülmektedir.

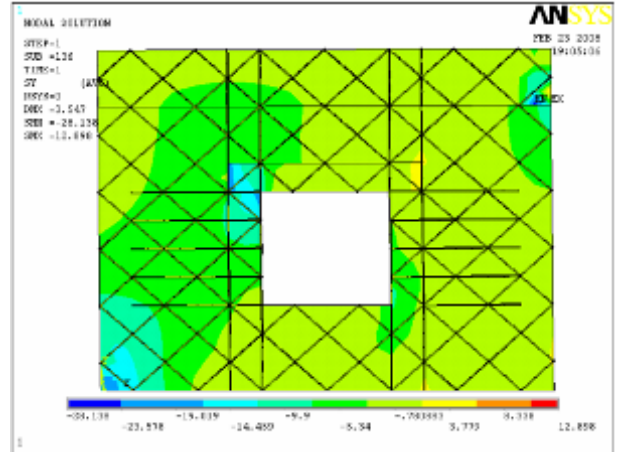


Şekil 5.82. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.83’te, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.84’te gösterilmiştir.

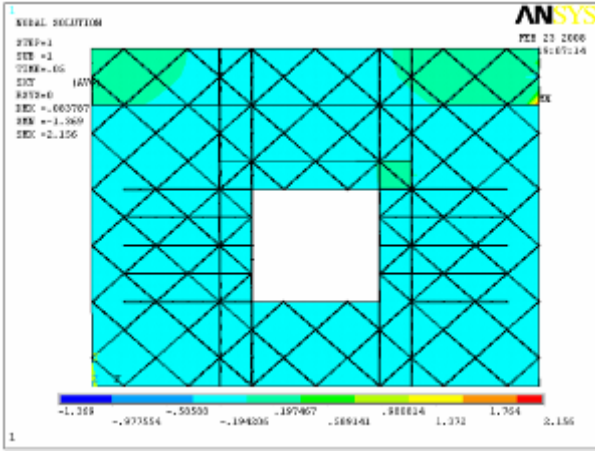


1. adım

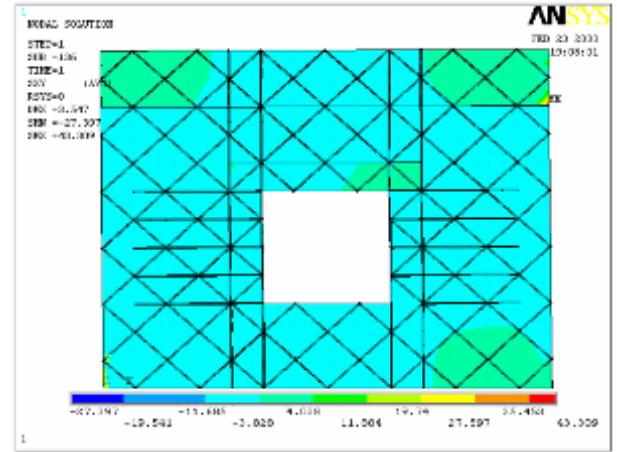


Son adım

Şekil 5.83. Y yönü normal gerilme dağılımı



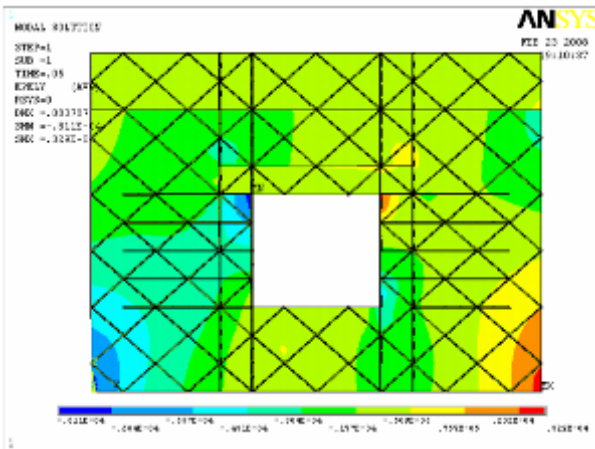
1. adım



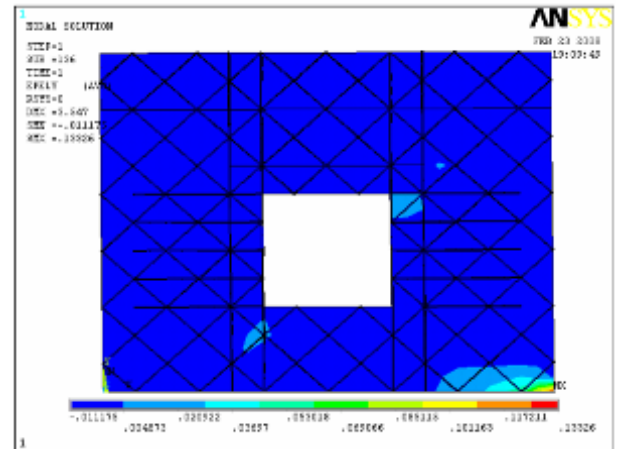
Son adım

Şekil 5.84. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Plastik şekil değiştirme dağılımları Şekil 5.85'te gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar duvar geneline yayılmıştır.



1. adım



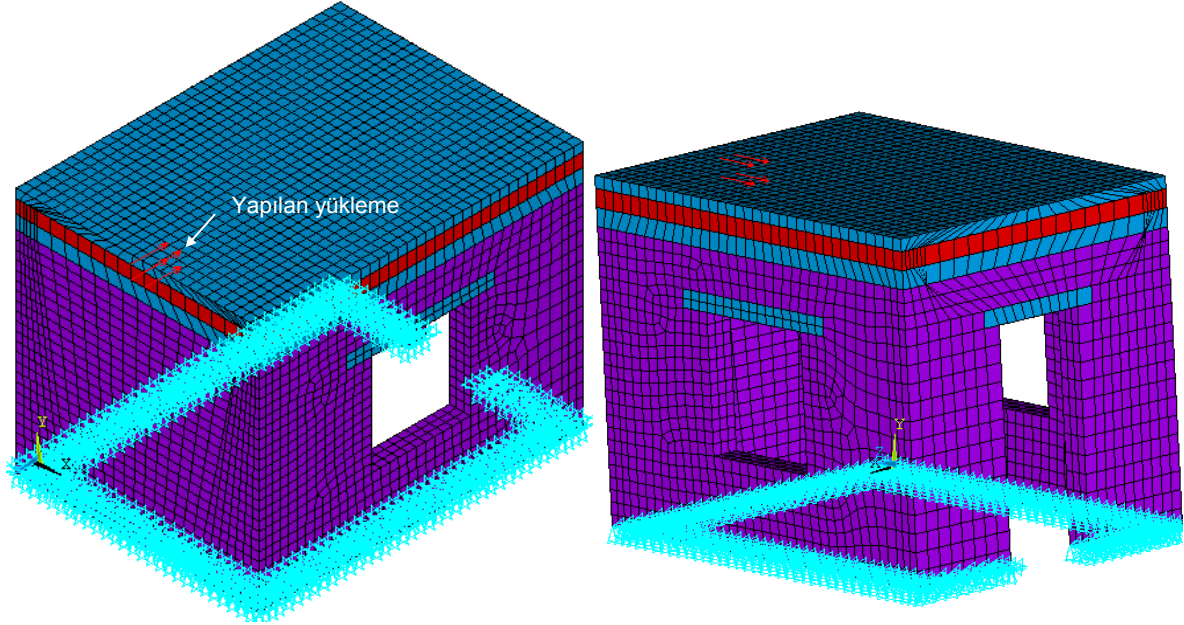
Son adım

Şekil 5.85. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

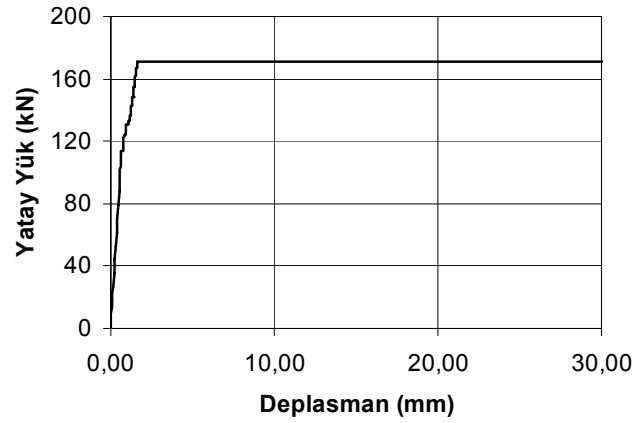
## 5.2 BİNA MODELLERİ

### 5.2.1 YB 1A, YB2A ve YB4A Deneylerinin Sayısal Çözümü

Referans modeller için hazırlanan Ansys modelleri Şekil 5.86’da gösterilmiştir. Referans bina modelleri olan YB1, YB2 ve YB4 numunelerinin kapasitesi ANSYS’de yapılan itme analizi sonucunda Şekil 5.87’de gösterilen kapasite eğrisi elde edilmiştir.



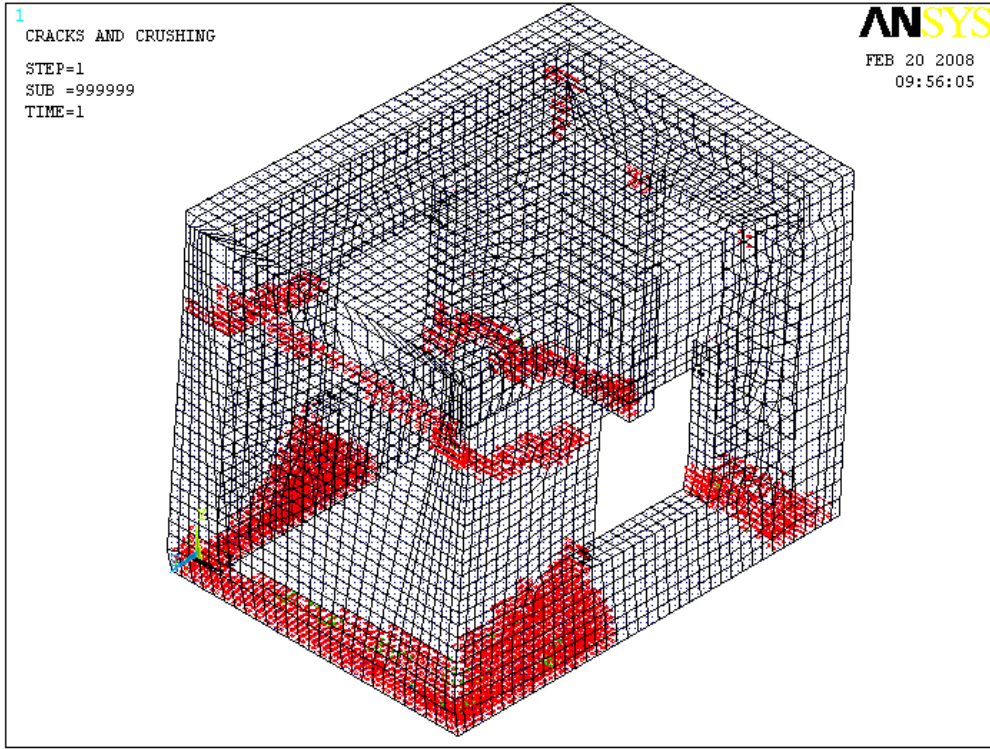
Şekil 5.86 Deney numunesi sonlu eleman modeli



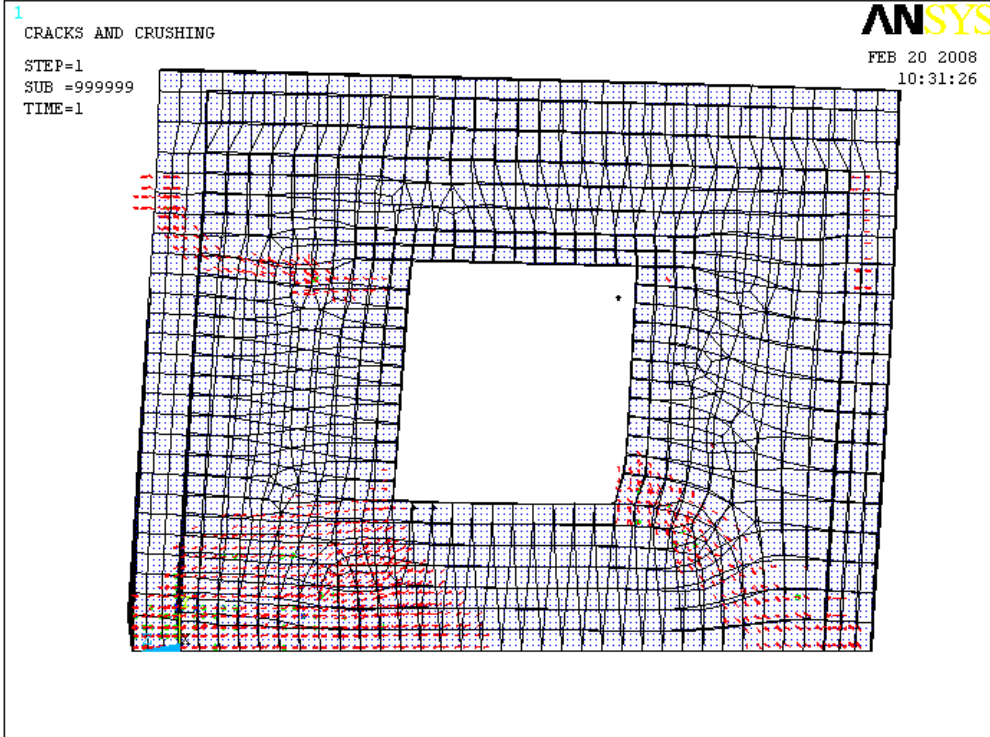
Şekil 5.87. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı farklı açılardan Şekil 5.88-89’da gösterilmiştir. Çatlak dağılımı pencere köşelerinde yoğunlaşmıştır.



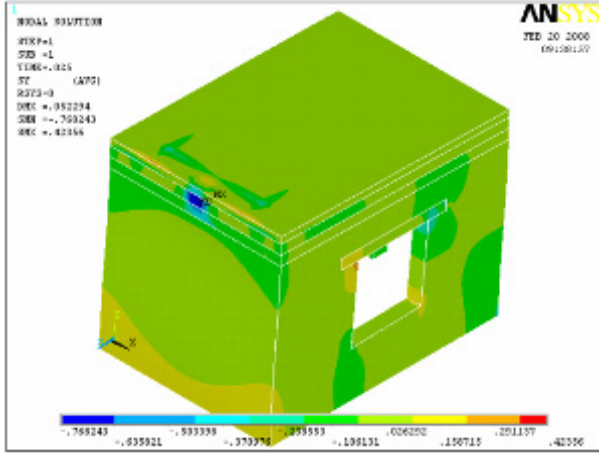


Şekil 5.88 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-1

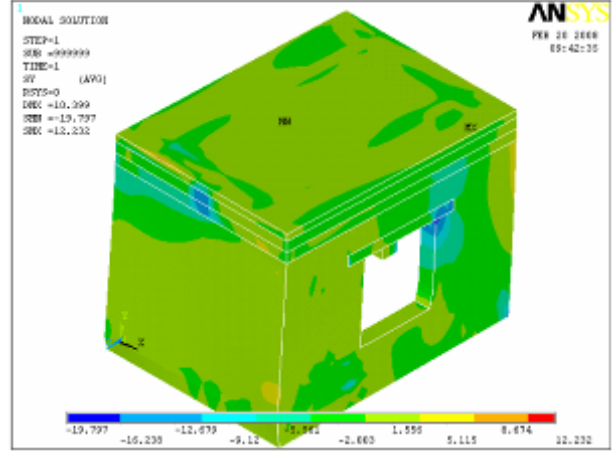


Şekil 5.89 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-2

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.90'da, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.91'de gösterilmiştir.

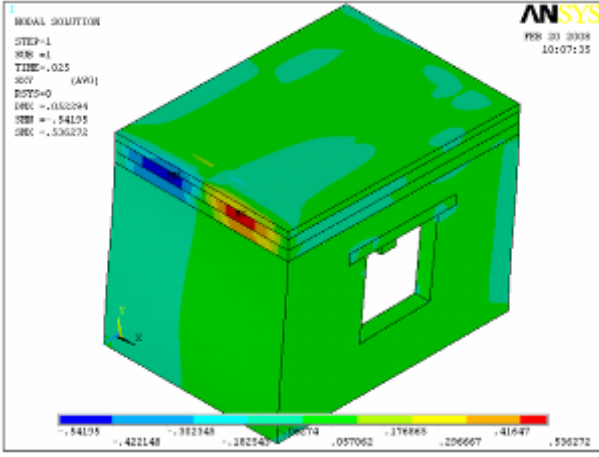


1. adım

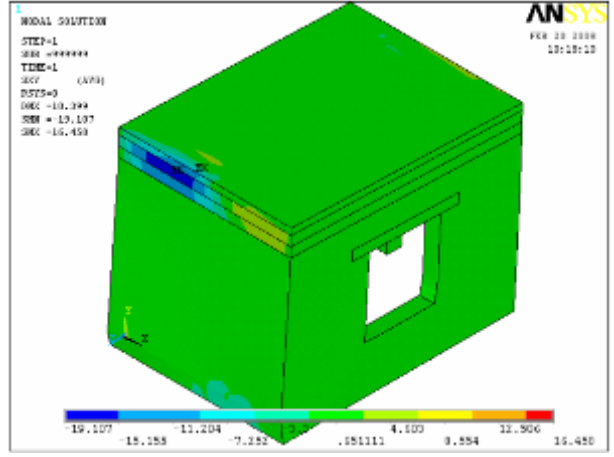


Son adım

Şekil 5.90. Y yönü normal gerilme dağılımı



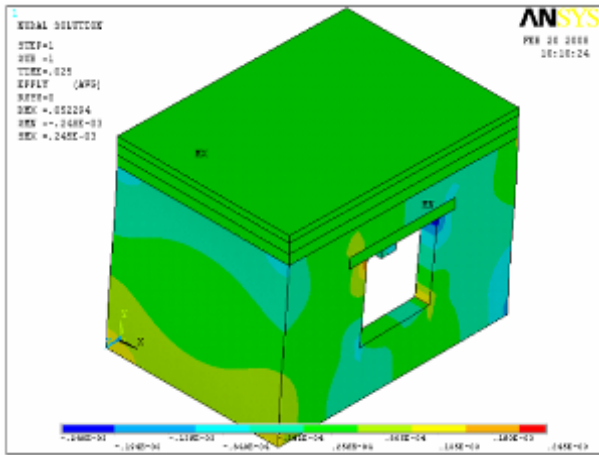
1. adım



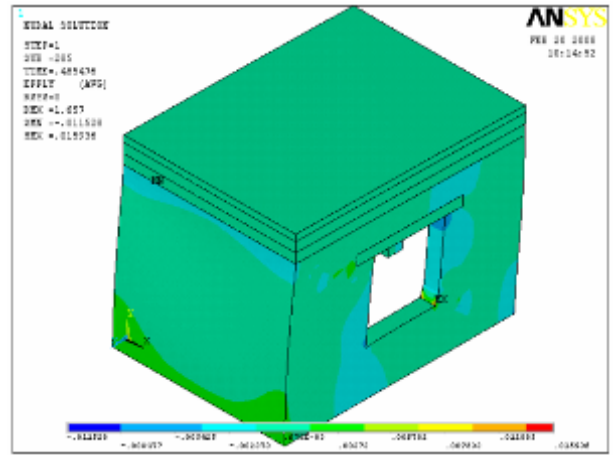
Son adım

Şekil 5.91. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Plastik şekil değiştirme dağılımları Şekil 5.92’de gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım

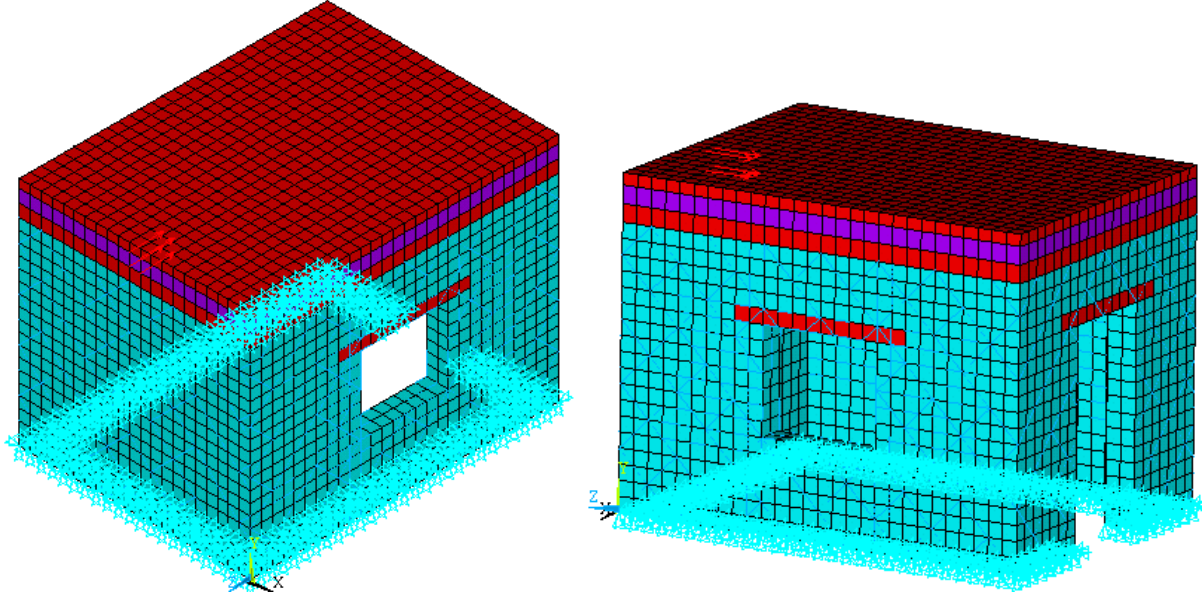


Son adım

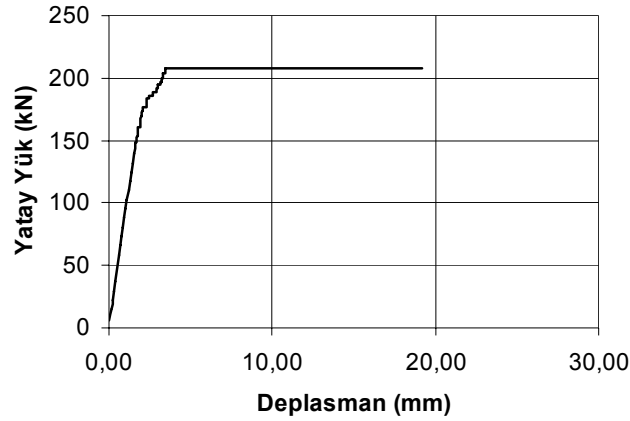
Şekil 5.92. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

### 5.2.2 YB2A-HG, YB3A-G ve YB4A-HG Deneylerinin Sayısal Çözümü

Güçlendirilmiş numuneler için hazırlanan 3 boyutlu Ansys modeli Şekil 5.93'te görülmektedir. Doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen yapının kapasite eğrisi Şekil 5.94'te gösterilmiştir.



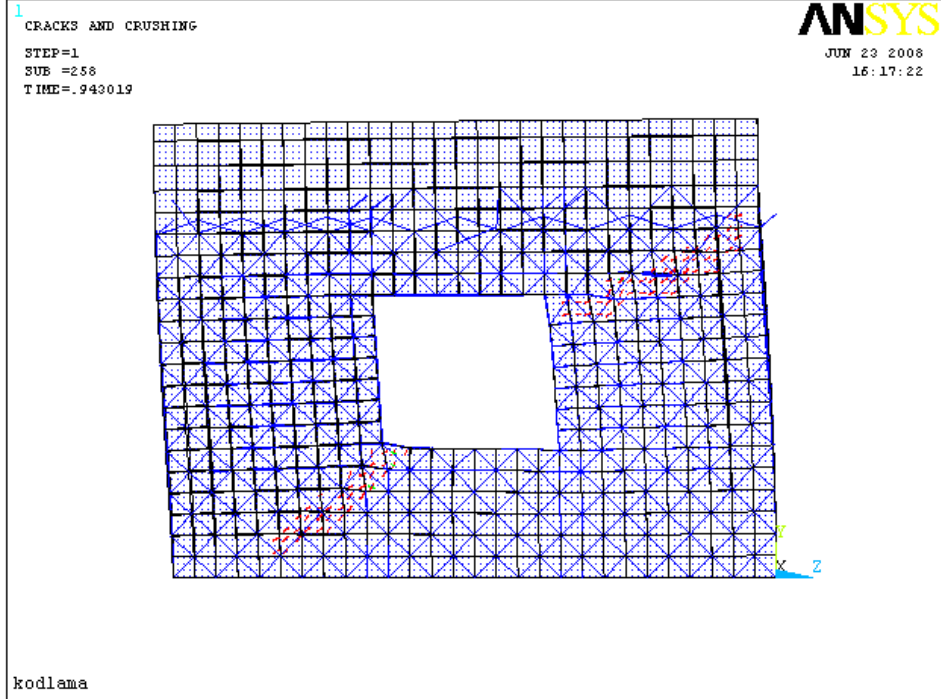
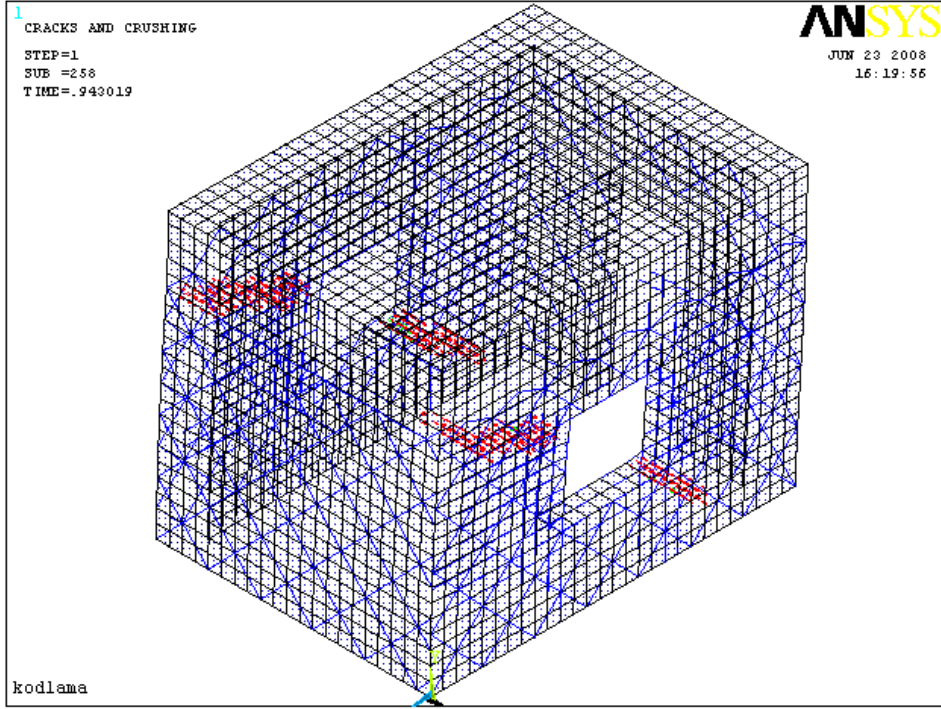
Şekil 5.93 Deney numunesi sonlu eleman modeli



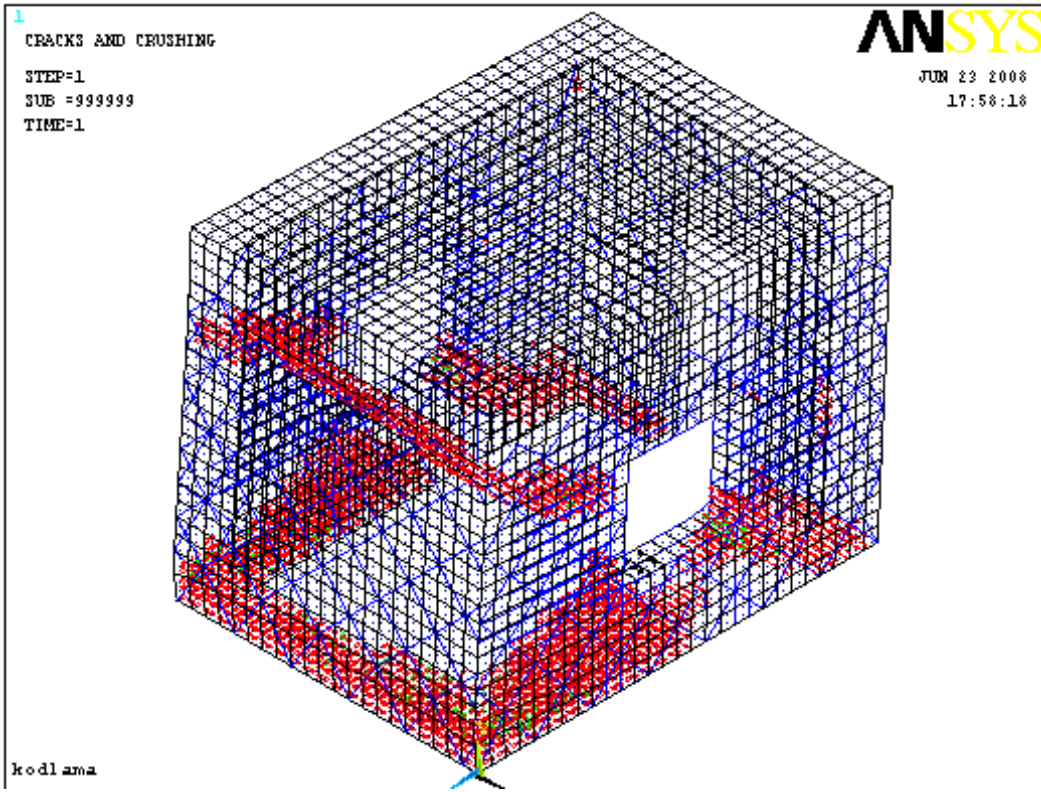
Şekil 5.94. Yatay yük - yerdeğiştirme grafiği

İtme uygulanması esnasında ilk aşamalarda duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.95'te görülmektedir. Son analiz adımından sonra yapıdaki çatlak dağılımı ve yapının deplasman şekli Şekil 5.96-97'de verilmiştir. Yapıda pencere köşelerinden duvar köşelerine uzanan diyagonal çatlakların oluştuğu görülmektedir.

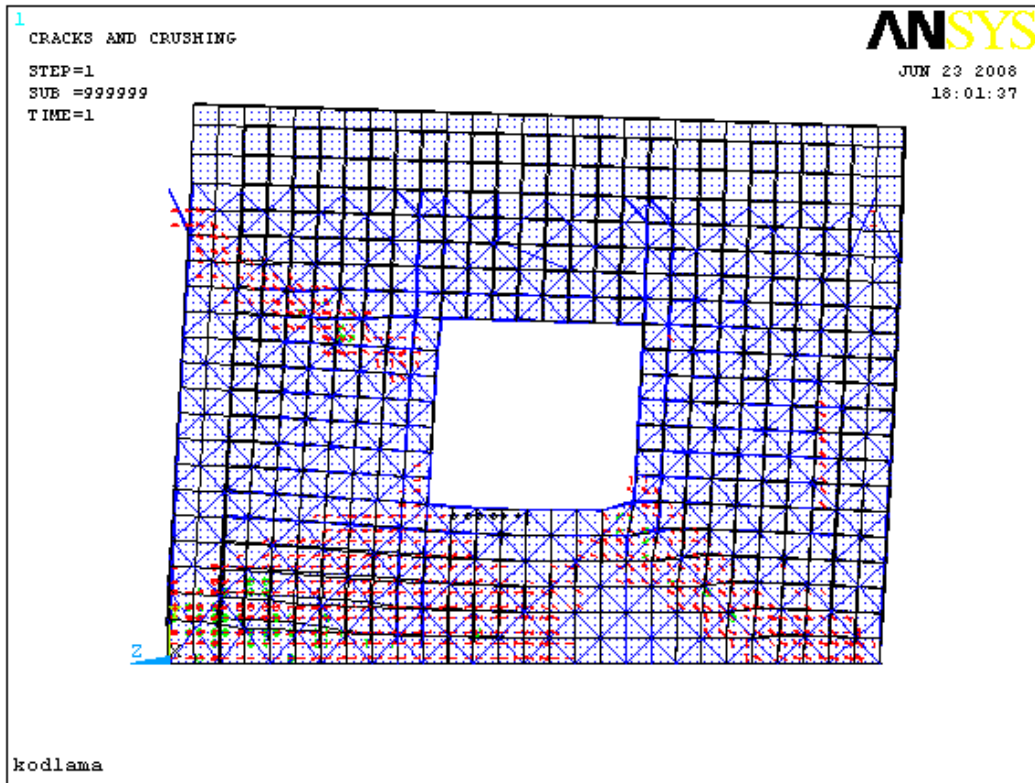




Şekil 5.95. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

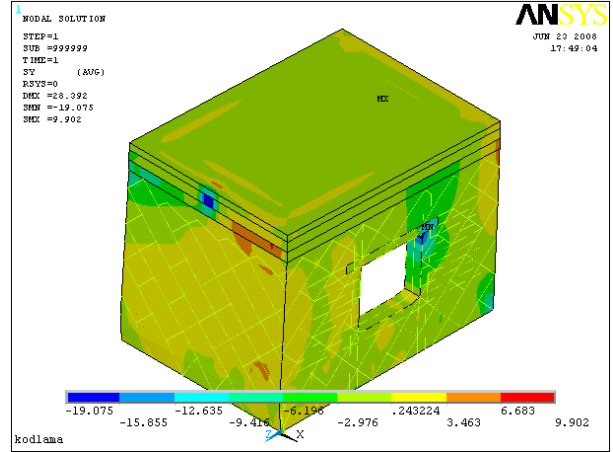
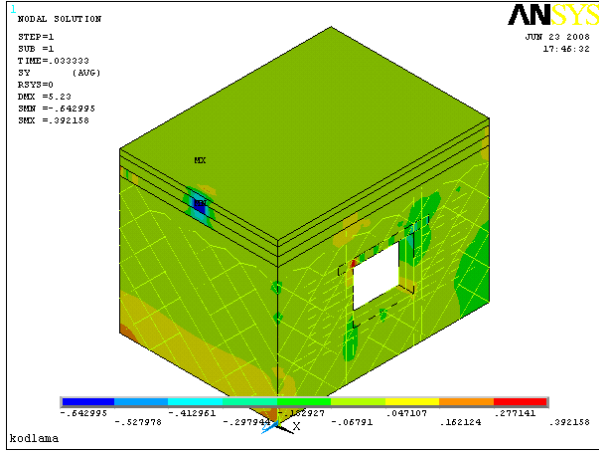


Şekil 5.96 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-1

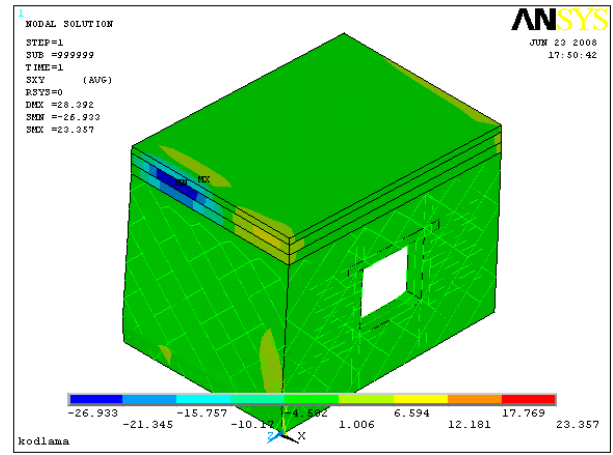
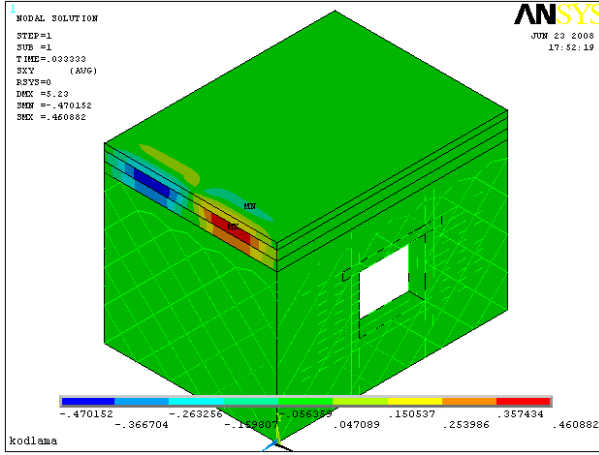


Şekil 5.97 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-2

Modellerde hesaplanan normal gerilme ve kayma gerilmesi dağılımı Şekil 5.98-99'da gösterilmiştir.

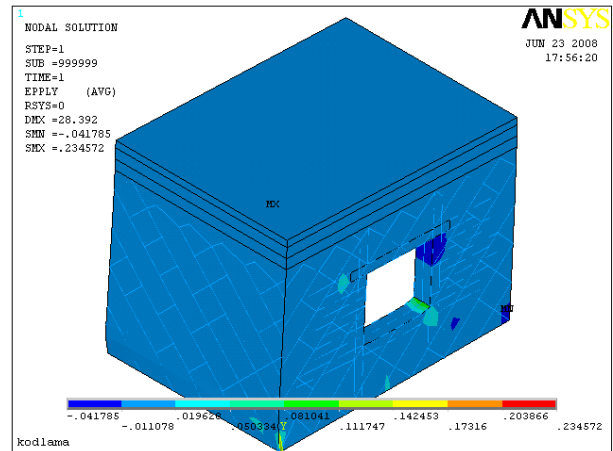
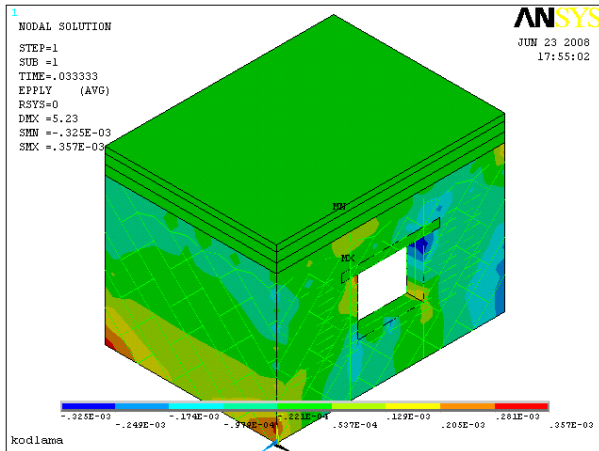


Şekil 5.98. Y yönü normal gerilme dağılımı



Şekil 5.99. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

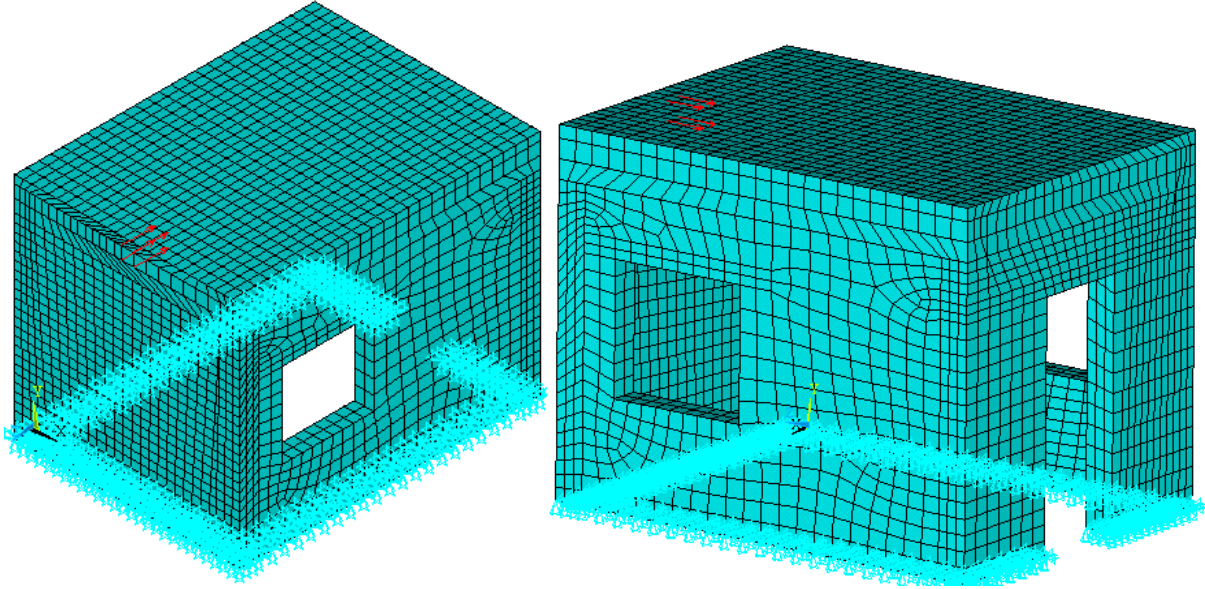
Plastik şekil değiştirme dağılımları ise Şekil 5.100'de gösterilmektedir. Plastik deformasyonların, oluşan çatlaklarla uyumlu bir şekilde pencere ve duvar köşelerinde yoğunlaştığı görülmektedir.



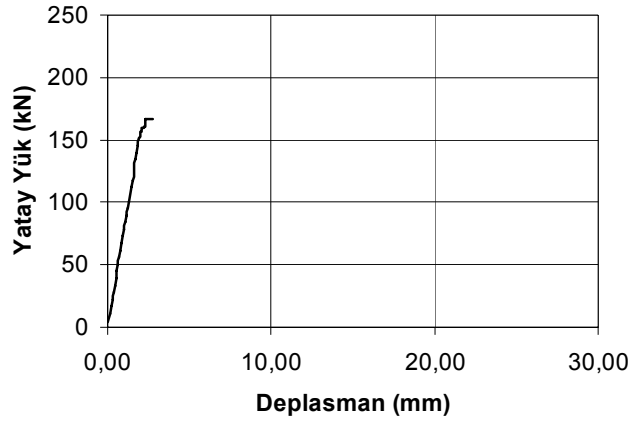
Şekil 5.100. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

### 5.2.3 YB5B Deneyi Sayısal Çözümü

Pencere boşluğunun köşe birleşimine yakın olduğu YB5B modelinin Ansys modeli Şekil 5.101’de gösterilmiştir. Yapının Ansys analizi ile elde edilen kapasite eğrisi Şekil 5.102’de verilmiştir. Ancak, bu modelin analizi program tarafından sonlandırılmamış, ilk çatlakların oluşumu ve doğrusal olmayan davranışın başlamasından hemen sonra analiz sona ermiştir. Bu sebeple analiz sonucunun yapının davranışı hakkında tam bir fikir verdiği söylenemez.



Şekil 5.101 Ansys hacim sonlu eleman modeli

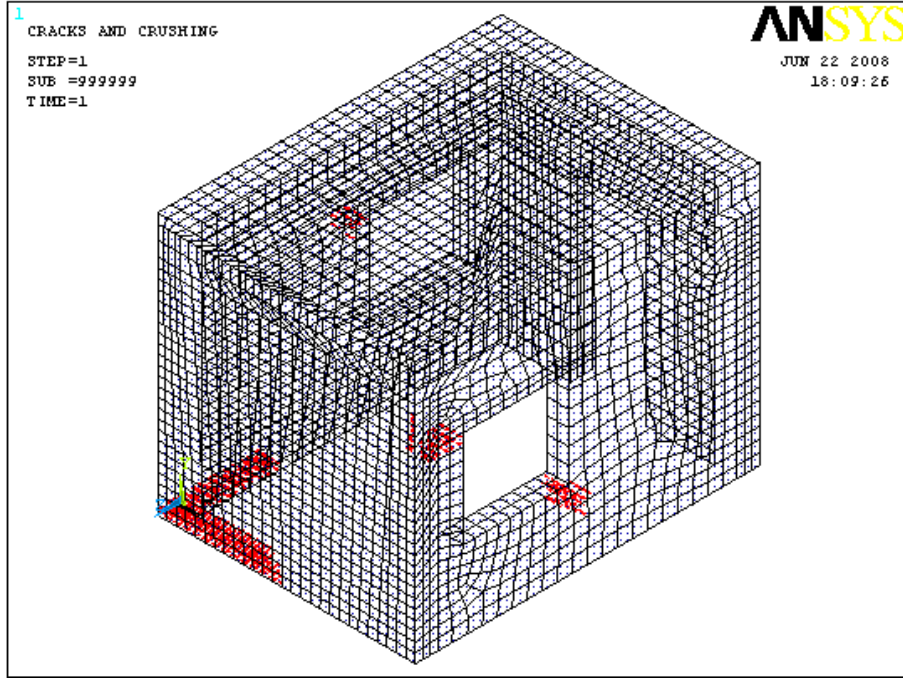


Şekil 5.102. Yatay yük - yerdeğiştirme grafiği

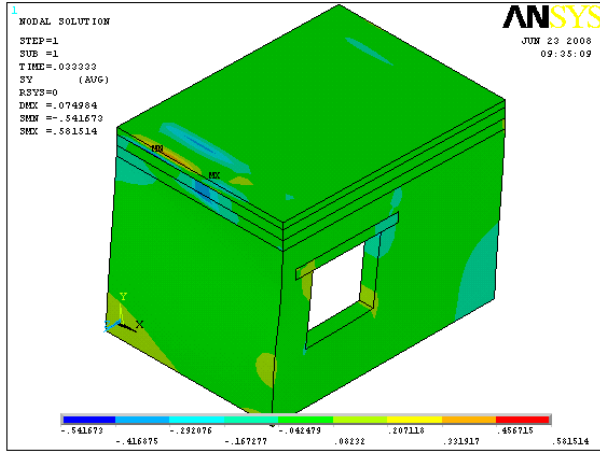
İtme uygulanması esnasında duvarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.103’te görülmektedir. Analiz yarım kalmasına rağmen oluşabilecek ilk çatlaklar modelde görülebilmektedir.

Modelde ilk ve son hesap adımlarında ortaya çıkan normal gerilme ve kayma gerilmesi dağılımı sırasıyla Şekil 5.104-105’te verilmiştir. Ancak analiz tamamlanamadığı için bunlar üzerinden anlamlı bir değerlendirme yapılması da oldukça güçtür.

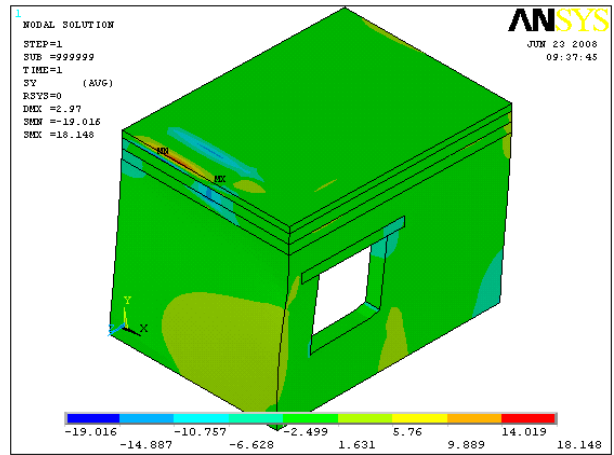




Şekil 5.103. Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

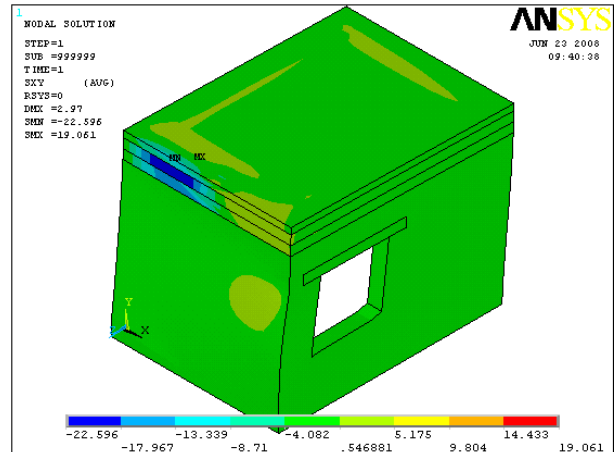
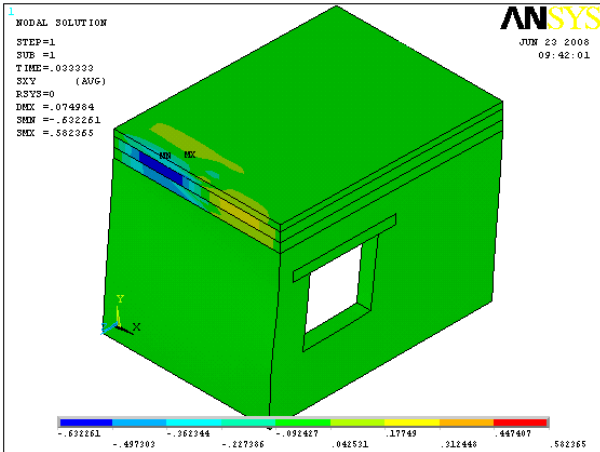


1. adım



Son adım

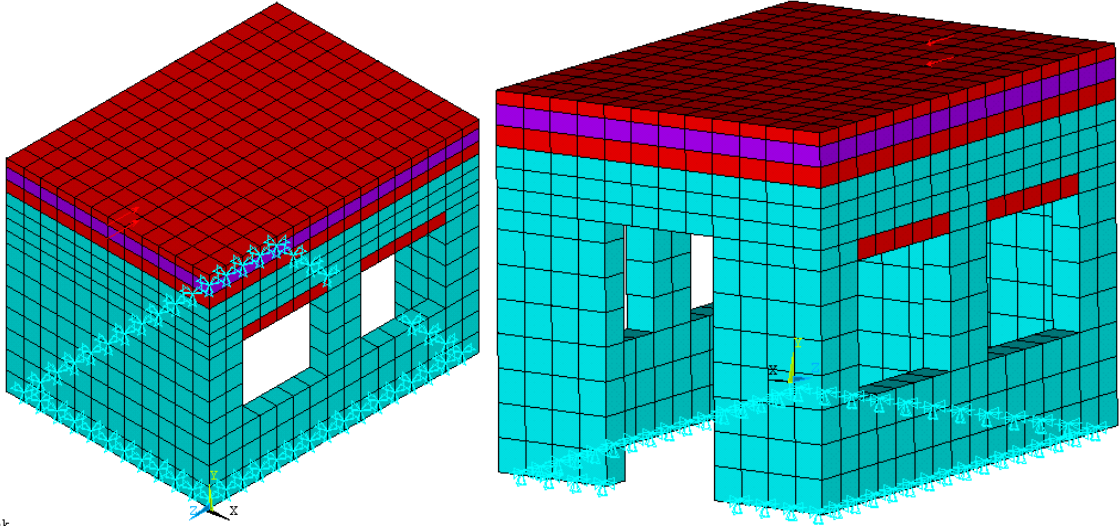
Şekil 5.104. Y yönü normal gerilme dağılımı



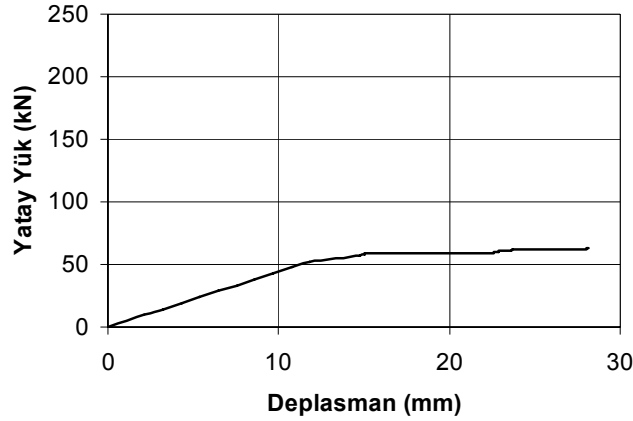
Şekil 5.105. xy düzlemi kayma gerilmesi dağılımı

#### 5.2.4 YB7C Modelinin Sayısal Çözümü

Şekil 5.106'da görüldüğü gibi yapıda bir yüzeye 2 adet pencere boşluğu açılmıştır. ANSYS'de yapılan itme analizi sonucunda Şekil 5.107'de gösterilen kapasite eğrisi elde edilmiştir.



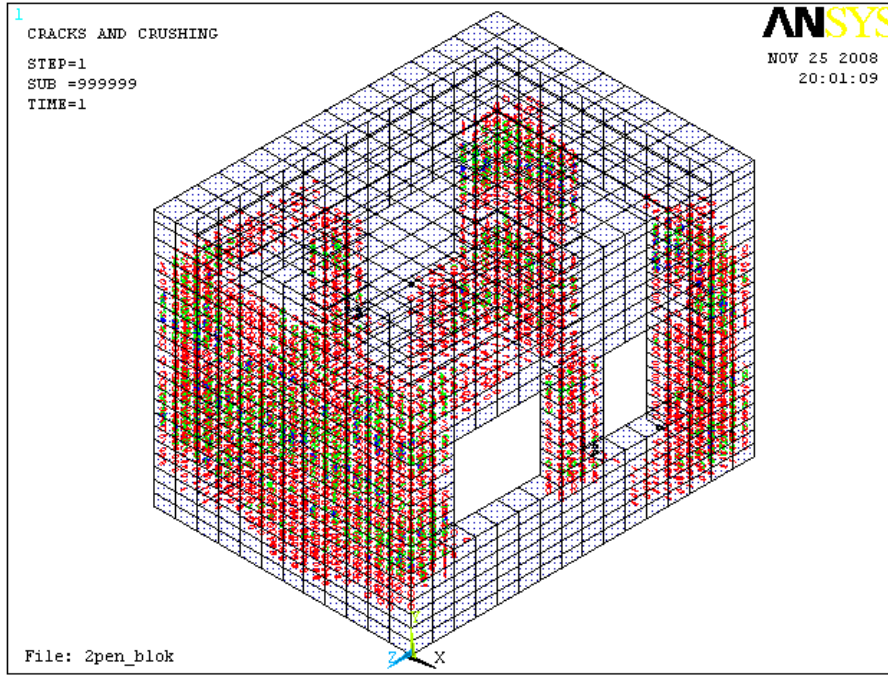
Şekil 5.106 Deney numunesi sonlu eleman modeli



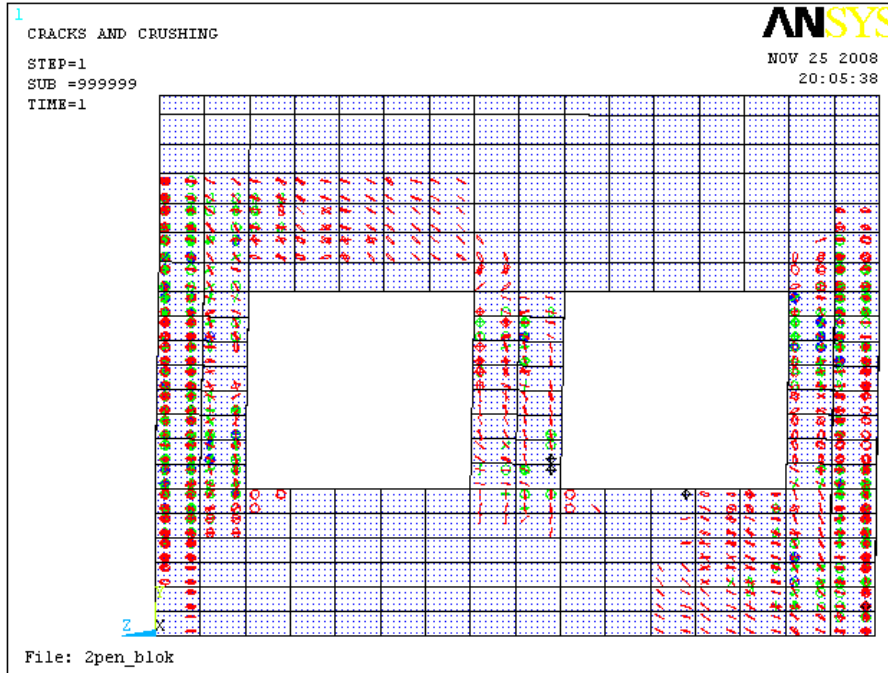
Şekil 5.107. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında yapıda meydana gelen çatlak dağılımı farklı açılardan Şekil 5.108 ve Şekil 5.109'da gösterilmiştir. Çatlak dağılımı pencere köşelerinde yoğunlaşmıştır.

Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.110'da, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.111'de gösterilmiştir.



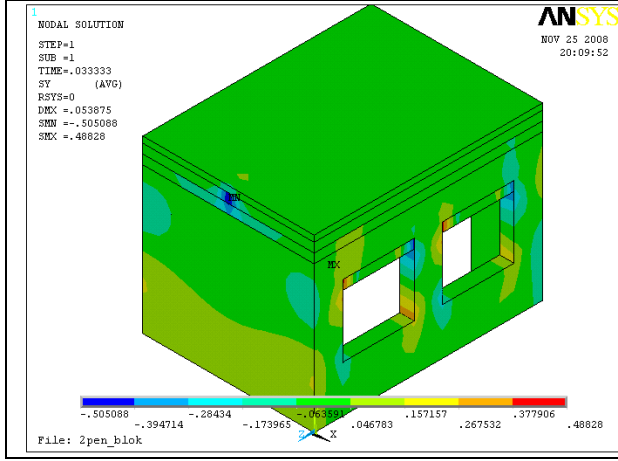
Şekil 5.108 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-1



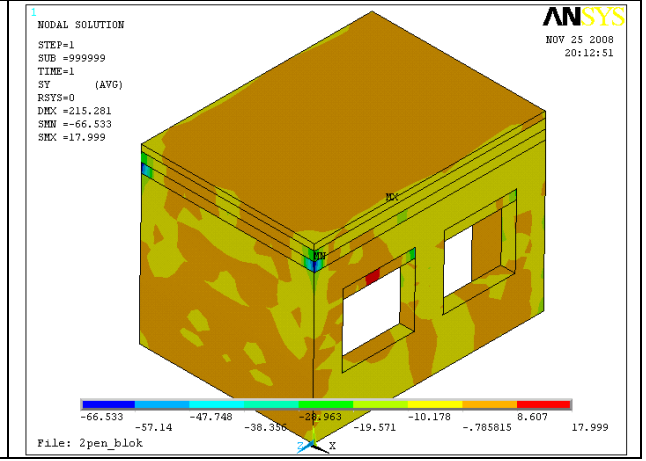
Şekil 5.109 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar-2

Plastik şekil değiştirme dağılımları Şekil 5.112’de gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



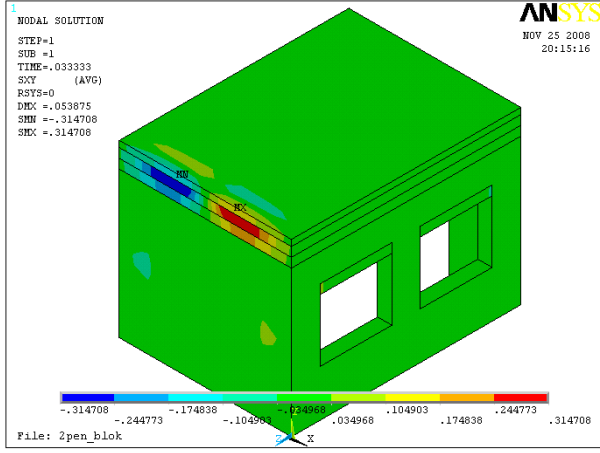


1. adım

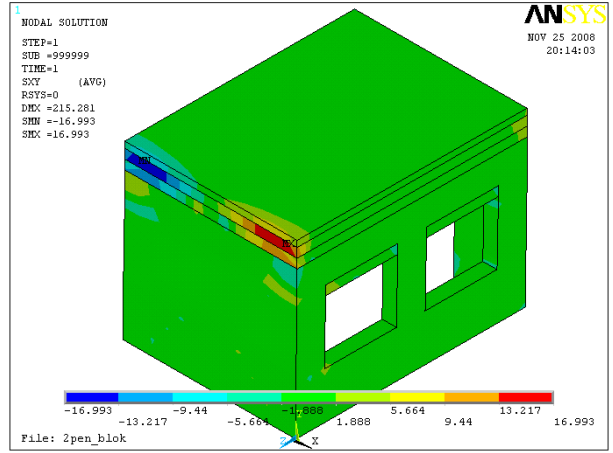


Son adım

Şekil 5.110. Y yönü normal gerilme dağılımı

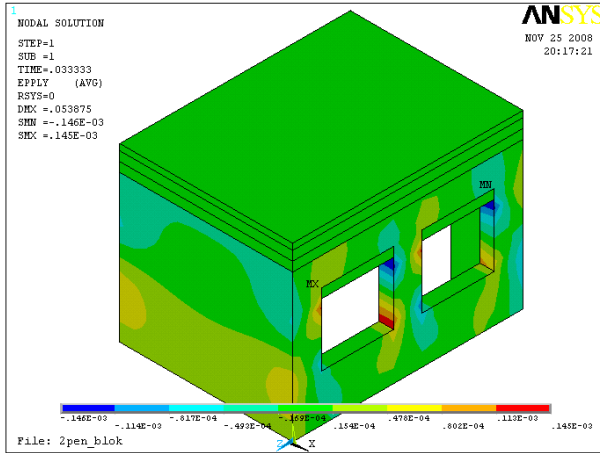


1. adım

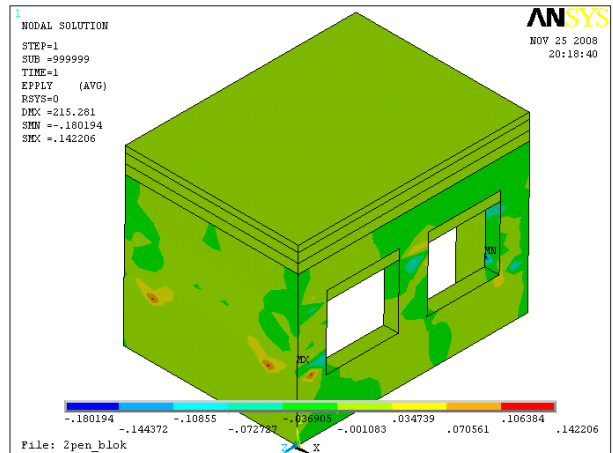


Son adım

Şekil 5.111. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı



1. adım

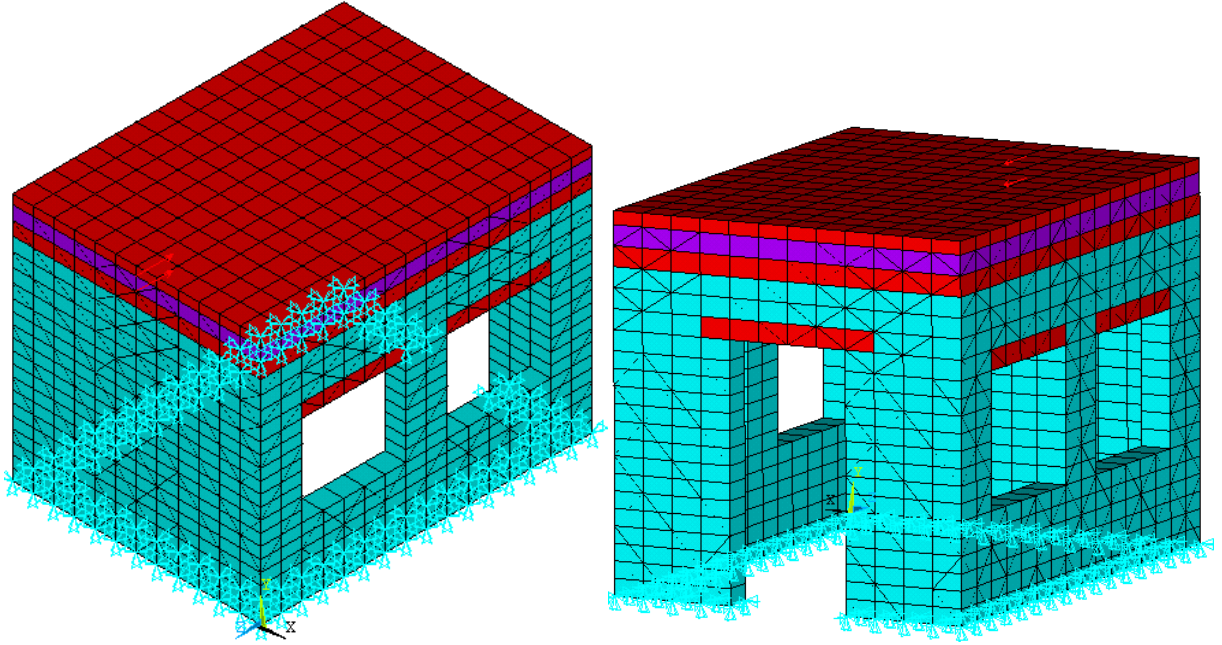


Son adım

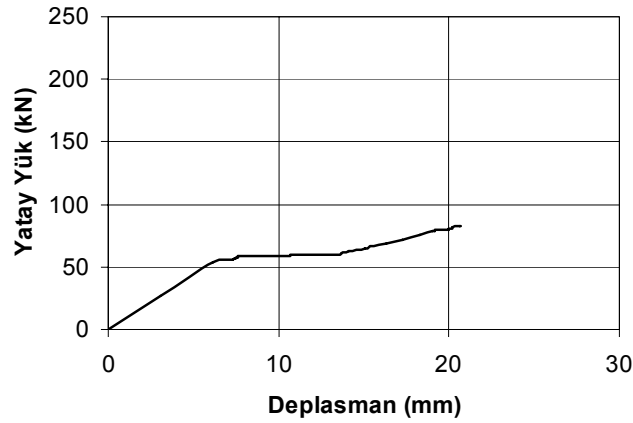
Şekil 5.112. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

### 5.2.5 YB8C-G Modelinin Sayısal Çözümü

Çift pencere boşluklu bina lastik şeritlerle güçlendirilmiştir (Şekil 5.113). ANSYS ile yapılan itme analizi sonucunda Şekil 5.114’de gösterilen kapasite eğrisi elde edilmiştir.



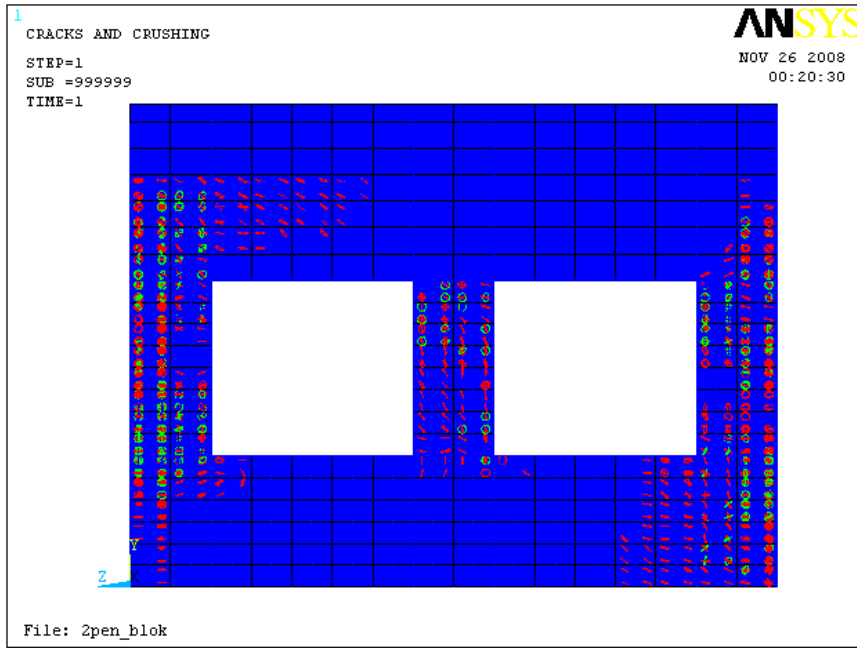
Şekil 5.113 Deney numunesi sonlu eleman modeli



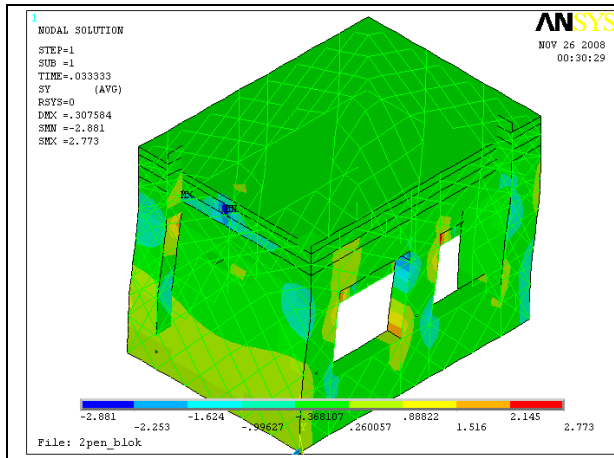
Şekil 5.114. Yük deplasman grafiği

İtme uygulanması esnasında duvarlarda meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 5.115’te gösterilmiştir. Çatlak dağılımı pencere kenarlarında kalan duvar parçalarında yoğunlaşmıştır.

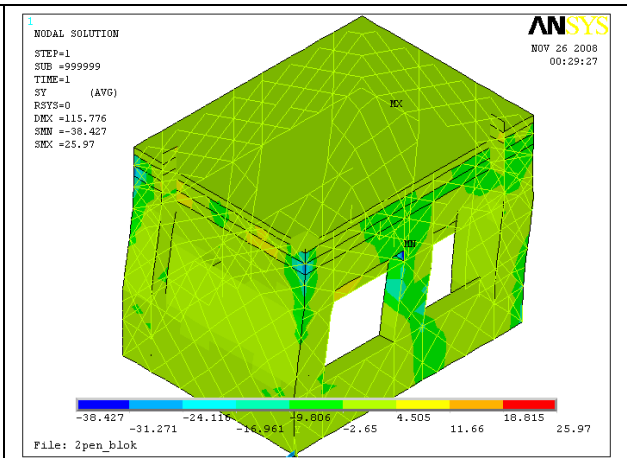
Y yönü normal gerilme dağılımları Şekil 5.116’da, duvar düzlemi içerisindeki kayma gerilmeleri Şekil 5.117’de gösterilmiştir.



Şekil 5.115 Analiz sonucunda oluşan çatlaklar

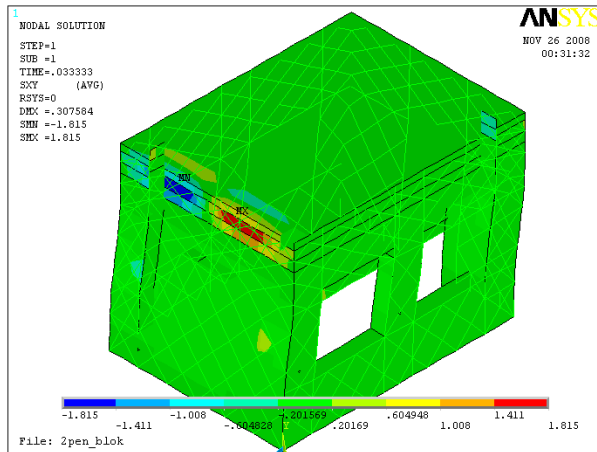


1. adım

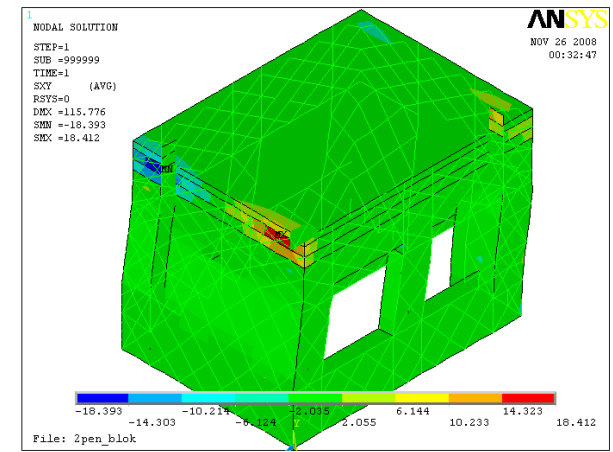


Son adım

Şekil 5.116. Y yönü normal gerilme dağılımı



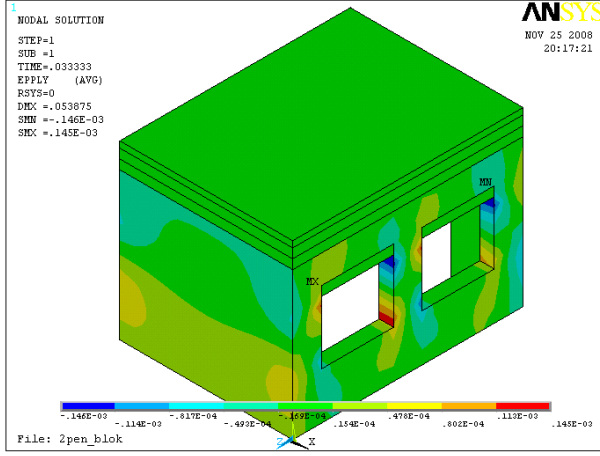
1. adım



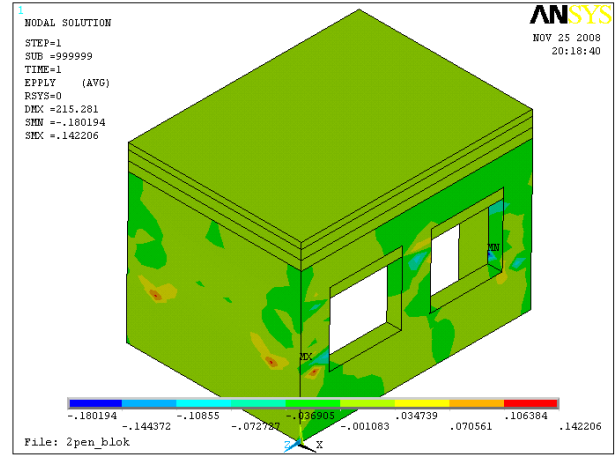
Son adım

Şekil 5.117. xy düzlemi kayma gerilmelerinin dağılımı

Plastik şekil değiştirme dağılımları Şekil 5.118’de gösterilmektedir. İlk adımlarda basınç ve çekme bölgelerinde benzer plastik davranışlar gözlenirken, çekme bölgesinde çatlakların oluşması sonrasında plastik deformasyonlar basınç bölgesinde yoğunlaşmıştır.



1. adım



Son adım

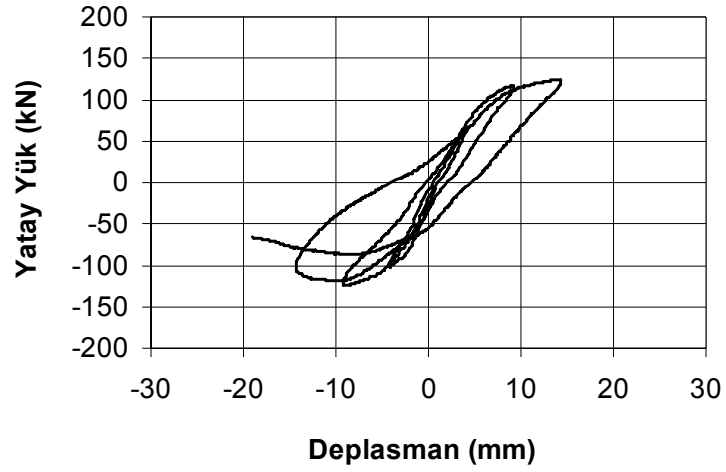
Şekil 5.118. Y yönü Plastik Şekil değiştirme dağılımı

## 6 DENEY SONUÇLARI

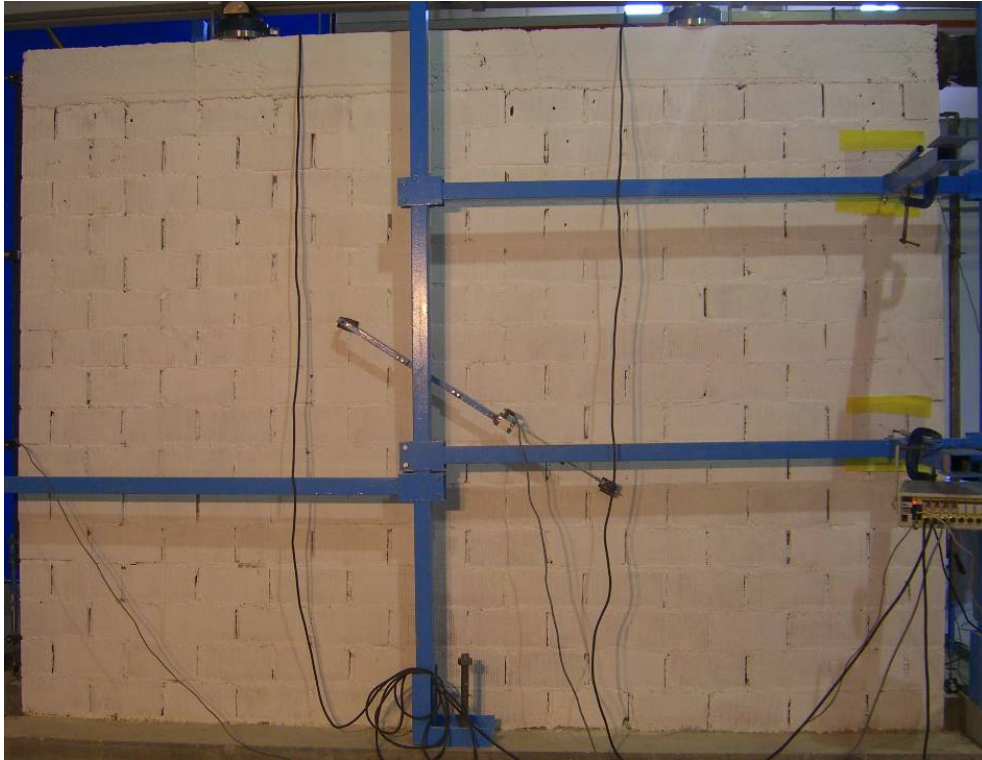
### 6.1 DUVAR DENEYLERİ

#### 6.1.1 RD Numunesi

Sıvasız olarak imal edilen referans RD numunesi tersinir tekrarlı yükler altında denenmiştir. Şekil 6.1'de deneyde elde edilen yatay yük çevrim eğrisi gösterilmiştir. Şekil 6.2'de RD numunesinin deney öncesindeki son görünümü verilmiştir.



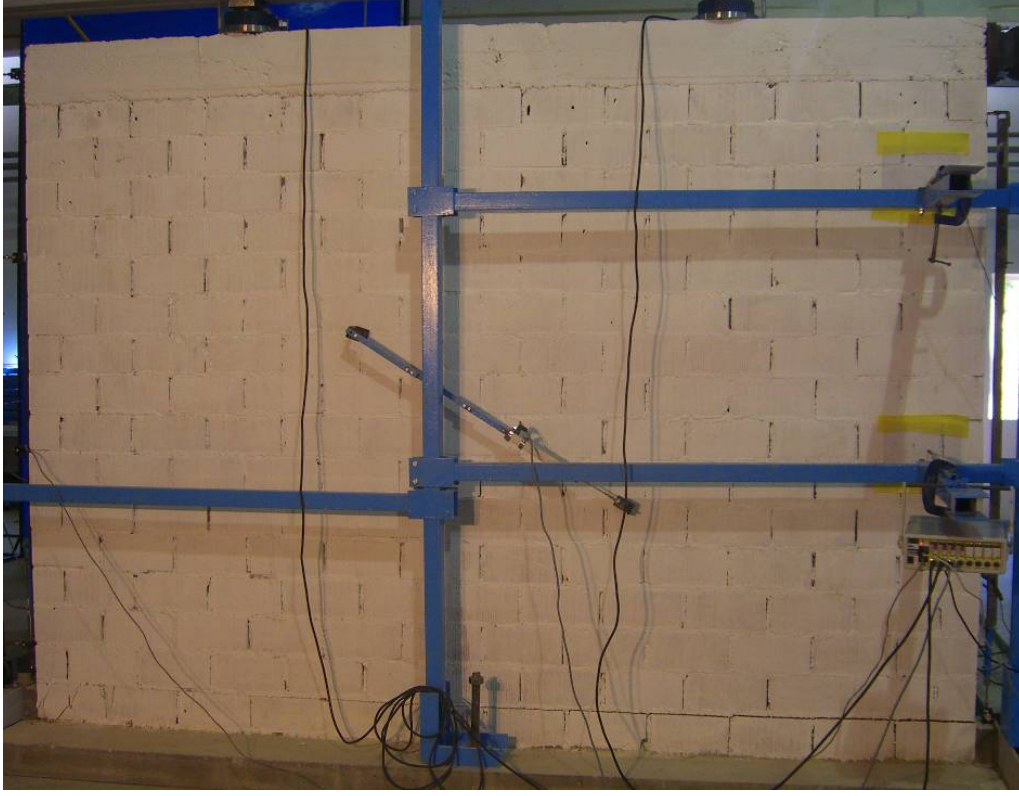
Şekil 6.1. Yatay yük-deplasman davranışı



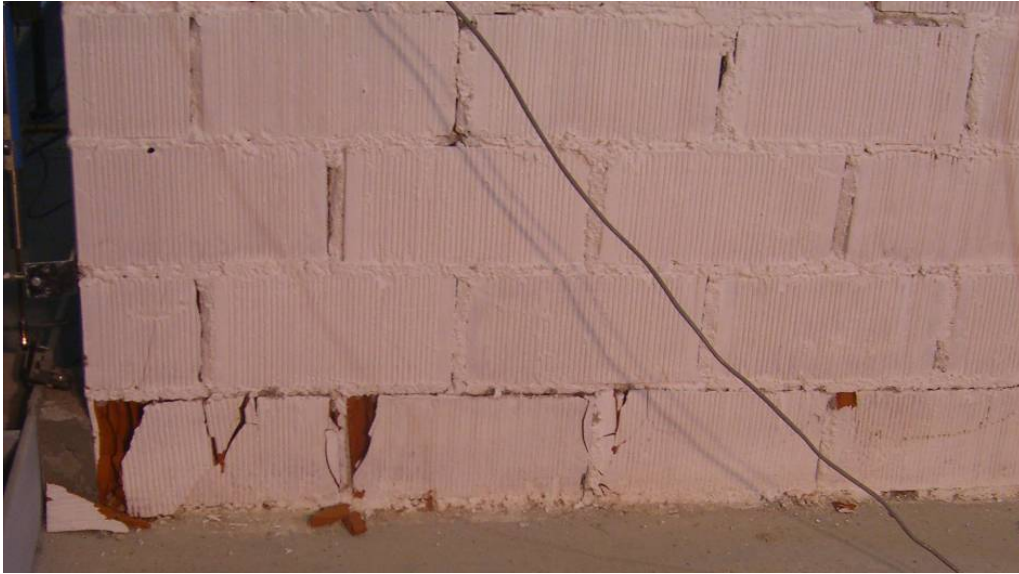
Şekil 6.2. Numunenin deney öncesi görünümü



Tersinir tekrarlı yatay deplasman altında ilk önce Şekil 6.3'te görüldüğü gibi duvarda en alt derz seviyesinde çekme çatlakları oluşmuştur. Aynı anda da Şekil 6.4'te daha yakından görüldüğü şekilde duvarın diğer tarafında basınç ezilmesi meydana gelmiştir. Tersinir yükler altında duvarın her iki tarafında oluşan çatlak genişleyerek duvarın bütün halinde kayması için bir zayıf yüzey oluşturmuştur (Şekil 6.5).



Şekil 6.3. Numunede eğilme ile başlayan çatlak

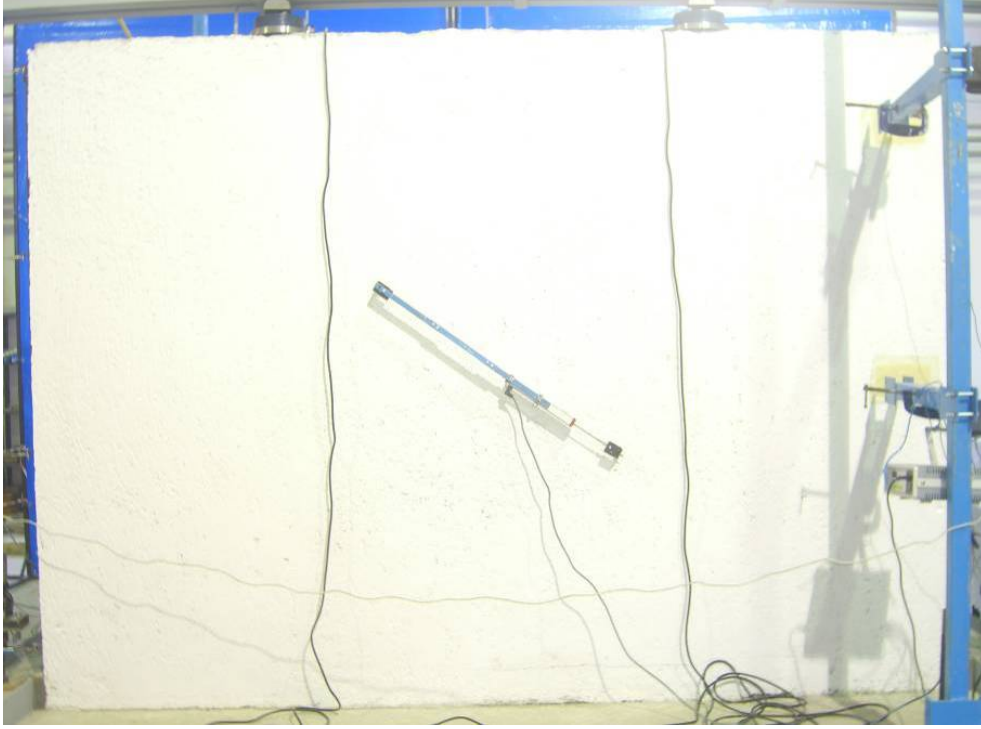


Şekil 6.4. Numunede basınç ezilmesi

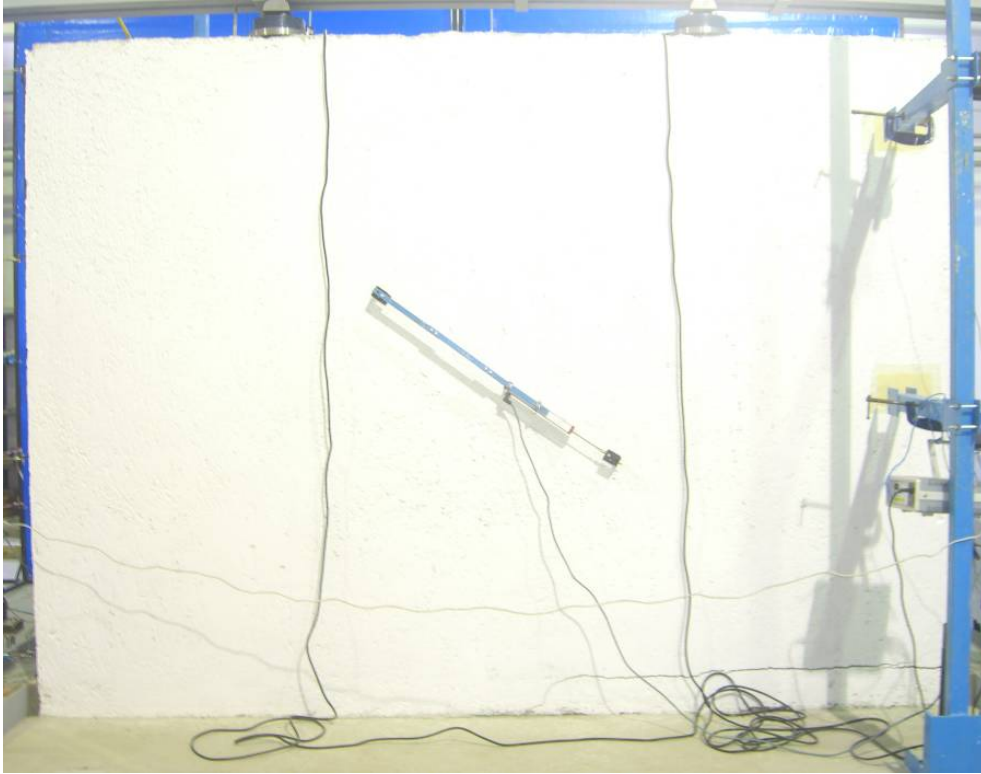




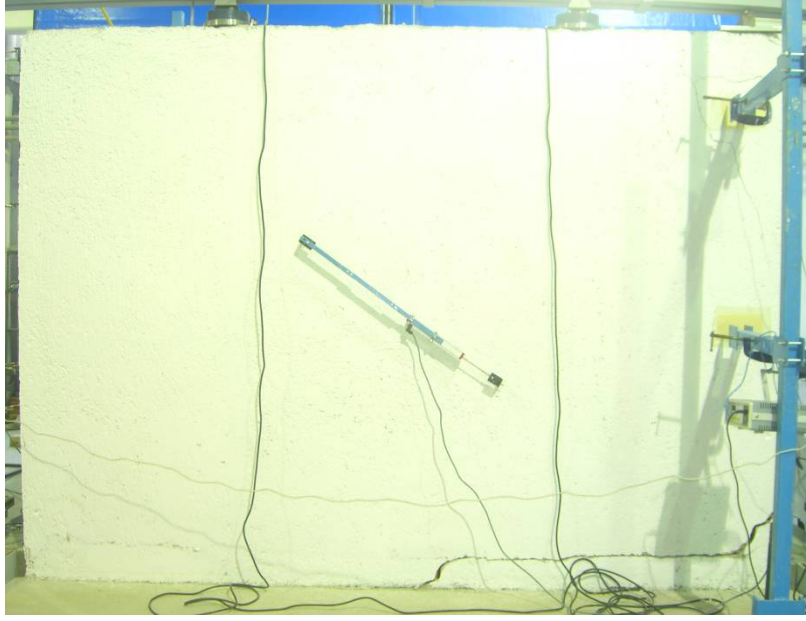
Duvarın deney öncesindeki son görünümü Şekil 6.7’de verilmiştir. Deney elemanında ilk çatlama Şekil 6.8’de görüldüğü gibi yine eğilme sonucu gerçekleşmiş ve bu çatlak RD numunesinde olduğu gibi zayıf kayma yüzeyi oluşumunu tetiklemiştir (Şekil 6.9)



Şekil 6.7. RDS Numunesinin deney öncesi son durumu



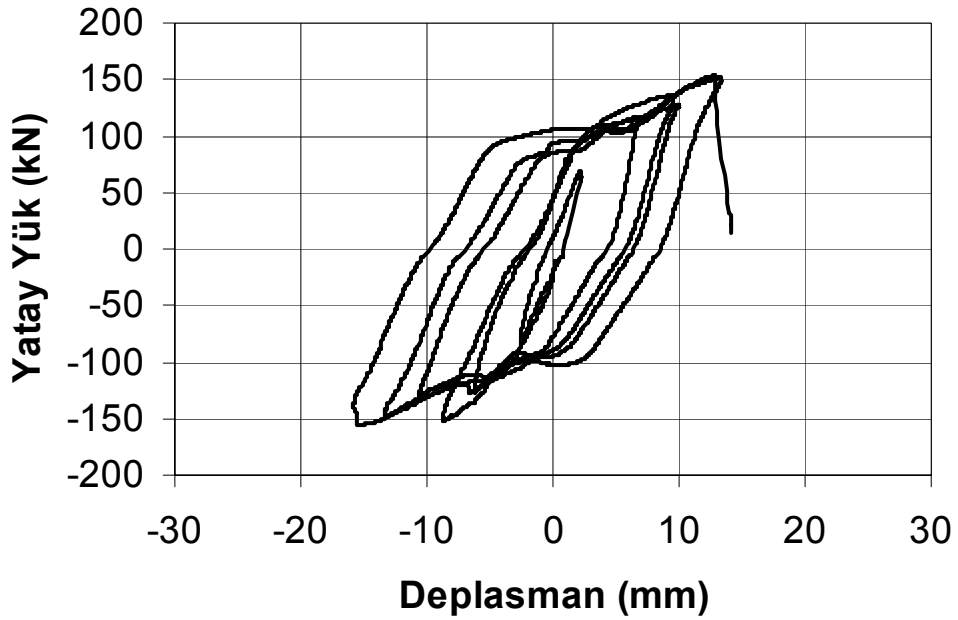
Şekil 6.8. RDS Numunesinde kayma çatlak oluşumu



Şekil 6.9. RDS Numunesinin deney sonu görünümü

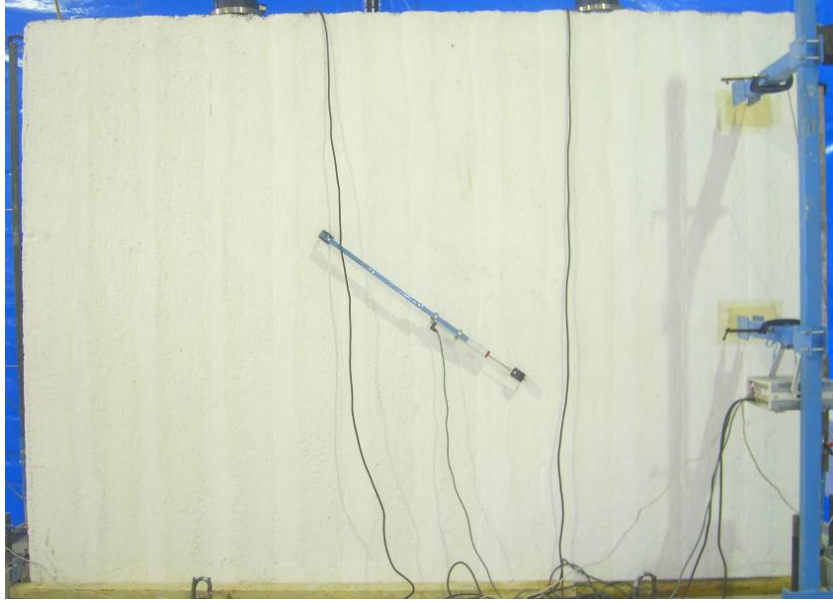
### 6.1.3 GDS DIT Numunesi

Tek yönden düşey yönde uygulanan lastik şeritlerle güçlendirilen numunede yapılan deneyle elde edilen çevrim eğrisi Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Numunenin güçlendirilmemiş referans modellerde hem sıvalı hem de sıvasız modele göre daha sünek bir davranış gösterdiği gözlemlenmektedir.



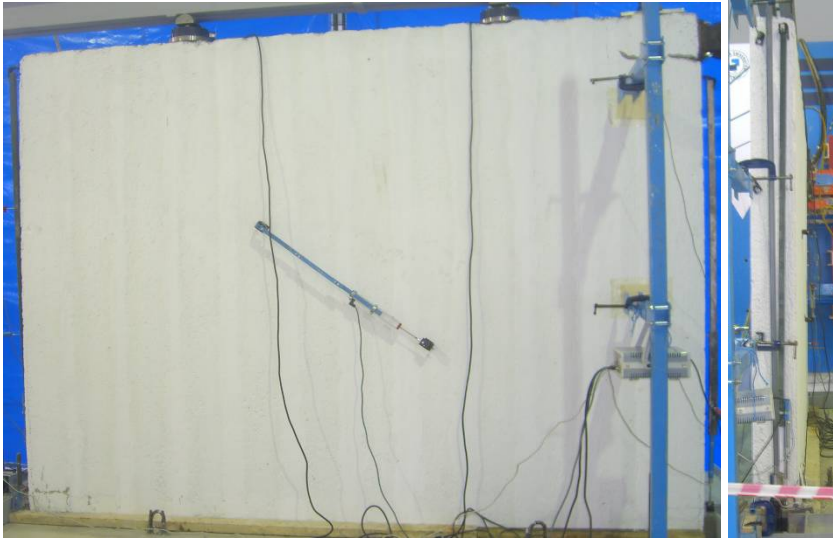
Şekil 6.10. Yatay yük-deplasman davranışı

Şekil 6.11'de deney öncesindeki durumu görünen yapının deney sonundaki hasarlı hali Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.11. Deney öncesi görünüm

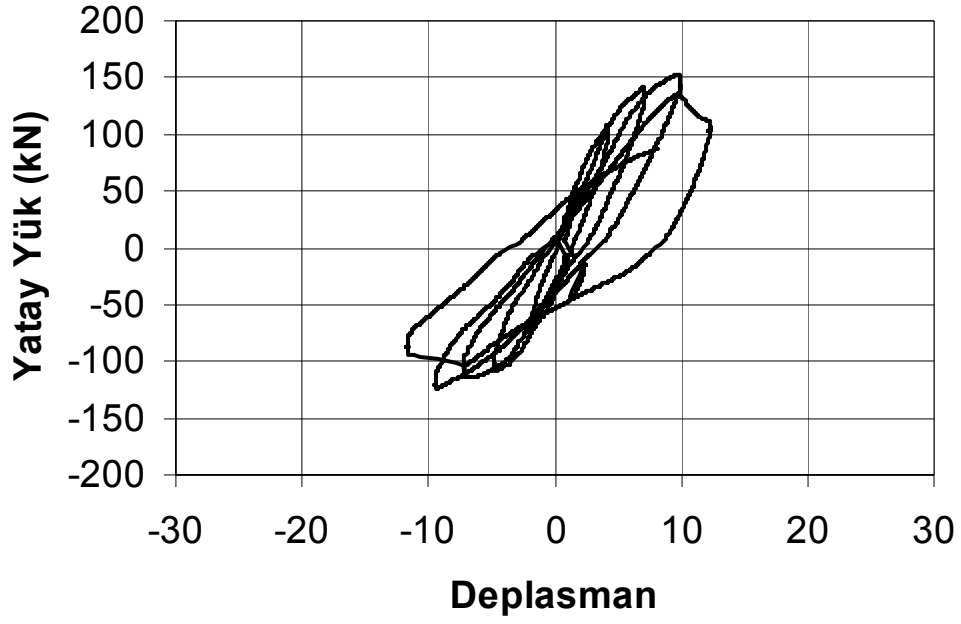
Deney sonunda duvarda ciddi bir düzlem için hasara rastlanmamıştır. Önceki deneylerde görülen çekme çatlakları duvar boyunca fazla ilerlememiştir. Ancak duvarda sol alt köşede görülen basınç ezilmesi gerçekleşmiştir. Duvar taşıma kapasitesini çekmeye çalışan lastiklerin tek yönlü yerleştirilmesinden dolayı oluşan düzlem dışı davranışla kaybetmiştir.



Şekil 6.12. Deney sonu görünüm ve düzlem dışı davranış

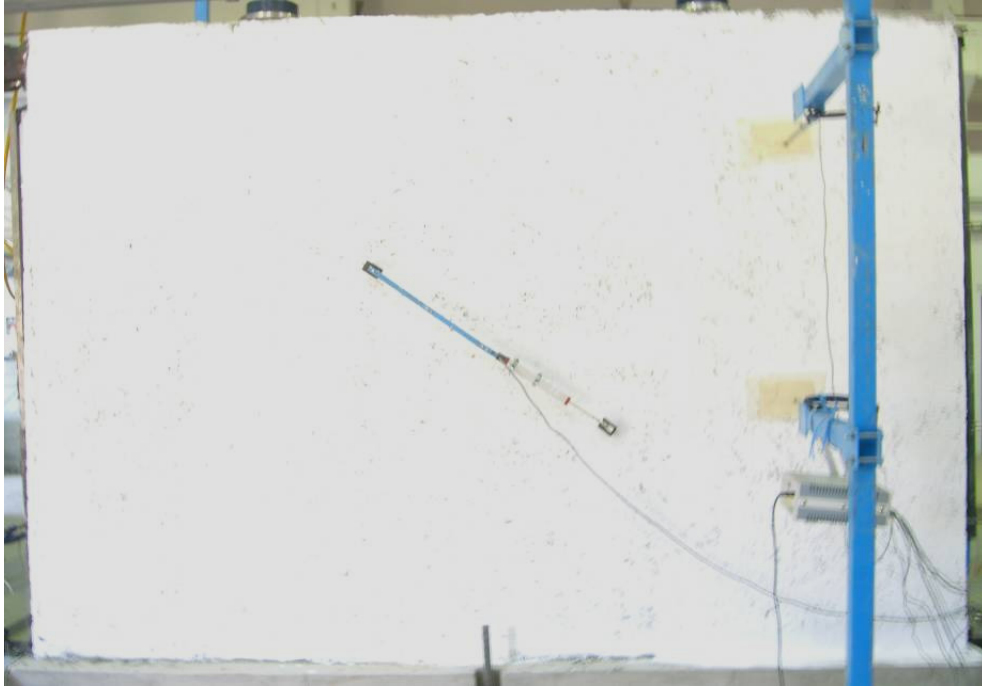
#### 6.1.4 GDSYIT Numunesi

Tek yönden yatay yönde uygulanan lastik şeritlerle güçlendirilen numunede yapılan deneyde elde edilen çevrim eğrisi Şekil 6.13'te gösterilmiştir. Önceki referans numune deneylerinde gözlenen eğilme çatlağı sonucu oluşan kayma yüzeyi davranışı bu deneyde de hakim olmuştur. Bu kayma yüzeyini kesen herhangi bir lastik olmaması nedeni ile güçlendirmenin duvara herhangi bir katkısı gözlenmemiş RDS numunesine benzer bir davranış ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.13. Yatay yük-deplasman davranışı

Duvarda deney boyunca gözlenen davranış Şekil 6.14-17’de görülmektedir. RD ve RDS numunelerine benzer şekilde öncelikle eğilme çatlakları oluşmuş ve daha sonra bu çatlaklar artan yatay deplasmanla birlikte genişleyerek duvarda kayma yüzeyi oluşumunu sağlamışlardır.



Şekil 6.14. Deney öncesi görünüm

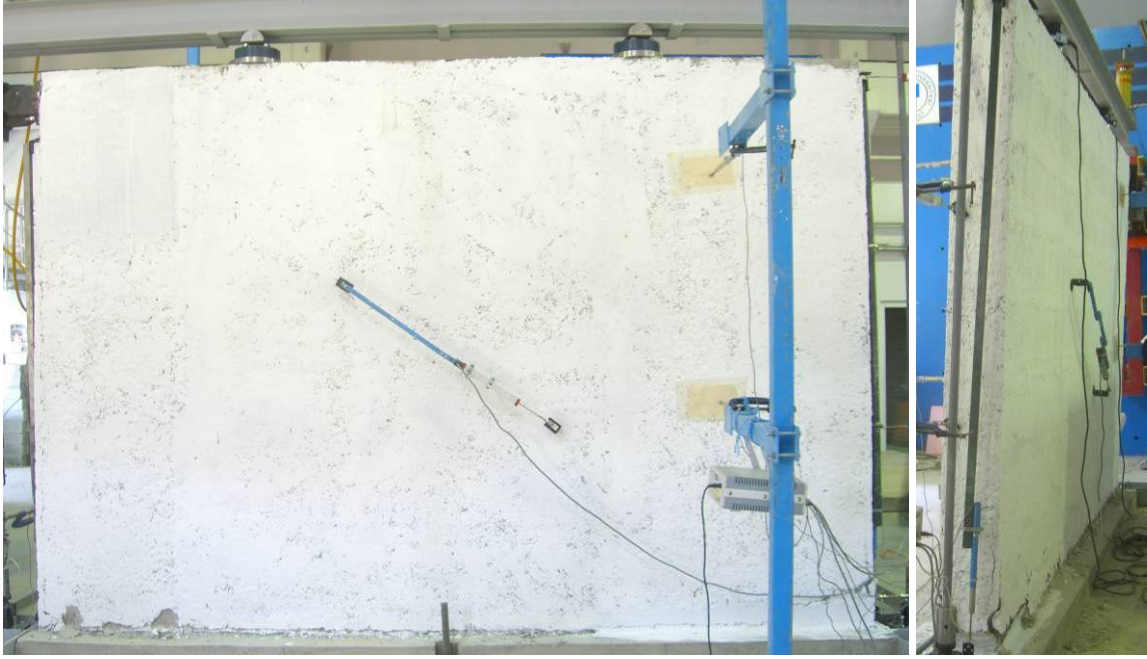




Şekil 6.15. Eğilme altında ilk çatlak oluşumu



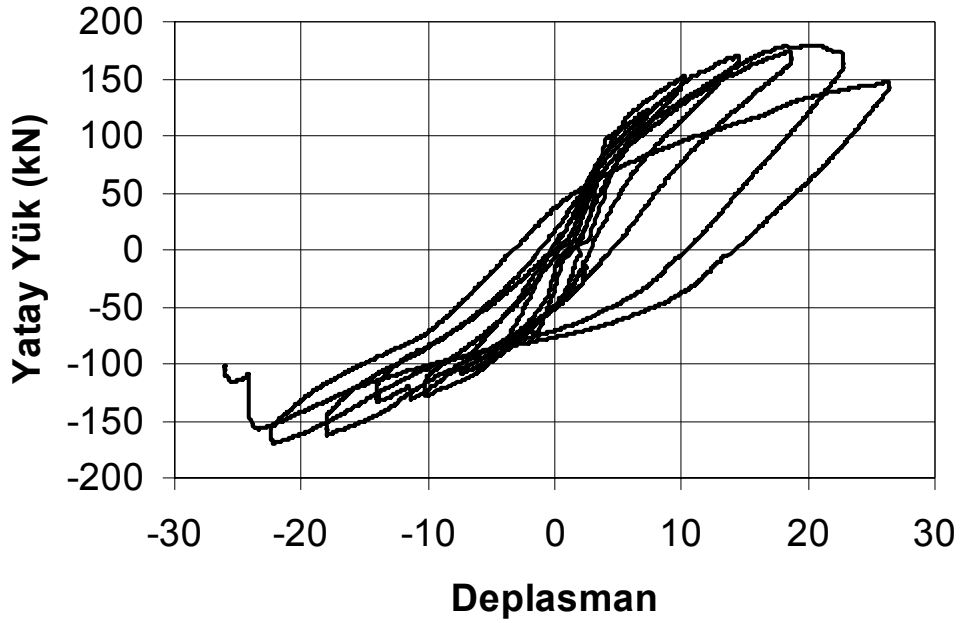
Şekil 6.16. Ardışık çevrimde eğilme çatlak



Şekil 6.17. Eğilme çatlaklarının oluşturduğu kayma yüzeyi ve düzlem dışı davranış

#### 6.1.5 GDSCIT Numunesi

Numune tek yönden çapraz şekilde yerleştirilen şeritlerle güçlendirilmiştir. GDSCIT numunesinin çevrim eğrisi Şekil 6.18’de görülmektedir. Çevrim eğrisi incelendiğinde hem itme hem de çekme etkisinde duvarın deplasman ve yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmektedir.



Şekil 6.18. Yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.19’da yapının deney öncesi görünümü verilmiştir. Deney boyunca çekme çatlakları oluşmamasına rağmen Şekil 6.20’de görülen basınç ezilmesi duvardaki en ciddi hasardır. Deney sonunda sıva tabakası elle kaldırılarak bu bölge daha yakından incelenmiştir. Ezilen bölgede Şekil 6.21’de görülen kılcal çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.19. Deney öncesi görünüm



Şekil 6.20. Duvarda ezilme



Şekil 6.21. Ezilen bölgede asal çekme çatlakları

Duvarın hasar oluşumu gözlenmeyen diğer tarafında sıva tabakası yine elle kaldırılarak gözlem yapılmıştır. Burada da Şekil 6.22’de görülen ezilme hasarı ve çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir.

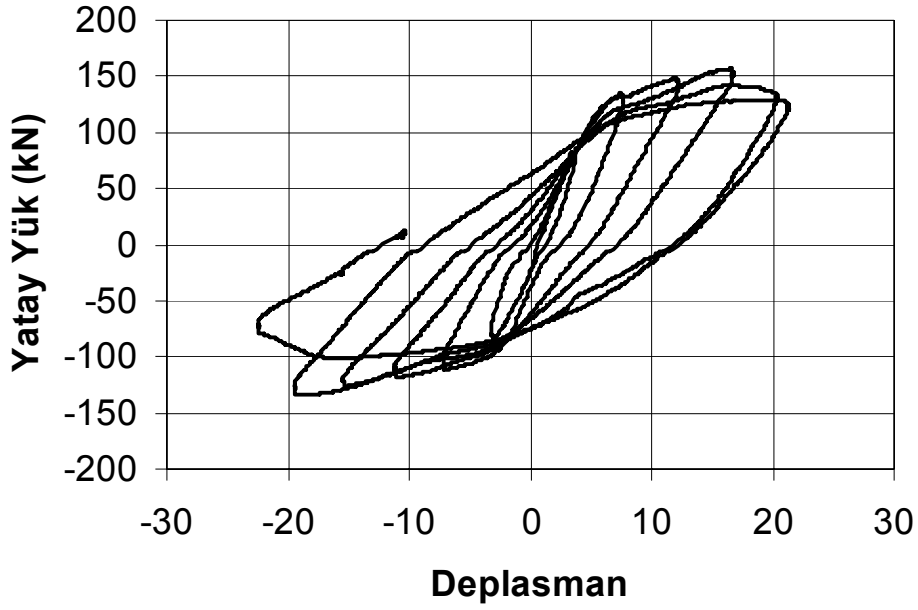
Deney sonucunda çapraz şekilde uygulanan lastik şeritlerle güçlendirme yönteminin çatlak ve hasar oluşumunu geciktirdiği, yapıya dayanım ve süneklik kazandırdığı açıkça görülmüştür.



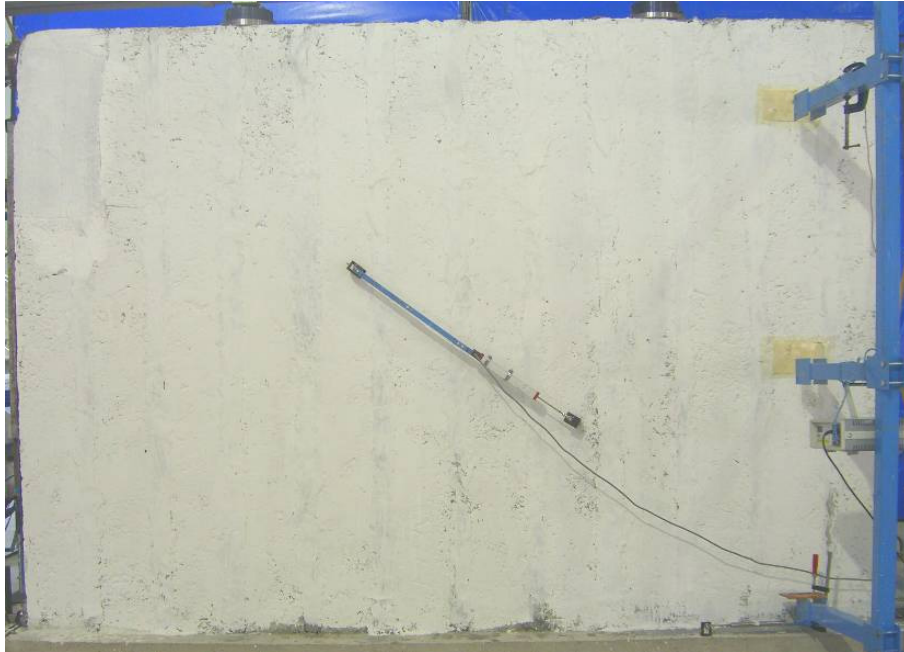
Şekil 6.22. Ezilen bölgelerdeki hasar

### 6.1.6 GDSD2T Numunesi

İki yönden düşey şekilde yerleştirilen lastiklerle güçlendirilen numunenin yatay yük-deplasman davranışı Şekil 6.23'te görülmektedir. Şekil 6.24-28'de deney boyunca ortaya çıkan hasar gelişimi görülmektedir. Eğilme etkisindeki duvarda öncelikle tabanda çatlaklar meydana gelmiştir. Basınç bölgesinde ezilmelerin olduğu da sıva kabarmalarından gözlenmiştir. Deney sonunda kabaran sıva tabakaları elle kaldırılarak duvardaki ezilme hasarı da ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 6.23. Yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.24. Deney öncesi görünüm





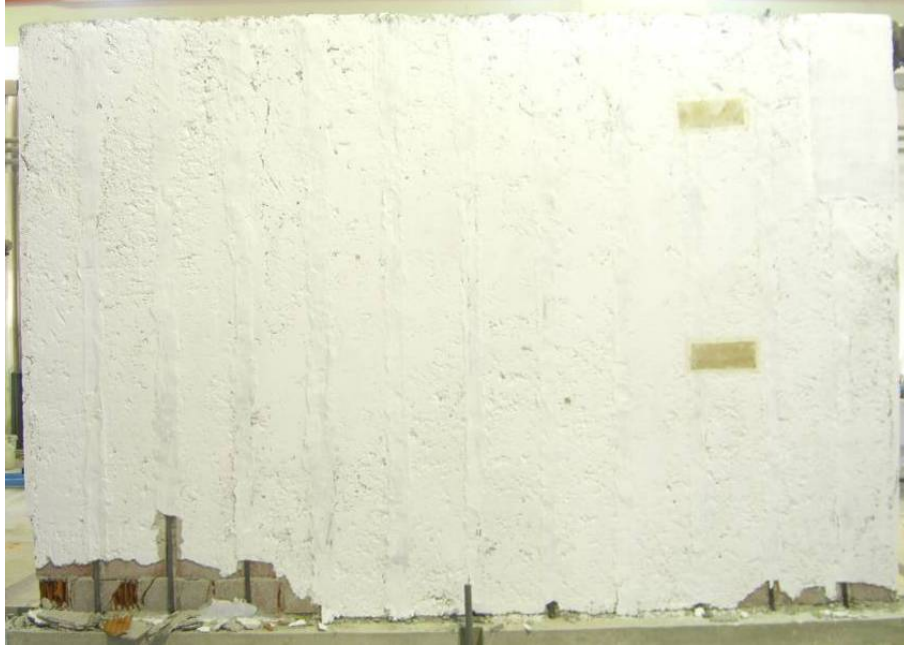
Şekil 6.25. Ardışık çevrimlerde oluşan çatlaklar



Şekil 6.26. Çatlak kapanması sonrası basınç altında sıva dökülmesi



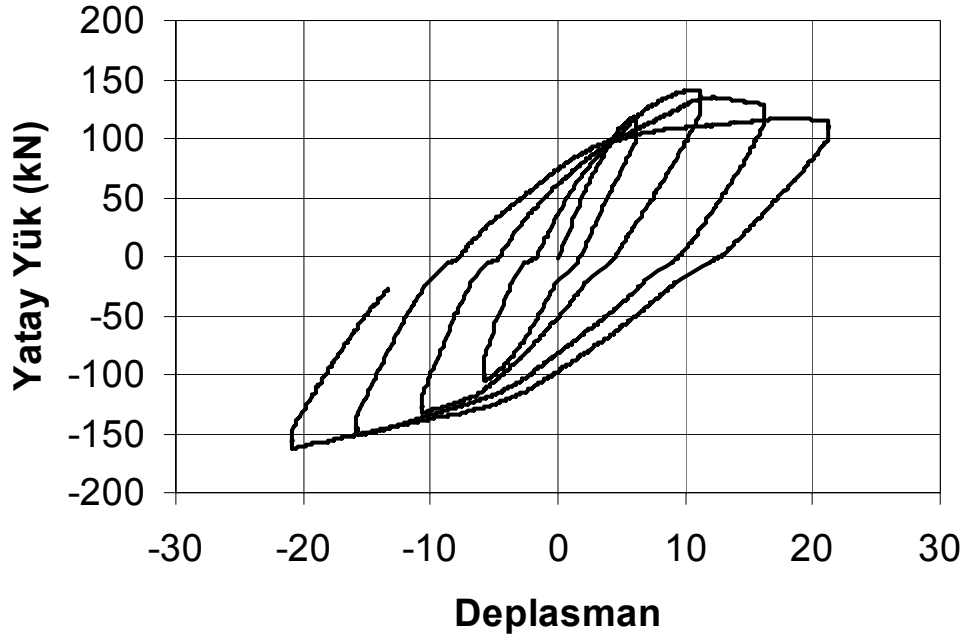
Şekil 6.27. Duvar köşesinde diyagonal çatlaklar



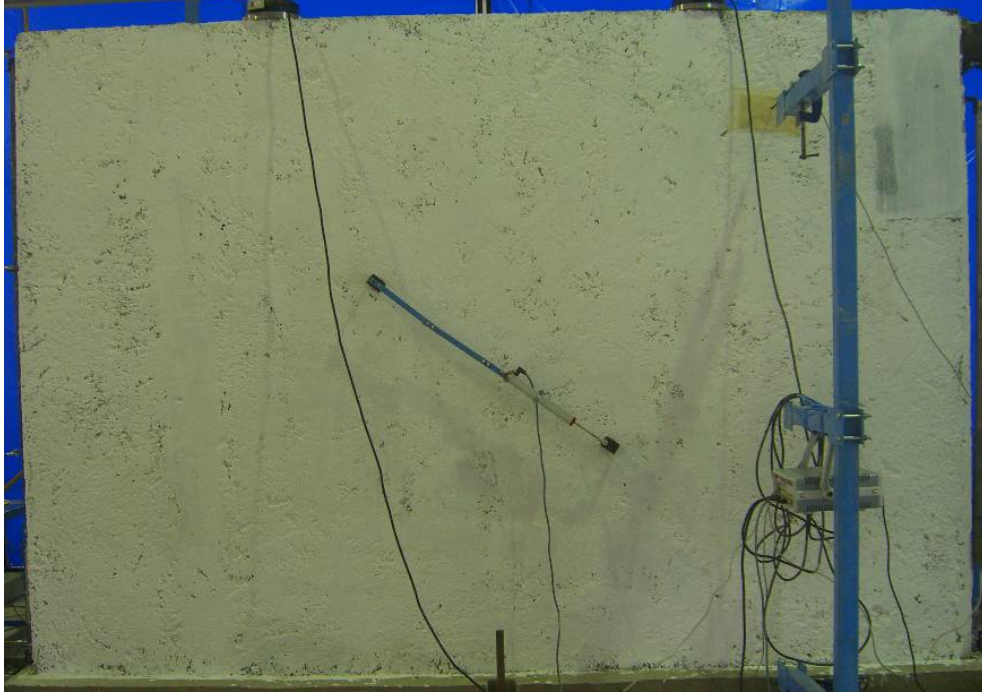
Şekil 6.28. Duvarın deney sonu görünümü

#### 6.1.7 GDSKIT Numunesi

Tek yönden karelej oluşturacak şekilde yerleştirilen lastiklerle güçlendirilen numunenin yatay yük-deplasman davranışı Şekil 6.29’da görülmektedir. Şekil 6.30-32’de deney öncesi ve sırasında alınan resimler görülmektedir.



Şekil 6.29. Yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.30. Deney öncesi

Düşey lastikli numunelere benzer şekilde öncelikle eğilme altında duvar tabanında yatay çatlaklar meydana gelmiştir. Basınç bölgesinde ezilmelerin olduğu da sıva kabarmalarından gözlenmiştir. Deney sonunda kabaran sıva tabakaları elle kaldırılarak duvardaki ezilme hasarı ve diyagonal çatlak şekilleri de ortaya çıkarılmıştır. Duvarın her iki tarafında ortaya çıkan hasar yatay çatlaklar sonucunda duvar tabanında kayma davranışı da gözlenmiştir.



Şekil 6.31. Kayma yüzeyini oluşturacak eğilme çatlağı

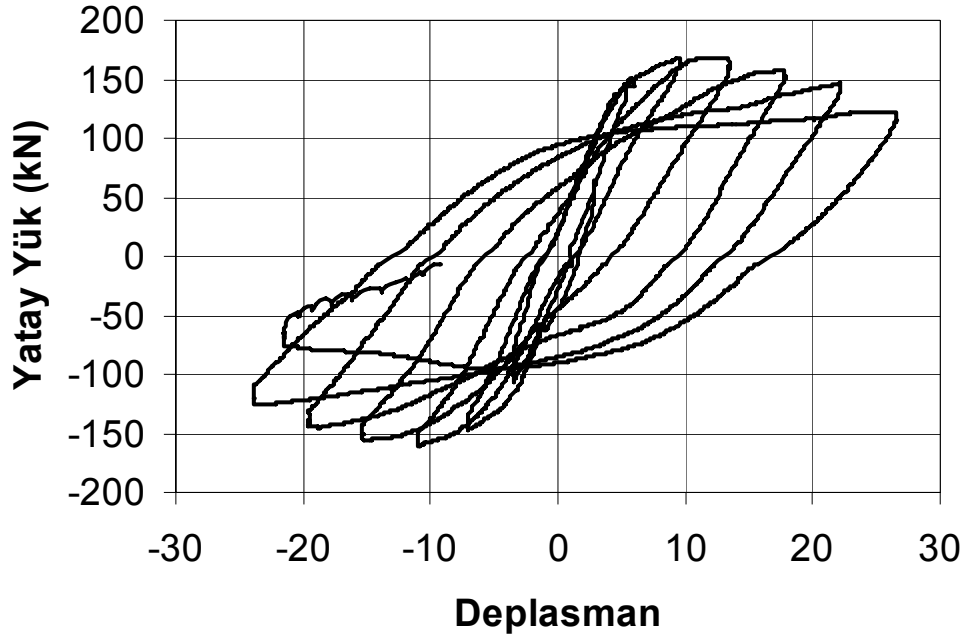




Şekil 6.32. Basınç ezilmesi ve diyagonal çatlaklar

#### 6.1.8 GDSC2T Numunesi

GDSC2T numunesi duvarın iki tarafına diyagonal olarak yerleştirilen lastiklerle güçlendirilmiştir. Numunenin deney sonucunda elde edilen yatay yük-deplasman davranışı Şekil 6.33'te görülmektedir. Şekil 6.34'te numunenin deney öncesi durumu görülmektedir.



Şekil 6.33. Yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.34. Deney öncesi

Numunede eğilmeden kaynaklanan çekme çatlağı oluşumu Şekil 6.35'te, diyagonal basınç etkisi ile ortaya çıkan hasarlar Şekil 6.36'da görülmektedir.



Şekil 6.35. Numune tabanında çatlak oluşumu



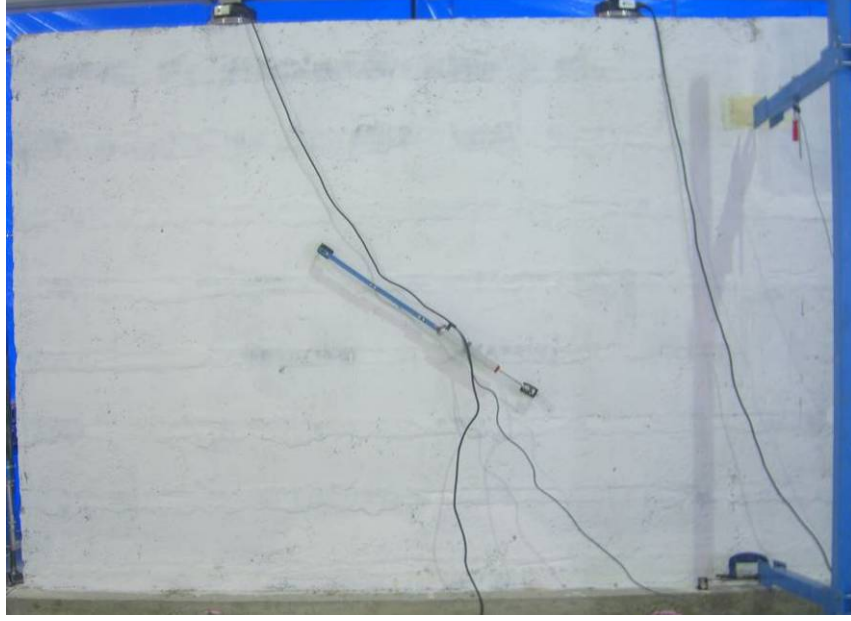
Şekil 6.36. Duvarda basınç eğilmesi

#### 6.1.9 GDSY2T Numunesi

Çift taraftan yatay lastiklerle güçlendirilen duvar numunesine ait çevrim eğrisi Şekil 6.37’de verilmiştir. Şekil 6.38’de numunenin deney öncesindeki durumu görülmektedir.

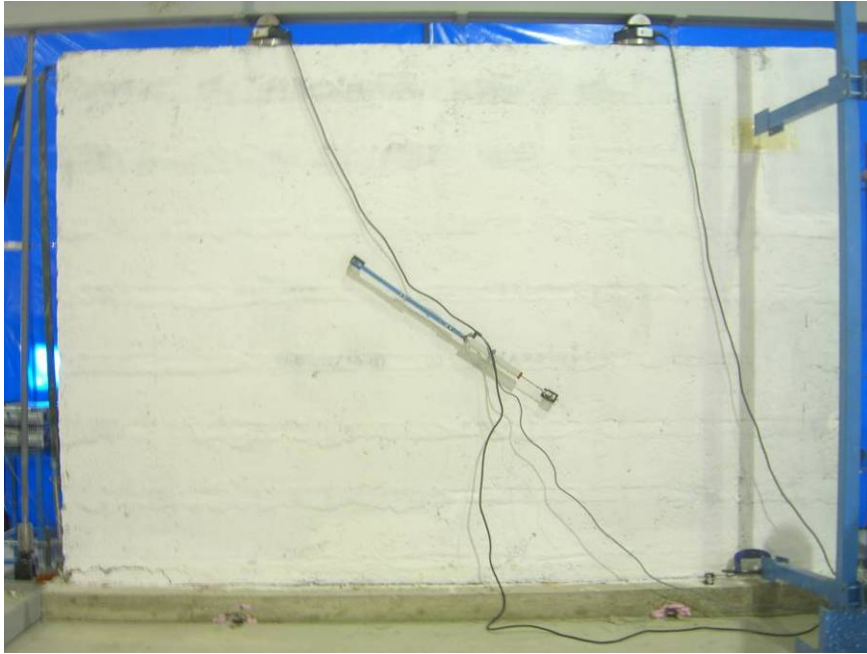


Şekil 6.37. Yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.38. Deney öncesi görünüm

Şekil 6.39'da ilk çatlak oluşum şekli gösterilmiştir. Diğer deneylere benzer şekilde duvar tabanında yatay çatlak oluşumu ile hasar başlamıştır. Şekil 6.40'ta deney sonunda basınç dolayısı ile oluşan diyagonal hasarlar gösterilmiştir. Şekil 6.41'de ise duvarın üst bölgesinde oluşan diyagonal çatlama görülmektedir. Üst bölgede oluşan çatlakların genişlemesinin lastik şeritler sebebiyle gerçekleşmediği kanaatine varılmıştır.



Şekil 6.39. Çatlak oluşumu





RDP numunesinin deney öncesindeki son görünümü Şekil 6.43'te verilmiştir. Tersinir tekrarlı yatay deplasman altında ilk önce Şekil 6.44'te görüldüğü gibi duvarda pencere köşelerinde asal çekme çatlakları oluşmuştur. Yatay deplasman seviyesi artan yükleme ile Şekil 6.45'te görüldüğü şekilde çatlakların her iki yükleme için oluşmasına ve açılmasına sebep olmuştur. Numunenin deney sonu görünümü Şekil 6.46'da verilmiştir.



Şekil 6.43. Numunenin deney öncesi görünümü



Şekil 6.44. Numunede oluşan ilk asal çekme çatlakları



Görülen bu çatlak şekli yığma yapılarda tipik olarak görülen bir hasar şeklidir. Özellikle boşlukların köşelere yakın olması veya büyük olması sonucu yığma yapılarda geçmiş depremlerde bu tür pek çok hasarla karşılaşmıştır. Bu yönüyle, üretilen pencereci duvar numunelerinin mevcut duvarları davranış bakımından temsil ettiği görülmüştür.



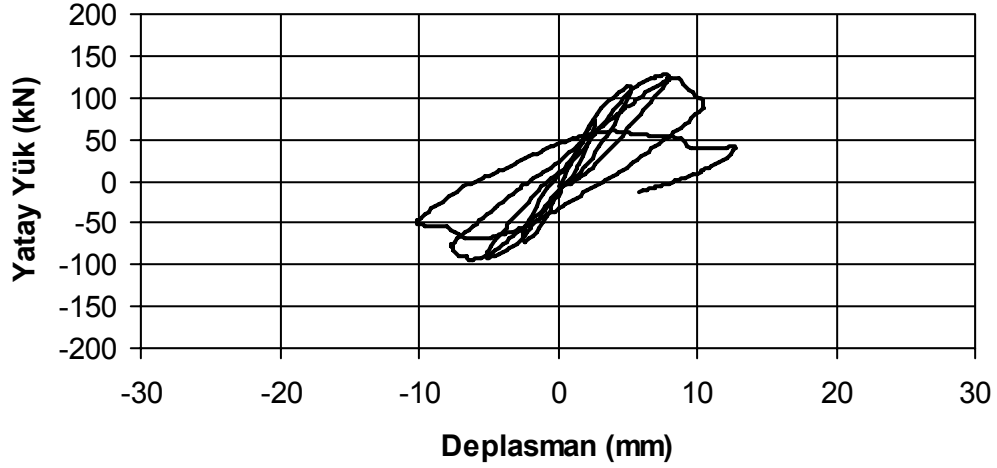
Şekil 6.45. Çatlakların gelişimi



Şekil 6.46. Numunenin deney sonu görünümü

### 6.1.11 RDP-E Numunesi

İki yönden düşey şekilde yerleştirilen lastiklerle güçlendirilen numunenin yatay yük-deplasman davranışı Şekil 6.47’de görülmektedir. Şekil 6.48-50’de deney boyunca ortaya çıkan hasar gelişimi görülmektedir. Duvarda öncelikle pencere köşelerinde başlayan çatlak gelişimi köşelere doğru devam etmiş ve duvarda kapasite kaybına yol açan büyük kesme çatlakları meydana gelmiştir. Eksenel yük seviyesinin RDP numunesine göre %50 fazla olduğu bu numunelerde hasar şeklinin bir miktar değiştiği de görülmüştür.



Şekil 6.47 RDP-E numunesi yatay yük – deplasman davranışı



Şekil 6.48. Deney öncesi görünüm

Numunenin yatay yük seviyesinin maksimum yük seviyesine ulaşması sonrasında hemen düşmeye başladığı eksenel yük seviyesi daha düşük olan RDP numunesine kıyasla daha

gevrek bir davranışın ortaya çıktığı deney sonucunda görülmüştür. Bu da eksenel yük seviyesi yüksek duvarların daha gevrek bir davranış ortaya koyacağını göstermiştir.



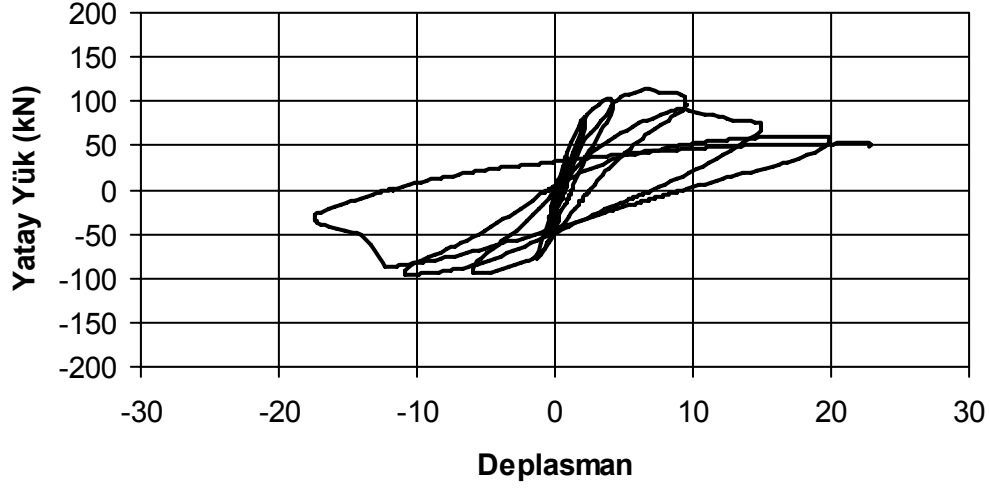
Şekil 6.49. Ardışık çevrimlerde oluşan çatlaklar



Şekil 6.50. Duvarın deney sonu görünümü

### 6.1.12 GDPC1T Numunesi

GDPC1T numunesi de diğ er numuneler gibi tersinir tekrarlı yatay deplasmanlar altında denenmiştir. Ş ekil 6.51’ de deneyde elde edilen yatay yük çevrim eğ risi gösterilmiştir.



Ş ekil 6.51. Yatay yük-deplasman davranış ı

Duvarın deney öncesindeki son görünümünü Ş ekil 6.52’ de verilmiştir. Deney elemanında ilk çatlama Ş ekil 6.53’ te görüldüğü gibi yine pencere köş esinde gerçekleş miş ancak pencere alt köş esinde oluş an bu çatlak genişlememiş ve yeni bir çatlak pencere üst köş esi ile duvar alt köş esi arasında ortaya çıkmış ve daha zayıf bir kesme yüzeyi oluşturmuştur (Ş ekil 6.54).



Ş ekil 6.52. GDPC1T Numunesinin deney öncesi son durumu



Şekil 6.53. GDPC1T Numunesinde ilk çatlakların oluşumu

Referans numuneye göre daha farklı bir hasar şeklinin ortaya çıkmış olması yerleştirilen lastik elemanların çalıştığının en belirgin göstergesidir. Numunenin çok ağır hasar görmesine rağmen stabilitesini kaybetmemesi de önemli bir göstergedir (Şekil 6.55).



Şekil 6.54. GDPC1T Numunesinde hasarın gelişimi

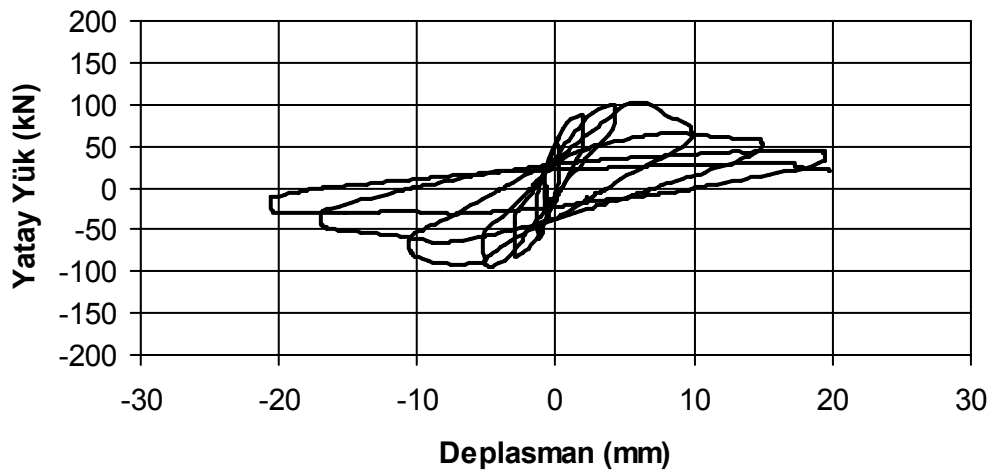




Şekil 6.55. Deney sonu görünüm

### 6.1.13 GDPCIS Numunesi

Tek yönden çapraz uygulanan lastik şeritlerle güçlendirilen numunede lastiklerin kaplanması için tamir harcı yerine sıva harcı kullanılmıştır. Yapılan deneyle elde edilen çevrim eğrisi Şekil 6.56'da gösterilmiştir.



Şekil 6.56. Yatay yük-deplasman davranışı

Şekil 6.57'de deney öncesindeki durumu görünen yapının deney sonundaki hasarlı hali Şekil 6.58'de verilmiştir.





Şekil 6.57. Deney öncesi görünüm

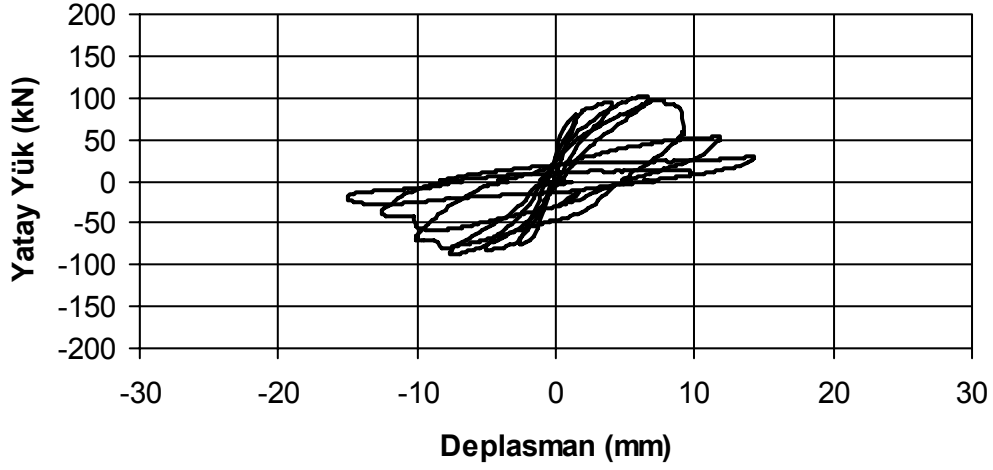
Deney sonunda duvarda GDPC1T numunesinin benzeri bir davranış elde edilmiş olmakla beraber pencere kenarlarında daha ağır bir hasar şekli ortaya çıkmıştır. Ayrıca duvar alt köşelerinde basınç ezilmesi de gerçekleşmiştir.



Şekil 6.58. Deney sonu görünüm

#### 6.1.14 GDPCUIS Numunesi

Deneyde elde edilen çevrim eğrisi Şekil 6.59’da gösterilmiştir. Bu deneyde gözlenen hasar şekli hem referans deneyden hem de önceki güçlendirilmiş deneylerden farklıdır. Ayrıca, numune önemli oranda kapasite ve rijitlik kaybetmesine rağmen stabilite kaybı yaşanmamıştır.



Şekil 6.59. Yatay yük-deplasman davranışı

Duvarda oluşan ilk hasarlar ve deney sonunda gözlenen davranış Şekil 6.60-61’de görülmektedir. Oluşan hasarlar önceki deneylere benzerlik arz etmektedir. Ancak, pencere kenarında uygulanan U şeklindeki şeritler, buralarda görülen hasarı pencerenin bir tarafında engellemiş, diğer tarafında oluşan ağır hasara rağmen, kopma ve stabilite kaybı olmamıştır.



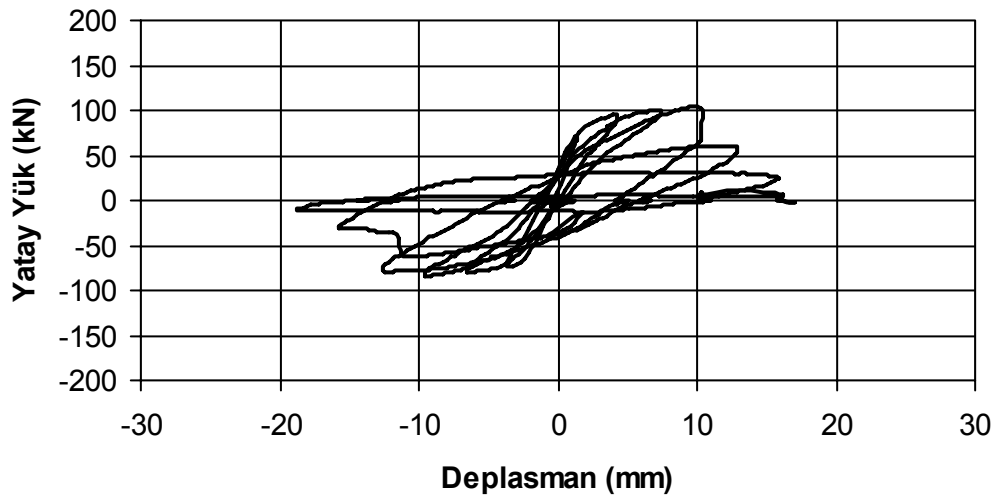
Şekil 6.60. Deney öncesi görünüm



Şekil 6.61. Duvarın deney sonundaki görünümü

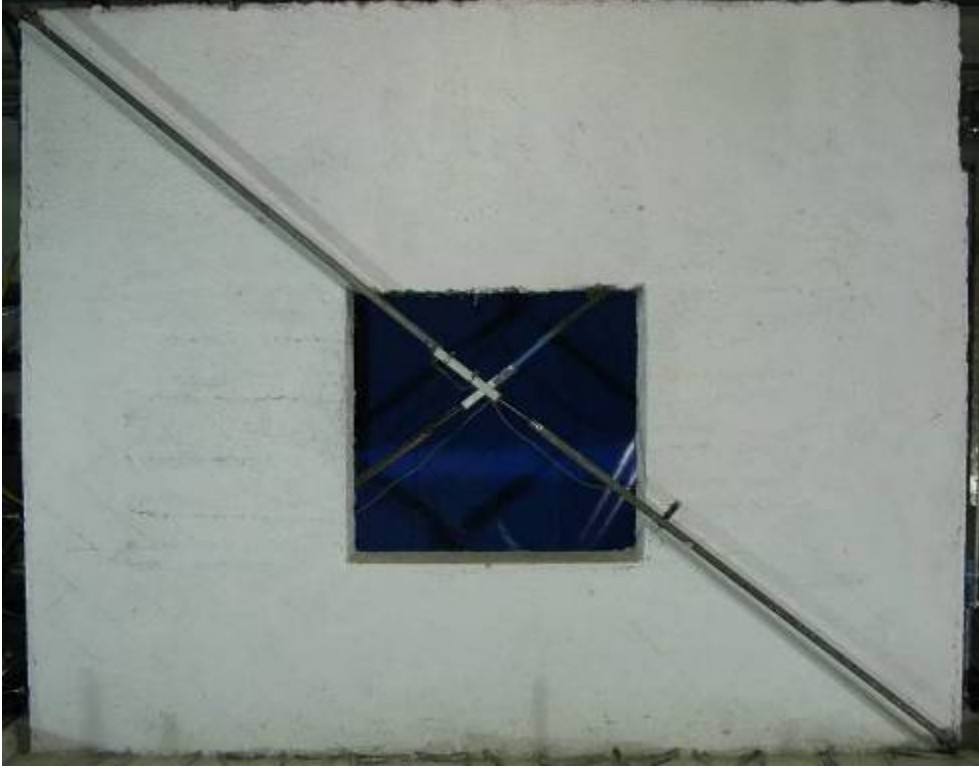
#### 6.1.15 GDPCUIS2 Numunesi

Numune tek yönden çapraz şekilde yerleştirilen şeritlerle güçlendirilmiştir. Bu numunede kullanılan lastik miktarı 2 katına çıkarılarak davranışa etkisi araştırılmıştır. GDSCUIS2 numunesinin çevrim eğrisi Şekil 6.62’de görülmektedir. Çevrim eğrisi incelendiğinde duvarın deplasman kapasitesinin arttığı görülmektedir.

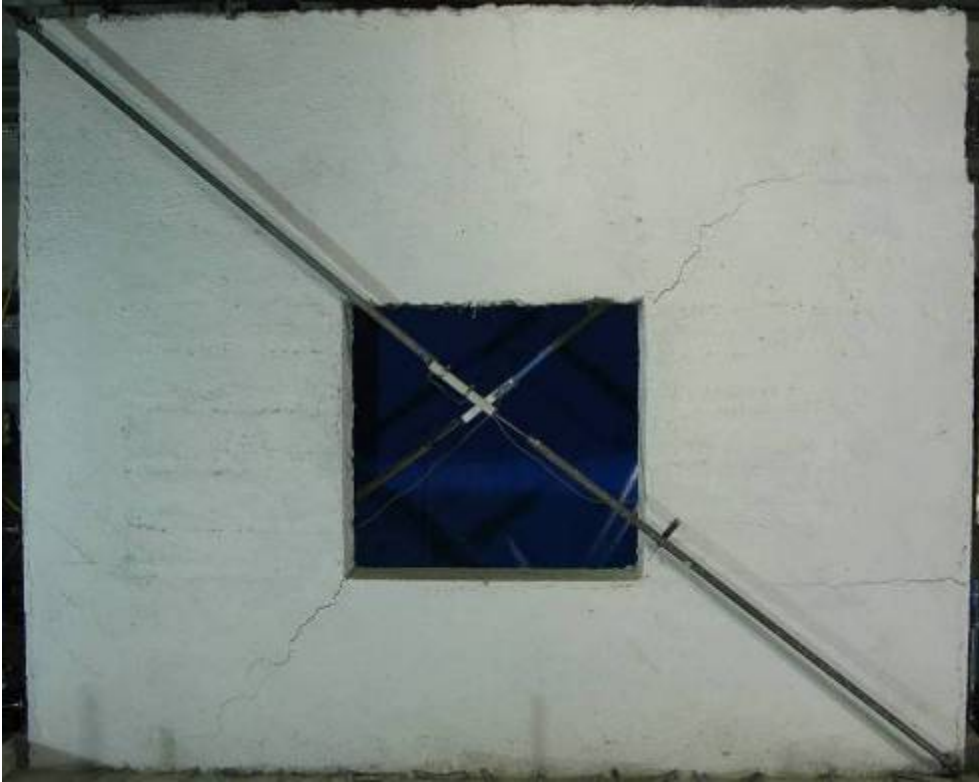


Şekil 6.62. Yatay yük-deplasman davranışı

Duvarın deney öncesi görünümü Şekil 6.63'te verilmiştir. Deney başında ortaya çıkan çatlaklar diğer pencere duvar deneylerine benzemektedir (Şekil 6.64).



Şekil 6.63. Deney öncesi görünüm



Şekil 6.64. Duvarda hasar başlangıcı

Deneyin ilerleyen aşamaları ve deney sonunda gözlenen hasarlar Şekil 6.65-66'da gösterilmiştir. Çapraz lastiklerin daha sık kullanılması ve pencere kenarlarının ayrıca güçlendirilmesi ile çatlak ve hasar oluşumunu geciktirdiği, duvara süneklik kazandırdığı görülmüştür.



Şekil 6.65. Deneyin ilerleyen aşamalarında artan hasarlar

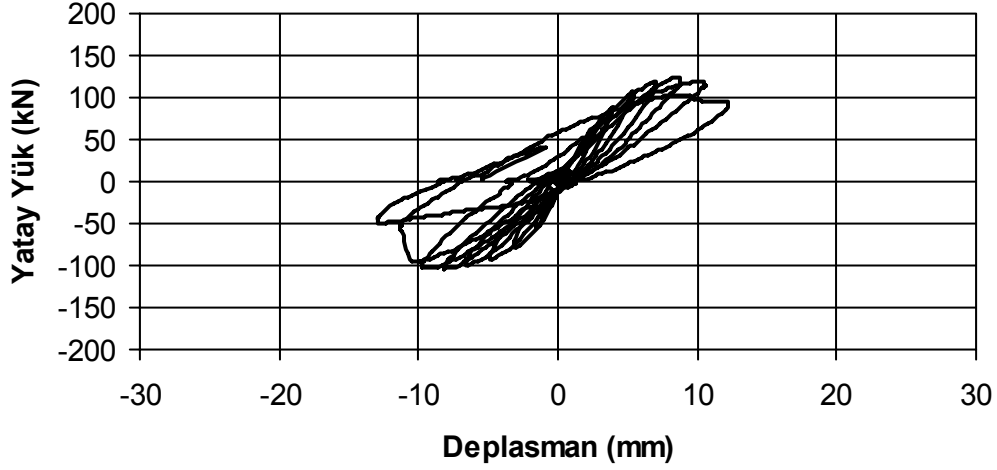


Şekil 6.66. Deney sonundaki hasar durumu



### 6.1.16 GDPCUIS-E Numunesi

RDP-E numunesi ile aynı tipteki duvarın çapraz lastikler ve pencere kenarı ilave U lastiklerle güçlendirildiği duvarın çevrim eğrisi Şekil 6.67’de görülmektedir. Duvarın deney öncesi görünümü Şekil 6.68’de verilmiştir.



Şekil 6.67. Yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.68. Deney öncesi görünüm

Şekil 6.69-70’te görülen hasar şekilleri aksenal yük düzeyi düşük numunelerle benzer özelliktedir.





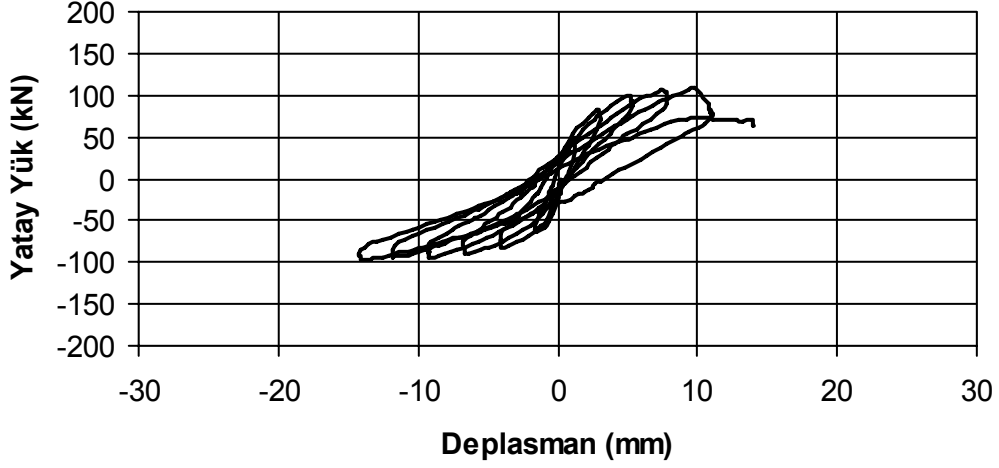
Şekil 6.69. Ardışık çevrimlerde oluşan çatlaklar



Şekil 6.70. Duvarın deney sonu görünümü

### 6.1.17 GDPCYDIS-E Numunesi

Duvar deneyleri serisinin son numunesi çapraz ve pencere kenarına yerleştirilen U şeklindeki lastiklere ilave olarak pencere kenarlarına yerleştirilen yatay ve düşey ilave lastik şeritlerle güçlendirilmiştir. Numunenin yatay yük-deplasman davranışı Şekil 6.71’de görülmektedir.



Şekil 6.71. Yatay yük-deplasman davranışı

Numunenin deney öncesindeki görünümü Şekil 6.72’de verilmiştir. Deney sırasında ve sonrasında numunenin görünümü sırasıyla Şekil 6.73 ve Şekil 6.74’te görülmektedir.



Şekil 6.72. Deney öncesi görünüm



Şekil 6.73. Ardışık çevrimlerde oluşan çatlaklar

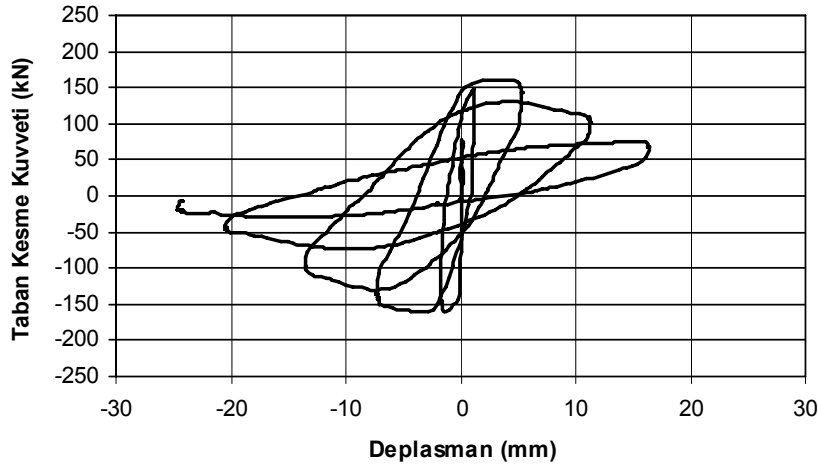


Şekil 6.74. Duvarın deney sonu görünümü

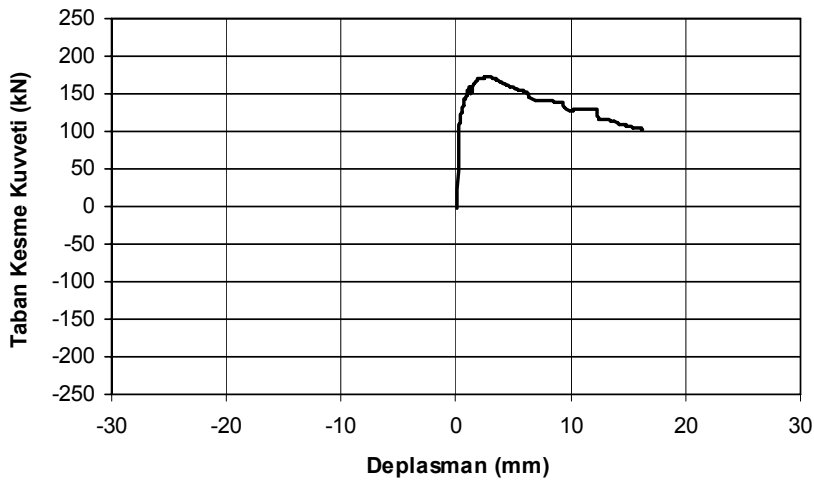
## 6.2 MODEL BİNA DENEYLERİ

### 6.2.1 YB1A -YB2A ve YB4A Numuneleri Referans Deneyleri

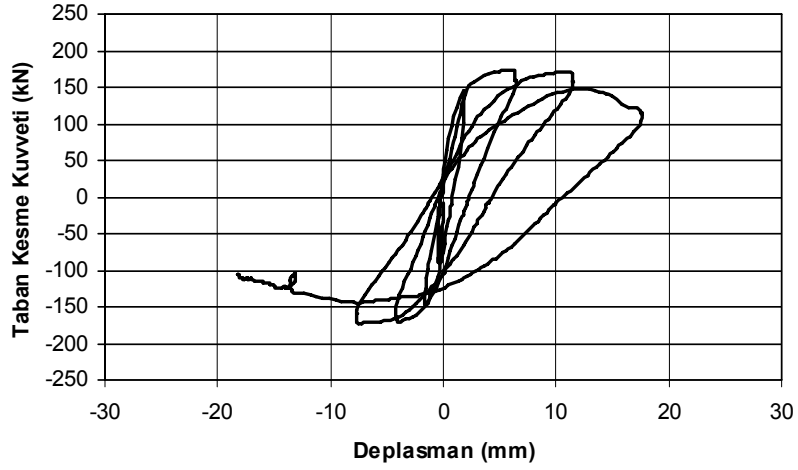
Referans numune olan YB1A numunesinin yatay yük-deplasman çevrimi Şekil 6.75'te görülmektedir. Onarılarak güçlendirilmek üzere tek yönde itilerek sınırlı düzeyde hasar verilen YB2A numunesinin kapasite eğrisi de Şekil 6.76'da gösterilmiştir. YB2 numunesi haricinde YB4A numunesi de hasarlı iken onarılarak güçlendirilmiştir. Bu numunede hasar tersinir yükler altında, pozitif ve negatif deprem doğrultuları için oluşturulmuştur. Hasarlı iken güçlendirilen YB4A numunesi öncelikle tersinir tekrarlı yükler altında hasara uğratılmıştır. Hasarın sınırlı düzeyde kalması için sınırlı sayıda çevrim uygulanmıştır. Elde edilen çevrim eğrisi Şekil 6.77'de verilmiştir. Üç numunenin davranışlarının da benzer özellikler içerdiği görülmektedir. Tek yönde itilen YB2A numunesinde çevrim sonucu tersinir çatlaklar ortaya çıkmadığı için daha rijit bir davranış görülmüştür.



Şekil 6.75. YB1A Numunesi yatay yük - deplasman davranışı



Şekil 6.76. YB2A Numunesi yatay yük - deplasman davranışı



Şekil 6.77. YB4A Numunesi yatay yük-deplasman davranışı

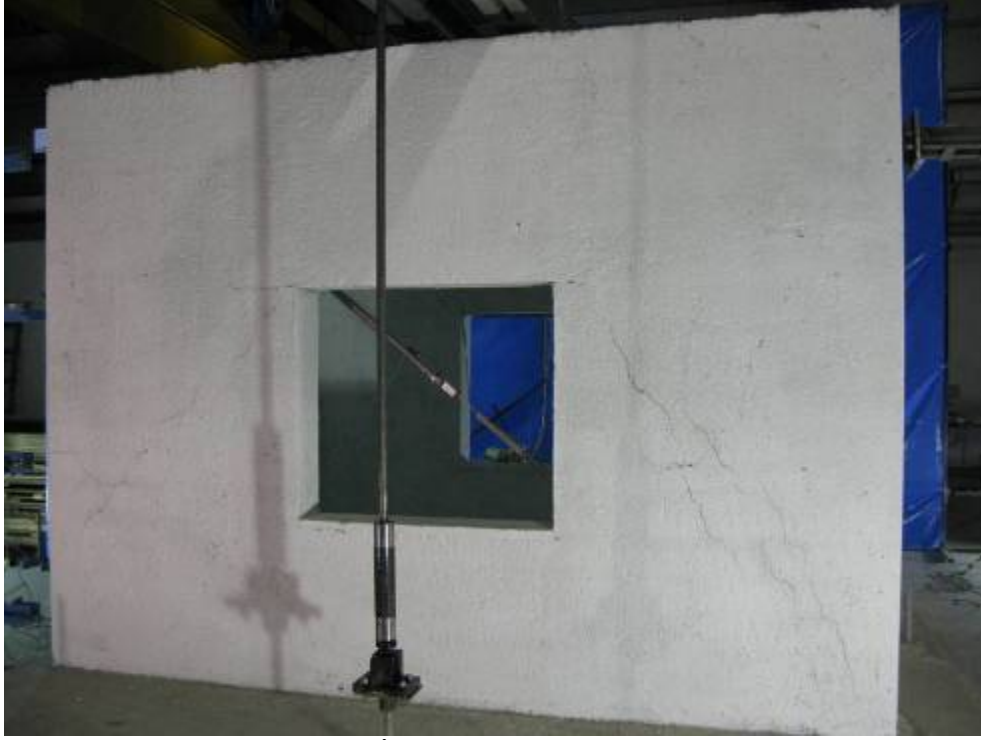
YB1A numunesinin deney sırasında çekilmiş resimleri Şekil 6.78-81’de görülmektedir. Numunede görülen en önemli farklılık duvar deneylerine göre daha farklı bir hasar şeklinin ortaya çıkmasıdır.



Şekil 6.78. Deney öncesi aksenal yüklenmiş yapı (YB1A)

Hasarlar pencere kenarında kalan duvar parçalarında kesme hasarı şeklinde ortaya çıkmıştır. Ayrıca köşe birleşimleri de hasar görmüş, deneyin son aşamasında birbirini dik kesen duvarlar bağımsız hale gelmiştir. Deney sonunda yapıda gözlenen hasarlar Şekil 6.81’de verilmiştir.





Şekil 6.79. İlk çatlak oluşumları (YB1A)



Şekil 6.80. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar

YB1A ile aynı özelliklere sahip YB2A numunesine tek yönde itme uygulanarak sınırlı düzeyde (onarılabilir) hasar verilerek aynı zamanda kontrol amaçlı bir deney yapılmıştır. Numunede deney sonunda oluşan hasarlar Şekil 6.82’de verilmiştir. YB4A numunesi de benzer şekilde hasarlı iken onarılarak güçlendirileceği için güçlendirme öncesinde yapıya tersinir tekrarlı yüklerle hasar verilmiştir. YB4A numunesinin hasar düzeyi tersinir tekrarlı

yüklemeye sebebiyle YB2A'dan farklıdır. Şekil 6.83'te yapının deney sonundaki görünümü verilmiştir. Deney sırasında yapıda burulma etkileri de ortaya çıktığından hasar binanın bir tarafında yoğunlaşmıştır.



Şekil 6.81 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar



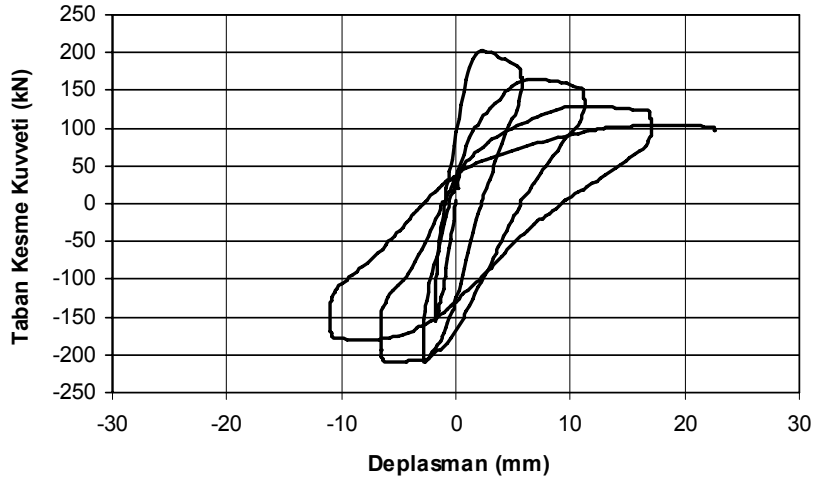
Şekil 6.82 Onarılmak üzere hasar verilen yapının (YB2A) deney sonu görünümü



Şekil 6.83 Onarılmak üzere hasar verilen yapının (YB4A) deney sonu görünümü

### 6.2.2 YB2A-HG Deneyi

Hasarlı iken onarılan YB2A numunesinin güçlendirme sonrasındaki yatay yük-deplasman çevrimi Şekil 6.84’te görülmektedir. Yapının hasarlı olduğu doğrultuda, güçlendirme sonrası olumlu bir katkı ortaya çıkmamıştır. Ancak, diğer doğrultudaki kapasitenin olumlu bir şekilde değiştiği görülmektedir.



Şekil 6.84. YB2HG Numunesi yatay yük-deplasman davranışı

YB2A-HG numunesinin deney sırasında çekilmiş resimleri Şekil 6.85-88’de görülmektedir. Numunede görülen en önemli farklılık duvar deneylerine göre daha farklı bir hasar şeklinin ortaya çıkmasıdır.

Hasarlar pencere kenarında kalan duvar parçalarında kesme hasarı şeklinde ortaya çıkmıştır. Hasar düzeyi oldukça artırılmasına rağmen duvarların stabilitesinin kaybolmadığı deneylerde görülmüştür. Ayrıca, güçlendirilmemiş numune deneylerinde görülen köşe birleşimlerindeki

hasarlar, yine oluşmuş ancak, oldukça sınırlı düzeyde kalmıştır. Kesişen duvarların bağlantısı tamamen kaybolmamıştır. Deney sonunda yapıda gözlenen hasarlar Şekil 6.88’de verilmiştir.



Şekil 6.85. Deney öncesi aksenal yüklenmiş yapı



Şekil 6.86. İlk çatlak oluşumları





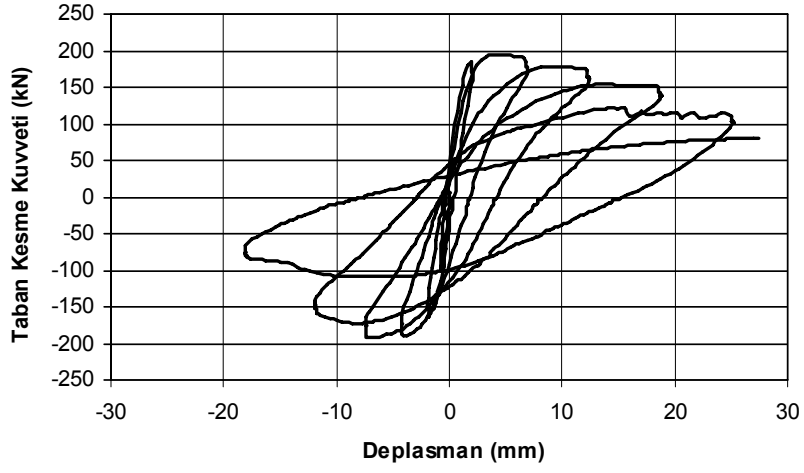
Şekil 6.87. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar



Şekil 6.88 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar

### 6.2.3 YB3A-G Deneyi

YB3A numunesine herhangi bir hasar verilmeden güçlendirme uygulanmıştır. YB3A-G olarak adlandırılan bu deneyin yatay yük-deplasman çevrimi Şekil 6.89’de görülmektedir. Yapıda dayanım kaybı referans duvara benzer şekilde ortaya çıkmış olmasına rağmen yapının dayanımının arttığı gözlenmiştir.



Şekil 6.89. YB3G Numunesi yatay yük-deplasman davranışı

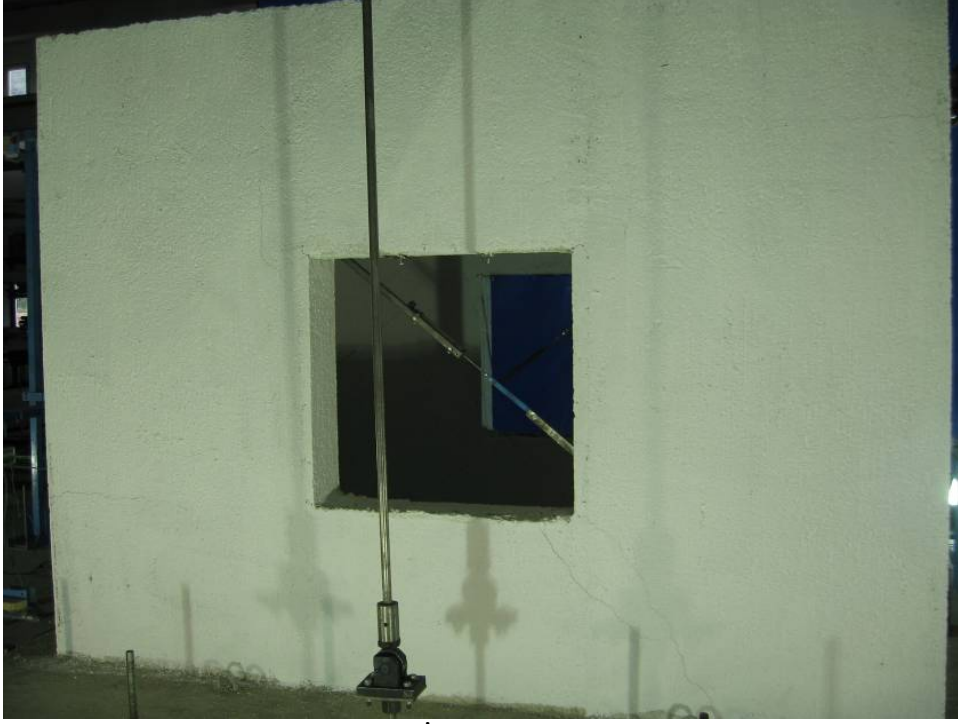
YB3A-G numunesinin deney sırasında çekilmiş resimleri Şekil 6.90-93'te görülmektedir. YB2A ve YB4A numunelerinden farklı olarak hasarsız iken güçlendirilen numunenin davranışında daha belirgin bir kapasite artışı görülmüştür.



Şekil 6.90. Deney öncesi aksenal yüklenmiş yapı

Hasar şekli diğer deneylerde görülen hasarlarla benzerdir. Deney sonunda yapıda gözlenen hasarlar Şekil 6.93'de verilmiştir.





Şekil 6.91. İlk çatlak oluşumları



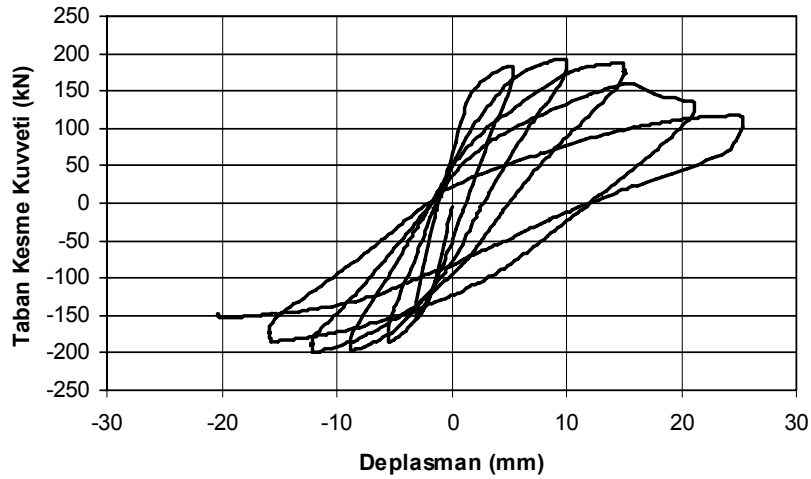
Şekil 6.92. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar



Şekil 6.93. Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar

#### 6.2.4 YB4HG Deneyi

Hasarlı iken onarılarak güçlendirilen YB4A-HG numunesinin yatay yük-deplasman çevrimi Şekil 6.94’de görülmektedir. YB4A-HG numunesinde 170 kN olarak bulunan yapı kapasitesi onarım-güçlendirme sonrasında 200 kN civarına yükselmiştir. Ancak, yapının yatay yük kapasitesini kaybetme şeklinin hasarsız iken yapılan deneyle benzer olduğu görülmüştür.



Şekil 6.94. YB4HG Numunesi yatay yük-deplasman davranışı

YB4A-HG numunesinin deney sırasında çekilmiş resimleri Şekil 6.95-98’de görülmektedir. YB4A ve YB4A-HG deneylerinde hasar asimetrik olarak gerçekleşmiştir. Ancak, YB4A deneyinde ve YB4A-HG deneylerinde hasar gören akslar birbirinden farklıdır.



Şekil 6.95. Deney öncesi aksenal yüklenmiş yapı

Modelin deney sonundaki görünümü Şekil 6.98’de verilmiştir. Burada şunu da kaydetmek gerekir ki, deney sonunda duvar köşe birleşimlerinde herhangi bir hasara rastlanmamıştır. Büyük hasarlar sadece düzlemine paralel doğrultuda yüklenen duvarlarda ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.96. İlk çatlak oluşumları





Şekil 6.97. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar

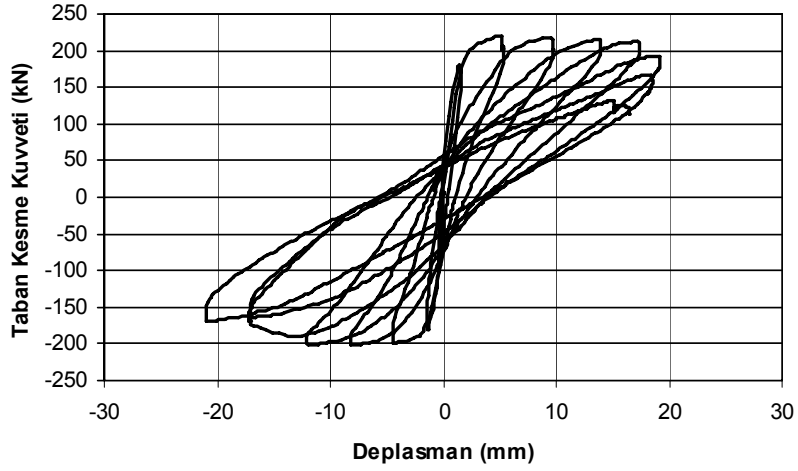


Şekil 6.98 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar

#### 6.2.5 YB5B Deneyi

YB5B numunesi pencereleri köşe birleşimlerine doğru kaydırılarak oluşturulmuş referans yapı modelidir. Yapının yatay yük-deplasman çevrimi Şekil 6.99'da görülmektedir. Şekil

6.100'de yapının deney öncesindeki görünümü verilmiştir. Numunede pencereler yönetmeliğe aykırı olacak şekilde köşeye yaklaştırılmıştır.



Şekil 6.99. YB5B Numunesi yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.100. Deney öncesi eksenel yüklenmiş yapı

Ancak, buna rağmen yapıdaki hasarlar minimum düzeyde kalmış, önemli bir hasar oluşmamıştır. Bu durum yapının çevrim eğrisinden de görülebilmektedir. Deneyler sırasında alınan resimler Şekil 6.101-103'te görülmektedir. Bu durum, yüklemenin şekline göre ortaya çıkmıştır. Bu tür bir yapıda daha da etkin hale gelebilecek olan düzlem dışı duvar davranışı modelde denenebilmektedir.





Şekil 6.101. İlk çatlak oluşumları

Ayrıca, deneyde pencere ile köşe birleşimi arasında kalan parçalarda diyagonal çatlaklar oluşmuş, diğer taraftaki büyük parçada oluşan diyagonal çatlaklar ise hemen yapının tabanına doğru ilerlemiştir. Yapının stabilite kaybı için bu çatlakların da köşeye doğru ilerlemesi gerekmektedir. Ancak, bu ilerleme platform-model yapı arasındaki soğuk derz boyunca gerçekleşmiş ve yapı neredeyse bir bütün halinde kaymıştır. Bu da oluşan sürtünme etkisi ile yapının kapasitesini korumasına sebep olmuştur.



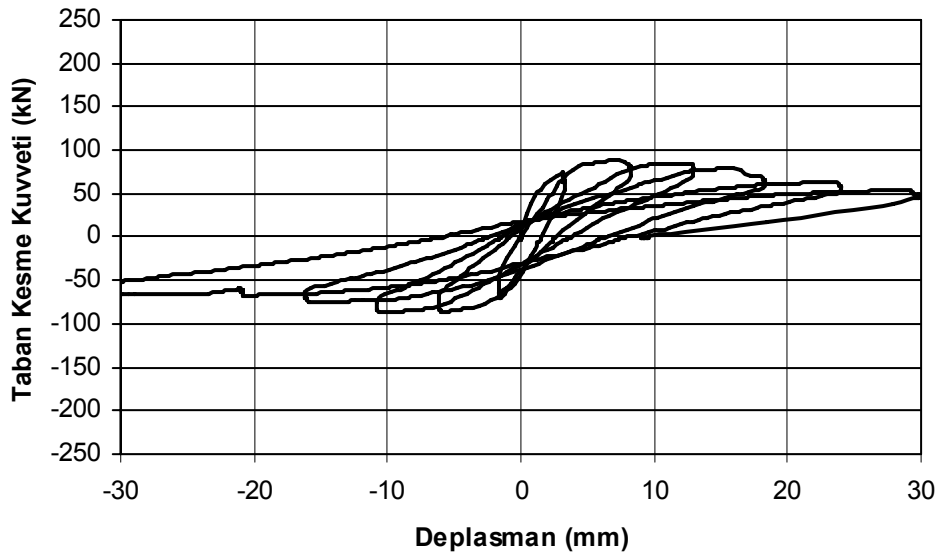
Şekil 6.102. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar



Şekil 6.103 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar

#### 6.2.6 YB7C Deneyi

YB7C numunesinde yüklemeye paralel doğrultudaki pencere boşluğu sayısı 2'ye çıkarılmıştır. Oluşturulan bu referans yapı modelinin yatay yük-deplasman çevrimi Şekil 6.104'te görülmektedir. Şekil 6.105'de yapının deney öncesindeki görünümü verilmiştir. Numunede pencerelerin alanı yönetmeliğe aykırı olacak şekilde fazlalaştırılmıştır.



Şekil 6.104. YB7C Numunesi yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.105. Deney öncesi aksel yüklenmiş yapı

Deneyler sırasında alınan resimler Şekil 6.106-108’de görülmektedir. Model yapıda pencere kenarlarında kalan kısımlarda hasarın yoğunlaştığı daha deneyin başında görülmektedir.



Şekil 6.106. İlk çatlak oluşumları

Deney sonunda özellikle iki pencere arasında kalan duvar parçalarında ciddi hasar ortaya çıkmıştır. Buna karşın, yaklaşık olarak aynı boydaki pencere-köşe birleşimi arasında kalan duvar parçaları daha az hasar görmüştür. Bu durum yüklemeye dik duvarların da bu duvar parçalarının dayanımına katkı sağladığını göstermektedir.





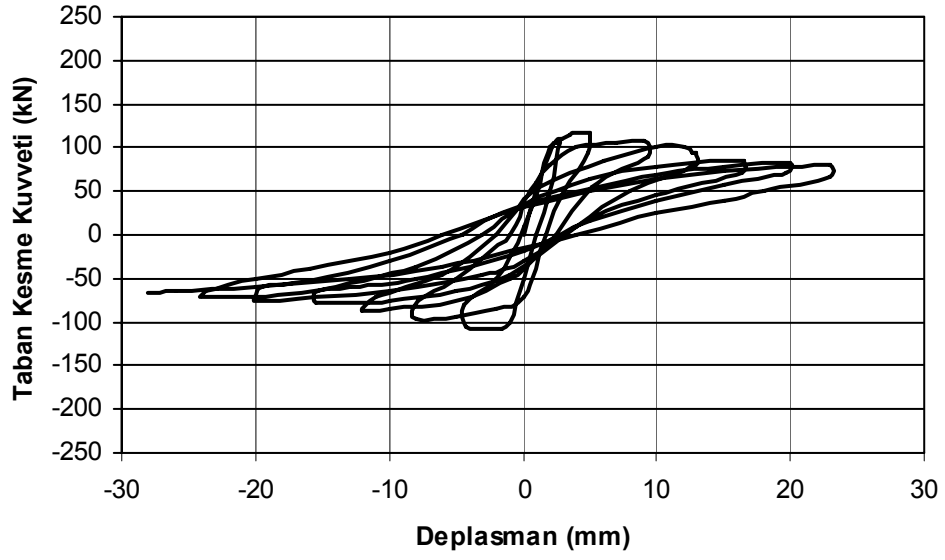
Şekil 6.107. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar



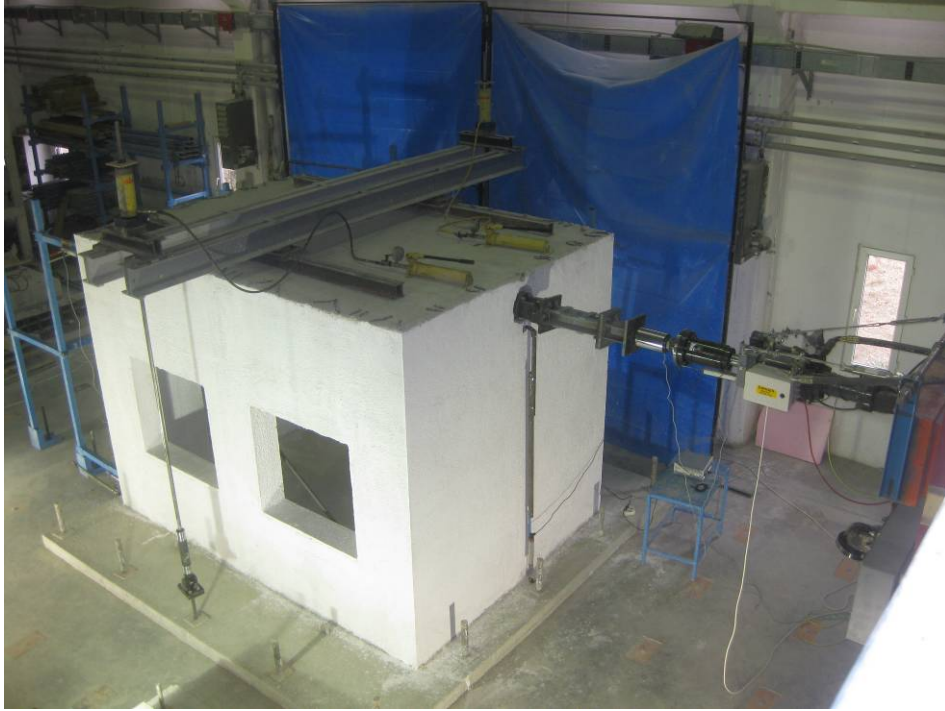
Şekil 6.108 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar

### 6.2.7 YB8C-G Deneyi

YB8C-G numunesi YB7C referans numune ile aynı özelliklerde olup güçlendirilen numunedir. Yapının yatay yük-deplasman çevrimi Şekil 6.99'da görülmektedir. Şekil 6.100'da yapının deney öncesindeki görünümü verilmiştir.



Şekil 6.109. YB8C-G Numunesi yatay yük-deplasman davranışı



Şekil 6.110. Deney öncesi aksenal yüklenmiş yapı

Deneyler sırasında alınan resimler Şekil 6.101-113'te görülmektedir. Numunede ilk çatlak oluşumları yine iki pencere arasında kalan duvar parçalarında meydana gelmiştir. Ancak, referans numuneden farklı olarak deneyin ilerleyen aşamalarında pencereler ile duvar köşesi arasında kalan parçalarda da hasarlar ortaya çıkmıştır. Davranıştaki bu değişim pencereler arasında kalan parçanın hemen kapasite kaybı yaşamaması sonucu ortaya çıkan bir durumdur.



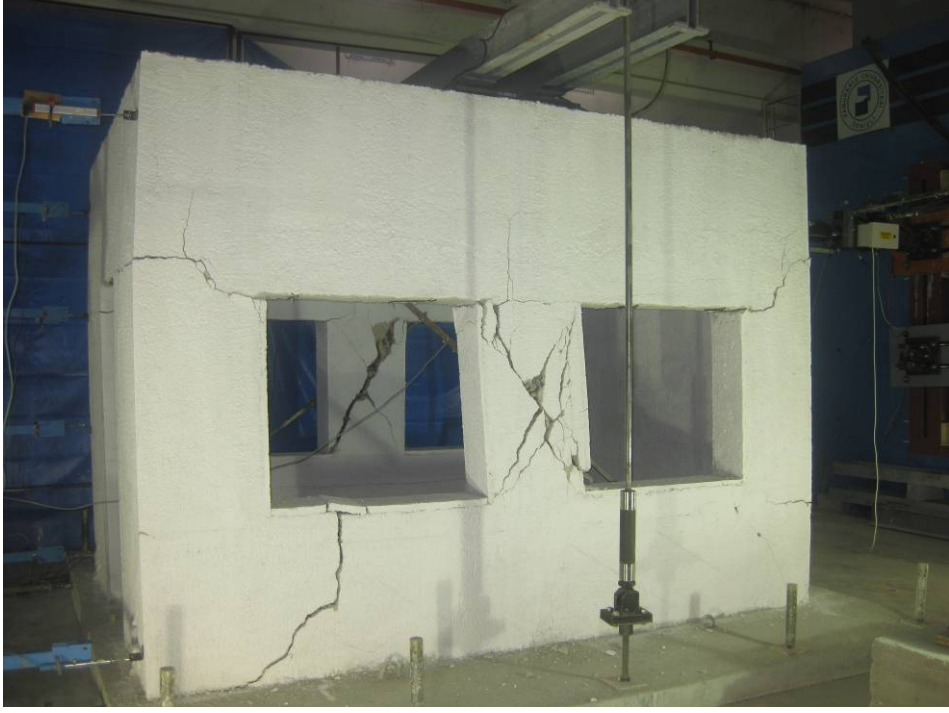


Şekil 6.111. İlk çatlak oluşumları



Şekil 6.112. İlerleyen çevrimlerde oluşan çatlaklar

Sonuçta yapıda önemli ötelenmeler ve hasarlar ortaya çıkmasına rağmen bir stabilite kaybı yaşanmamıştır. Yapının göçme öncesi daha çok hasar görebilir hale gelmesi de oldukça önemli bir noktadır.

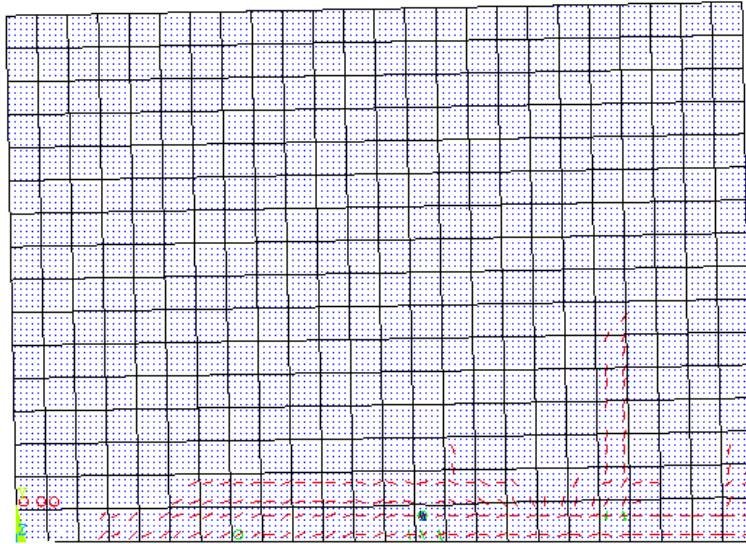
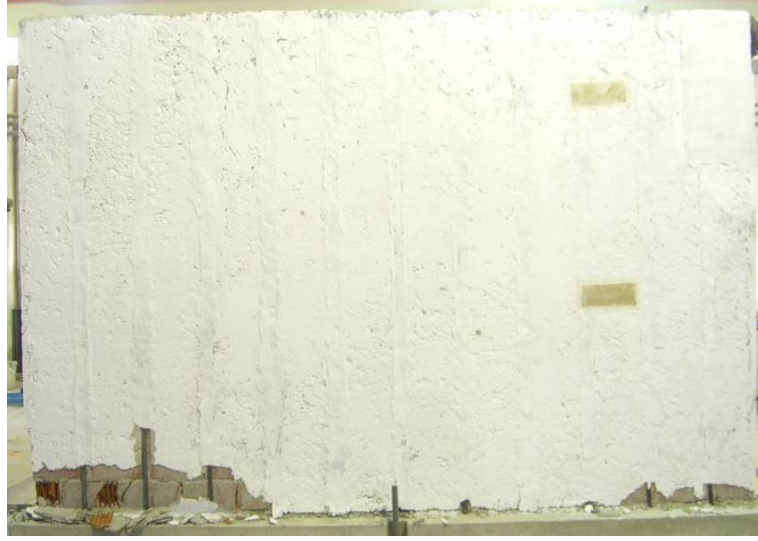


Şekil 6.113 Deney sonunda ortaya çıkan hasarlar

## 7 ANALİZ VE DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

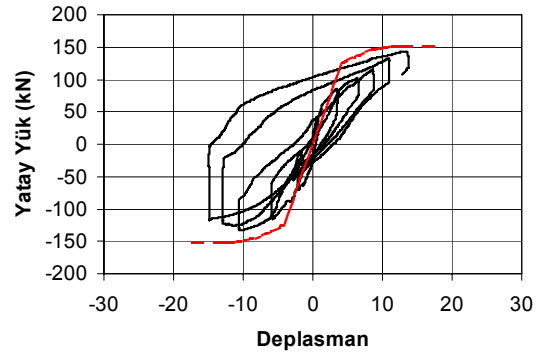
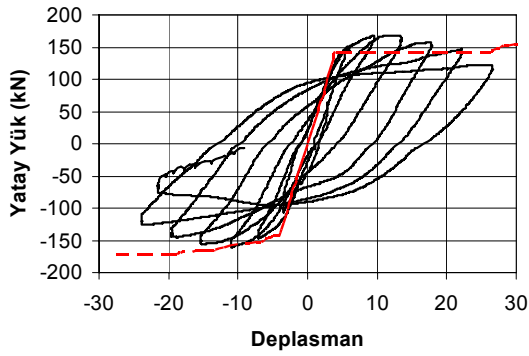
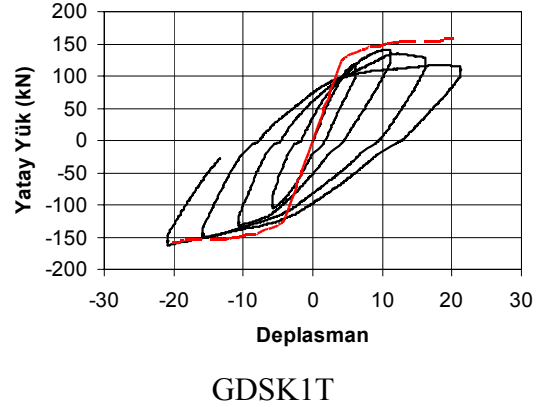
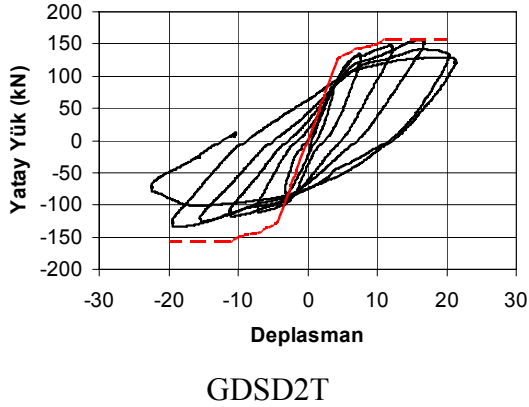
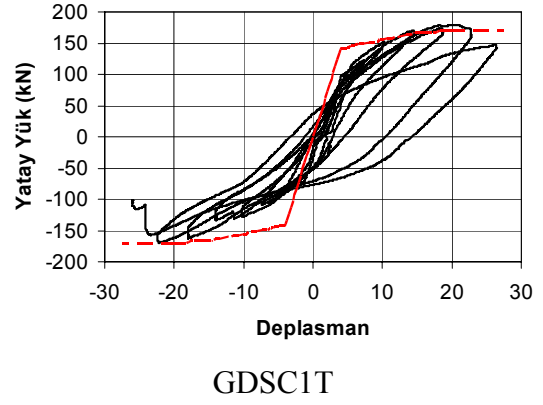
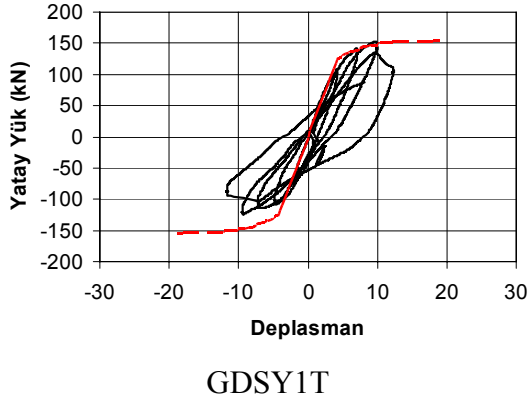
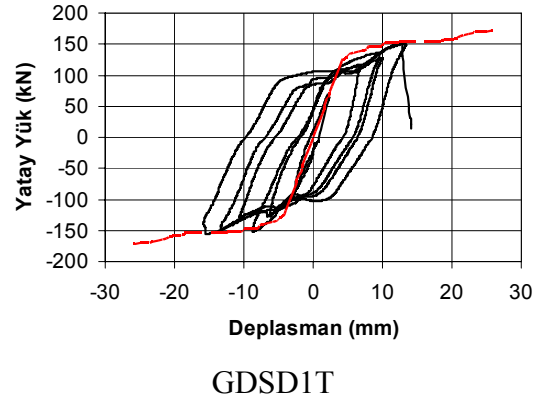
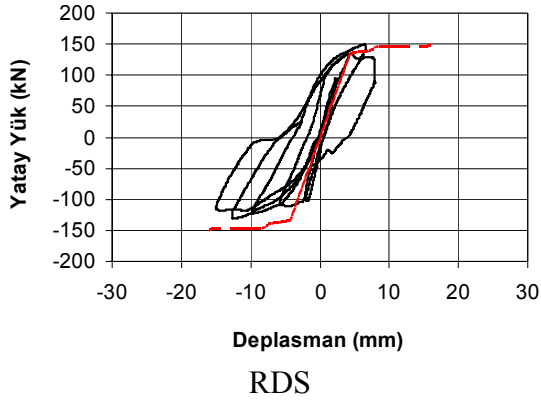
### 7.1 Analiz ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Boşluksuz duvar numunelerinin deney ve analiz sonucunda ortaya çıkan hasar şekilleri Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Örnek olarak seçilen numunede ve diğer boşluksuz duvarlarda benzer hasar şekilleri ortaya çıkmış ve sayısal model de bu hasarları doğru bir şekilde tahmin edebilmiştir.



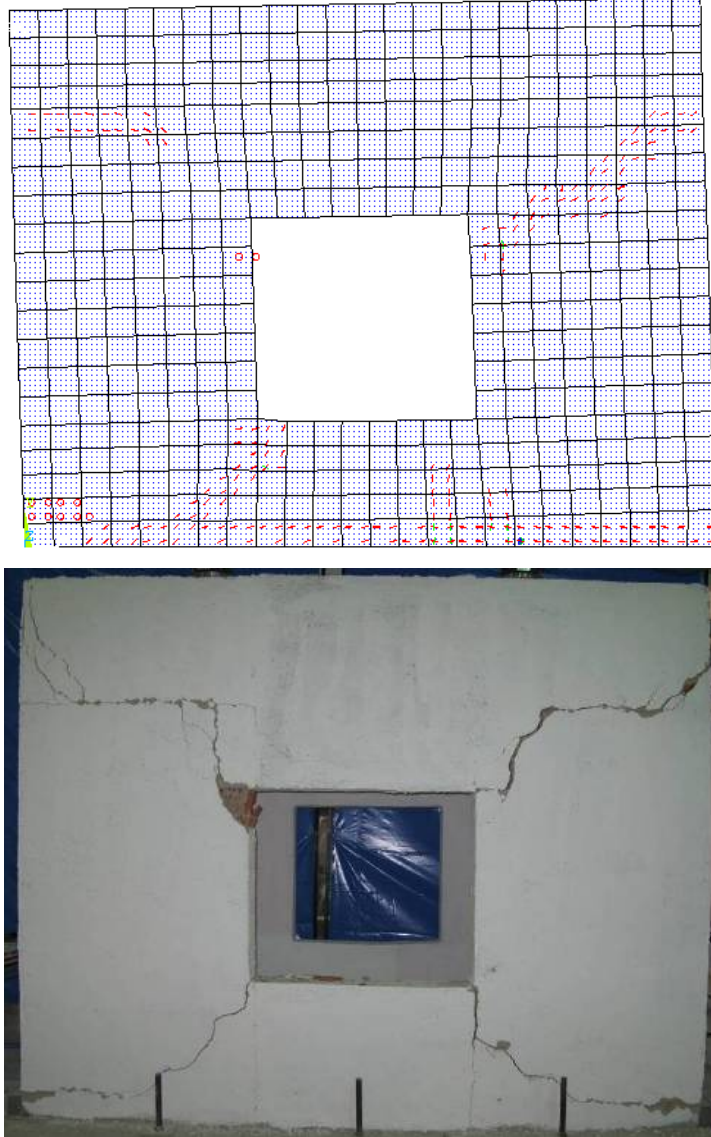
Şekil 7.1. Boşluksuz deney elemanlarında sayısal modelde ve deneyde oluşan hasar şekilleri

Deney ve analizler sonunda elde edilen kapasite eğrileri Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Deney numunelerinin yatay yük kapasitelerinin tahmini açısından sayısal modellerin başarılı olduğu görülmektedir. Ancak, model deplasman kapasitesinin bulunması açısından başarılı sonuçlar vermemiştir. Bunun yanında sayısal modellerin yapı rijitliğini başarılı bir şekilde tespit için kullanılabileceği görülmüştür.



Şekil 7.2 Deney ve analiz sonucunda elde edilen model kapasiteleri

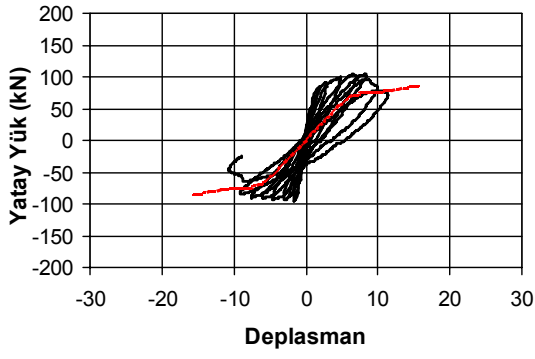
Boşluklu duvar numunelerinin deney ve analiz sonucunda ortaya çıkan hasar şekilleri Şekil 7.3'te görülmektedir. Bazı değişiklikler olmakla birlikte bu türdeki deney modellerinde genellikle diyagonal çatlaklar ortaya çıkmıştır. Örnek olarak seçilen numunede ve diğer duvarlarda deneysel ve sayısal modellerde benzer hasar şekillerinin oluştuğu görülmüştür.



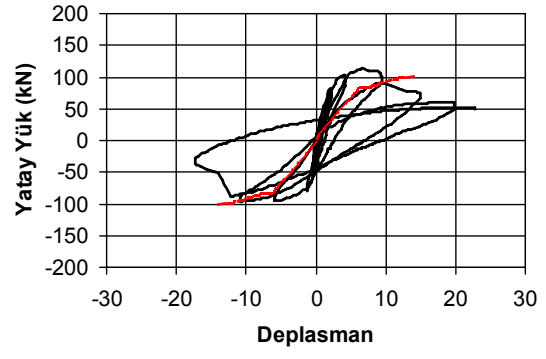
Şekil 7.3. Boşluklu deney elemanlarında sayısal modelde ve deneyde oluşan hasar şekilleri

Boşluklu duvarların sayısal ve deneysel kapasiteleri ise Şekil 7.4'te karşılaştırılmıştır. Duvar akma dayanımları bir miktar düşük olarak hesaplanırsa da duvarların maksimum yük taşıma kapasiteleri hemen hemen doğru olarak belirlenmiştir. Burada dikkati çeken bir nokta boşluksuz duvarların rijitliğinin doğru olarak belirlenebilmesine rağmen boşluklu duvarların rijitliğinin sayısal modelde doğru olarak tahmin edilememesidir. Bunun en önemli sebebi duvarların göçme modunda ortaya çıkan farklılaşmadır. Boşluksuz duvarda doğru tahmin edilen rijitlik duvar tabanında kayma davranışına karşı gösterilen rijitliktir. Ancak, boşluklu duvarlarda bu tarz bir kayma meydana gelmediği için diyagonal çatlaklar oluşabilmiştir. Bu rijitliğin ise ANSYS modeli ile doğru bir şekilde belirlenemediği görülmüştür. Ayrıca, yapılan analizlerde yük düşüşleri de görülememiştir.

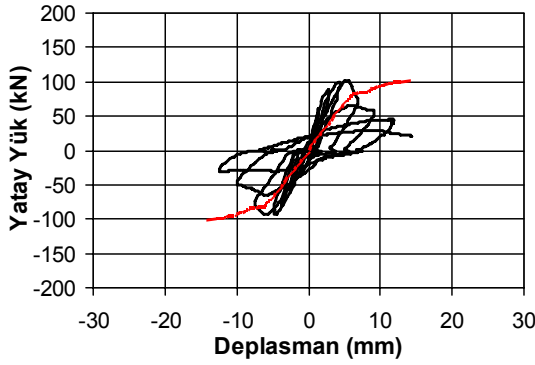




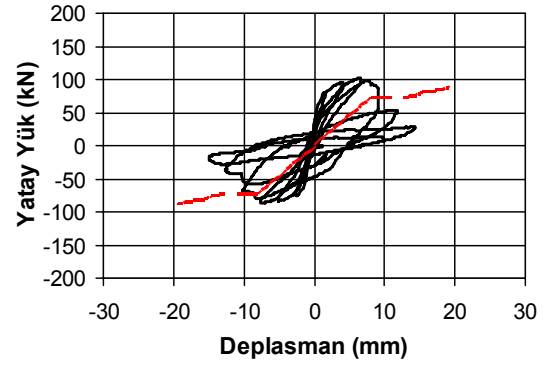
10-RDP



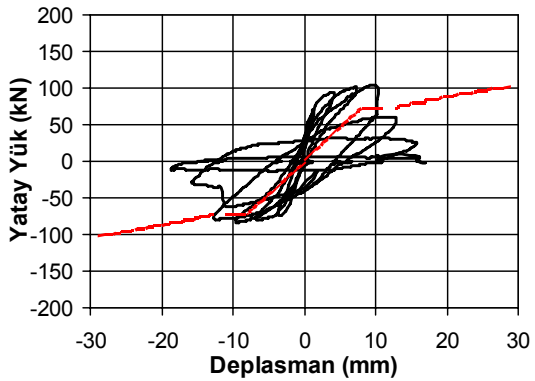
11 GDPC1T



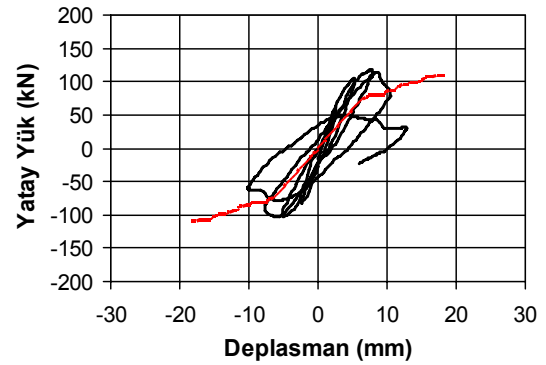
12 GDPC1S



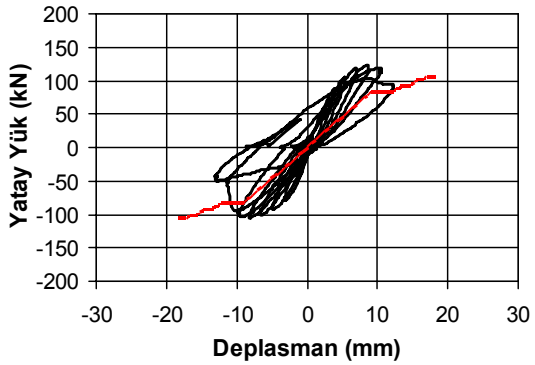
13 GDPCU1S



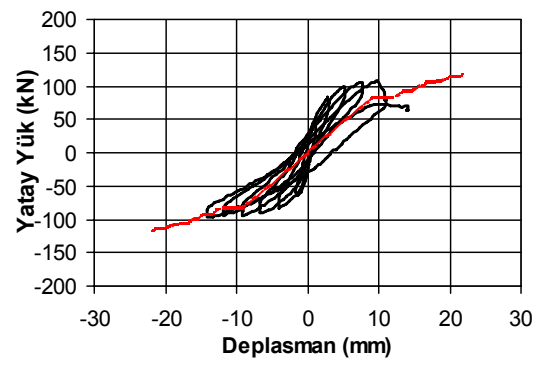
14 GDPCU1S2



15 RDP-E



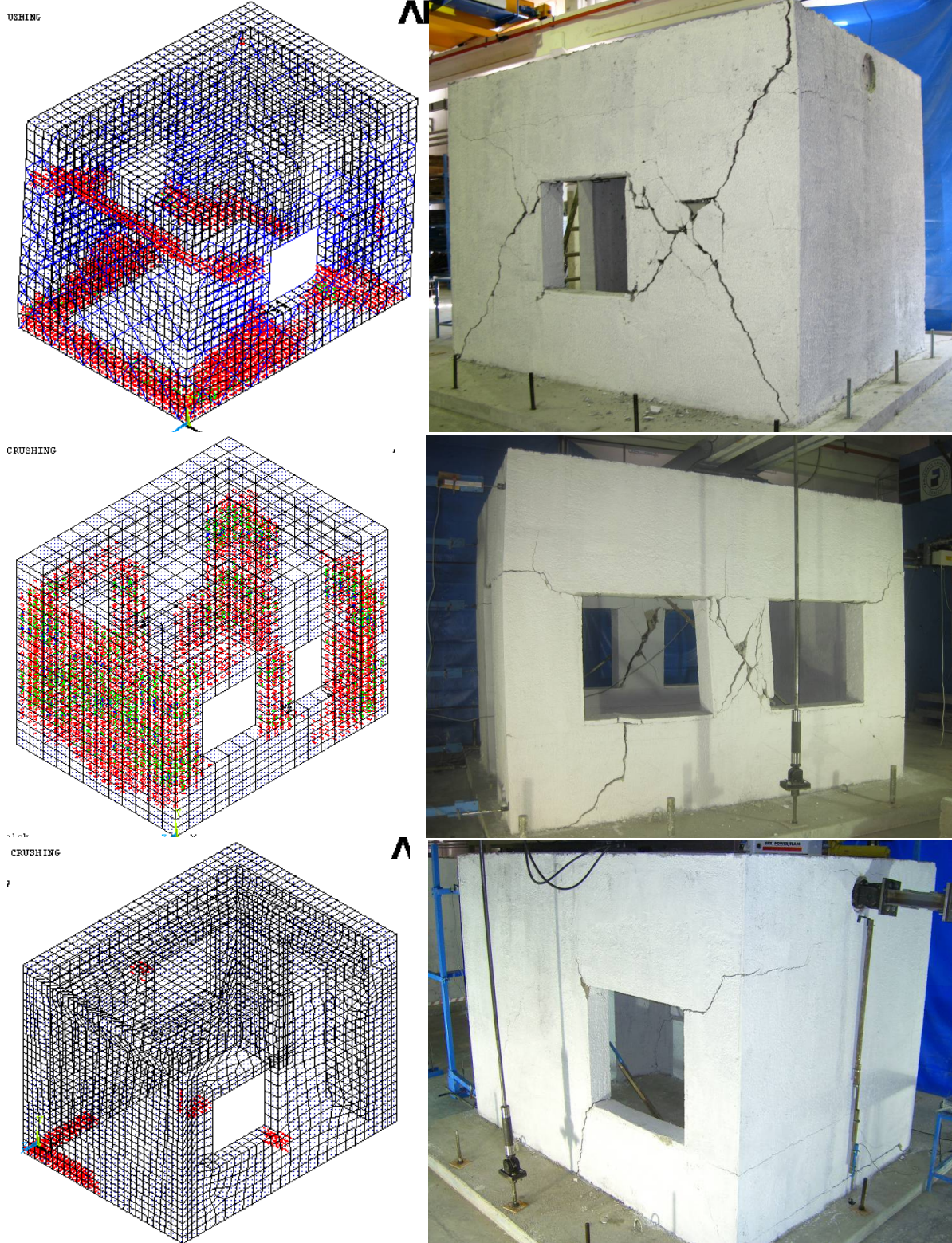
16 GDPCU1S-E



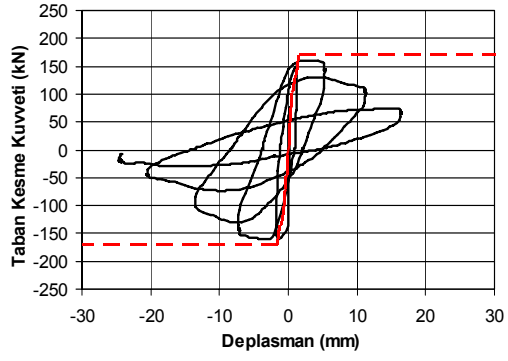
17 GDPCYD1S-E

Şekil 7.4 Deney ve analiz sonucunda elde edilen model kapasiteleri

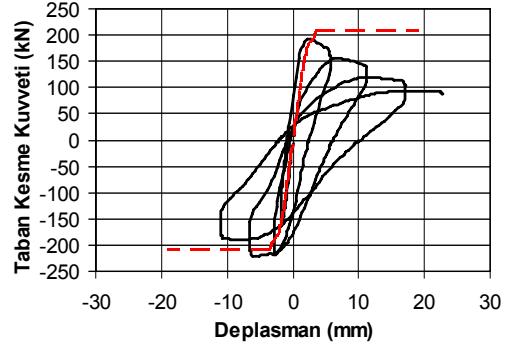
Bina modellerinin analizinde ve deneylerinde ortaya çıkan hasar şekilleri Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Diyagonal çatlak şekilleri tam oluştuğu gibi hesaplanmasa da genel olarak hasar şekillerinin gerçeğe yakın olduğu görülebilmektedir. Analiz ve deneyler sonucunda bulunan bina kapasite eğrileri de Şekil 7.6'da karşılaştırılmıştır.



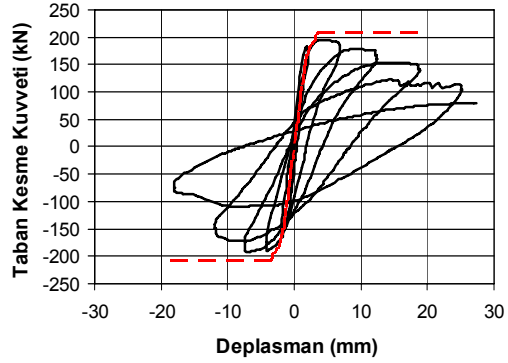
Şekil 7.5. Bina numunelerinin sayısal modelinde ve deneyde oluşan hasar şekilleri



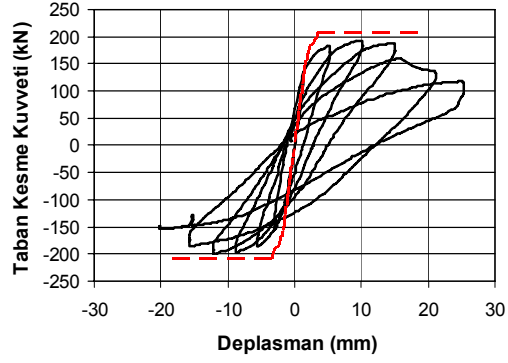
YB1A



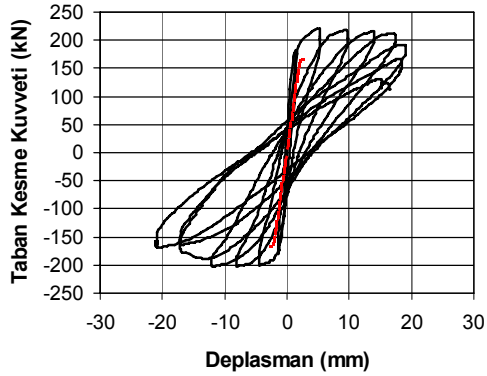
YB2A-HG



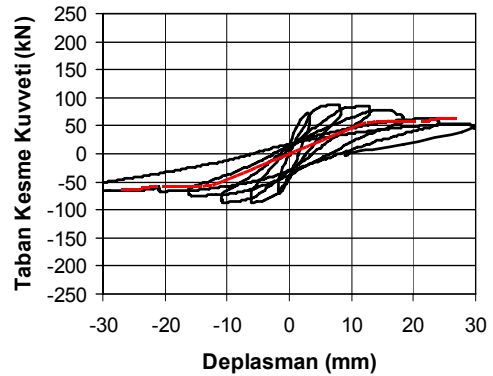
YB3A-G



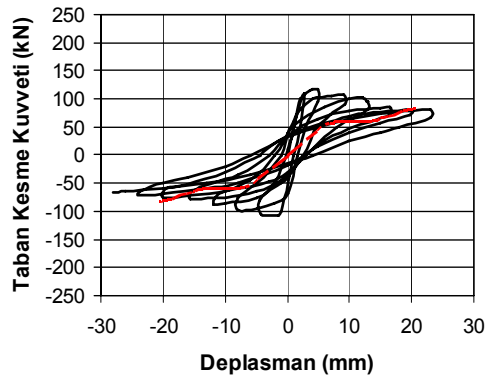
YB4A-HG



YB5B



YB7C



YB8C-G

Şekil 7.6 Bina modelleri için deney ve analiz sonucunda elde edilen kapasiteler

Elde edilen kapasite eğrilerinden görüleceği gibi tahmin edilen yapı kapasitesi boşlukların düzenli yerleştiği modelde deneysel kapasitenin üzerinde kalmış diğer modellerde ise daha düşük olarak tahmin edilmiştir. Tek pencereye sahip modellerde rijitlik tatmin edici şekilde doğru tahmin edilmişken iki pencereyi YB7C ve YB8C-G modellerinde deney ve analiz sonucu bulunan rijitlik değerleri birbirinden oldukça farklıdır.

Tek pencereyi deneylerde görülen 150-200 kN'luk yatay yük kapasiteleri pencere sayısının artması ile 90-100 kN mertebelerine düşmüştür. İlave pencere açılması ile daha sünek bir yapı davranışı ortaya çıksa da pencerelerin arasındaki parçada çok büyük lokal hasarlar oluşmuş ve yapı kapasitesi ciddi oranda düşmüştür.

Hasarlı numunelerin güçlendirilmesi sırasında iyi bir işçilikle onarılması durumunda ilk rijitliklerini kazanabildikleri de görülmüştür.

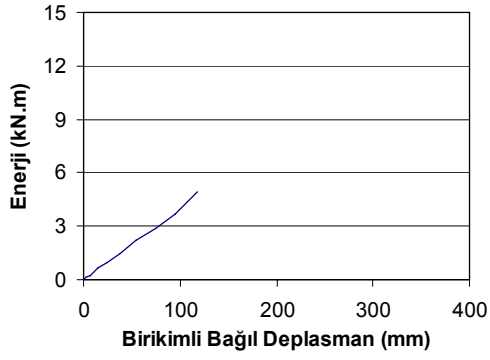
## 7.2 Güçlendirilmiş Sistemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi

Güçlendirilmiş elemanlar ve referans deney elemanları modellerin taban kesme kuvveti, deplasman kapasitesi ve tüketilen enerji miktarına göre karşılaştırılmıştır. Deney sonunda elde edilen kapasite eğrilerinden bütün deney modelleri için enerji tüketim grafikleri oluşturulmuştur.

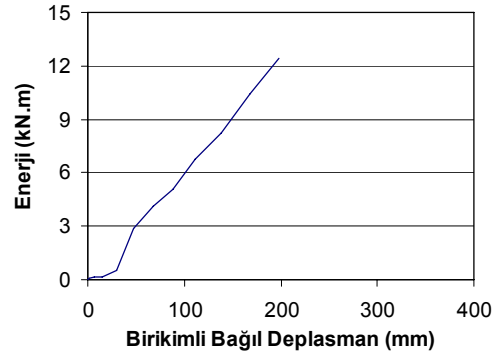
Boşluksuz duvar elemanları için elde edilen enerji tüketim grafikleri Şekil 7.7'de gösterilmiştir. Referans numunede ve sadece yatay lastiklerle güçlendirilen numunelerde (GDSY1T ve GDSY2T) benzer bir enerji tüketim şeklinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durum yatay lastikli numunelerde lastiklerin kayma düzleminden geçmemesi sebebiyle etkin olmamasından kaynaklanmıştır. Ancak çapraz ve düşey lastiklere sahip diğer güçlendirilmiş numunelerde hem deplasman hem de enerji tüketim kapasitelerinde önemli bir artış olduğu görülmektedir.

Şekil 7.8'de boşluklu duvarlar için elde edilen enerji tüketim grafikleri görülmektedir. Tamir harcı kullanılarak lastik üzeri kapatılan modelde enerji tüketiminde ciddi bir artış meydana gelmiştir. Kaplama malzemesi olarak sıva harcı kullanılan modellerde aynı performans yakalanamamıştır. Ancak sıva harcı kullanılan modeller arasında en iyi sonucu pencere etrafına ilave lastikler yerleştirilen model vermiştir. Eksenel yük düzeyi yüksek olan referans model diğer pencereyi referans modelle karşılaştırıldığında enerji tüketiminde bir miktar düşüş görülmektedir. Eksenel yük düzeyinin artması ile güçlendirmenin etkinliğinde de bir azalma ortaya çıkmıştır.

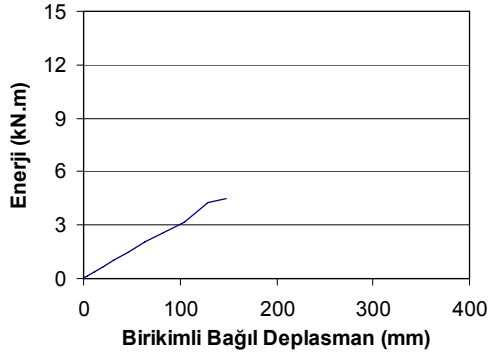
Bina modellerinin enerji tüketim grafikleri de Şekil 7.9'da verilmiştir. Az hasarlı iken güçlendirilen YB2A numunesinde enerji tüketimi bakımından herhangi bir iyileşme görülmemiştir. Ancak hasarsız iken güçlendirilen YB3A-G ve tersinir yükleme ile hasar verilen YB4A-HG numunelerinde bir iyileşme ortaya çıkmıştır. YB4A-HG'nin kapasitesindeki artış tamamen hasar verme esnasında yapıda ortaya çıkan burulmadan kaynaklanmaktadır. Burada hasar görmeyen bir taraftaki duvar bu iyileşmeye sebep olmuştur. Pencere boşluğunun kenara yaklaştığı YB5B numunesinin de penceresi simetrik olan referans numuneden daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Bu durum iki kısa duvar yerine bunlardan biraz daha uzun bir duvarın daha etkili olması ile açıklanabilir. Bu numune piston kapasitesini oldukça zorladığı için numunenin güçlendirilmiş versiyonu üretilmemiştir.



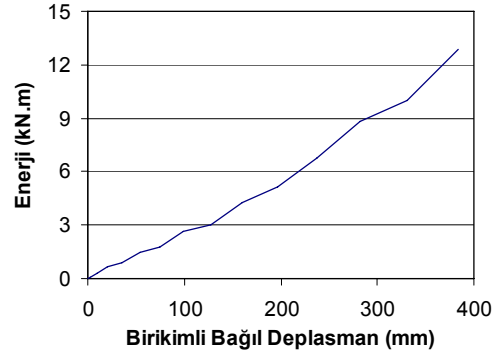
RDS



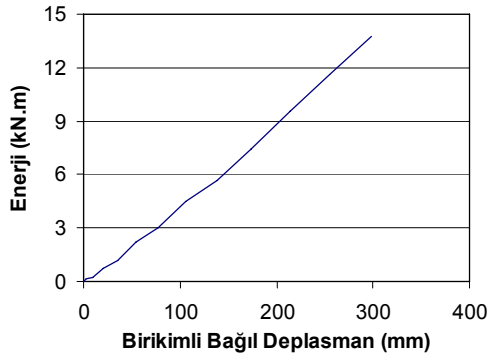
GDSD1T



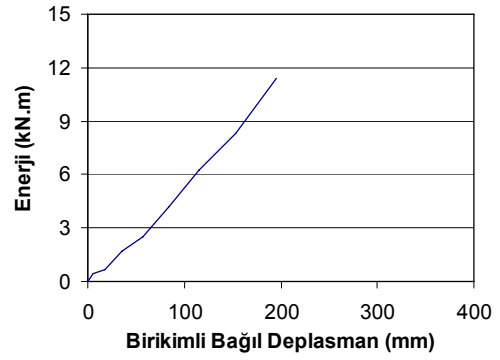
GDSY1T



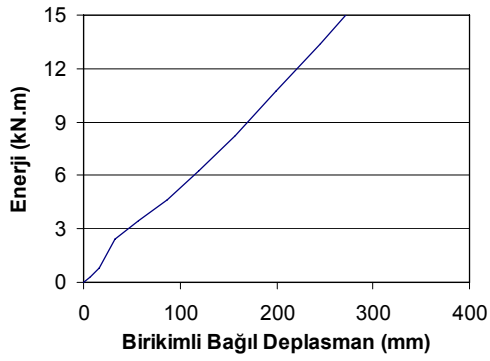
GDSC1T



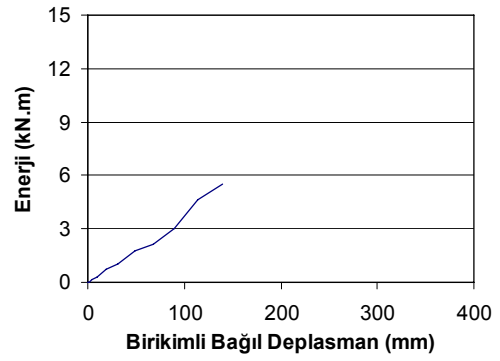
GDSD2T



GDSK1T



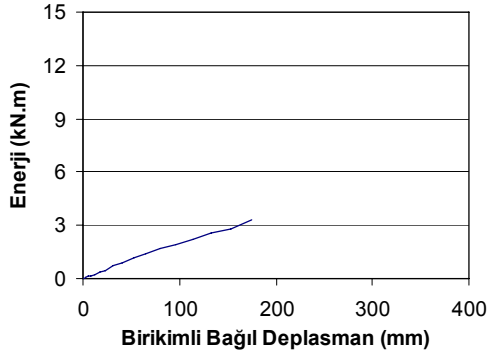
GDSC2T



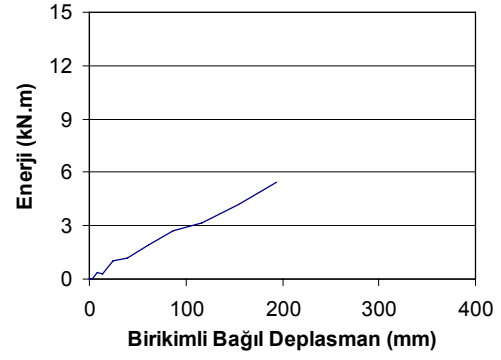
GDSY2T

Şekil 7.7 Boşluksuz duvarlarda enerji tüketimi

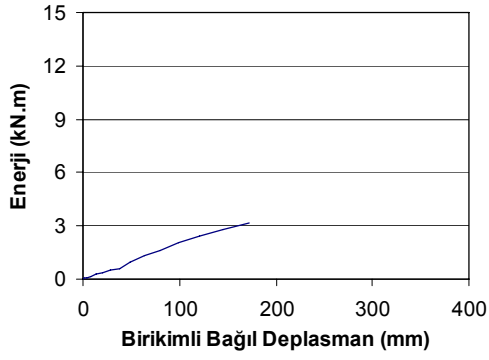




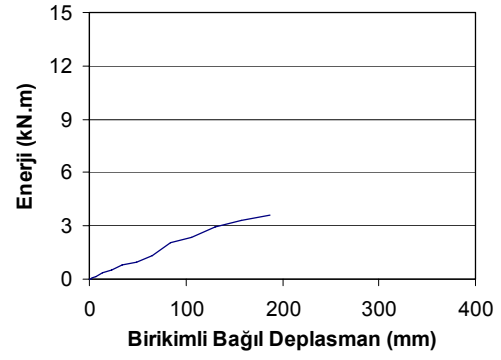
10-RDP



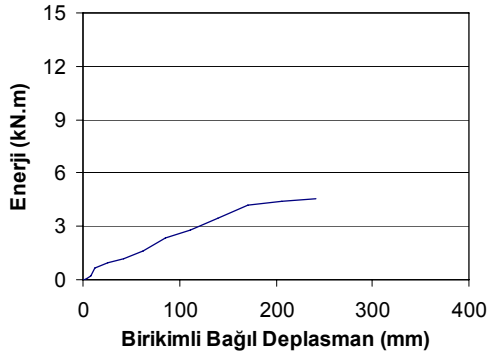
11 GDPC1T



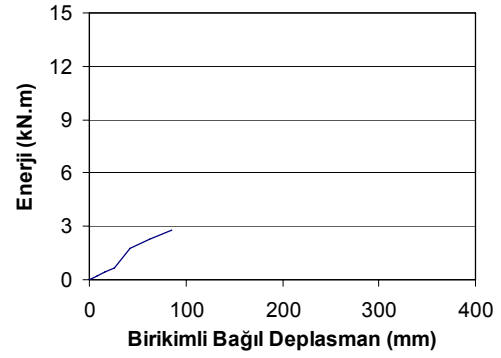
12 GDPC1S



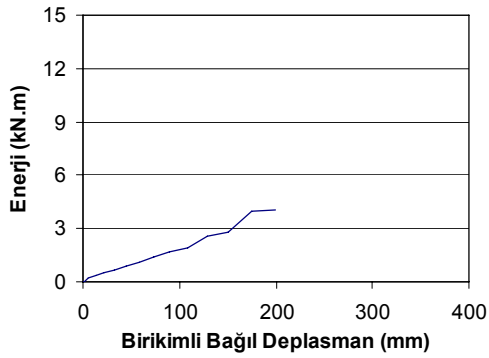
13 GDPCU1S



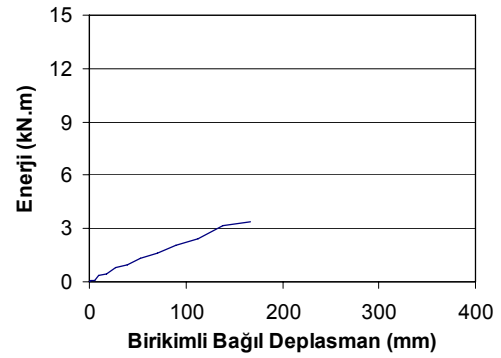
14 GDPCU1S2



15 RDP-E

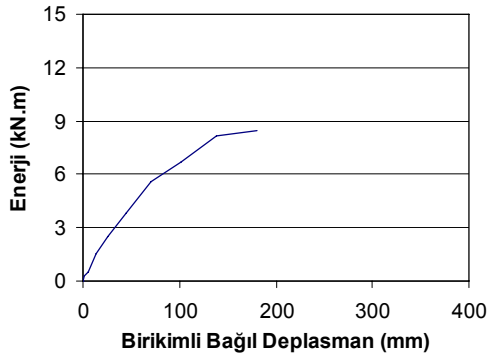


16 GDPCU1S-E

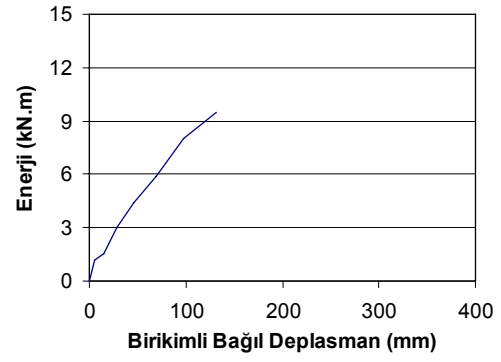


17 GDPCYD1S-E

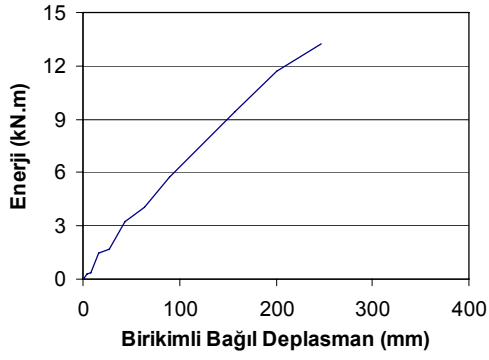
Şekil 7.8 Boşluklu duvarlarda enerji tüketimi



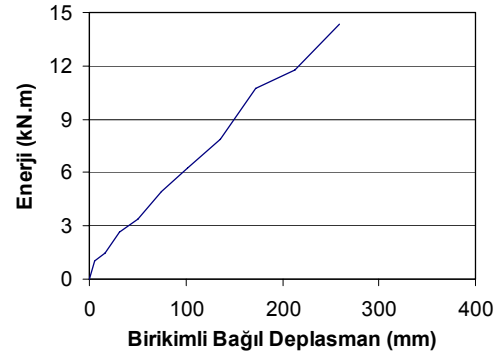
YB1A



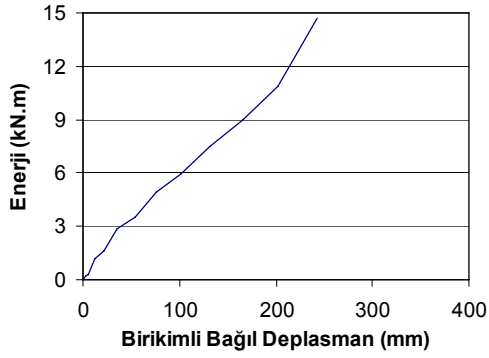
YB2A-HG



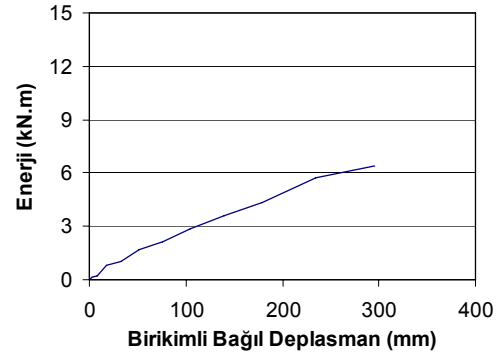
YB3A-G



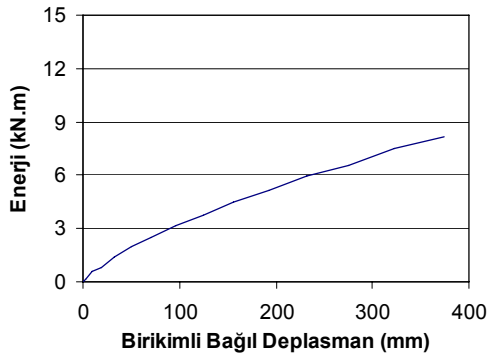
YB4A-HG



YB5B



YB7C



YB8C-G

Şekil 7.9 Bina modellerinde enerji tüketimi

İki pencere boşluğu bulunan modellerde de referans numuneye göre ciddi bir performans düşüşü olmasına karşın, yapılan güçlendirme sonrası enerji tüketim kapasitesinin iyileştiği görülmüştür.

## 8 SONUÇLAR

### 8.1 Envanter Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar

Envanter çalışması ile Ege Bölgesinde incelenen yığma yapıların DBYYHY 2007 hükümlerine göre durumları ortaya konulmuştur. Yığma yapılarda hangi tasarım ve uygulama hatalarının yapıldığı ve bu hataların hangi yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir. Ege Bölgesindeki yığma yapıların %94'ü bir ve iki katlı yapılardan oluştuğu, yarıdan fazlasının (%51), DBYYHY 2007 Yönetmeliğin 5.4.6.1 maddesinde hükme bağlanan bina köşesi ile bina boşlukları arasında öngörülen mesafeyi sağlamadığı görülmüştür..

Özellikle bitişik nizam konutlar ve ticari alanlarda karşılaşılan, kapı ve pencere boşlukları uzunlukların, mesnetlenmemiş duvar uzunluğu boyunca %40 oranını geçmesi nedeniyle incelenen yapıların %34 ünün yönetmeliğin 5.4.6.6 maddesi Sağlamadığı görülmüştür. Yönetmeliğin 5.4.6.2 maddesinde yer alan “Bina köşeleri dışında, pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.0 m’den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 0.8 m’den az olmayacaktır” hükmünün ise %32 lik bir oranla sağlanmadığı görülmüştür. Yönetmeliğin taşıyıcı duvar malzemesi ile ilgili nitelik ve dayanım hükümlerini içeren 5.4.2.2. maddesi ve 5.4.1.1 maddesi sırası ile %26 ve %25 oranlarında karşılanmamaktadır. Bu durum Ege Bölgesindeki her dört yığma binadan birinin taşıyıcı duvar malzemesinin sorunlu olduğunu göstermektedir.

Yönetmeliğin yığma duvarlarda taşıyıcı duvarların düzenli ve simetrik olması şartını getiren 5.2.5 maddesi ve taşıyıcı duvarların planda mutlaka üst üste gelmesini şart koşan 5.2.6 maddesi % 13’erlik oranlarla karşılanamamaktadır. Bina köşeleri dışında birbirini dik kesen duvarların ara kesitine en yakın pencere ve kapı boşluğu ile duvarın ara kesiti arasında bırakılacak olan duvar parçasının uzunluğunun 0,50 m. den az olmayacağını hükme bağlayan yönetmeliğin 5.4.6.4 maddesi de %13 oranında karşılanamamaktadır. Yığma binaların kat yüksekliğini düzenleyen 5.2.4 maddesi %12 oranında, kapı ve pencerelerin plandaki uzunlukların 3,0 m den fazla olmayacağını düzenleyen 5.4.6.5 maddesi %11 oranında karşılanamamaktadır. Diğer yönetmelik maddelerinin karşılanamama oranları %10’un altında yer almaktadır.

### 8.2 Sayısal ve Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Boşluksuz deneylerde duvarlarda hasar tabanda kayma şeklinde gerçekleşmiştir. Bu duvarlarda lastik şeritlerin uygun şekilde yerleştirilmesi ile duvar dayanımında ve sünekliğinde artış sağlanabildiği görülmüştür. Lastiklerin çatlak düzleminden geçmediği yatay lastikli durumlarda, duvar yatay yük kapasitesi ve sünekliğinde herhangi bir artışın olmadığı görülmüştür. Buna karşın çatlak düzlemlerini kesen düşey yerleştirilmiş lastiklerin bulunduğu duvarlarda ciddi bir yatay yük kapasitesi değişikliği olmasa da sünekliğin olumlu şekilde arttığı görülmüştür. Bu şekilde güçlendirilen duvarlarda maksimum yük kapasitesine ulaşıldıktan sonra, çatlakların gevrek hasar oluşturmaksızın geliştiği görülmüştür. Uygun yerleştirilecek lastik şeritlerin duvarın enerji tüketme kapasitesini artırdığı gözlenmiştir.

Pencereli duvarlar üzerinde gerçekleştirilen 8 yığma duvar deneyi ile eksenel yük düzeyi, kullanılan malzeme türü gibi değişikliklerle güçlendirmenin farklı kırılma modlarındaki

etkinliği de araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, boşluksuz duvarlara benzer şekilde lastikle güçlendirilmiş pencerele duvarların yatay yük kapasitesinde önemli bir değişiklik olmadığı ancak deplasman kapasitelerinin arttığı gözlenmiştir. Lastiklerin tamir harcı ile kapatılmasının performansına daha olumlu etki yaptığı ayrıca boşluk kenarlarının lastiklerle sargılandığı ve boşluk etrafına ilave lastik koyulduğu durumlarda deplasman kapasitesinde artış olduğu ve stabilite kaybının da geciktiği görülmüştür.

Proje kapsamında 7 adet model bina üzerinde 9 adet deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonunda, hasarsız yığma yapıların önerilen yöntemle güçlendirilmesi sonucunda duvar deneylerine benzer şekilde sonuçlar elde edilmiştir. Yatay yük kapasitesinde bir miktar artış sağlanmış bunun yanında, güçlendirilen yapıların deplasman ve enerji tüketim kapasiteleri olumlu olarak değişmiştir. Ancak, hasarlı iken onarılarak güçlendirilen modellerde, bu olumlu etkilerden söz edilmesi oldukça zordur. Buna karşın, hasarlı yapılarda hasar gören bölgelerin iyi bir işçilikle onarılması sonrasında yapının ilk rijitliğini kazanabildiği de elde edilen önemli bir sonuçtur.

Pencere yerleşiminin ve miktarının yapının yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde büyük etkisi olduğu deneysel olarak görülmüştür. Tek pencerele duvarlarda dayanımın daha fazla olduğu bunun yanında iki pencerele duvarlarda dayanımın diğer numunelere göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Ansys ile gerçekleştirilen sayısal çözümlerin, özellikle lineer ötesi davranışta deney verileri ile beklenildiği ölçüde örtüşmediği görülmüştür. Bu durum kullanılan makro modelleme tekniği ile duvardaki çatlak dağılımının ve duvarın elastik olmayan davranışının yakalanmasının zor olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle homojen olmayan yapısı dolayısıyla karmaşık bir davranışa sahip olan yığma binaların doğrusal olmayan davranışlarının makro modelleme teknikleri ile belirlenmesinin büyük zorluklar içerdiği görülmüştür. Sayısal modeller maksimum yapı dayanımı bakımından tatmin edici sonuçlar vermesine rağmen, çatlakların yaygınlaşması sonrasında ortaya çıkan dayanım kaybını yakalayamamışlardır. Özellikle boşluklu duvarlarda model rijitlikleri sayısal analizlerle doğru bir şekilde belirlenememiştir. Yapılan modellemenin lineer yapı davranışının ve yatay yük kapasitesinin belirlenmesi için kullanılabilmesi mümkündür. Ancak yapı rijitliğinin ve sünekliğinin belirlenmesi için kullanımı uygun olmayacaktır.

### 8.3 Öneriler

Yapılan envanter çalışması sonunda kırsal kesimde ve kentlerde yer alan yığma yapılarda önemli yetersizliklerin bulunduğu hatta %20'sinin hiçbir deprem etkisine maruz kalmadan hasar gördüğü belirlenmiştir. Bu sebeple bu yapıların rehabilitasyonu önemli bir sorun olarak ele alınmalıdır.

Bu çalışma ile önerilen lastik şeritlerle güçlendirme yöntemi bina kullanıcılarının kendilerinin bile uygulayabileceği basit bir yöntem olarak bu binaların performansında iyileşme sağlayacaktır. Pek çoğu sıvasız olan bu yapıların güçlendirme esnasında sıvanması ile de ekstra bir dayanım artışı sağlanabilecektir.

Ancak, otomobil lastikleri ile güçlendirme yönteminin yapının performansında sınırlı bir iyileşmeye sebep olması dolayısıyla, özellikle okul, sağlık ocağı gibi kamu yapılarında



kullanımı uygun görülmemektir. Bilindiği gibi, deprem yükleri altında deplasman talebinin azaltılması gerekli yapılarda, yapı rijitliğinin artırılması alınacak en basit önlemdir. Çalışma kapsamında incelenen yöntemin yatay yük kapasitesine çok az katkı sağladığı görülmesine rağmen yapı rijitliğine de önemli bir katkısı görülmemiştir. Bu sebeple, rijitlik artışı gerektiren güçlendirmelerde kullanılması uygun görülmemektedir.

Ancak yöntemle sünekliğin artırılması ve deprem esnasında daha fazla enerji tüketilerek yapıdaki hasar düzeyinin azaltılması mümkündür. Özellikle boşluk kenarlarında fazla oranda kullanılacak lastik şeritler, düşük düzeydeki kuvvetler altında duvarın hasar görmesini önleyecektir. Büyük talepler altında lokal hasarları en aza indirebilecektir. Buna göre, yatay yüklere karşı yeterli rijitliğe sahip olan ancak lokal kusurlar nedeniyle hasar görerek stabilitesini kaybetme riski taşıyan duvarların önerilen yöntem ile güçlendirilmesi, yapının deprem kapasitesine olumlu katkı sağlayacaktır.

Bu yöntemin, mühendislik hizmeti alacak yapılardan ziyade kırsal kesimde mühendislik hizmeti alamayacak olan yapılara pratik bir şekilde uygulanmasının fayda sağlayabileceği ve bu yöntemden yararlanabilecek kişilere bilgilendirmenin yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Ancak yöntemin yaygın olarak uygulanmasına yönelik olarak fizibilite çalışmalarının yapılmasına da ihtiyaç duyulmaktadır.

Yöntemle güçlendirilmiş yapıların ve kullanılan malzemenin zamana bağlı olarak performansında meydana gelebilecek değişikliklerde başka bir çalışmanın konusu olarak incelenmelidir.

Ayrıca, çalışma kapsamında ülkemizde yığma yapılara gerek inşaat mühendisliği eğitimi esnasında gerekse meslek içi eğitim aşamalarında gereken önemin verilmediği bir kere daha ortaya çıkmıştır. Bu sebeple yığma yapılarla ilgili olarak inşaat mühendisleri ve mimarlara yönelik eğitim programlarının düzenlenmesi gereklidir.

## 9 KAYNAKLAR

ALBERT M.L., Elwi A.E., Cheng J.J.R., Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using FRPs, *Journal of Composites for Construction (ASCE)*, 5-1:76-84, (2001).

ALTIN S., Kuran F., Kara M.E., Anıl Ö., Yığma Yapıların Rehabilitasyonu İçin Bir Yöntem, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı (YDGA2005), Ankara, (2005).

BATUR A., Donatısız Yığma Binaların Yatay Yükler Altındaki Davranışı ve Bazı Ülkelerin Şartnamelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1999).

BENEDETTI D., Carydis P., Pezzoli P., Shaking Table Tests on 24 Simple Masonry Buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27:67-90, (1998).

BINDA, L., Modena, C., Baronio, G., Abbaneo, S., Repair and investigation techniques for stone masonry walls, *Construction and Building Materials*, 11-3: 133-142, (1997).

BLONDET M., Torrealva D., Vargas J., Velasquez J., Tarque N., Seismic Reinforcement of Adobe Houses Using External Polymer Mesh, 1st European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

BOZDOĞANGİL A.T., Deprem Yükleri Altında Yığma Duvarların Dayanımı ve Takviyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1998).

DBYBHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (2007).

DİE, Bina Sayımı İstatistikleri, Ankara, (2000).

DOLCE, M., De Canio, G., Goretti, A., Mametto, R., 3d Dynamic Tests On 2/3 Scale Masonry Buildings Retrofitted With Different Systems, 1<sup>st</sup> European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

FAELLA C., Martinelli E., Paciello S., Nigro E., Shear Strength of Tuff-Masonry Walls Retrofitted with CFRCM, 1st European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

GILSTRAP J.M., Dolan, C.W., Out-of-Plane Bending of FRP-Reinforced Masonry Walls, *Composites Science and Technology*, 58:1277-1284, (1998).

GÖLALMIŞ M., Türer A., Kullanılmış Araba Lastikleri Kullanarak Yığma Bina Duvarlarının Depreme Karşı Güçlendirme Çalışmaları, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı (YDGA2005), Ankara, (2005).

GÜREL M.A., Kargir Dolgu Duvarların Düzlemde Dik Deprem Etkileri Altında Davranışı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2001).

HONARBAKHSH, T., Rahnavard, A., Kazemi, M., Seismic Rehabilitation of Masonry School Buildings Using a Single Layer of Reinforced Shotcrete, 1<sup>st</sup> European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

KANIT R., Mürsel E., Atımtay, E., Depreme Maruz Yığma Duvarların Düzlem Dışı Dayanım Deneyleri, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu (YOGS2006), Pamukkale-Denizli, (2006), pp: 500-506.

KAPLAN, H., Gönen, H., Nohutcu, H., Çetinkaya, N., Yılmaz, S., A New Strong Floor - Reaction Wall System Without Gallery for Experimental Studies in Structural Mechanics, Iranian Journal of Science and Technology Transaction B-Engineering, (Accepted, in press), (2009).

KORKMAZ S.Z., Korkmaz H.H., Türer, A., Elastik Art-Germe Şeritleriyle Yığma Yapıların Güçlendirilmesi, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı (YDGA2005), Ankara, (2005).

LANGONE I., Venutti F., Bergamo G., Eusebio M., Prota A., Retrofitting of Masonry Structures with G-FRP Strips: Validation Through Shaking Table Tests, 1st European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

LAWRANCE, K.L., ANSYS Tutorial Release 10, 186 p., Schroff Development Corporation, (2007).

MAYORCA P., Sathiparan N., Guragain R., Nesheli N., Meguro K., Seismic Behavior of Masonry Houses Retrofitted with PP-Band Meshes Evaluated with Shaking Table Tests, 1st European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

ONAR E., Yığma Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarların CFRP ile Güçlendirilmesinin Deneysel Olarak İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

ÖZEN, G.Ö., Comparison of Elastic and Inelastic Behavior of Historic Masonry Structures at the Low Load Levels, MSc. Thesis, Middle East Technical University, September, 2006, Ankara.

PONZO D.M., Moroni F.C., Nigro D., TREMA Project: 3D Dynamic Tests on 2/3 Scale Masonry Buildings Retrofitted with Different Systems, 1st European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

RUSSO G., Pauletta M., Quagliaro E., Experimental Behaviour of Masonry Walls Strengthened by Reinforced Mortar Slabs and Subjected to In-Plane Loads, 1st European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

SABERİ M., Deprem Yüklerinin Altında Yığma Binaların Davranışı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1998).

MARIA S. H., Alcaino P., Experimental Response of Reinforced Masonry Walls Retrofitted with Carbon Fiber Fabrics, 1<sup>st</sup> European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Geneva-Switzerland, (2006).

SALLIO, N., Mevcut Yığma Yapıların Deprem Bakımından İncelenmesi ve Güçlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).

TAGHDI M., Bruneau M., Saatcioglu M., Seismic Retrofitting of Low-Rise Masonry and Concrete Walls Using Steel Strips, Journal of Structural Engineering (ASCE), 126-9: 1017-25, (2000).

TSE EN 771-1, Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2005).

TÜRER, A., Dilsiz, A., Türkiye’de Yığma Binalar İçin Deprem Risk Haritası Oluşturulması, Kocaeli Deprem Sempozyumu 2005, 1301-1302, Kocaeli (2005).

WIPPLINGER L.A., Dynamic Twisting of a Masonry Structure on a Passive Isolation System, Journal of Architectural Engineering (ASCE), 15-21, (2004).

## PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

<b>Proje Kodu:</b> 106M116
<b>Proje Başlığı:</b> Yığma Yapıların Lastik Şeritlerle Güçlendirilmesi
<b>Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar:</b> Prof. Dr. Hasan KAPLAN (Yürütücü), Yrd. Doç. Dr. Salih YILMAZ (Y. Araştırmacı)
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:</b> Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli, 20017.
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:</b> -
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:</b> 01.05.2006 – 01.11.2008
<b>Öz (en çok 70 kelime)</b> <p>Deprem yükleri altında ağır hasar/göçme riski taşıyan yığma yapıların rehabilitasyonu ülkemizin önemli bir sorundur. Bu yapıların pahalı yöntemler/malzemeler ile güçlendirmeleri mümkün olmamaktadır. Ucuz ve kolay uygulanabilir güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi bu yapılar açısından son derece önemlidir. Bu proje ile atık oto lastiklerinden elde edilen lastik şeritler kullanılarak, deprem bakımından yetersiz yığma yapıların deprem güvenliğini iyileştirmeye yönelik yeni bir güçlendirme metodu incelenmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda lastikle güçlendirmenin yapının yatay yük kapasitesine ciddi bir etkisinin olmadığı ancak yapıların deplasman kapasitesini iyileştirdiği, sünekliğini ve enerji tüketimini artırdığı gözlenmiştir.</p>
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Yığma Yapı, Güçlendirme, Deprem, Onarım, Hasarlı Yapı, Otomobil Lastiği
<b>Projeden Kaynaklanan Yayınlar:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Kaplan, H., Yılmaz, S., Akyol, E., Şen, G., Tama, Y.S., Çetinkaya, N., Nohutcu, H., Binici, H., Atımtay, E. and Sarışın, A., "29 October 2007, Çameli earthquake and structural damages at unreinforced masonry buildings", Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 919–926, 2008.</li><li>2. Kaplan, H., Yılmaz, S., Nohutcu, H., Binici, H., "Seismic Deficiencies of Masonry Structures in Turkey", International Colloquium on Seismic Design and Retrofit of Masonry Structures, İstanbul, Türkiye, Sept. 2007.</li><li>3. Kaplan, H., Yılmaz, S., Cetinkaya, N., Nohutcu, H., "Experimental Study on Use of Old Tyres for Seismic Strengthening of Rural Masonry Stocks", Advances in Structural Engineering and Mechanics, 26-28 May 2008, Jeju, South Korea.</li><li>4. Kaplan, H., Yılmaz, S., Nohutcu, H., Cetinkaya, N., Binici, H., "Experimental Study on the Use of Old Tyres for Seismic Strengthening of Masonry Structures", 14th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 12-01-0138, 12-17 Sept 2008, Beijing, China.</li><li>5. Yılmaz, S., Kaplan, H., Cetinkaya, N., Nohutcu, H., "Seismic Strengthening of Masonry Structures by Old Tyres: An Experimental Study", 8th International Seminar on Structural Masonry, pp. 349-354, 6-8 Oct. 2008, İstanbul, Turkey.</li><li>6. Kaplan, H., Yılmaz, S., Durak, S., "Seismic Evaluation of Masonry Structures in Southwest Turkey", 8th International Seminar on Structural Masonry, pp. 323-330, 6-8 Oct. 2008, İstanbul, Turkey.</li></ol> <p>* Listelenen yayınlar haricinde uluslararası dergilere gönderilmek üzere olan ve yazım aşamasında yayınlar listede yer almamaktadır.</p>
<b>Bilim Dalı:</b> İnşaat Mühendisliği Yapı A.B.D.
<b>Doçentlik B. Dalı Kodu:</b>