



**AHŞAP YAPI ÜRETİMİNE YÖNELİK STANDART PANEL TASARIMI VE
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Ümmü KARAGÖZ İŞLEYEN

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİYEL TEKNOLOJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2016

Ümmü KARAGÖZ İŞLEYEN tarafından hazırlanan “Ahşap Yapı Üretimine Yönelik Standart Panel Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Abdullah TOĞAY

Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nihat DÖNGEL

Ağaçşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan : Prof. Dr. İlker USTA

Ağaçşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Prof. Dr. Hakan KESKİN

Ağaçşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç. Dr. Cevdet SÖĞÜTLÜ

Ağaçşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 18/01/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ümmü KARAGÖZ İŞLEYEN

(18.01.2016)

AHŞAP YAPI ÜRETİMİNE YÖNELİK STANDART PANEL TASARIMI VE SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

(Doktora Tezi)

Ümmü KARAGÖZ İŞLEYEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2016

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, ahşap çerçevesel perde panel duvarların deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yüklemeler etkisi altındaki davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Çalışmada ahşap panel duvarların en/boy oranı, yatay güçlendirme elemanlarının ve panel duvarlarda boşluğun olup olmaması gibi değişkenlerin panellerin performansları üzerine etkileri belirlenmiştir. Ahşap çerçevesel perde panel duvarların testleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak panellerin genel yük-deplasman davranışları, dayanımları, rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji tüketim kapasiteleri ve göçme mekanizmaları hakkında yorumlar yapılmıştır. Ahşap panel duvarların yatay yükler etkisi altındaki yük-deplasman davranışları üzerinde en/boy oranının önemli derecede etkili olduğu ve göçme mekanizmasını değiştirdiği görülmüştür. Perde panel duvarlarda yer alan boşluk büyüklüğünün değişmesi dayanım ve rijitlik değerlerini önemli oranlarda etkilemiş ve boşluk büyüklüğünün artması deney elemanlarının dayanım ve rijitlik değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Hatta küçük bir açıklık bile deney elemanlarının dayanım ve rijitliklerini önemli derecede azaltmıştır. Bu çalışmada ahşap perde duvarların yatay davranışlarının nümerik çalışma ile belirlenebilmesi için ANSYS ver. 14 yazılımı kullanılmıştır. Nümerik çalışma kapsamında ahşap çerçeve elemanlar beam, yüzey kaplama panelleri shell ve çerçeve-panel bağlantılarındaki çiviler yay elemanları kullanılarak modellenmiştir. Ahşap çerçeve ve OSB paneller için gerilme-deformasyon eğrileri çekme ve basınç testlerinden elde edilmiş ve plastik davranışları modellenmiştir. Ladinin çekmede nonlineer, basınçta lineer davranış sergilediği, OSB panellerin ise çekmede lineer, basınçta ise nonlineer davranış sergilediği malzeme testleri ile belirlenmiştir. Sonlu eleman ağının sıklığının belirlenmesi için bir ön çalışma gerçekleştirilmiş ve optimum ağ sıklığı tespit edilmiştir. Sonlu eleman sonuçları tersinir yüklemeler ile gerçekleştirilmiş testlerden elde edilen yük-deplasman eğrileri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Deney ve nümerik model sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri arasında oldukça iyi bir uyum elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 705.
Anahtar Kelimeler : Ahşap çerçeve perde duvar, Histeretik davranış, Sonlu eleman analizi, Açıklık, En/boy oranı
Sayfa Adedi : 194
Danışman : Doç. Dr. Abdullah TOĞAY
İkinci Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nihat DÖNGEL

THE DESIGN AND FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STANDARD PANEL IN THE
PRODUCTION OF TIMBER STRUCTURE

(Ph. D. Thesis)

Ümmü KARAGÖZ İŞLEYEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2016

ABSTRACT

In the scope of this study, the performance of timber framed shear panel walls under, earthquake simulating, effects of reversed cycling lateral loading have been investigated experimentally and numerically. In this study, there are some variables effect overall performance of panels such as aspect ratio of wood panel walls, horizontal braced elements and whether there is an opening in the panel walls. General load-displacement behavior, strength, stiffness, displacement ductility ratio, energy dissipation capacity and failure mechanisms of panels were interpreted, using data obtained from the testing of wood-framed wall panels. Results indicated that the aspect ratio of the panel walls affected significantly on the load-displacement behavior of wood framed shear walls under effect of lateral load and shifted the collapse failure mechanism. The enlargement of the openings in the shear walls caused of decrease in the resistance and stiffness values of the test elements. Even a very small opening decreased ratios the resistance values and stiffness of test elements significantly. In this study, ANSYS ver. 14 software was used to perform the numerical study on the lateral behavior of wood-frame shear walls. A wood framed shear wall was modeled with beam, shell, and spring elements representing frame members, sheathing panels, and fasteners connecting the sheathing panels to the frame. For wood frame and OSB panel, uniaxial stress-strain curves were obtained from tension and compression and plastic behavior of materials were modeled using the stress-strain curves. Spruce exhibited in tension nonlinear behavior in tension and linear in compression whereas linear behavior exhibited. OSB sheathing panels exhibited linear behavior in tension and nonlinear in compression. To determine the finite element mesh size, a preliminary study was performed and the optimum mesh frequency was determined. Numerical results of finite element were verified by comparing load-deflection obtained from hysteresis curve obtained from cyclic loading to test results. It was observed good agreement of load versus lateral displacement computed by experimental and numerical model.

Science Code : 705

Key Words : Wood-framed Shear wall, Hysteretic behavior, Finite element analysis, Opening, Aspect ratio

Page Number : 194

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Abdullah TOĞAY

Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Nihat DÖNGEL

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı kıymetli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Abdullah TOGAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Şanver Mobilya Dekorasyon İnşaat Orman Ürünleri A.Ş ortaklığı ile hazırlanmış 01332STZ.2012-1 nolu San-tez projesi olarak Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenmiştir. Projeye desteklerinden dolayı Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve projenin bütün aşamalarında destek veren firma çalışanlarına ve firma sahibi Ali ŞANLI'ya teşekkür ederim.

Deney modellerinin belirlenmesi aşamasından deneylerin gerçekleştirilmesi ve sonlu eleman analizi ile ilgili bütün aşamalarda yol gösteren ve tezimin hazırlanmasındaki emeği ve katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Özgür ANIL' a, deney elemanlarının üretimi, deneylerin gerçekleştirilmesi ve tez çalışmamın şekillendirilmesinde katkılarını esirgemeyen Sayın Doç.Dr. Cevdet SÖGÜTLÜ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Nihat DÖNGEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Deney sırasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocalarım Sayın Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ'e, Sayın Yrd. Doç.Dr. Yağmur KOPARAN'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer CAN'a ve Sayın Dr. Murat UZEL'e ve Sayın İbrahim EDİZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince her zaman desteğini gördüğüm Sayın Yrd. Doç.Dr Hacı İsmail KESİK'e ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim Kastamonu Üniversitesindeki araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman doğru ve dürüst bir insan olmayı öğreten ve bu aşamalara kadar gelmemde en büyük emeği olan sevgili aileme ve her konuda yanımda olan ve sabır gösteren değerli eşime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ	1
2. AHŞAP YAPILAR	7
2.1. Ahşap Yapı Üretim Sistemleri	8
2.1.1. Ahşap yığma sistemler	8
2.1.2. Ahşap karkas sistemler	9
2.1.3. Ahşap panel sistemler	10
2.1.4. Çapraz lamine edilmiş panel duvarlar (CLT)	15
2.2. Ahşap Yapıların Deprem Performansı	16
2.3. Türkiye’de Ahşap Yapı Sektöründeki Sorunlar ve Çözüm Önerileri	20
2.4. Ahşap Yapıların Sağladığı Avantajlar	22
3. KAYNAK TARAMASI	27
3.1. Deneysel Çalışma İle İlgili Literatür Taraması	27
3.2. Nümerik Analiz İle İlgili Literatür Taraması	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	49
4.1. Ahşap Panel Duvarlar	49
4.1.1. Çerçeve elemanlar	52

	Sayfa
4.1.2. Bağlantı elemanları	52
4.1.3. Yüzey kaplama panelleri	54
4.2. Duvar Modellerinin Hazırlanması	54
4.3. Deney Düzeni	55
4.3.1. Yükleme düzeni	55
4.3.2. Ölçüm sisteminin oluşturulması	56
4.4. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	58
4.4.1. Düzeltilmiş kat deplasmanı hesabı	58
4.4.2. Dayanım ve davranış	60
4.4.3. Rijitlik	60
4.4.4. Enerji tüketim kapasitesi	61
4.4.5. Süneklik	63
4.5. Deneyler	63
4.5.1. Model-1'in deneyi	64
4.5.2. Model-2'nin deneyi	67
4.5.3. Model-3'ün deneyi	70
4.5.4. Model-4'ün deneyi	74
4.5.5. Model-5'in deneyi	76
4.5.6. Model-6'nın deneyi	79
4.5.7. Model-7'nin deneyi	82
4.5.8. Model-8'in deneyi	86
4.5.9. Model-9'un deneyi	88
4.5.10. Model-10'un deneyi	92
4.5.11. Model-11'in deneyi	94

	Sayfa
5. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME	99
6. NÜMERİK ÇALIŞMA	117
6.1. Sonlu Eleman Analizinde Malzeme Davranışının Modellenmesi	117
6.2. Sonlu Eleman Analizinde Plastik Davranışın Belirlenmesi	118
6.3. Sonlu Eleman Analizinde Kullanılan Eleman Tipleri	123
6.3.1. BEAM188	123
6.3.2. SHELL181	123
6.3.3. COMBIN14	124
6.4. Ahşap Perde Duvarların Sonlu Eleman Modelleri	126
6.4.1. Modelin oluşturulması	127
6.4.2. Malzeme özelliklerinin girilmesi	128
6.4.3. Mesh	130
6.4.4. Sınır koşullarının oluşturulması ve yükleme	131
6.4.5. Analiz	133
7. NÜMERİK ANALİZ SONUÇLARI	135
7.1. Model-1'e ait Nümerik Sonuçlar	135
7.2. Model-2'ye ait Nümerik Sonuçlar	138
7.3. Model-3'e ait Nümerik Sonuçlar	142
7.4. Model-4'e ait Nümerik Sonuçlar	146
7.5. Model-5'e ait Nümerik Sonuçlar	149
7.6. Model-6'ya ait Nümerik Sonuçlar	153
7.7. Model-7'ye ait Nümerik Sonuçlar	157
7.8. Model-8'e ait Nümerik Sonuçlar	161
7.9. Model-9'a ait Nümerik Sonuçlar	163

	Sayfa
7.10. Model-10'a ait Nümerik sonuçlar	166
7.11. Model-11'e ait Nümerik sonuçlar	169
8. DENEY ve NÜMERİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	173
9. SONUÇ ve ÖNERİLER	177
KAYNAKLAR	185
ÖZGEÇMİŞ	193



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ahşap dikmelerin kesit, yükseklik ve aralıkları	14
Çizelge 2.2. Maksimum perde duvar boyut oranları	15
Çizelge 2.3. Türkiye’de meydana gelen büyük depremler	16
Çizelge 2.4. Dünyada meydana gelen depremlerde oluşan kayıplar	19
Çizelge 2.5. Farklı yapı malzemelerinin yaşam döngüsü aşamalarında enerji çıktıları .	24
Çizelge 2.6. Farklı duvar tiplerinin enerji verimlilik değerleri	25
Çizelge 4.1. Deney elemanı özellikleri	50
Çizelge 4.2. Deney elemanlarında kullanılan ankraj sayısı	54
Çizelge 5.1. Deney sonuçları	101
Çizelge 5.2. Deney elemanlarının kesme çatlak genişlikleri	110
Çizelge 5.3. Deney elemanlarının gerilme ölçümleri	113
Çizelge 6.1. Sonlu eleman analizinde kullanılan malzeme özellikleri	129
Çizelge 8.1. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması	173

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ahşap yapıların yatay yüklere karşı dayanma sistemleri	11
Şekil 2.2. Ahşap perde duvarlar	12
Şekil 2.3. Ahşap Perde duvarların deformasyon şekilleri	12
Şekil 2.4. CLT panel uygulamaları	16
Şekil 2.5. 1999 depreminde hasar görmüş ahşap ve betonarme yapı	17
Şekil 2.6. 1999 depreminde zarar gören ahşap yapı	18
Şekil 2.7. Türkiye’de ahşap yapı sektörünün karşılaştığı sorunlar	20
Şekil 2.8. Yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması	25
Şekil 3.1. Duvar panelleri üzerine gelen yüklerin dağıtılmasında bağlantı sistemlerinin	30
Şekil 4.1. Standart ahşap çerçeve panel bileşenleri	52
Şekil 4.2. OSB panel bağlantısı için çivi aralıkları	53
Şekil 4.3. Zemin bağlantı elemanları	53
Şekil 4.4. Deney elemanlarının üretim aşamaları	55
Şekil 4.5. Deney düzeneği	56
Şekil 4.6. Deney elemanları üzerinde bulunan ölçüm aletleri	57
Şekil 4.7. Veri aktarım düzeneği ve test sonuç ekranı	58
Şekil 4.8. Deney elemanları ölçüm düzeneği	59
Şekil 4.9. Rijitlik değerinin belirlenmesi	61
Şekil 4.10. Enerji tüketim kapasitesinin belirlenmesi	62
Şekil 4.11. Model-1’e ait teknik çizim	64
Şekil 4.12. Model-1’in deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	65
Şekil 4.13. Model-1’in yük çevrim grafiği	65
Şekil 4.14. Model-1’in yük-deplasman grafiği	66

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Model-1’de meydana gelen hasarlar	67
Şekil 4.16. Model-2’ye ait teknik çizim	68
Şekil 4.17. Model-2’nin deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	68
Şekil 4.18. Model-2’nin yük çevrim grafiği	69
Şekil 4.19. Model-2’nin yük-deplasman grafiği	69
Şekil 4.20. Model-2’de meydana gelen hasarlar	70
Şekil 4.21. Model-3’e ait teknik çizim	71
Şekil 4.22. Model-3’ün deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	71
Şekil 4.23. Model-3’ün yük çevrim grafiği	72
Şekil 4.24. Model-3’ün yük-deplasman grafiği	73
Şekil 4.25. Model-3’de meydana gelen hasarlar	73
Şekil 5.26. Model-4’ e ait teknik çizim	74
Şekil 4.27. Model-4’ün deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	74
Şekil 4.28. Model-4’ün yük çevrim grafiği	75
Şekil 4.29. Model-4’ün yük-deplasman grafiği	75
Şekil 4.30. Model-4’te meydana gelen hasar dağılımları	76
Şekil 4.31. Model-5’e ait teknik çizimi	77
Şekil 4.32. Model-5’in deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	77
Şekil 4.33. Model-5’in yük çevrim grafiği	78
Şekil 4.34. Model-5’in yük-deplasman grafiği	79
Şekil 4.35. Model-5’de meydana gelen hasar dağılımları	79
Şekil 4.36. Model-6’ ya ait teknik çizim	80
Şekil 4.37. Model-6’nin deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	80
Şekil 4.38. Model-6’nın yük çevrim grafiği	81

Şekil	Sayfa
Şekil 4.39. Model-6'nın yük-deplasman grafiği	82
Şekil 4.40. Model-6'da meydana gelen hasar dağılımları	82
Şekil 4.41. Model-7'ye ait teknik çizim	83
Şekil 4.42. Model-7'nin deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	83
Şekil 4.43. Model-7'nin yük çevrim grafiği	84
Şekil 4.44. Model-7'nin yük-deplasman grafiği	85
Şekil 4.45. Model-7'de meydana gelen hasar dağılımları	85
Şekil 4.46. Model-8'e ait teknik çizim	86
Şekil 4.47. Model-8'in deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	86
Şekil 4.48. Model-8'in yük çevrim grafiği	87
Şekil 4.49. Model-8'in yük-deplasman grafiği	88
Şekil 4.50. Model-8'de meydana gelen hasar dağılımları	88
Şekil 4.51. Model-9' a ait teknik çizim	89
Şekil 4.52. Model-9'un deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	89
Şekil 4.53. Model-9'un yük çevrim grafiği	90
Şekil 4.54. Model-9'un yük-deplasman grafiği	91
Şekil 4.55. Model-9'da meydana gelen hasar dağılımları	91
Şekil 4.56. Model-10'a ait teknik çizim	92
Şekil 4.57. Model-10'un deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	92
Şekil 4.58. Model-10'un yük çevrim grafiği	93
Şekil 4.59. Model-10'un yük-deplasman grafiği	93
Şekil 4.60. Model-10'da meydana gelen hasar dağılımları	94
Şekil 4.61. Model-11'e ait teknik çizim	95
Şekil 4.62. Model-11'in deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü	95

Şekil	Sayfa
Şekil 4.63. Model-11'in yük çevrim grafiği	96
Şekil 4.64. Model-11'in yük-deplasman grafiği	97
Şekil 4.65. Model-11'de meydana gelen hasar dağılımları	97
Şekil 5.1. Deney elemanlarına ait zarf eğrileri	103
Şekil 5.2. Deney elemanları üzerinde bulunan birim deformasyon ölçüm aletlerinin yerleşim düzeni	112
Şekil 5.3. Deney elemanlarında meydana gelen hasar dağılımlarının sınıflandırılması	116
Şekil 6.1. Kayın odununa ait gerilme-deformasyon eğrisi	118
Şekil 6.2. Gerilme- deformasyon eğrisi çeşitleri a) Bilinear b) Multilinear	118
Şekil 6.3. İzotropik pekleşme kuralına göre malzemenin gerilme- deformasyon (σ - ϵ) ilişkisi modeli	119
Şekil 6.4. Kinematik pekleşme kuralına göre malzemenin gerilme- deformasyon (σ - ϵ) ilişkisi modeli	120
Şekil 6.5. Pekleşme modellerinin gerilme-deformasyon ilişkileri	121
Şekil 6.6. Beam188 elemanının geometrisi	123
Şekil 6.7. SHELL181 elemanının geometrisi	124
Şekil 6.8. COMBIN14 yay elemanının geometrisi	125
Şekil 6.9. Çerçeve-panel bağlantılarının sonlu eleman modeli	128
Şekil 6.10. Ahşap malzeme geometrisi ve yönler (mm)	128
Şekil 6.11. Ladin kerestesinin çekmede gerilme-deformasyon eğrisi	130
Şekil 6.12. OSB panellerin basınçta gerilme-deformasyon eğrisi	130
Şekil 6.13. Mesh eleman boyutlarına göre deformasyon şekilleri	131
Şekil 6.14. Duvar elemanların yükleme ve mesnet koşulları	132
Şekil 7.1. Model-1 sonlu eleman modeli	135
Şekil 7.2. Model-1'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi	136
Şekil 7.3. Model-1'de meydana gelen deformasyonlar	137

Şekil	Sayfa
Şekil 7.4. Model-1'e ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	138
Şekil 7.5. Model-2 sonlu eleman modeli	139
Şekil 7.6. Model-2'ye ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi ...	139
Şekil 7.7. Model-2'de meydana gelen deformasyonlar	140
Şekil 7.8. Model-2'ye ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	141
Şekil 7.9. Model-3 sonlu eleman modeli	142
Şekil 7.10. Model-3'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi ...	143
Şekil 7.11. Model-3'de meydana gelen deformasyonlar	144
Şekil 7.12. Model-3'e ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	145
Şekil 7.13. Model-4 sonlu eleman modeli	146
Şekil 7.14. Model-4'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi ...	147
Şekil 7.15. Model-4'de meydana gelen deformasyonlar	148
Şekil 7.16. Model-4'e ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	149
Şekil 7.17. Model-5 sonlu eleman modeli	150
Şekil 7.18. Model-5'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi ...	150
Şekil 7.19. Model-5'de meydana gelen deformasyonlar	152
Şekil 7.20. Model-5'e ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	153
Şekil 7.21. Model-6 sonlu eleman modeli	154
Şekil 7.22. Model-6'ye ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi .	155
Şekil 7.23. Model-6'da meydana gelen deformasyonlar	155
Şekil 7.24. Model-6'ya ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	156
Şekil 7.25. Model-7 sonlu eleman modeli	157
Şekil 7.26. Model-7'ye ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi..	158
Şekil 7.27. Model-7'de meydana gelen deformasyonlar	159

Şekil	Sayfa
Şekil 7.28. Model-7'ye ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	160
Şekil 7.29. Model-8 sonlu eleman modeli	161
Şekil 7.30. Model-8'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi ...	161
Şekil 7.31. Mode-8'de meydana gelen deformasyonlar	162
Şekil 7.32. Model-9 sonlu eleman modeli	163
Şekil 7.33. Model-9'a ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi ...	164
Şekil 7.34. Model-9'da meydana gelen deformasyonlar	164
Şekil 7.35. Model-9'a ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	165
Şekil 7.36. Model-10 sonlu eleman modeli	166
Şekil 7.37. Model-10'a ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi .	167
Şekil 7.38. Model-10 da meydana gelen deformasyonlar	168
Şekil 7.39. Model-10'a ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	169
Şekil 7.40. Model-11 sonlu eleman modeli	170
Şekil 7.41. Model-11'a ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi..	170
Şekil 7.42. Model-11'de meydana gelen deformasyonlar	171
Şekil 7.43. Model-11'a ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler	172

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

N/mm

Açıklamalar

Newton/milimetre

kg/m³

Kilogram/metre küp

mm

Milimetre

m²

Metrekare

Kısaltmalar

Açıklamalar

D₁, D₂, D₃, D₄

Deplasman ölçümleri

OSB

Yönlendirilmiş Yonga Levha

h

Kat deplasman ölçerinin yerden yüksekliği

m

Rijit dönmeler arası mesafe

δ_{θ}

Rijit dönme

δ_{kat}

Düzeltilmiş kat deplasmanı

F_i

i çevrimi için uygulanan kuvvet

δ_i

i çevrimi için deplasman değeri

K_{ser}

Elastik bölgede kayma modülü (N/mm)

K_u

Plastik bölgede kayma modülü , N/mm

ρ_m

Ortalama yoğunluk ($\rho_{m,1}$ ve $\rho_{m,2}$, kg/m³)

$\rho_{m,1}$

Ahşap çerçeve eleman yoğunluğu (Ladin, 420 kg/m³)

$\rho_{m,2}$

Yüzey kaplama panel yoğunluğu (OSB, 590 kg/m³)

d

Çivi çapı

$\epsilon_{plastik}$

Akma noktasındaki deformasyon

σ_t

Gerçek gerilme değeri

σ_e

Deneylemlerden elde edilen gerilme değeri

Kısaltmalar**Açıklamalar** ϵ_t

Gerçek deformasyon değeri

 ϵ_e

Deneylerden elde edilen gerilme değeri

 σ

Akma noktasındaki gerilme

 E

Elastikyet modülü



1. GİRİŞ

Ahşap, çevre ve insanlık üzerinde hiçbir yan etkiye sahip olmayan doğal bir yapı malzemesidir. Ahşap hammadde olarak verimli kullanılabilmesi koşulu ile yenilenebilir bir kaynaktır. 20. yüzyılın başlarında ahşabın büyük oranda terkedilerek beton ve çelik sistemlerin kullanılması, dayanıklı yapılar elde etmek ve yangına karşı önlem olarak getirilmiş bir çözüm olmuştur. Ancak sürdürülebilirlik, yenilenebilir enerji kaynakları, sera gazları, küresel ısınma gibi çevresel kavramların yapı üretimindeki etkileri nedeniyle günümüze kadar kullanılagelen yapı malzemeleri üzerine yeniden düşünölmeye başlanmıştır. Sağlıklı ekolojik bir çevre, sürdürülebilir bir yaşam elde edebilmek ve sera gazlarındaki artışa bağılı olarak gelişen küresel ısınma gibi olumsuz gelişmeleri engellemek için alınabilecek önlemlerin başında, yapımda teknolojinin sağladığı olanaklar doğrultusunda yapı malzemelerinin seçimi ve geliştirilmesi gelmektedir (Güzel ve Yesügey, 2015).

Ekolojik inşaat konusunda çoğunluğu gelişmiş ölkelerde olmak üzere çözüm üretmeye yönelik birçok araştırma yürütölmekte olup ve doğal bir yapı malzemesi olarak ahşabın konut alanında kullanımını yaygınlaştırmayı amaçlayan yeni yaklaşımlar geliştirilerek destekler sağlanmaktadır. Bunun sonucu olarak son yıllarda Avrupa inşaat teknolojisinde hammaddesi ahşaba dayalı yapı malzemelerinin önemi daha da artmaktadır (Somer, 2010). Çünkü ahşap yapılar giderek artan değerde karbonu bünyelerinde depolayarak, diğere inşaat malzemeleri ve inşaat faaliyetlerinin saldığı sera gazlarını dengelemektedir (Güzel ve Yesügey, 2015).

Ayrıca ahşap yapılar, olumlu çevresel etkilerinin yanında deprem dayanıklılığı açısından da önemli çözümler sunan yapı sistemlerdir. Türkiye, dünyanın aktif deprem kuşağı üzerinde yer almakta olup nüfusunun hemen hemen hepsi deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Geçmişte yaşanmış büyük depremlere bakıldığında büyük can ve mal kayıplarının meydana geldiğı görölmektedir. Bu kayıpların büyük bir kısmı yıkılan veya hasar gören betonarme binalardan kaynaklanmıştır (Binici, Kaplan ve Görür, 2005). Dünya ölkelerinde olduğı gibi ölkemizde de deprem riskinin yüksek olması nedeniyle geçmişte yaşanan kayıpların tekrarlanmaması için ahşap yapıların yaygın bir şekilde kullanılması gerekliliğı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ahşap yapılar ile ilgili tasarım, projelendirme,

üretim planlaması ve teknolojisine yönelik elde edilebilecek birikim, alternatif yapı teknolojilerini tartışmak durumunda kalan ülkemiz için açılım olacaktır.

1999 yılı Marmara depreminden sonra yapılan incelemeler sonucunda ahşap yapıların daha az hasar gördüğü ve kayıpların daha az yaşandığı tespit edilmiştir. Ahşap yapılar, bu dönemde betonarme yapılara alternatif yapı sistemleri olarak göreceli olarak artış göstermiştir (Doğangün, Livaoğlu, Tuluk ve Acar, 2005). Günümüze kadar geçen süre içerisinde ahşap yapılara olan ilgi çok sınırlı kalmış ve hak ettiği talebi görememiştir.

Ahşap yapı sektörünün ülkemizde istenilen kullanım seviyesine ulaşamamasında çeşitli faktörler etkin gözükmemektedir. Örneğin imar kanunu kapsamında ahşap bir yapıya bağımsız kat mülkiyeti verilmeyişi önemli bir yapısal sorun oluşturmaktadır. Hâlbuki ahşap yapıları, ileri teknoloji uygulamaları ve mühendislik çözümleriyle birleştiren ülkelerde 4-5 kata kadar güvenli yapılar çok yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yönde yapılan az sayıda girişim ise bu konuda yeterince birikime sahip olmayan belediyeçilik süreçleri de göz önünde tutulduğunda çözümü mümkün olmayan bir konu olarak kalmıştır. Ayrıca en büyük sorunlardan biriside ahşap yapı ile ilgili standartlarda ve yönetmeliklerde eksikliklerin olmasıdır. Mevcut standartlar eski ya da yabancı kaynaklı olduğu için anlaşılması oldukça güçtür. Belediye yönetmelikleri, imar yasası ve buna bağlı yönetmelikler ve deprem yönetmeliği de dahil olmak üzere, uygulama düzenleyici şartlar içerisinde ahşap yapılara yönelik bir hazırlık bulunmamaktadır (Örs ve Togay, 2003).

Türkiye’de üretilen ahşap yapıların büyük bir kısmı geleneksel yöntemler ile üretilmekte olup son yıllarda endüstriyel üretim sistemleri de kullanılmaktadır. Endüstriyel üretim sistemleri, genellikle yurt dışı üretim yapan bir firmanın bayiliği alınarak gerçekleştirilmekte olup bu tarz üretimlerde kısmen statik projeler ve mühendislik hesapları yapılmaktadır. Geleneksel üretim sistemlerinde ise kalifiye eleman eksikliği nedeniyle mühendislik hesabından yoksun geçmişten gelen bilgi birikimi ile üretim yapılmaktadır (Togay, 2002). Yerleşim aktif fay hatları üzerinde gerçekleşmiş şehirleşme süreçleri açısından ele alındığında, üretim süreçlerinin sağladığı avantajlar ve deprem karşısındaki davranışları gibi olumlu özellikleri ile ahşap yapı teknolojisinin mühendislik hesabından yoksun bir teknoloji olarak kalması kabul edilebilir bir sonuç değildir.

Deprem karşısında gösterdiği davranışlar, üretim süreçleri açısından sağladığı avantajlar vb. yönleri ile pazarlanmaya çalışılan ahşap yapılar için standart dışı ve mühendislik çözümlerinden yoksun uygulamaların oluşturduğu durum betonarme sistemler karşısında rekabet gücünü azaltan en zayıf nokta olarak öne çıkmaktadır. Bu yönde ülkemizde mühendislik çözümlenmesi oturtulamamış bir teknoloji olarak ahşap yapıların durumu belirsizliğini korumakta ve çözüm arayışları kaçınılmaz görülmektedir.

Ahşap yapılar, özellikle deprem riskinin daha büyük olduğu ülkelerde önem kazanmış ve gün geçtikçe dünyada yapı sektöründe kullanımı yaygınlaşmıştır. Ahşap yapı üretimi son 15 yıl içerisinde büyük ivme kazanarak artış göstermiştir (Rainer ve Karacabeyli, 1999). Fakat deprem riski yüksek olan ülkemizde ise ahşap yapıların kullanımı oldukça düşük seviyede kalmıştır. Düşük kullanım oranını arttırmak için betonarme yapılarda olduğu gibi mühendislik ve statik hesaplarının kolaylıkla yapılabilir olması gerekmektedir. Bu kapsamda gerçekleştiren tez çalışmasında standartlaştırılmış ahşap duvar panelleri üretilmiş ve deprem yükleri uygulanarak limit yük taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler mühendislik hesaplamalarında izin verilen yük değerleri olarak referans alınabilmektedir. Böylece ahşap yapıda deprem ve rüzgar gibi yüklere karşı dayanım sağlayan ahşap çerçeve panel duvarların üretim standartları ve performansları belirlenerek ve mühendislik çözümlenmelerine dayalı bu üretim sisteminin ülkemizde yaygın kullanımı sağlanmış olacaktır.

Ayrıca, literatür araştırmaları incelendiğinde betonarme, yığma ve çelik yapıların deprem yükleri etkisi altındaki davranışlarını inceleyen çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen ahşap yapıların deprem yükleri etkisi altındaki davranışlarının kapsamlı olarak incelendiği oldukça sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmüştür.

Son yıllarda deneysel çalışmalara paralel olarak sonlu eleman yöntemleri de yapı elemanlarının deprem dayanımlarını belirlemede oldukça yaygın bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Deneysel çalışma, deney elemanlarının büyüklüğü, mesnetlenme şartları, yükleme durumu gibi birçok etkenin deney düzeneğine yansıtılabilmesi yönüyle oldukça maliyetli ve uzun zaman alan bir seçenektir. Bu nedenle ahşap perde duvar panellerin davranışlarını belirlemek için sonlu eleman model stratejileri geliştirilmiştir. Sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında genellikle literatürde yer alan çalışmalardan faydalanılmış

ve sonlu eleman analiz sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak modeller doğrulanmıştır.

Ülkemizde ahşap yapı sektöründeki eksikliklerin giderilmesi ve deprem performanslarının deneysel çalışma ve sonlu eleman analizi kullanılarak simule edilebilmesi için bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Yürütülen deneysel çalışma kapsamında incelenen temel değişkenler, ahşap çerçeve duvar panellerin en/boy oranı, panel duvarlarda yükseklik boyunca dağıtılmış yatay güçlendirme elemanlarının olup olmaması ve panel duvarlarda bırakılan kapı veya pencere boşluklarının büyüklüğüdür. Deneysel çalışma kapsamında toplam 11 adet deney elemanı depremi benzeştirecek şekilde tersinir tekrarlanır yükleme altında test edilmiştir. Deprem dayanımlarını belirlemek için test edilen her iki yüzeyi OSB paneller ile kaplanmış farklı konfigürasyonlardaki duvar panelleri özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

- Model-1 1258/1650 mm boyutlarında, boşluksuz yapıya sahip,
- Model-2 2372/2650 mm boyutlarında, 1000x2100 mm boyutlarında kapı boşluğuna sahip,
- Model-3 1868/2650 mm boyutlarında, boşluksuz yapıya sahip
- Model-4 1868/2650 mm boyutlarında, belirli aralıklarla yatay güçlendirme elemanlarına sahip
- Model-5 2972/2650 mm boyutlarında, 1600x1400 mm boyutlarında pencere boşluğuna sahip
- Model-6 2478/2650 mm boyutlarında, boşluksuz yapıya sahip,
- Model-7 2478/2650 mm boyutlarında, belirli aralıklarla yatay güçlendirme elemanlarına sahip
- Model-8 648/2650 mm boyutlarında,
- Model-9 1772/2650 mm boyutlarında, 400x400 mm boyutlarında pencere boşluğuna sahip
- Model-10 2772/2650 mm boyutlarında, 1400x1400 mm boyutlarında pencere boşluğuna sahip
- Model-11 2142/2650 mm boyutlarında, 770x2100 mm boyutlarında kapı boşluğuna sahip

Deneysel çalışma sonucunda ahşap çerçeveli duvar panellerin genel yük-deplasman davranışı, dayanımları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji tüketim kapasiteleri ve göçme mekanizmaları hakkında yorumlar ve değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca, ahşap çerçeveyi oluşturan yatay ve düşey çerçeve elemanlarından birim deformasyon ölçümleri alınarak yatay yüklemenin ahşap çerçeve tarafından taşınma mekanizması ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

Ayrıca tez çalışması kapsamında deney elemanlarının sonlu eleman modelleri oluşturulmuş ve nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar metodu yapı sektöründe çok yaygın kullanılan bir metot olup ahşap yapı sektöründe de nonlineer analizler için kullanılmaktadır. Ahşap perde duvarların nonlineer analizleri için genellikle sonlu eleman yazılımlarından ANSYS ve ABAQUS programları kullanılmaktadır.

Nümerik çalışma kapsamında, ahşap çerçeve yapılarda yatay dayanıma katkı sağlayan perde duvarların ANSYS programı kullanılarak sonlu eleman yöntemi ile modellenmesi ve davranışlarının analizi üzerine odaklanılmıştır. Ahşap çerçeve duvar panellerin sonlu eleman analizlerinde, modelin oluşturulması, doğru malzeme özelliklerinin girilmesi, sınır koşullarının oluşturulması gibi parametreleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Deneyleri gerçekleştirilmiş farklı tipte boşluklu ve boşluksuz duvar panellerin sonlu eleman modeller oluşturularak yapısal davranışları belirlenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonlu eleman analizinde kuvvet kontrollü yüklemeler yapılarak analizleri gerçekleştirilmiş ve yapının yüklemeye karşı deplasman değerleri, yüzey kaplama panelleri üzerinde meydana gelen gerilmeler ve hasarlar belirlenmiştir.

Tez çalışması ana hatlarıyla dokuz bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde ahşap yapılar, üretim sistemleri, deprem performansları ve diğer yapı malzemelerine göre üstünlükleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, ahşap panel duvarlar ile ilgili deneysel ve sonlu eleman analizi ile ilgili kaynak taramaları verilmiştir.

Dördüncü bölümde ahşap çerçeve duvar panel tasarımı, deneysel çalışma ile ilgili deney düzeneğinin oluşturulması, deney sonuçlarının değerlendirilmesi, dayanım, rijitlik,

süneklik ve enerji sönümlenme kapasitelerinin belirlenmesi ve deney elemanlarına ait deneyler verilmiştir.

Beşinci bölümde deney elemanlarına ait deney sonuçları verilmiştir. Duvar panellerin dayanımları, rijitlik, süneklik ve enerji tüketim kapasite değerleri ve yüklemeler altında meydana gelen hasar dağılımları bu bölümde detaylı bir şekilde yorumlanmıştır.

Altıncı bölümde sonlu eleman analizi ile ilgili olarak malzeme davranışlarının modellenmesi, sonlu eleman analizinde kullanılan eleman tipleri ve ahşap panel duvarların sonlu eleman modellerinin oluşturulması hakkında bilgiler verilmiştir.

Yedinci bölümde 11 adet duvar elemanına ait sonlu eleman modelleri ve kuvvet kontrollü analizleri sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri, OSB yüzey paneller üzerinde meydana gelen gerilmeler ve hasar dağılımlarına yer verilmiştir.

Sekizinci bölümde deneysel çalışma ve nümerik çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır.

Dokuzuncu bölümde tez çalışması kapsamında deneysel ve nümerik analizler ile elde edilen önemli sonuçlar özetlenmiş ve literatür karşılaştırılması yapılarak gelecek çalışmalara yönelik öneriler verilmiştir.

2. AHŞAP YAPILAR

Ahşap, insanoğlunun kullandığı en eski yapı malzemelerinden biridir. Bugün hala yerleşim, ticari ve endüstriyel binalar, iskeleler, köprüler, istinat duvarları ve güç iletim kuleleri gibi çeşitli yapıların inşasında yaygın şekilde kullanılmaktadır (Nunnally, 2007:295). Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanması, beton ve çeliğe oranla oldukça eskidir. Geçmiş yıllarda deneyime dayalı olan uygulama, mühendislik bilimlerindeki ilerlemelere paralel olarak gelişen yapı tekniğiyle birlikte bilimsel olarak gerçekleştirilmeye başlamıştır. Aynı şekilde ahşap yapıda kullanılan birleşim araçlarının da modern teknolojiye göre araştırılıp yönetmeliklerde yer almaları ahşap yapının yaygınlaşmasına yardım etmiştir (Bostancioğlu ve diğerleri, 2004).

Eski dönemlerde Anadolu’da sıkça kullanılan ahşap yapılar, günümüze uzanan süreç içinde kullanım alanını kaybetmiş ve yerini betonarme karkas yapılara bırakmıştır. 1999 Marmara depremi sonrasında Türkiye’de ahşap yapı uygulamalarına, depreme karşı dayanımlı olması nedeniyle geri dönüş başlamıştır. Deprem sonrasında Türkiye’de birçok firma ahşap konut üretimi ve uygulaması yapmaya başlamıştır (Erkoç, 2004:9).

Konut üretiminde, teknolojilerin gelişmesi ve malzeme çeşitliliğinin artması gibi etkenlerden dolayı farklı yapım teknikleri ortaya çıkmıştır. Ahşap yapı üretim teknikleri açısından ilkel, geleneksel ve endüstriyel yapım teknikleri olarak genel bir sınıflandırma yapılmaktadır. Bu ayrıma karşın üretim sistemleri birbirleri içerisine girmiş durumdadır. İlkel yapım sistemlerinden endüstriyel yapım sistemlerine kadar geçen süredeki teknolojik, sosyal ve iş idaresi ile ilgili birçok faktördeki gelişmeler her aşamada yapım sistemlerini etkilemiştir. Türkiye’de ise ahşap yapı sektöründe uygulanan yapım teknikleri içerisinde geleneksel ve endüstriyel teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır (Örs ve Togay, 2003).

Türkiye’de ahşap yapı sektöründe üretim, %49 oranında geleneksel teknikler ve %51 oranında ise endüstriyel yapım teknikleri kapsamında gerçekleştirilmektedir. Ancak % 51’lik bölümün % 23’lük bölümü üretimi kendisi gerçekleştirirken % 28’lik bölümü ön üretimi tamamlanmış yapıları ithal ederek montajını yapmaktadır (Örs ve Togay, 2003).

İlkel yapım tekniğinde yapı malzemesi yakın çevreden toplanmakta ve doğal haliyle ya da çok az işlem görerek kullanılmaktadır. Geleneksel yapım tekniğinde ise uzun yıllardan beri denenmiş, alışıl gelmiş yöntemlerle yöresel malzeme kullanarak üretim gerçekleştirilmektedir (Halıcıoğlu, 1999:18). Konvansiyonel yapım tekniği adı da verilen bu sistem, Türkiye’de genellikle konut inşaatlarında uygulanan şantiye tekniklerini içermektedir. Bu teknikte, bazı yarı mamül yapı elemanları şantiyeye dışarıdan hazır halde getirildikten sonra el işçiliği ve iş bölümü ile üretim gerçekleşmektedir (Togay,2002:7).

Endüstrileşmiş yapım tekniklerinde, tasarım aşamasından itibaren bütün üretim aşamalarının planlanarak, şantiyede iş gücünün ve çalışma süresinin minimuma indirilmesi amaçlanmıştır. Bu yapım sistemleri yüksek teknoloji ve endüstrileşmiş üretim süreçlerinin bir arada kullanılmaları ile oluşan ve günümüzde ise sanayide gelişmiş ülkelerin yoğun olarak kullandıkları yapım teknikleridir. Yapının tüm malzeme girdilerinin ve yapım süreçlerinin (tasarım, bileşen üretimi, nakliye, montaj v.b.) endüstrileştiği, makine ve organizasyon yoğunluğunun maksimum olduğu tekniklerdir (Halıcıoğlu, 1999:20).

2.1. Ahşap Yapı Üretim Sistemleri

Temel yapı tanımı içerisinde ahşap yapı; taşıyıcısı ahşap olan yapı olarak ifade edilmektedir. Ülkemiz açısından ahşap yapılara ilişkin mevcut durum değerlendirildiğinde, ABD, Kanada, Japonya gibi gelişmiş ve deprem riski yüksek ülkelere göre hem kullanım oranları hem de uygulama yöntemleri açısından farklılıklar görülmektedir. Bu durumu doğuran farklı gerekçeler olmakla birlikte, ülkemiz yapı kültüründeki değişim ve oluşan yapı algısı bu sonuçta önemli rol oynamaktadır (Örs ve Togay, 2007).

Ahşap yapı üretim sistemleri bir çok kaynakta yığma (kagir) ve iskelet sistemler olarak iki grupta sınıflandırılırken, günümüzde bu sınıflandırmanın yeterli olmadığı ve özellikle prefabrikasyon tekniği ile birlikte üretim sistemi çeşitliliğinin arttığı gözlenmektedir (Togay, 2002:10).

2.1.1. Ahşap yığma sistemler

Ahşap yığma sistemler, ağaç gövdelerinin veya yapı kerestelerinin üst üste getirilmesiyle oluşturulmuş bir sistemdir. Bu sistem genellikle kütük ev olarak ifade edilmektedir. Yığma

yapı esaslarına göre, üst üste getirilerek oluşturulmuş duvarlar taşıyıcı sistemi oluşturmaktadır (Bostancıoğlu ve Birer, 2004).

Ahşap yığma sistemler çok eski bir üretim sistemidir. Ahşabın kolay ve ucuz bulunduğu tüm kültür ve coğrafyalarda görmek mümkündür. İskandinavya, Rusya, Sibirya, İsviçre, Kanada, A.B.D.'nin kuzeyi ve Japonya'da birbirlerinden çok az farklılaşan ahşap yığma yapılar bulunmaktadır. Kimilerinde bu strüktürler yaygın bir gelenek oluşturmuş, kimilerinde ise yerel ve halk mimarlığı sınırları içinde değerlendirilmesi gereken bir teknik olarak kalmıştır (Bostancıoğlu ve Birer, 2004).

Ahşap yığma sisteminde işlenmiş veya doğal halde kereste ve kütükler kullanılmaktadır. Temel olarak kütüklerin üst üste yığılması ve ahşap birleştirme teknikleri ile birleştirilerek montajı sağlanmaktadır. Kütük aralarına özel kauçuklar, köşelerde özel keçeler, duvar içerisinde rezerv hava kanalları, çivisiz, içten kilitleme sistemi ile köşe birleştirmeleri, duvar içerisinde çapraz ahşap kirişler, köşelerde dikey olarak boydan boya çelik bulonlarla sabitleme uygulamaları da yapılmaktadır (Örs ve Togay, 2003).

2.1.2. Ahşap karkas sistemler

Ahşap karkas sistemler, tek boyutlu ahşap bileşenlerin taşıyıcılık görevini üstlendiği, yığma sistemlere göre ahşabın daha ekonomik olarak kullanıldığı sistemlerdir. Dünyada kullanılan ahşap çerçeveli yapı üretiminin temel olarak birçok farklı yapım yöntemi vardır. Bu farklı yöntemlerin hepsi, yük taşıyan elemanların ve bağlantılarının düzenlenmesinde değişiklik göstermektedir. Taşıyıcı sistem yatay, düşey ve çapraz elemanların bir nokta veya düğüm noktasında birleştirilme şekillerine göre belirlenmektedir. Bu elemanların birleştirilmesinde özel çelik bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Çerçeve aralarının çözümlenmesi bölge koşullarına ve tasarım ölçütlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu yapım yöntemlerinde yatay yüklere karşı gerekli önlemlerin alınması önemlidir. Ahşap karkas yapılar yatay ve dikey elemanların düzenlenmesine göre kaburga çerçeve (balon ve platform çerçeve) ve kolon-kiriş çerçeve sistemler olarak sınıflandırılmaktadır (Togay, 2002:11).

Balon çerçeve sistem

Balon çerçeve sisteminde 5x10 cm kesitlerinde dikmeler kullanılmakta ve bu dikmeler bina yüksekliği boyunca devam etmektedir. Yük taşıyıcı dikmeler ve döşeme kirişleri 40-60 cm aralıklarla yerleştirilmektedir. Birinci kat döşeme kirişleri kat seviyesindeki dikmeleri iç tarafından birbirine bağlayan ve dikmelere geçme yöntemiyle tespit edilmiş 2.5/15 cm boyutunda bir kirişe oturmaktadır (Bostancıoğlu ve Birer, 2004).

Platform çerçeve sistem

Platform çerçeve sistem, klasik ahşap karkas yapı ile Balon çerçeve yaklaşımı arası bir uygulama sistemidir. Bu sistemde dikmeler kat yüksekliği kadardır ve bağlantı döşemeler ile sağlanmaktadır. Bu sistem klasik çözümdeki her bir katta alt başlık, üst başlık ve dikmelerle çerçevelerin oluşturulması ilkelerine uyarken, Balon çerçeve sistemdeki küçük ve ince ahşap elemanların sık aralıklarda kullanılmasını içermektedir (Bostancıoğlu ve Birer, 2004).

Kolon-kiriş sistemler

Ahşap kiriş ve kolon dikme elemanları çerçeve sistemde taşıyıcı eleman olarak görev yapmaktadırlar. Bu sistemde, döşemeyi ve çatı yüklerini taşıyan uygun boyuttaki kirişler 2.4 metre aralığa kadar kullanılabilir. Döşeme ve çatılar 5 cm kalınlığındaki ahşap malzemelerle kaplanmaktadır. Tek kolon-kiriş ve çift kolon-kiriş sistemler olarak farklı uygulama şekilleri vardır (Demirkır, 2012:7). Tek kolon-kiriş sisteminde yapı tek katlı ise döşeme kirişleri üzerine ana kirişler oturmakta, çift katlı ise ana dikme sürekli olup döşeme kirişleri ana dikmelerin her iki tarafında yer almaktadır. Döşeme kirişleri ile ana kirişler arasında metal bağlantı elemanı kullanılmaktadır. Çift kolon-kiriş sisteminde ise çift ana kiriş sürekli olan ana dikmelerin her iki tarafında bulunmaktadır (Togay, 2002:11).

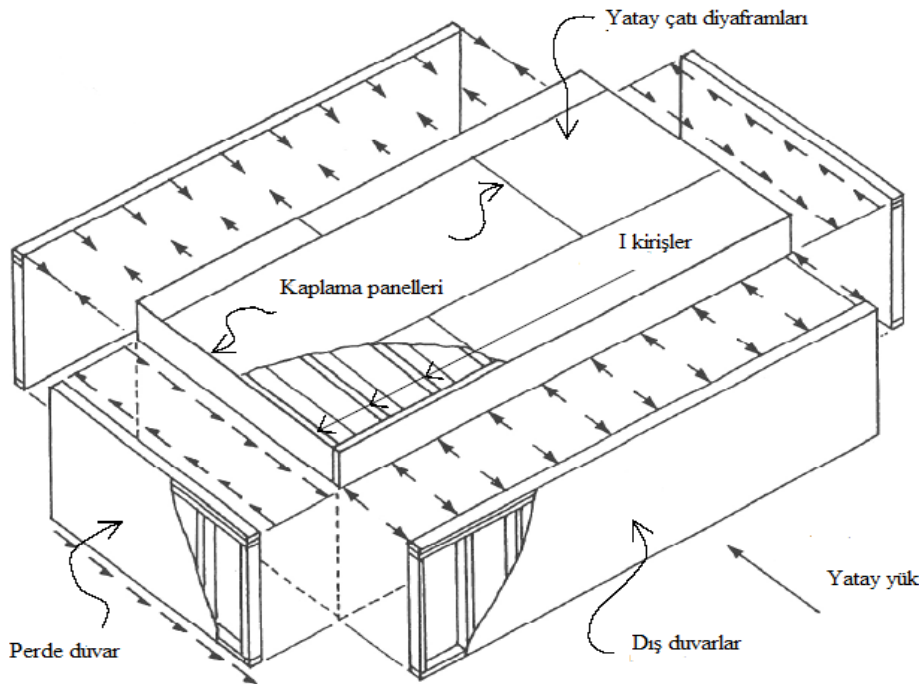
2.1.3. Ahşap panel sistemler

Ahşap panel sistemlerde, konut inşaatı ile ilgili masrafları bir nebze azaltmak için hızlı ve güvenli yapılar inşa edilmektedir. Ahşap malzeme bu sistemlerde daha verimli ve geniş bir

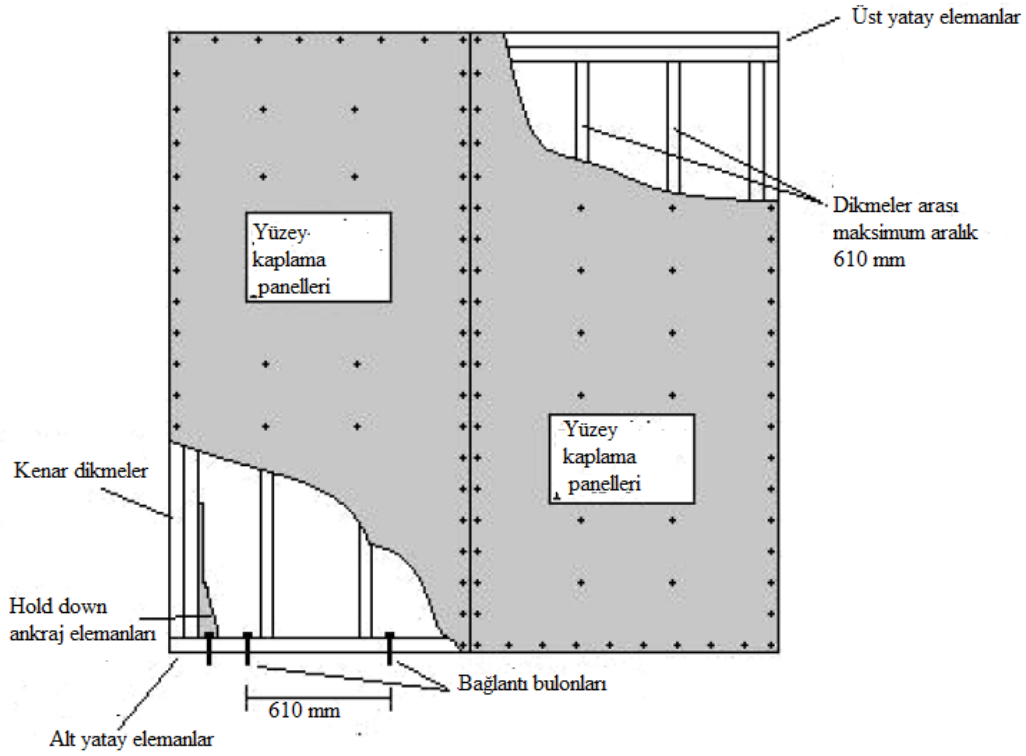
yelpazede kullanılabilir. Ahşap duvar, döşeme ve çatı elemanları bloklar halinde üretilmekte böylelikle zamandan tasarruf sağlanmaktadır.

Ahşap yapılar çatı ve döşeme diyaframları ve perde duvarlar ile yatay yüklere karşı direnebilmektedirler. Yatay yüklere karşı dik duran duvarlar kuvvet toplayıp bu kuvveti yatay diyaframlara (çatı ve döşeme) dağıtmaktadır. Yatay yük düzlemi içerisinde yatay diyaframlar, üzerine gelen yükleri duvarlara dağıtmakta ve duvarlardan temele ulaşıncaya kadar kuvvet aktarımı devam etmektedir. Kuvvet aktarımları bağlantı elemanları ile sağlanmaktadır. Ahşap yapı içerisinde meydana gelen yük aktarımı ve yatay yüklere karşı dayanım Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Bredel, 2003:1-3).

Ahşap yapı sistemleri içerisinde, ahşap perde duvar paneller, kereste ve yüzey kaplama panellerinin mekanik bağlantı elemanları (çivi, vida, zımba vb.) ile birleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Depreme ve rüzgar kuvvetlerine karşı yüksek dayanımlı tasarımlar için duvar panellerinin, her katta binanın en üst noktasında temele kadar sürekli ve eksiksiz yük transferini sağlayacak bağlantı elemanları (kesme bulonları, basınç ve çekmeye karşı ankraj elemanları) ile bağlantısının yapılması gerekmektedir (Salenikovich, 2000:1-5). Ahşap panel perde duvar bileşenleri Şekil 2.2’de verilmiştir.

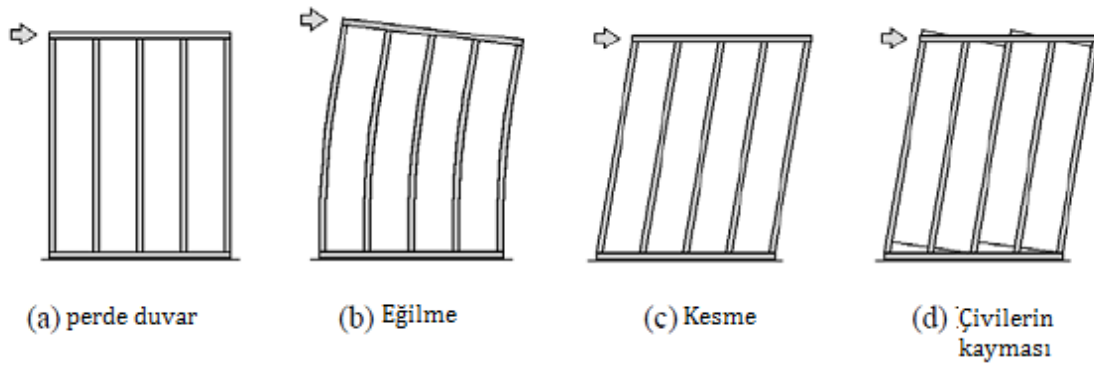


Şekil 2.1. Ahşap yapıların yatay yüklere karşı dayanma sistemleri (Bredel, 2003:1-3)



Şekil 2.2. Ahşap perde duvarlar (Salenikovich, 2000:1-5)

Duvar elemanları üzerine gelen yük, duvar kenarlarındaki basınç ve çekme çubukları ve ankrajlar tarafından dağıtılmaktadır. Uygulanan yatay yük sonucu ahşap perde duvarlarda farklı deformasyonlar meydana gelmektedir. Şekil 2.3’de meydana gelen deformasyon şekilleri sunulmuştur. Yatay yüklemeler altında deformasyonlar eğilme, kesme ve çerçeve panel birleşimlerinde bulunan çivilerin ve temel bağlantı elemanlarının kayması sonucu meydana gelmektedir (Silva ve Gesualdo, 2005).



Şekil 2.3. Ahşap Perde duvarların deformasyon şekilleri (Silva ve Gesualdo, 2005)

Duvar panellerin toplam sapmaları ya da kat ötelenmeleri, eğilme, kesme, çivi ve ankraj materyallerinde meydana gelen deformasyonların toplamı ile belirlenmektedir. Uluslararası yapı yönetmeliğinin 23. Bölümünde (2305.3.Shear wall deflection) ahşap perde duvarların sapmalarını hesaplamak için kullanılan denklem yer almaktadır. Bu denklem ile ahşap perde duvarların üretimden önce ne kadar deformasyona uğrayacağı hesaplanabilmektedir.

Ahşap duvar panellerde yük taşıyıcı özelliği olmayan fakat duvarların enerji verimliliğini sağlamak amacıyla yatay ve dikey elamanlar arasına yerleştirilen yalıtım malzemeleri bulunmaktadır. Ahşap çerçeve elemanlar ahşap veya ahşap esaslı paneller ile yada alçıpan ile kaplanarak rijit bir duruma gelmesi sağlanmaktadır. Ahşap panel sistemlerinde inşaat bir sistem içerisinde döşemeden döşemeye yapılmaktadır. Bir sonraki katı inşa edebilmek için döşeme platformunun üzerine duvarlar monte edilebilmektedir. Dünya çapında, ana yük taşıyıcı elemanlar olarak ahşap panel duvarlar ile çok katlı prefabrik ahşap yapı inşa etmek oldukça artan bir eğilim göstermektedir. Ahşap çerçeve duvar elemanlar, ahşap çerçeve ve mekanik birleştiricilerle birleştirilmiş yüzey kaplama levhalarından oluşan kompozit bir sistem olduğu için, kaplama levhalar ve çerçeve elemanlar arasındaki davranışlar ve duvarların yük taşıma kapasitelerini arttırmak için uygun sınır koşullarını sağlamak mümkündür. Her bir duvar birimi, duvarın üst kısmından etki eden yatay kuvvet ile dikey konsol kiriş gibi hareket etmekte ve ayrı ayrı değerlendirilmektedir (Şilih ve Premrov, 2012).

Ülkemizde ahşap perde duvar üretimi ile ilgili yönetmelik ve standart bulunmamaktadır. Kanada, Amerika ve Avrupa ülkeleri ahşap perde duvar üretimlerinde uluslararası yapı yönetmeliğini (International Building Code-IBC) dikkate almaktadırlar. Uluslararası Yapı Yönetmeliğinin 23. Bölümünde ahşap, ahşap esaslı ve birleştirici elemanların kalitesi, yapı ve tasarımı ve materyaller hakkında bilgi verilmektedir. Yönetmelikte belirtilen ahşap panel duvarlarda genel tasarım gereklilikleri aşağıda özetlenmiştir.

- Kısmen yada tamamen ahşap veya ahşap esaslı ürünler ile inşa edilen yapı elemanlarının ve sitemlerinin tasarımı aşağıdaki metotlardan birine uygun olmak zorundadır.
- ✓ Emniyet gerilme değerleri (Allowable stress design -ASD)
- ✓ Yük ve Dayanım faktör değerleri (Load and resistance factor design-LFRD, AF&PA NDS and AF&PA SDPWS)

- ✓ Geleneksel Ahşap Yapılar (AF & PA WFCM hükümlerine uygun olarak tasarlanmış binalar IBC-2308 hükümlerini yerine getirmiş sayılmaktadır)
- ✓ Kütük evlerin tasarımı ve yapımı ICC-400 belirtilen hükümlere uygun olmalıdır
- Uluslararası yapı yönetmeliğinde geleneksel hafif çerçeve yapıların kademeli düzlem üzerinde maksimum 3 kat yapılabilmektedir.
- Temel duvarların dış kısmında uygulanan yüzey kaplama panellerinin yalıtımı bitüm ile kaplanarak zemin seviyesinin altında korunmalıdır.
- Ölü yükler ve hareketli yükler için aşılmaması gereken değerler verilmiştir.
- Beton üzerine oturan eşikler için çapı en az 12.7 mm olan çelik cıvata veya cıvataya eşdeğer destek sağlamak için ankrajlar kullanılmaktadır.
- Dikmelerin yük taşıyabilmesi için en az net 38 mm kesit genişliğine sahip olması gerekmektedir.
- Açıklıkların olduğu kısımlarda başlıklar, çift dikmeler ve açıklık alt ve üst kısımlarında dikmeler kullanılmalıdır.
- Dikmelerin kesitleri, aralıkları ve yüksekliği uluslararası yapı yönetmeliğinde belirtilen Tablo 2308.9.1 'e göre belirlenmektedir. Tablonun Türkçeye çevrilmiş hali Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Ahşap dikmelerin kesit, yükseklik ve aralıkları

Dikme Kesiti (mm)	Taşıyıcı Duvarlar				Taşıyıcı olmayan duvarlar	
	Yük taşıyıcı duvar yüksekliği (mm)	Tek katlı yapılar için	İki katlı yapılar için	Üç katlı yapılar için	Yük taşıyıcı olmayan duvar yüksekliği (mm)	Dikme aralığı (mm)
50 × 100	3048	610	406	—	4267	610
75 × 100	3048	610	610	406	4267	610
50 × 125	3048	610	610	—	4876	610
50 × 150	3048	610	610	406	6096	610

- Ahşap yapı panellerinin kalınlıklarının 610 ve 406 mm dikme açıklıkları için en az 9,5 mm olması gerekmektedir.
- Daha önceki depremlerde uzun ve dar duvar panellerinin kötü performans göstermeleri nedeniyle Uluslararası Yapı Yönetmeliğinde ahşap perde duvar ölçüleri

sınırlandırılmıştır. Sınırlandırmalar yükseklik/genişlik (boy/en) oranı ile belirlenmiş olup bu limit değerlerler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Maksimum perde duvar boyut oranları

Perde duvarlarda Kaplama panel tipleri	Maksimum Yükseklik /genişlik Oranı
Ahşap yapı panelleri, yonga levha (kenarları çivilenmiş)	Rüzgar dayanımı için; <u>3,5</u>
	Deprem dayanımı için; <u>2^a</u>
Tek taraflı diyagonal yüzey kaplamalar	2
Lif levha	1,5
Alçıpan, çimento sıva	1,5

- a. Deprem dayanımlarını hesaplamak için, yükseklik/genişlik oranı 2’den az ve 3,5’den fazla olmayan perde duvarlarda uluslararası yapı yönetmeliğinden elde edilen emniyet kesme değerleri (IBC-Table 2306.4.1) $2 \cdot \text{genişlik} / \text{yükseklik}$ ile çarpılır.

2.1.4. Çapraz lamine edilmiş panel duvarlar (CLT)

Çapraz lamine ahşap paneller (CLT), büyük ölçekli ve birbirlerine dik açı ile yönlendirilmiş kerestelerin yapıştırılıp ve preslenerek elde edilen ve çok katlı kereste katmanlarından oluşan bir mühendislik ürünü ahşap paneldir. Bu paneller tek sayıda katmalardan (3,5,7 gibi) oluşmaktadır. CLT paneller oldukça yüksek dayanıma, rijitliğe ve boyutsal stabiliteye sahip elemanlardır. Ayrıca tasarım esnekliğine ve düşük çevresel etkilere sahip bir duvar elemanıdır. Bu nedenlerden dolayı CLT çok katlı veya ticari binalarda çatı, döşeme ve duvar paneli olarak kullanılabilir ve diğer geleneksel yapı malzemelerine alternatif bir ürün olmaktadır (APA, 2015).

CLT panellerin bütün işlemleri fabrikada gerçekleşmektedir. Üretimi tamamlanan CLT panellerin projede ön görülen detaylarının (mertek yuvaları, elektrik ve su kanalları, kapı ve pencere boşlukları) uygulanması için CNC makineleri kullanılmaktadır. Türkiye’de büyük CLT panel üretimi yapan firmalar bulunmaktadır. Şekil 2.4’de CLT panel uygulamalarına ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 2.4. CLT panel uygulamaları (APA, 2015).

CLT paneller Avrupa, Kanada ve Amerika’da kullanılan bir yapı elemanıdır. Fakat Uluslararası yapı yönetmeliği (IBC) içerisinde yer almamaktadır. Bu ülkelerde, CLT panellere, bölgesel yapı yönetmelikleri içerisinde alternatif yapı sistemi olarak onay verilmiş ve üretimleri gerçekleştirilmiştir.

2.2. Ahşap Yapıların Deprem Performansı

Türkiye, dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp–Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Ülkemizin yüzölçümünün %93’ü aktif deprem kuşağı üzerindedir ve ayrıca nüfusunun %98’i çeşitli derecede deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Ülkemizde yılda ortalama bir kez yıkıcı depremin olduğu bilinmektedir (Demirkır, 2012:32). Geçmişte Türkiye’nin birçok yerinde yıkıcı depremler olmuştur. Ülkemizde meydana gelen büyük depremler Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye’de meydana gelen büyük depremler

YIL	YERİ	Richter Büyüklüğü	Ölü Sayısı	Yaralı Sayısı
1939	ERZİNCAN	7,9	32962	?
1942	NİKSAR	7,0	3000	?
1943	TOSYA	7,2	2824	?
1944	BOLU-GEREDE	7,2	3959	?
1966	VARTO	6,9	2394	1489
1975	LİCE	6,9	2385	3339
1976	MURADIYE	7,2	3840	497
1983	ERZURUM	6,8	1155	1142
1999	KOCAELİ	7,4	17127	43953

Çizelge 2.3.(devam) Türkiye’de meydana gelen büyük depremler

1999	BOLU-DÜZCE	7,2	845	4948
2011	VAN	7,2	644	1966

Türkiye’de uygulanan geleneksel sistem ahşap yapıların deprem davranışları hakkındaki bilgiler 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerine kadar oldukça kısıtlı düzeyde kalmıştır. 1999 yıllarından sonra ağır hasar görmüş betonarme yapı ile az hasar görmüş geleneksel ahşap yapı yan yana görüntülenince, bazı teknik eleman ya da araştırmacıların dikkatlerinin geleneksel yapılar üzerine yoğunlaşmasını sağlamıştır. 1999 depremlerinden sonra Düzce-Kaynaşlı’da geleneksel ve betonarme yapıların hasar görmüş durumları Şekil 2.5’de verilmiştir (Doğangün ve diğerleri, 2005).



Şekil 2.5. 1999 depreminde hasar görmüş ahşap ve betonarme yapı (Doğangün ve diğerleri, 2005)

1999 yılında meydana gelen depremlerin etki alanı içinde kalan ahşap iskeletli yapıların sağlam zemine oturtulmaması, ahşap iskeletin temele bağlanmaması, zemin kat ile üst kat arasında yükseklik farkının olması, duvarlarının niteliksiz olması, katlar arası farklı yapım tekniklerinin uygulanması gibi nedeler ile yapıların deprem dayanımlarını azaltarak hasarlar oluşmasına neden olmuştur. Şekil 2.6’da hımış yapıda dolgu elemanlarının deprem etkisi ile yıkılarak ahşap elemanlara zarar vermesi görülmektedir (Aksoy ve Ahunbay, 2005).



Şekil 2.6. 1999 depreminde zarar gören ahşap yapı (Aksoy ve Ahunbay, 2005)

Depremlerin oluşturacağı bu hasarları azaltmanın etkili yollarından biri depreme dayanıklı yapılar inşa etmektir. Yapı malzemelerinin özellikleri yapının dayanıklılığını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle üretim ve kullanım şartları uygun olmayan yapı malzemeleri, yapının maruz kalacağı kuvvetlerle ve zamanın bozucu etkileri ile hasar görmesine ve hatta yıkılmasına sebep olmaktadır.

Dünya çapında meydana gelen büyük depremler incelendiğinde ahşap yapıların depreme karşı performanslarının iyi olduğu görülmektedir. Çizelge 2.4'de dünyada meydana gelen büyük şiddetli depremlerde oluşan kayıplar verilmiştir. Son 35 yıl içinde yapılan araştırmalarda görülmüştür ki; Kuzey Amerika, Yeni Zelanda ve Japonya'da büyüklüğü richter ölçeğine göre 5,7 ile 8,4 arasında değişen büyük depremlerde 300.000 den fazla platform tipi ahşap karkas ev etkilenmiş olmasına rağmen ölü sayısı toplamda sadece 34'dür (Rainer ve Karacabeyli, 2000).

Çizelge 2.4. Dünyada meydana gelen depremlerde oluşan kayıplar (Rainer ve Karacabeyli, 2000)

Deprem	Richter Büyüklüğü	Yaklaşık Olarak Ölen İnsan Sayısı		Hasar gören Ahşap Yapı Sayısı
		Toplam	Ahşap karkas binalarda	
Alaska, 1964	8,4	130	<10	?
San Fernando, 1971	6,7	63	4	100 000
Edgecumbe, 1987	6,3	0	0	7 000
Saguenay, 1988	5,7	0	0	10 000
Loma Prieta, 1989	7,1	66	0	50 000
Northridge, 1994	6,7	60	16 + 4	200 000
Hyogo-ken Nambu (Kobe), 1995	6,8	6300	0	8 000

Ülkemizde meydana gelen Gölcük depreminde ise 17 127 bin kişi hayatını kaybetmiştir. Sadece ahşap oldukları için depreme karşı almaları gereken 32 tedbirin yarısının eksik olmasına rağmen Gölcük depremine eş büyüklükteki depremde 25 insan hayatını kaybetmiştir. Bu çalışmada ahşap çerçeve yapıların çok şiddetli yer sarsıntılarında dayanabileceği ve hayati risklerinin çok düşük olacağı görülmüştür. Bu nedenle bu tür binaların yaşam güvenliği açısından memnuniyet verici olduğu söylenebilmektedir (Rainer ve Karacabeyli, 1999).

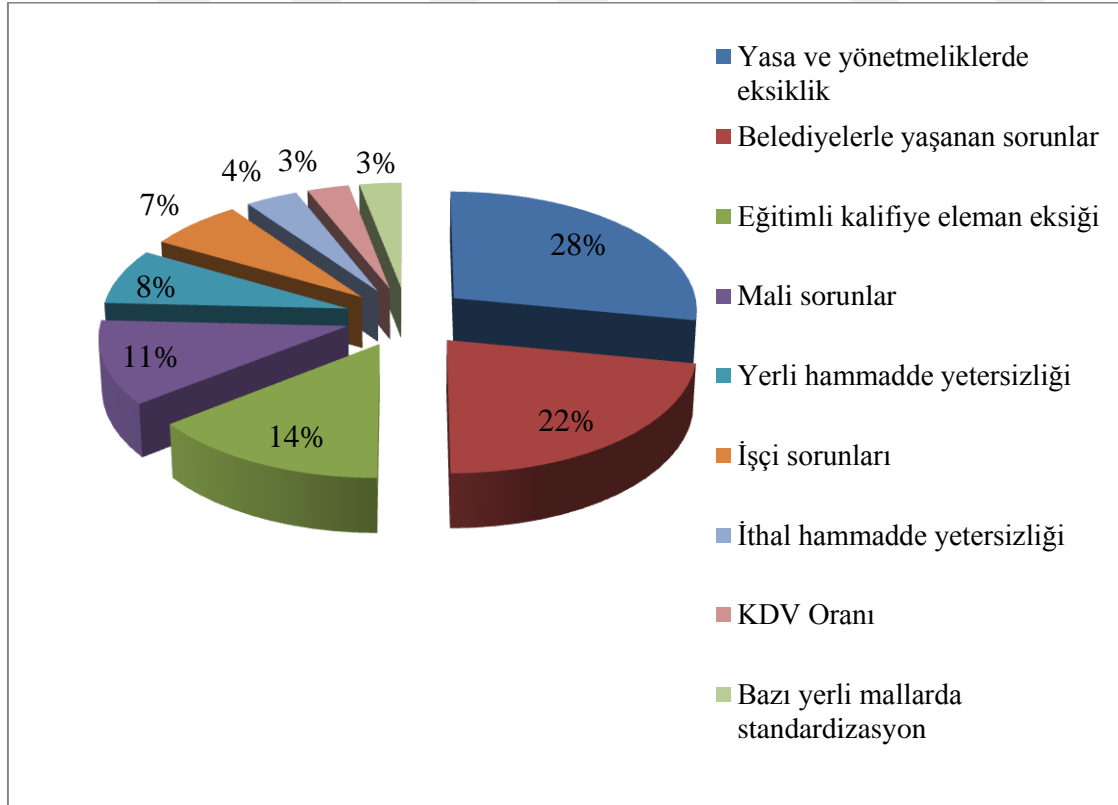
Amerika'da ahşap yapılar toplam yapıların %80-90'ını oluştururken, ikinci en büyük deprem bölgesi olan California'da binaların %99'unu ahşap yapılar oluşturmaktadır. Perde duvarlar yatay ve dikey yüklere direnç sağlayan elemanlar olup Amerika'da hafif ahşap çerçeve yapılarda %90 bu sistem kullanılmaktadır (White, Miller ve Gupta, 2009).

Deprem esnasında bir binanın performansı, kütle, rijitlik, süneklik, yapı geometrisi gibi değişkenlere bağlıdır. Çökmeye karşı binayı korumak için, genel olarak enerji sönümleme kapasitesinin büyük bir rol oynadığı kabul edilmektedir. Ahşap yapılarda enerji sönümleme esnek birleştirici elemanlar vasıtasıyla sağlanmaktadır (Lam, Prion ve He, 1997).

Yapılan çalışmalardan ve deprem sonrası elde edilen verilerden ahşap yapıların depreme karşı performansının iyi olduğu belirlenmiştir. Ahşabın mikro yapısı deprem sırasında oluşan büyük enerji miktarlarını sönümleyebilmektedir. Ayrıca yükleme süresi, ahşabın azami dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ahşabın azami dayanımı, uzun süreli yükleme altında azalırken, kısa süreli yükleme altında artmaktadır. Bu durum ahşabın yüksek dayanım/ağırlık oranı ile birlikte ahşap binaların deprem esnasındaki performanslarını iyileştirmektedir (Karacabeyli ve Popovski, 2003).

2.3. Türkiye’de Ahşap Yapı Sektöründeki Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Ahşap yapı sektörü, bilinçsiz üretimler, ahşap ile ilgili bilgi eksikliği veya yanlış bilgiler, yangın, kültürel bakış ve ekonomik durumlardan dolayı yapı sektörü içerisinde hak ettiği yerde değildir. Arsa fiyatlarının ve alt yapı maliyetlerinin yüksek oluşu, kent merkezlerindeki alan yetersizliği, nüfus artışı, göç gibi nedenlerden dolayı Türkiye’de betonarme yapılar tercih edilmektedir. Ahşap yapı sektörünün karşılaştığı sorunlar Şekil 2.7’de görülmektedir (Togay, 2002:84).



Şekil 2.7. Türkiye’de ahşap yapı sektörünün karşılaştığı sorunlar (Togay, 2002:84)

Ahşap yapıların ülkemizde yaşamış olduğu sorunlarda yasa ve yönetmeliklerde bulunan eksiklikler en büyük dilime sahiptir. Bu sorun Türkiye’de yapı sektörünün genel bir sorunudur. Depreme ve tüm doğal afetlere dayanıklı, sürdürülebilir, güvenli yapıların inşası için öncelikle inşaat sektöründeki yönetmelik ve teknik standartlar arasındaki ilişkiyi güçlendirecek, yönetmelik eksiklerine ve karmaşasına son verecek, ülkemize özgü bir Bina Yönetmeliği’ne ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca bulunan yönetmeliklerin dayandığı bir yapı yasasının henüz uygulamada olmaması nedeniyle her kuruluş ve birim kendi hazırladığı yönetmeliği uygulamakta ve bu durum yönetmelikler arasında çelişkilere neden olmaktadır.

Belediye yönetmelikleri, imar yasası ve buna bağlı yönetmelikler ve deprem yönetmeliği de dahil olmak üzere, uygulama düzenleyici şartlar içerisinde ahşap yapılara yönelik bir hazırlık yoktur. Bu eksiklikler uygulamada farklı tutumlara yol açmakta ve buna bağlı sorunlara sebep olmaktadır. Ruhsat alımı esnasında yasa ve yönetmeliklerdeki eksikliklere bağlı olarak, belediye uygulamalarında değişkenlikler meydana gelmektedir. Ayrıca, ahşap yapılara yönelik statik projelerin genellikle belediyenin istihdam ettiği elemanlarca çözümünün mümkün olmadığı, proje onaylarının projeyi hazırlayan kişinin yapmış olduğu şekliyle doğru kabul edildiği belirtilmektedir.

İmar kanunu kapsamında ahşap bir yapıya bağımsız kat mülkiyeti verilmeyişi önemli yapısal bir sorun oluşturmaktadır. Halbuki bu teknolojiyi ileri teknoloji uygulamaları ve mühendislik çözümleriyle birleştiren ülkelerde 4-5 kata kadar güvenli yapılar çok yaygın olarak uygulanabilmektedir.

Amerika ve Kanada gibi deprem riski yüksek ülkelerde ahşap yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ülkelerde ahşap yapı tasarım kriterlerinin yer aldığı standartlar, bölgesel ve ulusal yapı yönetmelikleri mevcut olup uluslararası yapı yönetmeliklerini dikkate alarak üretim yapılmaktadır. Endüstriyel gelişmelere paralel olarak bu ülkelerde belirli periyotlarda standart ve yönetmelikler güncellenmektedir. Örneğin Uluslararası yapı yönetmeliği her 3 yılda bir revize edilmektedir. Avrupa’da dâhil olmak üzere bu ülkelerde ahşap yapı tasarımı kalifiye tasarımcılar ve mühendisler tarafından takip edilmektedir. Bizim ülkemizde en büyük sorunlardan biriside standartlarda ve yönetmeliklerde eksikliklerin olmasıdır. Ayrıca kalifiye eleman eksikliği ikinci en büyük problemdir. Ülkemizde sadece Deprem Yönetmeliği, standart olarak betonarme yapılar için TS-500

yönetmeliği uygulanmakta olup bu yönetmelik ve standartlar uzun yıllardan beri yenilenmemiştir. Ahşap yapıların da içerisinde yer aldığı TS 647 (Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) 1979 yılında ve TS 498 (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri) ise 1997 yılında yürürlüğe girmiş ve o zamandan beri güncellenmemiştir. Eurocode-5 ve Eurocode-8 Avrupa kriterlerine uygun standartlar olup anlaşılması oldukça güçtür.

Ekonomik ve toplumsal boyutlarıyla önemli bir sorun olan konut sektörü içerisinde, alternatif konut tipi olarak önem arz eden ahşap yapılara yönelik sorunların çözümünde, yapının üretimi ile ilgili süreçler bir bütün içerisinde ele alınmalı, altyapı ve arsa temininden, finansmana, üretim teknolojisinden, üretim sonrası kullanım şekillerine kadar tüm süreçler programlı ve kontrollü bir biçimde yürütülmelidir.

Ahşap yapı sektörünün sahip olduğu sorunların çözümünde devlet politikalarının değişmesi ve detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Yönetmeliklere ahşap yapının girmesi ya da ayrı bir yönetmeliğin oluşturulması gerekmektedir. Çözülünebilen ve mühendislik hesabı yapılabilen bir üretim teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır.

2.4. Ahşap Yapıların Sağladığı Avantajlar

Ahşap yapı tüm dünyada yapı sektörü içerisinde büyük bir rekabet gücüne sahiptir. Ahşap yapılar, enerji verimliliği yüksek, küresel ısınmaya karşı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmuş bir yapı sistemidir. Dünyada uygun yaşam standardı için enerji sorununu çözmek ve emisyonu azaltmak adına ahşap yapıya olan yönelim artmaktadır. Binalar önemli boyutta enerji tüketen ürünler olması nedeniyle, AB ve tüm gelişmiş ülkelerde iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik eylemlerin başında binalarda enerji verimliliğinin artırılması gelmektedir. Bu kapsam da çeşitli direktifler ve politikalar geliştirilmektedir.

Artan enerji talebi, çevre kirliliği ve dolayısıyla yasal gereklilikler enerji tasarruflu inşaat için temel nedenlerinden bazılarıdır. Özellikle Kyoto protokolünü takip etmeye çalışan Avrupa Birliği, binalarda enerji verimliliğinin teşvik edilmesi amacıyla 'Binalarda Enerji Performansı Direktifi' yayınlamışlardır. Avrupa'da enerji tüketiminin %40'ı ve CO₂ emisyonunun yaklaşık %25'i binalardan kaynaklanmaktadır. Bu değerler, yapıların neden

olduğu sera gazı emisyonlarının ve enerji tüketimlerinin azaltılması için büyük bir potansiyel olduğunu göstermektedir (Sorsak, Leskovar, Premrov, Goricanec ve Psunder, 2014).

Türkiye’de bina artışı incelendiğinde, TÜİK’in 2000 yılı bina sayımına göre; bina sayısı 1984 yılında 4,3 milyon iken %78 artışla 2000 yılında 7,8 milyona, konut sayısı ise aynı yılın verilerine göre %129 artışla 16,2 milyona ulaşmıştır. 2000-2008 yılları arasında alınan inşaat izinlerine göre konut, ticari ve kamu binalarının alan bakımından %56 oranında artarak 1.524 milyon m²’ye ulaşırken, sayı bakımından ise %7 oranında arttığı görülmektedir. Daha geniş kullanım alanlarına olan talep artışı, binalarda enerji verimliliği önlemlerinin ivedilikle alınması gerektiğini göstermektedir (Keskin, 2010).

Türkiye’de bina artışına ve endüstrinin gelişmesine paralel olarak sera gazı emisyonları önemli oranda artmaktadır. 1990 yılında 170 milyon ton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu, 2008 yılında 366,5 milyon ton CO₂’e (arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık etkisi hariç) yükselmiştir. 2020 yılına kadar ise bu oranların daha yükseleceği ve yaklaşık iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. 2008 yılı verilerine göre ülkemizde enerji tüketimi yaklaşık %36’sı konut ve hizmet binaları, %32’si sanayi ve %20’si ulaştırmadan kaynaklanmaktadır (Keskin, 2010).

Avrupa, Kanada ve Amerika gibi ülkelerde diğ er yapılar içerisinde ahşap yapılar yaklaşık %80-90’nı kaplamaktadır. Bu ülkelerde çevresel mevzuatların baskısı ile yapı sektöründe ahşap yapılarının kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Ülkemizde ise 1990-2000 yılları arasında gerçekleştirilen bina sayımında ahşap yapı yaklaşık %2’lik bir oranı kaplamaktadır (Örs ve Togay, 2002). Daha sonraki yıllarda da bu oranın çok fazla değişmediği tahmin edilmektedir. Türkiye’de kullanılan enerji ve CO₂ salınımının büyük oranda betonarme binalardan kaynaklandığı görülmekle birlikte herhangi bir mevzuatta ve alınacak enerji verimlilik tedbirlerinde ahşap yer almamakta ve bu konuda baskı yapılmamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynağı olan ahşap malzemenin diğ er çelik ve beton yapı malzemelerine göre enerji verimliliği açısından üstünlüğünü görebilmek için karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı metrekareye sahip (1000m²) ve ortalama yüksekliği 6 m olan ahşap,

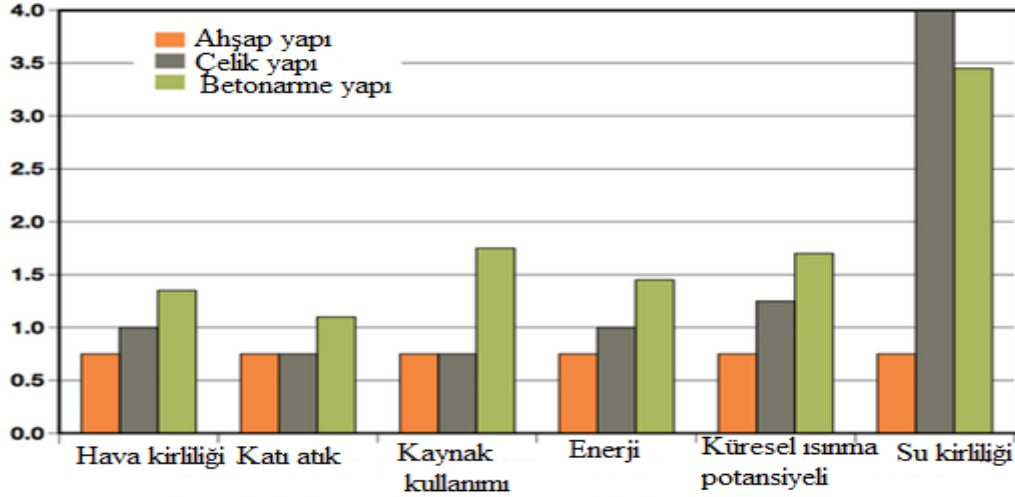
çelik ve betondan üretilmiş bir hangarın yaşam döngüsü safhalarında meydana çıkan enerjileri karşılaştırılmıştır (Çizelge 2.5.) (Roche, Connor ve Têtu, 2003).

Çizelge 2.5. Farklı yapı malzemelerinin yaşam döngüsü aşamalarında enerji çıktıları (Roche ve diğerleri, 2003)

Yaşam döngüsü Aşamaları	Kullanılan Enerji (MJ)		
	Ahşap	Çelik	Beton
Üretim	1 188 000	2 268 000	2 973 600
Taşıma	216 000	216 000	435 600
Hizmet ömrü (20 yıl)	3 600 000	3 870 000	4 100 000
Yıkım	324 000	223 000	493 000
Toplam	5 328 000	6 577 200	8 002 800
Atıklardan elde edilen enerji	3 400 000	0	0
Net enerji tüketimi	1 928 000	6 577 200	8 002 800

Çizelge 2.5 incelendiğinde, yapı malzemesi olarak ahşap kullanıldığında diğer yapı malzemelerine göre daha düşük enerji tüketimi olduğu görülmektedir. En yüksek enerji tüketimi yapı malzemelerinin üretim aşamasında ortaya çıkmaktadır. Beton kullanılmış yapının bütün aşamalarında daha yüksek enerji tüketimi sağlanmaktadır. Ahşap malzeme ile üretilmiş yapıda 20 yıllık hizmet ömrünü tamamladıktan ve yıkıldıktan sonra atıklar enerji kullanımında değerlendirilmiş ve 3400000 MJ enerji üretilmiştir. Sonuç olarak bakıldığında ahşap malzeme kullanılarak gerçekleştirilen yapıda net enerji tüketimi 1 928 000 MJ olmuştur. Ahşaba göre çelik yapılarda yaklaşık 3 kat betonarme yapılarda ise 4 kat daha fazla enerji tüketimi olmuştur (Roche ve diğerleri, 2003).

Çelik, beton ve ahşap yapı malzemelerden yapılmış hangar yapının 20 yıllık faaliyet alanı içerisinde çevreye etkileri Şekil 2.8’de verilmiştir. Şekilde ahşap değerleri 0,75 olarak sabit tutulmuştur. Çelik, Beton ve Ahşap olmak üzere bu üç yapı malzemelerinin çevresel profilleri incelendiğinde ahşap kullanılan sistemlerin çevresel bazda çelik ve beton yapılardan daha üstün olduğu görülmektedir (Frej, 2005).



Şekil 2.8. Yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması (Frej, 2005)

Ahşap konutta enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve iklim değişikliğine önemli katkıda bulunmaktadır. Ahşap perde duvarlarda farklı kesitlere sahip ahşap elemanlar kullanılarak enerji verimliliği sağlanmaktadır. Çizelge 2.6’da farklı kesitlerde ahşap dikmelerin enerji verimlik değerleri m^2 cinsinden R-değeri ile ifade edilmiştir (Nodriguez-Nikl, Gupta, Kramer ve Sinha, 2015).

Çizelge 2.6. Farklı duvar tiplerinin enerji verimlilik değerleri (Nodriguez-Nikl ve diğerleri, 2015)

Dikme kesitleri (mm)	Dikme aralıkları (mm)	R-Değeri ($m^2 \cdot K/W$)
Alt ve üst yatay elemanlar ve kenar dikmeler (50x150) Orta dikmeler (50x100)	610	3,84
50x150	610	3,70
50x150	406	3,54
50x100	610	2,54
50x100	406	2,43

Çizelge 2.6 incelendiğinde çerçeve elemanları oluşturan ahşap malzemelerin kesitleri ve aralarında bırakılan mesafe enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Kesit büyüdükçe ve dikmeler arasındaki mesafe arttıkça enerji verimlilik değeri artmaktadır.

Ahşap malzeme düşük enerji kullanımı ve çevresel etkilerinin düşük olmasının yanında diğer yapı malzemelerine göre dayanım olarak rekabet edebilmektedir. Ahşabın lifli bir

yapıya sahip oluşu, bina kullanımlarında yüksek mukavemet göstermesine ve sünek davranmasına yol açmaktadır. Deprem riski yüksek olan bölgelerde, ahşabın bu özelliği betonarme, alüminyum ve çelik gibi yapı malzemelerine karşı kullanımını daha avantajlı bir konuma getirmektedir. Ahşap malzeme kısa süreli yüklemelerde hücre çeperindeki selüloz elastik, uzun süreli yüklemelerde ise lignin plastik davranış göstermektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997:1).

Ayrıca ahşap malzeme hafif bir yapı malzemesi olmasına rağmen dayanımı oldukça yüksektir. Diğer yapı malzemelerine göre sünek bir davranış gösterdiği için göçmeden deformasyon yapabilmektedir. Deprem ve rüzgar yükleri gibi yükler karşısında panel duvarlar ile karşı koymakta ve duvarlar üzerinde oluşan enerji ve gerilmeler birleştirme elemanları ile dağıtılmaktadır. Ayrıca ahşap çerçeve panellerin her iki yüzeyinde bulunan kaplama panelleri yapının daha rijit davranmasını ve kesme dayanımını artırmaktadır.

Ahşap yapıların montajı kolay, hızlı ve pratiktir. Üretici firmalarca sipariş alımından sonra evin anahtar tesliminin, üretim sistemi, yapının büyüklüğü ve arsanın durumuna göre 15 gün ile 3 ay içerisinde değişen zamanlarda gerçekleştirildiği belirtilmektedir.

Diğer tüm malzemelerin yetersiz kaldığı mimari sorunlar ahşap yapılarda kolayca çözülebilmektedir. Standart kereste kavramının yerini alan LVL, SIP, SCL, PSL gibi eleman çözümlenmeleri ile her şarta uygun yapı elemanı üretimi söz konusudur.

Ahşap malzeme yangına karşı dayanımı konusunda halk arasında oldukça güvensiz bir malzeme olarak bilinmektedir. Ahşap malzeme ses ve ısı izolasyonu son derece iyi bir yapı malzemesidir. Lif yapısı ve boşluklarda bulunan hava iyi bir yalıtım malzemesidir. Örneğin tuğladan 6, cam pencerelerden 8, eşit kalınlıktaki betondan 15, çelikten 390, alüminyumdan 1700 defa daha fazla ısı izolasyonu sağlamaktadır. Ağaç malzeme metal konstrüksiyonlarla karşılaştırıldığında sıcaklık arttıkça çok az boyutsal değişime uğramaktadır. Sıcaklık arttıkça ahşap malzemenin dış kısmı kömürleşme özelliği göstermekte ve ısının içeriye yayılmasını engellemektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997:2). Bu durum ahşap malzemelerin yangına karşı dayanımını arttırmaktadır. Metal konstrüksiyonlu yapılarda ise sıcaklık arttıkça dayanım azalmakta ve çökmeler meydana gelmektedir. Betonarme yapılarda da artan sıcaklık etkisi ile duvarlarda patlamalar meydana gelmektedir.

3. KAYNAK TARAMASI

3.1. Deneysel Çalışma İle İlgili Literatür Taraması

Ahşap yapılar, ağırlığına oranla yüksek dayanım değerlerine sahip olmaları nedeniyle iyi deprem davranışı sergilemektedir (Premrov ve Dobrila, 2012). Bu nedenle, ahşap yapılar dünyada birçok ülkede yapı endüstrisinin büyük bir kısmını temsil etmektedir. Amerika, Kanada, Avrupa kıtası ve Japonya'da insanlar genellikle ahşaptan yapılan yapılarda yaşantılarını sürdürmektedir. Hem tek hem de çok katlı yapı çözümlerinde yatay yük taşıma kapasitesine sahip ahşap çerçeve duvar elemanları kullanılmaktadır.

Yeni marka ve geliştirilmiş özellikler ile tüm dünyada ahşap yapı üretiminin artması sağlanmıştır. Ayrıca, modern ahşap çerçeve yapılar toplum ve çevre gerekliliklerini karşılayabilme kapasitesine sahip olduğu için diğer yapı türleri içerisinde rekabet edebilmektedir. Son zamanlarda ahşap çerçeve yapıların yapımı ile ilgili güçlü argümanlar vardır (Premrov ve Dobrila, 2012; Premrov ve Kutha, 2009). Bunların en önemlileri şunlardır;

- Fiziksel özellikleri çok iyi binalar,
- Çevre ile mükemmel uyum gösteren yapısal malzemeler,
- Yapısal malzemeleri hazırlanırken düşük enerji tüketimi,
- Hızlı yapım,
- Deprem güvenliği iyi,
- İnşaat alanında üretimden, fabrikada prefabrikasyon üretime geçiş,
- Modüler yapıya geçiş,
- Yapıya tutkallı lamine ahşap elemanların büyük bir girişi,
- Mikro panel sisteminden prefabrik makro panel duvar sistemine geçiş.

Ahşap yapıları bütün bu olumlu özelliklerinin yanında diğer önemli bir avantajı ise aynı dış boyutlara sahip binalara göre % 10 daha büyük yerleşim alanı sağlanmasıdır (Premrov ve Kutha, 2009).

Ahşap çerçeve duvar paneller deprem gibi yatay yük etkisi altında yapının dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasiteleri üzerinde etkili olan ahşap yapı bileşenidir. Ahşap yapılar

mimari projelerine göre oluşturulan ve tasarlanan ahşap çerçeveli panel duvarların bir araya getirilmesi ile oluşturulan yapılardır (Thelandersson ve Larsen, 2003). Ahşap çerçeve duvar panelleri, çerçeveler, yüzey kaplama panelleri ve birleştirme elemanlarından oluşmaktadır. Yük taşıma kapasiteleri açısından dikey yüklere karşı genellikle dirençli olan duvar çerçeve elemanları yüzey kaplama panelleri ile yatay dayanımı sağlanmaktadır. Bununla birlikte, çerçeve-panel birleşimlerindeki bağlantı elemanlarının enerji tüketiminde ve süneklik oranı üzerinde etkili oldukları düşünülmektedir (Şilih, Premrov ve Şilih, 2012). Ahşap çerçeveli panel duvarlar betonarme yapılardaki betonarme perde duvarı ya da yığma yapılardaki dış taşıyıcı duvar panellerinin ahşap yapılardaki karşılığı olup, ahşap yapıların dayanımı, rijitliği ve enerji tüketim mekanizmasının temelini oluşturulan yapısal elemanlardır (Premrov ve Kuhta, 2010).

Son yıllarda ahşap çerçeve duvar elemanlarının deprem performanslarını belirlemek için birçok deneysel araştırma gerçekleştirilmiştir. Farklı tip ve özelliklerdeki ahşap duvar panellerin yapısal performanslarının belirlenmesi ile ilgili literatür çalışması aşağıda özetlenmiştir.

Filiatrault (1990) tarafından yatay yük altında ahşap perde duvar panellerin deformasyonları belirlenmiştir. Çerçeve elemanların paralelkenar formunda deformasyona uğradığı ve oldukça rijit eleman olan duvar panelin ise duvar üzerinde bir nokta etrafında dönmeye maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Yüzey kaplama panellerin kinematiği yazar tarafından tanımlanmış ve duvar paneli üzerinde meydana gelen dönmelerin büyük bir kısmının eğilmeden dolayı çerçeve-yüzey kaplama panelleri arasında bulunan bağlantı elemanlarının deformasyonundan kaynaklandığı belirtilmiştir. Gupta ve Kuo (1987), duvarda her panelin maruz kaldığı dönme miktarının eşit olduğunu belirlemişlerdir.

Silic ve Premrov (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada çerçeve elemanların tek yüzeyi fiber alçı panellerle kaplanmış ve açıklık bulunan ahşap çerçeve panel duvarların yatay rijitliği ve yatay yük taşıma kapasiteleri üzerine açıklıkların etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Testler gerçek ölçülerde farklı açıklık alanlarına sahip duvar elemanları ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Yasumura ve Sugiyama (1984) tarafından geliştirilen denklemler, EC 5 belirtilen Metod A ve Metod B tarafından sunulan ampirik denklemler ile karşılaştırılmıştır. Boşluk alanları arttıkça duvar elemanlarının dayanımlarının azaldığı görülmüştür.

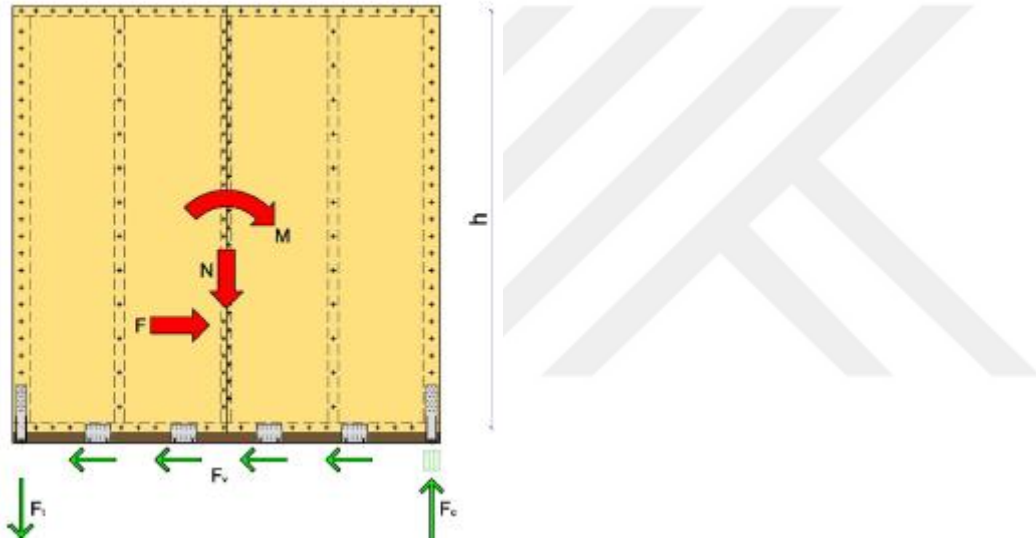
Premrov ve Dobrila (2008) fiber alçı panel ile kaplanmış ahşap çerçeve panel duvarların matematiksel modelleri ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Fiber alçı panelin çekme direnci basınçtan 10 kez daha düşük olduğu için karbon fiber ile güçlendirilmiş polimer diyagonal çubuklarla desteklenmiştir. Daha önce Premrov, Dobrila ve Bedenik (2004) tarafından yapılmış deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar esas alınarak matematiksel model oluşturulmuştur. Çerçeve-yüzey kaplama panelleri arasında bulunan birleştirme elemanlarında meydana gelen plastik deformasyonlar hesaplanmıştır. Fiber alçı panellerde çekme alanlarında çatlaklar görülmüş ve ilk kesme çatlağın olduğu yatay kuvvet matematiksel modellerle hesaplanmıştır.

Pintaric ve Premrov (2013) tarafından gerçekleştirilen makale çalışması hayali diyagonal çubuk olduğu düşünülen ahşap çerçeve duvarların matematik modeli ile ilgilidir. Yatay yük altında ahşap perde duvarların performanslarını belirlemek için basitleştirilmiş matematiksel modeller geliştirilerek çerçeve duvarların rijitlikleri hesaplanmıştır. EC-5'e göre Ahşap çerçeve duvarların etkin eğilme rijitlikleri, birleştirici elemanların rijitlik katsayıları, duvarların kesme rijitlikleri, diyagonal çubuk kesitleri ve ölçüleri belirlenmiştir. Sonuç olarak hayali diyagonal çubuk ile ilgili analitik modeller ahşap çerçeve duvarların yatay yük taşıma kapasitelerinin hesabı için çok iyi bir yaklaşım sunduğu vurgulanmıştır.

Premrov ve Dobrila (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada prefabrik ahşap yapıların yapımında yük taşıma kapasitesi olan güçlendirilmiş panel perde duvarların çözümünde kullanılan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Panel duvarlar ahşap çerçeve ve diyagonal çelik ile güçlendirilmiş fiber alçı panellerden oluşmaktadır. Matematiksel modeller kullanılarak hayali diyagonal çubuk yaklaşımı uygulanarak çubuğun kalınlık ve yüksekliği hesaplanmıştır. Elde edilen matematik modeller ile analitik çözümler sunulmuştur. Test örneklerinden elde edilen çatlaklar ve deformasyonlar sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca güçlendirme olmayan panellerin dayanımları, diyagonal çubuk ile güçlendirilmiş perde panellerin dayanımları ile karşılaştırılmış ve güçlendirme sonucu duvar panellerin daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Ölçülen sonuçların, matematiksel modellerle elde edilen analitik sonuçlar ile oldukça iyi bir uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

Tomasi ve Sartori (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada çerçeve yapılarda deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetlere karşı direnci sağlama görevinin perde duvarlarda olduğu ve

yüke maruz kalan bu duvar panellerin ve temel ve diğer katlardaki duvar panelleri ile arasındaki yük dağılımını sağlayan mekanik bağlantı elemanlarının öneminin büyük olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle monotonik ve tersinir yükler altında, ticari amaçla piyasada bulunan farklı birleştirme elemanlarının ve yeni tasarlanmış bağlantı elemanlarının deneysel çalışmaları sonucu direnç ve rijitlik değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen sistem ile uygulamada genel olarak kabul edilen sistemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum olduğu belirtilmiştir. Çalışmada yatay döşemeler ve dikey paneller arasındaki bağlantı elemanlarının yük dağılımındaki rolleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Duvar panelleri üzerine gelen yüklerin dağıtılmasında bağlantı sistemlerinin rolü (Tomasi ve Sartori, 2013)

White, Miller ve Gupta (2009) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada tamamen ve kısmen ankrajlanmış ahşap çerçeve duvarların monotonik ve çevrimsel testler altında sismik davranışları belirlenmiştir. Deprem testleri 2440x2440 mm ebatlarında duvar panelleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu duvar panellerinde 38x89 mm kesitlerinde Douglas Göknarı kullanılmış ve dikmeler arası mesafe 610 mm bırakılmıştır. Çerçeve-çerçeve birleşimlerinde 16d (4.11x88.9 mm) çivi, çerçeve-panel birleşimlerinde ise 8d (3.33x63.5 mm) çivi kullanılmış olup panel kenarları boyunca 152 mm ve orta kısımlarda 305 mm mesafe bırakılarak çivilenmiştir. Yüzey kaplama malzemesi olarak 1220x2440 mm ebatlarında 11mm OSB kullanılmıştır. Monotonik ve çevrimsel testler altında bu duvar panellerinin deplasman değerleri, başlangıç rijitlikleri, süneklikleri ve enerji sönümlenmeleri belirlenmiştir. Sonuç olarak köşe ve alt yatay elemanlardan tamamen ankrajlanmış duvar

panellerinin daha yüksek dayanıma sahip olduğu ve daha düşük deplasman yaptığı ifade edilmiştir.

Ayrıca, White ve diğerleri (2009) testler esnasında yüzey kaplama malzemeleri ve ahşap çerçeve elemanlar arasındaki bağlantı elemanlarında hasarların meydana geldiğini gözlemlemişler ve birleştirme elemanlarına ait hasar dağılımlarını beş farklı kategoriye ayırmışlardır;

- Çivi veya vidalardan kaplama panel kenarlarının ayrılması
- Çivinin yüzey kaplama panelinden geri çıkması (nail pull-through)
- Çivinin çerçeve elemandan ayrılması (nail withdrawal)
- Yüzey kaplama levhalarında bölgesel ezilme
- Panel üzerinde bulunan bağlantı elemanlarının kırılması

He, Huang ve Zhou (2010) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada ahşap esaslı paneller, alçı panel ve magnezyum oksitli duvar panelleri kullanılarak üretilmiş prefabrik ahşap çerçeve duvar panellerinin dayanımları belirlenmiştir. Deneyleerde kullanılan duvar paneli boyutları 2.4 x2.4 m olup yüzey kaplama malzemesi olarak, kontrplak, OSB, alçı panel ve magnezyum oksitli duvar panelleri kullanılmıştır. ASTM E-72 ve ASTM E-564 standardı kullanılarak, ahşap çerçeve duvar panellerinin yatay yük taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Test sonuçlarında ahşap duvar panellerinin, maksimum yük, elastik rijitlik, süneklik, dayanım ve deplasman değerleri ve enerji tüketim kapasiteleri hakkında bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışmada hasarlar yüzey kaplama panelleri ile çerçeve elemanlar arasındaki çivilerden meydana gelmiştir. Kaplama panellerinden çivilerin ayrılması, panel köşelerinde kesme hataları gibi hasar dağılımları gözlemlenmiştir.

Premrov, Dobrila, Bedenik ve Spacapan (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ahşap çerçeve eleman ve iki farklı yüzey kaplama levhasından oluşan ahşap duvar panellerinin matematiksel modellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada odun esaslı kompozit malzemelerde çekme dayanımının hemen hemen basınç dayanımı ile aynı olduğu ifade edilerek panellerde çatlak gözükmediği, fakat fiber alçı panellerde çekme dayanımının basınca göre 10 kat daha düşük olmasından dolayı çekmede diyagonal yönde levhada çatlaklar görüldüğü ifade edilmiştir. Geliştirilen matematiksel modellerle deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu model, yüzey kaplama levhalarında çekme

bölgelerinde çatlaklar meydana geldiği için, bağlantı elemanlarının bulunduğu alanlarda mekanik birleştiricilerin esnekliklerini belirlemede kullanılmıştır.

Yamaguchi ve diğerleri (2000) farklı yükleme oranları ile ahşap çerçeve perde duvarların monotonik ve çevrimsel testlerini sarsıntılı tabla ve dinamik testler kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçları karşılaştırarak, dinamik ve sarsıntılı test sonuçları arasında farklılık olduğunu ifade etmişlerdir.

Salenikovich ve Dolan (2003) tarafından farklı en/boy oranına ve devrilme kısıtlarına sahip duvar elemanları, hem statik hem de çevrimsel olarak test edilmiştir. Duvar süneklikleri ve rijitlikleri her iki test prosedüründe elde edilen sonuçlarda aynı bulunmuştur. Monotonik testlerde en/boy oranı 2:1'e eşit ve daha az olan duvar elemanlarında maksimum dayanım ve deplasman değerleri elde edilmiştir.

Artan enerji talebi, çevre kirliliği ve dolayısıyla yasal gereklilikler enerji tasarruflu bina için temel nedenlerinden bazılarıdır. Sorsak ve diğerleri (2014) enerji tasarruflu ahşap yapıların ekonomik verimliliğini belirlemek için birtakım yaklaşımlar önermişlerdir. Önerilen yaklaşım Slovenya'da müstakil bir ahşap evin simülasyonu ile verilmiştir. Kyoto protokolünü takip etmeye çalışan Avrupa birliği tarafından Sloven ulusal çevre mevzuatının Avrupa direktiflerine maruz bırakıldığı ve ayrıca bina stoğunun birincil enerji tüketiminin yaklaşık %40 ve CO₂ emisyonunun yaklaşık %25'inden sorumlu olduğu ifade edilmiştir. Sorsak ve diğerleri (2014) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada binayı oluşturan duvarlar, çatı, zemin, pencere ve kapı gibi bileşenlerin tasarımının çok önemli olduğu ve bu bileşenlerin enerji performansı üzerinde büyük etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. Enerji ihtiyacını azaltmak için binaların, güneş ışını alan, doğal havalandırma ve diğer iklim koşulları gibi pasif yapı stratejilerini sağlayan doğru bir mimari tasarıma sahip olması gerektiği ve doğru mimari tasarım, düşük enerji malzemeleri ve teknolojilerinin kullanımı ile birlikte apartman yapılarında ısıtma veya soğutma için daha az enerji kullanılacağı ifade edilmiştir.

Ber, Premrov, Štrukelj ve Kuhta (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada yapıların enerji verimliliği üzerine pozitif etkisi olan ahşap ve cam materyallerinden oluşan ahşap-cam duvar panellerinin yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları, OSB ve diğer yüzey kaplama

malzemeleri gibi cam ile kaplanmış ahşap perde duvarların performanslarının belirlenmesi üzerine yapılmış önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Camlı duvar panellerinin rijitlikleri, OSB ve diğer alçı paneller ile kaplanmış duvar panellerine göre daha düşük elde edilmiştir. Epoksi tutkalları ile tutkallanmış camlı duvarlarda daha yüksek rijitlik, silikon ve PU tutkalı ile tutkallanmış duvarlarda ise daha sünek bir yapı elde edilmiştir. Sonuç olarak, hem statik hem de dinamik yükler altında ahşap-cam kompozit duvar elemanlarının performanslarında önemli etkiye sahip tutkal tipi, tutkal dayanıklılığı, bağlantı tipi, tutkal hattı genişliği ve kalınlığı, cam tipi, cam levhanın kalınlığı ve cam levhanın konumu gibi bileşenlerin önemli olduğu vurgulanmıştır.

Gattesco, Dudine ve Franceschini (2012) yonga levha ile yüzeyleri kaplanmış ahşap duvar panellerinin çevrimsel yükleme altındaki performanslarını belirlenmişlerdir. Perde duvarlar farklı boyutlarda pencere boşluğuna sahip ve birleştirme elemanları ile 80x160 mm kesitlerinde dikmelerden oluşturulmuştur. Panel-çerçeve birleşimlerinde 2.8x70 mm çivi kullanılmış ve panel kenarları boyunca 150 mm panel ortasında 300 mm boşluk bırakılarak çivilenmiştir. Deneyler esnasında ankraj malzemeleri ile panel arasında kayma meydana geldiği için aşırı çekme gerilmesinden dolayı panelde yırtılmalar meydana gelmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar ile EC-5'e göre hesaplanan kesme dayanımları karşılaştırılmıştır. Deneysel testlerle elde edilen dayanım ve rijitlik değerleri ile yönetmelik değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir.

Lam, Prion ve He (1997) tarafından boşluklu ve boşluksuz ahşap perde duvar panellerin monotonik ve çevrimsel yükler altında yatay dayanımları belirlenmiştir. Panel-çerçeve birleşimlerinde farklı tipte ve açıklıklarda birleştirme elemanları kullanılmıştır. Deney sonuçlarından duvar panellerinin yatay yük taşıma kapasiteleri, rijitlik, süneklik ve enerji sönümlenme kapasiteleri hakkında bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, deneyler esnasında panellerin alt kısımlarında meydana gelen gerilme yığılmalarından dolayı panel ayrılmaları, çivilerin çıkması ve çivilerin panelleri ezmesi gibi hasarların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Rodriguez-Nikl ve diğerleri (2015) konutta enerji kullanımının, sera gazı emisyonları ve iklim değişikliği üzerinde önemli etkisinin olduğunu vurgulamışlardır. Geleneksel yapılarda farklı kesitlerde dikmeler kullanılarak termal köprüler oluşturulmakta ve enerji verimliliği sağlanmaktadır. Ayrıca ahşap panel duvarlarda kullanılan dikme kesitleri ve

dikme aralıklarının artışı ile enerji verimliliğinin değişimi tablo halinde sunulmuştur. Bu çalışmada yüzeyi alçı panel ile kaplanmış duvar panellerin deprem performansları monotonik ve çevrimsel yükler altında belirlenmiştir. Sonuç olarak çivi aralıkları, çivi tipi ve kaplama malzemelerinin, ahşap panel duvarların deprem performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır.

Vogt, Hummel ve Seim (2012) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada gerçek boyutta hafif ahşap çerçeve perde duvar ve ahşap bağlantı elemanlarının çevrimsel davranışlarının deneysel çalışmalarla belirlenmesi amaçlanmıştır. Duvar elemanları farklı yükleme protokolleri (monotonik, ISO 21581, CUREE) altında test edilmiştir. Süneklik faktörü için Yasumura ve Kawai (1998) tarafından geliştirilmiş metod ve EN 12512'ye göre iki hesap yöntemi kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. EN 12512 ile tanımlanan akma noktasına göre hesaplanan süneklik daha düşük elde edilmiştir.

Memari ve Solnosky (2014), alçı panel ile kaplanmış ahşap çerçeve duvar elemanlarının tersinir yük altında düzlem içi kesme performanslarını belirlemiştir. Bu çalışmada 2438x2438 mm ebatlarında duvar panelleri kullanılarak CUREE yükleme protokolü takip edilerek düzlem içi çevrimsel kesme yükü altında performansları test edilmiştir. Eğer perde duvarlar rüzgar ve deprem yüklerine karşı direnç sağlamak için dış duvar olarak kullanılacaksa, dış yüzeyleri kontrplak veya OSB gibi malzemelerle iç kısımları ise alçıpan gibi malzemelerle kaplanması gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada duvar panellerin performanslarını daha iyi anlamak için yüzey kaplama panellerinin etkisinin, birleştirme elemanları arasındaki açıklığın, en/boy oranının (aspect ratio), ankraj elemanlarının, monotonik ve çevrimsel yüklemelerin etkisinin çok iyi bilinmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Kallsner ve Girhammar (2009a) tarafından gerçekleştirilen çalışmada yüzeyi kaplanmış ve tamamen ankrajlanmış ahşap perde duvarların elastik analiz modelleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Geliştirilen elastik model, kaplama ve çerçeve elemanlar arasındaki bağlantı elemanlarının doğrusal elastik yük-kayma ilişkisine dayanmakta olup, temel yapısal davranışlar ve varsayımlar aydınlatılmıştır. Maksimum yükte ve sonrası durumlarda perde duvar deformasyonları ve yük taşıma kapasiteleri için formüller üretilmiştir. Ayrıca yüzey kaplama ve bağlantı elemanlarının deplasman ve kuvvet değerleri elde edilmiştir. Bunun yanında duvar deplasman ve kapasiteleri üzerine bağlantı elemanları arasındaki mesafenin

etkisi belirlenmiştir. Bağlantı elemanları arasında mesafe küçük olduğunda elastik model rijitliğinin yüksek çıktığı görülmüştür.

Girhammar, Bovim ve Kallsner (2004) ahşap perde duvarların doğru bilgisayar tasarım metodlarını geliştirmek ve uygulamak için çerçeve-panel birleştirme elemanlarının karakteristikleri ve hasar modlarının iyi bilinmesi gerektiğini vurgulayarak, ahşap-çerçeve birleşimlerinin deneysel testlerini gerçekleştirmişlerdir. Ahşap malzemenin lif yönleri ve farklı kaplama malzemeleri için yük-kayma eğrisini belirlemede parametrik denklemler önermişlerdir.

Kallsner ve Girhammar (2009b) çekme kenarlarından zemin ile tamamen ankrajlanmış ahşap duvar panellerin plastik analizi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ahşap duvar panellerin deneysel olarak yapısal davranışları ve plastik model varsayımı açıklanmıştır. Elastik ve plastik limit durumlarında duvar elemanlarının yük taşıma kapasiteleri ve deplasmanları belirlenmiştir. Plastik yük taşıma kapasitelerinin üst sınırlarını belirlemek için kinematik teoremler kullanılmıştır. Çalışmada perde duvarlarda çerçeve-panel bağlantıları için mekanik bağlantı elemanlarının tamamen plastik özellik gösterdiği belirtilmiştir.

Girhammar ve Kallsner (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tamamen ankrajlı perde duvarların yatay deplasman ve rijitlikleri üzerine duvar elemanlarında meydana gelen hasarların etkisi belirlenmiştir. Panellerde meydana gelen kusurların, gerçek deplasman değerlerini elde etmek için dikkate alınması gerektiği ve duvar rijitlikleri üzerine önemli derecede etkisinin olduğu ifade edilmiştir. Elasto-plastik model kullanılarak, her bir duvar elemanına karşılık gelen rijitlik ve deplasman değerleri elde edilmiştir. Analitik modelin, çerçeve çevresine paralel gerilmelere sahip çerçeve-panel mekanik birleştiricilerin ideal plastik davranışları ve alt yatay elemana dik gerilmelerin lineer elastik davranışlarına dayandığı belirtilmiştir.

Sartori ve Roberto (2013) tarafından, farklı kalınlıklarda paneller, farklı birleştirme elemanları (çivi, zımba,) ve birleştirme elemanları arasındaki açıklık farklılıkları dikkate alınarak monotonik ve tersinir yükler altında deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler mevcut standartlarda belirtilen formüller ile hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Bu standartlara göre çivili birleşimlerin elastik moment ve

kayma modül değerleri tablo halinde verilmiştir. Çivilerin direnç değerleri hesaplanırken, deneysel ve standartlar arasında iyi bir uyumun olduğu, rijitlik hesaplarında aynı uyumun görölmediği sonucuna varılmıştır.

Seim, Hummel ve Vogt (2014) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, çapraz lamine ve ahşap ereve duvar elemanlarında kuvvet odaklı mühendislik tasarımları için farklı tasarım metotları tartişılmıştır. Bu yöntemler eşdeğer yatay kuvvet yöntemi ve kapasite spektrum yöntemidir. Deprem etkisine karşı güvenli bir yapı tasarımı için önemli olan üç temel tanım yapılmıştır. Bunlar deformasyon karakterleri, enerji sönümleme ve dayanım parametreleridir. Çalışmada, bu önemli parametreler üzerinde durulmuş ve farklı duvar sistemlerinde meydana gelen değişimleri tartişılmıştır.

şilih ve Premrov (2010) tek yüzeyi alçı panel ile kaplanmış açıklığa sahip ahşap duvar panellerinin deneysel çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Deneyle gerçek ölçülerde ve farklı açıklıklara sahip duvar elemanlarında gerçekleştirilmiş ve açıklıkların panel rijitliği ve yük taşıma kapasiteleri üzerine etkileri hakkında bilgi verilmiştir. Aynı ölçü ve materyal özelliklerine sahip önceden yapılmış çalışmalar ile deneylerden elde edilen ölçümler karşılaştırılmıştır. Açıklık olan duvar panelleri ile açıklık olmayan duvar panellerinin dayanım/rijitlik oranları Yasumura ve Sugiyama (1984) tarafından geliştirilen eşitlik ve EC-5'te ifade edilen Metod B prosedürüne göre hesaplanmıştır. Bu çalışmada açıklık içeren ahşap çerçeveli duvar elemanlarının özelliklede yapının önemli bir bölümü bu panellerden oluştuğunda, genel yatay yük taşıma kapasitesine katkıda hesaba katılması gerektiği önemle vurgulanmaktadır.

Buonopane, Bian, Tun ve Schafer (2015) tarafından elik ereve eleman üzeri OSB paneller ile kaplanmış ve yük-deplasman eğrisi elde edilmiştir. Yüzey kaplama paneli olarak OSB ve alçı panel kullanılarak farklı konfigürasyonlarda deneyler gerekleştirilmifitir. Ayrıca bu çalışmada kaplama paneller ve her bir bağlantı eleman arasında meydana gelen nonlinear davranışın modellenmesi üzerine bir çalışma gerekleştirilmifitir. Birleştirme yerlerinde meydana gelen bölgesel davranışların duvar elemanlarının yatay dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir.

Malo Siem ve Ellings (2011) ahşap yapılarda süneklik hesaplamaları hakkında bilgi vermişlerdir. Bu çalışmada matematiksel modellerle akma noktası ve süneklik

belirlenmiştir. Süneklik, ahşap yapılar için bağlantı elemanlarının çevrimsel testlerinden elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar kullanılarak gerilme, deformasyon ve enerji esaslı süneklik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Süneklik ölçümü ile ilgili diğer bir çalışma ise Munoz, Salenikovich, Mohammad ve Quenneville (2008) tarafından gerçekleştirilmiştir. Munoz ve diğerleri (2008) yapmış oldukları çalışmada deneysel sonuçlardan elde edilen yük-deplasman eğrilerini kullanarak, altı farklı metod ile akma noktası hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca maksimum yükten sonraki deplasman değerinin akma noktasındaki deplasman değerine bölünmesi ve maksimum noktadaki deplasman değerinin akma noktasındaki deplasman değerine bölünmesi olmak üzere iki farklı yöntemle süneklik değerleri elde edilmiştir.

Goodall ve Gupta (2011) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada alçı panel ve OSB yüzey kaplama panelleri ile kaplanmış duvar panellerin yapısal davranışları belirlenmiştir. ASCE dönme kriteri kullanılarak deneysel çalışma gerçekleştirilmiş ve önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Alçı panellerin duvar dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı fakat elastik kesme rijitliğine katkı sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca deneyler esnasında yüzey panelleri üzerinde farklı hasarlar meydana gelmiştir. Meydana gelen hasarlar, vida etrafında veya yakınında paneller üzerinde çatlama veya yırtılmaların oluşması, vidaların yaklaşık 2 mm panel içerisinden geri çıkması, vida etrafında panel üzerinde çift taraflı ezilmelerin olması şeklinde görülmüştür. Ayrıca pencere ve kapı boşluğu gibi açıklıkların kenarlarında çatlaklar meydana gelmiştir.

3.2. Nümerik Analiz İle İlgili Literatür Taraması

Ahşap yapılarda sayısal modelleme yöntemi 20.yy'ın ikinci yarısında başlamıştır. Günümüzde bütün bina veya perde duvarların doğrusal olmayan statik ve dinamik tepki analizleri için ticari veya özel kullanıcı sonlu eleman analiz programları geliştirilmiştir. Sonlu eleman tabanlı bir bilgisayar programında ahşap yapıların basitleştirilmiş makro ve ileri mikro matematiksel modelleri incelenebilmektedir. Bu programlarda, deneysel ve analitik çalışmalarla çalışılmış ahşap çerçeve duvar bileşenleri, hafif çerçeve ahşap yapıların tamamı ve çerçeve-panel birleşimlerin statik ve dinamik yapı etkileri tahmin edilebilmektedir. Sonlu eleman metodu, ahşap yapıların ve bütün bileşenlerinin çevrimsel tepkilerini tanımlamak için basitleştirilmiş veya karmaşık sayısal formülasyonlar, iki boyutlu veya üç boyutlu modeller ve deplasman esaslı değişkenler kullanılmaktadır. Ahşap

perde duvarların nümerik modelleri içerisinde ahşap çerçeve elemanlar, kaplama paneller, çerçeve-panel ve diğer bileşenler arası bağlantıların sonlu eleman temsilleri entegre edilebilmektedir. Örneğin çerçeve-panel birleşimlerinde kullanılan çiviler yay sonlu elemanı olarak temsil edilmekte ve yay özellikleri deneysel çalışmalardan elde edilmektedir.

Bu bölümde yatay ve dikey yükler altında ahşap çerçeve panel duvarların statik ve dinamik sonlu eleman analizleri ile ilgili yayınlanan araştırmalar tartışılmıştır.

Ahşap duvar panel bileşenlerinin sonlu eleman analizleri ile ilgili çalışmalar 1976 yılında başlamış ve bu çalışmalardan ilk ikisi Polensek (1976) ve Foschi (1977) tarafından gerçekleştirilmiştir. Polensek (1976), duvar yüzey kaplama panellerine gelen dik basınç yükleri ve düşey özgül yükleri nedeniyle ahşap duvar panel bileşenlerin düzlem dışı eğilme davranışlarını belirlemek için bir model geliştirmiştir. Foschi (1977), kaplama panelleri için, 12 düğüm noktalı dörtgen düzlem gerilme elemanı (12-noded quadrilateral plane stress element) ve ahşap çerçeve elemanlar için 2 düğüm noktalı kiriş (2-noded beam element) elemanı kullanarak ahşap duvar panellerin sonlu eleman modellerini geliştirmiştir. Panel-çerçeve bağlantıları iki düğüm noktalı doğrusal olmayan elastik yay elemanı (nonlinear elastic spring) olarak modellenmiştir. Çerçeve-çerçeve bağlantıları ise çerçeve elemanlar arasında kesme, aksenal ve eğilme moment aktaran iki düğüm noktalı doğrusal olmayan elastik yay elemanı olarak tanımlanmıştır. Geliştirmiş olduğu bu modeli deneysel çalışma ile doğrulamış ve model ile deney sonuçları arasında iyi bir ilişki elde etmiştir.

Dolan ve Foschi (1991) tarafından, Dolan (1989)'ın yapmış olduğu çalışma ve Foschi (1977)'nin geliştirmiş olduğu sonlu eleman programına dayalı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma kaplama levhaların düzlem dışı eğilme ve burulma özellikleri ve çerçeve-panel levha bağlantılarının maksimum yük taşıma kapasitelerini içermektedir. Statik yatay yük altında gerçek ölçülerde duvar panellerin deney sonuçları ile sonlu eleman analizi sonuçları karşılaştırılmış ve maksimum dayanım kapasiteleri arasında oldukça iyi bir korelasyon elde edilmiştir.

Filiatrault (1990) yatay statik yükler altında ahşap perde duvarların davranışlarını belirlemek için basit yapısal analiz programı geliştirmiştir. Panel levhaların katı cisim

hareketleri ve ahşap çerçeve elemanların yatay deformasyonları belirlenerek, ahşap panel duvarların modellenmesi için toplam beş global serbestlik derecesi kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada Dolan (1989) tarafından geliştirilen hiperetik bağlantı modeli kullanılarak, perde duvarların dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen basitleştirilmiş model sonucu elde edilen sonuçların Dolan (1989) tarafından gerçekleştirilen statik ve dinamik testler ile iyi bir korelasyon sağladığı vurgulanmıştır.

Andreasson (2000) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ticari sonlu eleman programı kullanılmış ve hafif çerçeve ahşap binalar ve duvar bileşenleri üç boyutlu olarak modellenmiştir. Her bir duvar elemanın meydana geldiği çerçeveler için kiriş elemanlar (beam), kaplama panelleri için kabuk elemanlar (shell), çerçeve-çerçeve ve çerçeve-panel bağlantıları için yay elemanlar kullanılmıştır. Dikmeler ve yatay elemanların bağlantısını simüle etmek için sadece çekme yayları kullanılmıştır. Düzlem içi bağlantı yayları doğrusal olmayan elastik ve düzlem dışı çerçeve bağlantıları doğrusal olarak belirlenmiştir. Ahşap perde duvar testlerinden elde edilen davranışlar ile sonlu eleman tahminlerini yakınsatmak için bağlantı elemanların özellikleri modelde kullanılmıştır.

Andreasson, Yasumura ve Daudeville (2002), monotonik yükler altında ahşap perde duvarların nümerik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Daha önceki çalışmaları esas alarak nonlineer elastik sonlu eleman modelini kullanmışlardır. Sonlu eleman analizinde, çerçeve elemanlar iki boyutlu izotropik kiriş elemanı (2D isotropik beam), kaplama panelleri olarak kullanılan kontrplak levhalar iki boyutlu kabuk düzlem gerilme elemanı (plate, 2D plane stress elemanı, elastik ve ortotropik) ve birleştirici elemanlar ise doğrusal olmayan yay elemanı (nonlinear spring eleman) olarak modellenmiştir. Modelleme ve hesaplama için sonlu eleman programı CASTEM2000 kullanılmıştır. Modelde kullanılan çivilerin özellikleri için Yasumura ve Kawai (1998) tarafından belirlenen çivi birleşim testi sonuçları kullanılmıştır. Nümerik analiz sonucunda pencere boşluklu yapılarda duvar sonları ve pencere açıklıklarının alt kısımlarında bulunan elemanlarda daha yüksek basınç kuvvetinin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Mackerle (2005), 1994-2005 yılları arasında sonlu eleman metodu ile ilgili makale ve bildirilerden oluşan 300 adet referans incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda ahşap malzeme ve mekanik özellikleri, ahşap bağlantıları ve birleştiricileri, kırılma mekaniği problemleri, kurutma prosesleri ve termal özellikler, ahşap ürünler, odun kompozit paneller, kirişler,

çerçeve elemanlar, yer döşemeleri, çatılar ve köprüler incelenmiştir. Ahşap malzeme anizotrop bir malzemedir fakat uygun koşullar altında nümerik çalışmalarda ortotropik olarak belirlenmiştir. Sonlu eleman metodunda ahşap malzeme lineer ve nonlinear modellenebilmektedir. Ahşap malzeme gerilme-deformasyon ilişkisi çekmede lineer, basınç ve kaymada nonlinear elde edilmektedir. Ahşap yapılarda birleştiriciler çok önemlidir. Birleştirici elemanların olduğu bölgelerde çok eksenli deformasyon meydana gelmektedir. Birleştirme elemanları enerji sönümleme özelliklerine sahip olup, ahşap yapılarda sünekliği sağlamaktadır. Ahşap bağlantı elemanlarının yük-deformasyon ilişkisi monotonik ve çevrimsel yüklemeler altında belirlenerek doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

Silih, Premrov ve Silih (2012) tek katlı ya da çok katlı prefabrike binalarda kullanılabilen tek yüzü fiber alçı paneller ile kaplanmış ahşap çerçeve duvarların yatay yük taşıma kapasitelerinin nümerik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, boşluklu ve boşluksuz yapılara sahip ahşap duvar panellerin nümerik analizleri için SAP2000 programı kullanılmıştır. Fiber alçı panel ile kaplanmış duvar elemanın yatay yük taşıma kapasitesinin, göreceli olarak düşük çekme direncine ve alçı panel üzerinde meydana gelen çatlaklara bağlı olduğu ifade edilmiştir. Nümerik çalışmada çekme gerilmesi altında kırılma davranış gösteren alçı panel, nonlinear malzeme davranışına izin veren kabuk (Shell) eleman olarak, alçı panel ve çerçeve eleman arasında bulunan zımba birleştirme elemanları, çoklu lineer elasto-plastik kuvvet-deplasman ilişkisi ile nonlinear link eleman (spring- yay) olarak modellenmiştir. Sonuç olarak nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirini yakın elde edilmiştir. Ayrıca yatay yüke (rüzgar ve özellikle deprem) maruz kalan duvar sistemlerinin yatay yük taşıma kapasiteleri üzerine boşluklu yapının etkisi tartışılmıştır. Yükün bir kısmı geçilerek, boşluklu elemanlar, elastik sınır sonrası süneklik sağladıkları için yapının elastik direncini arttırdığı vurgulanmıştır. Yapı güvenliği açısından, açıklıklara sahip duvar elemanları orta dereceli depremler esnasında ve aynı zamanda şiddetli bir deprem durumunda yararlı bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, Avrupa tasarım yönetmeliklerinde var olan yöntemlerin açıklıklara sahip duvar elemanları kapasitelerinin azımsandığı sonucuna varılmış ve bununla yapısal davranışın yetersiz modellenmesine neden olduğu ve daha doğru yöntemlere ihtiyacın olduğunu vurgulanmıştır.

Humbert ve diğeri (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışma ahşap perde duvarların yarı statik yükleme altında sonlu eleman modeli ve analizi, deneysel çalışma ve yük-deplasman grafikleri ile ilgili temel esaslar hakkında bilgi verilmektedir. Sonlu eleman analizinde, ahşap çerçeve eleman için yoğunluk ve elastikiyet modülü girilerek Euler kiriş elemanı, izotropik malzeme olarak modellenen kaplama paneller için dört düğüm noktalı düzlem gerilme elemanı (Four-node plane stress elements) ve çiviler için ise iki düğüm noktalı yay elemanı (two-node spring-like element) kullanılmıştır. Ayrıca çalışma, ahşap yapılarda yaygın olarak kullanılan çeşitli çelik birleştiricilerin (çivi, vida, zımba, dirsek tipi 3D bağlayıcılar, delikli plakalar) değişik birleşimleri için çok yönlü hiperelastik temel esaslarının geliştirilmesini kapsamaktadır.

14 adet deneysel test ile farklı konfigürasyonlardaki perde duvarların performansları tespit edilmiş ve bu testlerden elde edilen sonuçlar önerilen FE modeli doğrulamak için kullanılmıştır. Yarı statik yüklemede hem tek yönlü (monotonik) hem de tersinir tekrarlanır (reversed cyclic) yüklemeler kullanılmıştır. Sonlu eleman model tahminleri ile deneysel sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum sağlamıştır. Literatürde var olan modellere göre, bu çalışmada önerilen nümerik modelin sağlamlığı arttırdığı ve metal bağlantıların birleşim deformasyonlarını hesaba katan ileri bir aşamayı temsil ettiği ifade edilmiştir.

Zhu, Guan, Rodd ve Pope (2005) ahşap duvar panellerde yüzey kaplama malzemesi olarak oldukça yaygın kullanıma sahip yönlendirilmiş yonga levhaların (OSB) sonlu eleman analizinde davranışlarını simule edebilmek için basınç ve çekme altındaki davranışlarını belirlemişlerdir. OSB'nin ortotropik bir malzeme olduğunu, çekme de lineer davranış gösterirken basınçta nonlineer davranış gösterdiğini vurgulamışlardır. OSB'nin sonlu eleman analizinde yapısal davranışlarını belirlemede nonlineer davranışını dikkate almışlar ve test sonuçlarından elde edilen istatistiklere bağlı olarak basınçta elasto-plastik malzeme modelini kullanmışlardır. Basınç ve çekme de elastikiyet modülleri küçük farklılıklar gösterdiğini, her ikisinde tek değer olarak kullanılabileceğini ve deney sonuçları ile sonlu elemanlarda kullanılan matematiksel modellerin uyum içerisinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Guan ve Zhu (2009) Avrupa ve Kuzey Amerika'da yapı sektöründe düşük maliyet ve çevre dostu olması gibi nedenlerden dolayı yaygın olarak kullanılmakta olan OSB'li I kirişlerin sonlu eleman modellerini gerçekleştirmişlerdir. Çekmede OSB ve ahşap malzemenin

anizotrop plastik davranışlarını simule etmek için Tsai Hill's akma kriterinden yararlanılmıştır. Sonlu eleman modeli için ABAQUS programı kullanılmış ve I kirişler, matematiksel eşitliklerden yararlanılarak anizotrop elasto-plastik kompozit kiriş model olarak modellenmiş ve sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapıda eğilmeye maruz kalan I kirişlerde OSB üzerinde bulunan açıklıklar, açıklığın konumu, büyüklüğü, kiriş derinliğine bağlı olarak yapı performansına etki ettiği ifade edilmiş ve ilk çatlak oluşumunun açıklık kenarlarında meydana geldiği ve diyagonal şekilde oluştuğu gözlemlenmiştir.

Meghlat, Oudjene, Ait-Aider ve Batoz (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada sonlu eleman metodu kullanılarak çivi ve vidalı ahşap birleşimlerinin davranışları simule edilmiştir. Çivileri katı eleman (solid) olarak 3 boyutlu modellemek oldukça detaylı ve maliyetli olacağı için, daha önce birçok yazar tarafından önerildiği gibi bu çalışmada da kiriş-solid eşleme (beam to solid coupling) yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Çivileri 1D beam eleman olarak, ahşap malzemeyi ise solid eleman kullanarak modellemiştirlerdir. Geliştirilmiş nümerik yaklaşımları kullanılarak, kereste-kereste tekli birleşimlerinin kesme testi (push out) esnasında lineer elastik davranışları başarıyla simule edilmiştir. Nümerik analiz sonuçlarında, birleştirme elemanların 3D solid sonlu eleman analizlerine göre daha hızlı bir işlem süresi elde edilmiş, hem her bir çivi bölgesinde yay (spring) eleman kullanan basitleştirilmiş sonlu eleman metodu ile hem de teorik metod ile belirlenemeyen çiviler boyunca ahşap malzemedeki gerilme dağılımları bu yaklaşım ile belirlenebilmiştir.

Baylor ve Harte (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada OSB ve Ladin keresteden oluşan I kirişlerin Ansys programı kullanılarak üç boyutlu sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. OSB ve ladin kereste ortotropik elastik malzeme olarak modellenmiştir. Yükleme yapılan çelik plaka ise izotropik lineer elastik malzeme olarak modellenmiştir. I kirişlerin orta kısımlarında bulunan OSB'ler üzerindeki açıklıkların kirişlerin yük taşıma kapasitelerine etkileri belirlenmiştir. Hem deneysel hem de sonlu eleman analizi ile gerçekleştirilen analizler sonucunda açıklık kısımlarında meydana gelen kesme çatlakları ve çekme çatlakları ile oluşan hasarlar tespit edilmiştir. Sonlu eleman analizi ve test sonuçları ile elde edilen maksimum yük notalarındaki deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Sonlu eleman ve test analizleri arasında çok iyi korelasyon elde edilmiştir.

Boudaud ve diğ erleri (2014) tarafından ger çekleştirilen çalışmada sarsıntılı tabla ile sismik yükleme altında ahşap ereve perde duvarların sonlu eleman modelleri ile elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Çalışmada ahşap ereve yapıların 3D modellemesi yapılmış ve bunun için basitleştirilmış FE modeli nerilmıştir. Basitleştirilmış sonlu eleman modeli için histeretik temel esaslar kullanılmıştır. ereve elemanların sonlu eleman modelinde çubuk elemanlar kullanılmıştır. ubuk elemanlar ahşap duvar panellerinde görülen paralel kenar deformasyonu sağlamaktadır. Dinamik yükleme altında sonlu eleman modellemesi ile elde edilen sonuçlar sarsıntılı tabla ile elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ahşap ereve yapılarda duvar elemanlarının davranışlarının belirlenebilmesi için basitleştirilmış FE metodunun etkili olduğu ifade edilmiştir.

Valipour ve diğ erleri (2014) tarafından ahşap ve ahşap esaslı ürünlerin doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri ile ilgili bir çalışma ger çekleştirilmıştir. Ayrıca ortotropik ahşap ürünler için sayısal modeller geliştirilmış, ahşap ve kompozit ürünler için hasar zarf eğrileri üretilmiştir. Önerilen model stratejisi ve geliştirilen ahşap model, açıklık bulan an ahşap kirişlerin eğilme testleri sonuçlarını, kk ölçekli ahşap örneklerin ezilme testi sonuçlarını, ahşap ve betonarme gibi birleşimlerde yapılan itme testlerini içeren literatürdeki örnekler ile doğrulanmıştır. Deneysel veriler ile basitleştirilmış model teyit edilmiştir. Basitleştirilmış sonlu eleman modeli yüklemeye karşı deplasman yakalayabilen kompozit model teorisine, maksimum yük kapasitesine, iki eksenli stres durumlarında birleştirme elemanlarının ve ahşap elemanların hasar modlarına bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Loo, Quenneville ve Chouw (2012) tarafından ger çekleştirilen çalışmada monotonik ve tersinir yüklemeler altında ahşap ereve duvarların davranışlarını simule etmek için nümerik yaklaşımlar nerilmıştir. Perde duvar davranışlarını çivilerin yük-deplasman davranışları etkilediğinden dolayı ve bu çalışmada çivili birleşimlerin çok dikkatli modellenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Çiviler için yük-deplasman eğrisi, deneysel sonuçlardan elde edilen histresis parametreleri ile elde edilmiş ve bu eğrinin Foschi stel eğrisi formuna sahip olduğu belirtilmiştir. Çivilerin yük-deplasman eğrisinden Foshi stel eğri parametreleri belirlenmiştir. Çivili birleşimlerin maksimum dayanım kapasitelerini belirlemek için ise “Avrupa Verim Modeli” (The European yield model) kullanılmıştır. Analitik yaklaşımlarla belirlenen çivilerin mekanik özellikleri nümerik çalışmalara adapte edilmiştir. Bu çalışmada önerilen yaklaşım ile perde duvarların davranışları deneysel ve

nümerik olarak karşılaştırılmış ve iyi bir uyum olduğu gösterilmiştir. Nümerik modelde OSB gibi yüzey kaplama malzemelerinin çatlaması, üst yatay elemanların kayması, dikmelerin dönmeleri gibi hasarlar uygulanamamıştır. Fakat yükleme boyunca duvar elemanının herhangi bir yerinde meydana gelen gerilmeler nedeniyle bu hasarlar izlenebilmiştir. Bu belirlenen gerilmelerden çerçeve elemanın ve yüzey kaplama elemanının elastik limiti aşıp aşmadığı takip edilebilmiştir.

Ayoub (2007) çerçeve elemanlar için kiriş (beam), yüzey kaplama panelleri için kabuk (shell) elemanlar kullanarak nümerik çalışma gerçekleştirmiştir. Nümerik çalışmada ahşap yapıların doğrusal olmayan deprem davranışları için, enerji bozulma yasalarına dayanan yeni histeretik bir model önermiştir. Bu bozulma esasları ile ilgili hesaplamalar sıkışmış bir histeretik modeli takip etmiştir. Bu çalışmada 4 farklı bozulma tipi simule edilmiş olup bunlar, dayanım bozulması, boşalma rijitliği bozulması, hızlandırılmış rijitlik bozulması ve tepe bozulmasıdır. Bu dört tip bozulma parametreleri enerji kriterlerine dayanmakta olup yeni model geliştirilmiştir. Yeni geliştirilen model, şiddetli yükleme koşulları altında ahşap yapılarının deneysel testleri sırasında meydana gelen farklı tipteki hasarları simule etme yeteneğine sahiptir. Model çevrimsel yük altında ahşap perde duvarların deneysel sonuçları ile karşılaştırılmış ve nümerik çalışmada kullanılan modelin ahşap perde duvar davranışlarını temsil ettiği gözlenmiştir.

Judd and Fonseca (2005) çivili birleşimler için nonlinear yay elemanı kullanarak bir duvar modeli önermişlerdir. Her bir çivinin kaymada başlangıç yönelimi, tüm yüklemede çivilerin kayma yönelimlerini hazırlamak için kullanılmıştır. Hem monotonik hem de tersinir yüklemeler altında çivilerin davranışları gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada deneysel çalışma ile sonlu elemanlar arasında yakın bir uyum olduğu belirtilmiştir.

Blassetti, Hoffman ve Dinehart (2008) perde duvarların davranışlarını belirleyebilmek için basitleştirilmiş bir metod önermişleridir. Sonlu elemanlar paket programında mevcut olan temel elemanların kombinasyonu kullanılarak çivili birleşimler modellenmiştir. Deplasman yaparak sonsuz direnç artışını limitleyen ve perde duvar modelinde sıkışma (pinching) davranışını çoğaltan çivilerin histeretik davranış modeli, nümerik duvar davranışlarını belirlemede mükemmel sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak nümerik sonuçlar,

deneysel duvar elemanlarının enerji sönümlenme ve histeretik davranışları ile uyum göstermiştir.

Xu ve Dolan (2009a) çivilerin rijitlik, direnç değişimini ve sıkışma (pinching) gibi özelliklerini içeren nonlinear modeli üretmek için histeretik model geliştirmişlerdir. Bu histeretik model piyasada bulunan mevcut sonlu eleman yazılım programları içerisinde gömülüdür. Detaylı perde duvar modeli deneysel veriler ile kabul edilen nümerik sonuçlar ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Xu ve Dolan (2009b), çivi bağlantılarına gerek kalmadan, yanal yüklemeye maruz kalan bütün perde duvarların histeretik davranışlarını sunan makro-perde modeli önermişlerdir.

Jud (2005) tez çalışmasında ahşap perde duvarların dinamik, monotonik ve çevrimsel analizleri için analitik modeller geliştirmiştir. Yeni analitik model, yapısal analiz programlarında yüzey kaplama panelleri ve çerçeve elemanlar arasındaki bağlantıları temsil etmek için geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model, ABAQUS gibi genel amaçlı bir sonlu eleman programında ve CASHEW gibi özel yapısal analiz programlarında kullanılmıştır. Bu çalışmada çerçeve eleman iki boyutlu kiriş elemanı, paneller ise düzlem gerilme elemanı olarak modellenmiştir. Çerçeve-panel bağlantılarındaki birleştirme elemanları için histeretik model kullanılmış ve yay elemanı olarak modellenmiştir. Sonlu eleman modeli ile modellenmiş ahşap perde duvarların monotonik omurga eğrileri (backbone curve) elde edilmiş ve sonlu eleman analizlerinde maksimum dayanım daha düşük elde edilmiştir.

Judd ve Fonseca (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ahşap perde duvarlarda panel-çerçeve bağlantıları için yeni bir analitik model tartışılmıştır. Modelde panel-çerçeve bağlantıları yönlendirilmiş doğrusal olmayan yay çiftleri ile temsil edilmiştir. Yeni analitik model hem monotonik hem de çevrimsel analizler için uygun olup, yaygın kullanıma sahip sonlu eleman programlarında rahatlıkla uygulanabilmektedir. Kontrplak ve OSB panelleri ile kaplanmış perde duvarlarda yeni model kullanılarak davranış tahminleri yapılmıştır.

Khorsandnia, Schänzlin, Valipour ve Crews (2014) uzun süreli yüklemeler altında ahşap-beton kompozit malzemelerin yapısal davranışlarını anlamak için ahşap ve beton materyallerini sonlu eleman metodu ile modellemişlerdir. Materyal özelliklerini

belirlemede farklı test yöntemleri uygulamışlardır. 1D çerçeve sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Kompozit kirişlerin yük-deplasman tepkileri sonlu eleman modeli ile elde edilmiş ve mevcut deneysel verilerle doğrulanmıştır. Geliştirilen sonlu eleman modelinin farklı ahşap malzeme ve panellerin uzun süreli yükleme test analizleri için kullanılabilmesi ifade edilmiştir.

Vessby, Serrano ve Olsson (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ahşap-çerçeve bağlantıları için dört farklı elastik model sunulmuş ve ahşap perde duvarların performansı belirlenmiştir. Bağlantı elemanları, ahşap-çerçeve bağlantılarının yük-deplasman özelliklerini modellemek için kullanılmıştır. İki boyutlu ahşap perde duvar sonlu eleman modellerinde, çerçeve elemanlar her bir düğüm noktasında iki ötelenme ve bir dönme serbestlik derecesine sahip lineer elastik kiriş eleman olarak, paneller ise dörtgen lineer elastik düzlem gerilme elemanı olarak modellenmiştir. Her bir çerçeve-panel birleşimindeki bağlantılar ise yay eleman olarak modellenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen bir adet ayrık (uncoupled), üç adet birleştirilmiş (coupled) toplam dört adet yay çifti modelleri ile sonlu eleman analizi gerçekleştirilmiştir. Modellerle elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Pintaric ve Premrov (2013) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada hayali çapraz diyagonal çubuk yaklaşımı kullanılan ahşap perde duvarların matematiksel modelleri sunulmuştur. Ayrıca, diyagonal çubuk yaklaşımı ile sonlu eleman modeli karşılaştırılması yapılmıştır. Geliştirilen diyagonal çubuk yaklaşımının yapıların yatay yük analizleri için uygun olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca diğer modellere göre geliştirilen bu yaklaşımın, basit, pratikte kullanımını kolay, statik ve dinamik analiz için daha ucuz programlara ihtiyaç duyması gibi avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir. Modelin sadeliği ve zaman tasarrufu göz önüne alındığında, hayali çapraz çubuk yaklaşımı modeli, yatay yükte ahşap çerçeve duvar davranışı ile çok iyi bir yaklaşım sağlamıştır. Çapraz çubuk yaklaşımının sonlu eleman metodu modeli yerine kullanılabilmesi vurgulanmıştır. Gerçekleştirilen sayısal hesaplamaların deneysel çalışmalarla ve sonlu eleman metodu ile iyi bir yaklaşım sağladığı görülmüştür.

Silva ve Gesualdo (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ahşap perde duvarları analiz etmek için nümerik modeller kullanılmıştır. Sonlu eleman metoduna dayalı nümerik modellerin oluşturulmasında Ansys programı ve dikmeler için Solid45, paneller için

Plane42 ve çiviler için Combin39 yay elemanları kullanılmıştır. Nümerik çalışmalarda ahşap perde duvarların geometrik nonlineritesi, çivi birleştirme elemanlarının fiziksel nonlineritesi kullanılmıştır. Sonlu eleman modeline dayalı geliştirilen nümerik modelle elde edilen sonuçlar literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir.

Schneider, Shen, Stiemer ve Tesfamariam (2015) çapraz lamine ahşap duvar panellerin çevrimsel yük altındaki davranışlarını nümerik ve deneysel yöntemlerle belirlemiştir. CLT elemanlar ile çelik elemanlar arasındaki bağlantıların performanslarını belirlemek için, altı farklı bağlantı kombinasyonu test edilmiş ve sonlu eleman programında modellenmiştir. Testler ile elde edilen yük-deplasman eğrisi iki farklı yöntemle değerlendirilmiştir. İlk metod da süneklik oranı, elastik kesme rijitliği ve eşdeğer enerji elastik-plastik eğrisinin (EEEP-curve-equivalent energy elastic-plastic curve) bahsedildiği ASTM takip edilmiş, ikinci yöntemde ise enerji esaslı birikim ilkeleri takip edilmiştir. Her iki metod, test ve model sonuçlarını karşılaştırmada kullanılmıştır. Eşdeğer elastik-plastik enerji modelinin test ve nümerik model ile iyi bir korelasyon sağladığı gözlemlenmiştir. Kümülatif enerji yönteminin histeretik modelleri değerlendirmek için daha hassas olduğu belirtilmiştir.

Bolmsvik, Linderholt, Brandt ve Ekevid (2014) deneysel testleri gerçekleştirilmiş ahşap perde duvar ve döşemelerin sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, gerçek ölçeklerdeki ahşap yapıların test ve nümerik analizleri arasında korelasyon ve kalibrasyon sağlamak amaçlanmıştır. Ayrıca, materyal özelliklerinin ahşap yapıların dinamik davranışlarını nasıl etkilediği belirlenmiştir. Ahşap malzemelerin özelliklerinin ahşap yapıların sonlu eleman model davranışlarını etkilediği görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada ahşap duvar blokları ve duvar-döşeme birleşimlerinde kullanılan bağlantı elemanlarının yay eleman olarak modellendiği ifade edilmiştir. Duvar ve döşeme elemanları arasındaki bağlantıların sonlu eleman modellerinde daha az rijitlik verilerek modellenmesi sonucunda deneysel çalışmalarla daha yüksek bir korelasyon sağladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, karmaşık yapıya sahip ahşap yapıların davranışlarının belirlenebilmesi için, sonlu eleman analizinde kullanılan bütün materyallerin özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerektiği vurgulanmıştır.




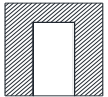


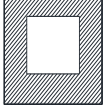
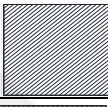
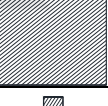


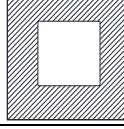

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Ahşap Panel Duvarlar

Düzenlenen deneysel çalışma kapsamında ahşap yapıların temel yük taşıma mekanizmasını oluşturan ahşap çerçevesel panel duvarlar depremi benzeştirecek şekilde yatay tersinir tekrarlanır yükleme etkisi altında test edilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında toplam 11 adet ahşap çerçevesel deney elemanı üretilmiştir. Deney elemanları gerçek yapılarda kullanılan boyutlarda ölçeklenmeden üretilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenler ahşap çerçevesel panel duvarların en/boy oranının değişimi, ahşap çerçevede yükseklik boyunca yatay güçlendirme parçalarının kullanılıp kullanılmadığı ve duvarlarda yer alan boşluğun büyüklüğüdür.

Çalışma kapsamında test edilen deney elemanlarının özellikleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Tasarlanan paneller incelendiğinde modüler bir yapıda olmalarına özen gösterildiği görülmektedir. Kendini tekrarlayan bir panel bölümünün olmasının yanı sıra kapı ve pencere boşluklarının büyüklüğüne ve yerine göre deney elemanlarının şekilleri ve geometrik boyutları meydana çıkmıştır.

Çizelge 4.1. Deney elemanı özellikleri

Model No	Ahşap duvar genişliği/yükseklik (mm)	En/Boy oranı	Açık alan Oranı* (%)	Yatay destek	Duvar tipleri
1	1258/2650	0,47	0	yok	
2	2372/2650	0,90	33	yok	
3	1868/2650	0,70	0	yok	
4	1868/2650	0,70	0	var	
5	2972/2650	1,12	28	yok	
6	2478/2650	0,94	0	yok	
7	2478/2650	0,94	0	var	
8	648/2650	0,24	0	yok	
9	1772/2650	0,67	3	yok	
10	2772/2650	1,05	27	yok	
11	2142/2650	0,81	28	yok	

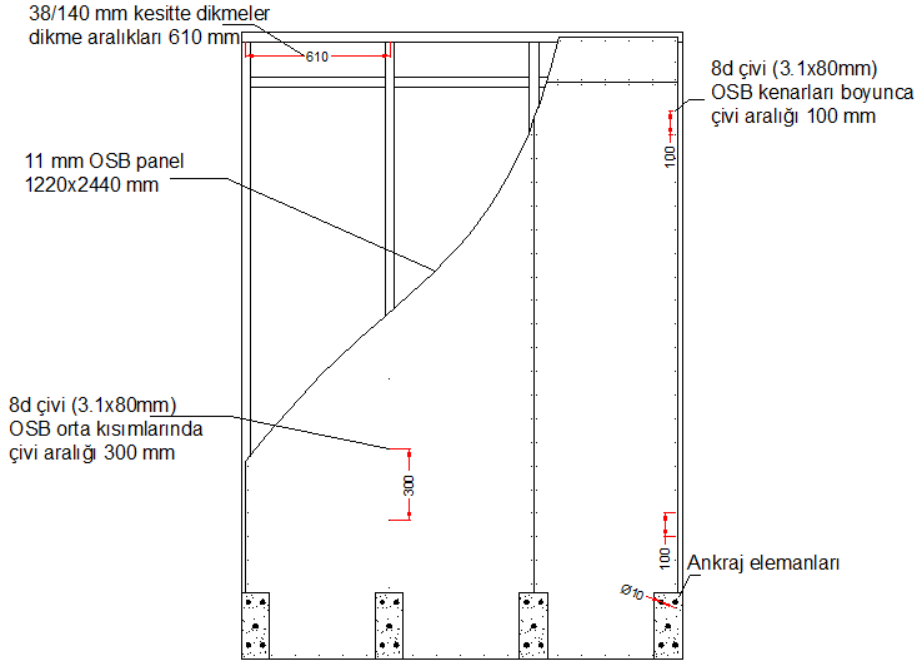
*Ahşap perde duvar panellerin bütün alanının açıklık alanına oranı

Çizelge 4.1 incelendiğinde deney elemanlarının en/boy oranları ve açıklık alan oranlarının farklı olduğu ve en/boy oranlarının 0.24-1.12 değerleri arasında oldukça geniş bir aralıkta değişim gösterdiği görülmektedir. Yapılan bu seçimler ile en/boy oranındaki değişimin ahşap çerçevesi panel duvarların genel yük-deplasman davranışı ve göçme mekanizmaları

üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Model-8 en küçük en/boy oranına sahip duvar elemanı olup aynı zamanda en dar duvar elemanıdır. Model-5 ise pencere boşluğu bulunan en/boy oranı en yüksek duvar elemanıdır. Model-3 ve Model-4 aynı en/boy oranlarına ve boşluksuz yapıya sahip deney elemanları olup, Model-4 yükseklik boyunca belirli aralıklarda yatay elemanlar ile güçlendirilmiştir. Model-6 ve Model-7’de aynı boyutlarda ve en/boy oranlarında duvar elemanları olup, Model-7 yatay güçlendirmelere sahip olduğu için Model-6’dan farklılık göstermektedir.

Deneysel çalışma kapsamında incelenen diğer bir değişken olan boşluk büyüklüğü değişimi yönüyle deney elemanları incelendiğinde deney elemanlarında yer alan boşluk alanının deney elemanı toplam alanına oranı değerlerinin %3-%33 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Model-2 1000x2100 mm ebatlarında, Model-11 770x2100mm ebatlarında kapı boşluklarına sahip duvar elemanlarıdır. Pencere boşluklarına sahip Model-5, Model-9 ve Model-10 boşluk alanları bakımından birbirlerinden farklı özellik göstermektedir ve sırasıyla 1600x1400 mm, 400x400mm ve 1400x1400mm ebatlarında pencere boşluklarına sahiptirler. Model-2 kapı boşluk alanı daha yüksek, Model-5 te ise pencere boşluk alanı daha yüksek duvar elemanlarıdır. Boşluk büyüklüğü değişim gösteren ve boşluksuz deney elemanları test edilerek boşluğun yük-deplasman davranışı, dayanım, enerji tüketim kapasitesi, deplasman süneklik oranı ve göçme mekanizmaları gibi önemli parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Ahşap çerçeveli panel duvarlar iki temel yapı elemanının birleştirilmesi ile üretilmiştir. Bu yapı elemanları ahşap çerçeve ve çerçeve yüzeyini kaplayan OSB plakalardır. Deneylerde kullanılan ahşap çerçeveli panel duvarı oluşturan elemanlar ve bileşenleri Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Standart ahşap çerçeve panel bileşenleri

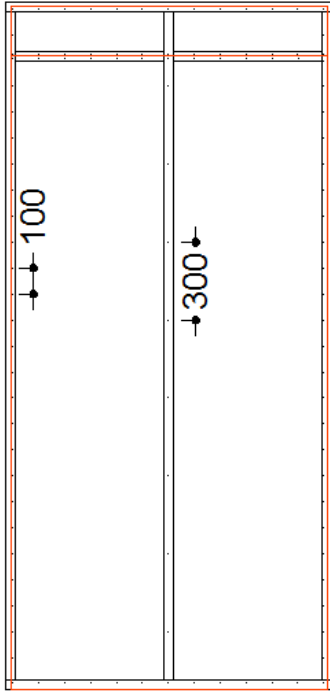
4.1.1. Çerçeve elemanlar

Bu tez çalışmasında, ahşap çerçeve sistemlerin oluşturulmasında Doğu Karadeniz bölgesinde yayılış gösteren, düzgün gövdeli, çapı 1.5-2 m'ye kadar çıkabilen özellikle inşaatlık kereste ve mobilya üretiminde yaygın kullanıma sahip Doğu Ladininden (*Picea orientalis*) elde edilmiş fırınlanmış keresteler kullanılmıştır.

Piyasadan elde edilen fırınlanmış ladin keresteler, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü atölyesinde, budaklı kısımlarından arındırıldıktan sonra 38x140 mm kesitlere getirilerek uygun uzunluklarda ebatlanmıştır.

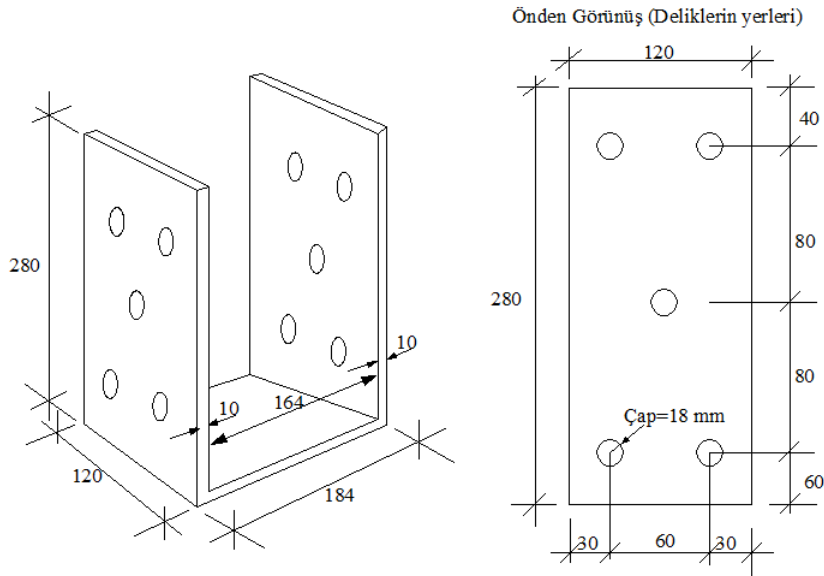
4.1.2. Bağlantı elemanları

Ladin çerçeve elemanlarının birleşiminde 2 adet 5x100 mm boyutlarında ahşap vida, çerçeve-yüzey panel birleşimlerinde ise 3.1x80 mm (8d) çivi kullanılmıştır. Çivilerin çakılması işleminde pünomatik çivi çakma makinesinden yararlanılmıştır. Çiviler ahşap çerçevenin dış kenarlarına 100 mm aralıkla, orta kısımdaki dikme ve yatay elemanlara ise 300 mm aralıkla yerleştirilmiştir (Şekil 4.2.). Çerçeve eleman ve OSB paneller arasında kullanılan çiviler, çerçeve kenarlarından 28,5 cm içeride çakılmıştır.



Şekil 4.2. OSB panel bağlantısı için çivi aralıkları

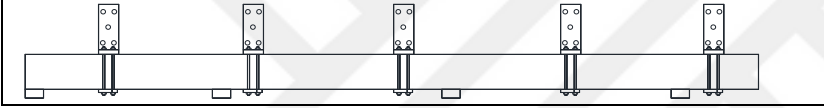
Deney elemanlarının zemin bağlantılarında özel olarak üretilen U şeklinde ankraj elemanları kullanılmıştır (Şekil 4.3). Deney elemanlarının zemine bağlantısında kullanılan ankrajların sayısı Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Zemin bağlantı elemanları

Çizelge 4.2. Deney elemanlarında kullanılan ankraj sayısı

Deney elemanı No	Yükseklik mm	Genişlik mm	Ankraj Sayısı
1	2650	1258	3
2	2650	2372	4
3	2650	1868	4
4	2650	1868	4
5	2650	2972	4
6	2650	2478	5
7	2650	2478	5
8	2650	648	2
9	2650	1772	4
10	2650	2772	4
11	2650	2142	4



4.1.3. Yüzey kaplama panelleri

Ahşap çerçeve duvar panellerin yatay yüklere karşı dayanımını ve rijitliğini sağlamak için her iki yüzeyi ahşap esaslı veya diğer yapısal paneller ile kaplanmaktadır. Üretimi tamamlanan ahşap çerçevelerin her iki yüzü standart 11 mm kalınlığındaki OSB malzemesi kullanılarak kapatılmıştır. Yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılan OSB paneller SFC Entegre Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş. (Kastamonu) tarafından EN 300 standartlarına uygun olarak üretilmiştir. Paneller 11 mm kalınlığında olup 1220x2440 mm ebatlarındadır.

4.2. Duvar Modellerinin Hazırlanması

Ahşap perde duvarların deprem performanslarının belirlemek amacı ile boşluklu (kapı-pencere) ve boşluksuz farklı özelliklere sahip 11 adet deney elemanının üretimi gerçekleştirilmiştir.

Deney elemanlarının üretimi esnasında aşağıdaki sıra takip edilmiştir;

- Ladin kerestelerin 38x140 mm kesitlere getirilmesi ve ebatlanması
- Dikmeler arası mesafe maksimum 61 cm bırakılması,

- Kapı ve pencere üst kısımlarında lento kullanılması
- Bağlantı elemanlarının kullanılması
- Deneysel çerçeve elemanlarının oluşturulması,
- Yüzey kaplama elemanı olarak OSB'nin çerçeve eleman üzerine montajı

Deneysel elemanlarının üretimi sırasında alınan bazı fotoğraflar Şekil 4.4'de sunulmuştur.



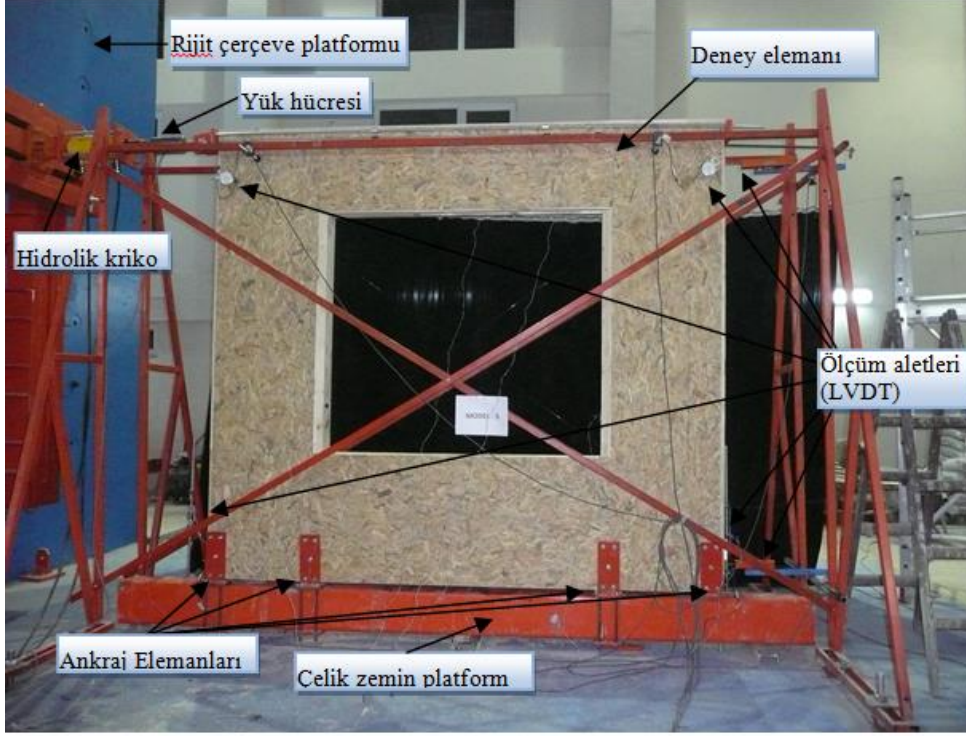
Şekil 4.4. Deneysel elemanlarının üretim aşamaları

4.3. Deneysel Düzeni

4.3.1. Yükleme düzeni

Ahşap çerçeve perde duvar elemanlarının testlerinin gerçekleştirileceği Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında yer alan rijit deneysel platformu incelenmiş ve deneysel düzeneği tasarımı gerçekleştirilmiştir. Deneysel elemanlarına tersinir tekrarlanır deprem yüklemesinin uygulanacağı yükleme kolonu ve deneysel elemanlarının rijit test platformuna mesnetlenmesi için gerekli olan parçalar üretilmiştir.

Deney elemanlarının test edilmesi için laboratuvar ortamında yer alan rijit deney platformu döşemesine ahşap paneller mesnetlenmiş ve test platformu ile paneller arasında yerleştirilen yükleme kolonu ile yatay yükleme uygulanmıştır. Deney elemanlarının test edilebilmesi için oluşturulan deney ve yükleme düzeni Şekil 4.5’de sunulmuştur.



Şekil 4.5. Deney düzeneği

4.3.2. Ölçüm sisteminin oluşturulması

Deney düzeneği ve elamanların üretiminden sonra, Gazi Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi yapı mekaniği laboratuvarında, 400 kN kapasiteli rijit çelik yükleme kolonu kullanılarak, depremi benzeştiren, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır.

Yük ölçümleri

Deney numunelerine çekme veya basınç olarak uygulanan yatay yük hidrolik kriko yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Yatay yükü ölçmek için kullanılan 400 kN kapasiteli yük hücresi, yük uygulandığında basınca maruz kalmakta ve çıkış ucundan belirli bir gerilme uygulamak suretiyle çalışmaktadır. Yük hücresinin çıkış ucu veri toplama (data logger) kutusuna bağlı olup, yük hücresinden alınan gerilme veri toplama kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Yük hücresinden okunan yük değeri bilgisayar ekranından da takip edilebilmektedir.

Yer değiştirmelerin ölçülmesi

Deney esnasında uygulanan yüke maruz kalan duvar elemanlarında kayma, kesme ve dönme değişimleri sonucu meydana gelen deplasman ölçümleri için elektronik deplasman ölçüm aletleri (LVDT: Lineer Variable Differential Transformer) kullanılmıştır. Ayrıca deney elemanları üzerine farklı noktalara birim deformasyon ölçerler (strain-gauge) yapıştırılarak yapıştırıldığı yüzeyde meydana gelen birim şekil değiştirmeler ölçülmüştür. Şekil 4.6'da deney elemanları üzerinde bulunan ölçüm aletlerine ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 4.6. Deney elemanları üzerinde bulunan ölçüm aletleri

Yük hücreleri, LVDT'den alınan gerilmeler, ara bağlantı kutuları yardımıyla veri toplama kutusuna iletilmekte ve buradan bilgisayara aktarılmaktadır. CoDA deney düzenleyici

program ile bir deney süresince belirli aralıklarla kayıt alınabilmekte ve okumalar grafik olarak da ekranda izlenebilmektedir. Alınan okuma değerlerinin çıktısı “EXCEL” programında okunabilecek şekildedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Veri aktarım düzeneği ve test sonuç ekranı

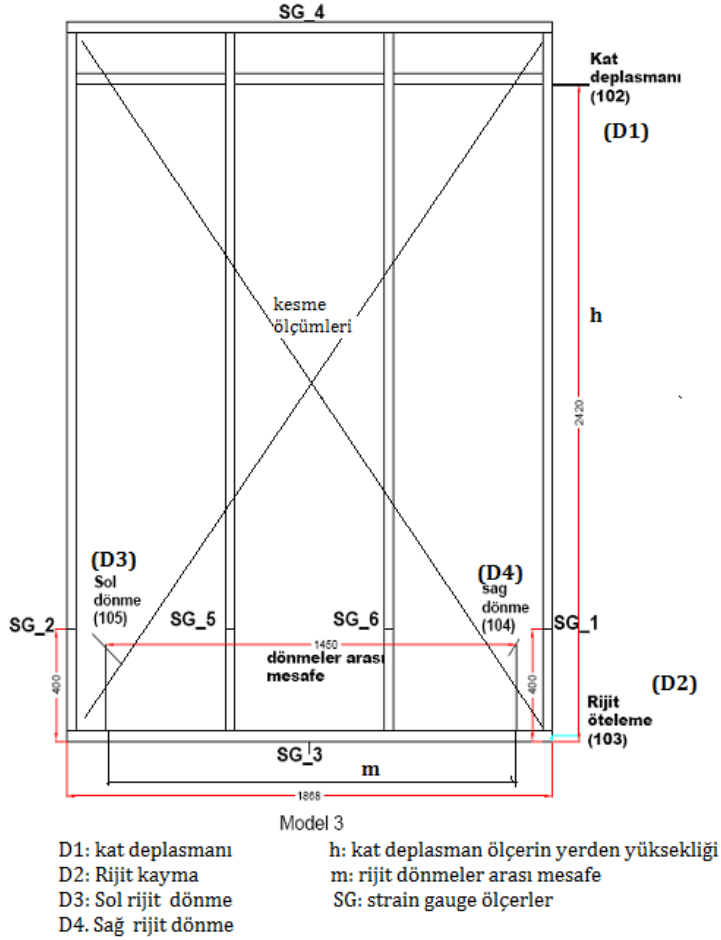
Deney numuneleri üzerinde bulunan LVDT ve strain gauge ölçüm aletlerinin yerleşim düzeni Ek-1’de verilmiştir.

4.4. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

“EXCEL” formatında kayıt altına alınan verilerden yük-deplasman grafikleri elde edilmiş ve deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri değerlendirilerek dayanım, başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranları, enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmıştır. Ayrıca genel yük-deplasman davranışları ve göçme mekanizmaları yorumlanarak çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden bu önemli yapısal parametrelerin nasıl etkilendikleri incelenmiştir.

4.4.1. Düzeltilmiş kat deplasmanı hesabı

Deney elemanlarının net kat deplasmanının hesaplanabilmesi için elemanın rijit ötelenme ve rijit dönme deplasmanları duvar elemanlarının alt kısmına yakın yerlerden ölçülmüştür. Ölçülen rijit öteleme ve rijit dönme deplasmanları kullanılarak kat deplasmanı ölçümü düzeltilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Deney elemanları ölçüm düzeneği

Deney elemanında meydana gelen rijit dönmenin hesaplanması için “Eş.4.1” kullanılmıştır. Deney elemanı temel girişinin deplasmanı ise D8 ve D10 deplasman ölçümleri kullanılarak hesaplanmıştır. “Eş.4.2” ile düzeltilmiş kat deplasmanı değeri elde edilmiştir. Kullanılan denklemlerde uç tarafı içeri doğru hareket eden LVDT’lerden pozitif (+) ölçüm alındığı, uç tarafı dışarı doğru hareket edenlerden ise negatif (-) ölçüm alındığı işaret kabulü yapılmıştır (Anıl, 2002:70).

$$\delta_{\theta} = \frac{D_4 - D_3}{m} * h \quad (4.1)$$

$$\delta_{kat} = D_1 - D_2 - \delta_{\theta} \quad (4.2)$$

δ_{θ} , rijit dönme

δ_{kat} , düzeltilmiş kat deplasmanı

Deneilerin anlatılacağı ve yorumlanacağı tüm yük-deplasman grafikleri düzeltilmiş kat deplasmanı kullanılarak çizilmiştir.

4.4.2. Dayanım ve davranış

Dayanım, duvarın yük taşıma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Test esnasında duvarın dayanımı maksimum yük olarak elde edilmektedir. Bu noktadan sonra ani bir yük düşüş meydana gelmektedir. Maksimum yük noktasından sonra yük değerinin %80-85 azaldığı noktada duvar elemanının yük taşımada başarısız olacağı düşünülmektedir.

Deney elemanlarına yatay yükleme 5 kN yük artışları ile uygulanmıştır. Deney elemanı taşıma gücünde düşüş meydana geldikten sonra bir yükleme çevrimi daha uygulanarak yük düzeyinin düşüşü takip edilmiştir. Deney elemanlarının testlerine maksimum taşıma gücü değeri %15 azalıp maksimum değer %85'ine düştüğü çevrimden sonra son verilmiştir. Deney elemanlarının dayanımları ve sergiledikleri genel davranış zarf eğrileri incelenerek yorumlanmıştır. Zarf eğrileri deney elemanlarının yük-deplasman grafiklerinden yararlanılarak çizilmiştir. Zarf eğrileri yük-deplasman grafiğinde her çevrimin maksimum yük değerindeki noktaların birleştirilmesiyle elde edilmiştir.

4.4.3. Rijitlik

Rijitlik, yapının yer değiştirme kuvvetlerine karşı koyma derecesi olarak ifade edilmektedir. Rijitlik arttıkça, şekil değiştirme olabilmesi için gereken etki kuvveti de artmaktadır. Deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerle altındaki duvar elemanlarında oluşan çatlamlar, eğilme ve kayma rijitliklerinde önemli azalmalar meydana getirmekte ve bu etkiler de deplasmanların artmasına ve iç kuvvetlerin yeniden dağılımına neden olarak yapının davranışını önemli ölçüde etkileyebilmektedirler (Kara, 2007:17).

Deney elemanlarının rijitlik değerleri deney sonucu elde edilen yük - deplasman grafikleri kullanılarak üç tipik noktada hesaplanabilmektedir. Bunlar ilk eğilme çatlağının oluştuğu nokta, maksimum yük noktası ve göçme noktası olarak kabul edilen maksimum yükün %85'e düştüğü noktalardır (Anıl, 2002:178).

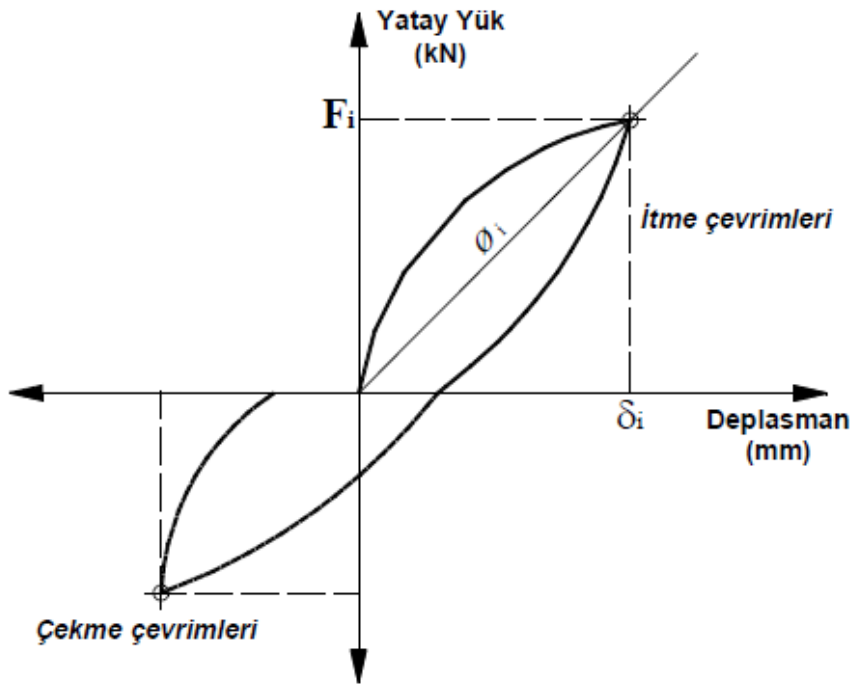
Tersinir-tekrarlanır yük altında deneyleri elemanlarının rijitlik değerleri, her bir çevrim için yük-deplasman grafiğinin eğimi bulunarak belirlenmektedir. Rijitlik değerleri hesaplanırken itme çevrimlerinde yatay yük değerleri ve yatay deplasman değerlerinin kesiştiği noktanın orijinle birleştiren doğru çizilmekte ve o doğruların eğimi hesaplanmaktadır. İleri ve geri çevrim için ayrı ayrı rijitlikler hesaplanabilmektedir. Şekil 4.9’da rijitlik değerlerinin hesaplanması için verilen grafikte, (F_i) ve (δ_i) kullanılarak o çevrim için rijitlik değeri “Eş.4.3” ile hesaplanabilmektedir (Balık, 2012:82-84).

$$\text{Rijitlik} = F_i / \delta_i \quad (4.3)$$

Burada;

F_i , i çevrimi için uygulanan kuvvet

δ_i , i çevrimi için deplasman değeri



Şekil 4.9. Rijitlik değerinin belirlenmesi

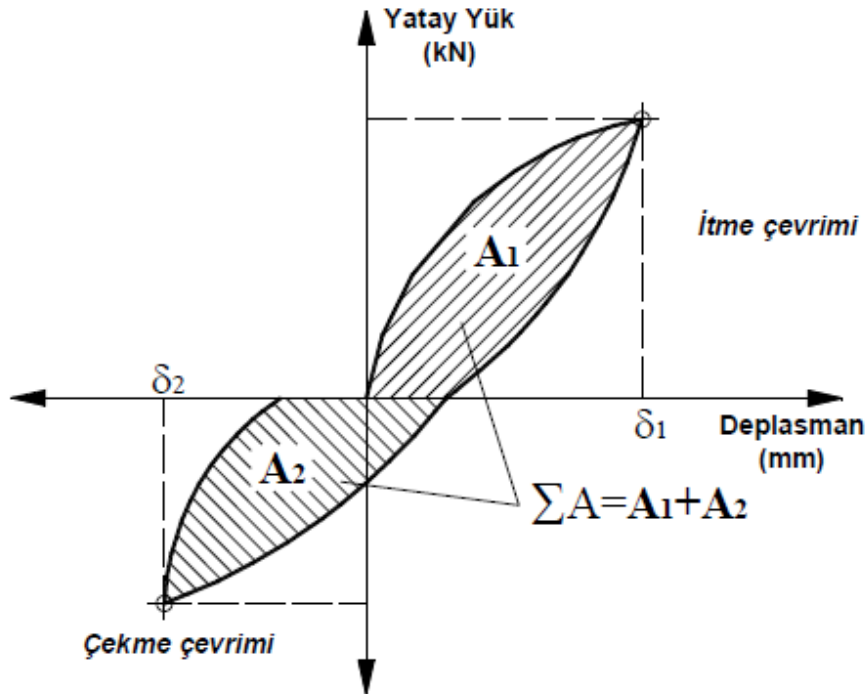
4.4.4. Enerji tüketim kapasitesi

Yapı tasarımında yapının depreme karşı direnç gösterebilmesi için enerji tüketim kapasitesi önemlidir. Perde duvarlar, ahşap çerçeve eleman ve OSB gibi yüzey kaplama

elemanlarının birleşimini sağlayan birleştirici elemanların histeretik davranışları ile enerjisini dağıtırlar. Ayrıca, enerjinin bir kısmı da yine panel ile çerçeve eleman arasında meydana gelen sürtünme sonucu dağıtılmaktadır.

Tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisindeki deney elemanları, üzerine etki eden enerjinin bir kısmını deformasyon yaparak tüketmektedir. Tüketilen bu enerji, özellikle deprem etkisi gibi dinamik bir yükleme durumunda çok önemlidir. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alanların hesaplanmasıyla belirlenmektedir (Altın, Anıl ve Gökten, 2004).

Enerji tüketim hesaplamalarında her bir ileri-geri çevrimin altında kalan hesaplanarak o çevrimin toplam enerji tüketimi hesaplanıp, bütün çevrimlerin enerji tüketimleri toplanarak duvar elemanının toplam enerji tüketim kapasitesi elde edilmektedir (Balık, 2012:82-84). Şekil 4.10'da histeretiz eğri içinde kalan alanın enerji tüketim kapasitesine eşit olduğu gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Enerji tüketim kapasitesinin belirlenmesi

4.4.5. Süneklik

Yapı sistemlerinde süneklik, genel bir tanım olarak, "yapının dayanımında önemli bir azalma ve kararsız denge hali oluşmaksızın, deprem sırasında yapıya transfer olan enerjinin büyük bir kısmını, elastik olmayan davranışla ve tersinir, dönüşümlü büyük şekil değiştirmelerle yutma yeteneği" olarak tanımlanmaktadır (Yüksel, 2005). Sünekliğin ölçüsü "süneklik oranı" dır. Literatürde 5 tür süneklik yaygın olarak yer almaktadır. Bunlar;

- Malzeme sünekliği (deformasyon sünekliği)
- Eğrilik sünekliği (En kesit sünekliği)
- Eleman sünekliği (dönme sünekliği)
- Yapı sünekliği (deplasman sünekliği, kinematik süneklik, global süneklik, sistem sünekliği)
- Enerji sünekliği (Histeretik süneklik)

Deplasman süneklik oranı, dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın oluşan en büyük deplasmanın akma anındaki deplasmana oranıdır (Anıl, 2002:176). Deplasman süneklik oranlarının hesaplanmasında yük-deplasman grafikleri kullanılmıştır. Bu çalışmada ahşap panel deney elemanlarının maksimum yük seviyesindeki deplasmanı, akma deplasmanı kabul edilmiştir. Deney elemanlarının göçme noktası olarak maksimum yükün %85'ine düştüğü nokta kabul edilmiştir. Elemanın göçme noktası için deplasman değeri (δ_{85}) elemana ait zarf eğrisinden belirlenmiştir. δ_{85} göçme noktası deplasman değerinin δ_y akma noktası deplasman değerine oranlanması ile, o elemana ait deplasman süneklik değeri hesaplanmıştır.

4.5. Deneyler

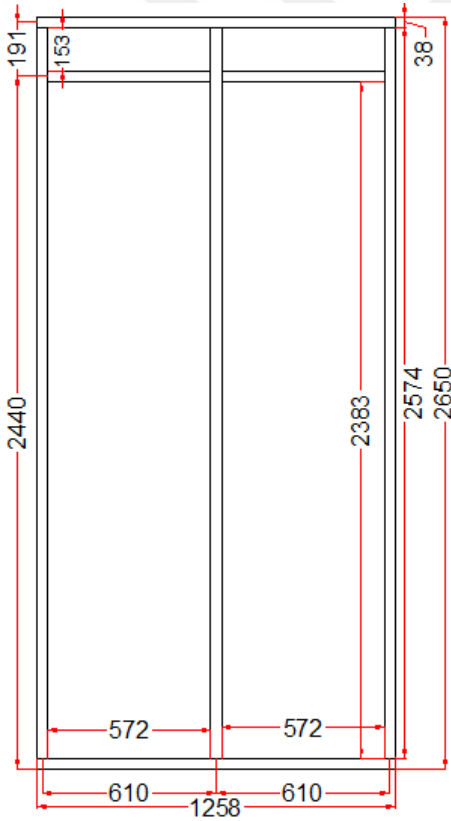
Bu bölümde, deneylerden elde edilen sonuçlar ve davranış detaylı bir biçimde sunulmaktadır.

Her deneyin anlatıldığı bölümde o deneyle ilgili yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafikleri, kat yatay deplasmanının yüke karşı çizildiği yük-deplasman grafiği verilecektir. Deney elemanları ahşap panelleri üzerinden iki adet çapraz olarak panel duvar köşegen

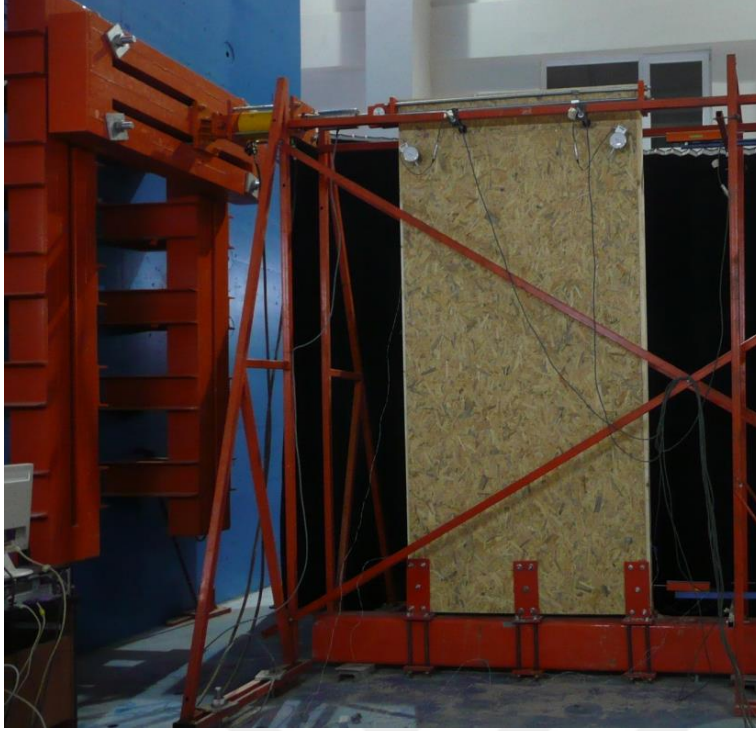
doğrultusunda yerleştirilen elektronik deformasyon ölçerler ile meydana gelen kesme çatlağı genişlikleri ölçülmüştür.

4.5.1. Model-1'in deneyi

Model-1, 1250 mm eninde 2650 mm yüksekliğinde boşluksuz bir yapıya sahip duvar elemanıdır. Şekil 4.11'de Model-1'e ait teknik çizim verilmiştir. OSB panellerin boyutlarının 1220x2440 mm olmasından dolayı duvar panellerin 2440 mm den sonraki yükseklikleri 191 mm OSB paneller kullanılarak kapatılmıştır. Bu deney elemanlarında aynı sistem uygulanmıştır. Deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.12'de sunulmuştur.

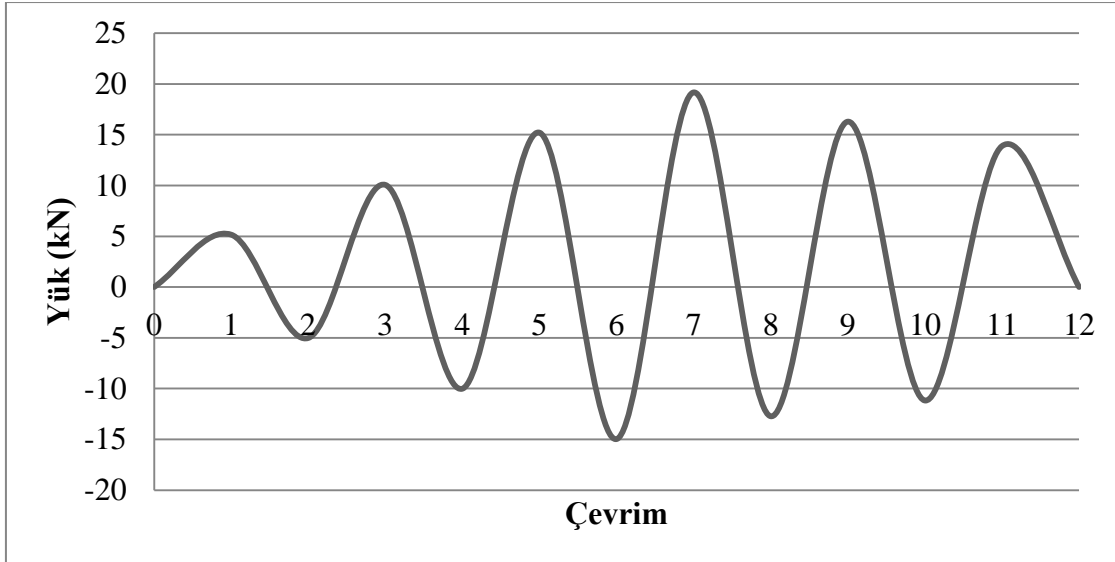


Şekil 4.11. Model-1'e ait teknik çizim



Şekil 4.12. Model-1'in deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.13'de verilmiştir. Elemana 6 ileri 5 geri olmak üzere toplam 11 adet çevrim uygulanmıştır.

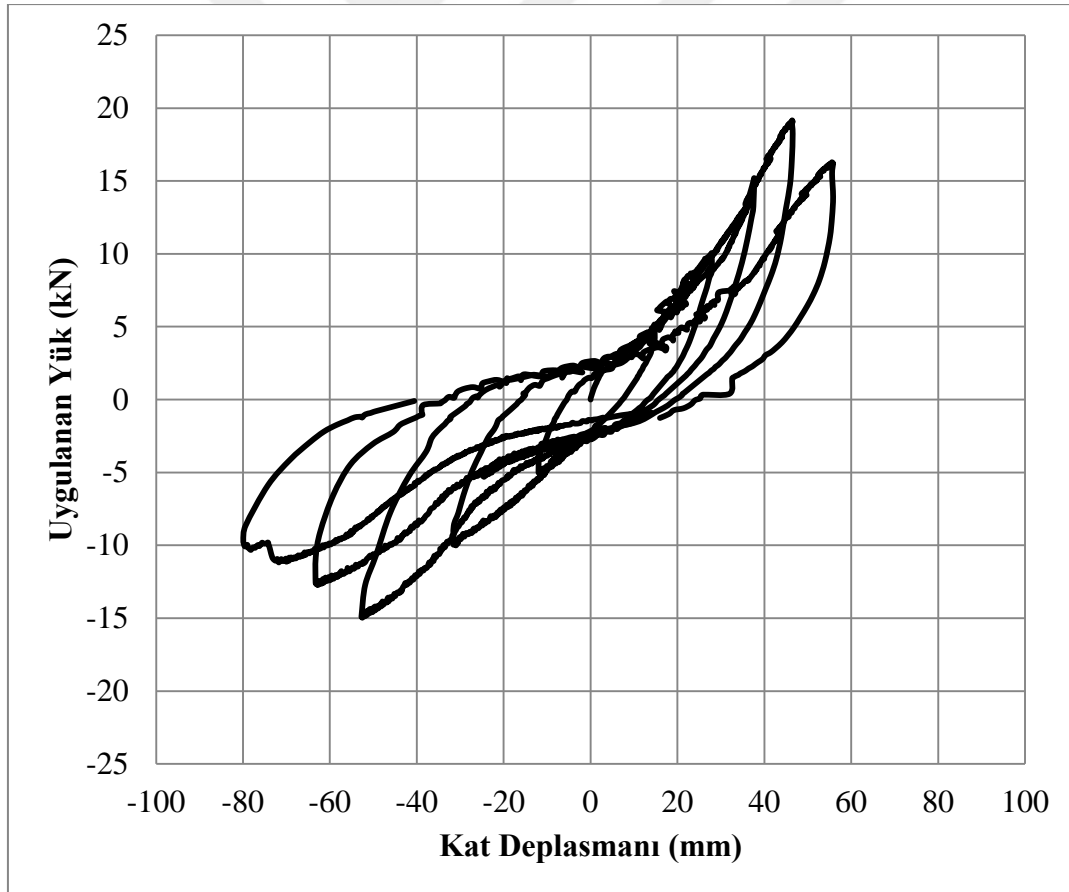


Şekil 4.13. Model-1'in yük çevrim grafiği

Deney elemanına uygulanan yük çevrimleri sonucu elde edilen düzeltilmiş yük-deplasman grafiği Şekil 4.14'de verilmiştir. Göçme moduna kadar deney elemanına itme ve çekme yönünde sırasıyla +5.158 kN, -5.02 kN, +10.059 kN, -10.01 kN, +15.204 kN, -14.971 kN,

+19.168 kN yük uygulanmış ve bu yüklemelerde sırasıyla +14.717 mm, -11.985mm, +27.862 mm, -30.984, +37,654 mm, -52.536 mm, +46.402 mm deplasman elde edilmiştir. Deneysel elemanı 20kN yük çevrimine giderken, deneysel elemanı +19.168 kN yüklemeye eğilme zorlamalarından dolayı alt yatay elemanlarında meydana gelen ezilmeler ve çatlamalardan dolayı +46,402 mm deplasman yapmış ve bu yüklemeye sonra yük almamaya başlamıştır. Çevrime bu yük değerinde son verilmiştir. Çekme yönünde ise 15kN yük seviyesinde deplasman değerinin oldukça yüksek olması nedeniyle yüklemeye deplasman kontrollü devam edilmiştir. Yükleme maksimum yükün %85'inde bırakılmıştır.

Deneysel elemanında yüklemeler sırasında hasarlar meydana gelmiştir. Model-1 deneysel elemanı eni boyuna göre oldukça küçük olduğu için eğilmeye zorlanmış ve eğilme çatlakları ve dikmelerde ayrılmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.15).



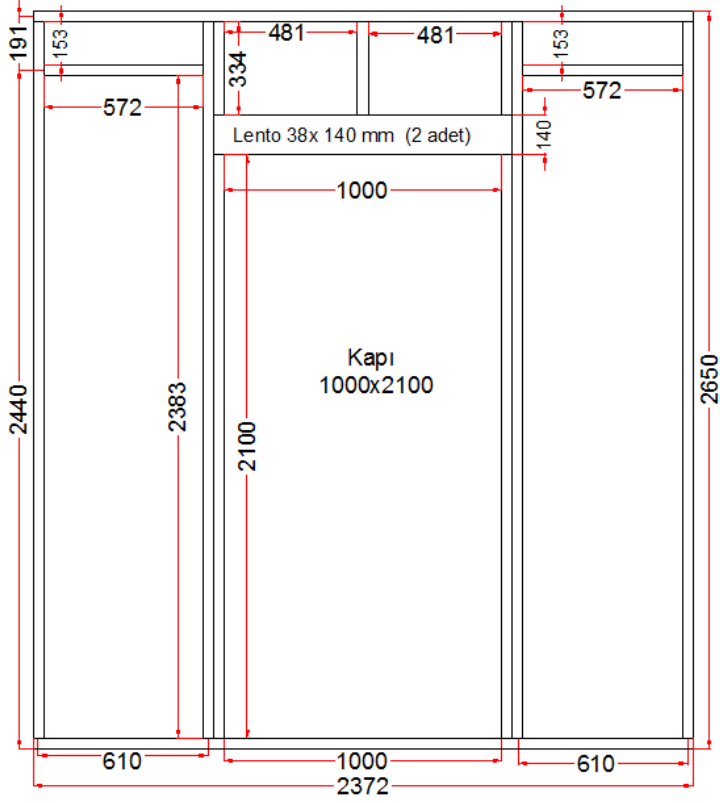
Şekil 4.14. Model-1'in yük-deplasman grafiği



Şekil 4.15. Model-1’de meydana gelen hasarlar

4.5.2. Model-2’nin deneyi

Model-2, 2372x2650 mm ebatlarında 1000x2100 mm kapı boşluğu bulunan deney elemanıdır. Boşluk alan kısmını güçlendirmek için kapı üst kısımlarında 38x140 mm kesitlerinde iki adet lento ve kenarlarda çift dikme kullanılmıştır. Ayrıca, OSB boyutlarından dolayı 2440 mm ye kadar olan kısımlarda tek parça OSB panel kullanılmış geriye kalan 191 mm’lik kısımda ise ayrı panel ile yüzeyler kaplanmıştır. Model-2’nin teknik detayı Şekil 4.16’da sunulmuştur. Deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.17’de sunulmuştur.

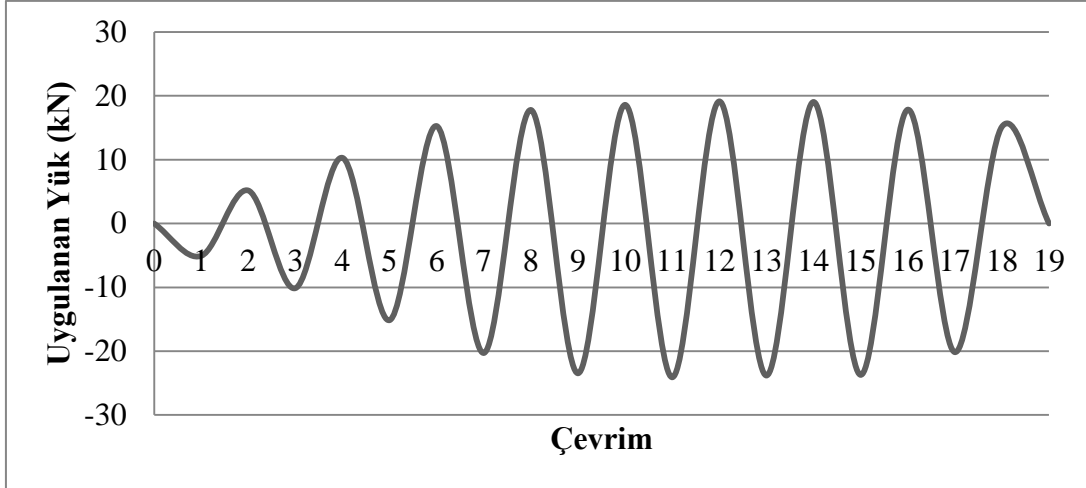


Şekil 4.16. Model-2'ye ait teknik çizim



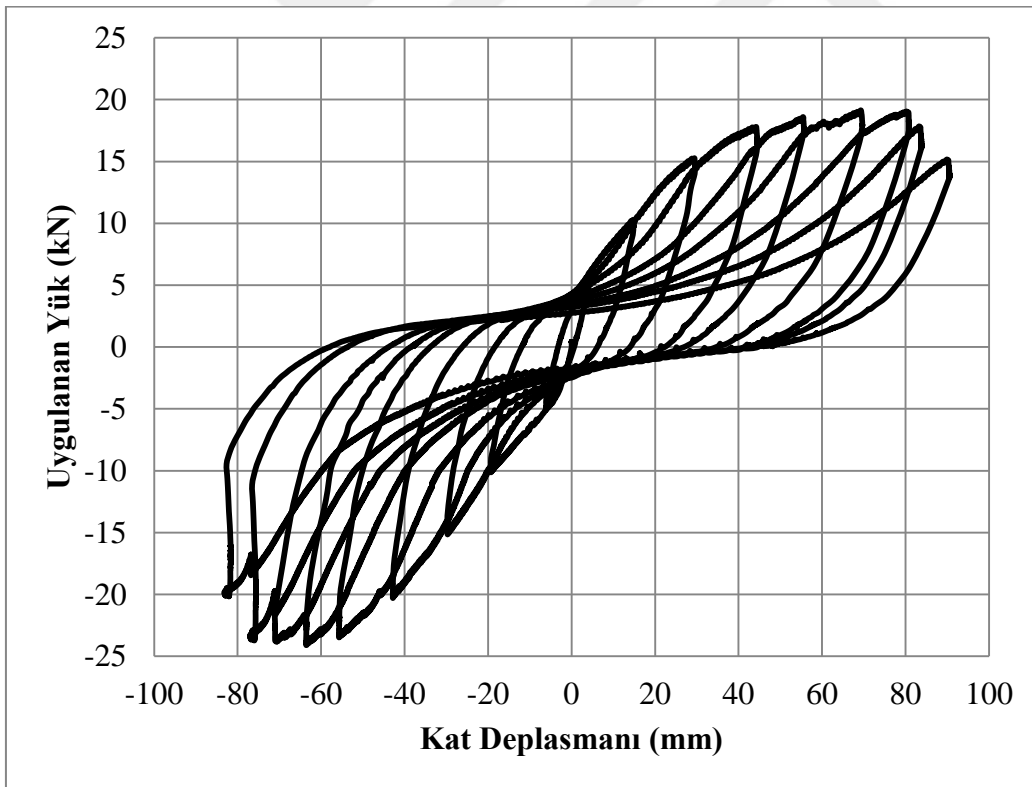
Şekil 4.17. Model-2'nin deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

Kapı açıklığına sahip Model-2'nin yatay dayanımını belirlemek için 18 adet yükleme çevrimi uygulanmıştır. Uygulanan yük çevrimi Şekil 4.18'de verilmiştir. 9 itme yönünde 9 çekme yönünde yük uygulanarak simetrik bir çevrim gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.18. Model-2'nin yük çevrim grafiği

18 adet yükleme çevrimi sonucunda deney elemanının göstermiş olduğu davranış yük-deplasman grafiği ile elde edilmiş ve Şekil 4.19'da sunulmuştur.



Şekil 4.19. Model-2'nin yük-deplasman grafiği

Şekil 4.19 incelendiğinde, çevrimlerin simetrik olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Yükleme programı itme yönünde +15 kN yüke, çekme yönünde -20 kN yüklemeye kadar yük kontrollü gerçekleştirilmiştir. Fakat bu çevrimlerden sonra deneye 15 mm deplasman

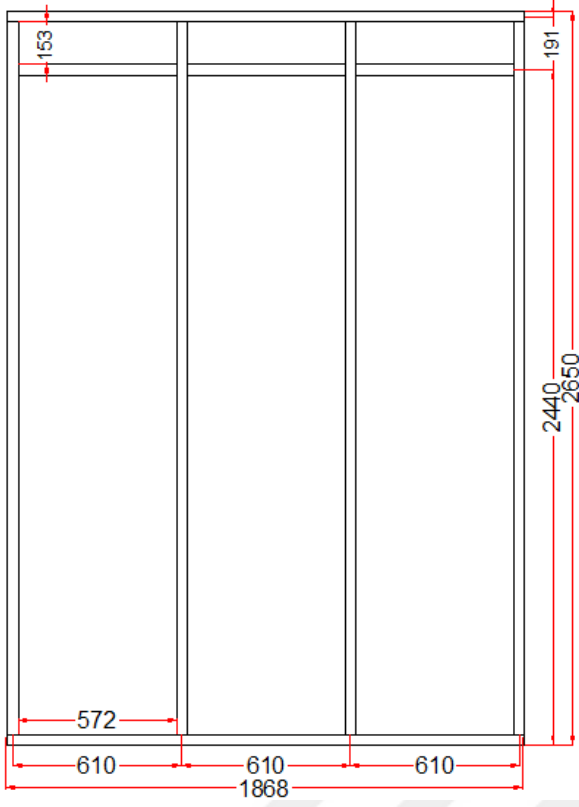
ekleyerek deplasman kontrollü devam edilmiştir. İtme yönünde +19 kN yüke, çekme yönünde ise -24 kN yüke kadar panel yük taşımaya devam etmiştir. Deplasman kontrollü yüklemelerde çivilerin yüzey panellerini zorladığı ve yırtılmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, kapı açıklığının köşelerinde OSB panellerde hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Model-2’de meydana gelen hasarlar

4.5.3. Model-3’ün deneyi

Model-3 1868 mm eninde 2650 mm yüksekliğinde boşluksuz deney elemanıdır ve teknik detayı Şekil 4.21’de verilmiştir. Deney elemanının deney öncesi deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.22’de sunulmuştur.

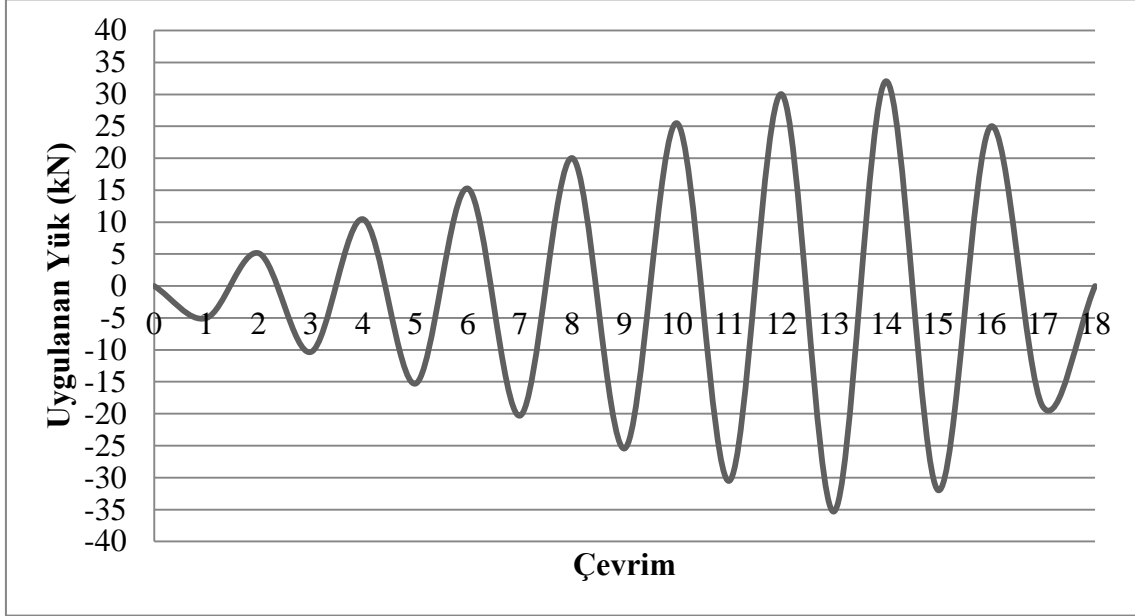


Şekil 4.21. Model-3'e ait teknik çizim



Şekil 4.22. Model-3'ün deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

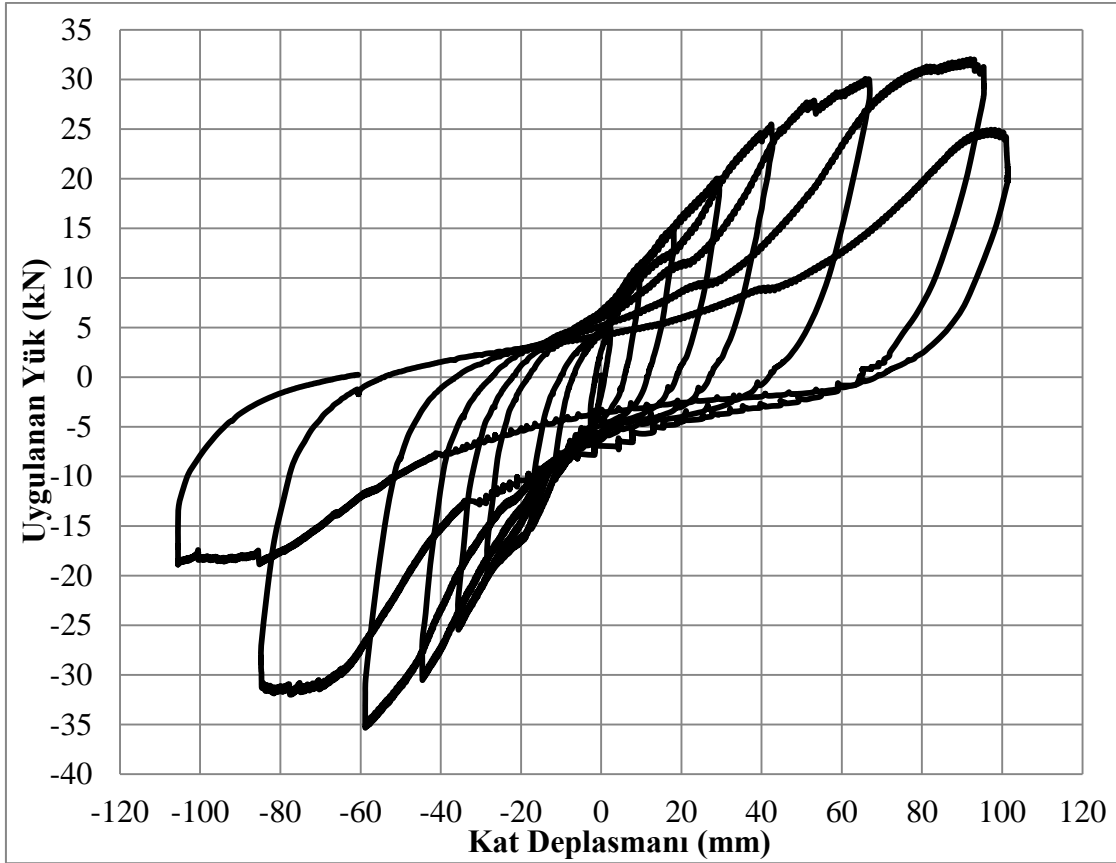
Deney sırasında elemana uygulanan yük-çevrimi Şekil 4.23’de verilmiştir. Elemana 8 itme, 9 çekme çevrimi olmak üzere toplam 17 çevrim uygulanmıştır.



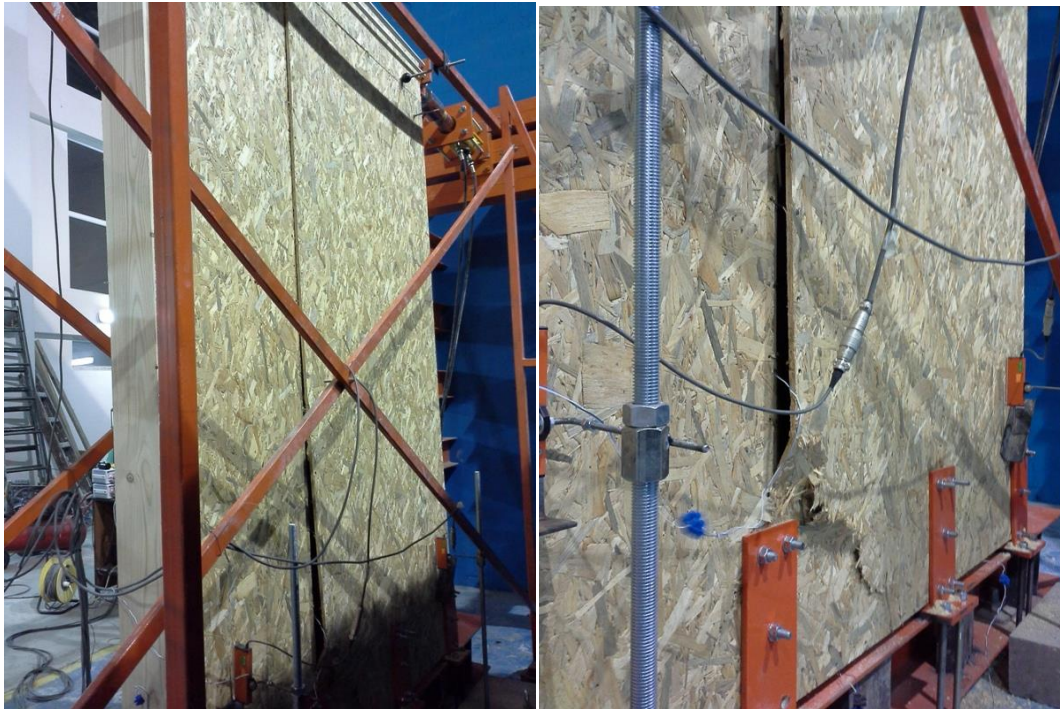
Şekil 4.23. Model-3’ün yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.24’de verilmiştir. Deney elemanı itme yönünde 32 kN yükte 92.021 mm deplasman, çekme yönünde ise -35 kN yüklemeye -58,797 mm deplasman yaparak her iki yönde maksimum yük seviyesine ulaşmıştır. 30 kN itme çevriminde OSB panellerin birleşim noktalarında ayrılımlar meydana geldiği için 35 kN itme çevriminde deney elemanı 35 kN yüke ulaşamamış ve 32 kN yük seviyesinde çevrime son verilmiştir. Çekme yönünde ise -35 kN yüke ulaşmıştır. Maksimum yük taşıma kapasitelerinden sonra ankraj kısımlarındaki OSB panellerinde meydana gelen hasarların artması nedeniyle bir önceki yük seviyelerine göre yaklaşık % 50 yük kaybı meydana gelmiş ve strok yetersiz gelmiştir. 24,95 kN itme yükü ile 97,216 mm deplasman ve -18,873 kN çekme yükü ile -105,531 mm deplasmanda deneye son verilmiştir.

Model-3 deney elemanı yüklemeler altında iki OSB panelin birleşim noktalarındaki bağlantı elemanlarında meydana gelen gerilme yığılmalarından dolayı bu kısımlarda ayrılımlar ve yırtılmalar meydana gelmiştir. Şekil 4.25’te Model-3’de meydana gelen hasarlar verilmiştir.



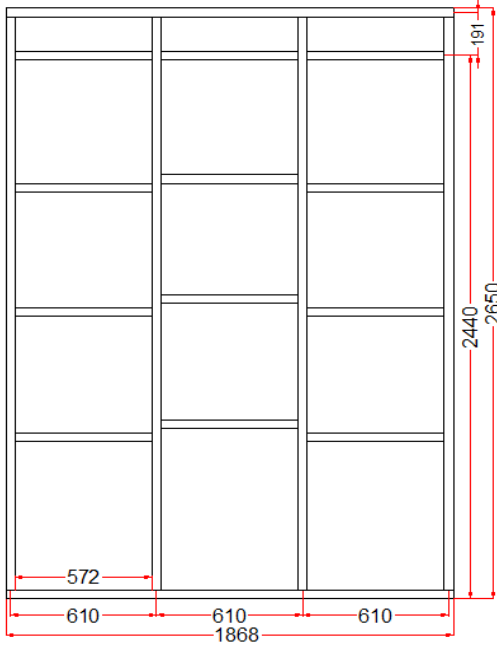
Şekil 4.24. Model-3'ün yük-deplasman grafiği



Şekil 4.25. Model-3'de meydana gelen hasarlar

4.5.4. Model-4'ün deneyi

Model-3 ile aynı ebatlara sahip (1868x2650 mm) Model-4 deney elemanı yatay elemanlar ile güçlendirilmiş ve performansı test edilmiştir. Yatay güçlendirme elemanları 567 cm aralıklar ile yerleştirilmiş ve her bir gözde kademeler oluşturulmuştur. Model-4'e ait teknik çizim Şekil 4.26'da verilmiştir. Deney elemanının deney öncesi deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.27'de sunulmuştur.

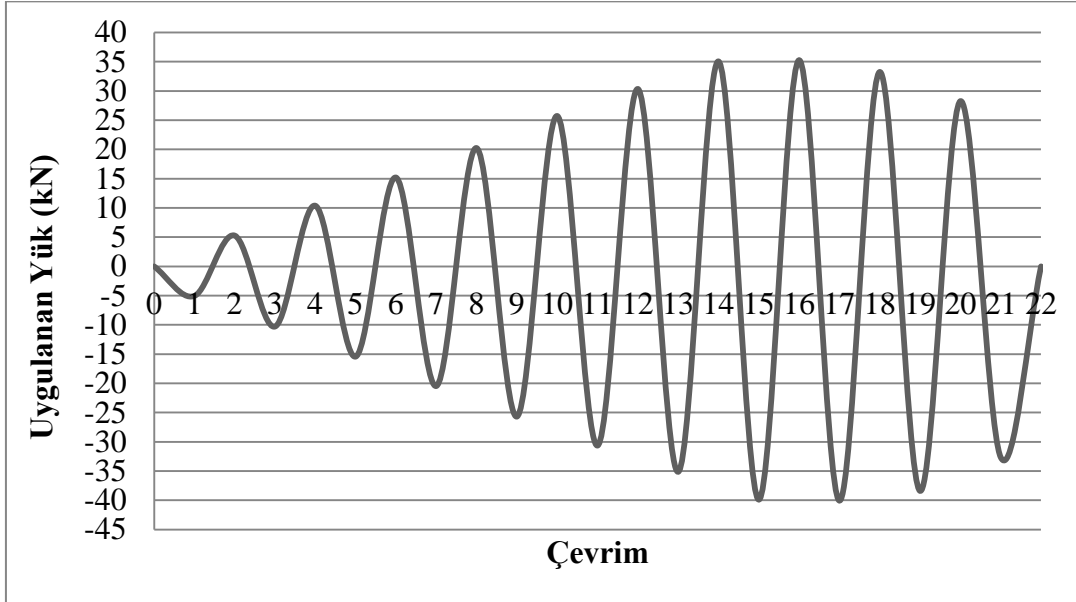


Şekil 5.26. Model-4' e ait teknik çizim



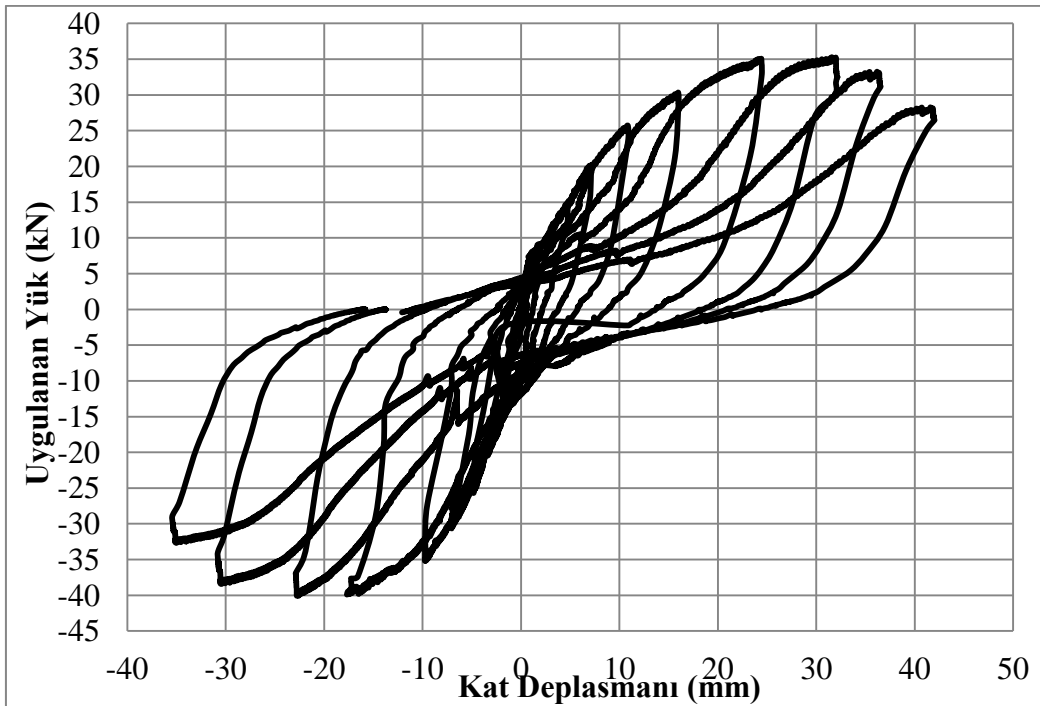
Şekil 4.27. Model-4'ün deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.28’de verilmiştir. Elemana 10 itme, 11 çekme olmak üzere toplam 21 çevrim uygulanmıştır.



Şekil 4.28. Model-4’ün yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.29. Model-4’ün yük-deplasman grafiği

Şekil 4.29 incelendiğinde, 5 kN yük artışlarıyla yükleme başlatılmış ve OSB kısımlarında ilk ayrılmalar 30kN itmede başlamıştır. Deney elemanı itme yönünde 35,277 kN yükte 31,575 mm deplasman, çekme yönünde ise -40,078 kN yüklemeye -22,618 mm deplasman yaparak her iki yönde maksimum yük seviyesine ulaşmıştır. Deney elemanı maksimum yüke ulaştıktan sonra yüklemeye devam edilmiş fakat hasarların artması nedeniyle deplasman artmış ve yük kaybı meydana gelmiştir. Bu nedenle deney deplasman kontrollü devam edilmiştir. Maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra deney elemanı itme yönünde 28 kN yüklemeye 41,595 mm deplasman ve çekme yönünde -32,65 kN yüklemeye -34,973 mm deplasman yaparak deney sonlandırılmıştır.

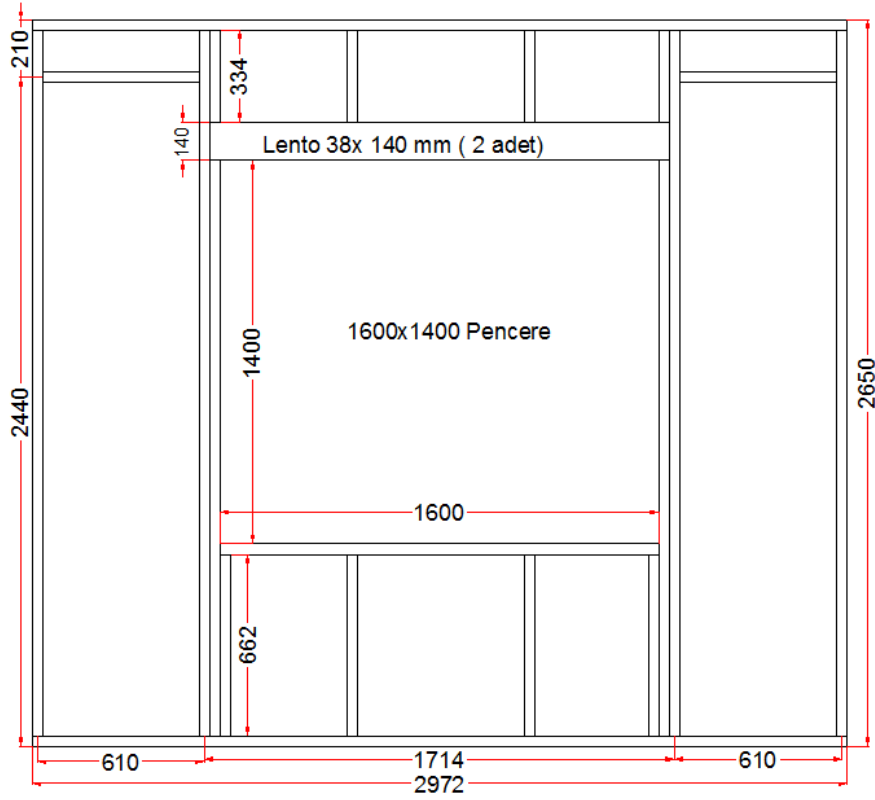
Model-4 deney elemanında yatay yükleme altında temel bağlantı kısmında bağlantı elemanlarının bulunduğu kısımlarda diyagonal şekilde kesme hasarları meydana gelmiştir. Şekil 4.30'da Model-4'te meydana gelen hasar sunulmuştur.



Şekil 4.30. Model-4'te meydana gelen hasar dağılımları

4.5.5. Model-5'in deneyi

Model-5, 1600x1400 mm pencere boşluğuna sahip 2972x 2650 mm ölçülerinde duvar elemanı olup teknik detayı Şekil 4.31'de verilmiştir. Deney elemanının deney öncesi deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.32'de sunulmuştur

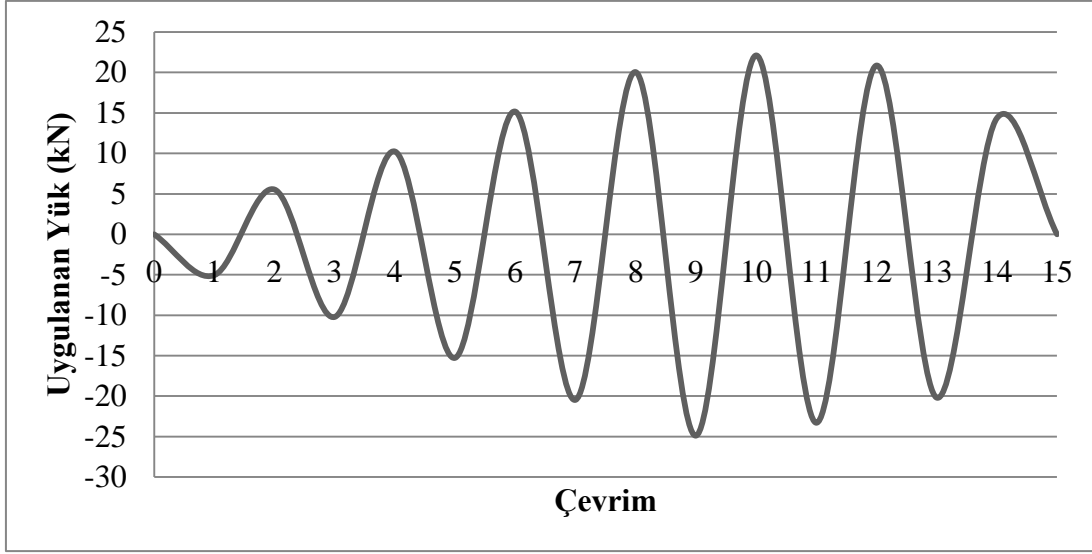


Şekil 4.31. Model-5'e ait teknik çizimi



Şekil 4.32. Model-5'in deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

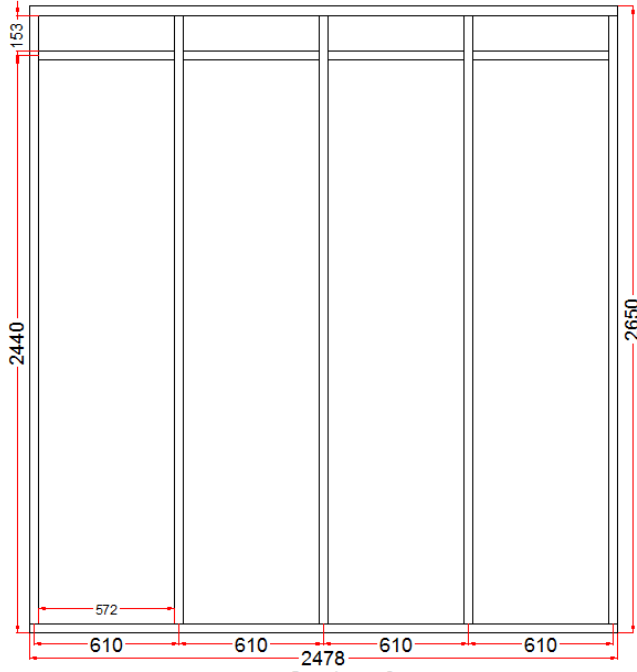
Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.33'de verilmiştir. Elemana 7 itme, 7 çekme olmak üzere toplam 14 çevrim uygulanmıştır.



Şekil 4.33. Model-5'in yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.34'de verilmiştir. Yükleme yük kontrollü olarak 20 kN yüklemeye kadar oldukça rijit davranmış bu noktadan sonra deney elemanının itme yönünde 25 kN yüke ulaşması hedeflenmiştir. Ancak bu yük düzeyine ulaşmadan 22 kN yük seviyesinde eleman 49,443 mm deplasman yapmıştır. Deney elemanı çekme yönünde ise -25 kN yüklemeye -53,098 mm deplasman yaparak maksimum yük seviyesine ulaşmıştır. Deneye bu noktadan sonra deplasman kontrollü devam edilmiştir. Deney elemanları üzerinde özellikle açıklık kenarlarında OSB paneller üzerinde gerilme yığılmalarından dolayı yırtılmalar gözlenmiştir. Bu nedenle yüklemeye devam edilmesine rağmen maksimum yük seviyesine göre yük düşmüş ve deplasman artmıştır. Deney elemanı itme yönünde 14 kN da 94,546 mm çekmede -20 kN yüklemeye -85,588 mm deplasman yaparak deneye son verilmiştir.

Model-5 deney elemanında yükleme arttıkça pencere kenarlarında bulunan OSB panellerde çivilerden ayrılmalar ve köşe ankraj elemanlardan pencere köşelerine doğru diyagonal çatlaklar ve yarılmalar meydana gelmiştir. Şekil 4.35'de Model-5'te meydana gelen hasarlar sunulmuştur.

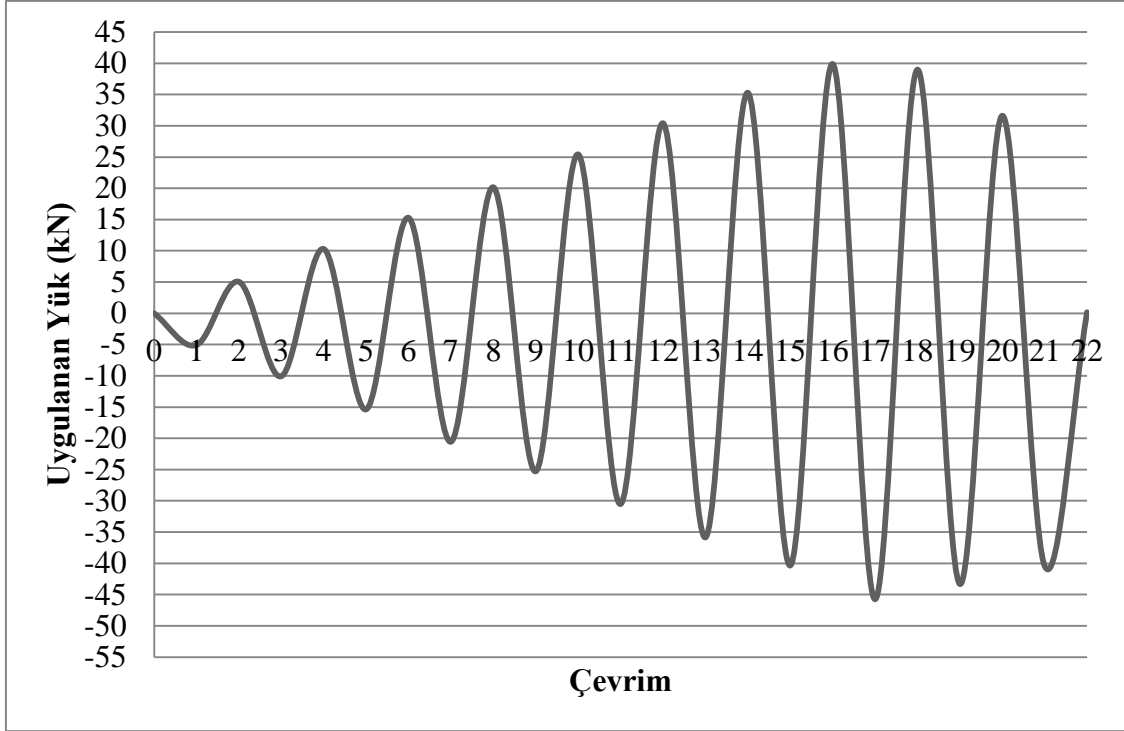


Şekil 4.36. Model-6' ya ait teknik çizim



Şekil 4.37. Model-6'nin deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

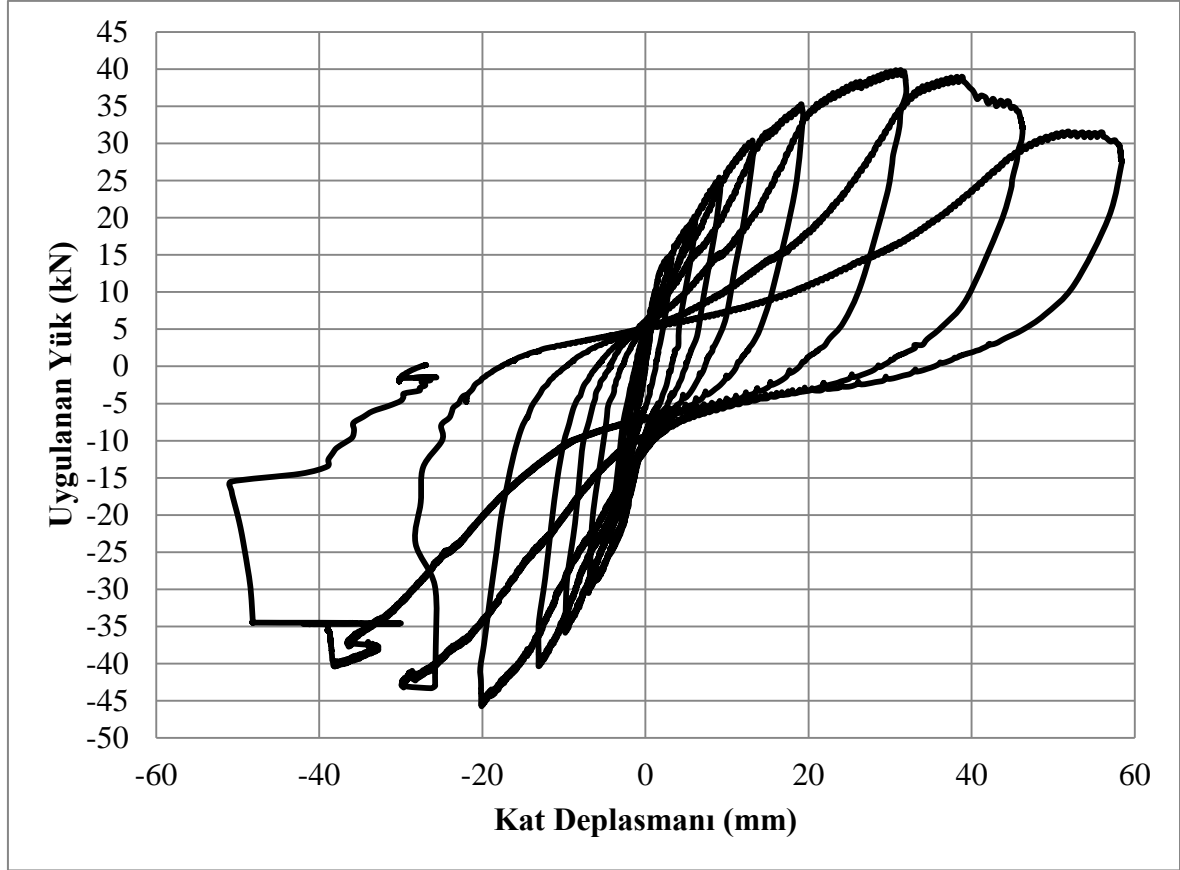
Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.38'de verilmiştir. Elemana 10 itme, 11 çekme çevrim olmak üzere toplam 21 çevrim uygulanmıştır.



Şekil 4.38. Model-6'nın yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.39'de verilmiştir. 11.çevrimde 30 kN yüklemde deney elemanında çıtırdamalar duyulmuş fakat gözle görülür çatlamlar meydana gelmemiştir. Deney elemanı itmede 40 kN yük seviyesini gördüğünde 31,299 mm deplasman yapmış ve rijitlik oldukça azalmıştır. Eleman bu çevrimde itmede maksimum yük seviyesine ulaşmıştır. Bundan sonraki çevrimde amaç çekmede 45 kN yüke gitmek olmuştur. Hedeflenen yüke eleman ulaşmış olup -20,094 mm deplasman yapmıştır. Eleman çekmede maksimum yük seviyesine ulaşmıştır. Bu çevrimden sonra yüklemeler deplasman kontrollü gerçekleşmiştir. OSB panellerde meydana gelen yırtılmalar ve çivilerden ayrılmalar sonucu, itmede 31 kN yükte 51,9 mm deplasman ve çekmede -40 kN yükte -38,097 mm deplasmanda deney sonlandırılmıştır.

Model-6 deney elemanında OSB panel birleşimlerinin olduğu dikmelerde aşırı gerilme birikmesi meydana geldiği için bu kısımlarda OSB panellerden çivilerden ayrılmaktadır. Şekil 4.40'da Model-6 deney elemanında meydana gelen hasarlar sunulmuştur.



Şekil 4.39. Model-6'nın yük-deplasman grafiği

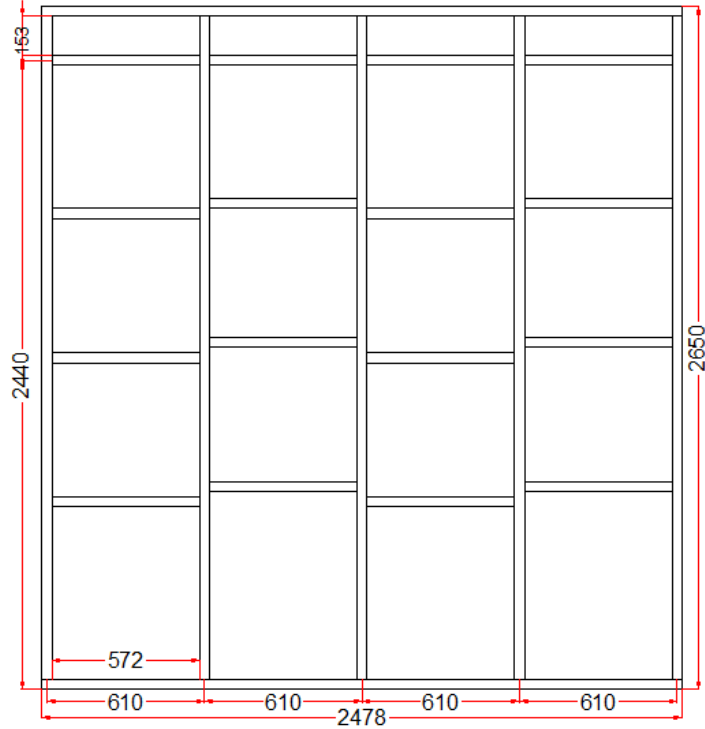


Şekil 4.40. Model-6'da meydana gelen hasar dağılımları

4.5.7. Model-7'nin deneyi

Model-7, 2478x2650 mm ebatlarında boşluksuz yapıya sahip ve yatay elemanlar ile güçlendirilmiş bir duvar elemanı olup teknik detayı Şekil 4.41'de verilmiştir. Model-7

deney elemanlarında bulunan yatay güçlendirme elemanları 567 cm aralık bırakılarak yerleştirilmiştir. Deney elemanının deney öncesi deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.42’de sunulmuştur

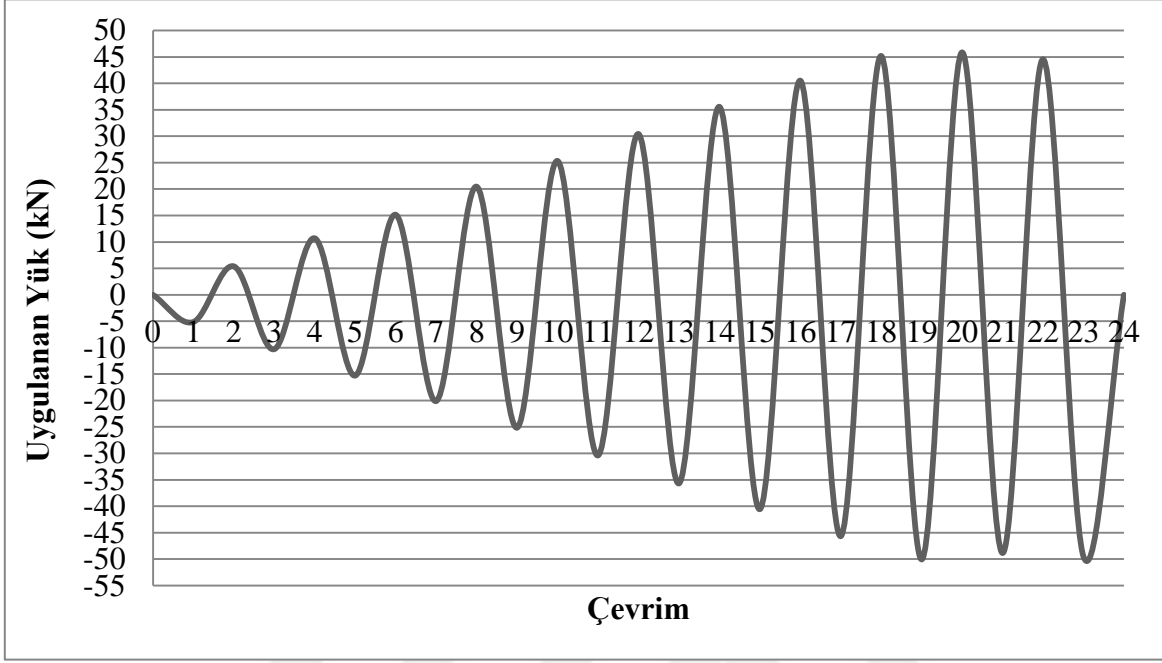


Şekil 4.41. Model-7’ye ait teknik çizim



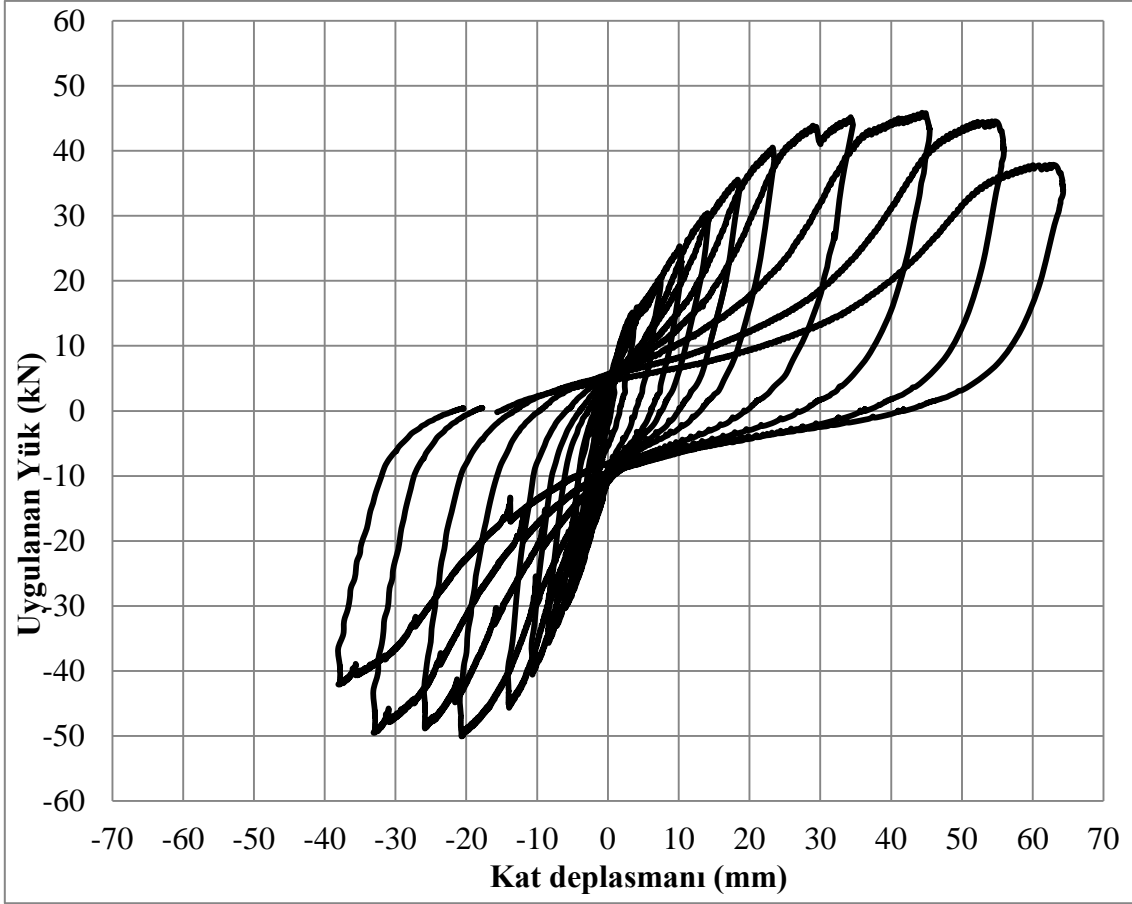
Şekil 4.42. Model-7’nin deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.43’de verilmiştir. Elemana 11 itme, 12 çekme olmak üzere toplam 23 çevrim uygulanmıştır.



Şekil 4.43. Model-7'nin yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.44’de verilmiştir. Deney elemanında 40 kN yüklemeye kadar yapısal bir hasar gözlemlenmezken 40 kN ve sonraki yük çevrimlerinde OSB panellerde açılmalar gözlemlenmeye başlamıştır. Bu çevrimden sonra itme yönünde 45 kN yüke gitmek amaçlanmış ve deplasman değeri 40 kN çevrimdeki deplasmana göre yaklaşık 10 mm artarak eleman 34,29 mm deplasman yapmıştır. Bu durum eleman rijitliğinin önceki çevrimlerde elde edilen rijitliklere göre azalması olarak yorumlanabilmektedir. Bu noktadan sonra elemana yükleme 10 mm deplasman kontrollü gerçekleştirilmiştir. Çekme yönünde ise -45 kN yüklemde eleman -13,96 mm deplasman yaparken, -50 kN yüklemde ise -20,684 mm deplasman yapmıştır. -50 kN yükleme sonrasında deney elemanında oluşan çatlaklar giderek artmış ve yükleme deplasman kontrollü gerçekleştirilmiştir. Deney elemanı itme yönünde 45,871 kN, çekme yönünde ise -50 kN maksimum yük taşıma kapasitesine sahip olmuştur.



Şekil 4.44. Model-7'nin yük-deplasman grafiği

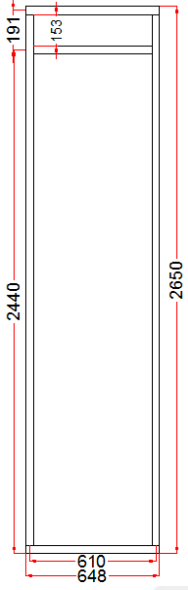
Model-7 deney elemanı yatay elemanlar ile güçlendirilmiş bir model olup Model-6'da meydana gelen OSB birleşim kısımlarındaki hasarlar gözlenmemiştir. Özellikle sol ve sağ kenarlarda bulunan ankraj elemanlarının olduğu kısımlarda aşırı gerilmelerden dolayı yırtılmalar meydana gelmiştir. Şekil 4.45'de Model-7 de meydana gelen hasarlar verilmiştir.



Şekil 4.45. Model-7'de meydana gelen hasar dağılımları

4.5.8. Model-8'in deneyi

Model-8 deney elemanı en dar deney elemanı olup 648x2650 mm ebatlarındadır. Model-8'in teknik detayı Şekil 4.46'da verilmiştir. Deney elemanının deney öncesi deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.47'de sunulmuştur

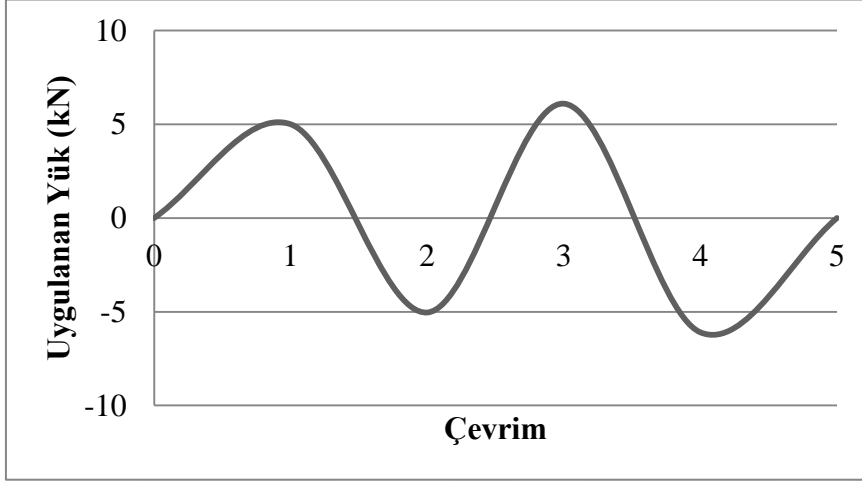


Şekil 4.46. Model-8'e ait teknik çizim



Şekil 4.47. Model-8'in deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

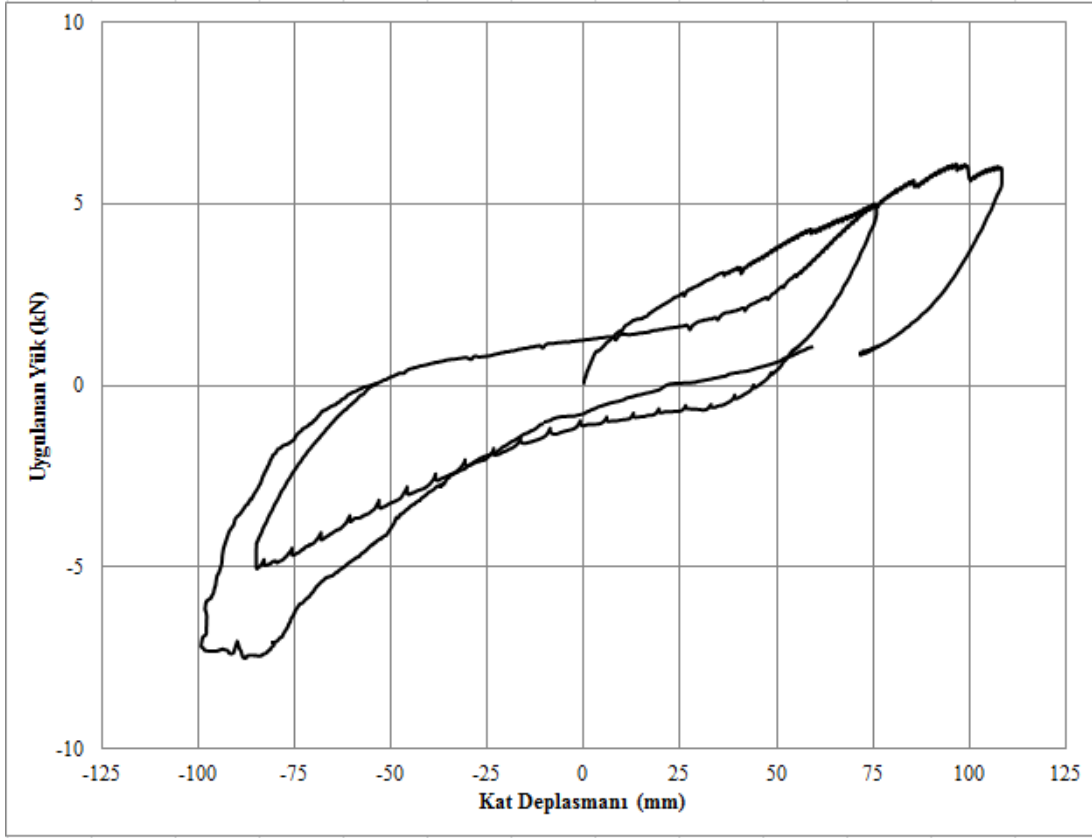
Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.48’de verilmiştir. Elemana 2 ileri, 2 geri olmak üzere toplam 4çevrim uygulanmıştır.



Şekil 4.48. Model-8'in yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.49’da verilmiştir. Model-8 en dar yapıya sahip eleman olduğu için yükleme esnasında oldukça sünek bir davranış göstermiş olup ilk çevrimlerde oldukça yüksek deplasman yapmıştır. Deney elemanına başlangıç çevriminde ileri yönde 5 kN yük uygulanmış ve deney elemanı bu yük altında 75,829 mm deplasman yapmıştır. Çekme yönünde aynı yük seviyesinde ise -84,827 mm deplasman yapmıştır. Deney elemanının 10 kN yüke gitmesi hedeflenmiş fakat maksimum seviyede eğilme gerilmesi oluşması sonucu deney elemanı 6 kN yüke kadar dayanabilmiştir. Bu yük değerinde itme yönünde 96,643 mm, çekme yönünde ise -102,468 mm deplasman yapmıştır. Deney bu yük değerlerinde sonlandırılmıştır.

Model-8 en dar deney elemanı olup yüksekliği enine göre oldukça yüksektir. Bu nedenle bu deney elemanında eğilme gerilmesi meydana gelmiş olup sol ve sağ kenar dikme ve yatay elemanlar arasında ayrılmalar gözlemlenmiştir (Şekil. 4.50).



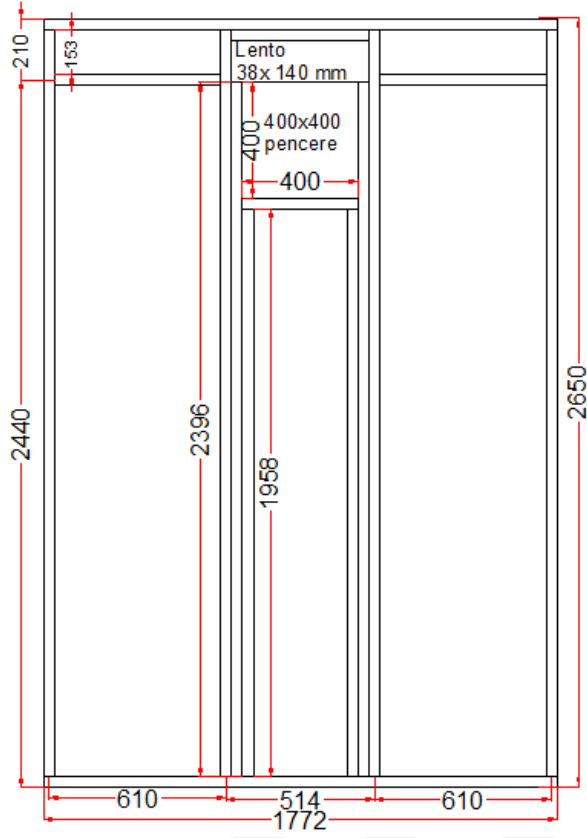
Şekil 4.49. Model-8'in yük-deplasman grafiği



Şekil 4.50. Model-8'de meydana gelen hasar dağılımları

4.5.9. Model-9'un deneyi

Model-9, 1772x2650 mm ebatlarında 400x400 mm pencere boşluğuna sahip bir duvar elemanı olup teknik detayı Şekil 4.51'de verilmiştir. Deney elemanının deney öncesi deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.52'de sunulmuştur

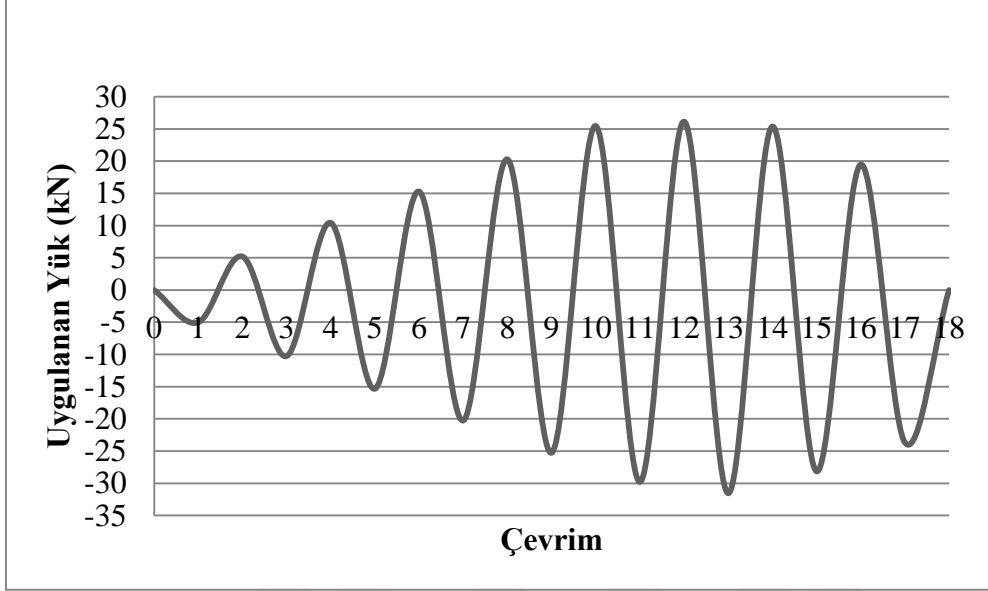


Şekil 4.51. Model-9' a ait teknik çizim



Şekil 4.52. Model-9'un deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

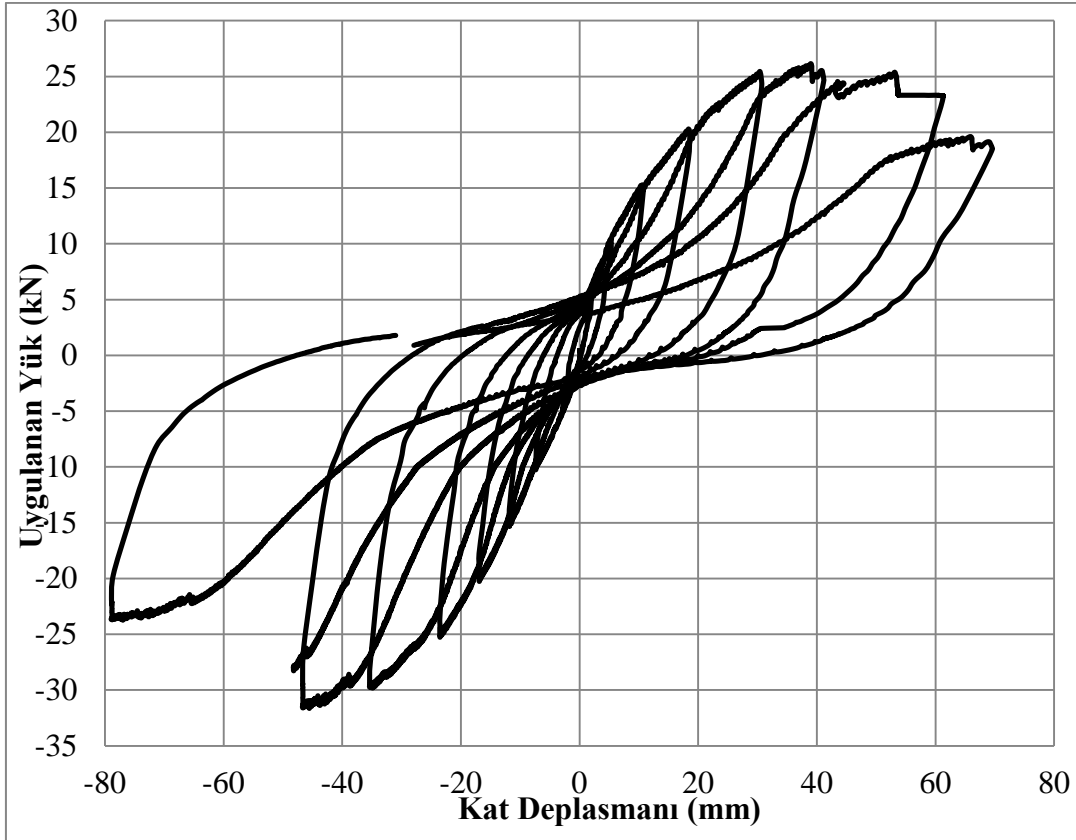
Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.53’de verilmiştir. Elemana 8 itme, 9 çekme olmak üzere toplam 17 çevrim uygulanmıştır.



Şekil 4.53. Model-9’un yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.54’de verilmiştir. 20 kN itme ve çekme yükleme seviyesinde deney elemanında hasarlar oluşmaya başlamış ve önceki çevrimlere göre deplasman değerleri daha çok artmıştır. İtme yönünde +25 kN yükleme çevriminden sonra +30 kN yükleme çevrimine gitmek hedeflenmiş fakat deney elemanı çok fazla deplasman yaptığı için deney elemanı ileri yönde 26,139 kN yüke kadar dayanabilmiş ve 39,033 mm deplasman yapmıştır. Bundan sonraki çevrimlerde deneye 20 mm’lik deplasman artışlarıyla devam edilmiştir. Yükleme altında deney elemanın yük taşıma kapasitesi 19 kN seviyesine düşmüş ve yaklaşık 64,590 mm deplasman yaparak deney sonlandırılmıştır.

Çekme yönünde 20 kN yükleme çevrimi de dahil olmak buraya kadar olan bütün yüklemelerde deplasman değeri farkı hemen hemen aynı elde edilmiştir. Fakat 20 kN yüklemelerden sonra itme yönünde meydana gelen hasarlar simetrik olarak çekme çevriminde de meydana gelmiş ve deplasman artmıştır. Çekme yönünde deney elemanı 31,542 kN maksimum yük taşıyabilmiş ve -45,733 mm deplasman yapmıştır.



Şekil 4.54. Model-9'un yük-deplasman grafiği

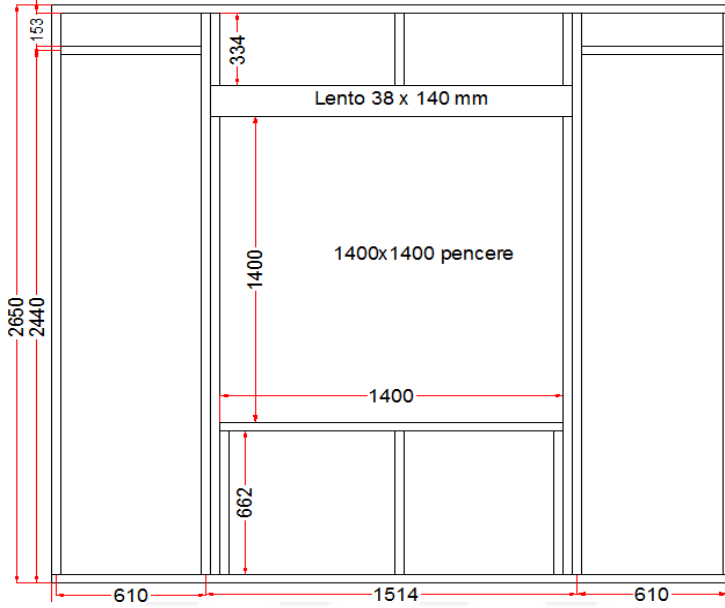
Model-9 deney elemanında hasarlar pencere kenarları ve köşe ankraj elemanları kısmında meydana gelmiştir. Bu kısımlarda OSB paneller çivilerden ayrılmış ve yırtılmalar gözlemlenmiştir (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. Model-9'da meydana gelen hasar dağılımları

4.5.10. Model-10'un deneyi

Model-5, 1400x1400 mm pencere boşluğuna sahip 2772 x 2650 mm ölçülerinde duvar elemanı olup teknik detayı Şekil 4.56'da verilmiştir. Deney elemanının deney öncesi deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.57'de sunulmuştur

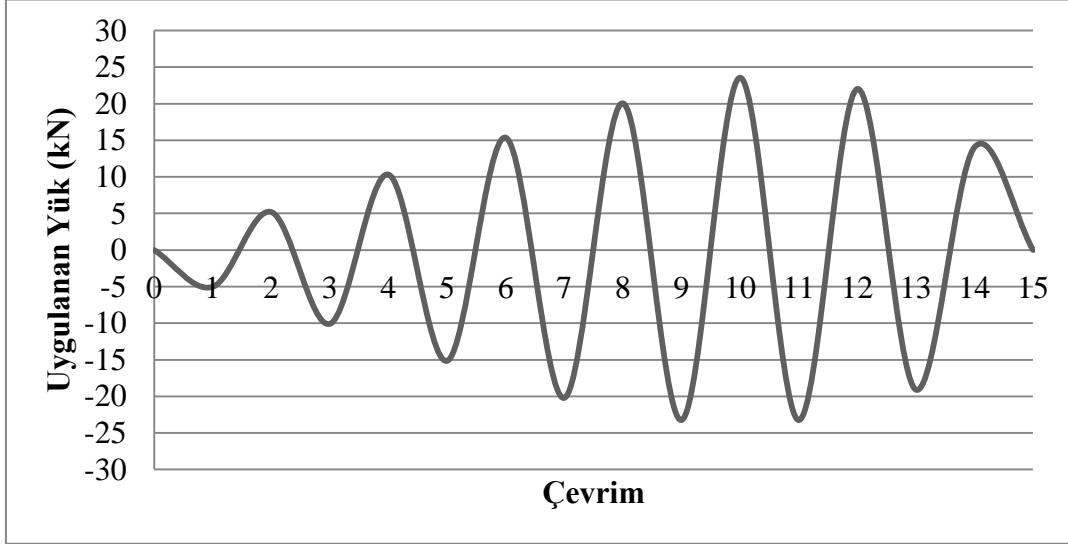


Şekil 4.56. Model-10'a ait teknik çizim



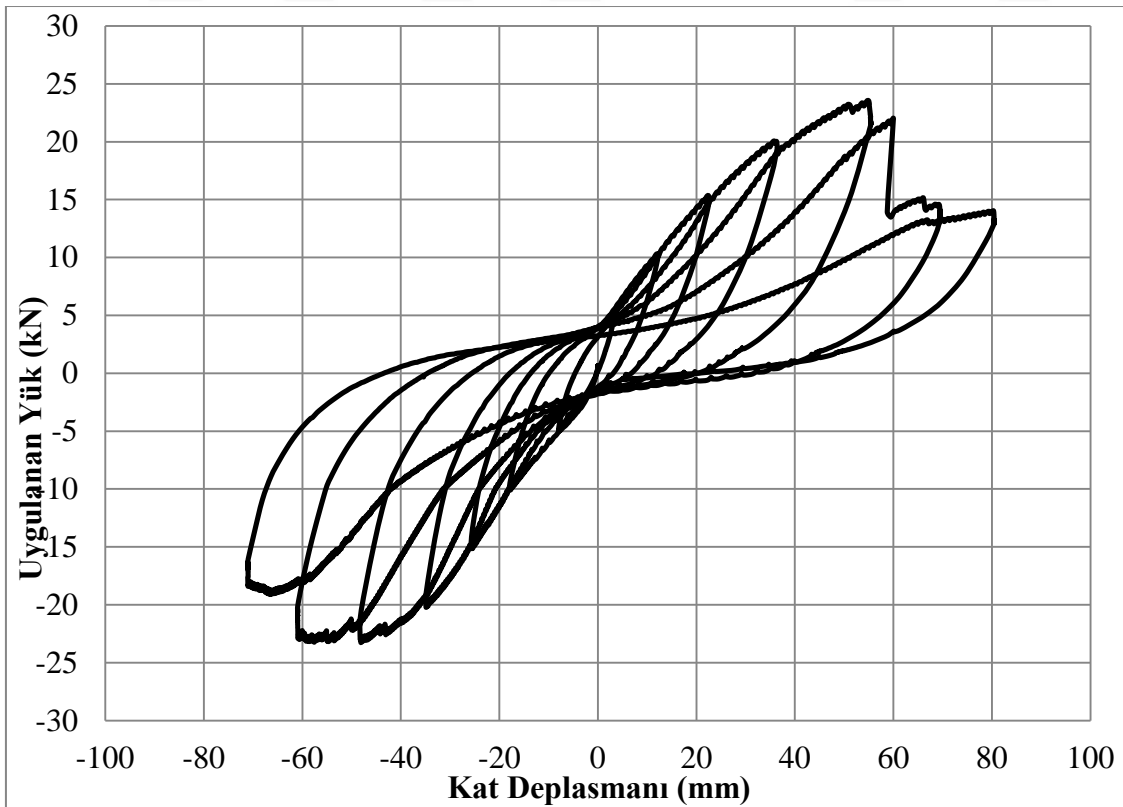
Şekil 4.57. Model-10'un deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.58’de verilmiştir. Elemana 7 itme, 7 çekme olmak üzere toplam 14 çevrim uygulanmıştır.



Şekil 4.58. Model-10’un yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.59’de verilmiştir.



Şekil 4.59. Model-10’un yük-deplasman grafiği

İleri yönde 25 kN yük çevrimine giderken deney elemanı 23 kN yük seviyesinde yaklaşık 54 mm deplasman yaparak deplasman limitini aşması nedeniyle çevrime son verildi. Çekme yönünde de 25 kN yük çevrimine giderken deney elemanı 22 kN yük seviyesinde yaklaşık 51 mm deplasman yapmıştır. Hedeflenen yük seviyesine ulaşmadan çevrim sonlandırılmıştır. Bu noktalardan sonraki yüklemeler deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir.

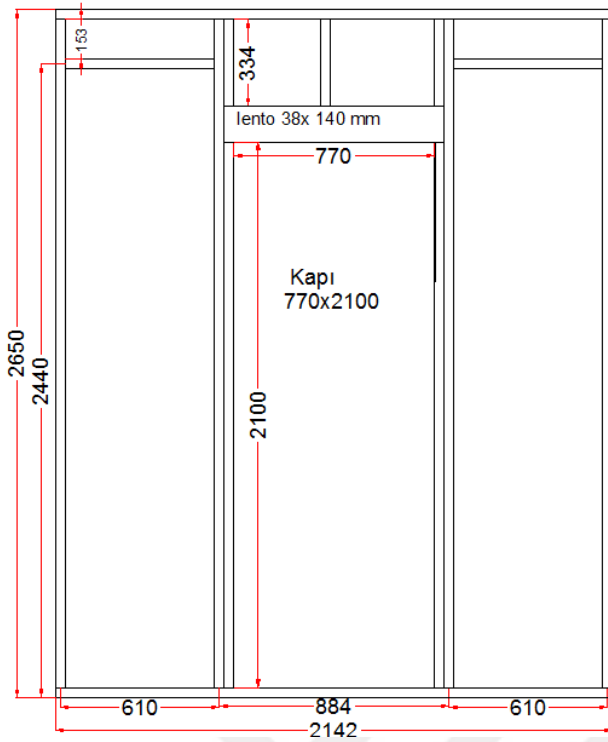
Model-10 deney elemanında hasarlar pencere köşelerinde meydana gelmiştir. Köşelerde çizilerin OSB panelleri ezerek geri çıkmış ve OSB paneller ayrılmıştır. Ayrıca köşelerde biriken gerilmelerden dolayı çapraz çatlaklar meydana gelmiştir. Şekil 4.60'da Model-10'da meydana gelen hasarlar sunulmuştur.



Şekil 4.60. Model-10'da meydana gelen hasar dağılımları

4.5.11. Model-11'in deneyi

Model-11, 770x2100 mm kapı boşluğuna sahip 2142 x 2650 mm ölçülerinde duvar elemanı olup teknik detayı Şekil 4.61'de verilmiştir. Deney elemanının deney öncesi deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü Şekil 4.62'de sunulmuştur

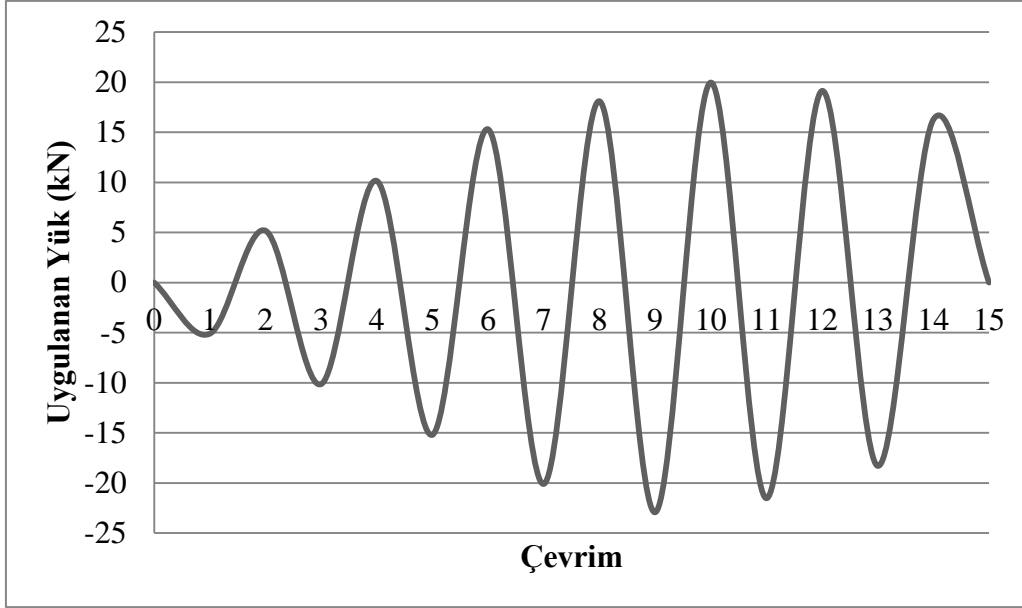


Şekil 4.61. Model-11'e ait teknik çizim



Şekil 4.62. Model-11'in deney düzeneğine yerleştirilmiş görünümü

Deney sırasında elemana uygulanan yük çevrimi Şekil 4.63'de verilmiştir. Elemana 7 ileri, 7 geri çevrim olmak üzere toplam 14 çevrim uygulanmıştır.



Şekil 4.63. Model-11'in yük çevrim grafiği

Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.64'de verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 20 kN çevrimine giderken 18 kN yük seviyesinde yaklaşık 45 mm deplasman yapmış ve yükleme deplasman kontrollü yüklemeye dönmüştür. İleri yönde maksimum 19 kN yük taşıyabilmiş ve 60 mm deplasman yapmıştır. Deney bu çevrimden sonra 20mm artış ile deplasman kontrollü devam edilmiştir. Çekme yönünde ise 20 kN yükleme çevriminden sonra 25 kN yük çevrimine giderken deney elemanında meydana gelen hasarların büyümesi nedeniyle deplasman artmış ve deney elemanı 23 kN yük çevriminde maksimum yük seviyesine ulaşmıştır. Bu yük noktasında 60 mm deplasman yapmıştır. Bu doğrultuda da deneye deplasman kontrollü devam edilmiştir.

Model-11 meydana gelen hasarlar kapı boşluğu bulunan Model-2 ile aynı olup kapı üst kısımlarında ayrılmalar gözlemlenmiştir. Şekil 4.65'de Model-11'de meydana gelen hasar dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.64. Model-11'in yük-deplasman grafiği



Şekil 4.65. Model-11'de meydana gelen hasar dağılımları






5. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

Deneysel elemanlarının en/boy oranları ve açıklık alan oranlarının farklı olduğu ve en/boy oranlarının 0.24-1.12 değerleri arasında oldukça geniş bir aralıkta değişim gösterdiği (Bkz. Çizelge 4.1)'de görülmektedir. Model-8 en küçük en/boy oranına sahip duvar elemanı olup aynı zamanda en dar duvar elemanıdır. Model-5 ise pencere boşluğu bulunan en/boy oranı en yüksek duvar elemanıdır. Model-3 ve Model-4 aynı en/boy oranlarına ve boşluksuz yapıya sahip deneysel elemanları olup, Model-4 yükseklik boyunca belirli aralıklarda yatay elemanlar ile güçlendirilmiştir. Model-6 ve Model-7'de aynı boyutlarda ve en/boy oranlarında duvar elemanları olup, Model-7 yatay güçlendirmelere sahip olduğu için Model-6'dan farklılık göstermektedir. Deneysel çalışma kapsamında incelenen diğer bir değişken olan boşluk büyüklüğü değişimi yönüyle deneysel elemanları incelendiğinde deneysel elemanlarında yer alan boşluk alanının deneysel elemanı toplam alanına oranı değerlerinin %3-%33 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Model-2 %33, Model-5 %28, Model-9 %3, Model-10 %27, Model-11 %28 oranında boşluklara sahip deneysel elemanlarıdır. Boşluk büyüklüğü değişim gösteren ve boşluksuz deneysel elemanları test edilerek boşluğun yük-deplasman davranışı, dayanım, enerji tüketim kapasitesi, deplasman süneklilik oranı ve göçme mekanizmaları gibi önemli parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Deneysel elemanlarının yük-deplasman grafikleri değerlendirilerek dayanım, başlangıç rijitliği, deplasman süneklilik oranları, enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmıştır. Ayrıca genel yük-deplasman davranışları ve göçme mekanizmaları yorumlanarak çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden bu önemli yapısal parametrelerin nasıl etkilendikleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda elde edilen sonuçlar ve hesaplanan değerler Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. Deneý sonuçları

Model No	Maksimum Yük (kN)		Maksimum Yükte Deplasman (mm)		Başlangıç Rijitliği (kN/mm)		Süneklik Oranı	Enerji Sönümleme Kapasitesi (kN-mm)	Hasar Modları
	İtme Çevrim	Çekme Çevrimi	İtme Çevrim	Çekme Çevrimi	İtme Çevrim	Çekme Çevrimi			
1 	19,16	-14,97	46,53	-52,54	0.42	0.35	1.18	2420.85	Eğilme
2 	19,14	-24,10	80,23	-63,52	1.34	0.84	1.87	7197.46	Kesme
3 	32,06	-35,32	93,04	-58,79	3.19	2.71	1.22	4690.65	Eğilme
4 	35,28	-40,08	31,56	-22.65	6.15	4.55	1.44	10497.44	Eğilme
5 	22,12	-24,89	53,91	-53.10	1.84	0.80	1.48	5978.95	Kesme
6 	39,89	-45,75	31,30	-19.89	6.99	6.20	1.47	6215.31	Eğilme-Kesme
7 	45,87	-50,07	44,37	-20.15	9.03	6.92	1.60	8612.37	Eğilme-Kesme
8 	6,20	-6,10	98,74	-102.45	0.21	0.17	1.00	1056.51	Eğilme
9 	26,14	-31,64	39,03	-45.56	2.80	1.78	1.56	5726.97	Eğilme
10 	23,55	-23,27	54,96	-57.60	1.58	0.64	1.09	4490.07	Kesme
11 	20,02	-22,93	61,07	-59.72	1.46	0.65	1.18	5236.47	Kesme

Deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenler, ahşap çerçeveli panel duvarların en/boy oranları, ahşap çerçevede yükseklik boyunca dağıtılmış yatay güçlendirme çubuklarının kullanılması ve panel duvarlarda yer alan boşluğun büyüklüğü ve konumudur. Deneysel elemanlarının genel yük-deplasman davranışı ve göçme mekanizmaları üzerinde bu değişkenlerin hepsinin önemli etkileri gözlemlenmiştir. Betonarme ve yığma duvarlarda olduğu gibi ahşap çerçeveli panel duvarların en/boy oranlarının azalması panellerin davranışında eğilme davranışının daha etkin olarak meydana gelmesini sağlamıştır. Panel duvar en/boy oranları 0,7 değerinden aşağıda olan deney elemanlarında eğilme davranışı hakim olmuş, kat deplasmanının büyük bir bölümü eğilme deplasmanı olarak meydana gelmiş, kesme çatlaklarının genişlikleri sınırlı kalmıştır. Panel duvarların en/boy oranları 1,0 değerine yaklaştıkça ve 1,0 değerinden daha büyük değerlerde, ölçülen kesme çatlak genişlikleri artış göstermiş ve deney elemanlarının kat deplasmanı üzerinde eğilme deplasmanının etkisi azalırken kesme çatlaklarının etkisi artış göstermiştir.

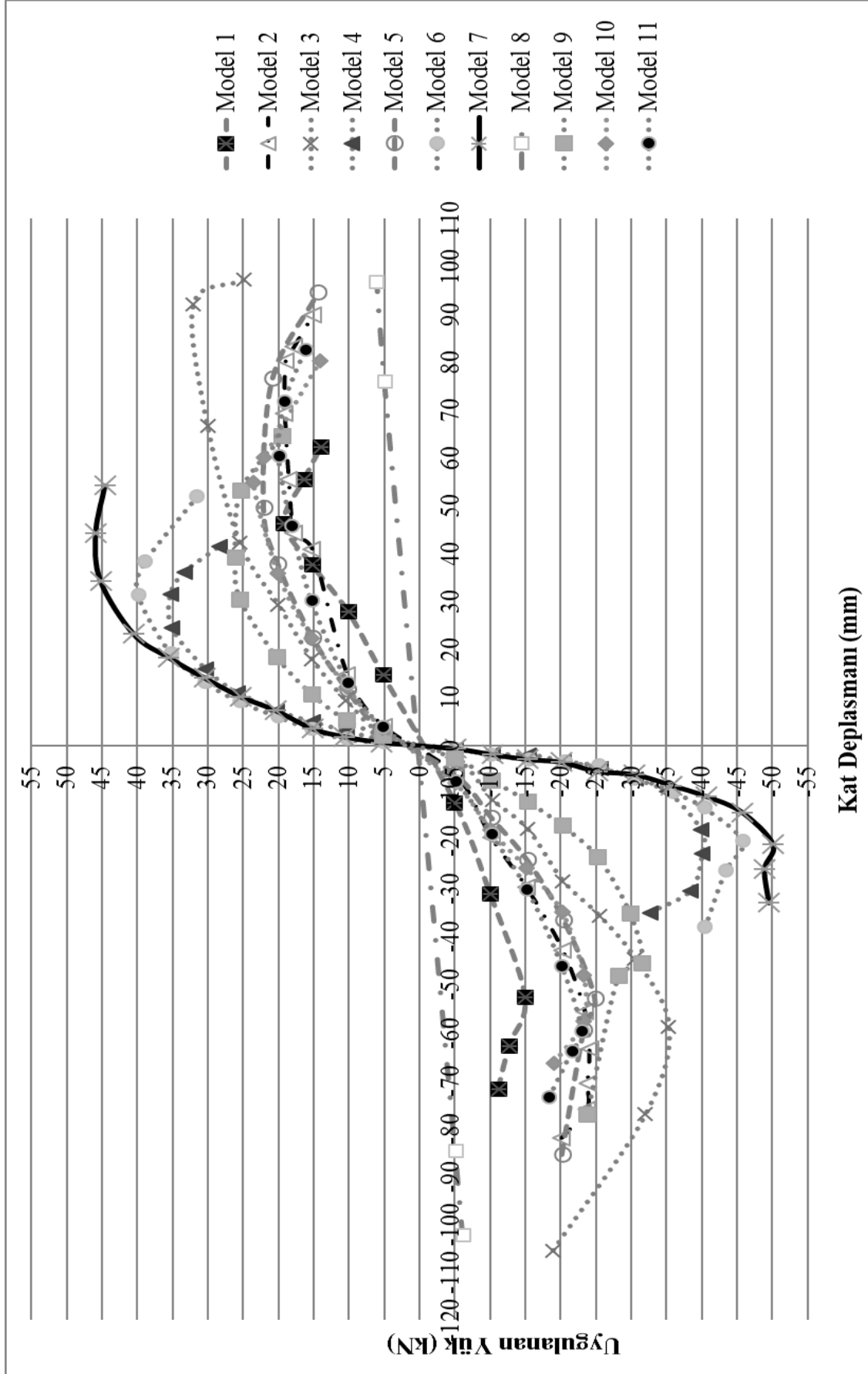
Deneysel programda en/boy oranları ve tüm geometrik boyutları özdeş olan Model-3 ve Model-4 deney elemanlarında farklılık sadece Model-4 deney elemanı her panel gözünde ahşap çerçeveden yükseklik boyunca dört adet yatay güçlendirme çubuğu ile güçlendirilmiştir. Ahşap çerçeveye yapılan bu ekleme deney elemanının genel davranışı üzerinde önemli değişiklikler meydana getirmiştir. Yatay güçlendirme elemanları, deney elemanının dayanım ve rijitlik değerlerini artırmasına ek olarak süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesini de artırmış ve genel yük-deplasman davranışını önemli oranda iyileştirmiştir. Aynı güçlendirme çubukları Model-7’de de kullanılmıştır. Model-6 ve Model-7 deney elemanları aynı en/boy oranlarına ve geometriye sahip olmalarına rağmen sadece yapılan yatay çubuk eklemesi ile Model-7’de daha yüksek dayanım, rijitlik, süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesi değerleri elde edilmiştir.

Deneysel elemanlarında yer alan boşluk alanının toplam panel alanına oranları %3 ile %33 değerleri arasında değişik oranlarda seçilmiştir. Deneysel elemanlarında yer alan boşluklar pencere ve kapı boşlukları olarak boyutlandırılmıştır. Deneysel elemanlarında yer alan boşluk büyüklüğü arttıkça deney elemanlarının dayanım ve rijitlik değerleri azalmıştır. Deneysel elemanlarında yer alan boşluklar, ahşap çerçeveli panel duvarlarını iki parçaya bölerek bir tek panel gibi davranış göstermesine engel olmuştur. Boşluklu panellerde boşluğun her iki tarafında kalan panellerin birbirine ahşap kirişler ile bağlı iki ayrı panel gibi davranış göstermelerine neden olmuştur. Boşluk nedeniyle iki parçaya bölünen ve en/boy oranları

azalan deney elemanlarında süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri de bir miktar artmıştır. Ancak panel duvarda yer alan boşluğun köşelerinde meydana gelen gerilme yığılmaları nedeniyle bu noktalarda eğimli kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Kapı boşluğu bulunan deney elemanları pencere boşluğu bulunan deney elemanlarına göre daha belirgin bir şekilde iki farklı panel parçası olarak davranış sergilemiştir. Bu durum, pencere boşluklu deney elemanlarında pencere altında ve üstünde bulunan iki adet panel parçası bulunması şeklinde yorumlanmıştır. Kapı boşluğunun üzerinde yer alan tek parçaya göre pencere boşluğunda bulunan alt ve üst panel parçaları, perde duvarların daha fazla tek parça gibi davranış göstermesini sağlamıştır. Model-9'da yer alan oldukça küçük bir boşluk bile ahşap çerçeveli panellerin dayanım ve rijitlik değerlerinin boşluksuz panellere göre azalmasına neden olmuş ve olumsuz bir etki yaratmıştır.

Dayanım ve Rijitlik

Deney elemanlarının dayanımları deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden etkilenmiştir. Deney elemanlarının birbirlerine göre dayanım ve rijitliklerinin değişiminin karşılaştırılması için yük-deplasman grafiklerinin zarf eğrileri çizilerek şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney elemanlarına ait zarf eğrileri

Şekil 5.1’de verilen zarf eğrileri kullanılarak deney elemanlarının dayanım ve rijitlikleri karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Deney elemanlarına ait zarf eğrileri incelendiğinde, her bir duvar elemanının basınç ve çekme yükleri altında sergilemiş oldukları davranışlar farklılık göstermekte olup, Model-4, Model-6 ve Model-7’nin başlangıç rijitliklerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Fakat farklı özelliklere sahip bu duvar elemanlarında yükleme arttıkça maksimum yük değerleri arasındaki fark artmıştır. Boşluksuz ve yatay ara kayıtlarla güçlendirilmiş Model-7 maksimum yük taşıma kapasitesine sahip duvar elemanıdır. Zarf eğrisinin bir doğru şeklinde devam ettiği Model-8 en küçük kesitteki duvar elemanı olup dayanımı oldukça düşüktür.

Deney elemanlarının dayanım değerleri incelendiğinde, deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden biri olan en/boy oranından önemli oranda etkilendiği görülmektedir. Ahşap çerçevesel panel duvarların en/boy oranları artış gösterdiğinde dayanım değerleri de önemli oranda artış göstermektedir. Deneysel programda test edilen boşluksuz ahşap çerçevesel panel duvarların en/boy oranları 0,24 ile 0,94 değerleri arasında değişim göstermektedir. Boşluksuz deney elemanlarının maksimum yük taşıma kapasiteleri incelendiğinde Model-1 19,16 kN, Model-3 35,32 kN, Model-4 40,08 kN, Model-6 45,75 kN, Model-7 50,07 kN, Model-8 6,2 kN yük taşıyabildiği görülmektedir. En/boy oranı 0,47 olan Model-1, 0,24 olan Model-8 deney elemanından 3,1 kat daha fazla maksimum taşıma gücü değerine sahiptir. En/boy oranı 0,70 olan Model-3 deney elemanı ise 0,47 olan Model-1’den %84 daha fazla maksimum taşıma gücü değeri sergilemiştir. En/boy oranı 0,94 olan Model-6 deney elemanı ise 0,70 olan Model-3 deney elemanından %30 daha yüksek maksimum taşıma gücü sergilediği hesaplanmıştır. En/boy oranı artış gösterdikçe maksimum taşıma gücü değerlerinde önemli oranda artış meydana gelmesine rağmen artış miktarının en/boy oranı arttıkça azaldığı görülmüştür.

Deneysel çalışma kapsamında incelenen ikinci değişken ahşap çerçeve gözleri içerisinde yatay güçlendirme çubuklarının yerleştirilmesidir. Deney elemanları aksları arası 610 mm olan ahşap çerçevelerin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Deney elemanlarının ahşap panel gözleri içerisine her göz için yükseklik boyunca dağıtılmış dört adet yatay ahşap eleman yerleştirilerek çerçevelerin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Deneysel programda sadece Model-4 ve 7’de yatay güçlendirme elemanları kullanılmış, Model-3 ve

6'da ise kullanılmamıştır. En/boy oranları aynı olan Model-7 deney elemanı Model-6'dan 9%, Model-4 deney elemanı ise Model-3'den 13% daha büyük maksimum taşıma gücü sergilediği hesaplanmıştır. Yapılan güçlendirme ahşap çerçeveli panel duvarların maksimum taşıma gücü değerlerini ortalama %11 arttırmıştır.

Deneysel çalışma kapsamında incelenen diğer bir değişken ise ahşap çerçeveli panellerin boşluklu olup olmamasıdır. Boşluğun varlığı ahşap çerçeveli panel duvarların maksimum taşıma gücü değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Boşluklu yapıya sahip duvar elemanları Model-2, Model-5, Model-9, Model-10 ve Model-11'dir. En/boy oranları birbirlerine çok yakın olan deney elemanları karşılaştırıldığı zaman boşluğun deney elemanları taşıma gücü değerleri üzerindeki etkileri görülmektedir. Boşluksuz en/boy oranı 0,70 olan Model-3 deney elemanı tüm panel alanının sadece % 3 oranında bir pencere boşluğa sahip ve en/boy oranı 0,67 olan Model-9 deney elemanından %12 daha büyük maksimum taşıma gücü değeri sergilemiştir. Son derece küçük bir alana sahip bir boşluk bile ahşap çerçeveli panel duvarların dayanımlarını olumsuz etkileyerek dayanımlarının azalmasına neden olmuştur. Boşluksuz Model-6 deney elemanı, toplam panel alanının %33'ü büyüklüğünde bir kapı boşluğuna sahip ve deneysel serideki en büyük boşluklu Model-2 deney elemanından %90 daha fazla maksimum taşıma gücü değeri sergilemiştir. Elde edilen bu sonuç boşluk büyüklüğü arttıkça ahşap çerçeveli panel duvarların dayanım değerlerinin önemli oranda azaldığını göstermiştir.

Boşluklu deney elemanların maksimum taşıma gücü değerleri birbirleri ile kıyaslandığında boşluk büyüklüğü arttıkça taşıma gücü değerlerinin azaldığı görülmektedir. Birbirine yakın büyüklükte boşluklara sahip deney elemanları birbirlerine yakın taşıma gücü değerleri sergilemiştir. Fakat boşluk büyüklüğü tek başına etkili olmamaktadır. En/boy oranı da boşluklu deney elemanlarının yük taşıma kapasitelerini etkilemektedir. Örneğin en/boy oranı 0,90 olan Model-2 %33, 0,84 olan Model-11 ise %28 kapı boşluğuna sahip duvar elemanlarıdır. Bu duvar modellerinin dayanımları karşılaştırıldığında Model-2 deney elemanı Model-11 deney elemanından %5 daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir. Model-5 %28, Model-9 %3 ve Model-10 %27 pencere boşluk oranına sahip duvar elemanları olup, Model-9 deney elemanı Model-5'ten %27, Model-10'dan %35 daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir.

Başlangıç rijitliği değerleri tersinir tekrarlanır yükleme uygulanan deney elemanlarının ilk yükleme çevrimi yük değerlerinin deplasman değerlerine oranlanması ile ileri ve geri çevrimler için ayrı ayrı hesaplanmış ve (Bkz.Çizelge 5.1)'de verilmiştir. Başlangıç rijitliği değerlerinin karşılaştırılmasında ileri ve geri çevrimler için hangi değer büyük ise o rijitlik değeri kullanılarak yapılmıştır. Başlangıç rijitliği değerleri incelendiğinde deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerin önemli oranda etkili oldukları görülmektedir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenlerden en/boy oranı arttıkça başlangıç rijitliği değerleri de önemli oranda artış göstermiştir. En/boy oranı 0,24 olan Model-8 deney elemanı başlangıç rijitliği değeri 0,47 olan Model-1 deney elemanından 2 kat daha küçük hesaplanmıştır. En/boy oranı 0,7 olan Model-3 deney elemanı başlangıç rijitliği değeri, en/boy oranı 0,47 olan Model-1 deney elemanı başlangıç rijitliği değerinden 7,6 kat daha büyük hesaplanmıştır. En/boy oranı değeri 0,94 değerinde olan Model-6 başlangıç rijitliği değeri ise 0,70 olan Model-3'den 2,8 kat büyük değer sergilemiştir.

Deneysel çalışmada incelenen bir diğer değişken olan yatay güçlendirme çubuklarının bulunması deney elemanlarının başlangıç rijitliğini olumlu yönde etkileyerek artmasına neden olmuştur. Yatay güçlendirme elemanları kullanılan Model-4 ve Model-7 deney elemanları ve güçlendirme kullanılmayan Model-3 ve Model-6 deney elemanlarından sırasıyla %93 ve %29 oranlarında daha fazla başlangıç rijitliği sergilemiştir. Yatay güçlendirme bulunan 0,70 en/boy oranına sahip Model-4 deney elemanı 0,94 en/boy oranı olan ve yatay güçlendirme elemanı olmayan Model-6 deney elemanı ile hemen hemen aynı başlangıç rijitlik değerlerine sahiptirler. Yatay güçlendirme çubukları deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerlerini ortalama %61 oranında arttırarak maksimum taşıma gücüne göre daha fazla bir artış meydana gelmiştir.

Deneysel çalışmada incelenen önemli değişkenlerden biri de boşluk büyüklüğüdür. Boşluk büyüklüğü deney elemanlarının başlangıç rijitliği üzerinde önemli oranda etkili olmuştur. Birbirlerine yakın en/boy oranlarında boşluksuz ve boşluklu deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri karşılaştırıldığında boşluk büyüklüğünün artmasının deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerlerinin önemli oranda azalmasına neden olduğunu göstermiştir. Sadece toplam panel alanının %3 büyüklüğünde küçük bir boşluğa sahip Model-9 deney elemanı başlangıç rijitliği boşluksuz Model-3 deney elemanından %14 daha küçük hesaplanmıştır. Deneysel seride panel alanının %33 oranında boşluğa sahip en büyük boşluğa sahip Model-2 deney elemanının başlangıç rijitliği boşluksuz ve en/boy oranları

yakın Model-6 deney elemanından 4.3 kat daha düşük elde edilmiştir. Boşluklu deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri birbiri ile karşılaştırıldığında boşluk büyüklüğü arttıkça başlangıç rijitliği değerlerinin azaldığı görülmektedir. Toplam panel alanının %28 büyüklüğünde boşluklu Model-11 deney elemanı, 33% büyüklüğünde boşluklu Model-2 deney elemanından %8 daha fazla başlangıç rijitliği değerine sahiptir. Toplam panel alanının %28'si boşluklu Model-5 deney elemanı, boşluk alan oranı %27 olan Model-10 deney elemanından 16% daha fazla başlangıç rijitliği değeri sergilemiştir.

Deplasman süneklik oranı

Süneklik, öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Deplasman süneklik oranı, dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın oluşan en büyük deplasmanın akma anındaki deplasmana oranıdır. Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları, göçme noktası deplasman değerinin deney elemanlarında rijitliğin önemli bir değişim yaptığı noktanın deplasman değerlerine oranlanması ile hesaplanmıştır. Deney elemanlarının yük-deplasman grafiklerinde göçme noktası, maksimum taşıma gücü değerlerinin azalarak %85'ine düştüğü nokta olarak kabul edilmiş ve bu noktanın deplasman değeri göçme noktası deplasman değeri olarak alınmıştır. Deney elemanlarının ileri ve geri çevrimleri için ayrı ayrı hesaplanan deplasman süneklik oranları değerleri birbirlerine oldukça yakın olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.1'de her deney elemanında ileri ve geri çevrimler için hesaplanan deplasman süneklik oranlarından büyük olanı seçilerek verilmiştir.

Deneyisel çalışma kapsamında incelenen en/boy oranı, boşluk oranı ve yatay güçlendirme elemanları gibi değişkenler deplasman süneklik oranı üzerinde etkili olmuştur. En/boy oranı arttıkça deney elemanlarının deplasman süneklik oranları da az miktarda artış göstermiştir. En/boy oranı 0,24 olan Model-8 deney elemanı deplasman süneklik oranı, en/boy oranı 0,47 olan Model-1 deney elemanından %18 oranında daha düşük hesaplanmıştır. Model-1 deney elemanı ise en/boy oranı 0.70 olan Model-3 deney elemanından %3 daha düşük süneklik oranına sahiptir. En boy oranı 0,94 olan Model-6 deney elemanı ise Model-3 deney elemanından %20 daha büyük süneklik oranı değerine sahiptir. Deplasman süneklik oranında en/boy oranı ile artış, dayanım ve rijitlik değerlerindeki artışa göre çok daha düşük oranlarda kalmıştır.

Deney elemanlarında boşluk bulunması da deplasman süneklik oranı üzerinde etkili olmuştur. Deney elemanlarında yer alan boşluk büyüklüğüne göre ahşap çerçeveli panel duvarların tek bir panel gibi davranış sergilemesini engelleyerek daha küçük en/boy oranına sahip iki panel gibi davranış göstermesine neden olmuştur. Bu etki boşluklu deney elemanların deplasman süneklik oranlarının boşluksuz olanlara göre bir miktar daha yüksek olması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Deney elemanları içerisinde %33 kapı boşluğuna sahip Model-2'nin en yüksek süneklik oranına sahip olduğu görülmüştür. Boşluklu modeller içerisinde en/boy oranları birbirine yakın olan modeller karşılaştırıldığında boşluk alanı azaldıkça deney elemanının sünekliğinde bir miktar azalmanın meydana geldiği görülmektedir. En/boy oranları birbirlerine yakın olan boşluksuz ve boşluklu deney elemanlarının deplasman süneklik oranları birbiri ile karşılaştırıldığında ise boşluksuz Model-3 ve Model-6 deney elemanlarının deplasman süneklik oranlarının, boşluklu Model-9 ve Model-2 deney elemanlarından ortalama %21 daha düşük olarak elde edildiği görülmüştür.

Deneysel çalışmada incelenen bir diğer değişken olan yatay güçlendirme çubukları, deney elemanlarının deplasman süneklik oranları üzerinde olumlu etkisi olmuş ve bir miktar arttırmıştır. Yatay güçlendirme çubukları bulunan Model-4 ve Model-7 deney elemanları deplasman süneklik oranları, güçlendirme kullanılmayan Model-3 ve Model-6 deney elemanlarından sırasıyla %18 ve %9 oranlarında daha büyük deplasman süneklik oranı sergileyerek ortalama %13 daha sünek bir davranış göstermiştir.

Enerji tüketim kapasitesi

Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri yük-deplasman grafiklerinin altında kalan alan hesaplanarak elde edilmiştir. Tersinir tekrarlanır yükleme etkisinde test edilen deney elemanlarının ayrı ayrı her bir yükleme çevrimi altındaki kalan alan hesaplanarak üst üste kümülatif olarak toplanarak enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmıştır. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri göçme noktası olarak kabul edilen noktaya kadar hesaplanmış olup, göçme noktası için deplasman süneklik oranlarının hesaplanmasında kullanılan nokta dikkate alınmıştır.

Deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden en/boy oranı enerji tüketim kapasitesi üzerinde önemli oranda etkili olmuştur. En/boy oranı arttıkça deney

elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri de önemli oranda artış göstermiştir. En/boy oranı 0,47 olan Model-1 deney elemanı enerji tüketim kapasitesi, en/boy oranı 0,24 olan Model-8 deney elemanından 2.3 kat daha fazla elde edilmiştir. En/boy oranı 0,70 olan Model-3 deney elemanı enerji tüketim kapasitesi ise, Model-1 deney elemanından %94 daha fazla hesaplanmıştır. En/boy oranı 0,94 olan Model-6 deney elemanı ise Model-3 deney elemanından %33 daha fazla enerji tüketim kapasitesi değerine sahiptir. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri en/boy oranının artması ile artış göstermesine rağmen artış miktarının giderek azaldığı gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışma kapsamında incelenen yatay çubuklar ile güçlendirme, enerji tüketim kapasitesi üzerinde olumlu etki yaparak enerji tüketim kapasitesinin önemli oranda artış göstermesine neden olmuştur. Yatay çubuklar ile güçlendirme uygulanan deney elemanları Model-4 ve Model-7'nin enerji tüketim kapasiteleri, güçlendirmenin uygulanmadığı Model-3 ve Model-6 deney elemanlarından sırasıyla %124 ve %39 oranlarında daha büyük enerji tüketim kapasitesi değeri sergilemiştir. Güçlendirilen deney elemanları, güçlendirmenin yapılmadığı deney elemanlarından ortalama %81 oranında daha büyük enerji tüketim kapasitesi sergileyerek çok başarılı bir performans göstermiştir.

Deney elemanlarında yer alan boşluk büyüklüğü enerji tüketim kapasitesi üzerinde deplasman süneklik oranında görülen davranışa benzer bir etki meydana getirmiştir. Deney elemanlarında yer alan boşluk, ahşap çerçeveli panel duvarları birbirine bağımlı iki farklı panel parçası gibi davranış göstermesine neden olarak deney elemanlarının enerji tüketim kapasitelerinin az miktarda artmasına neden olmuştur. Boşluk alanı azaldıkça enerji tüketim kapasitesi azalmıştır. Boşluklu deney elemanları içerisinde boşluk alanı %33 olan Model-2 deney elemanın enerji sönmüleme kapasitesi, diğer boşluklu yapılara göre daha yüksek elde edilmiştir. Boşluklu Model-9 ve Model-2 deney elemanları, boşluksuz Model-3 ve Model-6 deney elemanlarından ortalama %16 daha büyük enerji tüketim kapasitesi sergilemiştir.

Deney elemanlarında dayanımın ve rijitliğin artması, sünekliğin ve deplasman yapabilme kapasitesinin azalmasına neden olmuştur. Dolayısıyla enerji tüketim kapasitesi de sünekliğin azaldığı deney elemanlarında azalmıştır. Bu nedenler ile boşluksuz rijitliği ve dayanımı yüksek deney elemanlarının deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri de boşluklu deney elemanları ile birbirine yakın değerlerde hesaplanmıştır.

Ölçülen kesme çatlakları

Deney elemanlarının yüzey kaplama panelleri (OSB) üzerinden iki adet çapraz olarak panel duvar köşegen doğrultusunda yerleştirilen elektronik deformasyon ölçerler ile meydana gelen kesme çatlakları genişlikleri ölçülmüştür. Deney elemanlarından alınan sol ve sağ kesme çatlakları ölçümlerinin ileri (itme) ve geri (çekme) çevrimler ile ortalamaları alınarak hesaplanan kesme çatlakları genişliği değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney elemanlarının kesme çatlak genişlikleri

Model No	Kesme Çatlak Genişliği (mm)					
	Sol		Sağ		Ortalama	
	İtme Çevrim	Çekme Çevrimi	İtme Çevrim	Çekme Çevrimi	İtme Çevrim	Çekme Çevrimi
1	1,24	1,99	1,24	2,13	1,24	2,06
2	25,39	26,88	25,05	26,75	25,22	26,82
3	10,17	12,66	11,97	13,72	11,07	13,19
4	10,08	10,41	8,85	12,46	9,47	11,44
5	26,8	25,29	26,49	25,2	26,65	25,25
6	18,22	18,07	19,75	19,14	18,99	18,61
7	17,46	17,74	17,91	17,36	17,69	17,55
8	0,4	1,12	1,07	1,03	0,74	1,08
9	14,87	15,11	18,07	15,88	16,47	15,50
10	25,33	25,97	25,79	24,89	25,56	25,43
11	26,41	25,13	24,77	26,94	25,59	26,04

Çizelge 5,2’de ölçülen değerler incelendiğinde kesme çatlakları genişlikleri ile ahşap çerçeveli panel duvarların en/boy oranlarının değişimi arasında birebir ilişki olduğu ve ölçüm sonuçlarının göçme mekanizmaları ile uyumlu olarak elde edildiği görülmektedir, Deney elemanlarından ölçülen kesme çatlakları genişlikleri panel duvar en/boy oranı arttıkça önemli oranda artış göstermiştir. Boşluksuz deney elemanları arasında bir karşılaştırma yapıldığında en/boy oranı 0,47 olan Model-1 deney elemanı, en/boy oranı 0,24 olan Model-8 deney elemanından %92 daha fazla kesme çatlakları genişliğine sahiptir. En/boy oranı 0,70 olan Model-3 deney elemanında ise Model-1 deney elemanından 6,4 kat daha fazla kesme çatlakları genişliği ölçülmüştür. En/boy oranı 0,94 olan Model-6 deney elemanı, Model-3 deney elemanından %44 daha fazla kesme çatlakları genişliği değerine sahiptir. Kesme çatlakları genişliğinde gözlemlenen bu davranış, ahşap çerçeveli panel duvarlarda en/boy

oranındaki artışın genel davranışa kesmenin hakim olmasına ve eğilme davranışından uzaklaşmasına neden olduğunu göstermiştir.

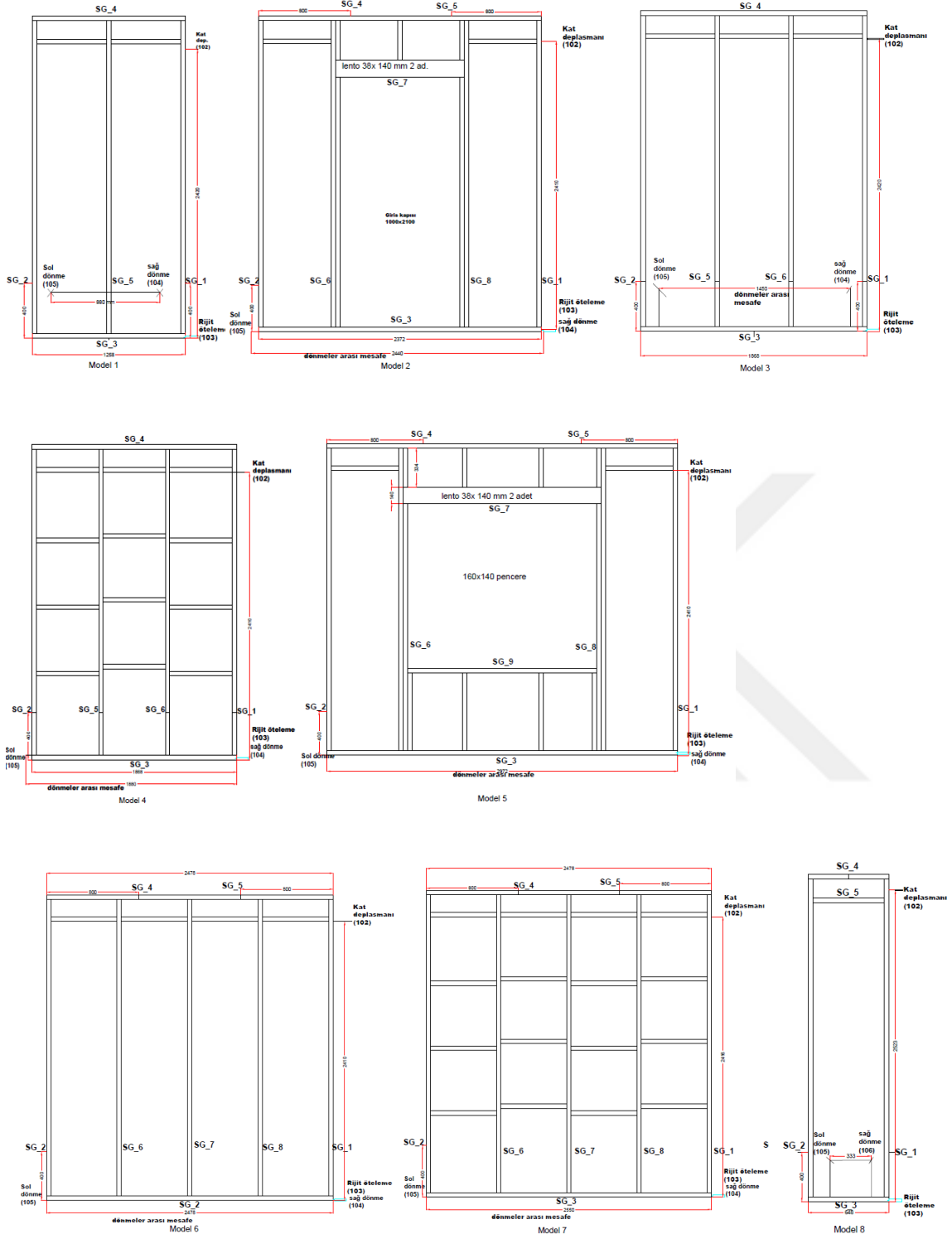
Ahşap panellerde kullanılan yatay güçlendirme çubukları kesme çatlakları genişliği değerlerinin azalmasına ve davranışa daha çok eğilmenin hakim olmasına neden olmuştur. Güçlendirme çubuklarının kullanılmadığı Model-3 ve Model-6 deney elemanları, güçlendirme kullanılan Model-4 ve Model-7 deney elemanlarından sırasıyla %15 ve %7 daha fazla kesme çatlakları genişliklerine sahiptir. Güçlendirme uygulanması kesme çatlakları genişliklerinin ortalama %11 oranında azalmasını sağlamıştır.

Deneysel çalışmada incelenen bir diğer değişken olan boşluk büyüklüğü deney elemanlarından ölçülen kesme çatlakları genişliği değerleri üzerinde önemli oranda etkili olmuştur. Boşluklu deney elemanlarından ölçülen kesme çatlakları genişlikleri, boşluksuz deney elemanlarında göre daha fazladır. Boşluksuz Model-3 ve Model-6 deney elemanları, boşluklu Model-9 ve Model-2 deney elemanlarından sırasıyla %25 ve %41 daha küçük kesme çatlakları genişliği değerlerine sahiptir. Deney elemanlarından yer alan boşluklar ahşap panel duvarda boşluk köşelerinde gerilme birikmesi olmasına neden olmuş ve boşluk köşelerinde meydana gelen kesme çatlakları ölçülen kesme çatlakları genişliklerinin büyümesini sağlamıştır. Birbirlerine yakın büyüklükte boşluk alanına sahip deney elemanlarından ölçülen kesme çatlakları genişlikleri birbirine yakın olarak meydana gelmiş, boşluk büyüklüğünün artması ile kesme çatlakları genişlikleri de artış göstermiştir.

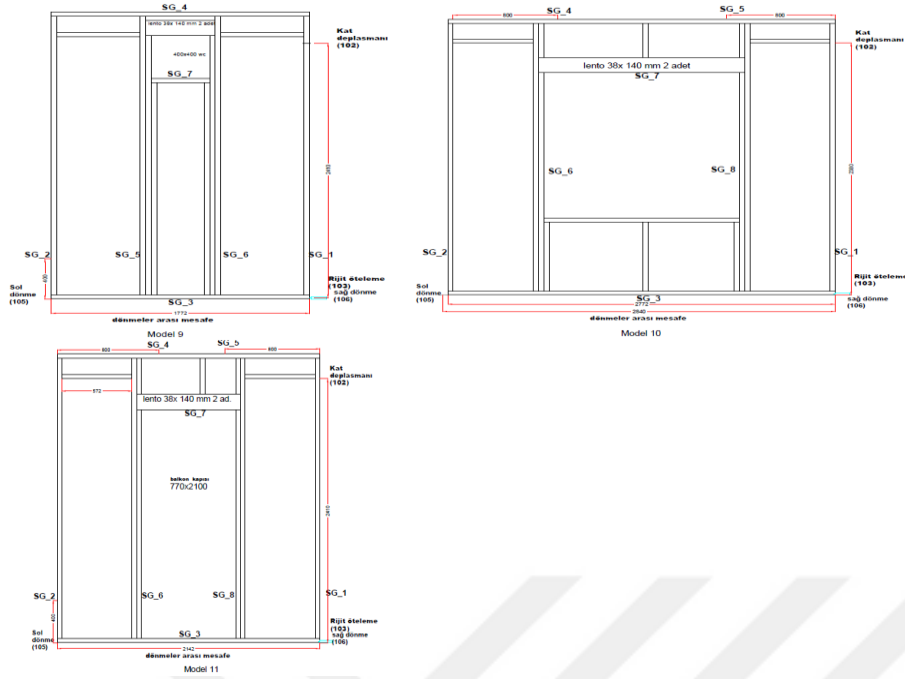
Ölçülen gerilme davranışları

Deney elemanlarına uygulanan depremi benzeştiren yatay yükleme etkisinde ahşap çerçeveli panel duvarların çerçeve elemanları arasında yüklemenin nasıl bir dağılım gösterdiğinin belirlenebilmesi için deney elemanları ahşap çerçeve elemanları üzerinden birim deformasyon ölçümleri alınmıştır. Deney elemanlarına yerleştirilen birim deformasyon ölçerler, ahşap çerçeve elemanı oluşturan yatay ve düşey çubuklar üzerine ahşap elemanların dış yüzeylerine taşıyıcı lifler doğrultusunda ve çubukların simetri eksenine yerleştirilmiştir.

Deney elemanları üzerinde bulunan starin gauge ölçüm aletlerinin yerleşim düzeni Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deney elemanları üzerinde bulunan birim deformasyon ölçüm aletlerinin yerleşim düzeni



Şekil 5.2. (devam) Deney elemanları üzerinde bulunan birim deformasyon ölçüm aletlerinin yerleşim düzeni

Deney elemanlarının ahşap çerçeveleri üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerleri ve tüm deney elemanından ölçülen en büyük birim deformasyon değeri Çizelge 5.3’de görülmektedir.

Çizelge 5.3. Deney elemanlarının gerilme ölçümleri

Model No	Gerilme Değerleri (mv)									Mak. Gerilme (mv)
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	
1	1068	763	610	458	305					1068
2	1527	1917	3314	803	667	934	1260	1357		3314
3	3806	2736	1936	1077	1125	990				3806
4	3969	4394	2620	2067	2358	2067				4394
5	5603	4447	1110	4433	4913	3391	745	3369	985	5603
6	3944	4462	1203	1137	1144	4449	5223	2427		5223
7	4213	4164	2364	2183	1689	3439	5112	4345		5112
8	415	425	194	145	97					415
9	3836	3914	2673	1679	2879	3049	1611			3914

Çizelge 5.3.(devam) Deney elemanlarının gerilme ölçümleri

10	4667	3337	916	1459	1305	4037	1530	3429		4667
11	3349	3642	1819	1666	1346	2875	1721	2222		3642

* Deney elemanları üzerinde bulunan birim deformasyon ölçerlerin sayısı

Deney elemanlarından ölçülen birim deformasyon değerleri incelendiğinde uygulanan yatay yükleme etkisi ile düşey ahşap çerçeve elemanlarında yatay çerçeve elemanlarına göre daha fazla birim deformasyon ölçüldüğü görülmektedir. Yatay kuvvet etkisi ile ahşap çerçeveyi oluşturan düşey çubuklar yatay çubuklardan daha fazla kuvvet taşımaktadır. Birden fazla ahşap çerçeve gözünden oluşan deney elemanlarında en büyük birim deformasyon ölçümleri en dışta yer alan düşey çerçeve çubuklarında ölçülmüş ve içeride yer alan düşey çubuklarda dıştaki çubuklara göre daha düşük birim deformasyon değerleri ölçülmüştür. Boşluksuz ahşap çerçeveli deney elemanlarında, yatay çubuklardan alt kenarda olan yatay çubuklarda yüklemenin uygulandığı üst kenardaki yatay çubuğa göre daha fazla birim deformasyon değeri ölçülmüştür. Boşluksuz Model-1, Model-3, Model-8 deney elemanlarında maksimum gerilmeler en dış dikmelerde elde edilirken, Model-6 ve Model-7’de iki OSB panelin birleşim noktası olan orta dikmede meydana gelmiştir.

Ahşap çerçevesinde kapı boşluğu yer alan deney elemanlarında da aynı şekilde boşluksuz deney elemanlarında olduğu gibi ahşap çerçevenin en altında yer alan yatay çubuktan ölçülen birim deformasyon değeri, yüklemenin uygulandığı yukarıdaki yatay çubuktan daha yüksektir. Pencere boşluğunun yer aldığı deney elemanlarında ise yatay çubuklar içerisinde yukarı yatay çerçeve elemanlarda, aşağı yatay çerçeve elemanlardan daha yüksek birim deformasyon değerleri ölçülmüştür. Ahşap çerçeveli panel duvarların iskeletini oluşturan ahşap çerçevelerin, yatay yükleme etkisiyle oluşan kuvvet dağılımı sonucunda düşey çubukların yatay çubuklara göre daha etkin kuvvet aldıkları ve dıştan içe doğru düşey çubuklardaki kuvvetlerin azalım gösterdiği tespit edilmiştir. Yatay çubuklarda ise boşluksuz ve kapı boşluklu çerçevelerde aşağıda, pencere boşluklu çerçevelerde ise yukarıda yer alan yatay çubukların daha etkin kuvvet taşıdığı görülmüştür.

Hasar dağılımları

Deney elemanlarının çatlak dağılımları incelendiğinde ahşap çerçeveli panel duvarlarda bırakılan boşluğun hasar dağılımını etkilediği ve değiştirdiği görülmüştür. Boşluk

büyüklüğü arttıkça boşluğun sol ve sağ tarafında kalan panel bölümleri iki farklı panel gibi davranış göstermekte ve boşluk köşelerinden başlayan diyagonal çatlakların meydana geldiği görülmektedir. Boşluk küçük olduğu zaman deney elemanı hasar dağılımı boşluksuz panel duvarlar gibi davranış göstermiştir. Boşluksuz deney elemanlarında ahşap çerçevenin dışında yer alan OSB plakalar artan yatay yükleme etkisiyle meydana gelen kat ötelenme oranının artışı ile burkulmuş ve belirli bölgelerde çivilerden yırtılarak panelden dışarı doğru düzlem dışı ayrılmalar meydana gelmiştir. Deney elemanlarında ankraj kısımları ve boşluk kenarlarında meydana gelen gerilmelerden dolayı oluşan hasarlar Şekil 5.3'de verilmektedir.

Deney elemanlarında meydana gelen hasar dağılımları dört kategoride özetlenmiştir. Bunlar; Panellerden çivilerin kurtulması (a), OSB panellerde yırtılmaların olması (b), Panel kenarlarında ayrılmaların olması (c), Çivi başlarının panelleri ezmesi (d) şeklindedir. Deney elemanlarında ilk olarak daha düşük deplasman değerlerinde öncelikle OSB levhalar birleşim yerlerinde ayrılma çatlakları ve çivilerin bulunduğu noktalarda ezilmeler ve çivi deliklerinde büyümeler gözlenmiştir. Daha sonra artan yükleme ve deplasman ile OSB plakalarda burkulmalar ve düzlem dışı hareketler meydana gelmiştir. Boşluk büyüklüğü arttıkça ahşap çerçeveli panel duvarlarda meydana gelen diyagonal çatlak genişliklerinin ve dağılımının arttığı gözlenmiştir.

Eğilme davranışının öne çıktığı deney elemanlarında artan yükleme etkisi ile meydana gelen kat deplasmanındaki artış OSB levhaların ahşap çerçeve ile birleştirilmesinde kullanılan çivilerin ilerleyen deformasyon değerlerinde OSB levhayı ezerek deliklerinden çıkmalarına neden olduğu görülmüştür (Şekil 5.3-a, d). Deney elemanlarına uygulanan yatay kuvvet etkisi ile oluşan moment değerinin maksimum büyüklüğe ulaştığı çelik bağlantı levhalarının bulunduğu bölgelerde çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 5.3-b). Boşlukların yer aldığı deney elemanlarında boşluk köşelerinden başlayarak dışa doğru ilerleyen eğimli çatlaklar meydana gelmiş ve artan kat deplasmanı ile birlikte boşluk köşelerinde OSB levhalarda ezilmeler, çivilerden ayrılmalar ve düzlem dışı hareketler gözlenmiştir (Şekil 5.3-c).



a) Kaplama panellerden çivilerin kurtulması



b) OSB panellerde yırtılmalar



c) Panel kenarlarında ayrılmaların olması



d) Çivi başlarının panelleri ezmesi

Şekil 5.3. Deney elemanlarında meydana gelen hasar dağılımlarının sınıflandırılması

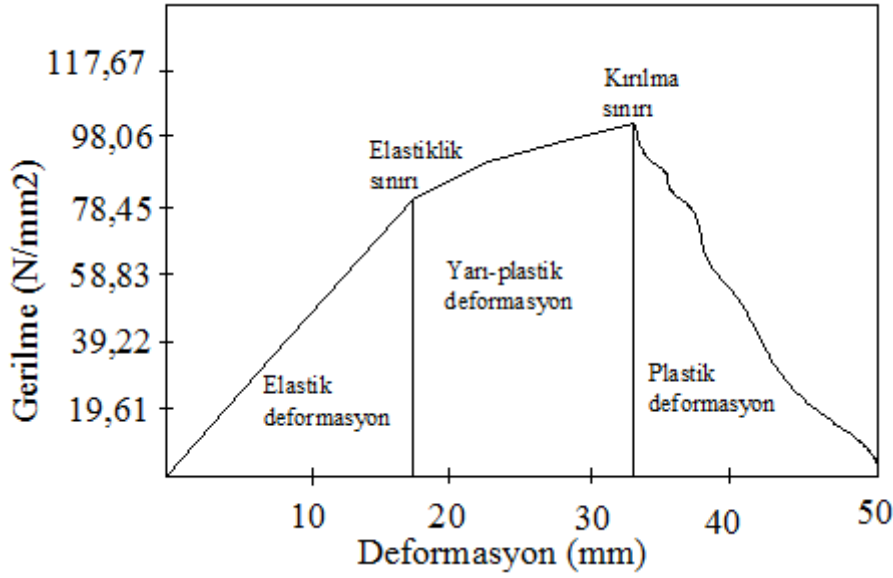
6. NÜMERİK ÇALIŞMA

6.1. Sonlu Eleman Analizinde Malzeme Davranışının Modellenmesi

Sonlu eleman analizinde malzeme davranışlarının doğru belirlenmesi, malzemenin davranışını doğru yansıtmak için oldukça önemlidir. Bunun için malzemeyi iyi tanımlamak ve mekanik özellikleri iyi bilmek gerekmektedir.

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin malzeme davranışları tanımlanırken eğilme deneyinden elde edilen kayın odununa ait gerilme-deformasyon eğrisi kullanılmıştır (Berkel, 1970:432-433).

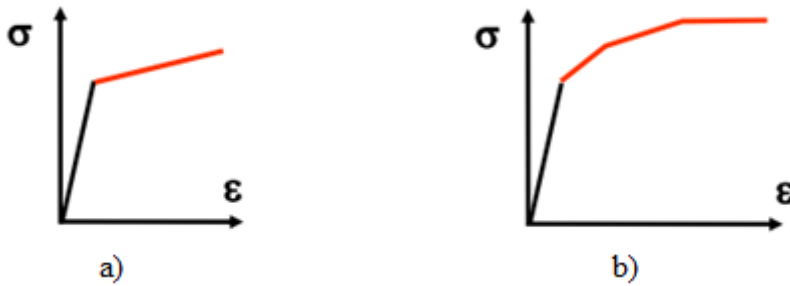
Dış kuvvetler altında malzeme uzama, kısılma, eğilme gibi deformasyonlara uğramaktadır. Yükün kaldırılması halinde malzeme başlangıç boyut ve şekline dönebiliyor ise bu malzeme elastik malzeme olarak tanımlanmaktadır. Malzemenin eski haline tekrar dönebildiği maksimum yükleme sınırına *elastiklik sınırı* denmektedir. Şekil 6.1’de görüldüğü üzere kayın odunun elastik sınırına kadar olan kısmında gerilme deformasyon arasında doğrusal (Lineer) bir ilişki vardır. Bu tür malzemelere *lineer elastik malzeme* denmektedir. Elastiklik sınırı aşıldıktan sonra yükleme veya gerilme arttıkça gerilme-deformasyon arasındaki ilişki doğrusallıktan sapmakta (nonlineer) ve daha büyük deformasyonlar meydana gelmektedir. Elastiklik sınırı aşıldıktan sonraki yüklemelerde yükleme kaldırıldığında malzemede meydana gelen kalıcı deformasyonlardan dolayı eski haline geri dönememektedir. Bu durumda yükleme ve gerilme yüklemelerinin devam ettirilmesi ile ahşap malzeme liflerinde kopma ve kaymalar meydana gelmekte ve ahşap malzeme yüklemelere karşı koyamamaktadır. Bu noktaya *kırılma sınırı* veya *gerilme sınırı* denmektedir. Elastiklik sınırından kırılma sınırına kadar olan bölgede deformasyonlara maruz kalan malzeme *yarı plastik malzeme* olarak adlandırılmaktadır. Kırılma sınırından sonra malzeme yük veya gerilme yüklemesi yapamamakta ve bu yüklemeler azalmaktadır. Fakat gerilme azaldıkça deformasyon artmakta ve malzeme eski haline dönme özelliğini tamamen yitirmektedir. Yükleme kaldırıldığında malzeme eski haline geri dönüyor ise bu malzemeye *plastik malzeme* ve oluşan deformasyona ise *plastik deformasyon* denilmektedir.



Şekil 6.1. Kayın odununa ait gerilme-deformasyon eğrisi

6.2. Sonlu Eleman Analizinde Plastik Davranışın Belirlenmesi

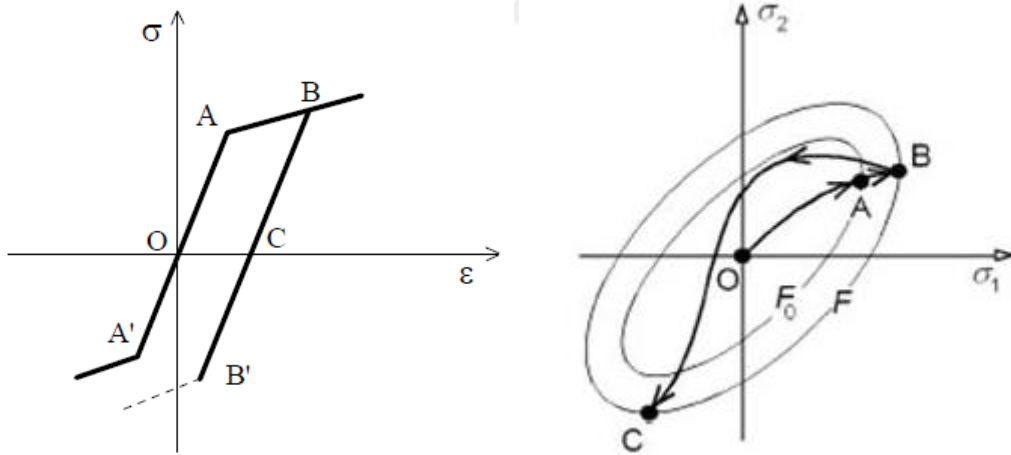
Sonlu eleman analizinde malzemeye ait plastik davranışın tanımlanmasında gerilme-deformasyon eğrilerinden faydalanılmaktadır. Malzemelerin elastik sınır noktasından sonra yüklemenin devam etmesi ile deformasyon artmaktadır. Sonlu eleman analizinde deneysel yöntemlerle elde edilen basınç veya çekme gerilme-deformasyon eğrilerinin arasındaki ilişkiyle malzemelerin plastik özellikleri belirlenmektedir. Gerilme-deformasyon eğrileri arasındaki ilişki sonlu eleman yöntemlerinde *Bilinear* ve *Multilinear* olmak üzere iki farklı modelle tanımlanmaktadır (Şekil 6.2). *Bilinear* modellerde gerilme ile birim şekil değiştirme arasındaki ilişki iki doğru ile ifade edilirken, *Multilinear* modellerde ikiden fazla doğru ile idealize edilmektedir.



Şekil 6.2. Gerilme- deformasyon eğrisi çeşitleri a) Bilinear b) Multilinear

Monotonik bir yüklemde, yüklem sürekli ve tek yönlüdür, boşaltma söz konusu değildir. Tersinir yüklemde ise deprem vb. dinamik etkilerin mevcut olduğu durumlardaki gibi, yüklemden sonra boşaltma da gerçekleşmektedir. Sonlu eleman yöntemlerinde yüklemeler altında malzemelerin plastisite özelliklerinin doğru tanımlanması gerekmektedir. Tersinir tekrarlanır yük koşulları altındaki malzemelerin akma gerilmesi sonrası davranışlarının tanımlanabilmesi için iki basit pekleşme kuralı kullanılmaktadır. Bunlar izotropik pekleşme (*isotropic hardening*) ve kinematik pekleşme (*kinematic hardening*) kuralıdır.

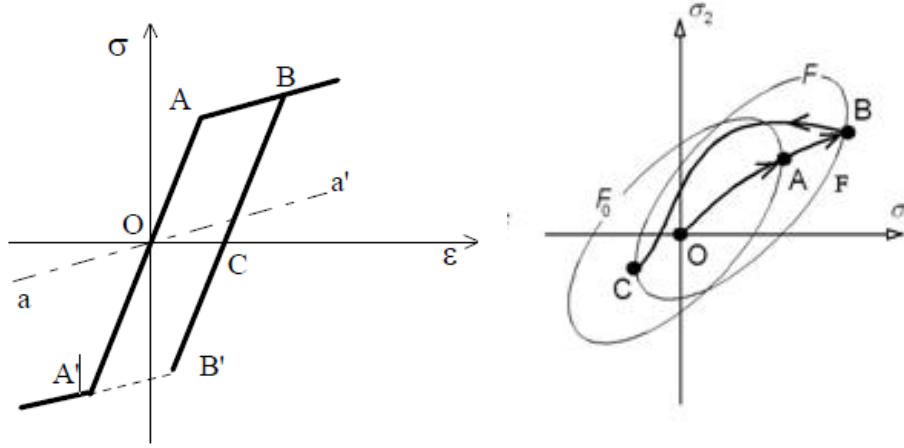
İzotropik pekleşme (*isotropic hardening*) kuralı, yüklem koşulları altında akma yüzey boyutunun arttığını ancak orijinal şeklini koruduğunu ifade etmektedir. Bu durumda basınç akma gerilmesinin çekme akma gerilmesine eşit olduğu varsayılmaktadır. Şekil 6.3 ($|B'C|=|BC|$ eşitliği, tersinir yüklem altında basınç akma gerilmesinin $\sigma_{B'}$, tersinir yüklem öncesi çekme akma gerilmesinin σ_B eşit olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle izotropik pekleşme kuralında Bouschinger etkisi tamamen ihmal edilmektedir (Chen ve Han, 2007:14-15).



Şekil 6.3. İzotropik pekleşme kuralına göre malzemenin gerilme- deformasyon (σ - ϵ) ilişkisi modeli

Kinematik pekleşme (*kinematic hardening*) kuralında orijinal akma yüzeyi şekli ve boyutu değişmeden yeni gerilme alanına taşınır. Pekleşme sırasında elastik aralığın değişmediği varsayılır. Böylece, kinematik pekleşme kuralı Bouschinger etkisini tam manasıyla dikkate alır. Lineer malzeme pekleşmesi için kinematik pekleşme Şekil 6.4'de görülmekte olup

$|BB'|=|AA'|$ olarak ifade edilmektedir. Elastik bölgenin merkezi aa' düz çizgi boyunca taşınmıştır (Chen ve Han, 2007:14-15).

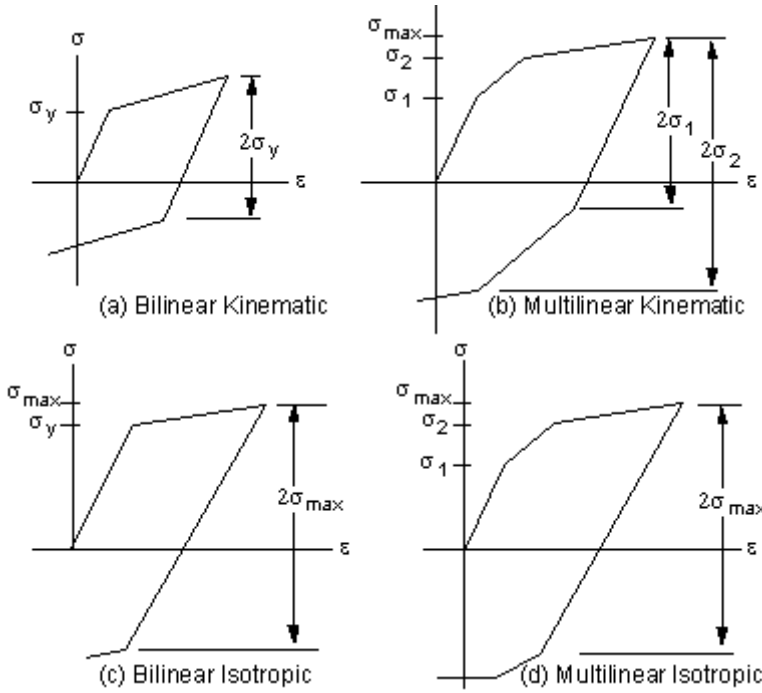


Şekil 6.4. Kinematik pekleşme kuralına göre malzemenin gerilme- deformasyon (σ - ϵ) ilişkisi modeli

Sonlu eleman analizlerinde gerilme-deformasyon eğrileri kullanılarak malzemenin plastik davranışları modellenmektedir. Malzemelerin plastik davranışlarının modellenmesinde kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir.;

- Bilinear İzotropik Pekleşme (Bilinear Isotropic Hardening)
- Multilinear İzotropik Pekleşme (Multilinear Isotropic Hardening)
- Bilinear Kinematik Pekleşme (Bilinear Kinematic Hardening)
- Multilinear Kinematik Pekleşme (Multilinear Kinematic Hardening)

Sonlu eleman analizlerinde kullanılan pekleşme modellerinin gerilme-deformasyon ilişkileri Şekil 6.5'de verilmektedir.



Şekil 6.5. Pekleşme modellerinin gerilme-deformasyon ilişkileri

Bilinear pekleşme modellerinde, sonlu eleman programında elastikiyet modülü ve tanjant modülü girilmesi gerekmektedir. Gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıç eğimi malzemenin elastikiyet modülünü vermektedir. Belirlenen akma gerilmesinde devam eden doğrunun eğimi tanjant modülü ile tanımlanmaktadır. Tanjant modülü, sıfırdan küçük elastikiyet modülünden büyük olamaz.

Multilinear kinematik pekleşme modelinde ise malzemenin plastik özelliğinin verilmesi için akma noktası sıfır olarak alınmaktadır. Malzeme özelliklerinin daha iyi temsil edilmesi ve plastik özelliklerinin belirlenebilmesi için sonlu eleman modellerinde deneysel yöntemlerle elde edilen gerilme-deformasyon değerleri gerçek gerilme-deformasyon (true stress-strain) verilerine dönüştürülmektedir. Gerçek gerilme-deformasyon eğrileri elde edildikten sonra plastik davranışının başladığı deformasyon noktasına “sıfır-0” verilerek malzemenin plastik gerilme-deformasyon eğrisi oluşturulmaktadır. Malzemenin deneylerden elde edilen gerilme-deformasyonunun gerçek gerilme-deformasyona çevrilmesi için (Eş. 6.1; 6.2; 6.3; 6.4; 6.5) numaralı eşitlikler kullanılmıştır. Bu denklemler maksimum yük taşıma noktasına kadar geçerlidir.

Elastikiyet modülü akma noktasındaki gerçek gerilme değerinin yine aynı noktadaki toplam deformasyona bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$\text{Elastikiyet Modülü (E)} = \sigma_t / \varepsilon_t \quad (6.1)$$

σ_t , Akma noktasındaki gerçek gerilme (true stress at yield)

ε_t akma noktasındaki toplam gerçek deformasyon (True total strain in yield)

Gerçek gerilme değerinin (True stress) hesaplanması;

$$\sigma_t = \sigma_e * (1 + \varepsilon_e) \quad (6.2)$$

σ_e , deney gerilme değeri (engineering stress)

ε_e , deney deformasyon değeri (engineering strain)

Toplam gerçek deformasyon değerinin (true total strain) hesaplanması;

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_e) \quad (6.3)$$

ε_e , deney deformasyon değeri

Plastik deformasyon, her bir noktadaki toplam gerçek deformasyondan toplam elastik deformasyonun çıkarılması ile elde edilmektedir.

Plastik deformasyon = toplam gerçek deformasyon – (gerçek gerilme/elastikiyet modülü) formülü ile hesaplanmakta denklem gösterimi aşağıda verilmektedir.

$$= \ln(1 + \varepsilon_e) - ((\sigma_e * (1 + \varepsilon_e) * \varepsilon_t) / \sigma_t) \quad (6.4)$$

yani

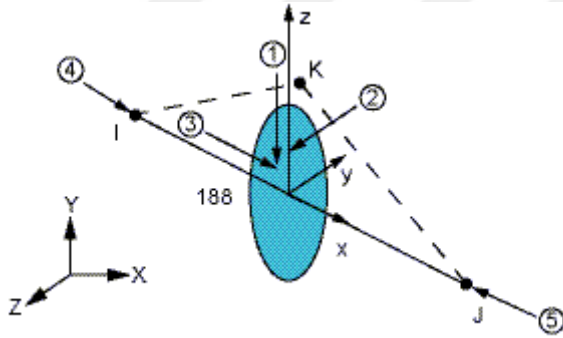
$$\varepsilon_{plastik} = \varepsilon_t - (\sigma / E) \quad (6.5)$$

6.3. Sonlu Eleman Analizinde Kullanılan Eleman Tipleri

Ahşap perde duvarların sonlu eleman modellerinde çerçeve elemanlar için BEAM188, OSB paneller için SHELL181 ve çerçeve-panel bağlantılarında bulunan çiviler için yay elemanı (spring-Combin14) eleman tipleri kullanılmıştır.

6.3.1. BEAM188

Sonlu eleman analizinde ahşap çerçeve elemanların modellenmesinde BEAM188 elemanı kullanılmıştır. Bu eleman Timoshenko kiriş teorisine dayanır ve kaymadan dolayı oluşan şekil değişimlerinin etkisini de içerir. Her düğüm noktasında altı veya yedi serbestlik derecesine sahiptir. Bu hareketler x, y ve z yönündeki ilerlemeler ile x, y ve z yönündeki dönme hareketlerinden oluşur. Yedinci serbestlik derecesi ise opsiyoneldir ve büyük dönme ve deformasyonlar için uygundur. BEAM188 elemanı elastiklik, plastiklik, sünme ve diğer doğrusal olmayan malzeme modellerini desteklemektedir. BEAM188 elemanının geometrisi Şekil 6.6'da sunulmuştur.



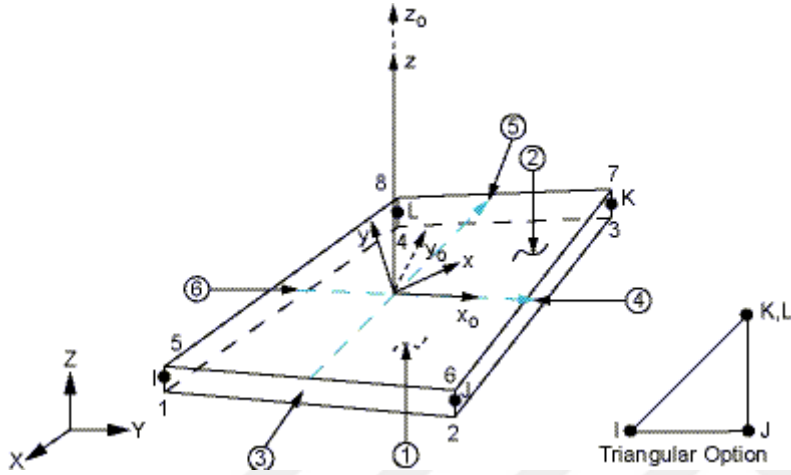
Şekil 6.6. Beam188 elemanının geometrisi

6.3.2. SHELL181

Yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılan OSB panelleri sonlu eleman analizinde SHELL181 elemanı olarak modellenmiştir. SHELL181 elemanı geometrik olarak 2 boyutlu fakat yapısal açıdan 3 boyutlu davranış göstermektedir. Bu eleman 4 düğüm noktasına sahip ve her düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi (x,y,z ilerleme ve x,y,z dönme) vardır. Kabuk kalınlığı nonlinear analizlerde hesaba katılmaktadır. SHELL181

elemanı kompozit kabuklar veya sandviç yapı modellenmesi için katmanlı uygulamalarda kullanılabilir. Kompozit kabukların modellenmesi birinci dereceden kesme-deformasyon teorisi (genellikle Mindlin-Reissner shell theory) ile yönetilmektedir.

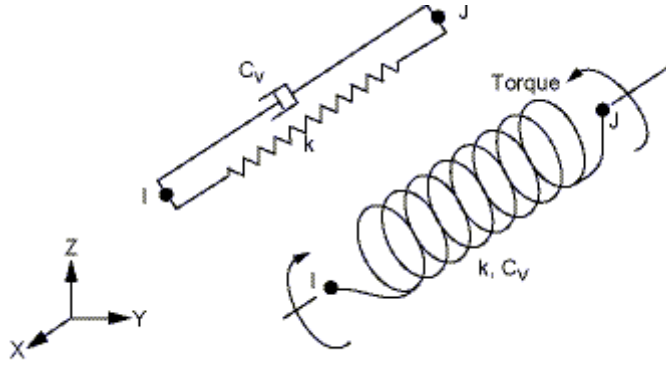
SHELL181'in geometri, düğüm yerleri ve koordinat sistemi Şekil 6.7'de verilmiştir. Bu eleman dört düğüm noktası (I,J, K ve L) ile tanımlanmaktadır.



Şekil 6.7. SHELL181 elemanının geometrisi

6.3.3. COMBIN14

Ahşap çerçeve-panel bağlantılarında kullanılan çivilerin modellenmesinde yay elemanı (COMBIN14) kullanılmıştır. COMBIN14 1-D, 2-D, ve 3-D uygulamalarda boyuna veya burulma kabiliyetine sahiptir. Boyuna yay-sönüm seçeneği tek eksenli çekme-basınç elemanı olup ve her bir düğüm noktasında üç serbestlik derecesine (x,y,z ilerleme) sahiptir. Burulma yay-sönüm seçeneği ise her düğüm noktasında üç serbestlik derecesine sahip (x,y,z dönme) tamamen dönme elemanıdır. Yay elemanı boyuna veya dönme yay sabiti ve sönüm katsayısı ile tanımlanmaktadır. Yay elemanın kütlesi yoktur. COMBIN 14 yay elemanın geometrisi Şekil 6.8'de verilmektedir.



Şekil 6.8. COMBIN14 yay elemanının geometrisi

Sönümlenme yeteneği statik veya sönümsüz modal analizler için kullanılmamaktadır. Boyuna yay sabiti, kuvvet/uzunluk formülü ile, sönüm katsayısı ise kuvvet*zaman / uzunluk formülü ile hesaplanmaktadır.

Ahşap yapılarda bağlantı elemanlarının deformasyon özellikleri, yapının genel stabilitesi ve iç kuvvetlerin dağılımında önemli role sahiptir. Bağlantı elemanlarının davranışları birçok çalışmada doğrusal olmayan yük-kayma ilişkisi ile tanımlanmaktadır.

Genel olarak ahşap birleşimlerinde, başlangıçta küçük bir kayma meydana gelmekte ve bu durum lineer bir davranış sergilemektedir. Fakat yük artışı ile birleştirici eleman rijitliği azalmakta ve nonlineer davranış gözlemlenmektedir. Genellikle ahşap birleştirici elemanlar, standart prosedürlerde lineer elastik malzeme olarak modellenmektedir. Tasarım gereklilikleri için, nonlineer davranış iki kayma modul değeri ile belirlenmektedir. Bunlar ulaşılabilir sınır limiti (K_{ser} -SLS-serviceability limit state) ve nihai sınır limiti (K_{u} -ULS-ultimate limit state) değerleridir (Meghlat ve diğerleri, 2013). EC-5'te Johansen's teorisi ile ilgili 'The European Yield Model (EYM)' olarak isimlendirilen tasarım metodu ile yatay yük altında, kesme düzlemi içerisinde, çivi başına düşen yük taşıma kapasitesi, ahşap malzemenin yoğunluğuna, birleştirici elemanların çapına ve geometrisine bağlı olarak belirlenebilmektedir (Silih ve diğerleri, 2012).

Çerçeve- OSB paneller arasında bulunan çivilerin sonlu eleman analizlerinde aksenal rijitlik değeri için kayma modülleri, EC-5'te ifade edilen formüller ile hesaplanmaktadır (Eş.6.6; 6.7; 6.8). Ön delmesiz çiviler için elastik sınırlar içerisinde kayma modülü (K_{ser})

ve elastik bölge sonrası maksimum yüke kadar olan sınır değerleri içerisinde çivilerin kayma modülü hesaplama (K_u) denklemi ile verilmiştir.

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1.5} * d^{0.8}}{30} \quad (6.6)$$

K_{ser} : N/mm ρ_m : kg/m³ d : çivi çapı (mm) (3,1 mm çivi çapı)

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} * \rho_{m,2}} \quad (6.7)$$

ρ_m : Yoğunluk (kg/m³)

$\rho_{m,1}$: Çerçeve elemana ait yoğunluk değeri (Ladin, 420 kg/m³)

$\rho_{m,2}$: Yüzey kaplama paneline ait yoğunluk değeri (OSB, 590 kg/m³)

$$K_u = \frac{2}{3} * K_{ser} \quad (6.8)$$

6.4. Ahşap Perde Duvarların Sonlu Eleman Modelleri

Sonlu Elemanlar (SE) Metodu, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Son kırk yılda bilgisayarların hızlı gelişimine paralel olarak gelişen sayısal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutmaktadır (Mackerle, 2005). Literatür çalışmalarında ahşap panel duvarların sonlu eleman metodu ile modellenmesinde, genellikle ahşap çerçeve elemanlar için kiriş eleman (beam), yüzey kaplama paneller için kabuk (Shell, Plate) eleman ve çerçeve-panel bağlantılarında kullanılan birleştirici elemanlar için yay elemanı (spring) kullanılmıştır (Ayoub, 2007; Humbert ve diğerleri, 2014; Xu ve Dolan, 2009a; Silih ve diğerleri, 2012). Bu çalışmada, ahşap çerçeve duvar panellerin sonlu eleman analizi ANSYS ver. 14 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- Modelin Oluşturulması
- Malzeme Özellikleri (Ladin kereste ve OSB'nin, yoğunluk, elastikiyet modülü (MOE) değeri, Poisson değeri)

- Mesh Ayarları
- Sınır Koşullarının oluşturulması ve yükleme
- Analiz

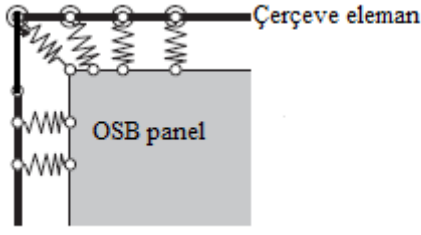
6.4.1. Modelin oluşturulması

Ahşap çerçeve duvar elemanları, çerçeve eleman, yüzey kaplama panelleri ve birleştirme elemanlarından oluşmaktadır. Sonlu elemanlar programında çerçeve elemanlar kiriş (Beam) eleman olarak, OSB yüzey kaplama malzemesi kabuk (Shell) eleman olarak, OSB-çerçeve eleman birleşimlerinde kullanılan çiviler ise yay (spring) eleman olarak modellenmiştir.

Ladin çerçeve elemanlar ve OSB paneller Ansys Workbench programının geometri kısmında oluşturulmuştur. Öncelikle keypointler girilerek düğüm noktaları oluşturulmuş ve keypointlerin duvar paneli modeline göre birleştirilmesi ile çerçeve elemanlar *Line Body* olarak modellenmiştir. Gerçekte duvar panelleri 38x140 mm kesitlerinde ladin kerestelerden oluştuğu için sonlu eleman modelinde oluşturulan *line body*'lere kare en kesit ölçüleri verilmiştir. Girilen malzeme özellikleri ve malzeme geometrisi ile ahşap çerçeve elemanlar için BEAM188 elemanı kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur.

OSB panellerin geometrisi ise kenarlardan elde edilen *surface body*'ler kullanılarak oluşturulmuştur. "*Surface body*" elemanları gerçekte üç boyutlu olan OSB panellerin iki boyutlu modellenmesini sağlamaktadır. OSB panellerin sonlu eleman modellerinde ise SHELL181 elemanı kullanılmıştır.

Literatür incelemeleri sonucunda çerçeve-panel birleşimlerinde kullanılan çivilerin modellenmesinde programın "*Body-Body*" bağlantı seçeneği kullanılarak yay elemanlar (spring) seçilmiştir (Şekil 6.9). Yay elemanların boyuna rijitlik değerleri (Longitudinal Stiffness, N/mm) için "Eş.6.6" ya göre elde edilen K_{ser} ve "Eş.6.8" ile elde edilen K_u değerleri kullanılmıştır. Duvar elemanlarının yük-deplasman eğrisi içerisinde elastik sınır değerlerinde yay rijitlik değeri olarak K_{ser} (912 N/mm) değeri kullanılmış ve elastik sınır değeri sonra plastik bölgelerde maksimum yüke kadar K_u (612 N/mm) değeri kullanılmıştır.

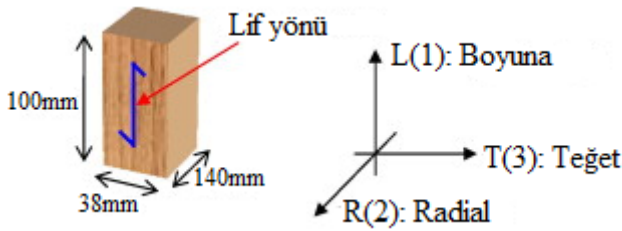


Şekil 6.9. Çerçeve-panel bağlantılarının sonlu eleman modeli

6.4.2. Malzeme özelliklerinin girilmesi

Farklı tipte ahşap duvar modellerinin geometrileri oluşturulduktan sonra, bu duvar panellerini oluşturan elemanların malzeme özellikleri girilmiştir.

Ahşap malzeme farklı yönlerde farklı özellik gösteren anizotrop bir malzeme olup uygun koşullar altında özellikle nümerik çalışmalarda ortotropik malzeme olarak modellenmektedir. Lif yönü ve budaklı yapıya sahip olması nedeniyle farklı özelliklere sahip olduğu için ortotropik bir malzeme olarak tanımlanabilen odun yapıda kullanıldığında mekanik özelliklerinin kesinlikle bilinmesi gerekmektedir. Ortotropik olarak ahşap malzeme lif yönlerine göre boyuna (0°), teğet ve radyal (90°) olmak üzere 3 farklı düzleme sahiptir. Şekil 6.10'da duvar panellerinin üretiminde kullanılan Ladin kerestelerin kesit ölçüleri ve yönleri görülmektedir (Oudjene ve Khelifa, 2009).



Şekil 6.10. Ahşap malzeme geometrisi ve yönler (mm)

Literatür incelendiğinde ahşap panel duvarların sonlu eleman analizlerinde ahşap çerçeve elemanlar ve OSB yüzey kaplama panelleri ortotropik malzeme olarak modellenmiştir (Andreasson ve diğerleri, 2002; Guan ve Zhu, 2009; Valipour ve diğerleri, 2014).

Duvar panellerin üretiminde kullanılan Ladin kerestesi ve OSB panellerin yoğunluk, boyuna, radyal ve teğet yönlerdeki elastik modülleri, kesme modülleri ve poisson oranları literatür çalışmalarından elde edilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1997:258; Baylor ve Harte, 2013; Guan ve Zhu, 2009; Zhu ve diğerleri, 2005). Sonlu eleman analizinde kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

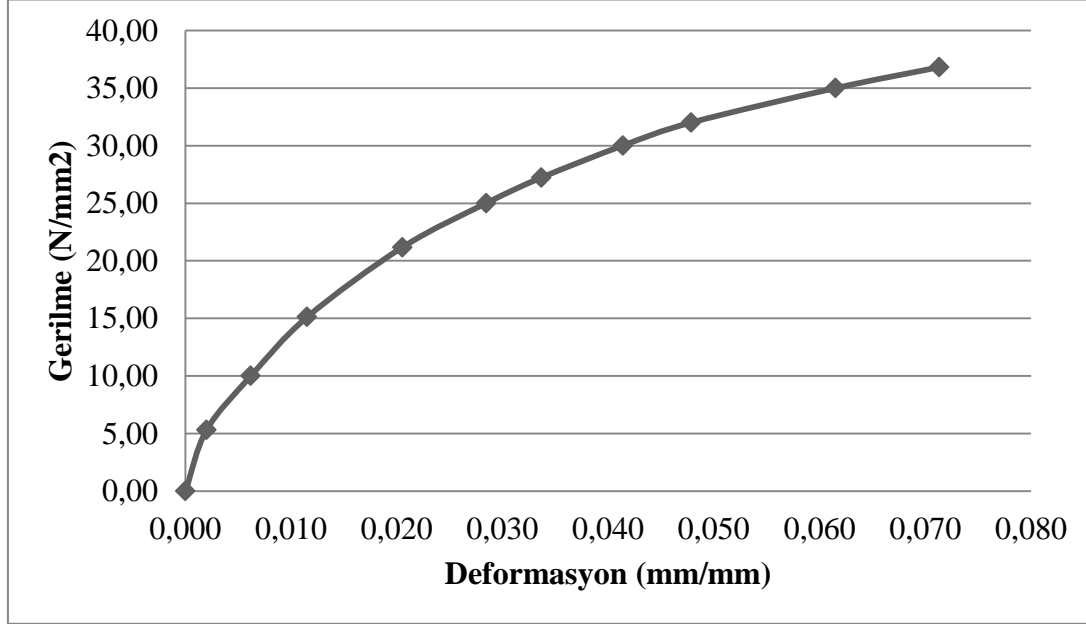
Çizelge 6.1. Sonlu eleman analizinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme özellikleri	Ladin	OSB
Yoğunluk (kg/m^3)	420	590
Elastikiyet modülü (x yönünde E_x , N/mm^2)	11000	3500
Elastikiyet modülü (y yönünde E_y , N/mm^2)	900	1585
Elastikiyet modülü (z yönünde E_z , N/mm^2)	500	130
Kesme modülü (xy düzlemi G_{xy})	676	500
Kesme modülü (yz düzlemi G_{yz})	57	50
Kesme modülü (xz düzlemi G_{xz})	636	100
Poisson oranı (xy düzlemi ν_{xy})	0,37	0,184
Poisson oranı (yz düzlemi ν_{yz})	0,47	0,312
Poisson oranı (xz düzlemi ν_{xz})	0,42	0,364
Çekme direnci (MPa)	36,82	6,77
Basınç Direnci (MPa)	55	14,19

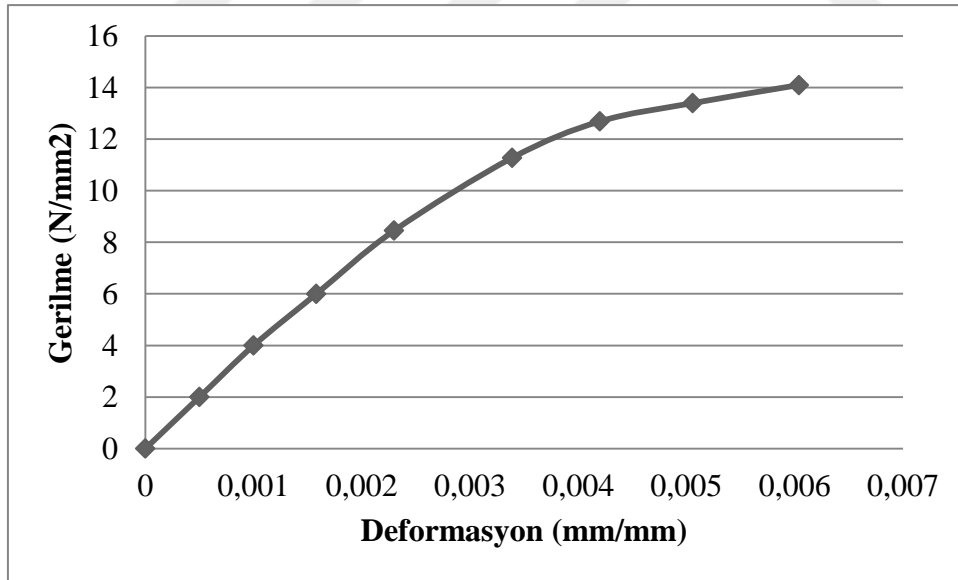
Sonlu eleman analizlerinde gerilme-deformasyon eğrileri kullanılarak malzemenin plastik davranışları modellenmiştir. Çerçeve eleman ve OSB paneller için gerilme-deformasyon eğrileri çekme ve basınç testlerinden elde edilmiştir. Ladin çekmede nonlinear, basınçta lineer davranış sergilemektedir. OSB panel çekmede lineer basınçta ise nonlinear davranış sergilemektedir. Ladin kerestelerin çekme testleri TS 2475 esaslarına göre, OSB panellerin basınçta gerilme-deformasyon eğrileri ASTM D 3501-05 esaslarına göre belirlenmiştir. Çekmede Ladin ve basınçta OSB panele ait gerilme-deformasyon eğrileri sırasıyla Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de verilmiştir. Hem ahşap hem de OSB için plastik davranışların modellenmesinde Multilinear Kinematic Hardening modeli kullanılmıştır.

Sonlu eleman analizinde Ladin çerçeve elemanların çekme altındaki plastik davranışları, deneylerden elde edilen gerilme-deformasyon eğrilerinde elastik sınır (akma) noktasına

sıfır verilerek ve “Eş.6.5” kullanılarak Multilinear Kinematik Pekleşme seçeneği ile modellenmiştir.



Şekil 6.11. Ladin kerestesinin çekmede gerilme-deformasyon eğrisi



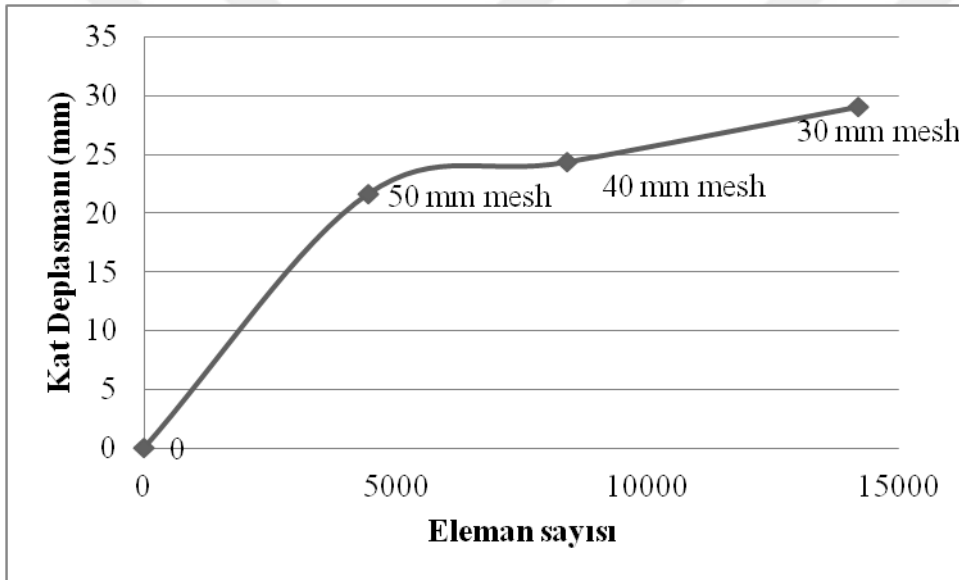
Şekil 6.12. OSB panellerin basınçta gerilme-deformasyon eğrisi

6.4.3. Mesh

Sonlu eleman analizinde mesh işlemi ile elemanlar fazla sayıda elemana bölünerek eleman sıklığının artırılması ile daha doğru sonuçların elde edilmesi mümkün olmaktadır. Sonlu

elemanlarda gerçeğe yakın bir sonuç elde edebilmek için uygun element tipinin seçimi ve gerekli sayıda kullanılması önemli bir husustur. Gereksiz çok sayıda eleman hem fazla hesaplama zamanı harcanmasına hem de sayısal hesaplamalarda oluşabilecek bir hatanın artmasına neden olacaktır. Ayrıca kötü mesh uygulanmış eleman gerçekçi olmayan gerilmeleri göstereceği için mesh kalitesi oldukça önemlidir.

Ahşap duvar panelini oluşturan eleman tipleri ve malzeme özellikleri girildikten sonra mesh işlemi ile model sonlu elemanlara ayrılmıştır. Mesh işleminde iyi mesh (Fine mesh) kullanılarak mesh eleman boyutları kontrol edilmiş ve uygun mesh boyutu seçilmiştir (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. Mesh eleman boyutlarına göre deformasyon şekilleri

Şekil 6.13'de görüldüğü gibi farklı mesh elemanı boyutlarında eleman sayısı ve kat deplasman değeri değişmektedir. Mesh boyutu azaldıkça eleman sayısı artmaktadır. Eleman sayısının artması demek işlem süresinin uzaması anlamına gelmektedir. Şekil 6.13'den de anlaşılacağı gibi optimum mesh boyutu 40 mm'dir. 40 mm mesh boyutunda uygun kat deplasman değerinin yakalandığı görülmektedir.

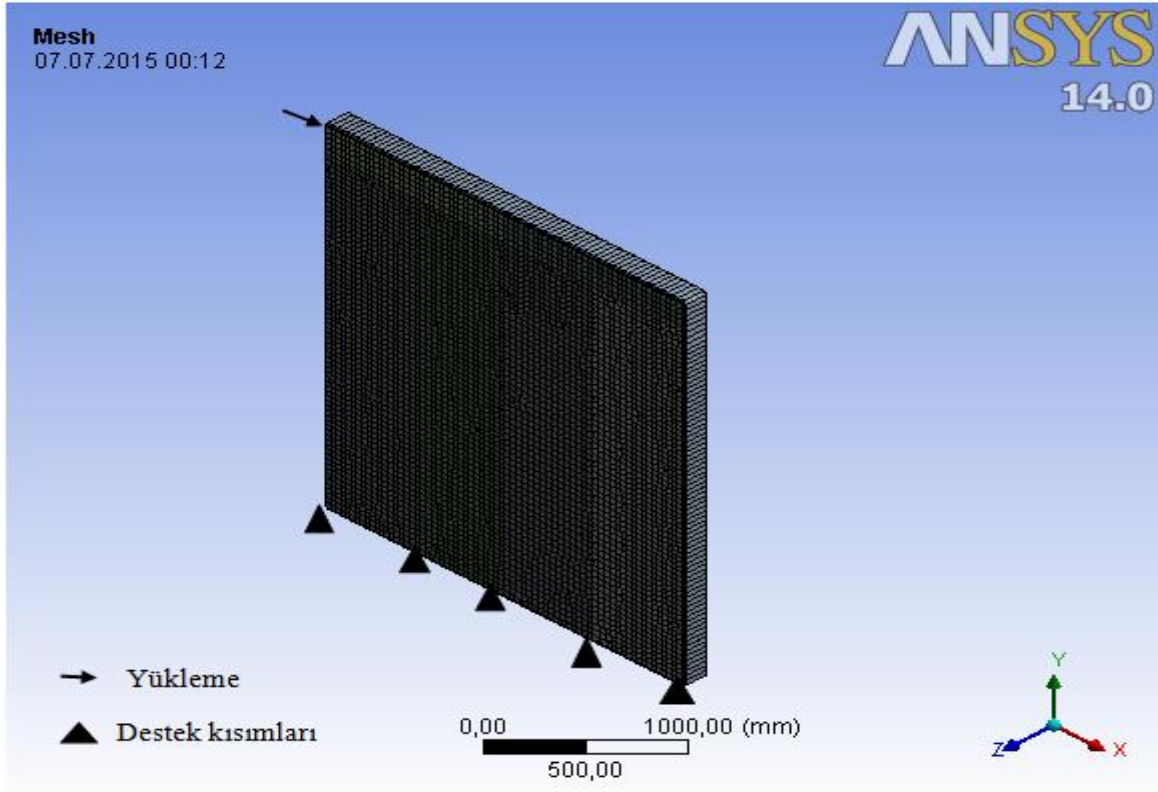
6.4.4. Sınır koşullarının oluşturulması ve yükleme

Sonlu eleman uygulamalarında bir modelin mesnet şartlarını tanımlamak; ilgili düğüm noktalarına, kenarlara veya yüzeylere deplasman (dönmeler de dahil) vererek mümkün

olmaktadır. Modelde hangi mesnet şartları kullanılacak ise o noktalarda deplasman değerleri istenilen yöne göre sıfır olarak alınabilmektedir.

Ahşap duvar panellerin tersinir yükleme altında rijit kayma ve dönmelerini engellemek amacıyla alt yatay elemanlardan çelik bağlantı elemanları kullanılarak zemin bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modelinde ise bağlantı elemanları birebir modellenmeden, bağlantılı düğüm noktalarında sabit mesnet şartları (*Fixed Support*) kullanılarak duvar elemanlarının her yöndeki (x, y, z) deplasman yetenekleri kısıtlanmıştır. Ayrıca duvar elemanlarının rijitliğini sağlayan OSB panellerinin x, y, ve z yönlerinde dönmeleri (*Fixed rotation*) engellenerek mesnet şartları modellenmiştir.

Yüklemeler için deney elemanlarının sol üst kısmında, yükleme kolu alanı kadar çelik malzemeden oluşan bir parça modellenmiştir. Duvar elemanlarının mesnet şartları ve yükleme koşulları Şekil 6.14’de verilmiştir. Yüklemeler deneyde olduğu gibi bir düğüm noktasından değil deneyde kullanılan yükleme kolu ölçülerinde modellenmiş yüzey eleman üzerinden yayılı yük olarak uygulanmıştır. Her bir dikmenin geldiği kısımlardan bağlantı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.14. Duvar elemanların yükleme ve mesnet koşulları

Yüklemeler kuvvet kontrollü olarak 5kN'luk artışlarla gerçekleştirilmiştir. Tersinir tekrarlanır yüklemelerde itme (basınç) ve çekme yüklemelere uygulanmakta olup sonlu eleman modelinde yüklemeler adımlar ile gerçekleştirilmiştir. Adımlar zaman olarak ifade edilmekte ve her bir adım bir yüklemeye karşılık gelmektedir. İlk adım olarak basınç yönünde yükleme gerçekleştirildikten sonra duvar elemanı üzerindeki yük boşaltılarak eleman ilk konumuna getirilmektedir. Programda bu durum ikinci adım olarak belirtilmekte ve yüklemeye "0" yazılmaktadır. Üçüncü adım olarak basınç yükleme noktasından eksi yönde yükleme yapılarak elemana çekme yüklemesi yapılmaktadır. Dördüncü adım olarak eleman tekrar ilk konumuna getirilmektedir. Bu işlem her yük artışında uygulanmaktadır.

6.4.5. Analiz

Sonlu eleman modelleri ile lineer ve nonlineer yapısal analizler gerçekleştirilebilmektedir. Malzeme ve geometri nonlineerliği girilerek yapıların doğrusal olmayan davranışları belirlenebilmektedir. Malzeme nonlineerliği elemanların gerilme-deformasyon ilişkileri ile belirlenmektedir. Geometri nonlineerliği ise analiz esnasında modelin geometrisinde meydana gelen değişiklikler ile ilgilidir. Geometrik nonlineerite, aksenal kuvvetten dolayı meydana gelen deformasyonları, deforme olmuş elemanın geometrisinin değişimini, büyük deplasmanları kapsamaktadır. Deformasyonların artışı ile yapının şekli ve rijitliği değişiyor ise geometrik nonlineerlik hesaplanmalıdır. Elemanlarda veya sistemde meydana gelen deformasyonlar küçük ise geometrik nonlineerlik ihmal edilebilmektedir. Ahşap duvar panellerin sonlu eleman modellerinde geometrik nonlineerlik, programın analiz ayarları kısmında "Large Deflection" kısmı aktif hale getirilerek uygulanmıştır.



7. NÜMERİK ANALİZ SONUÇLARI

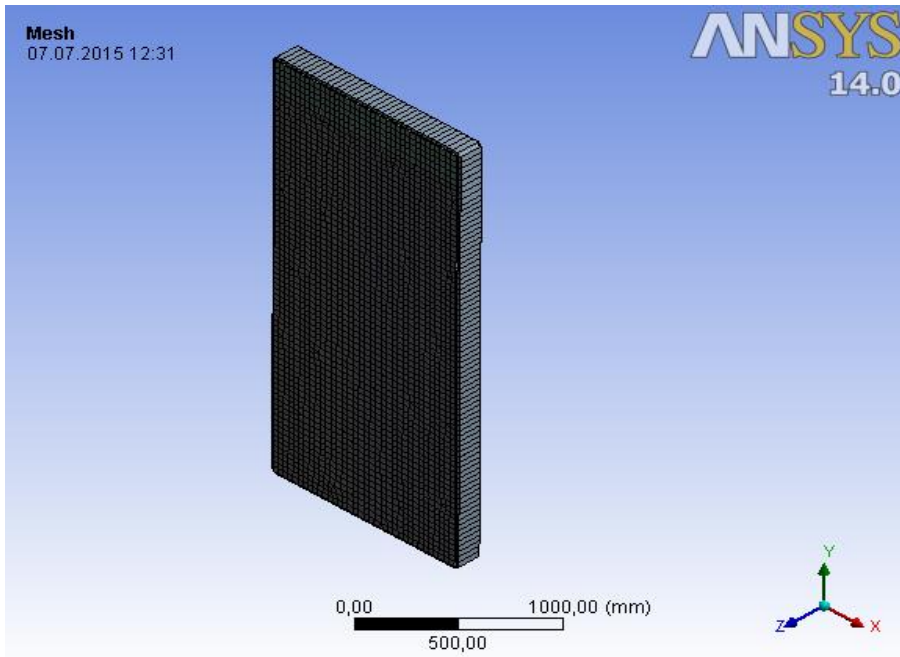
Bu çalışma kapsamında gerçek ölçülerde ve farklı tiplerde 11 farklı duvar panelinin sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kuvvet kontrollü gerçekleştirilen sonlu eleman analizinde tersinir-tekrarlanır yükleme yerine ahşap perde duvar elemanlarının yük-deplasman eğriliğinin deneysel sonuçlara yakınlığını anlamak üzere statik-itme analizi gerçekleştirilmiştir. Statik-itme analizinden ahşap perde duvar elemanlarının dayanım zarfı eğrileri elde edilmiştir.

Sonlu eleman analizi ile deney elemanlarının yatay yönde (x yönünde) meydana gelen deplasman değerleri ve OSB yüzey kaplama panellerinde meydana gelen deformasyonlar eşdeğer gerilme analizleri belirlenmiştir. Nümerik sonuçlar deneylerden elde edilen yük-deplasman eğrileri ile doğrulanmıştır.

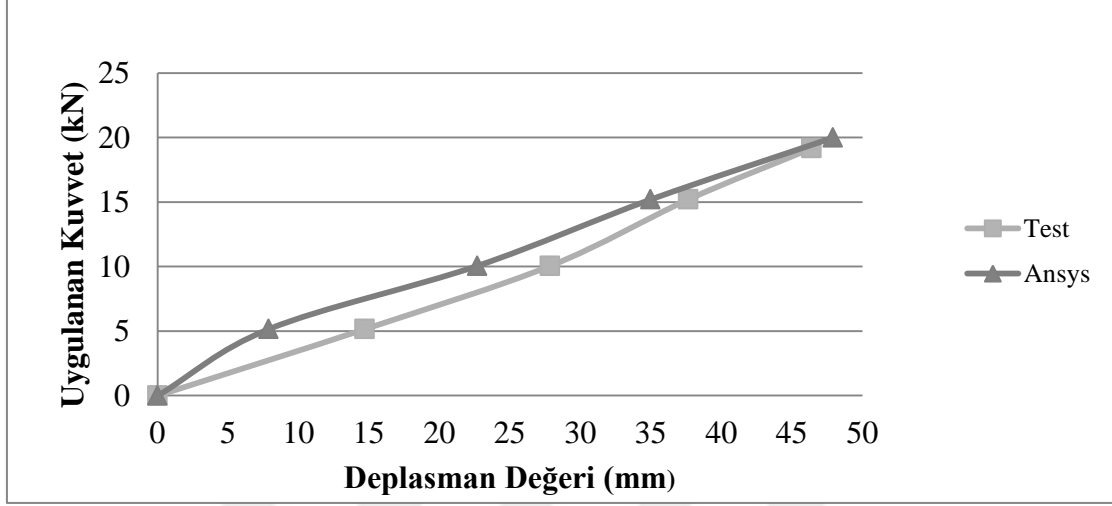
7.1. Model-1'e ait Nümerik Sonuçlar

Model 1'e ait sonlu eleman modeli, 5327 mesh elemanı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Model-1 sonlu eleman modeli

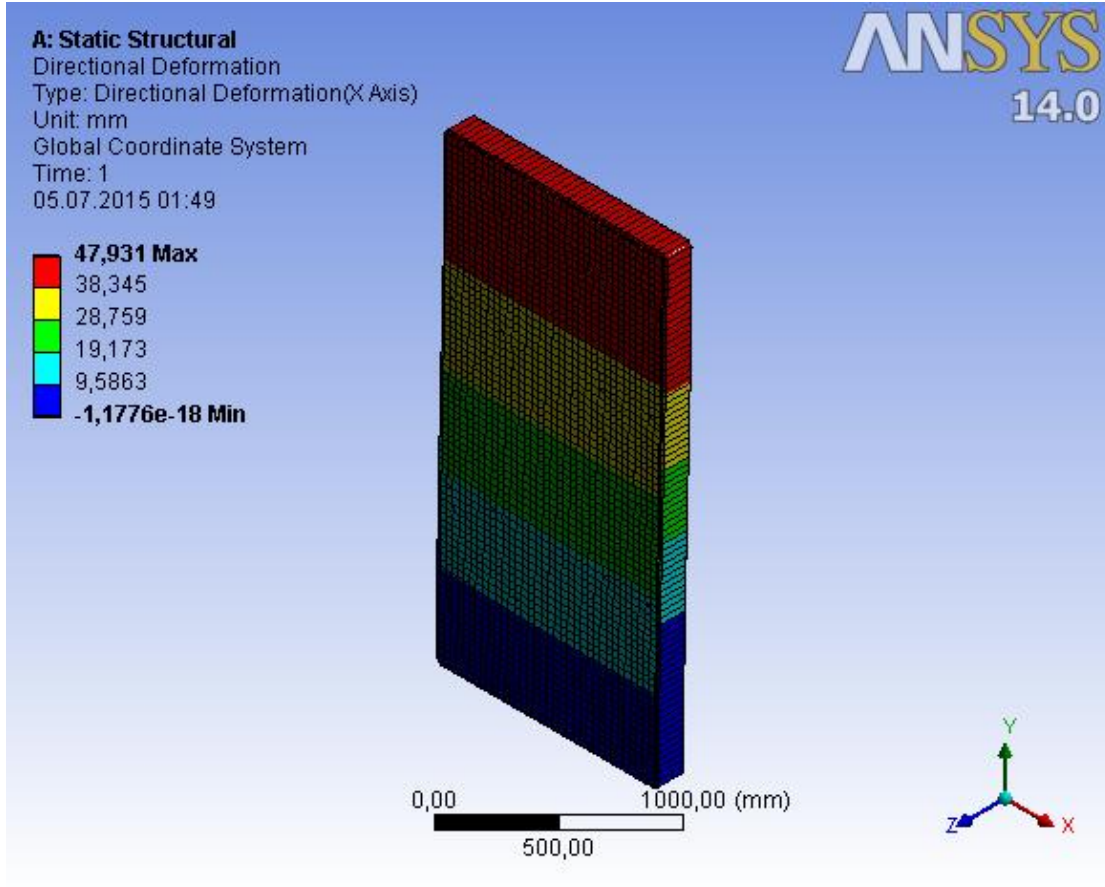
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yüklemdeki yük-deplasman eğrileri kullanılarak elde edilen zarf eğrileri ile sonlu eleman analizi sonucu elde edilen itme yönündeki yük-deplasman eğrileri karşılaştırılmıştır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Model-1'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

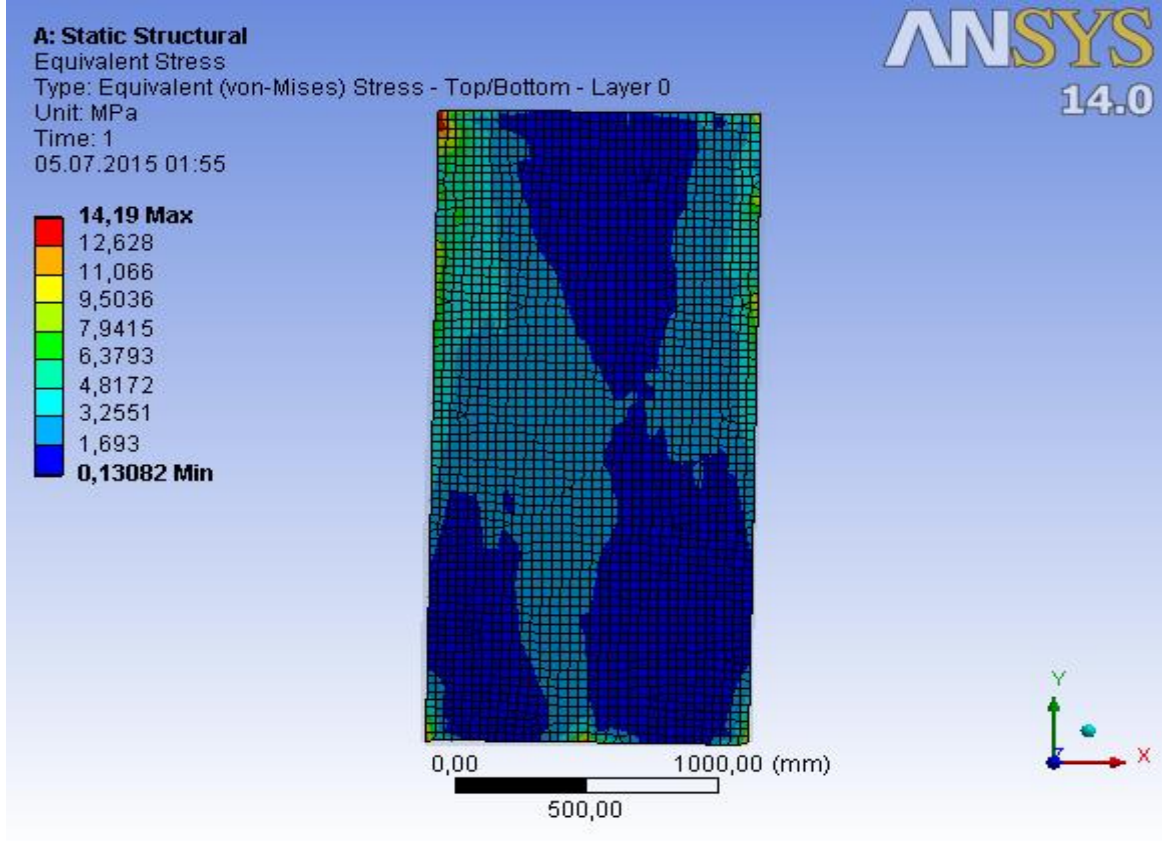
Şekil 7.2'deki yük-deplasman eğrisi incelendiğinde deney sonuçları ile sonlu eleman sonuçlarının maksimum yüklemde oldukça yakın olduğu görülmektedir. Çevrimsel yüklem altında 19,16 kN'luk maksimum yüklem sonucunda deney elemanı 46,4 mm X yönünde deplasman yapmıştır. Deney elemanına ait sonlu eleman modelinde ise 20 kN yüklemde 47,931 mm deplasman değeri elde edilmiştir. Sonlu eleman modeli ile test sonucu maksimum deplasman değerleri karşılaştırıldığında %0,03 lük bir farkın olduğu ve sonlu eleman deplasman değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sonlu eleman modelinde deney elemanının başlangıç rijitik değerleri daha yüksek olup yüklem devam ettikçe rijitlik azalmakta ve deney rijitlik değerlerini yakalamaktadır.

Deney elemanının deneyleri esnasında X yöndeki deplasman değerleri okunmuş olup sonlu eleman analizinde deney elemanının X yöndeki deformasyon değerleri renklerle ifade edilmektedir. Kırmızı renk maksimum, mavi renk ise minimum deplasman değerini ifade etmektedir. Deney elemanının X yöndeki deformasyonları Şekil 7.3'de görülmektedir. Deney elemanı alt kısımlarından sabit mesnet ile zemine bağlandığı için üst kısımlarda deformasyonlar daha yüksek elde edilmiş olup kırmızı renk ile gösterilmektedir.



Şekil 7.3. Model-1’de meydana gelen deformasyonlar

Yükleme arttıkça deney elemanları üzerinde hasarlar meydana gelmektedir. Yüklemeye altında deney elemanları üzerinde meydana gelen hasarlar sonlu eleman modelinde gerilme analizleri ile elde edilmektedir. Gerilmelerin maksimum olduğu noktalar kırmızı, minimum olduğu noktalar ise mavi ile ifade edilmektedir. Maksimum yüklemeye altında çerçeve panele bağlantı elemanlar ile bağlanan yüzey kaplama panellerinde gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Maksimum yüklemeye Model-1’de OSB üzerinde meydana gelen eşdeğer gerilmeler Şekil 7.4’de görülebilmektedir.



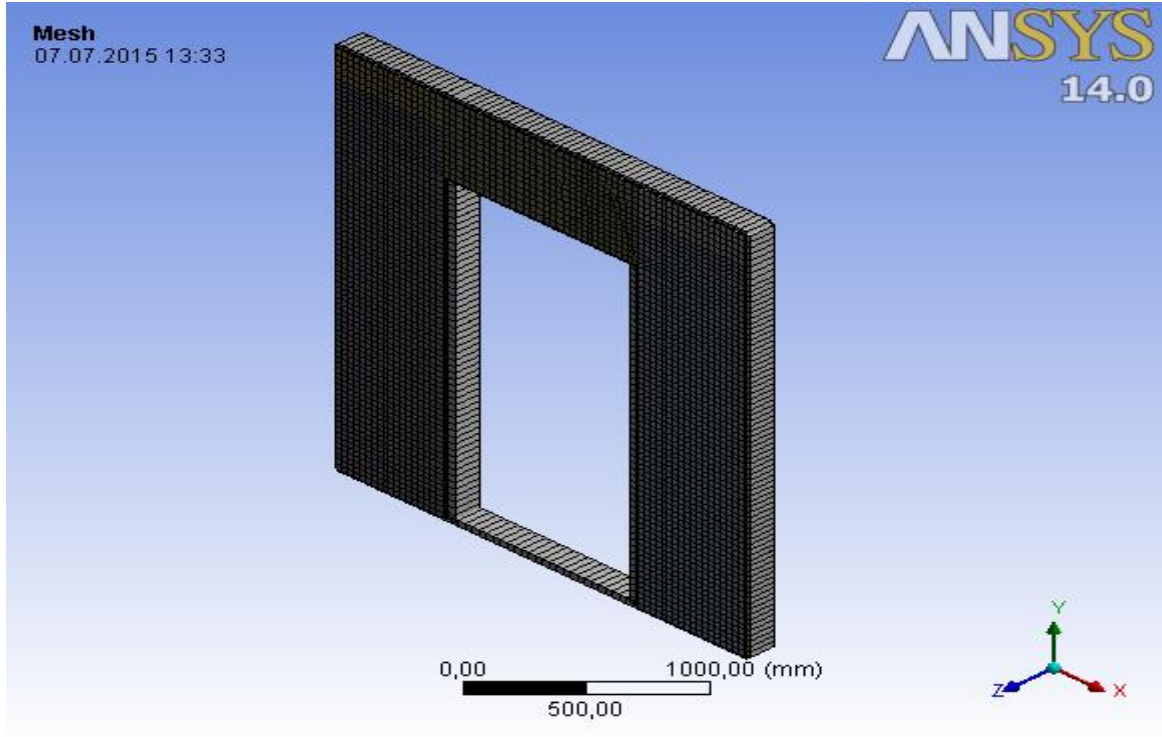
Şekil 7.4. Model-1'e ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

Şekil 7.4'e göre OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler deney elemanının alt ankraj kısımlarında ve üst yükleme kolunun olduğu kısımlarda meydana gelmektedir. Bu noktalarda materyal özellikleri kısmında tanımlanan maksimum basınç gerilmesi değerini ($14,19 \text{ N/mm}^2$) yakalamaktadır.

Ahşap panel duvarlarda duvar elemanlarının kesmeye karşı dayanım sağlamak için her iki yüzeyinde OSB paneller kullanılmıştır. OSB paneller çerçeve elemanlara göre daha düşük elastikiyet modüllerine sahip olup rijitlik değerleri düşüktür. Çerçeve-panel elemanlar arasında bulunan bağlantı elemanlarının yüklemeye karşı deformasyonları artmaktadır. Bu nedenle OSB panelleri çivilerden ayrılmakta ve panel köşelerinde kesme hasarları meydana gelmektedir.

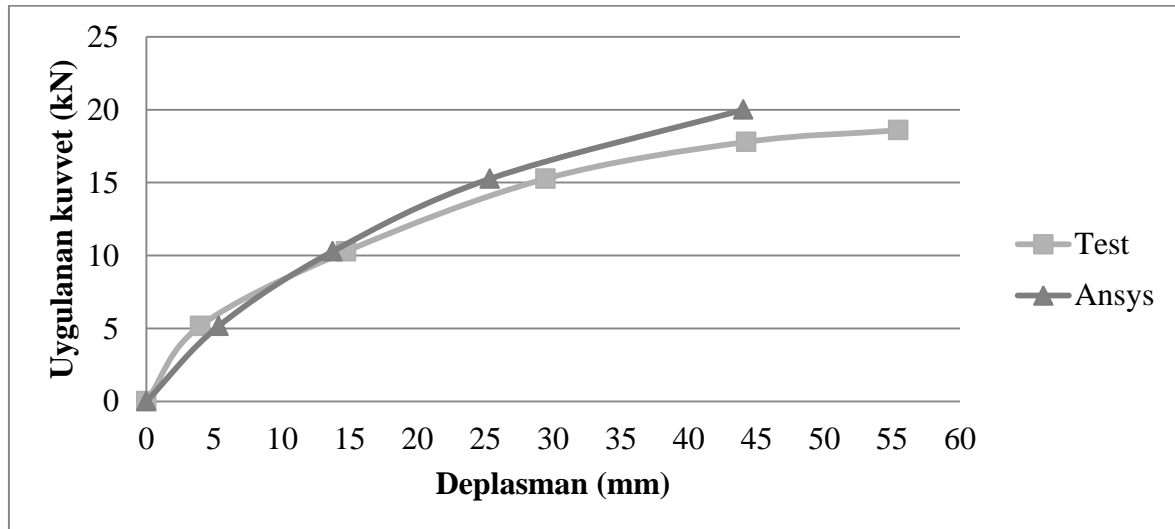
7.2. Model-2'ye ait Nümerik Sonuçlar

Kapı boşluğu bulunan Model-2 deney elemanı 7111 eleman kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 7.5).



Şekil 7.5. Model-2 sonlu eleman modeli

Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yüklemdeki yük-deplasman eğrileri kullanılarak elde edilen zarf eğrileri ile sonlu eleman analizi sonucu elde edilen itme yönündeki yük-deplasman eğrileri karşılaştırılmıştır (Şekil 7.6).

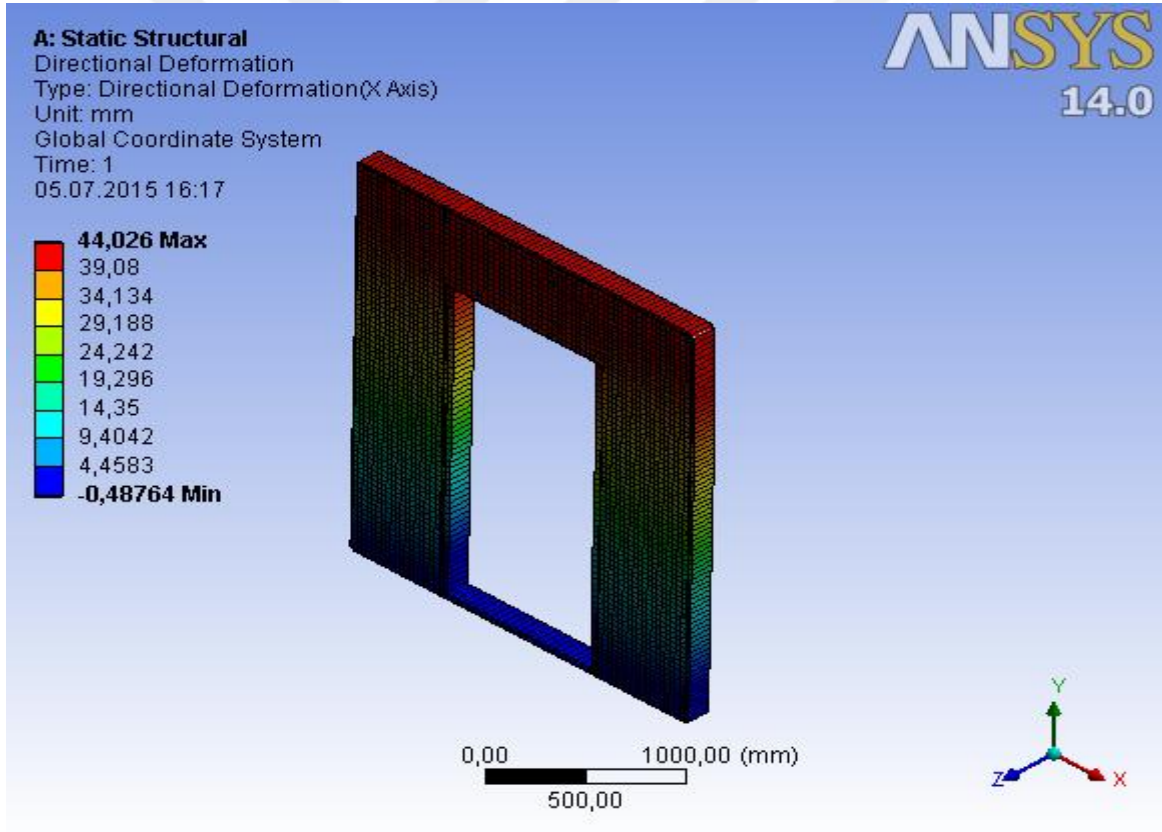


Şekil 7.6. Model-2'ye ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

Şekil 7.6'da yük-deplasman eğrisi incelendiğinde sonlu eleman ve test başlangıç rijitliklerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Maksimum deplasman

değerleri karşılaştırıldığında, deneysel çalışmada 18,594 kN maksimum yükleme sonucunda deney elemanının X yönünde 55,461 mm, sonlu eleman modelinde ise 20 kN yüklemede 44,026 mm deplasman değeri elde edilmiştir. Sonlu eleman modeli ile elde edilen maksimum deplasman değeri test maksimum deplasman değerini %79 oranında yakınsamaktadır. Sonlu eleman modelinde daha yüksek yüklemede daha düşük maksimum deplasman değeri elde edilmiştir. 20 kN yükleme sonrasında ankraj kısımlarında meydana gelen hasar sonucunda analiz yakınsama hatası vermiştir.

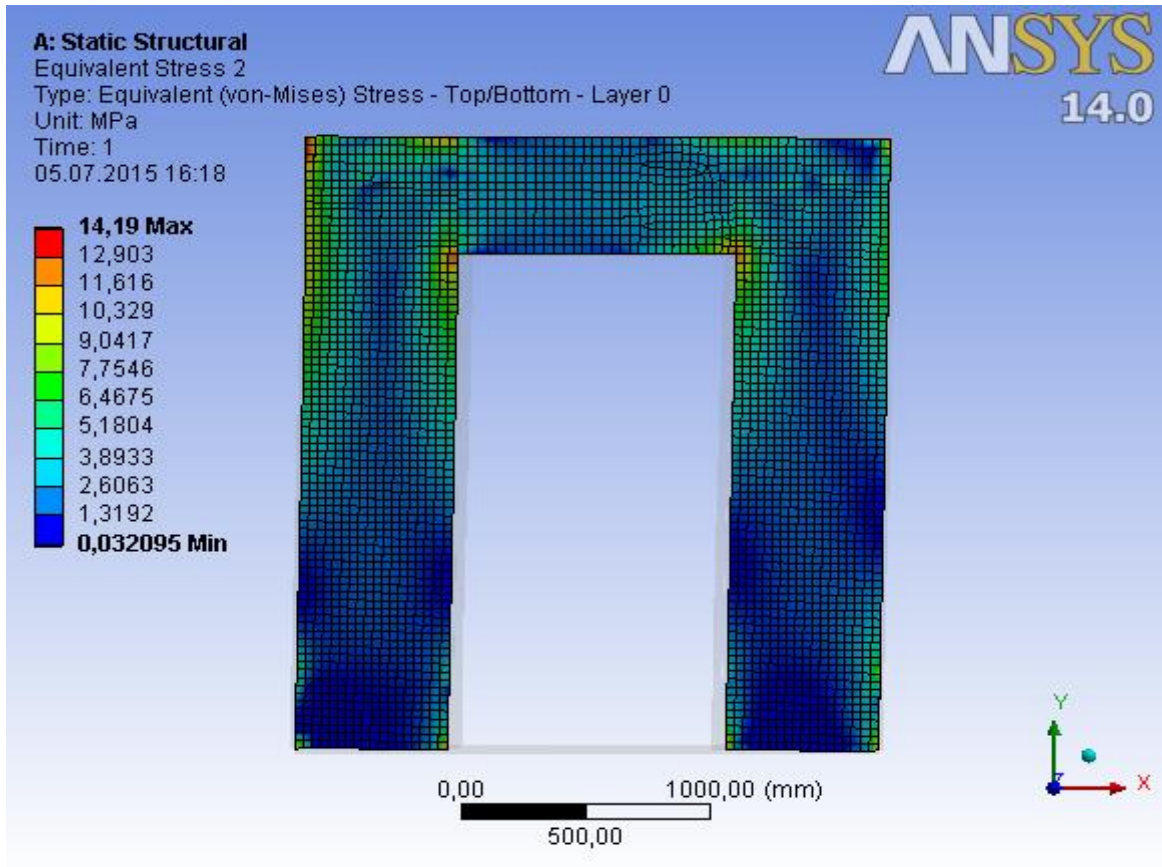
Modelin sonlu eleman analizinde elde edilen maksimum X yöndeki deplasman değeri Şekil 7.7’de görülmektedir. Kırmızı renk maksimum, mavi renk ise minimum deplasman değerini ifade etmektedir.



Şekil 7.7. Model-2’de meydana gelen deformasyonlar

Yatay yük altında deney elemanları üzerinde meydana gelen hasarlar sonlu eleman modelinde gerilme değerleri ile ifade edilmektedir. Duvar panellerinin kesmeye karşı dayanımını sağlayan OSB paneller üzerinde meydana gelen gerilmeler Şekil 7.8’de görülmektedir.

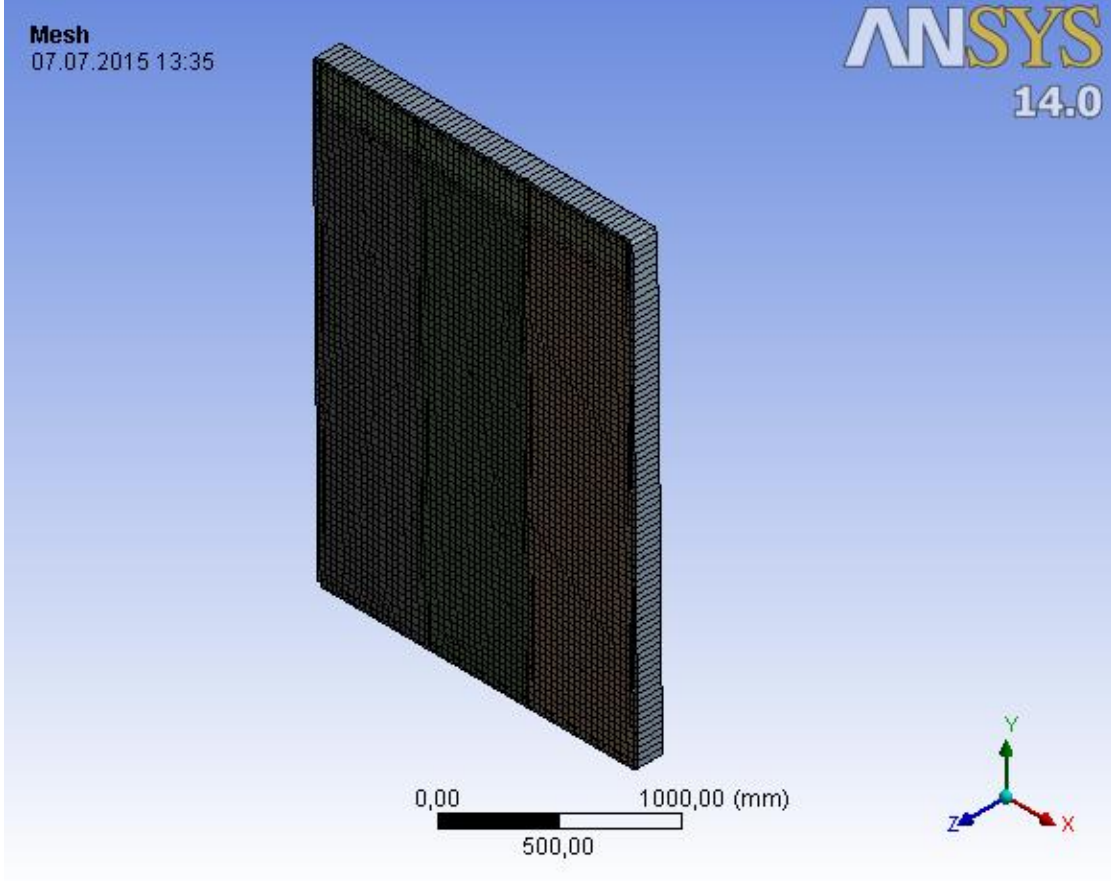
Şekil 7.8 incelendiğinde elemanlar üzerinde oluşan gerilme yığılımları alt ankraj kısımlarında ve kapı boşluğunun kenarlarında meydana gelmektedir. Deneyler esnasında panellerin alt kısımlarında ve boşluk kenarlarında meydana gelen gerilme yığılımlarından dolayı panel ayrılmaları, çivilerin panelleri ezmesi ve çivilerin çıkması gibi hasarlar meydana gelmektedir. Deneysel çalışmalarda görülen bu hasarlar sonlu eleman modelinde gerilmeler şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 7.8. Model-2'ye ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

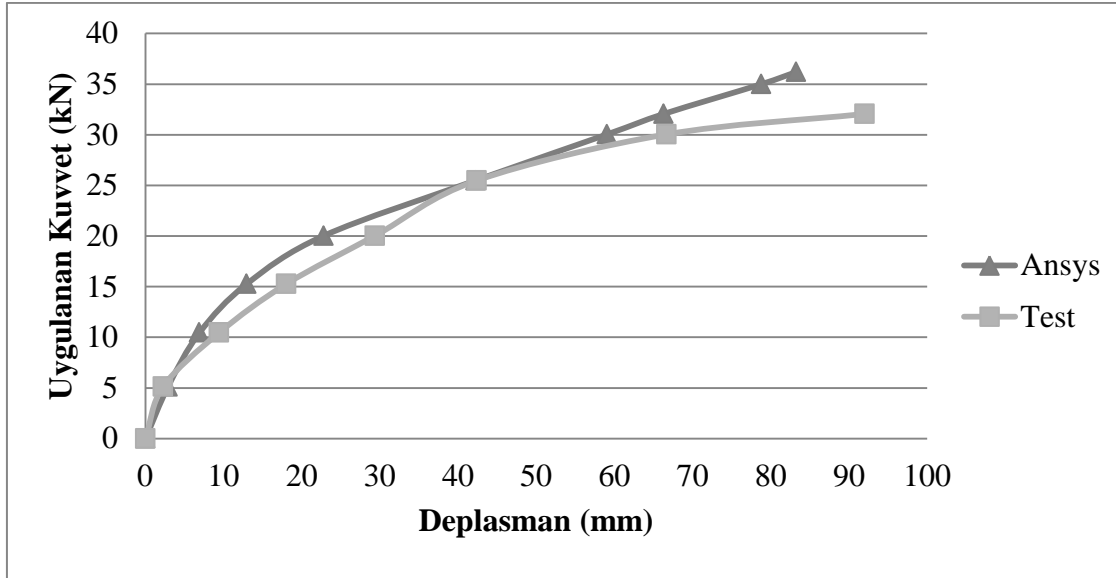
7.3. Model-3'e ait Nümerik Sonuçlar

Model-3 deney elemanı için 8258 mesh elemanı kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. Model-3 sonlu eleman modeli

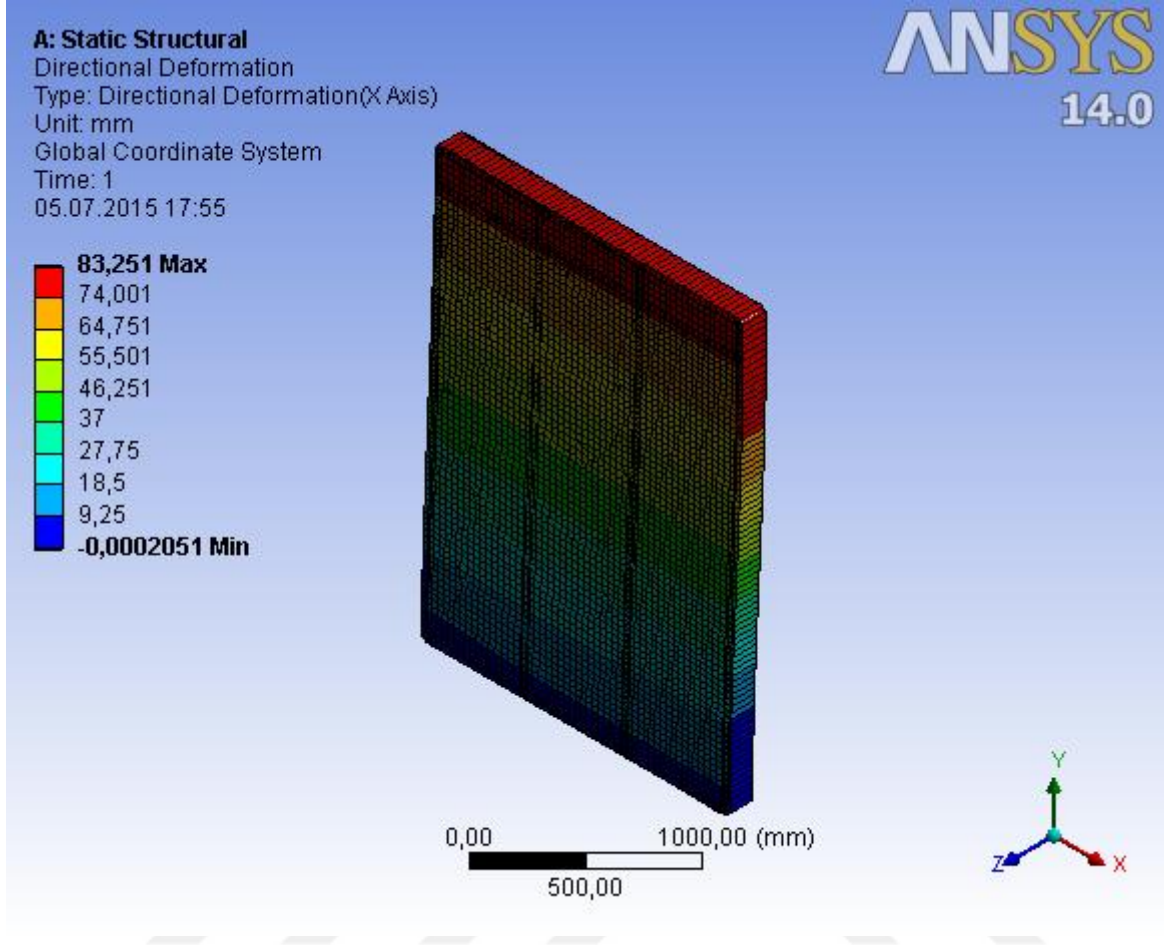
Yatay yüklemeler altında Model-3'ün deney ve sonlu eleman analizlerinden elde edilen yük-deplasman eğrileri karşılaştırılmıştır (Şekil 7.10).



Şekil 7.10. Model-3'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

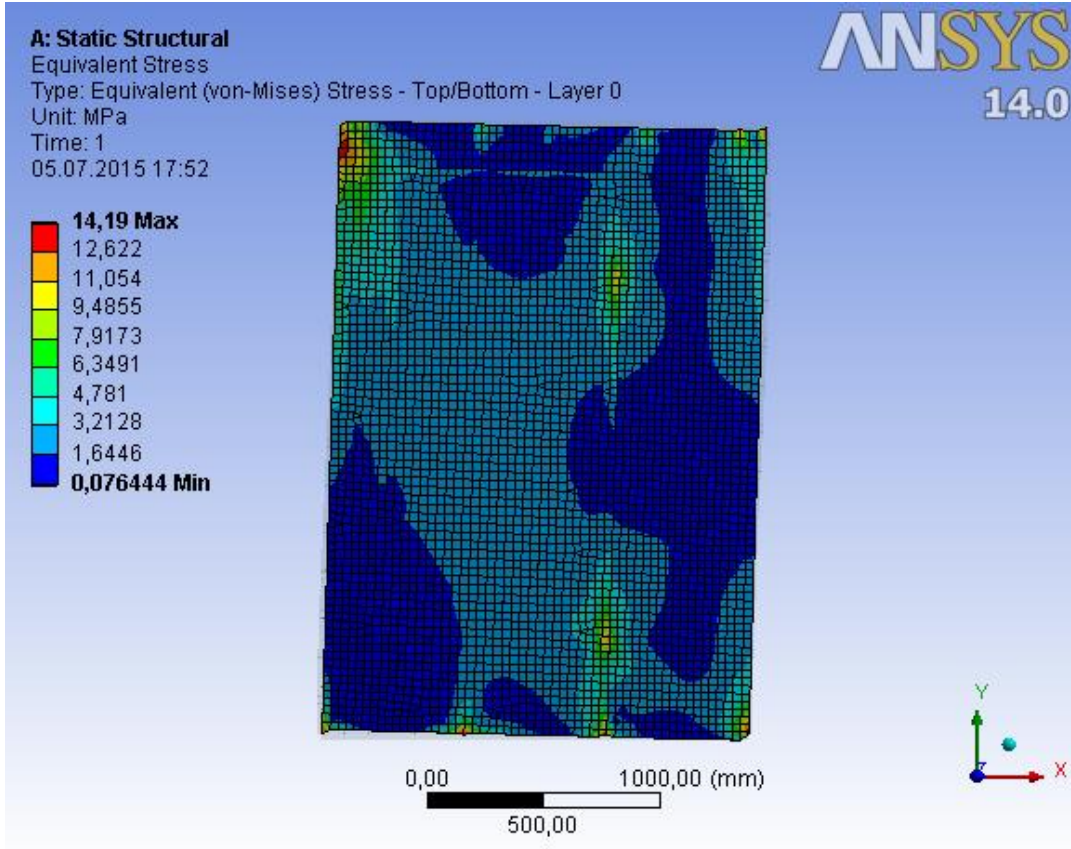
Şekil 7.10 verilen yük-deplasman eğrisi incelendiğinde başlangıç rijitliklerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve yükleme arttıkça sonlu eleman modelinin daha yüksek rijitlik sağladığı görülmektedir. Maksimum deplasman değerleri karşılaştırıldığında, deneysel çalışmada 32,059 kN maksimum yükleme sonucunda deney elemanının X yönünde 92,021 mm, sonlu eleman modelinde ise 36,2 kN yüklemede 83,251 mm deplasman değeri elde edilmiştir. Sonlu eleman modeli ile daha yüksek dayanım sağlanmakta olup daha düşük deplasman değeri elde edilmiştir. Sonlu eleman deplasman değeri ve testlerden elde edilen maksimum deplasman değeri arasında %90 oranında yakınlık sağlanmıştır. 36,2 kN yükleme sonrasında OSB panellerin ankraj kısımlarında meydana gelen hasar sonucunda analiz yakınsama hatası vermiştir. Analiz bu yükleme değerinde sonlandırılmıştır.

Modelin sonlu eleman analizinde X yönde yapmış olduğu deplasman Şekil 7.11'de görülmektedir. Kırmızı renk maksimum mavi renk ise minimum deplasman değerini ifade etmektedir.



Şekil 7.11. Model-3’de meydana gelen deformasyonlar

Yüklemeye altında deney elemanın üst sırasında X yönünde maksimum deplasman elde edilmiş olup kırmızı renk ile ifade edilmektedir. Yüklemeye arttıkça OSB panellerde deformasyonlar artmakta ve hasarlar meydana gelmektedir. Paneller üzerinde meydana gelen deformasyonlar sonlu eleman modelinde gerilmeler ile yorumlanmaktadır (Şekil 7.12) .



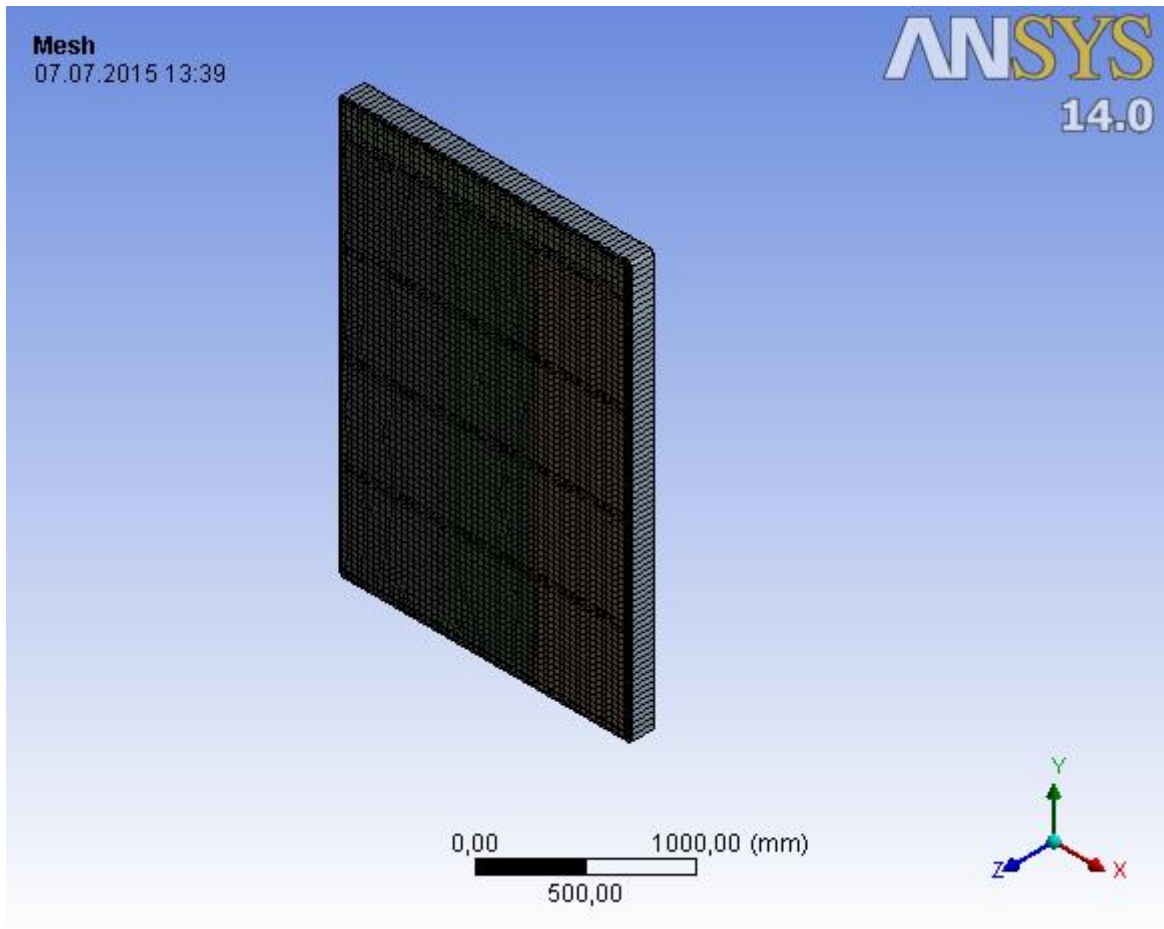
Şekil 7.12. Model-3'e ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

Şekil 7.12 incelendiğinde, deney elemanının zemin bağlantısının sağlandığı ankraj kısımlarında maksimum gerilme yığılmalarından dolayı bu kısımlarda OSB panellerin deformasyona uğradığı görülmektedir. Ayrıca deneysel çalışmalarda da bu kısımlarda OSB panellerde yırtılmaların ve çivi bağlantılarında meydana gelen deformasyonlardan dolayı kesme hasarlarının olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte OSB panellerin ebatlarından dolayı duvar panelinin yüzey kaplamalarında tek panel yeterli olmamaktadır. Bu duvar modelinde de iki ayrı panel kullanılmıştır. İki panelin birleşim kısımlarında

çerçeve-panel bağlantılarındaki çiviler, OSB panelleri ezerek panellerden ayrılmaktadır. Bu nedenle bu kısımlarda OSB paneller çerçeve elemanlardan ayrılmaktadır.

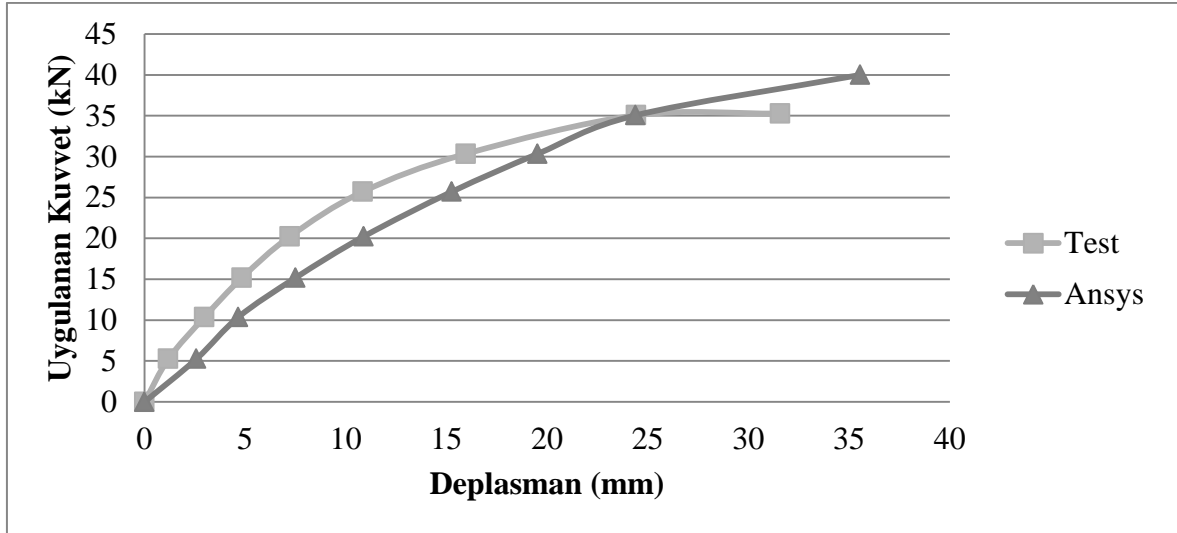
7.4. Model-4'e ait Nümerik Sonuçlar

Model-4 deney elemanı belirli aralıklarla yatay elemanlar kullanılarak güçlendirilmiştir. Bu duvar panelinin sonlu eleman modelinde 8393 eleman kullanılarak modellenmiştir (Şekil 7.13).



Şekil 7.13. Model-4 sonlu eleman modeli

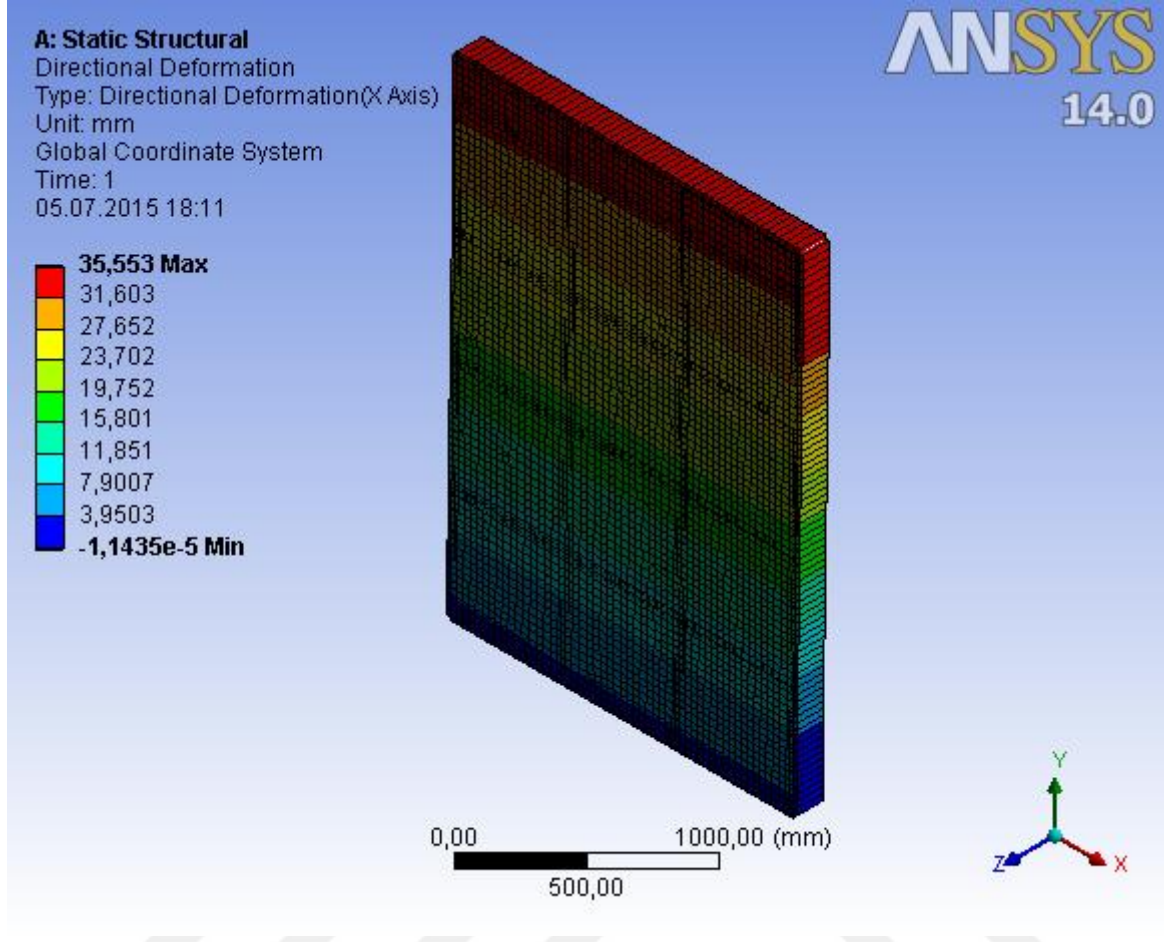
Model-4 deney elemanına ait test ve sonlu eleman analizlerinden elde edilen yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 7.14'te verilmiştir.



Şekil 7.14. Model-4'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

Model-4 deney elemanının sonlu eleman analizinde maksimum deplasman değeri testlerden elde edilen maksimum deplasman değerine göre daha yüksek elde edilmiş olup aralarındaki fark %12'dir. Deneysel çalışmada eleman maksimum 35,227 kN yüklemde 31,575 mm deplasman yaparken sonlu eleman analizinde maksimum 40kn yüklemde 35,553 mm deplasman yapmaktadır. Deney elemanı sonlu eleman modelinde daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir.

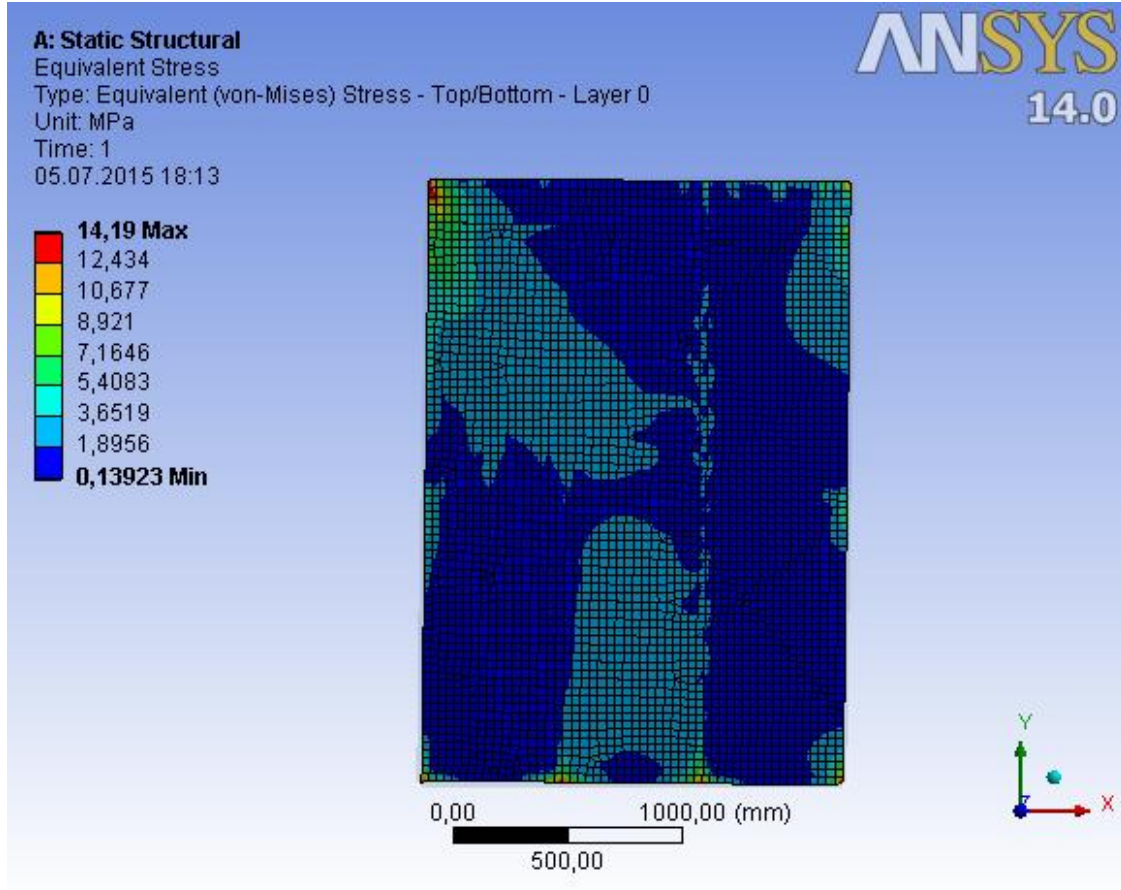
Sonlu eleman analizinden elde edilen Model-4 elemanının maksimum yüklemde X yönündeki deformasyonu Şekil 7.15'de görülmektedir. Deney elemanı diğer modellerde olduğu gibi maksimum deplasmanı üst kısımlarda göstermektedir. Maksimum yüklemde deney elemanın alt kısımlarında deplasmanlar minimum seviyede olup OSB panellerin deplasman seviyeleri daha yüksektir.



Şekil 7.15. Model-4’de meydana gelen deformasyonlar

Deney elemanının deplasman yapması, OSB paneller ve çerçeve-panel arasındaki bağlantı elemanlarında meydana gelen hasarlara bağlıdır. Model-4 deney elemanında meydana gelen deformasyonlar gerilme yığılmaları ile değerlendirilmekte olup, OSB paneller üzerinde meydana gelen gerilmeler Şekil 7.16’da görülmektedir.

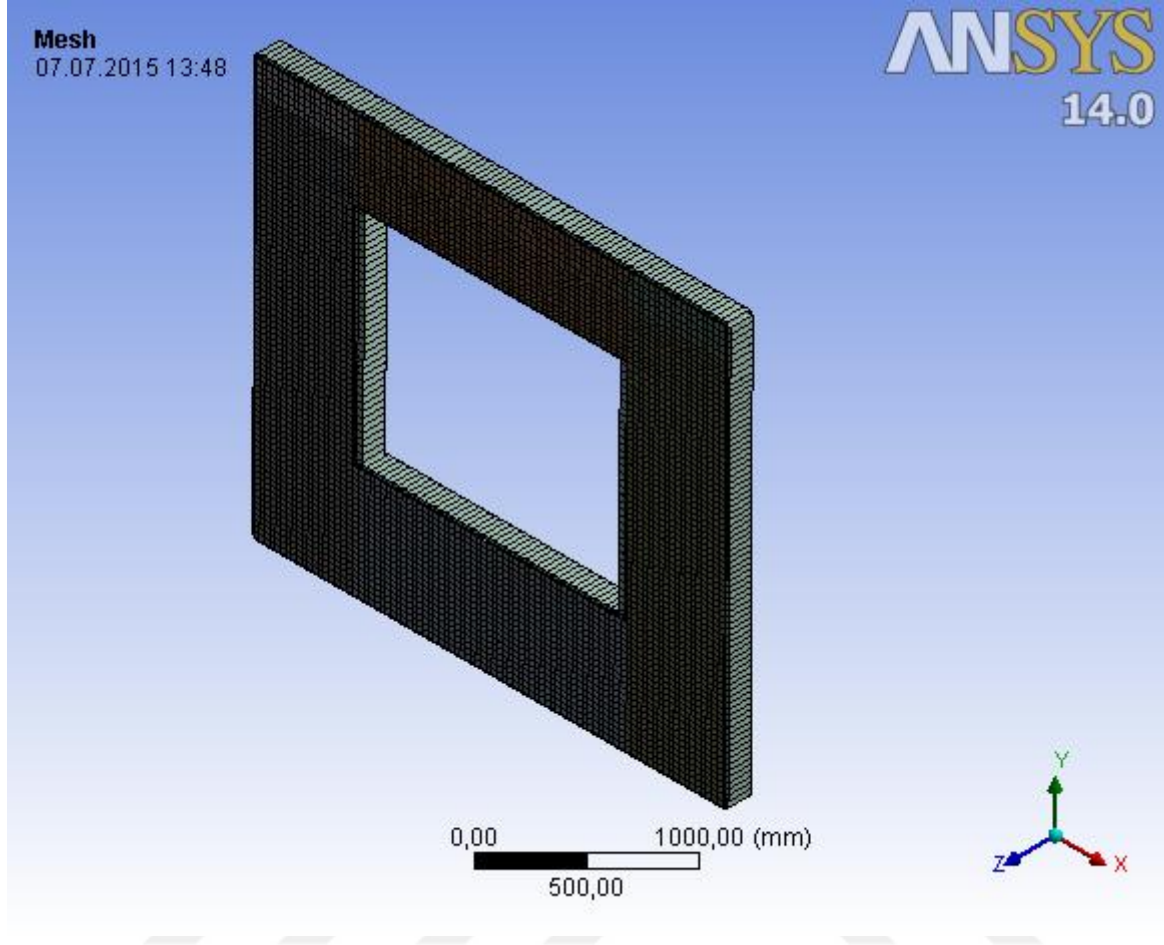
Şekil 7.16 incelendiğinde OSB paneller üzerinde gerilme yığılmalarının alt bağlantı kısımlarında meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca Model-3’de olduğu gibi Model-4’te de iki panelin birleşim kısımlarında deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu kısımlarda OSB paneller çivilerden kurtularak çerçeve elemanlardan ayrılmaktadır. Ayrıca OSB panellerin gerilme-deformasyon eğrilerinden elde edilen ve malzeme özellikleri kısmında tanımlanan maksimum basınç gerilmesine ulaşınca ($14,19 \text{ N/mm}^2$) sonlu eleman modelinde analiz durmaktadır.



Şekil 7.16. Model-4'e ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

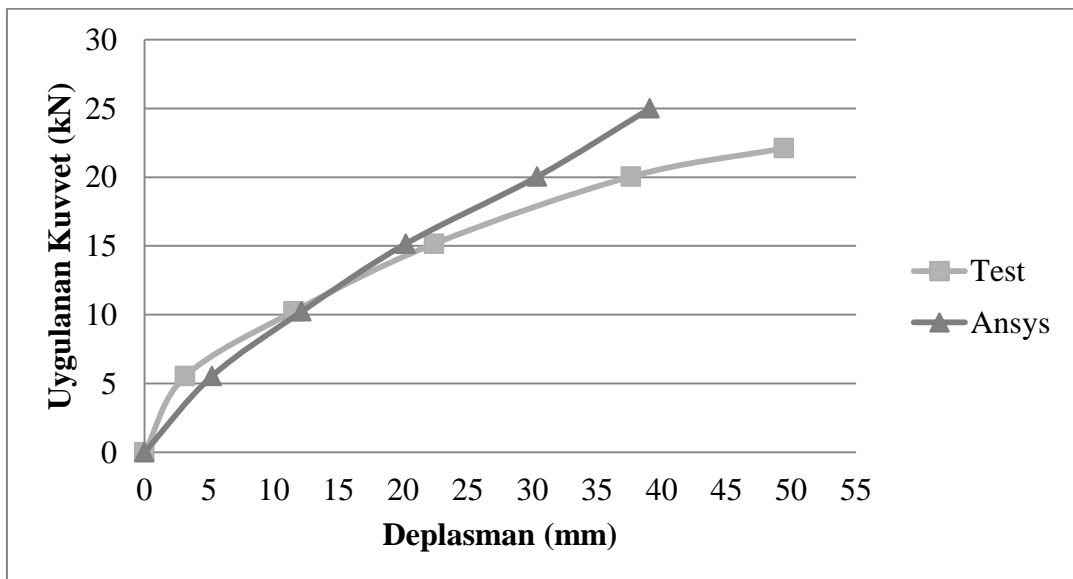
7.5. Model-5'e ait Nümerik Sonuçlar

Model-5 deney elemanı 1600x1400 mm ebatlarında pencere boşluğuna sahip olup, 10134 mesh elemanı kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 7.17).



Şekil 7.17. Model-5 sonlu eleman modeli

Açıklığa sahip duvar elemanının deney ve sonlu eleman analizi ile elde edilen yatay yük taşıma kapasiteleri ve deplasman özellikleri karşılaştırılmıştır (Şekil 7.18).

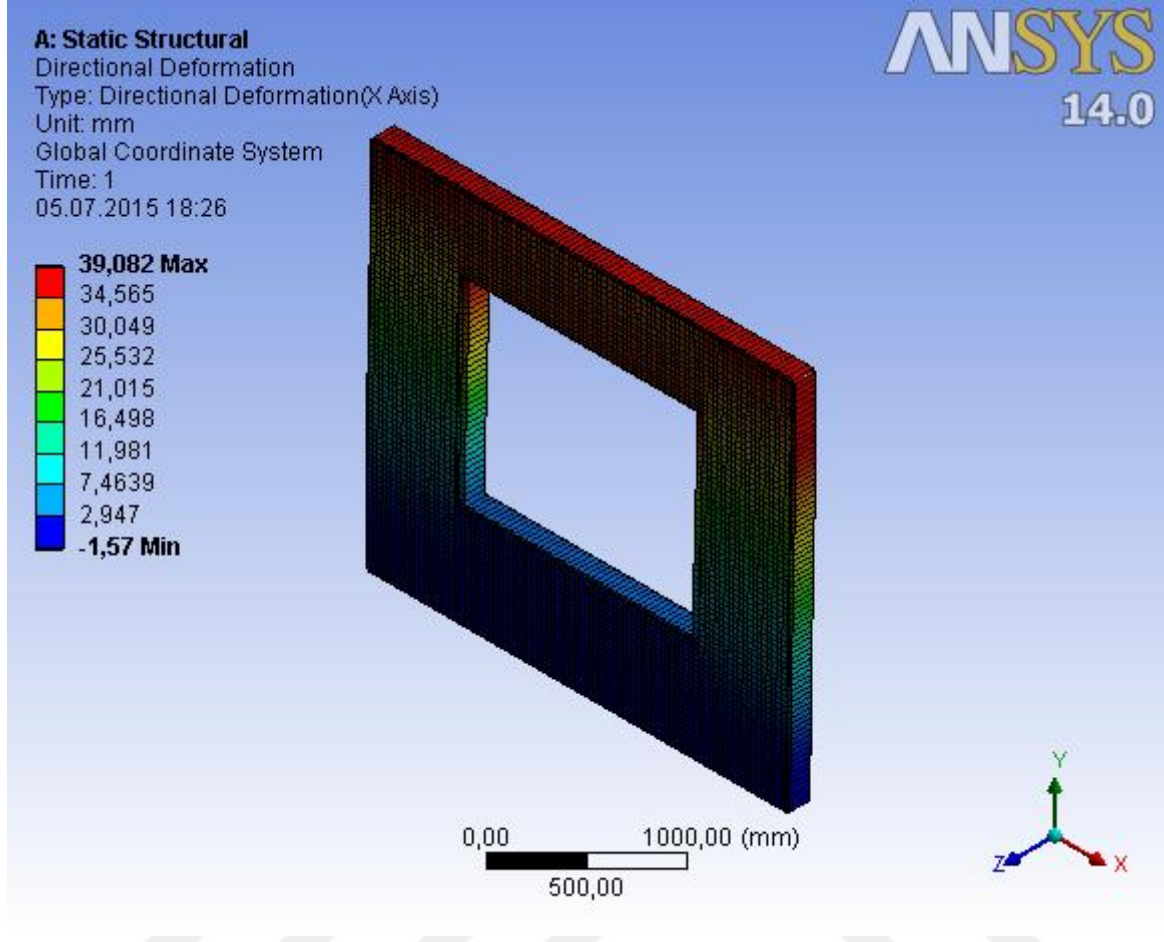


Şekil 7.18. Model-5'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

Şekil 7.18 incelendiğinde, duvar panelinin ilk yüklemeye başlangıç rijitliğinin daha yüksek olduğu fakat yükleme arttıkça duvar elemanlarında meydana gelen deformasyonlardan dolayı rijitliklerinin azaldığı görülmektedir. Sonlu eleman modelinde daha düşük deplasman değeri elde edilmiştir. Deneysel çalışmada deney elemanının maksimum yük taşıma kapasitesi 22,109 kN olup 49,443 mm deplasman yaptığı, sonlu eleman analizinde ise maksimum yük taşıma kapasitesi 25 kN olup 39,082 mm deplasman yaptığı gözlemlenmiş ve %79 oranında deneysel çalışmayı yakınsamıştır. Oluşan %21 lik farkın deneysel çalışmada çivilerin rijitliklerini kaybetmesi sonucu OSB paneller çivilerden ayrılmış ve düşük yüklemelerde büyük deformasyonlar elde edilmiştir. Sonlu eleman modellerinde çivilerin rijitlikleri EC-5'te ifade edilen eşitliklerle hesaplanmış ve yüksek yüklemelerde K_u değeri kullanılmıştır. Fakat bu durumun açıklığa sahip duvar elemanlarında yeterli gelmediği görülmektedir.

Model-5 modeline ait maksimum deplasman değerinin deney elemanı üzerinde dağılımı Şekil 7.19'da görülmektedir. Duvar paneli yatay yük altında üst sıralarda maksimum deplasman yapmakta olup, alt kısımlarda zemin bağlantılarından dolayı minimum deplasman yapmaktadır.

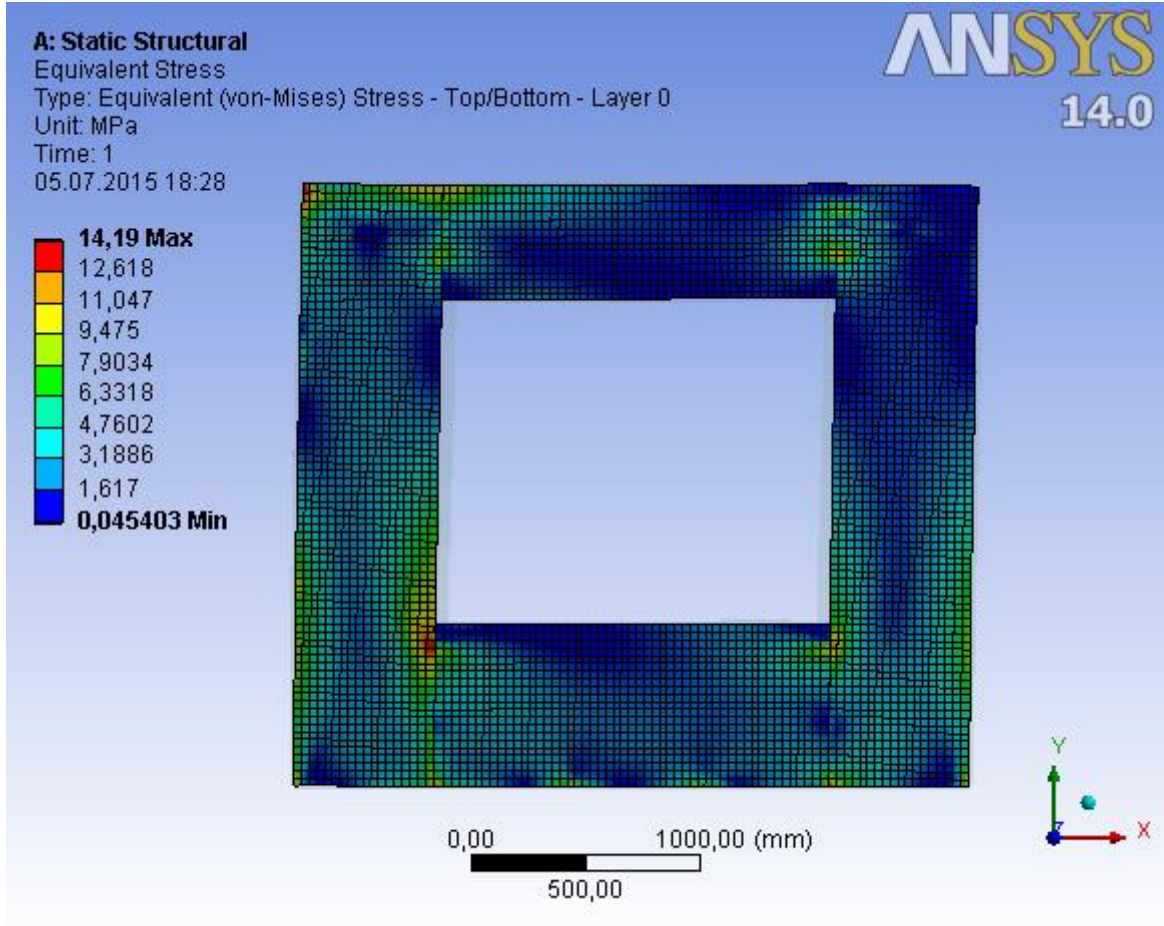
Geleneksel yapılarda (ör, konut, ofis vb), duvar elemanlarının büyük bir kısmı bir veya birkaç kapı veya pencere boşluğuna sahiptir. Açıklıklar, köşelerde meydana gelen gerilmelerin neden olduğu ek problemlerle birlikte yapının rijitliğini azaltmaktadır. Geçmişte yapılan birçok çalışmada farklı yapıların yük taşıma kapasiteleri üzerine açıklıkların etkisi tartışılmıştır.



Şekil 7.19. Model-5’de meydana gelen deformasyonlar

Maksimum yükleme altında açıklığa sahip Model-5 elemanı üzerinde meydana gelen deformasyonlar sonlu eleman analizinde gerilme yığılmaları ile yorumlanmaktadır (Şekil 7.20).

Deneysel çalışmada model üzerinde büyük deformasyonlar ve hasarlar meydana gelmiştir. Şekil 7.20 incelendiğinde, deneysel çalışmalarda pencere kenarlarında meydana gelen gerilme yığılmalarından dolayı OSB panellerinin yırtıldığı, çivilerin panelleri ezerek çıktığı ve çivilerde deformasyonların meydana geldiği görülmektedir. Sonlu eleman analizinde bu durum deneysel çalışmadaki gibi net bir şekilde görülmemekte ve bu bölgelerde meydana gelen gerilmeler ile yorumlanmaktadır. Sonlu eleman modelinde pencere kenarlarında ve alt bağlantı kısımlarında maksimum gerilmeler elde edilmiştir. bu durum duvar panelinin rijitliğini azaltmış ve yatay yük taşıma kapasitesini etkilemiştir.

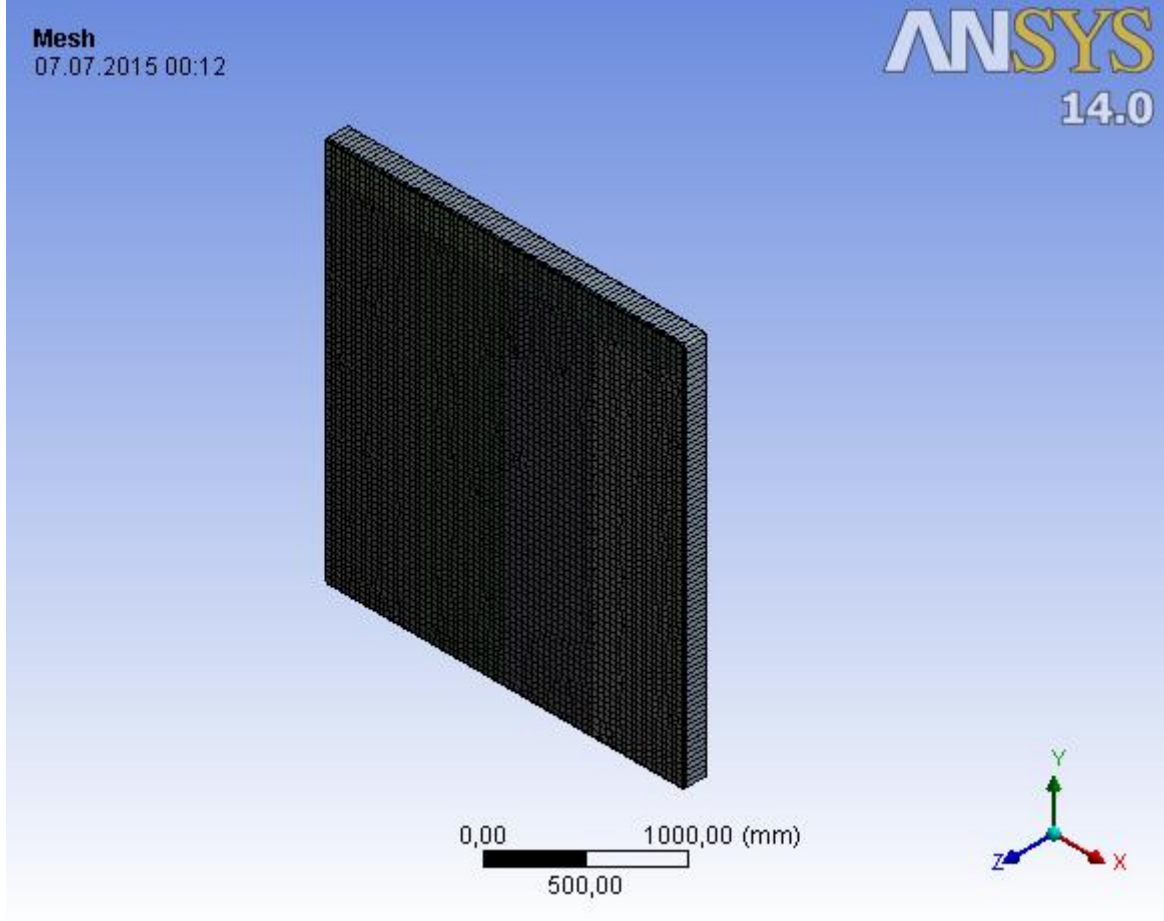


Şekil 7.20. Model-5'e ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

7.6. Model-6'ya ait Nümerik Sonuçlar

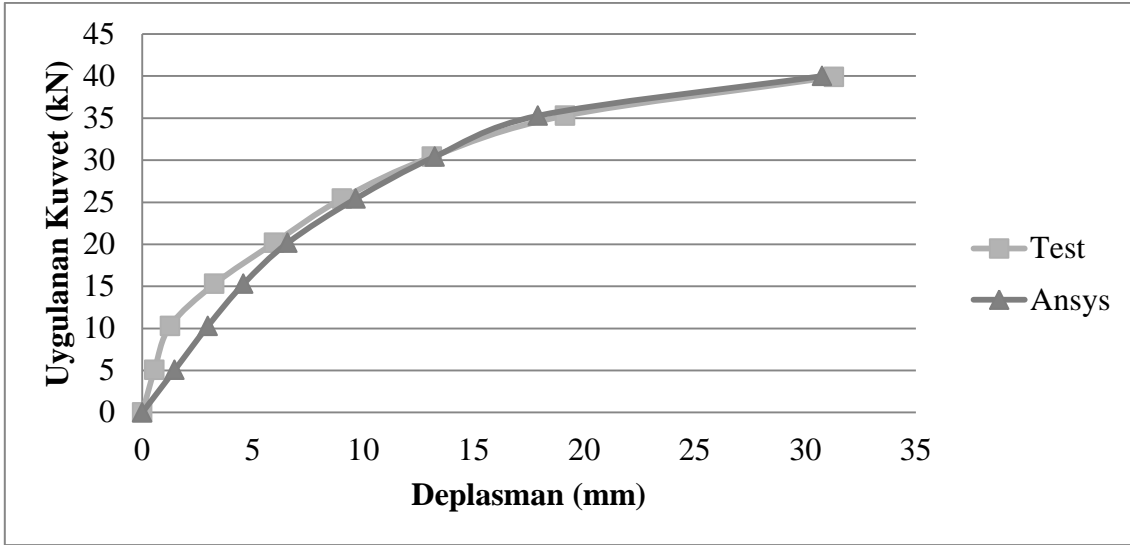
Model 6 deney elemanı OSB paneller ve çerçeve elemanlar için 40 mm mesh boyutu ile 10154 eleman kullanarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 7.21). Duvar panelin alt kısmından beş farklı noktadan sabit mesnet ile zemin bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Yükleme ise sol üst köşeden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca panelin düzlem dışı davranışlarını

engellemek için en üst yatay kısımda ve OSB panellerde x,y ve z yönlerinde dönmeler engellenmiştir.



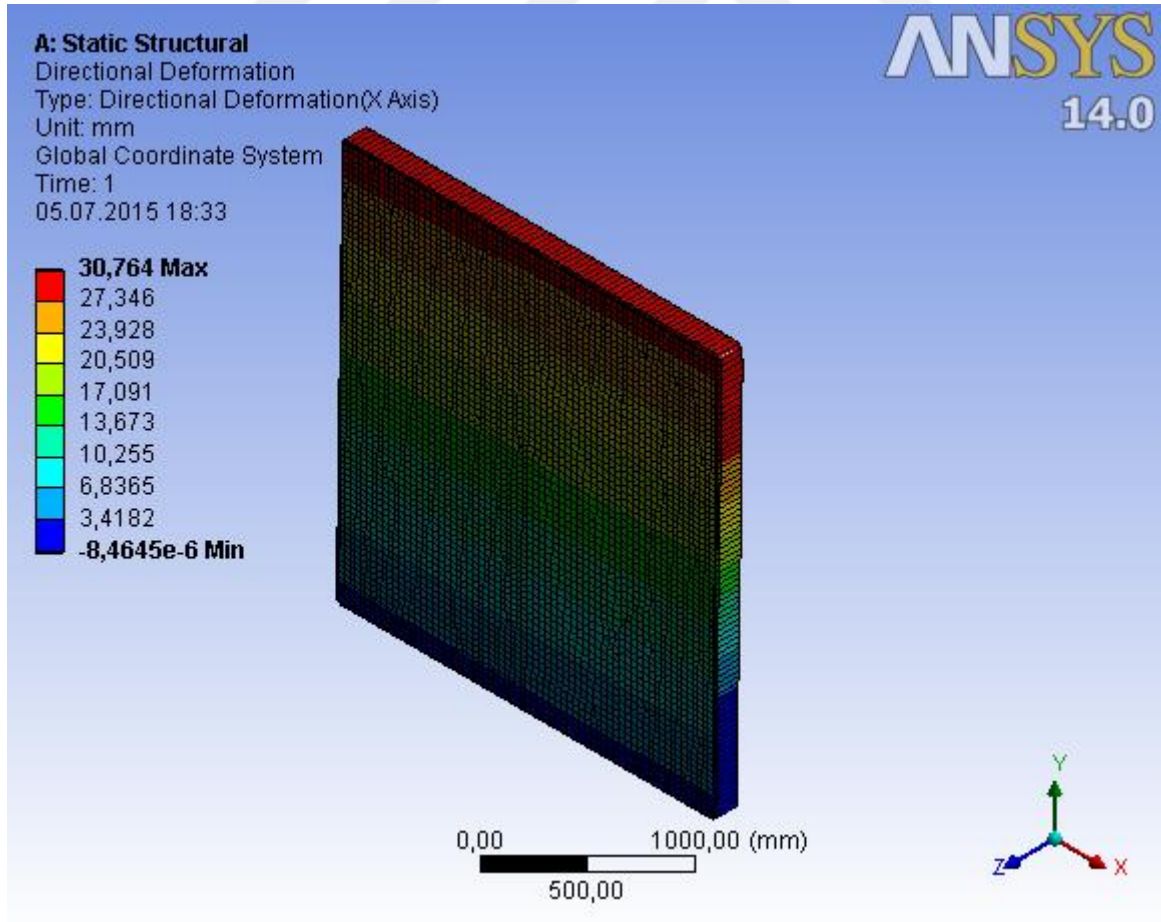
Şekil 7.21. Model-6 sonlu eleman modeli

Deney elemanının deney ve sonlu eleman analizlerinde yüklemeler altında meydana gelen deplasmanları karşılaştırılmıştır (Şekil 7.22.). Yük-deplasman eğrileri incelendiğinde, sonlu eleman modeli ile deney modeli arasında oldukça yüksek korelasyon elde edilmiştir. Deneysel çalışmada maksimum 39,891 kN yükte, 31,299 mm deplasman değeri elde edilirken, sonlu eleman modelinde maksimum 40 kN yükte 30,764 mm deplasman elde edilmektedir. Sonlu eleman ve deney deplasman değerleri arasında %98 oranında bir uyum söz konusu olmaktadır. Deney modelinin başlangıç rijitlikleri daha yüksek olmakla birlikte 20kN ve sonrası yüklemelerde sonlu eleman modeli ile neredeyse eşit sayılmaktadır.



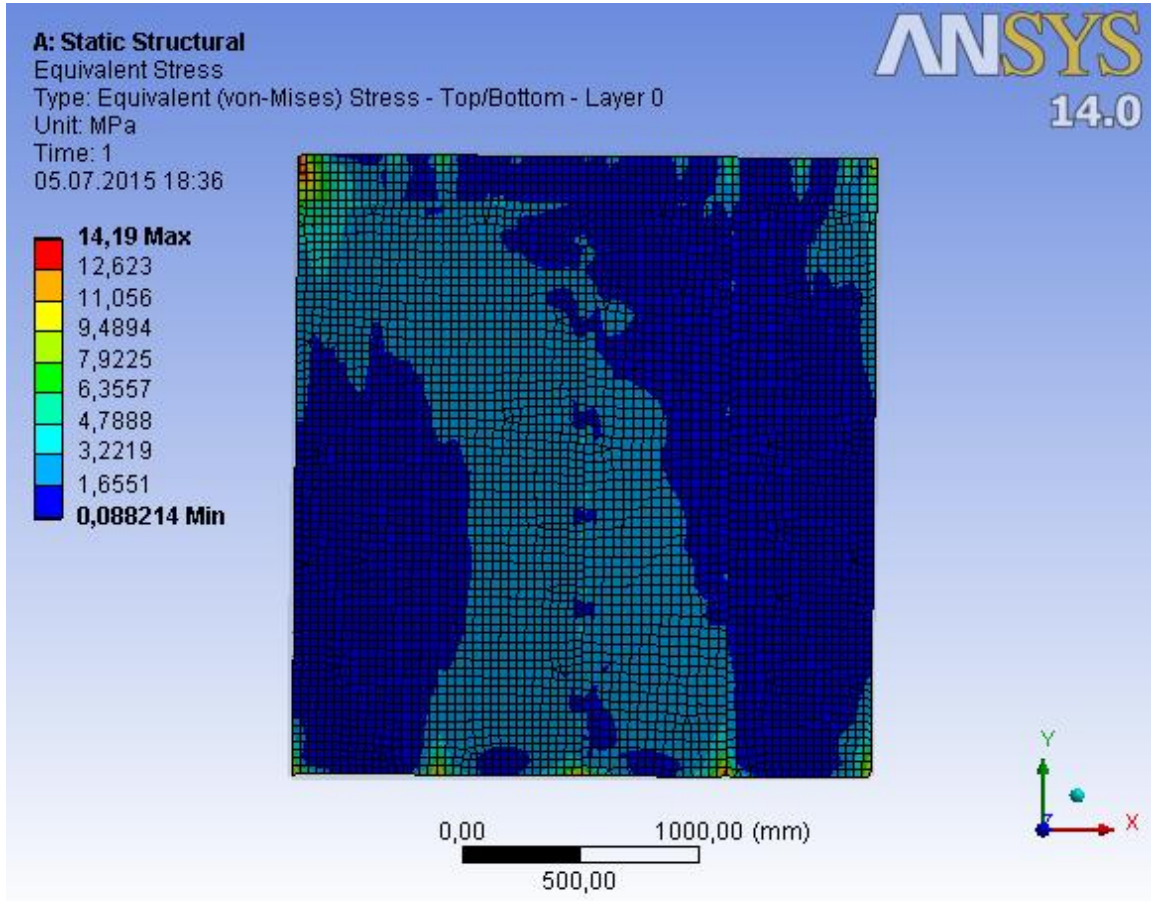
Şekil 7.22. Model-6'ye ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

Deney elemanının maksimum yükte meydana gelen deplasman değerleri Şekil 7.23'de görülmektedir.



Şekil 7.23. Model-6'da meydana gelen deformasyonlar

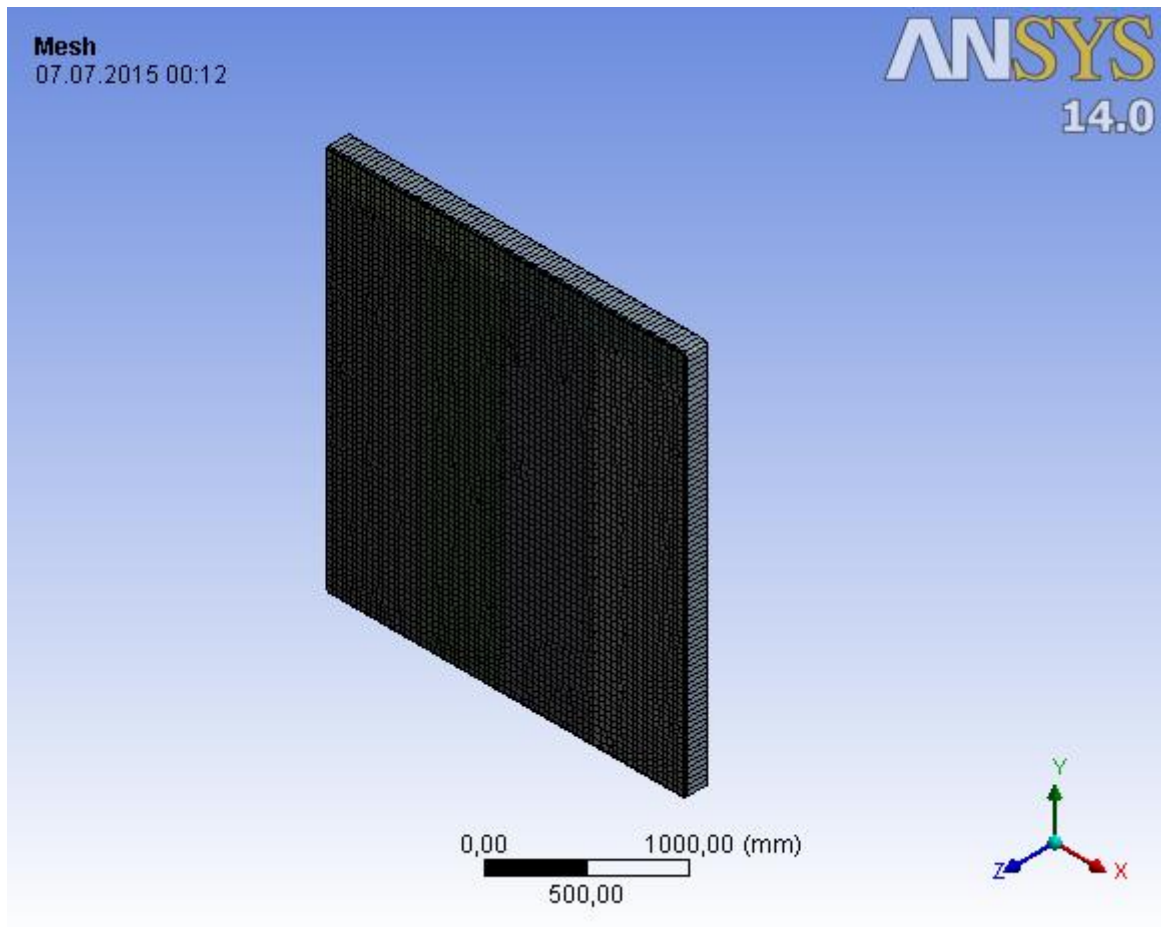
Yüklemeler altında OSB paneller üzerinde meydana gelen deformasyonlar alt ankraj kısımlarında meydana gelmektedir (Şekil 7.24). Ankraj malzemeleri ile panel arasında kayma meydana geldiği için aşırı çekme gerilmesinden dolayı panelde yırtılmalar meydana gelmektedir. Ayrıca paneller üzerinde diyagonal şekilde kesme deformasyonları meydana gelmektedir.



Şekil 7.24. Model-6'ya ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

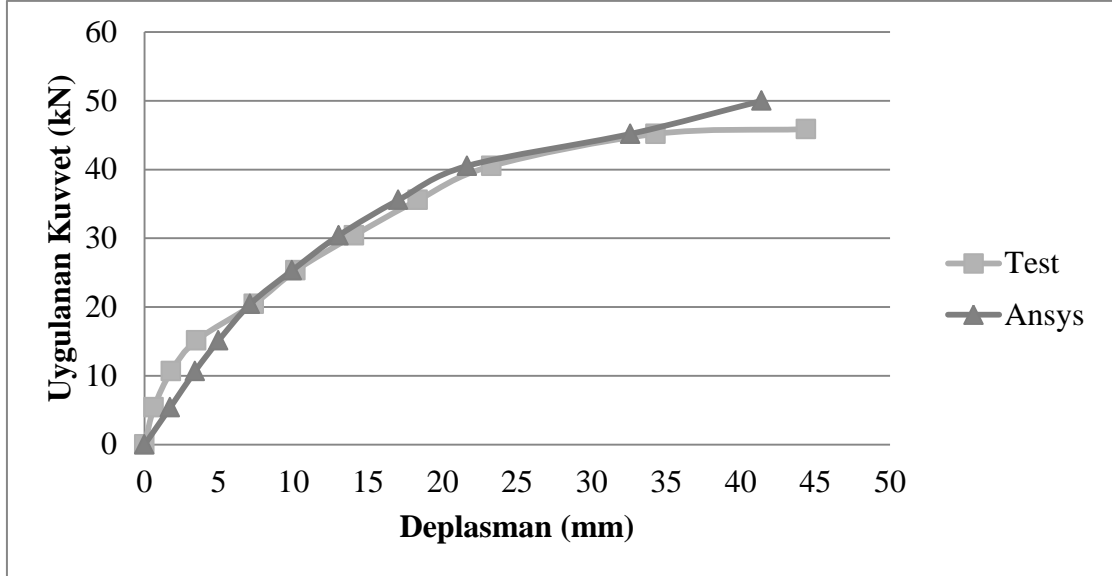
7.7. Model-7'ye ait Nümerik Sonuçlar

Model-7 deney elemanı Model-6 ile aynı ölçülerde olup iki model arasındaki tek fark Model-7 deney elemanında yatay güçlendirme elemanları bulunmaktadır. Duvar panelin sonlu eleman modeli 40 mm mesh kullanılarak 10375 elemandan oluşmaktadır (Şekil 7.25). Deney elemanı alt kısımlardan beş farklı noktadan sabit mesnet ile mesnetlenmiştir. Yükleme sol üst kısımdan gerçekleştirilmiş ve düzlem dışı hareketler kısıtlanmıştır.



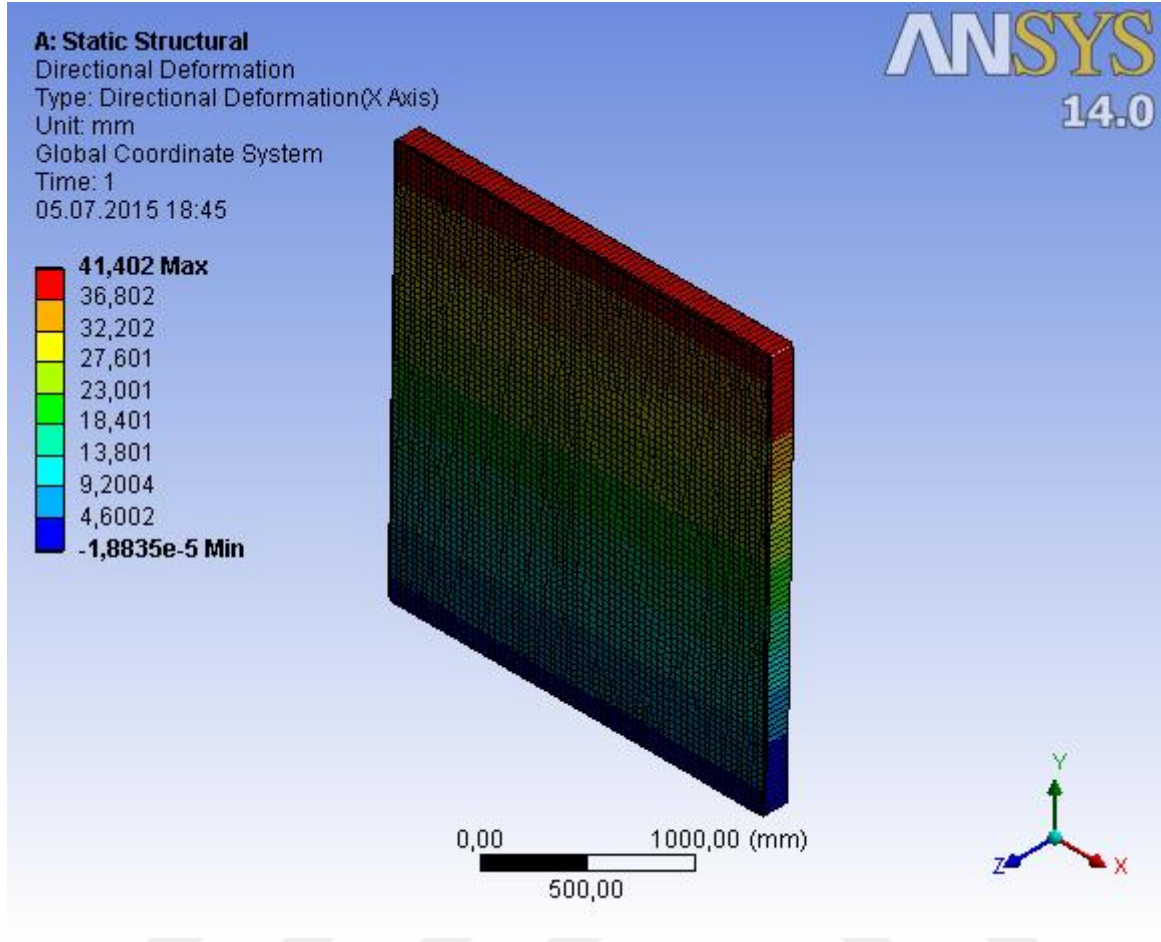
Şekil 7.25. Model-7 sonlu eleman modeli

Yatay yüklemeler altında Model-7'nin deney ve sonlu eleman analizlerinden elde edilen yük-deplasman eğrileri karşılaştırılmıştır (Şekil 7.26).



Şekil 7.26. Model-7'ye ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

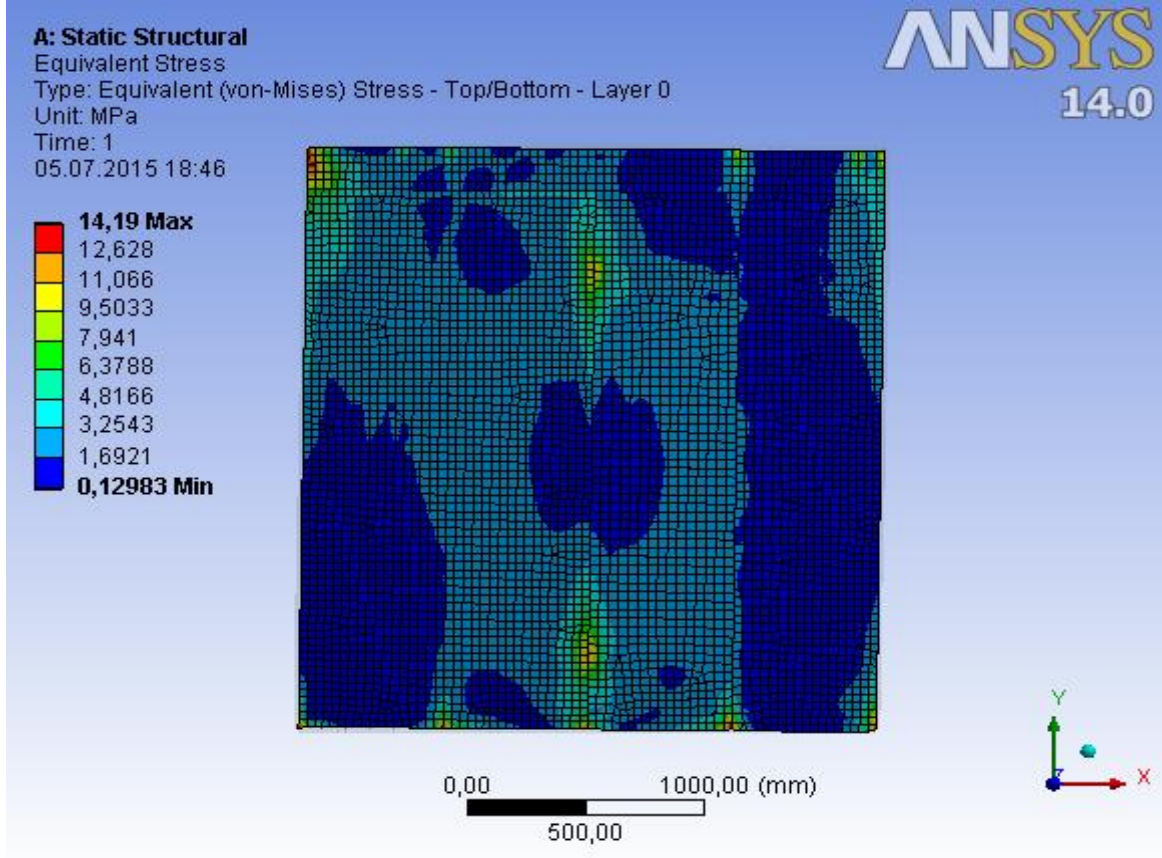
Boşluksuz ve yatay güçlendirme elemanları bulunan duvar panellerinin sonlu eleman modeli ile deney modeli arasında oldukça yakın bir uyum söz konusudur. Deney modelinde maksimum 45,871 kN yük taşıyan eleman 44,374 mm deplasman yapmakta, sonlu eleman modelinde ise 50 kN yük taşıyarak 41,402 mm deplasman yapmakta ve %93 oranında deney modeline yakınlık sağlamaktadır. Her iki modelin yük-deplasman eğrileri başlangıç yüklemeleri hariç çakışmaktadır. Sonlu eleman analizinde elemanın maksimum yüklemde X yönündeki maksimum deformasyon üst kısımlarda görülmektedir (Şekil 7.27).



Şekil 7.27. Model-7’de meydana gelen deformasyonlar

Deney elemanları üzerinde oluşan hasar dağılımları gerilme değerleri ile yorumlanabilmektedir. Model-7’de meydana gelen gerilmeler Şekil 7.28’de gösterilmektedir.

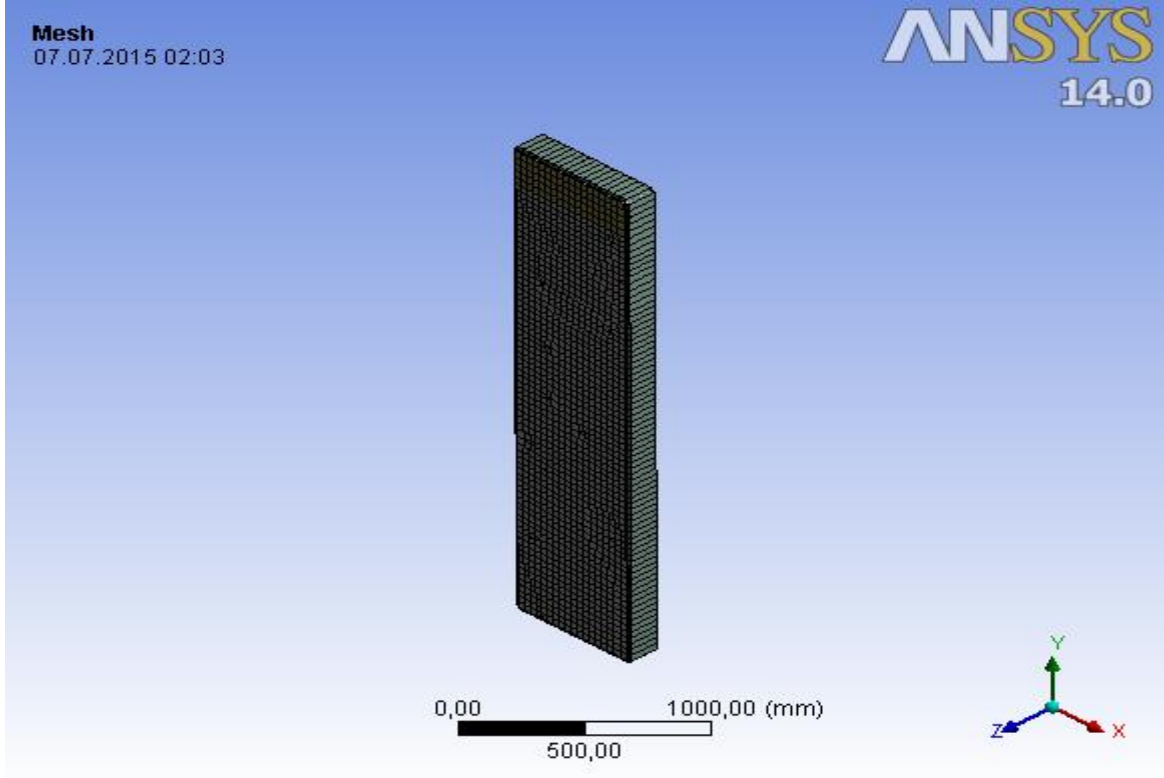
Deney elemanının ankraj kısımlarında oluşan gerilmeler sonucunda OSB panellerde yırtılmalar meydana gelmiştir. Ayrıca yükleme artışı ile çiviler OSB panellerden kurutulmak istemekte panelleri ezerek çıkmaktadır. Bu durum özellikle iki ayrı panelin birleşim noktalarında meydana gelmektedir. Kesme gerilmelerinden dolayı panel köşeleri deforme olmaktadır.



Şekil 7.28. Model-7'ye ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

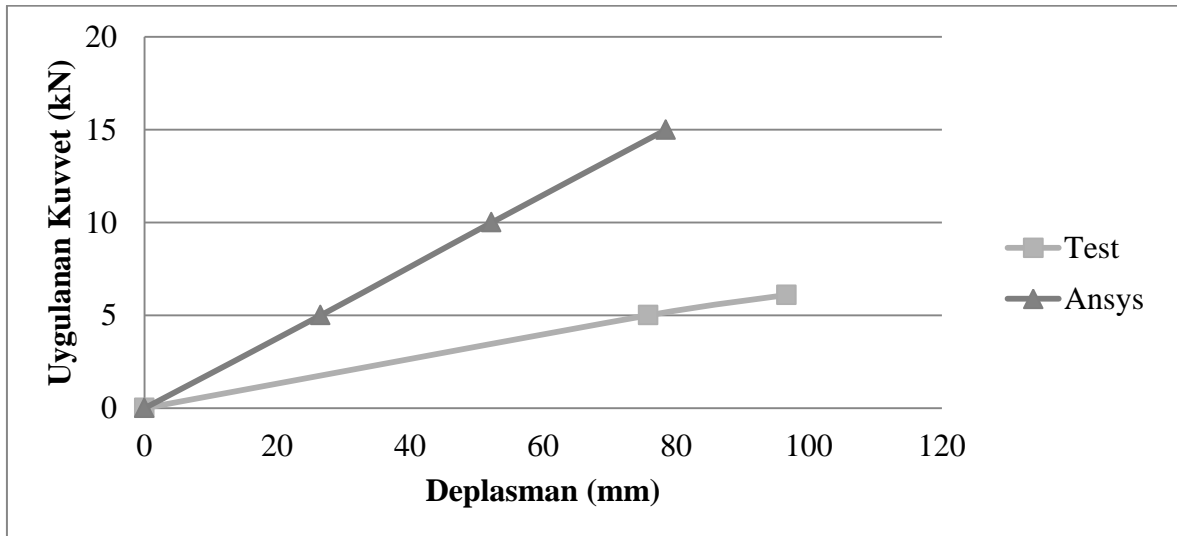
7.8. Model-8' e ait Nümerik Sonuçlar

Model-8 en küçük boyutlara sahip duvar modeli olup, 2969 mesh elemanı kullanılarak sonlu eleman modeli gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.29). İki noktadan desteklenmiş olup çerçeve ve panel elemanın bütün yönde dönmelerine sıfır yazılarak düzlem dışı davranışları engellenmiştir.



Şekil 7.29. Model-8 sonlu eleman modeli

Duvar modeline ait test ve sonlu eleman modeli yük-deplasman eğrileri Şekil 7.30'da verilmektedir.

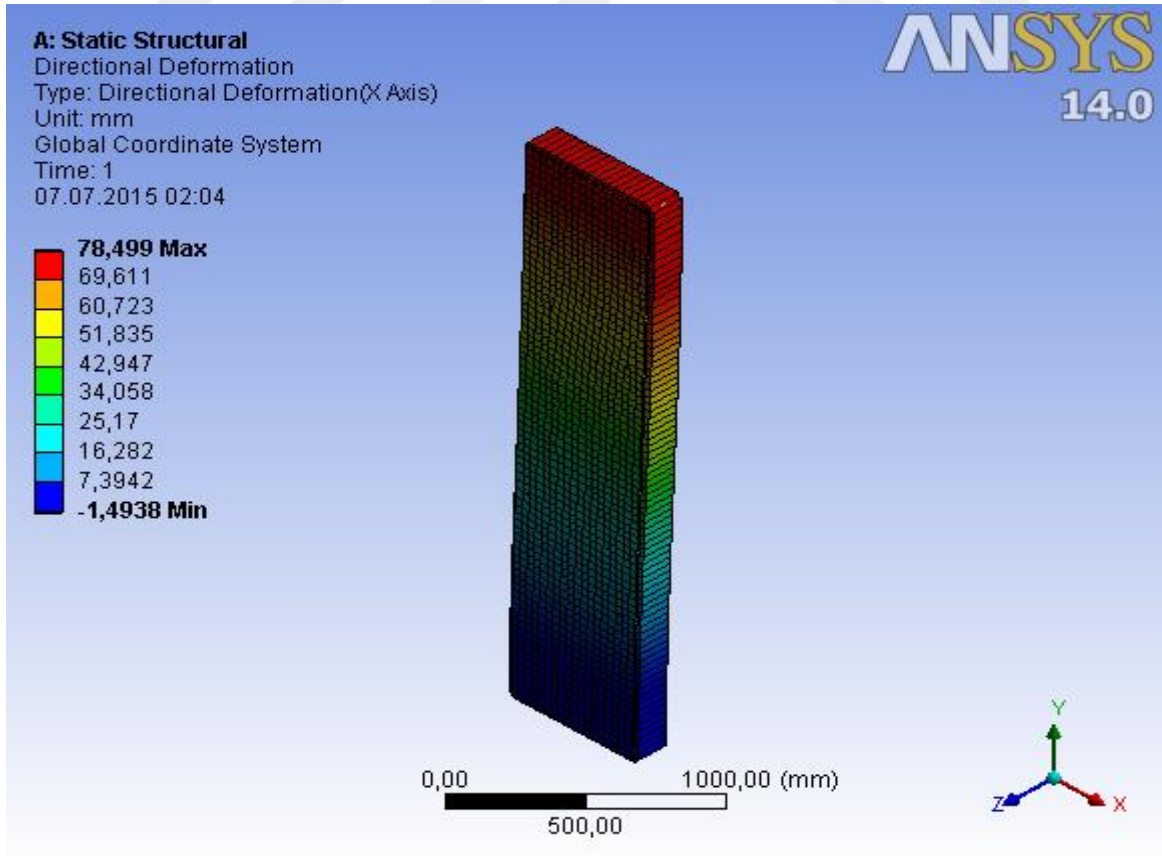


Şekil 7.30. Model-8'e ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

Sonlu eleman analizlerinde duvar modeli teste göre daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir. Deneysel çalışmada başlangıç rijitliği oldukça düşük elde edilmiştir. Duvar

elemanı deneyler sırasında maksimum 6,099 kN yüke dayanarak 96,643 mm deplasman yapmıştır. Sonlu eleman analizinde ise 15 kN yükleme koşullarında 78,499 mm deplasman yapmıştır. Sonlu eleman modeli ile elde edilen deplasman değeri deneysel çalışmada elde edilen değere %81 oranında yaklaşmıştır. Deney elemanında meydana gelen kat deplasmanları Şekil 7.31’görülmektedir.

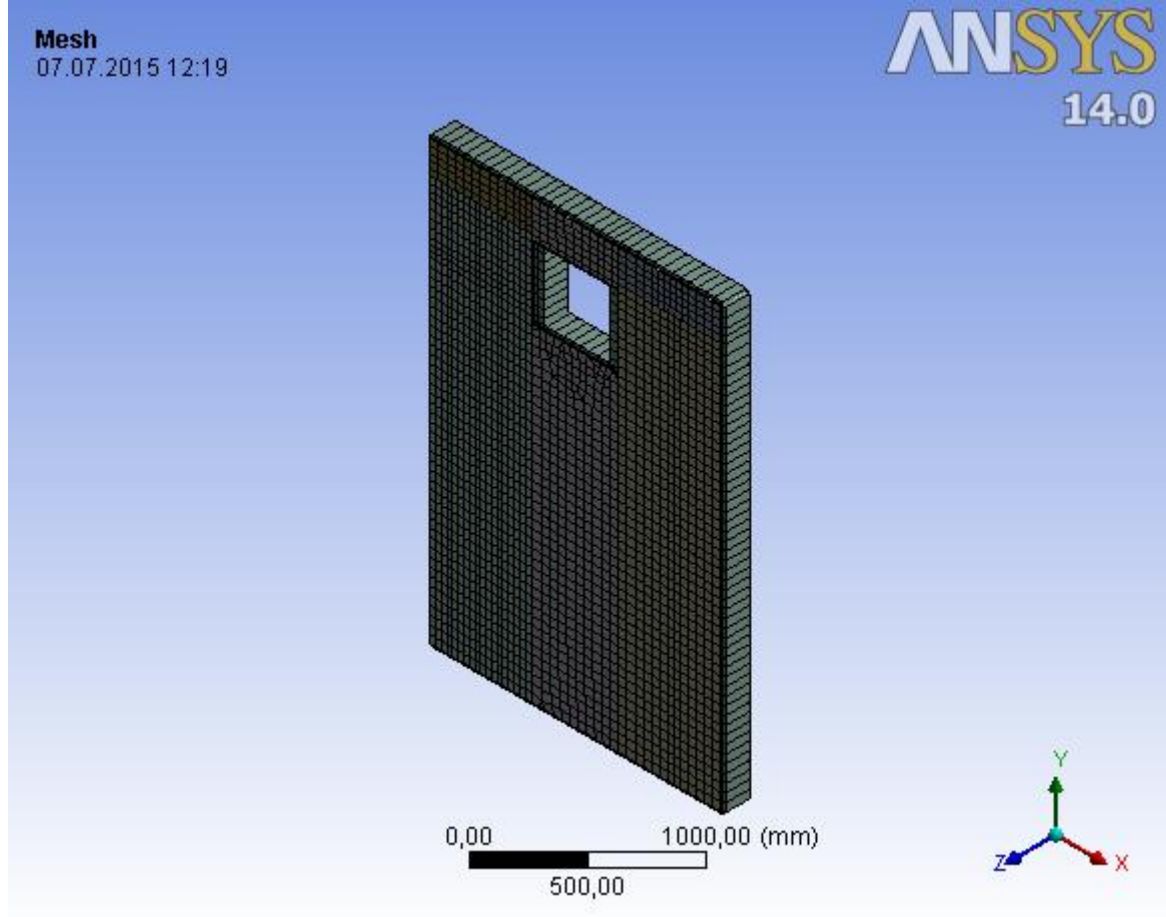
En/boy oranı oldukça düşük olan Model-8’de OSB paneller üzerinde deformasyonlar meydana gelmemiştir. Sadece alt sıra ankraj kısımlarında gerilme yığılmaları meydana gelmiş fakat panellerde çatlak veya yırtılma gibi hasarlar oluşmamıştır. Fakat eleman boyuna göre eninin çok küçük değerlere sahip olması nedeniyle alt bağlantı kısımlarında eğilmeden dolayı çerçeve elemanlarda deformasyonlar meydana gelmiştir. Deney elemanının bu kısımlarında çerçeve elemanlarda ayrılmalar gözlemlenmiştir. Sonlu eleman modelinde çerçeve eleman bütün bir beam elemanı olarak modellenmiş olup dikmelerin birleştirilmesinde kullanılan bağlantı elemanları modellenmemiştir. Bu nedenle bu kısımda oluşan deformasyonlar noktasal bazda gerilme yığılmaları ile ifade edilebilmektedir.



Şekil 7.31. Mode-8’de meydana gelen deformasyonlar

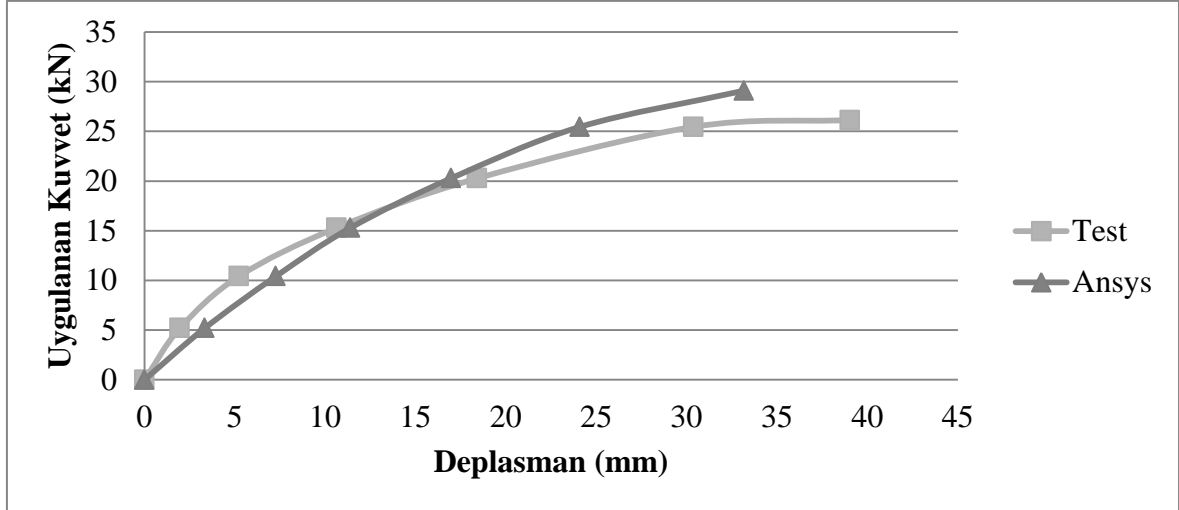
7.9. Model-9'a ait Nümerik Sonuçlar

Model-9 küçük pencere açıklığına sahip duvar elemanı olup 4814 eleman kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 7.32). Duvar elemanının alt kısımdan 4 farklı noktadan zemin ile bağlantısı gerçekleştirilmiştir.



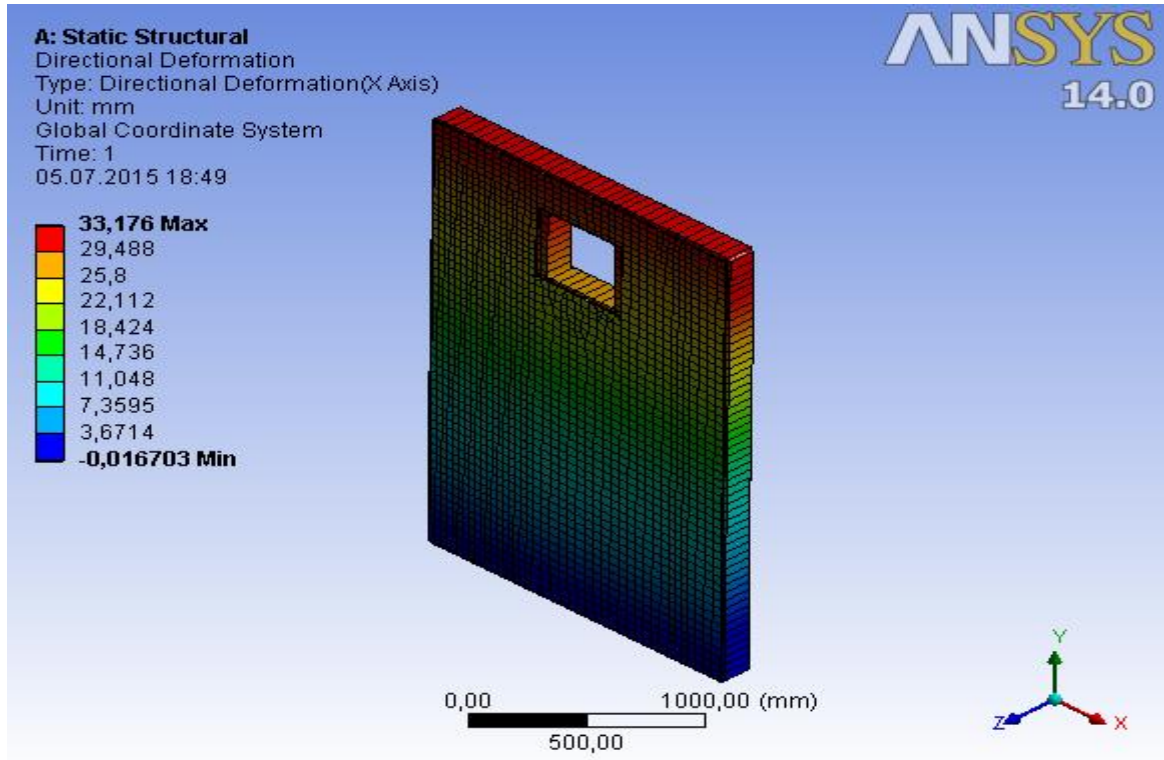
Şekil 7.32. Model-9 sonlu eleman modeli

Model-9'a ait sonlu eleman analizi ve deney sonuçları ile elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 7.33'de karşılaştırılmıştır.



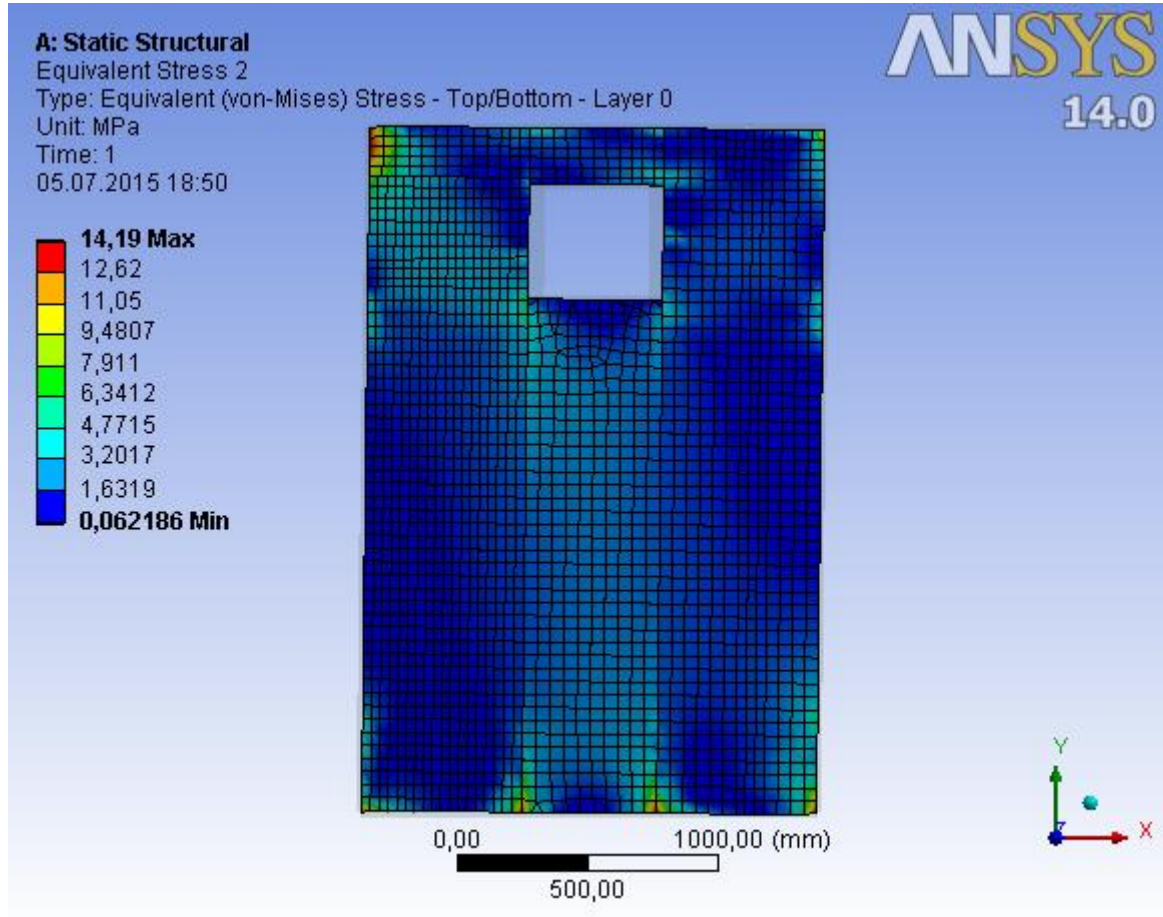
Şekil 7.33. Model-9'a ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

Şekil 7.33 incelendiğinde, sonlu eleman eğrisinin test eğrisini takip ettiği ve daha yüksek dayanımda daha düşük deplasman yaptığı görülmektedir. Deney elemanı testlerde maksimum 266,139 kN yüklemde 39,033 mm deplasman yaparken, nümerik analizlerde 29,1 kN yüklemde 33,176 mm deplasman yapmaktadır. Bu durumda deplasman değerleri arasındaki yakınlık %84 oranındadır. Maksimum yüklemde deney elemanının yapmış olduğu deplasman Şekil 7.34'de görülmektedir.



Şekil 7.34. Model-9'da meydana gelen deformasyonlar

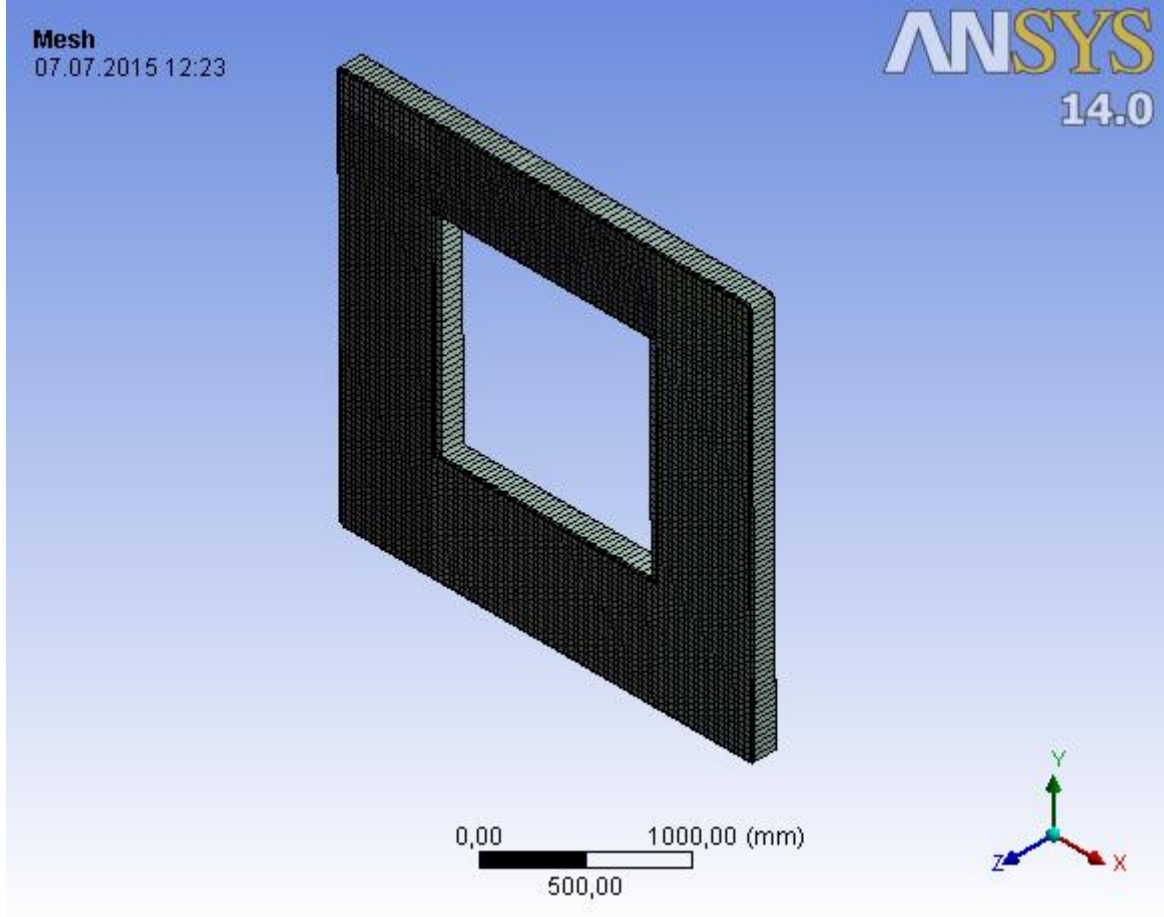
Diğer açıklıklı yapıya sahip duvar elemanlarında olduğu gibi Model-9'da gerilme yığılmaları ve çatlaklar açıklık kenarlarında ve ankraj kısımlarında meydana gelmiştir (Şekil 7.35).



Şekil 7.35. Model-9'a ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

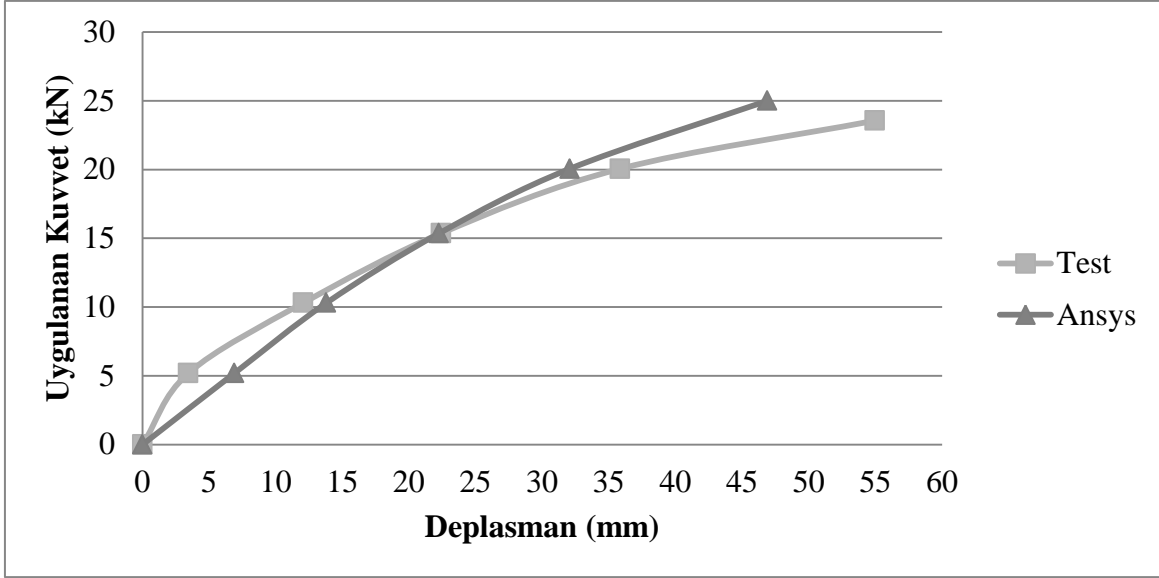
7.10. Model-10'a ait Nümerik sonuçlar

Model-10 elemanı 1400x1400 mm ölçülerinde pencere boşluğuna sahip olup sonlu eleman modelin 40 mm mesh ile 9632 eleman kullanılarak modellenmiştir (Şekil 7.36). Deney elemanın zemin bağlantısında alt kısımda dört farklı noktadan mesnetlenmiştir.



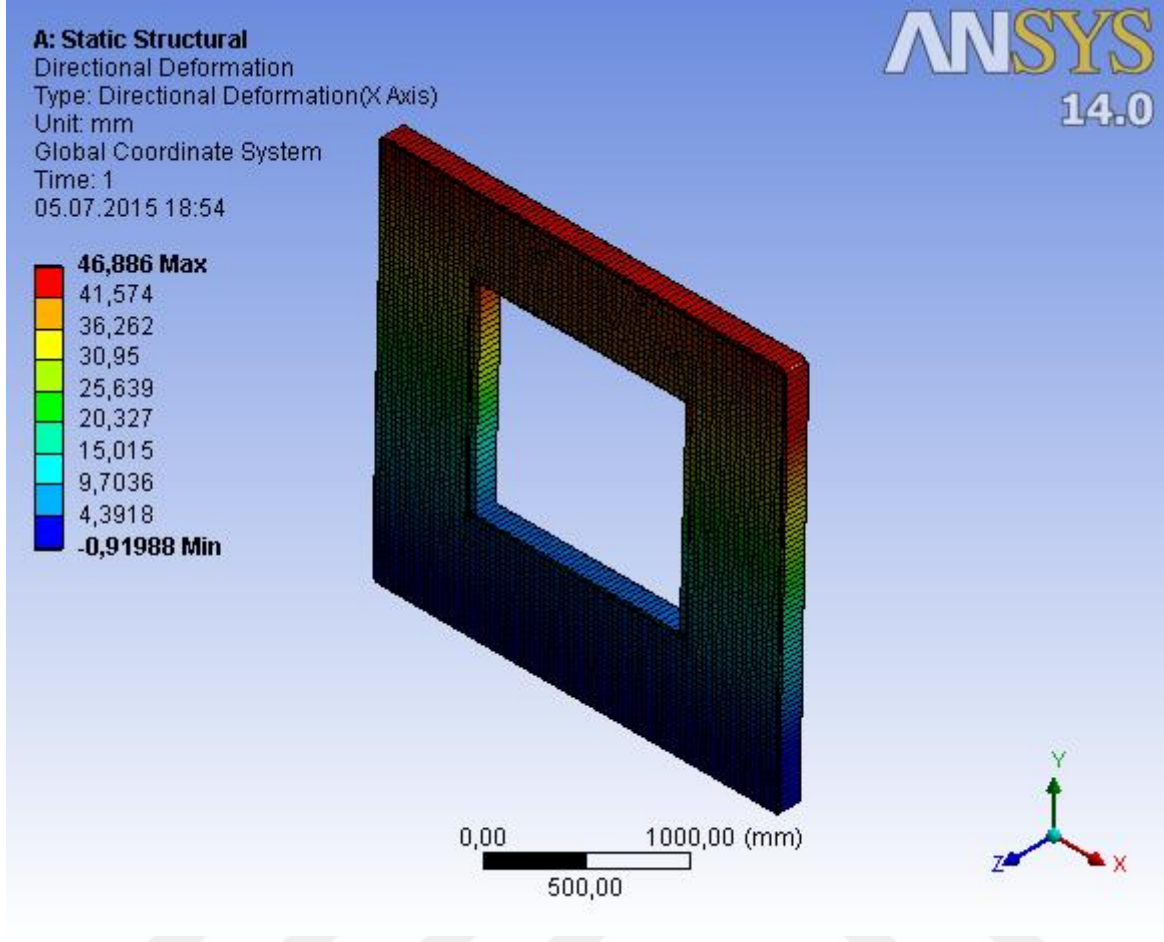
Şekil 7.36. Model-10 sonlu eleman modeli

Deney sonuçları ile sonlu eleman modelinden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiyi yorumlayabilmek için yük-deplasman eğrileri incelenmiştir (Şekil 7.37).



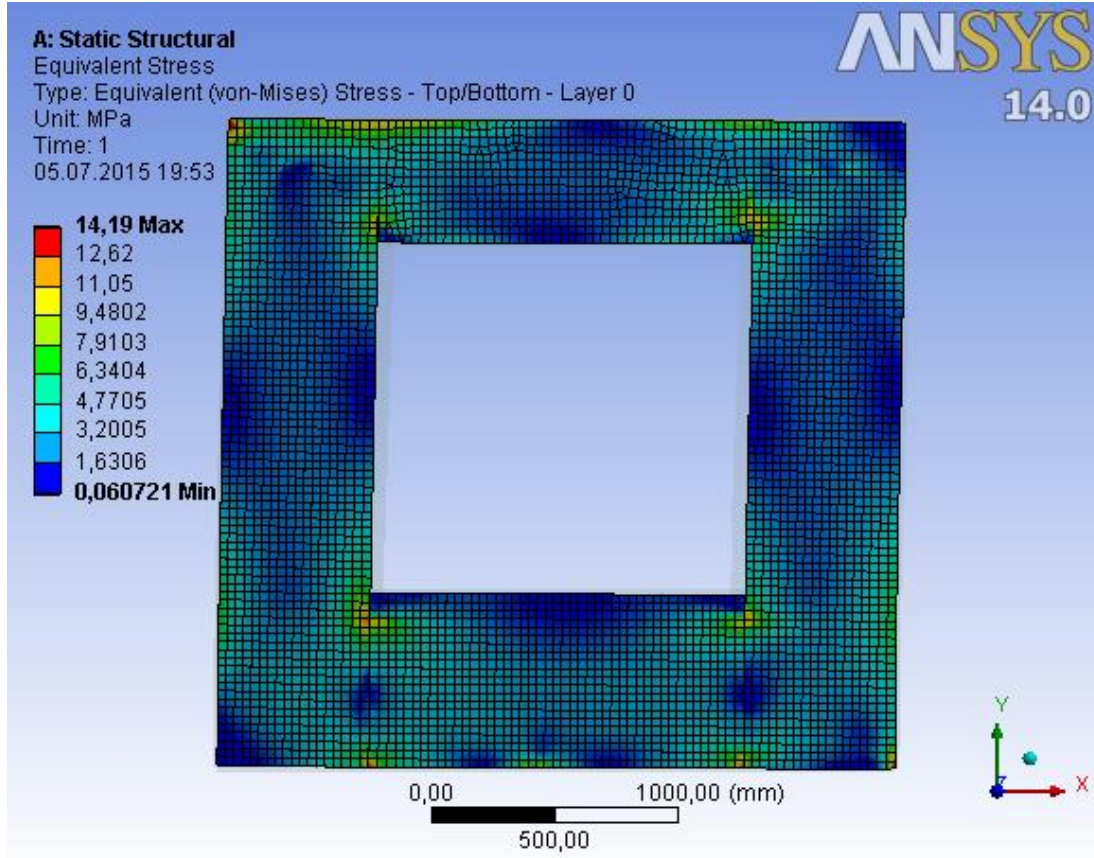
Şekil 7.37. Model-10'a ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

Şekil 7.37 incelendiğinde deneysel ve nümerik yük-deplasman grafikleri arasında ilk 5kN yüklemeden sonra maksimum yükleme noktasına kadar iyi bir uyum görülmektedir. Deneysel çalışmada duvar elemanı maksimum 23,554 kN yük taşıyabilmekte ve bu yükleme durumunda 54,956 mm deplasman yapmaktadır. Sonlu eleman analizinde ise eleman 25 kN yük taşıma kapasitesine sahip olup, 46,886 mm deplasman yaptığı görülmektedir. Deneysel çalışma ile sonlu eleman modelinde maksimum yüklemedeki deplasman değerleri karşılaştırıldığında aralarında %85 oranında bir yakınsama meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Sonlu eleman modelinde maksimum yüklemede deney elemanında oluşan deplasman Şekil 7.38'de sunulmuştur.



Şekil 7.38. Model-10 da meydana gelen deformasyonlar

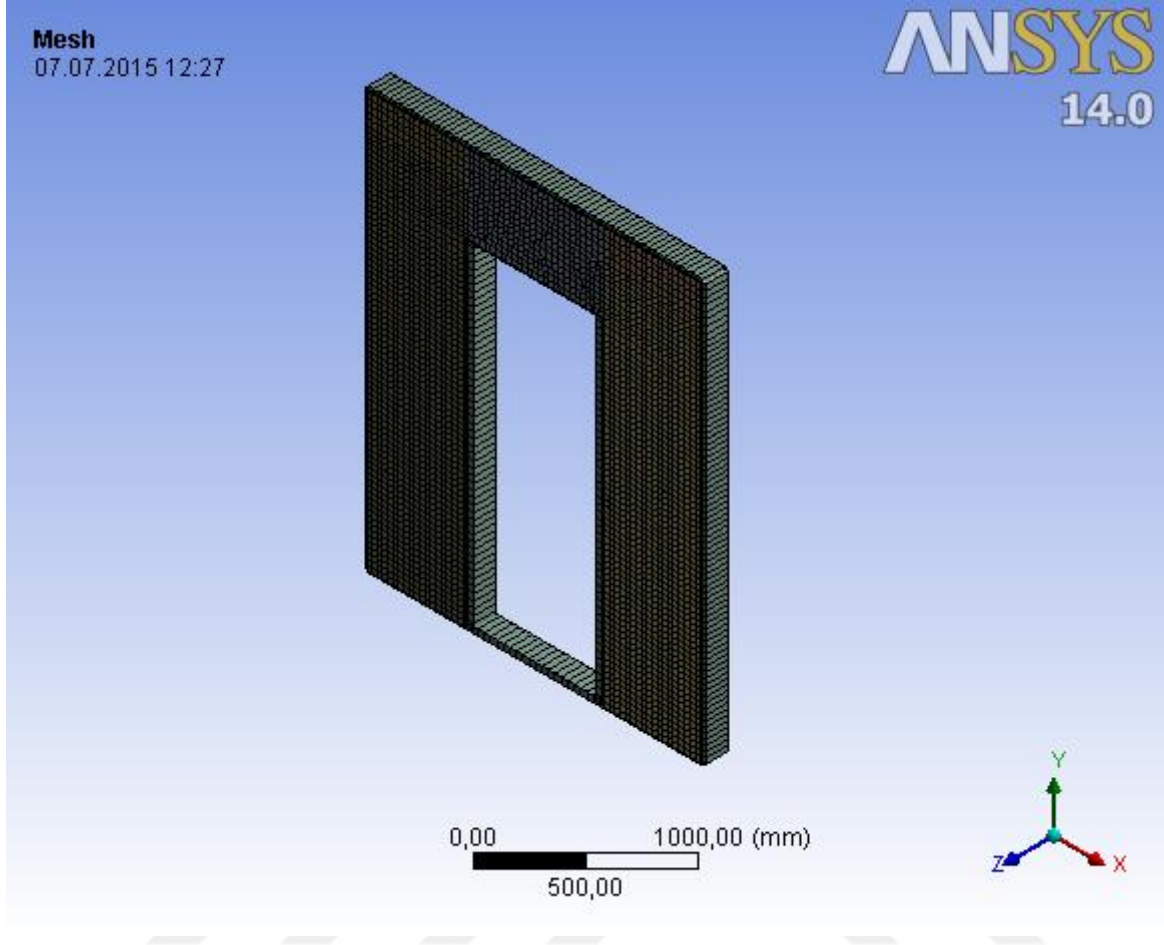
Sonlu eleman analizi sonucunda elde edilen gerilme dağılımları Şekil 7.39'da görülmektedir. Gerilme dağılımı incelendiğinde, sonlu eleman analizinden elde edilen gerilme dağılımının deney sonucunda meydana gelen göçme mekanizması ile büyük oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmada olduğu gibi sonlu eleman analizinde de gerilme yığılmalarının ve deformasyonların açıklık kenarlarında ve ankraj kısımlar meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.39. Model-10'a ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

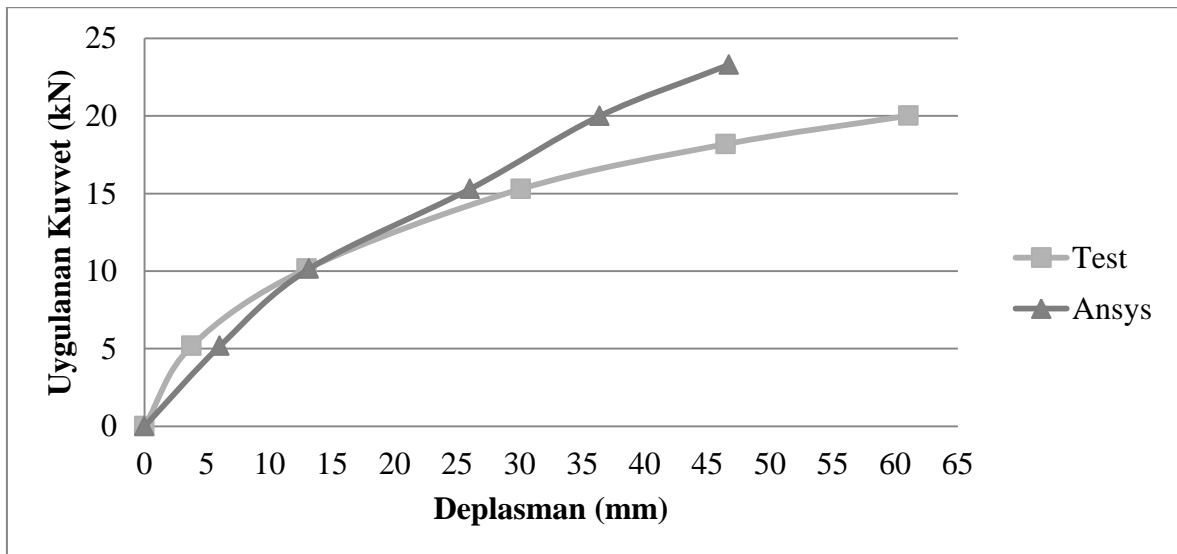
7.11. Model-11'e ait Nümerik sonuçlar

Model-11 elemanı kapı boşluğuna sahip olup 7092 mesh elemanı kullanarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Boşluğun her iki tarafından dört noktadan mesnetleme yapılmıştır (Şekil 7.40).



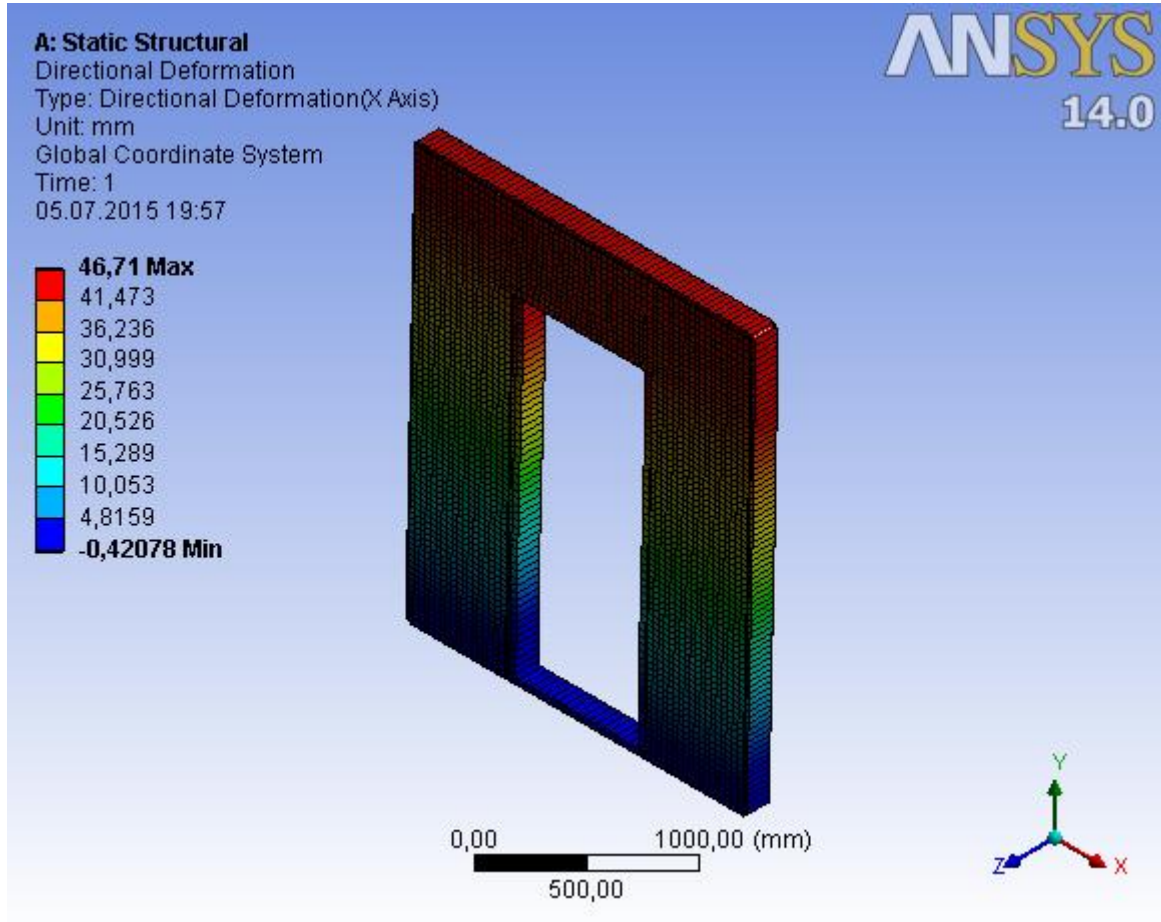
Şekil 7.40. Model-11 sonlu eleman modeli

Model-11 deney deney elemanının sonlu eleman analizi sonucu elde edilen yük-deplasman eğrileri ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması Şekil 7.41’de sunulmuştur.



Şekil 7.41. Model-11’a ait sonlu eleman analizi ile elde edilen yük-deplasman eğrisi

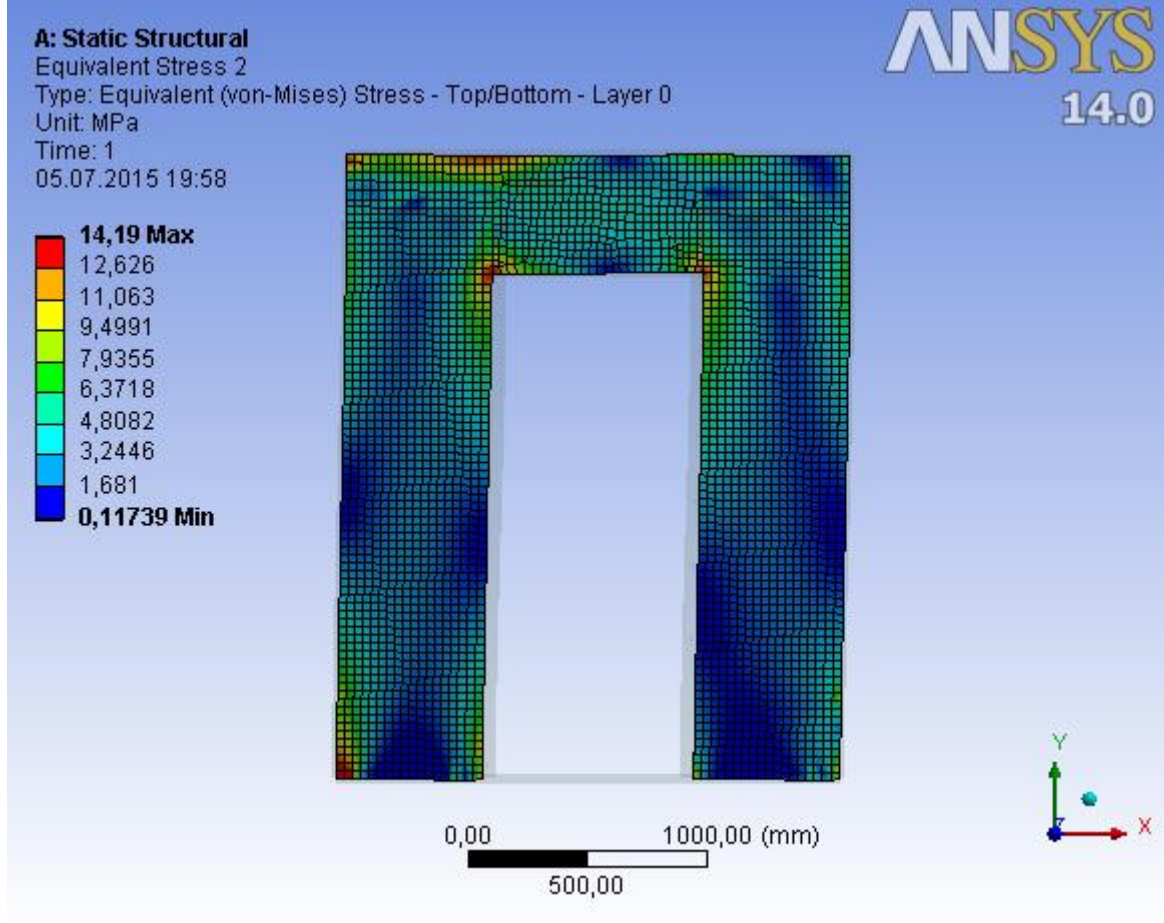
Deney ve sonlu eleman modeli yük-deplasman eğrileri karşılaştırıldığında sonlu eleman modelinin daha rijit olduğu görülmektedir. Deney elemanı deneyler esnasında 20,02 kN yük taşıyabilmekte ve bu yüklemde 61,071 mm deplasman yapmaktadır. Sonlu eleman analizinde ise 23,3 kN yük taşıyabilmekte ve 46,71 mm deplasman yapmaktadır ve bu yüklemde sonra program yakınsama hatası vermektedir. Sonlu eleman modelinde meydana gelen kat deplasmanları Şekil 7.42’de görülmektedir.



Şekil 7.42. Model-11’de meydana gelen deformasyonlar

Maksimum yüklem altında panellerde meydana gelen hasarlar Şekil 7.43’de görülmektedir. Model de meydana gelen gerilmeler yorumlanmaktadır. Açıklık alanı ile ilk çatlak oluşumuna etki eden kuvvet arasında önemli bir ilişki vardır. Açıklığın kenarlarındaki panellerde ilk çatlak kuvveti oluşmu ve açıklık kenarlarındaki panellerde hasarlar meydana gelmiştir. Artan yüklem ile birlikte birleştirme elemanlarının rijitlikleri azaldığı için OSB panel üzerinde bölgesel ezilmeler meydana gelmiştir ve çiviler panellerden kurtularak hasara neden olmuştur. Ayrıca alt kısımdaki yatay eleman ile OSB

arasındaki çivi veya vida bağlantı elemanlarının kenarlardan ayrılması ve kenarların kırılması gibi hasarlar meydana gelmektedir.



Şekil 7.43. Model-11'a ait OSB üzerinde meydana gelen gerilmeler

8. DENEY ve NÜMERİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Ahşap perde duvarların yatay yük altında diyagonal dengesini sağlayan yüzey kaplama panellerinin (OSB, kontrolak vb.) çerçeve elemanlara birleştirici elemanlar (çivi, vida, zımpa teli vb.) ile bağlantısı sağlandığı için sonlu eleman analiz programında çerçeve-panel bağlantılarını modellemek oldukça güç ve zaman alıcı bir süreçtir. Asıl problem ise tam rijit bağlantı sağlayamadığımız bağlantı elemanlarıdır. Böyle bir duvar elemanının modellenmesinde bağlantı elemanlarının esnekliği dikkate alınarak modelleme yapılmalıdır. Pratikte, bağlantı elemanları yay elemanı (springs) veya özel malzeme özellikleri girilerek ekstra katman tanımlanarak modellenmektedir.

Deney sonuçları ve sonlu eleman analizi ile elde edilen maksimum yük-deplasman değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 8.1’de verilmektedir.

Çizelge 8.1. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

Model No	Maksimum yük (F_{max}) (kN)			Deplasman (maksimum yükte) (mm)		
	Test	Ansys	$F_{max.test}/F_{max.ansys}$ oran	Test	Ansys	$Dep_{.test}/Dep_{.Ansys}$ oran
1	19,16	20	0,96	46,4	47,93	0,97
2	18,59	20	0,93	55,46	44,02	1,26
3	32,05	36,2	0,89	92,02	83,25	1,11
4	35,27	40	0,88	31,57	35,55	0,89
5	22,10	25	0,88	49,44	39,08	1,27
6	39,89	40	1,00	31,29	30,76	1,02
7	45,87	50	0,92	44,37	41,40	1,07
8	6,09	15	0,41	96,64	78,49	1,23
9	26,13	29,1	0,90	39,03	33,17	1,18
10	23,55	25	0,94	54,95	46,88	1,17
11	20,02	23,3	0,86	61,07	46,71	1,31

Çizelge 8.1'e göre nümerik analiz ve deneylerden elde edilen maksimum yük değerleri incelendiğinde, ortalama %13 oranında deney elemanlarının yük taşıma kapasiteleri daha düşük elde edilmiştir. Maksimum yük altında, deney ve sonlu eleman analizlerinden elde edilen deplasman değeri karşılaştırıldığında, tüm deney elemanları için ortalama %13 deney deplasman değerleri daha yüksek elde edilmiştir. Sonlu eleman modellerinde daha düşük deplasman değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, sonlu eleman modellerinin gerçek davranışa oldukça yaklaştığı, fakat deney modeline göre sonlu eleman modelinin daha rijit davranıp daha az deplasman göstererek göçmeye ulaştığı görülmektedir. Bu durumun aşağıdaki nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Sonlu eleman modelinde elde edilen deplasman değerleri daha düşük, maksimum kuvvetler ise daha yüksek elde edilmiştir. Bu durum sonlu eleman modelinin daha rijit olduğunu göstermektedir. Çerçeve eleman birleşimlerinde kullanılan çiviler modellenmediği için eleman daha rijit davranış göstermiştir. Fakat gerçekte çerçeve elemanları yükleme altında rijitliklerini kaybetmektedir. Bu nedenle duvar panellerinin yük-deplasman eğrileri karşılaştırıldığında elastik sınırlar içerisinde yaklaşık değerler bulunmuş olup, yükleme arttıkça nümerik modelde meydana gelen deformasyon deneysel deplasmana göre daha düşük elde edilmiştir.
- Ayrıca boşluğa sahip duvar elemanlarının maksimum yük-deplasman değerleri karşılaştırıldığında maksimum yük taşıma kapasiteleri arasında %10, deplasman değerleri arasında ise %23 fark bulunmaktadır. Boşluklara sahip duvar elemanlarının sonlu eleman deplasman değerleri deney deplasman değerlerine göre daha düşük, fakat yük taşıma kapasiteleri daha yüksek elde edilmiştir. Bu durum çerçeve-panel arasındaki çivilerin model de daha rijit davranmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca boşluklu deney elemanları sonlu eleman modelinde daha az sünek davranış göstermiş ve göçmeye ulaşmıştır.
- Tam dolu duvar elemanlarında sonlu eleman analizi oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Model-8 en dar deney elemanı olup deneyde oldukça sünek bir davranış sergilemiş fakat sonlu eleman modelinde daha rijit davranmıştır. Model-8 hariç diğer boşluksuz duvar elemanlarının deney ve model yük taşıma kapasiteleri arasında oldukça iyi bir uyum sağlanmış ve %7 oranında bir fark görülmüştür. Maksimum deplasman değerleri karşılaştırıldığında ise ortalama %1 fark elde edilmiştir.

- Boşluklu duvar elemanlarının diğer boşluksuz duvar elemanlarına göre daha çok deformasyon yaptığı tablodan görülmektedir. Bu durum yüklemeler altında çerçeve-panel birleşimlerinin nonlinear davranış göstermesi olarak yorumlanabilmektedir. Çivilerin nonlinear davranışları için plastik sınır bölgesinde meydana gelen kayma rijitlikleri için Eurocode-5'e göre hesaplanmış ve 612 N/mm değeri verilmiştir. Bu değer boşluklu duvar panellerinin testlerden elde edilen deplasman değerlerini yakalaması için yeterli gelmemiştir. Yani çiviler daha çok deformasyon göstermiş ve rijitlikleri düşmüştür. Bu durum sonlu eleman analizinde modellenememiştir. Fakat maksimum yük taşıma kapasiteleri arasındaki fark oldukça düşük elde edilmiştir.
- Sonlu eleman modeli ile deney sonuçları arasında fark oluşturabilecek diğer bir önemli nokta ise sınır koşullarıdır. Deneysel çalışmada, mesnet kısımlarında deformasyonlar meydana gelmiş bu durum sonlu eleman modelinde hatasız ve deformasyon yapmadığı varsayılarak modellenmiştir. Mesnet koşulları açısından deney elemanı ile model eleman arasında bir uyumsuzluk olması ve bu durumun sonuçlarda farklılığa yol açması kaçınılmazdır.



9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yürütülen çalışma kapsamında ahşap çerçevesi panel duvarların depremi benzeştiren yatay yükler etkisi altındaki performansları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenler ahşap çerçevesi panel duvarların en/boy oranları, ahşap çerçevede yükseklik boyunca dağıtılmış yatay güçlendirme çubuklarının kullanılması ve panel duvarlarda yer alan boşluğun büyüklüğü ve konumudur. Bu değişkenlerin panel davranışlarını nasıl etkilediği belirlenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Deneysel çalışmada Türkiye’de yapı endüstrisinde kullanılan malzemeler kullanılmış ve bu konudaki deneysel veri eksikliğinin azaltılması için bir başlangıç yapılmıştır. Tüm dünyada deprem performansı kanıtlanmış ve yaygın olarak kullanılan ahşap yapılar, Türkiye’de hak ettiği yeri bulamamakta ve bu konuda bir yönetmelik bulunmamaktadır. Bu eksiklerin zamanla ortadan kaldırılabilmesi için ahşap yapılar hakkındaki akademik bilimsel çalışmaların artırılması gerekmektedir. Bu konudaki deneysel veri eksikliğinin azaltılması ve ahşap yapılar hakkındaki literatüre katkı sağlaması amacıyla bu çalışma oldukça önemlidir.

Çalışmada hem deneysel hem de sonlu eleman metodu kullanılarak nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve nümerik analiz sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Deney elemanlarının özellikleri incelendiğinde en/boy oranları ve açıklık alan oranlarının farklı olduğu ve en/boy oranlarının 0.24-1.12 değerleri arasında oldukça geniş bir aralıkta değişim gösterdiği görülmektedir. Betonarme ve yığma duvarlarda olduğu gibi ahşap çerçeve panel duvarlarda en/boy oranların azalması panellerin davranışında eğilme davranışının daha etkin olarak meydana gelmesini sağlamıştır. Panel duvar en/boy oranları 0.7 değerinden aşağıda olan deney elemanlarında eğilme davranışı hakim olmuş, kat deplasmanının büyük bir bölümü eğilme deplasmanı olarak meydana gelmiş, kesme çatlaklarının genişlikleri sınırlı kalmıştır. Panel duvarların en/boy oranları 1.0 değerine yaklaştıkça ve 1.0 değerinden daha büyük değerlerde ölçülen kesme çatlağı genişlikleri artış göstermiş ve deney elemanlarının kat deplasmanı üzerinde eğilme deplasmanının etkisi azalırken kesme çatlaklarının etkisi artış göstermiştir.

- Deneysel çalışma kapsamında incelenen diğer bir değişken olan boşluk büyüklüğü değişimi yönüyle deney elemanları incelendiğinde deney elemanlarında yer alan boşluk alanının deney elemanı toplam alanına oranı değerlerinin 3%-33% arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Deney elemanlarında yer alan boşluk büyüklüğü arttıkça deney elemanlarının dayanım ve rijitik değerleri azalmıştır. Deney elemanlarında yer alan boşluklar ahşap çerçeveli panel duvarları iki parçaya bölerek bir tek panel gibi davranış göstermesine engel olmuş ve boşluğun her iki tarafında kalan panellerin birbirine ahşap kirişler ile bağlı iki ayrı panel gibi davranış göstermelerine neden olmuştur.
- Deneysel çalışma kapsamında incelenen üçüncü değişken ahşap çerçeve içerisinde yatay güçlendirme çubuklarının bulunmasıdır. Deney elemanlarının ahşap panel dikmeler arasında yüksekliği boyunca belirli mesafeler ile dağıtılmış yatay ahşap eleman yerleştirilerek çerçevelerin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Yatay güçlendirme elemanları deney elemanının dayanım ve rijitlik değerlerini artırmasına ek olarak süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesini de artırmış ve genel yük-deplasman davranışını önemli oranda iyileştirmiştir.
- Ahşap çerçeveli panel duvarların en/boy oranları artış gösterdiğinde dayanım değerleri de önemli oranda artış göstermiştir. Yatay çubuklar ile yapılan güçlendirme ahşap çerçeveli panel duvarların maksimum taşıma gücü değerlerini ortalama %11 artırmıştır. Boşluk büyüklüğü arttıkça ahşap çerçeveli panel duvarların dayanım değerlerinin önemli oranda azaldığını göstermiştir.
- En/boy oranı arttıkça başlangıç rijitliği değerleri de önemli oranda artış göstermiştir. Yatay güçlendirme çubukları deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerlerini ortalama % 61 oranında artırarak maksimum taşıma gücüne göre daha fazla bir artış meydana gelmiştir. Boşluklu deney elemanlarında boşluk büyüklüğünün artmasının deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerlerini önemli oranda azalmasına neden olduğunu göstermiştir.
- Deplasman süneklik oranında en/boy oranı ile artış dayanım ve rijitlik değerlerindeki artışa göre çok daha düşük oranlar da kalmıştır. Yatay güçlendirme çubukları deney elemanlarının deplasman süneklik oranları üzerinde olumlu etkisi olmuş ve ortalama %13 daha sünek bir davranış göstermiştir. Boşluklu deney elemanların deplasman süneklik oranlarının boşluksuz olanlara göre bir miktar daha yüksek olması sonucu ortaya çıkarmıştır.

- En/boy oranı arttıkça deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri de önemli oranda artış göstermiştir. Yatay çubuklar ile güçlendirilen deney elemanları güçlendirmenin yapılmadığı deney elemanlarından ortalama %81 oranında daha büyük enerji tüketim kapasitesi sergileyerek çok başarılı bir performans göstermiştir. Deney elemanlarında yer alan boşluk büyüklüğü enerji tüketim kapasitesi üzerinde deplasman süneklik oranında görülen davranışa benzer bir etki meydana getirmiştir. Deney elemanlarında yer alan boşluk ahşap çerçeveli panel duvarları birbirine bağımlı iki farklı panel parçası gibi davranış göstermesine neden olarak deney elemanlarının enerji tüketim kapasitelerinin az miktarda artmasına neden olmuştur. Boşluk alanı azaldıkça enerji sönümlenme kapasitesi azalmıştır.
- Kesme çatlak genişliğinde gözlemlenen bu davranış ahşap çerçeveli panel duvarlarda en/boy oranındaki artışın genel davranışa kesmenin hakim olmasına ve eğilme davranışından uzaklaşılmasına neden olduğu göstermiştir. Yatay çubuklar ile güçlendirme uygulanması kesme çatlak genişliklerinin ortalama %11 oranında azalmasını sağlamıştır. Deney elemanlarından yer alan boşluklar ahşap panel duvarda boşluk köşelerinde gerilme birikmesi olmasına neden olmuş ve boşluk köşelerinde meydana gelen kesme çatlakları ölçülen kesme çatlak genişliklerinin büyümesini sağlamıştır.
- Deney elemanlarından ölçülen birim deformasyon değerleri incelendiğinde uygulanan yatay yükleme etkisi ile düşey ahşap çerçeve elemanlarında yatay çerçeve elemanlarına göre daha fazla birim deformasyon ölçüldüğü görülmektedir. Ahşap çerçeveli panel duvarların iskeletini oluşturan ahşap çerçevelerin yatay yükleme etkisiyle oluşan kuvvet dağılımı sonucunda düşey çubukların yatay çubuklara göre daha etkin kuvvet aldıkları ve dıştan içe doğru düşey çubuklardaki kuvvetlerin azalım gösterdiği elde edilmiştir. Yatay çubuklarda ise boşluksuz ve kapı boşluklu çerçevelerde aşağıdaki, pencere boşluklu çerçevelerde ise yukarıda yer alan yatay çubukların daha etkin kuvvet taşıdığı görülmüştür.
- Eğilme davranışının öne çıktığı deney elemanlarında artan yükleme etkisi ile meydana gelen kat deplasmanındaki artış OSB levhaların ahşap çerçeve ile birleştirilmesinde kullanılan çivilerin ilerleyen deformasyon değerlerinde OSB levhayı ezerek deliklerinden çıkmalarına neden olduğu görülmüştür. Deney elemanlarında, panellerden çivilerin kurtulması, OSB panellerde yırtılmaların olması, panel kenarlarında ayrılmaların olması, çivi başlarının panelleri ezmesi gibi hasarlar

meydana gelmiştir. Deneysel elemanlarında ilk olarak daha düşük deplasman değerlerinde öncelikle OSB levhalar birleşim yerlerinde ayrılma çatlakları ve çivilerin bulunduğu noktalarda ezilmeler ve çivi deliklerinde büyümeler gözlenmiştir. Daha sonra artan yükleme ve deplasman ile OSB plakalarda burkulmalar ve düzlem dışı hareketler meydana gelmiştir. Boşluk büyüklüğü arttıkça ahşap çerçeveli panel duvarlarda meydana gelen diyagonal çatlak genişliklerinin ve dağılımının arttığı gözlenmiştir.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar literatür ile paralellik göstermektedir. Kapı veya pencere boşluğu gibi açıklık bulunan duvar elemanlarının yatay rijitlik değerleri ve yük taşıma kapasiteleri açıklık bulunmayan panellere göre daha düşük elde edilmiştir (Silih ve Premrov, 2012). Ayrıca, açık alanlara sahip duvar elemanlarının maksimum dayanımları açıklık olmayan duvar panellerinin maksimum dayanımlarının %50 si kadar olduğu belirtilmiştir (Silih ve Premrov, 2010). Boşluk alanları arttıkça duvar elemanlarının dayanımlarının azaldığı görülmüştür (Baylor ve Harte, 2013). Betonarme yapılarda olduğu gibi ahşap yapılarda da açıklık köşelerinde biriken gerilmeler ek sorunlara neden olmakta ve açıklıklar yapının rijitliğini azaltmaktadır (Anıl ve Altın, 2007; Andreasson ve diğerleri, 2002).

Literatürde farklı en boy oranlarında duvar panellerinin yük taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve en/boy oranı azaldıkça duvar elemanlarının eğilme zorlamasına maruz kalarak dikmelerde hasarların meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca, ahşap duvar elemanlarının genişliklerinin artması ile duvar dikme elemanlarının deformasyonlarının azaldığı ve duvar elemanlarının yük taşıma kapasitelerinin arttığı ifade edilmiştir. Düşük en/boy oranında duvar elemanı geniş deplasman yaparak maksimum yüke ulaşarak tamamen plastik kapasiteye ulaşmamaktadır (Salenikovich ve Dolan, 2003; Kallsner ve Girhammar, 2009b; Seim ve diğerleri, 2014).

Deneysel çalışmada elde edilen hasar dağılımları literatürde gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalarla elde edilen hasar dağılımları ile uyum sağlamaktadır. Literatür çalışmalarında yatay yükleme altında açıklık olan duvar panellerinde açıklık kenarlarında, duvar-temel bağlantısında kullanılan ankraj kısımlarında meydana gelmiştir. Meydana gelen hasar dağılımlarını, kaplama panellerinden çivilerin ayrılması, panel köşelerinde kesme hataları, mekanik bağlantı elemanlarında meydana gelen esnemeler sonucunda oluşan ayrılmalar

veya panel ezilemleri olarak tanımlanmıştır (White ve diğerleri, 2009; Premrov ve diğerleri, 2007; He ve diğerleri, 2010; Goodall ve Gupta , 2011).

Çalışmanın ikinci aşamasında farklı özelliklere sahip duvar elemanlarının sonlu eleman analizleri kullanılarak modelleri oluşturulmuştur. Ahşap çerçeve duvar elemanlarının sonlu eleman modellerinde çerçeve için beam, yüzey panelleri için shell ve çiviler için spring elemanlar kullanılarak model basitleştirilmiş ve hızlı bir çözüm süresi elde edilmiştir. Elde edilen nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırmıştır. Sonlu eleman analizi ile deney elemanlarının yatay yönde (x yönünde) meydana gelen deplasman değerleri ve OSB yüzey kaplama panellerinde meydana gelen deformasyonlar eşdeğer gerilme analizleri belirlenmiştir. Nümerik analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Sonlu eleman analizinden ve deneylerden elde edilen deney elemanlarına ait yük-deformasyon geçmişleri birbirleriyle karşılaştırılmış ve birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmüştür. Nümerik analiz değerleri ile deneysel değerlerin oranları incelediğinde tüm deney elemanları için ortalama olarak maksimum yük değerleri arasında 13% bir fark meydana gelmiştir. Bu fark sonlu eleman analiz modellerinin daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.
- Maksimum yükte deney elemanlarının deplasman değerleri karşılaştırılmış ve ortalama 13%'lük bir fark elde edilmiştir. Deney modellerinin deplasman değerleri sonlu eleman modeline göre daha yüksek elde edilmiştir. Bu durum çerçeve-OSB panel arasındaki çivilerin model de daha rijit davranmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonlu eleman modellerinde çivilerin yay eleman ile modellenmiş ve rijitlik değerleri Eurocode 5'de ifade edilen denklemlere göre hesaplanmış plastik kayma modülü (K_u) kullanılmıştır. Bu değer boşluklu duvar panellerinin testlerden elde edilen deplasman değerlerini yakalaması için yeterli gelmemiştir. Yani çiviler daha çok deformasyon göstermiş ve rijitlikleri düşmüştür.
- Yükleme altında deney elemanları üzerinde meydana gelen hasarlar Sonlu eleman modelinde gerilme analizleri ile elde edilmiştir. Elemanlar üzerinde oluşan gerilme yığılmalarının alt ankraj kısımlarında ve kapı-pencere boşluk kenarlarında meydana geldiğini görülmüştür. Deneysel çalışmada görülen hasarlar sonlu eleman analizinden elde edilen gerilme dağılımları ile uyumludur.

- Sonlu eleman modelinde analiz sonuçları üzerine sınır koşulları oldukça etki etmektedir. Deneysel çalışmada U şeklinde çelik ankraj malzemeleri kullanılmış ve saplamalar ile 5 noktadan bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modelinde bu durum noktalar (node) üzerinden ve sabit mesnet koşulu uygulanarak modellenmiştir. Ankraj malzemelerde meydana gelen hasarlar göz ardı edilmiştir.

Literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda yaygın olarak ahşap çerçeve elemanlar beam, yüzey kaplama panelleri shell ve çerçeve-panel bağlantı elemanları ise spring eleman olarak modellenmiştir (Ayoub, 2007; Silih ve diğerleri, 2012; Humbert ve diğerleri, 2014). Çalışmalarda yay elemanı olarak modellenen bağlantı elemanlarının basit yöntemler ile EC-5'e göre elastik ve plastik bölgelerden rijitlikleri hesaplanarak sonlu eleman analizinde kullanılmıştır (Silih ve diğerleri, 2013). Bazı çalışmalarda ise deneysel testlerden elde edilen yük-kayma eğrileri kullanılarak bağlantı elemanlarının rijitlik değerleri belirlenmiştir. (Loo ve diğerleri, 2012; Vessby ve diğerleri, 2010; Boudaud ve diğerleri, 2014).

Yapıda eğilmeye ve kesmeye maruz kalan duvar panelleri üzerinde bulunan açıklıklar, açıklığın konumu ve büyüklüğüne bağlı olarak yapı performansını etkilemekte ve ilk çatlak oluşumunun açıklık kenarlarında meydana geldiği ve diyagonal şekilde olduğu gözlemlenmiştir (Guan ve Zhu, 2009; Baylor ve Harte, 2013). Sonlu eleman analizinde OSB gibi yüzey kaplama malzemelerinin çatlaması, üst yatay elemanların kayması, dikmelerin dönmeleri gibi hasarlar uygulanamamaktadır. Yükleme arttıkça deney elemanları üzerinde hasarlar meydana gelmektedir. Yükleme altında deney elemanları üzerinde meydana gelen hasarlar Sonlu eleman modelinde gerilme analizleri ile elde edilmektedir (Loo ve diğerleri, 2012; Baylor ve Harte, 2013).

Sonlu eleman analizi ve test sonuçları ile elde maksimum yük noktalarındaki deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Sonlu eleman ve test analizleri arasında çok iyi korelasyon elde edilmiştir.

Ahşap yapılarda, bağlantı elemanlarının deformasyon özellikleri yapının genel stabilitesi ve iç kuvvetlerin dağılımında önemli role sahiptir. Bağlantı elemanları sünek olması ve deprem anında enerji sönmeme kabiliyetleri nedeniyle oldukça önemlidir. Bağlantı elemanlarının davranışları doğrusal olmayan yük-kayma ilişkisi ile tanımlanmaktadır.

Kayma modülü, Hem EN 26891'e göre test ile hem de EC-5'e göre ampirik formülle belirlenebilmektedir. Deneysel kayma testleri genellikle ampirik formüllere daha doğru kayma modülü vermesine rağmen, zaman, insan gücü ve kaynaklar açısından çok daha pahalı bir test yöntemidir. Bu çalışmada ampirik formüller ile çivilerin rijitlikleri belirlenmiş genel ve hızlı performans gösteren bir sonlu eleman analizi gerçekleştirilmiştir. Ampirik formüller ile çivilere verilen özellikler boşluklu deney elemanlarının deplasman yapma özelliklerini kısıtlamıştır. Bu nedenle çivili birleşimlerin modellenmesinde ihtiyaç olan verileri sağlamak için daha kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilebilir. Çivili birleşimlerin performanslarını belirlemek için yük-kayma eğrilerinin elde edilmesi ve kayma rijitliklerinin hesaplanması ile analizler gerçekleştirilebilir. Metal bağlantıların birleşim deformasyonlarını hesaba katan ileri bir model yaklaşımı önerilebilir.

Ayrıca, ahşap yapılarda meydana gelen çatlak oluşumunun modellenmesi ile ilgili araştırmalar sınırlı sayıdadır. Daha kapsamlı çalışmalar ile OSB paneller üzerine meydana gelen çatlakları simule etmek için analitik modeller geliştirilebilir. Böylelikle yatay yükleme altında ahşap panelleri oluşturan kereste ve OSB panellerin davranışları ve çatlak oluşumları modellenabilir.

Performansa dayalı tasarım ve sismik direnci doğru bir analiz ile yürütmek için, yapıların gerçekçi bir şekilde modellenmesi esastır. Nümerik modellerin sunduğu hesaplama süresinden dolayı günlük mühendislik uygulamalarında, büyük yapı sistemlerinin analizlerinde çok uygun değildir. Ancak ahşap çerçeve panellerin davranışlarını belirlemek için uygulanabilir basitleştirilmiş modellerin geliştirilmesi için iyi bir temel temsil edebilir.



KAYNAKLAR

- Aksoy, D. ve Ahunbay, Z. (2005). Geleneksel ahşap iskeletli Türk Konutu'nun deprem davranışları. *İTÜ dergisi/mimarlık, planlama, tasarım* , 4 (1), 47-58.
- Altın, S., Anıl, Ö., Gökten, Y. (2004). Betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesinde bir kelepçe uygulaması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(4), 415-422.
- Anıl, Ö. and Altın, S. (2007). An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. *Engineering Structures*, 29, 449–460.
- Andreasson, S., Yasumura, M. and Daudeville, L. (2002) . Sensitivity study of the finite element model for wood-framed shear walls. *Journal of Wood Science*, 48, 171-178.
- Andreasson, S. (2000). *Three-Dimensional Interaction in Stabilization of Multi-Storey Timber Frame Building Systems*, Ph.D. Thesis, Division of Structural Engineering, Lund University, Lund, Sweden, 1-10.
- Anıl, Ö. (2002). Betonarme çerçevelerin boşluklu betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 70,176,178.
- ASTM D3501-05a (2011), Standard Test Methods for Wood-Based Structural Panels in Compression, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ayoub, A. (2007). Seismic analysis of wood building structures. *Engineering Structures*, 27(2), 213-223.
- Balık, F.S. (2012). *Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,82-84.
- Baylor, G. and Harte, A.M. (2013). Finite element modelling of castellated timber I-joists. *Construction and Building Materials*, 47, 680–688.
- Ber, B., Premrov, M., Štrukelj, A. and Kuhta, A. (2014). Experimental investigations of timber–glass composite wall panels. *Construction and Building Materials*, 66, 235–246.
- Berkel, A. (1970). *Ağaç Malzeme Teknolojisi*, (Birinci Baskı). Türkiye: İstanbul Üniversitesi Basımevi, Orman Fakültesi Yayın 147, 432-433.
- Binici, H., Kaplan, H., Görür, E.B. (2005). Türkiye’de yaşanan son depremlerde malzeme kalitesi ve kötü işçiliğin neden olduğu hasarlar, Deprem Sempozyumunda sunuldu. Kocaeli, 703–707.
- Blasetti, A.S., Hoffman, R. and Dinehart, D. (2008). Simplified hysteresis finite-element model for wood and viscoelastic polymer connections for the dynamic analysis of shear walls *Journal of Structural Engineering*, 134(1), 77-86.

- Bolmsvik, A., Linderholt, A., Brandt, A. and Ekevid, T. (2014). FE modelling of light weight wooden assemblies – Parameter study and comparison between analyses and experiments, *Engineering Structures* 73, 125–142.
- Bostancıoğlu, E. ve Birer, E.D. (2004). Ekoloji Ve Ahşap–Türkiye’de ahşap Malzemenin Geleceği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 37-44.
- Bostancıoğlu, E. ve Düzgün, E. (2004). Ekoloji ve ahşap–Türkiye’de ahşap malzemenin geleceği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 37-44.
- Boudaud, C., Humbert , J., Baroth, J., Hameury, S. and Daudeville, L. (2014). Joints and wood shear walls modelling II: Experimental tests and FE models under seismic loading, *Engineering Structures*, 101, 743–749.
- Bozkurt, A.Y. ve Erdin, N. (1997). *Ağaç Teknolojisi*. Türkiye: İstanbul Üniversitesi Basımevi, Orman Fakültesi 445, 1-2,258.
- Bredel D.H. (2003). *Performance Capabilities Of Light-Frame Shear Walls Sheathed With Long OSB Panels*. Master of Science in Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, US., 1-3.
- Buonopane, S.G., Bian, G., Tun, T.H. and Schafer, B.W. (2015). Computationally efficient fastener-based models of cold-formed steel shear walls with wood sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*, 110, 137–148.
- Chen, W.F. and Han, D.J. (2007). *Plasticity for Structural Engineers*. U.S.A: J. Ross Publishing, 14-15.
- Demirkır, C., (2012). *Çam Türlerinden Elde Edilen Kaplamaların Yapı Maksatlı Kontrplak Üretiminde Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 7, 32.
- Doğangün, A., Livaoğlu, R., Tuluk, Ö.İ. ve Acar, R. (2005). *Geleneksel Ahşap Yapıların Deprem Performansları*. Deprem Sempozyumunda sunuldu. Kocaeli. 797-799.
- Dolan, J. D. and Foschi, R. O. (1991). Structural Analysis Model for Static Loads on Timber Shear Walls. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 117(3), 851-861.
- Dolan, J. D., (1989). *The Dynamic Response of Timber Shear Walls*, Ph.D. Thesis, The University of British Columbia, at Vancouver, British Columbia, Canada, 23-45.
- EN 1995-1-1: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1–1: General – Common rules and rules for buildings; German version EN 1995-1- 1:2004 + AC:2006 + A1:2008. European Committee for Standardization, Brussels; December 2010.
- Erkoç, E. (2004). *Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama-Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi (İstanbul Örnekleri)*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 9.
- Filiatrault, A. (1990). Static and Dynamic Analysis of Timber Shear Walls. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17(4), 643-651.

- Foschi, R. O. (1977). Analysis of Wood Diaphragms and Trusses. Part I: Diaphragms. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 4(3),345-352.
- Gattesco, N., Dudine, A. and Franceschini, R. (2012, 16-19 July). Experimental Investigation On The Seismic Behavior Of Timber Shear Walls With Particle Boards. World Conference on Timber Engineering, 1-9.
- Girhammar, U.A. and Kallsner, B. (2009). Elasto-plastic model for analysis of influence of imperfections on stiffness of fully anchored light-frame timber shear walls. *Engineering Structures*, 31, 2182-2193
- Girhammar, U.A., Bovim N.I. and Kallsner, B. (2004). Characteristics of sheathing-to-timber joints in wood shear walls. *8th World conference on timber engineering*, Lahti, Finland, pp.1001-1006.
- Goodall, S. and Gupta, R. (2011). Improving the Performance of Gypsum Wallboard in Wood Frame Shear Walls. *Journal Of Performance Of Constructed Facilities*, 25(4),287-298.
- Guan, Z.W., and Zhu, E.C., (2009). Finite element modelling of anisotropic elasto-plastic timber composite beams with openings. *Structures*, 31, 394-403.
- Gupta, A.K. and Kuo, G.P. (1987). Wood Framed Shear Walls with Uplifting. *Journal of Structural Engineering*, 113(2), 241-259.
- Güzel, N., Yesügey, S.C. (2015). Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzeme ile Çok Katlı Ahşap Yapılar, *Mimarlık Degisi*, 382,60-65.
- Halıcıoğlu, F.H. (1999). *Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemleriyle üretilen yapılarda betonarme elemanların dayanıklılığını olumsuz etkileyen etkenlerin irdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, 9 Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 18,20.
- He, M., Huang, H. and Zhou, N. (2010). *Racking Performance of Wood Shear Walls Fabricated Using Chinese Wood-Based Panels*. Paper presented at the 11th World Conference on Timber Engineering, Trentino, Italy. 2941-2948
- Humbert , J., Boudaud , C., Baroth , J., Hameury, S. and Daudeville, L. (2014). Joints and wood shear walls modelling I: Constitutive law, experimental tests and FE model under quasi-static loading. *Engineering Structures*, 65, 52–61.
- İnternet: APA. Cross-Laminated Timber (CLT). APA – The Engineered Wood Association. [URL:http://www.apawood.org/cross-laminated-timber](http://www.apawood.org/cross-laminated-timber), <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2FURL%3Ahttp%3A%2F%2Fwww.apawood.org%2Fcross-laminated-timber%2C&date=2015-09-22>, Son Erişim Tarihi. 22.09.2015.
- İnternet: Frej, Anne B. Green Wood Building. Green Office Buildings: A Practical Guide to Development. Washington,2005 URL: <http://www.rethinkwood.com/sites/default/files/BGWW-Mod2-LCA.pdf>, <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.rethinkwood.com%2>

[Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FBGWW-Mod2-LCA.pdf%2C&date=2015-10-13](#), Son Erişim Tarihi:13.10.2015

Internet: Roche, I.A. de la, Connor, J. O ve Têtu, P. Wood Products And Sustainable Construction. XII World Forestry Congress,Canada. 21-28.09.2003. URL:http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/1039-A2.HTM#P65_23316.
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2FURL%3Ahttp%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Fdocrep%2FARTICLE%2FWFC%2FXII%2F1039-A2.HTM%23P65_23316.&date=2015-10-02, Son Erişim Tarihi: 02.10.2015

Judd, J. P. (2005). *Analytical Modeling of Wood-Frame Shear Walls and Diaphragms*. M.Sc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Brigham Young University,Provo, Utah.,1-291.

Judd, J. P. and Fonseca, F.S. (2005). Analytical model for sheathing-to-framing connections in wood shear walls and diaphragms . *Journal of Structural Engineering*. 131(2), 345-352.

Kallsner, B., and Girhammar, U.A., (2009a), Analysis of fully anchored light-frame timber shear walls—elastic model. *Materials and Structures*, 42, 301–320.

Kallsner, B. and Girhammar, U.A. (2009b). Plastic models for analysis of fully anchored light-frame timber shear walls. *Engineering Structures*,31, 2171-2181.

Kara, İ.F. (2007). *Betonarme yapıların çatlama etkisi göz önüne alınarak lineer olmayan analizi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 17.

Karacabeyli, E. and Popovski, M. (2003). Design For Earthquake Resistance.In S., Thelandersson, and H.L, Larsen (Eds.). *Timber Engineering*, John Wiley&Sons Ltd, West Sussex, 267-296

Keskin, T.,(2010). Binalar Sektörü-Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu. Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi, Ankara. 79.

Khorsandnia, N., Schänzlin, J., Valipour, H. and Crews, K. (2014). Time-dependent behaviour of timber–concrete composite members:Numerical verification, sensitivity and influence of material properties. *Construction and Building Materials*, 66, 192–208.

Lam, F., Prion, H.G.L. and He, M., (1997). Lateral Resistance Of Wood Shear Walls With Large Sheathing Panels. *Journal of Structural Engineering*, 123 (12),1666-1673.

Loo, W.Y., Quennevillea, P. and Chouw, N. (2012). A numerical approach for simulating the behaviour of timber shear walls. *Structural Engineering and Mechanics*, 42(3), 383-407.

Mackerle, J. (2005). Finite element analyses in wood research: a bibliography, *Wood Science Technology*, 39, 579–600.

Malo, K.A., Siem, J., Ellings, P. (2011). Quantifying ductility in timber structures. *Engineering Structures*, 33, 2998–3006.

- Meghlat, E.M., Oudjene, M., Ait-Aider, H. and Batoz, J. L. (2013). A new approach to model nailed and screwed timber joints using the finite element method. *Construction and Building Materials*, 41, 263–269.
- Memari, A.M. and Solnosky, R.L. (2014). In-Plane Shear Performance of Wood-Framed Drywall Sheathing Wall Systems under Cyclic Racking Loading, *Open Journal of Civil Engineering*, 4, 54-70.
- Munoz, M., Salenikovitch, A., Mohammad, M. and Quenneville, P. (2008). *Determination of Yield Point and Ductility of Timber Assemblies: in Search for a Harmonised Approach*. Paper presented at the 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan , 1(4), 1064-1072.
- Nodriguez-Nikl, T., Gupta, R., Kramer, A. and Sinha, A. (2015). Seismic Laboratory Testing of Energy-Efficient, Staggered-Stud, Wood-Frame Shear Walls. *Journal of Structural Engineering*, 141, B4014003.1-8.
- Nunnally, S.W. (2007). *Construction Methods and Management*. (8th Edition). New Jersey: Pearson Prentice Hall, 295.
- Oudjene, M. and Khelifa, M. (2009). Elasto-plastic constitutive law for wood behaviour under compressive loadings, *Construction and Building Materials*, 23, 3359–3366.
- Örs, Y. ve Togay, A. (2003). Ahşap Yapı Endüstrisinin Tanımı, Sınıflandırılması, Türkiye’de Uygulanan Üretim Teknikleri. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Politeknik Dergisi, 6(3), 569-577.
- Örs, Y. ve Togay, A. (2007). 2007-2013 Dokuzuncu Kalkınma Planı Ağaç Ürünleri ve Mobilya Sanayi Özel İhtisas Komisyon Raporu, *Devlet Planlama Teşkilatı*, 2475,93-113.
- Pintaric, K. and Premrov, M. (2013). Mathematical modelling of timber-framed walls using fictive diagonal elements. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 8051–8059.
- Polensek, A. (1976). Finite-Element Analysis of Wood-Stud Walls. *Journal of the Structural Division, ASCE*, 102 (7), 1317-1335.
- Premrov, M., and Dobrila, P., (2008). Mathematical modelling of timber-framed walls strengthened with CFRP strips, *Applied Mathematical Modelling*, 32, 725–737
- Premrov, M. and Dobrila, P. (2012). Numerical analysis of sheathing boards influence on racking resistance of timber-frame walls, *Advances in Engineering Software* , 45, 21–27.
- Premrov, M. and Kuhta, M. (2009). Influence of fasteners disposition on behavior of timber-framed walls with single fibre-plaster sheathing boards. *Construction and Building Materials*, 23, 2688–2693.
- Premrov, M. and Kuhta, M. (2010). Experimental analysis on behaviour of timber-framed walls with different types of sheathing boards. *Construction materials and engineering*, 1-8.

- Premrov, M., Dobrila, P., Bedenik, B.S. and Špacapan, I. (2007). Slip Modeling in Timber-Framed Walls with Wood-Based or Fibre-Plaster Sheathing Boards. *WSEAS Transactions on Applied And Theoretical Mechanics*, 9(2), 167-175.
- Premrov, M., Dobrila, P. and Bedenik, B.S. (2004). Analysis of timber-framed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards, *International Journal of Solids and Structures* 41 (24/25), 7035–7048.
- Premrov, M. and Dobrila, P. (2002). Mathematical Modeling of reinforced timber-gypsum fibreboard panel shear walls. *Engineering Modelling* 15 (1-4), 69-75.
- Rainer, J. H. ve Karacabeyli, E. (1999). Performance of Wood – Frame Building Construction in Earthquakes. *Forintek Canada Corp. Project* 2138, 1-7.
- Rainer, J.H. and Karacabeyli, E. (2000). Ensuring good seismic performance with platform frame wood housing, , *National Research Council of Canada, Construction technology update*, 45, 1206-1220.
- Rodriguez-Nikl, T., Gupta, R., Kramer, A. and Sinha, A. (2015). Seismic Laboratory Testing of Energy-Efficient, Staggered-Stud, Wood-Frame Shear Walls. *Journal of Structural Engineering*, Special Issue: Sustainable Building Structures, 141, B4014003-1-8
- Salenikovich, A.J. and Dolan, J.D. (2003). The racking performance of shear walls with various aspect ratios. Part I. Monotonic tests of fully anchored walls. *Forest Products Journal*, 53 (10), 65-73.
- Salenikovich, A.J. (2000). *The Racking Performance of Light-Frame Shear Walls*, Doctor of Philosophy in Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University, US, 1-5.
- Sartori, T. and Tomasi, R. (2013). Experimental investigation on sheathing-to-framing connections in wood shear walls. *Engineering Structures* 56, 2197–2205.
- Schneider, J., Shen, Y., Stiemer, S.F. and Tesfamariam, S. (2015). Assessment and comparison of experimental and numerical model studies of cross-laminated timber mechanical connections under cyclic loading, *Construction and Building Materials*, 77, 197–212.
- Seim, W., Hummel, J. and Vogt, T. (2014). Earthquake design of timber structures – Remarks on force-based design procedures for different wall systems. *Engineering Structures*, 76, 124–137.
- Šilih E.K. and Premrov, M. (2012). Influence of openings on horizontal load-carrying capacity of timber-frame wall element with fibre-plaster sheathing boards. *Advances in Engineering Software*, 43 (1), 19–26.
- Šilih, K.E. and Premrov, M. (2010). Analysis of timber-framed wall elements with openings. *Construction and Building Materials* 24, 1656–1663.

- Šilih, E.K., Premrov, M. and Šilih, S. (2012). Numerical analysis of timber-framed wall elements coated with single fibre-plaster boards. *Engineering Structure*. 41, 118–125.
- Silva, A. and Gesualdo, F. A. R. (2005). Numerical Analysis Of The Boundary Conditions Of Wooden Shear Walls In The Light Platform System. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 6(3), 113-126.
- Somer, M.E. (2010). Sürdürülebilir ve Ekolojik Yapı Elde Etmede Ahşap Kullanımı, *Mimarlık Dergisi*, 354, 57–61.
- Sorsak, M., Leskovar, V.Z., Premrov, M., Goricanec, D. and Psunder, I. (2014). Economical optimization of energy-efficient timber buildings: Case study for single family timber house in Slovenia, *Energy*, 77, 57-65
- Thelandersson, S., Larsen, H.J. (2003). *Timber Engineering*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 12-30.
- Togay, A. (2002). *Ahşap Yapılar, Türkiye'de Ahşap Yapı Endüstrisinin Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,7,10,11,84.
- Tomasi, R. and Sartori, T. (2013). Mechanical behaviour of connections between wood framed shear walls and foundations under monotonic and cyclic load, *Construction and Building Materials* 44, 682–690.
- TS 2475 “Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini”, T.S.E., Ankara, 1976.
- TS 498 “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, T.S.E., Ankara, 1997.
- TS 648 “Ahşap yapıların hesap ve yapım kuralları”, T.S.E.,Ankara, 1979.
- Valipour, H., Khorsandnia, N., Crews, K. and Foster, S. (2014). A simple strategy for constitutive modelling of timber. *Construction and Building Materials* 53, 138–148.
- Vessby, J., Serrano, E. and Olsson, A. (2010). Coupled and uncoupled nonlinear elastic finite element models for monotonically loaded sheathing-to-framing joints in timber based shear walls. *Engineering Structures*, 32, 3433–3442.
- Vogt, T., Hummel, J. and Seim, W. (2012). *Timber framed wall elements under cyclic loading*. Paper presented at the World Conference on Timber Engineering Auckland, New Zealand, 167-174.
- White, K.B. D., Miller, T.H. and Gupta, R. (2009). Seismic Performance Testing Of Partially And Fully Anchored Wood-Frame Shear Walls. *Wood and Fiber Science*, 41(4), 396–413.
- Xu, J., and Dolan, J.D. (2009b), “Development of a wood-frame shear wall model in ABAQUS, *Journal of Structural Engineering*,135(8), 977-984.

- Xu, J. and Dolan, J.D.,(2009a). "Development of nailed wood joint element in ABAQUS. *Journal of Structural Engineering*, 135(8), 968-976.
- Yamaguchi, N., Karacabeyli, E., Minowa, C., Kawai, N., Watanabe, K. and Nakamura, I. (2000). *Seismic performance of nailed wood frame walls*. Paper No8-1-1 in Proc World Conf. on Timber Eng, , Whistler, BC,
- Yasumura, M. and Kawai, N. (1998). Estimating seismic performance of wood-framed structures. *In: Proceedings of 5th WCTE*, 2, 564-571.
- Yasumura, M. and Sugiyama, H. (1984). Shear properties of plywood-sheathed wall panels with opening. *Architectural Institute of Japan*,38, 88-96.
- Yüksel, İ. (2005). *Sistem deplasmanında yeni bir yaklaşımla sünek yapılarda performans değerlendirmeleri*. Deprem Sempozyumunda sunuldu, Kocaeli, 565-576.
- Zhu, E.C., Guan, Z. W., Rodd, P. D. and Pope, D. J. (2005). A constitutive model for OSB and its application in finite element analysis. *Holz Roh Werkst*, 63, 87-93.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAGÖZ İŞLEYEN, Ümmü
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.03.1984, Antalya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (366) 280 17 51
 Faks :
 e-mail : karagozummu@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi /Orman Endüstri Mühendisliği	2010
Lisans	A.İ.B. Üniversitesi/ Orman Endüstri Mühendisliği	2006
Lise	Alanya Lisesi (Süper Lise)	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-Halen	Kastamonu Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Sütçü, A., Karagöz, Ü.,2010. “Orman Endüstri Mühendisliği Alanında Türk Bilim İnsanlarınca Yapılmış Çalışmalar ve Geleceğe Yönelik Eğilimler”, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi , 20-22 Mayıs 2010, Cilt:V sayfa:1874-1886

Şahin, H.T., Sütçü, A., Karagöz, Ü., Üçgül, İ., İlksöz, M. “Pamuk esaslı tekstil atıklarının orman ürünleri sanayinde kullanılabilme olanakları üzerine bir araştırma”, Laminart, ISSN: 1303-037X, Ağustos-Eylül 2010, Sayı 69, 12134-138

Karagöz, Ü., Kaymakçı, A., Bayram, B.C., Akyıldız, M.H., Ateş, S., Karagöz, F. 2011. Odun ve Odun Ürünlerinin Sertifikasyonu, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, s: 709- 719, Kahramanmaraş

Bektaş, İ., Kaymakçı, A., Karagöz, Ü. 2011. The Studies Made by Turkish Scientists Related to Composite Materials Based on Non Wood Product and Present Status, 2nd International Non Wood Product Symposium, Pp: 171- 177, Isparta, Turkey.

Karagöz U., Akyıldız, M.H., İsleyen, O., Milling of Wood Materials with Computerized Numerically Controlled (CNC) Router, 4th International Scientific Conference - WOODWORKING TECHNIQUE, 7-10 September 2011, Prague, Czech Republic PP:132-138

Sütçü, A., Karagöz, Ü.,2012. Effect of machining parameters on surface quality after face milling of MDF, Wood Research, 57 (2),231-240.

Sütçü, A., and Karagöz, Ü. (2013)." The influence of process parameters on the surface roughness in aesthetic machining of wooden edge-glued panels (EGPs)," BioRes.8(4), 5435-5448

Anıl, Ö., Togay, A., Söğütlü, C., Döngel, N., Karagöz, Ü., EDİZ, İ., Experimental Analysis of Hysteretic Load Behavior of Timber Framed Shear Walls with Openings, 11th International Congress on Advances in Civil Engineering- ACE 2014, Istanbul, 21-25 October 2014.

Hobiler

Yürüyüş, kitap okumak, müzik dinlemek.



GAZİ GELECEKTİR..