

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PALET RAF SİSTEMİ KULLANILARAK İNŞAA EDİLEN HANGAR
TİPİ YAPILARIN SİSMİK PERFORMANSI**

İbrahim YILDIZ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



©2019 [İbrahim YILDIZ]

TEZ ONAYI

İbrahim YILDIZ tarafından hazırlanan "**Palet Raf Sistemi Kullanılarak İnşaa Edilen Hangar Tipi Yapıların Sismik Performansı**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet FENKLİ
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



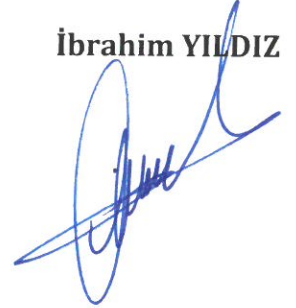
Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

İbrahim YILDIZ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bina İçi Raf Sistemi.....	1
1.2. Dış Giydirme Raf Sistemi (Hangar Tipi Raf Sistemi)	5
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	36
3.1. Materyal	36
3.1.1. Deneysel Modeller	36
3.1.2. SM1/DM1 Model tanıtımı	40
3.1.3. SM2/DM2 Model tanıtımı	43
3.1.4. SM3/DM3 Model tanıtımı	47
3.1.5. Deneysel modellerde veri toplama sistemleri	52
3.2. Sayısal Modeller	54
3.2.1. SAP2000 V14.0 sayısal modelleme yöntemi	54
3.3. Çelik Malzeme Özellikleri	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	55
4.1. DM-1, SM-1/R ve SM-1/M Modellerinin Analizi ve Değerlendirilmesi	55
4.2. DM-2, SM-2/R ve SM-2/M Modellerinin Analizi ve Değerlendirilmesi	62
4.3. DM-3, SM-3/R ve SM-3/M Modellerinin Analizi ve Değerlendirilmesi	68
4.4. Raf Tipi Sistemleri Deprem Yüğü Azaltma Katsayısının Belirlenmesi	74
4.4.1. Yapı Davranış Katsayısı	74
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PALET RAF SİSTEMİ KULLANILARAK İNŞAA EDİLEN HANGAR TİPİ YAPILARIN SİSMİK PERFORMANSI

İbrahim YILDIZ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK

Ülkemizde ve dünyada özellikle endüstriyel alanda inşaa edilen yapılar, kapalı çalışma alanları oluşturmanın yanında üretilen malların depolanması amacıyla da kullanılmaktadır. Bu sebeple inşaatı tamamlanan hangar tipi yapılar, kullanım süreci içerisinde depolama alanlarına çevrilmektedir. Bu çevrim kapsamında, kullanılan alanın maksimum verimlikte koordinasyonu ve bu koordinasyonun sağlanmasında bir parça olan otomasyonun ön plana çıkması, paletli raf sistemlerinin kullanımın yaygınlaşmasını beraberinde getirmiştir. Ülkemizde ve dünyada kullanımı gittikçe artan bu sistemler, gelen talepler doğrultusunda hafif ürünlerden başlayarak ağır sanayi ürünlere varıncaya kadar geniş bir aralıktaki yüklemelere cevap verecek kapasitede üretilebilmektedir. Bu kapsamda sahip oldukları performans seviyesi sadece üzerinde taşıdığı malzemeleri karşılamanın çok üzerinde olup, bir bütün olarak dizayn edildiklerinde, bir yapı içerisinde hizmet verdiği bir raf olmaktan çıkıp, yapının kendisi olacak düzeyde teknolojik kazanımlara ulaşmıştır. Bu sebeple bu tipteki sistemlerin yapı içerisinde hizmet elemanı olarak görev yapmaktan çıkarılıp, yapının bizzat taşıyıcı sistemi konumunda düşünülmesi gerekmektedir. Bu çevrim ekonomik kazanımları beraberinde getirecektir.

Bu çalışmada, ağır yük grubuna hizmet veren paletli raf sistemikleri kullanılarak dizayn edilen hangar tipi bir yapının sismik performansı araştırılacaktır. Bu amaçla, raf üretiminde kullanılan yapı elemanlarının, tekil ve sistem olarak SDÜ Çelik Yapılar Laboratuvarında kapasite testleri yapılacak, davranışları belirlenmeye çalışılacaktır. Test sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak

oluşturulan sayısal modeller üzerinde performans sevipleri belirlenecek bu şekli ile yapısal eleman olarak dizayn edilen bu sistemlerin güvenlik seviyeleri ortaya konulacaktır. Elde edilen veriler sonucunda, bir yapının içerinde raf olarak kullanılan bu sistemlerin yapının bir parçası olması durumundaki davranışı belirlenerek, ekonomik kazanımların n açılacaktır.

Anahtar Kelimeler: İnce Cidarlı elik Yapılar, Soğuk şekil Verilmiş Profiller, Paletli Raf Sistemleri, Dış Giydirme Raf Sistemleri, Hangar Tipi Yapılar, Performans Analizi.

2019, 83 sayfa



ABSTRACT

M.S. Thesis

SEISMIC PERFORMANCE OF HANGAR TYPE STRUCTURES USED BY USING THE PALLET RACKING SYSTEM

İbrahim YILDIZ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İlyas Devran ÇELİK

Structures constructed especially in industrial area in our country and in the world are used for storing the produced goods besides creating closed working areas. For this reason, the hangar type of buildings, whose construction is completed, is converted into storage areas within the usage process.

Within the scope of this cycle, maximum efficiency coordination and automation which is a part of ensuring this coordination, led to the widespread usage of palletized racking systems. These systems, which are increasingly used in our country and in the world, can be produced with the capacity to respond to a wide range of loads from light products to heavy industrial products. In this context, their performance level is much higher than just meeting the materials they carry, and when they are designed as a whole, they have reached the technological achievements of being the structure itself, rather than being a shelf that they serve in a structure. For this reason, this type of system should be removed from serving as a service element within the structure, the structure itself should be considered as the carrier system. This cycle will bring economic gains together.

In this study, the seismic performance of a hangar type structure designed by using pallet racking systems serving the heavy load group will be investigated. For this purpose, the structural elements used in the rack production, single and system capacity tests will be done in SDU Steel Structures Laboratory and their behavior will be determined. The performance levels will be determined on the digital models created by using the data obtained from the test results and the

security levels of these systems designed as structural elements will be determined. As a result of the data obtained, the behavior of these systems, which are used as a shelf, as a part of the structure, will be determined and the way for the economic gains will be cleared.

Keywords: Thin Wall Steel Structures, Cold Formed Profiles, Pallet Racking Systems, Rack Clad Building Systems, Hangar Type Structures, Performance Analysis.

2019, 83 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları aşmamda bilgi ve tecrübesi ile yardımcı olan değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İlyas Devran ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Sayısal modellerin hazırlanmasında ve deneylerde yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mustafa SİVRİ, Yrd. Doç. Dr. Mehmet FENKLİ hocalarıma ve Nursultan KAPARBEK UULU, Burak KOCAMAN, Yasin KILIÇARSLAN arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında hep yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen TEMESİST Şirketler Grubu Yönetim Kurulu Başkanı Halil İbrahim GÜL'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İbrahim YILDIZ
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Sırt sırta raf sistemi görünüm.....	1
Şekil 1.2. Profil kesit görünümleri.....	2
Şekil 1.3. Birleşim noktaları genel görünüm.....	2
Şekil 1.4. Çaprazsız Back to Back Model görseli	3
Şekil 1.5. Çaprazlı Back to Back Model görseli	4
Şekil 1.6. Dış Giydirme raf sistemleri genel görünüm	5
Şekil 1.7. Dış Giydirme raf sistemleri genel görünüm	6
Şekil 2.1. Test yükleme çerçevesi ve düzeni a) Çaprazsız sistem (IPA1), b) Çaprazlı sistem (IPD2).....	8
Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan deneysel model genel görünümü	12
Şekil 2.3. Deney düzeneği yükleme şekli	12
Şekil 2.4. Çapraz bağlantı şekli genel görünüm	13
Şekil 2.5. Sırt sırta çerçeve sayısal model genel görünüm.....	15
Şekil 2.6. Sayısal model burkulma durum genel görünümleri a)Basit elemanlarla sırt sırta çerçeveni burkulması (Model 1), b)Wagner etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 2), c)Wagner ve burulma eğilmesinin rijitliği etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 3), d)Wagner, burulma eğilmesi ve kayma merkezi dış merkezliliğini hesabı etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 4)	16
Şekil 2.7. Çalışmada kullanılan deneysel modelden görünüm verilmştir a) Numune boyutları, b) Sismik test görünümü	18
Şekil 2.8. Kolondaki bağlantılar, Raf tipi kesit tipi ve adlandırma.....	21
Şekil 2.9. Kısa kolon testi şematik görünümü.....	21
Şekil 2.10. Sonlu eleman mesh görünümleri a) izometrik görünüş, b) Ön görünüş, c) Flanş görünüş, d) Gövde görünüş.....	22
Şekil 2.11. Simülasyonlardaki yer değiştirme görünümleri a) Nominal kolon, b) Gerçek kolon, c) Brüt kolon, d) Net kolon	22
Şekil 2.12. Moment-Rotasyon test görünümleri a) Kiriş ucu konektör moment rotasyon test düzeneği, b) Deplasman ölçer yerleşimi.....	24
Şekil 2.13. Yükleme düzeneği görünümü	25
Şekil 2.14. Yükleme düzeneği genel görünümü a) Üst görünüş, b) Yan görünüş	25

Şekil 2.15. Birleşim deneysel moment-rotasyon eğrisi	26
Şekil 2.16. Tipik paletli raf sistemi görünümü	27
Şekil 2.17. Kolon kesit detay görünümü	28
Şekil 2.18. Kiriş ve konektör detay görünümleri a) Kiriş kesit görünümü, b) Konektör kesit görünümü	28
Şekil 2.19. Test düzeneği şematik çizim görünümü	29
Şekil 2.20. Test düzeneği şematik çizim görünümü	29
Şekil 2.21. Deney sonrası 1.8UT-4L-100BD ve 1.8UT-5L-100BD numune görünümleri a) 4 kancalı numune görünümü, b) 5 kancalı numune görünümü	30
Şekil 2.22. Önerilen güç modeli ile deneysel moment-dönme davranışının karşılaştırılması.	30
Şekil 2.23. Tek ve Çift taraflı konsol deney düzeneği a) Tek taraflı konsol görünümü, b) Çift taraflı konsol görünümü	32
Şekil 2.24. Kolon ve kiriş kesit görünümleri a) Kolon kesiti, b) Kiriş kesiti.....	33
Şekil 2.25. Tam ölçekli deney görünümleri a) Deney düzeneği, b) Gerinim pul yerleşim düzeni.....	33
Şekil 2.26. Konsol testi sonlu eleman model görünümleri a) Tek taraflı sonlu eleman model, b) Çift taraflı sonlu eleman model.....	33
Şekil 2.27. Konsol testi sonlu eleman model ve deneysel model sonuç karşılaştırması a) Tek taraflı konsol sonlu eleman ve deneysel model karşılaştırılması, b) Çift taraflı konsol sonlu eleman ve deneysel model karşılaştırılması.....	34
Şekil 3.1. Yükleme çerçevesi ve deney düzeneği yerleşim planı	36
Şekil 3.2. Deney düzeneği genel görünümü.....	37
Şekil 3.3. Raf sistemi kesit görünüm	38
Şekil 3.4. Raf sistemi boyutları	38
Şekil 3.5. Yükleme düzeneği ve piston genel görünümü	39
Şekil 3.6. SM1/DM1 Çaprazsız model izometrik görünümü.....	40
Şekil 3.7. SM1/DM1 Çaprazsız model kesit görünümü a) Yan görünüm, b) Ön görünüm, c) Kat görünüm	41
Şekil 3.8. SM1/DM1 Model çapraz detay görünümü a) Çaprazsız modül izometrik görünümü, b) A-Detay görünümü, c) B-Detay görünümü...	42

Şekil 3.9. SM1/DM1 model montaj detay görünümü.....	43
Şekil 3.10. SM2/DM2 Statik Gergili model izometrik görünümü.....	44
Şekil 3.11. SM2/DM2 Çaprazsız model kesit görünümü a) Yan görünüm, b) Ön görünüm, c) Kat görünüm.....	45
Şekil 3.12. SM2/DM2 Model çapraz detay görünümü a) Gergi izometrik görünümü, b) A-Detay görünümü, c) B-Detay görünümü, d) C-Detay görünümü.....	46
Şekil 3.13. SM2/DM2 model montaj detay görünümü.....	47
Şekil 3.14. SM3/DM3 Çaprazlı model izometrik görünümü.....	48
Şekil 3.15. SM3/DM3 Çaprazsız model kesit görünümü a) Yan görünüm, b) Ön görünüm, c) Kat görünüm.....	49
Şekil 3.16. SM3/DM3 Model çapraz detay görünümü a) Çapraz izometrik görünümü, b) A-Detay görünümü, c) B-Detay görünümü, d) C-Detay görünümü.....	50
Şekil 3.17. SM3/DM3 model montaj detay görünümü.....	51
Şekil 3.18. Deplasman ölçer yerleşim planı.....	52
Şekil 3.19. SM1/DM1 Çaprazsız model genel görünüm.....	53
Şekil 3.20. SM2/DM2 Statik Gergili model genel görünüm.....	53
Şekil 3.21. SM3/DM3 Çaprazsız model genel görünüm.....	53
Şekil 4.1. Çaprazsız model genel görünüm.....	56
Şekil 4.2. Çaprazsız model deney öncesi genel görünüm.....	57
Şekil 4.3. Çaprazsız model deforme olmuş görünümü.....	58
Şekil 4.4. Çaprazsız Model Kapasite grafikleri a) ÜST sol deplasman grafiği, b) ÜST sağ deplasman grafiği, c) ALT sol deplasman grafiği, d) ALT sağ deplasman grafiği.....	60
Şekil 4.5. SM-1 Mekanizma durumu genel görünümü.....	61
Şekil 4.6. DM1/SM1 Kapasite eğrileri karşılaştırması.....	62
Şekil 4.7. Statik Gergili model deney öncesi genel görünüm a) Önden genel görünüm , b) Arkadan genel görünüm.....	63
Şekil 4.8. Statik Gergili model deforme olmuş görünümü.....	64
Şekil 4.9. Statik gergi bağlantı ekipmanının deformasyon sonrası genel görünümü.....	64

Şekil 4.10. Statik Gergili Model Kapasite grafikleri a) ÜST sol deplasman grafiği, b) ÜST sağ deplasman grafiği, c) ALT sol deplasman grafiği, d) ALT sağ deplasman grafiği	66
Şekil 4.11. SM-2 Mekanizma durumu genel görünümü	67
Şekil 4.12. DM2/SM2 Kapasite eğrileri karşılaştırması	67
Şekil 4.13. Deprem Çaprazlı model deney öncesi genel görünüm a) Sistem genel görünümü , b) Deprem çaprazı genel görünümü	69
Şekil 4.14. Deprem Çaprazlı model deforme olmuş görünümü	70
Şekil 4.15. Deprem Çaprazlı Model Kapasite grafikleri a) ÜST sol deplasman grafiği, b) ÜST sağ deplasman grafiği, c) ALT sol deplasman grafiği, d) ALT sağ deplasman grafiği	72
Şekil 4.16. SM-3 Mekanizma durumu genel görünümü	73
Şekil 4.17. DM3/SM3 Kapasite eğrileri karşılaştırması	73
Şekil 4.18 Elastik sistemde basitleştirilmiş statik itme eğrisi (Celep,2014).....	74
Şekil 4.19 Kapasite eğrisi performans dağılım grafiği	75
Şekil 4.20. Çalışmada kullanılan tüm modellerin kapasite karşılaştırmaları a) Modül 1 Kapasite Eğrisi, b) Modül 2 Kapasite Eğrisi, c) Modül 3 Kapasite Eğrisi	77
Şekil 5.1. Travers konnektörü bağlatı detayı	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Numunelerden elde edilen sonuçlar	8
Çizelge 2.2. Ansys ve tam ölçekli test arasındaki eğilme momenti ve sehim karşılaştırılması	34
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan modellerin sabit parametreleri.....	37
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal değişkenleri.....	39
Çizelge 3.3. SM1/DM1 model montaj detay listesi	43
Çizelge 3.4. SM2/DM2 model montaj detay listesi	47
Çizelge 3.5. SM3/DM3 model montaj detay listesi	51
Çizelge 3.6. Yapı çeliği malzeme özellikleri	54
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan modeller	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	American Iron and Steel Institute
E_c	Elastisite modülü
D	Dayanım Fazlalığı Katsayısı
F_a	Kopma gerilmesi
F_y	Akma gerilmesi
G	Kayma modülü
R_a	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
RMI	Rack Manufacturers Institute
R_y	Dayanım Azaltma Katsayısı
U_e	Elastik Sistemin Ötelenmesi
V_e	Elastik Deprem Yüğü
θ	Poisson oranı
α	Lineer ısı genleşme katsayısı
ρ	Yoğunluk

1. GİRİŞ

1.1. Bina İçi Raf Sistemi

Ülke endüstrisindeki üretim hacminin artışı, sektör içerisindeki firmalar için depolama alanlarının oluşturulmasını bir zorunluluk haline getirmiştir. Sektördeki bu hızlı gelişme, üretim ve sevkiyat hattı arasındaki kondisyonun ön plana çıkmasını sağlamıştır. Bu koordinasyon talebi, depolama sahalarının otomasyon teknolojisini kullanarak minimum alanda maksimum kazanımların elde edilmesini zorunluluk haline getirmiştir. Bu sebeple son yıllarda paletli raf sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Şekil 1.1.'de bu sistemlerden görünüm verilmektedir.



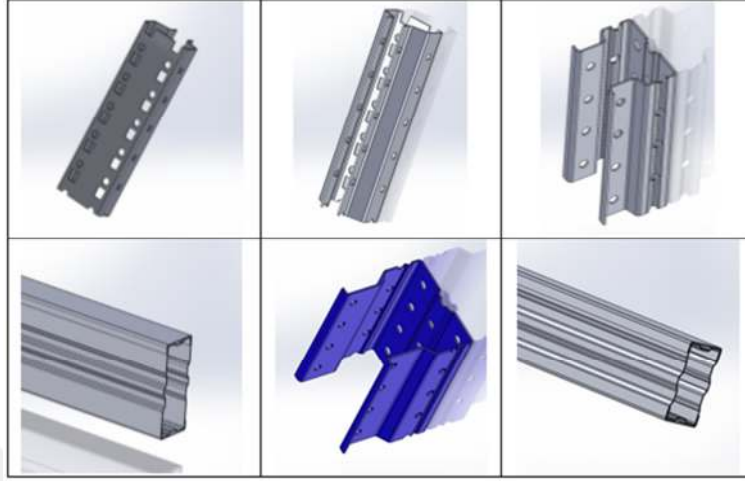
Şekil 1.1. Sırt sırta raf sistemi görünüm

Şekil 1.1.'de genel görünümü verilen raf sistemlerinde oluşturuldukları sistem geometrisi dikkate alınarak isimlendirilmektedir. İsimlendirme de kullanılan bu dizayn geometrisi, sistemin çalışma prensibini de oluşturmaktadır. Bu tipteki sistemlerin öncelikli görevleri üzerindeki depo unsurların yüklerini güvenli bir şekilde zemine aktarılması üzerine kurgulanmıştır. Bu durumu da en küçük alanda maksimum depolama alanı için gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu kapsamda oluşturulan taşıyıcı sistem yatay, düşey ve stabilite elemanlarından oluşmaktadır.

İnce cidarlı çelik konstrüksiyon grubunda yer alan paletli raf sistemleri; levha tipi çelik malzemenin, soğuk şekil verilmesi ile elde edilen profillerden inşaa

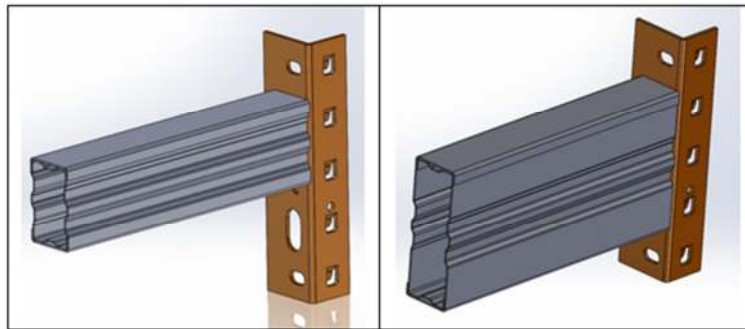
edilmektedir. Sistemin imalatında kullanılan profillerden kesitlerin sunulduğu şekil 1.2.'de görüldüğü üzere genellikle C, L ve Dikdörtgen tipi profiller ön plana çıkmaktadır.



Şekil 1.2. Profil kesit görüntüleri

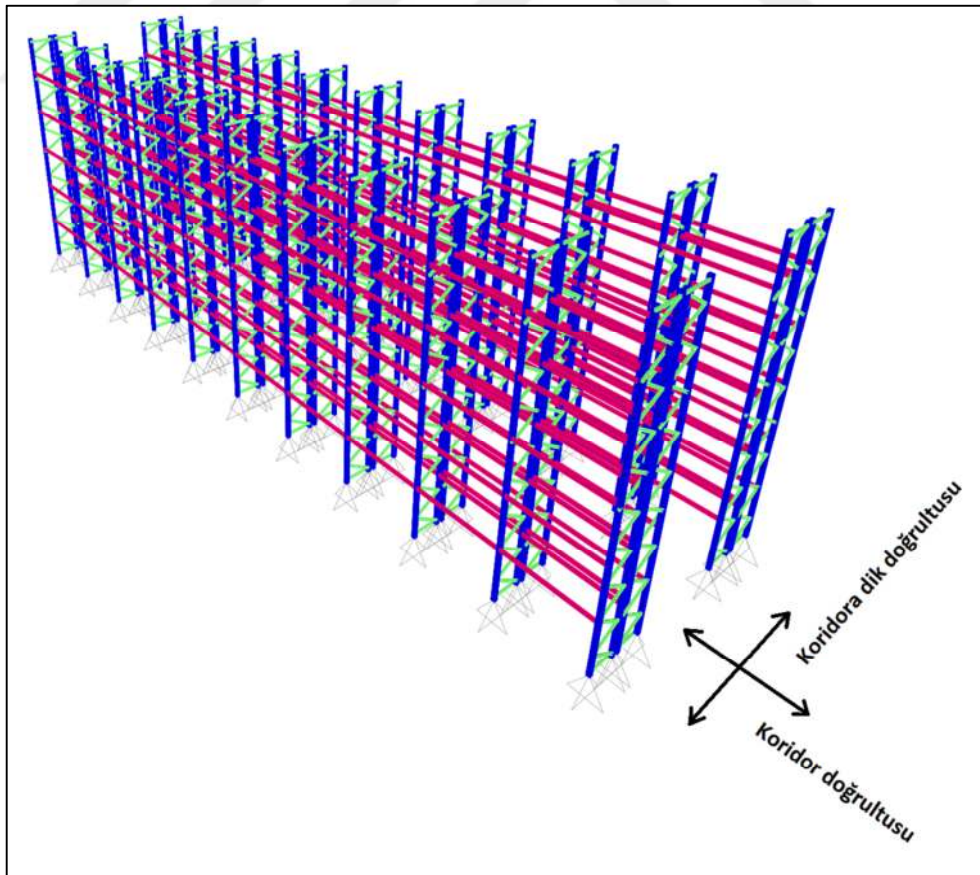
Şekil 1.2.'de kesit görüntüleri sunulan profiller genellikle dikey ve yatay taşıyıcılar için üretilmektedirler. Bunun yanın da ihtiyaca binaen stabilite çaprazları içinde kullanılan bu profillerin dışında bu kısımda dairesel kesit yada lama tipi profiller kullanılmaktadır.

Depolama hacminin ve kolaylığının ön plana çıktığı bu tipteki taşıyıcı sistemlerde, taşıyıcı profil modül boyları hizmet vereceği ürün grubuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple, taşıyıcılar üzerinde farklı seviyelerde birleşimler elde edebilmek için profiller üzerinde tırnak tipi montaj elemanları kullanılmaktadır. Bu şekli ile değişken yüksekliklerde montaj imkânı sunulmuştur. Şekil 1.3.'de birleşim şekil gösterilmektedir.



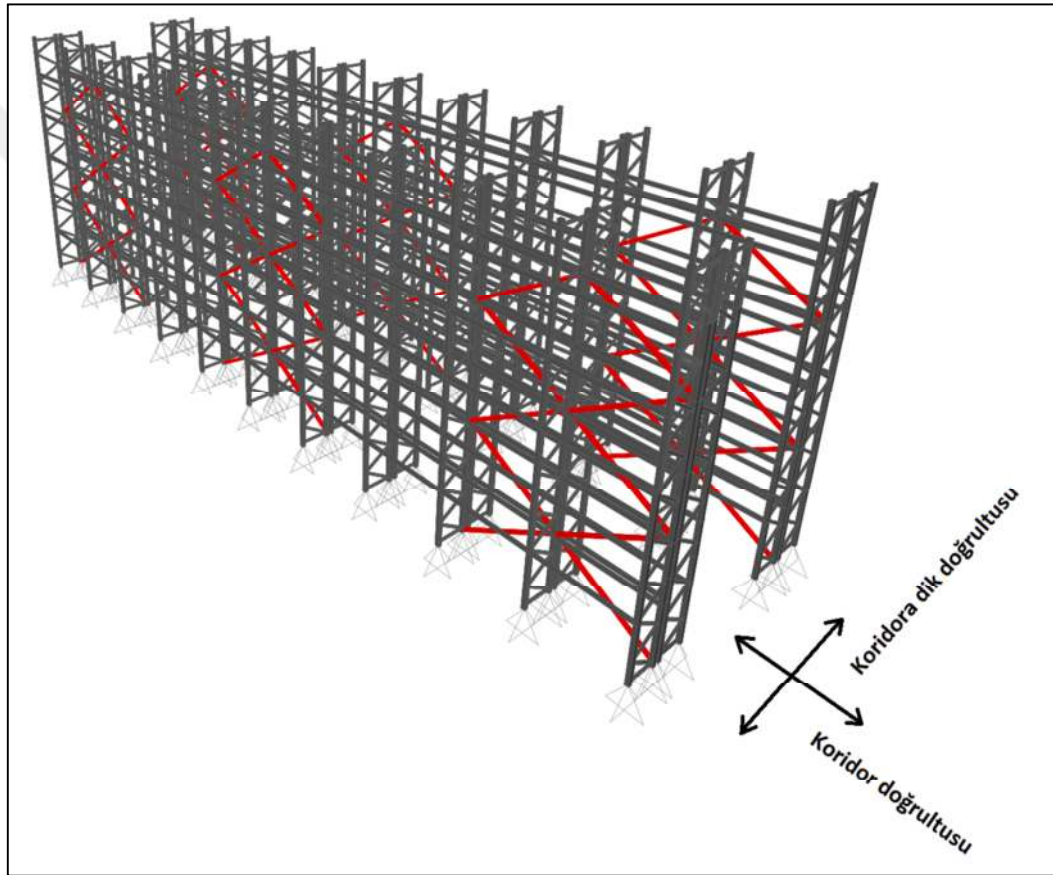
Şekil 1.3. Birleşim noktaları genel görünüm

Paletli Raf sistemlerinde modül boyları üretildikleri yere ve talebe göre değişmesine rağmen genellikle 2,20-2,70-3,0 ve 3,30m aralığında değerler almaktadır. Bu boylarda üretilen modüller, depolama hacmini maksimize edecek şekilde montaj edilmektedir. Bu sebeple raf sistemleri koridora dik doğrultuda diagonal ve yatay elemanlarla ile sismik yeterliliğe ulaştırılır iken koridor doğrultusu hizmet verdiği amaç doğrultusunda rijitleştirilememektedir. Bu sebep ile koridor doğrultusundaki rijitlik talebi kullanılan profillerin atalet kapasitesince karşılanmaktadır. Sistemde kullanılan birleşimler, sahip oldukları serbestlik koşulları ile yarı rijit ve mafsallı davranmaktadır. Deprem etkisi altında kolon-kiriş bağlantı teşkilllerinin yarı rijit olması ve bu değer in koridor doğrultusunda ki deplasmana karşı koyması oldukça güçtür. Şekil 1.4.'de Çaprazsız back to back bilgisayar modeli görselinde görüleceği üzere sistem sadece koridora dik doğrultuda ki elemanlarla rijitleştirilmiş olduğu gözükmemektedir. Buna karşılık koridor doğrultusunda çerçeve sistemi, kısmi moment aktaran sistemdir.



Şekil 1.4. Çaprazsız Back to Back Model görseli

Raf sistemleri mesnetleri genel olarak sahada mekanik veya kimyasal dübelleme yolu ile saha betonuna sabitlenmektedir. Bilgisayar modelinde böyle bir mesnetlenme şekli sabit (mafsallı) mesnet olarak seçilmesini gerektirmektedir. Şekil 1.5.'de ki bilgisayar modelinde ise koridor doğrultusunda ki olması gereken rijitlik iki modül arasına ilave edilen X çapraz sistemi ile giderilmiştir. Burada kullanılan elemanlar genellikle soğuk çekim malzemelerden değil, en kesit koşullarını sağlayan boru ve kutu profillerden seçilip basınç ve çekmeye göre dizayn edilir.



Şekil 1.5. Çaprazlı Back to Back Model görseli

Böylelikle her iki doğrultuda sistem yanal ötelenmesi engellenmiş merkezi merkezi veya dış merkezli çaprazlı sistem haline gelmiş olur. Yanal yükler her iki doğrultuda çapraz elemanlar tarafından karşılanacaktır.

1.2. Dış Giydirme Raf Sistemi (Hangar Tipi Raf Sistemi)

Tüm dünyada son dönemde depo yatırımlarında ve sistem tercihlerinde büyük bir değişim yaşanmaktadır. Müşteriler daha fazla alan gereksinimini yatayda değil dikey depolamada kullanmak istemektedir. Bu yönelimin arkasında büyük şehirlerdeki arazilerin metrekare maliyetlerinin hayli yüksek olması ve diğer taraftan da kısıtlı mekanların kalmasıdır. Bu iki darboğaz firmaları yeni arayışlara itmektedir. Depo üreticileri de müşterilerinden gelen bu taleplere karşı yeni ar-ge odaklı inovatif yeni çözümler getirmektedir.

Dış cephe giydirme sistemleri özellikle herhangi bir kapalı prefabrik yapıya ihtiyaç duymadan, hem depo hem de depolama fonksiyonları ile kullanıcılara hizmet vermektedir. Giydirme cephe raf sistemlerinin diğer önemli bir avantajı ise depo sistemi içerisinde herhangi bir betonarme veya çelik taşıyıcı olmaması yani yer kaybı söz konusu değildir. Giydirme cephe raf sistemleri, imari irtifada engel olmamak şartıyla yüksek katlı yapılabilmektedir. Diğer taraftan bu sistemler istenildiğinde bir lokasyonda sökülebilmekte ve kısa zamanda diğer lokasyonda kurulabilmektedir. Bu özellik, müşteriler için “esneklik” getirmektedir. Kiralık depo sahası kullanan müşteriler için bu durum az maliyetle, yüksek hızla taşınma ve yeni sahada depo kurulumu için son derece uygundur.



Şekil 1.6. Dış Giydirme raf sistemleri genel görünüm



Şekil 1.7. Dış Giydirme raf sistemleri genel görünüm

Şekil 1.6. ve 1.7.'de genel görünümeleri verilen Dış Giydirme Raf Sistemlerinin Avantajları da şu şekilde sıralayabiliriz.

1. Bina inşaatına gerek duyulmadığından, maliyet ve teslim süresi kısadır.
2. Kolon ve kiriş kayıplarına olmadığı için depo hacmini maksimum kullanım sağlar.
3. Standart ve otomatik istif araçları kullanımına olanak sağlar.
4. Modüler yapısı sayesinde gerekli durumlarda demonte olup farklı yere montajı yapılabilir.
5. İnşaat yatırımı yapmayı gerektirmez, bu nedenle %18 ile % 30 arasında fiyat avantajı sağlamaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Konuyla ilgili yapılan, seçilmiş çalışmalardan bir kısmı aşağıda verilmiştir. Araştırmaların hemen hemen tümünde benzer deneysel çalışmalar yapıp farklı eleman kesit ve birleşimleri için davranış özellikleri belirlenmiş ve teorik, sayısal yaklaşımlarla desteklenen çalışma sonuçları kullanılarak tasarım önerilerinde bulunulmuştur. Bu kapsamda;

Carlo Andrea CASTIGLIONI, Alper KANYILMAZ, Giovanni BRAMBILLA, Gian Paolo CHIARELLI (2015). Bu makale yakın zamanda çelik depolama raf sistemleri ile ilgili Politecnico di Milano'da organize edilen ve yürütülen tam ölçekli itme analizleri sonuçlarını içermektedir. Bu testlerin bir kısmı SEISRACKS2 "Çelik Depolama Raf Sistemlerinin Sismik Davranışı" isimli bir Avrupa Araştırma Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir RFSR-CT-2011-00031 (Castiglioni et al., 2014). Diğerleri ise endüstriyel üreticilerin müşavirlikleri için yürütülmüştür. Bu son testlerin yapılması "SEISRACK2" projesinin depolama raf sistemleri ile ilgili endüstriyel sektör üzerindeki etkisi için bir anahtar gösterge niteliğindedir. Tam ölçekli itme testi sonuçları tasarımda yapılan seçimlerin deneysel olarak doğruluğunun onaylanmasını ve sayısal modelin düzeltilmesini sağlamaktadır. Bunun bir sonucu olarak sayısal modeller ile geliştirilen tüm çelik depolama raf sistemlerinin gerçek davranışı benzeştirilmektedir.

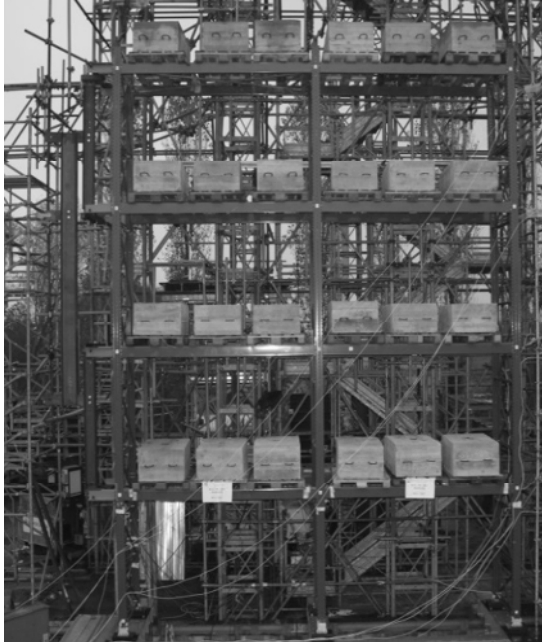
Deney düzeneği ve test yöntemi;

Tüm testler Marcegaglia Buildtech'e ait bir komplekste yapılmış ve Politecnico di Milano tarafından yönetilmiştir. Toplamda 14 adet gerçek boyutta numuneler test edilmiş ve Çizelge 2.1. özetlenmiştir.

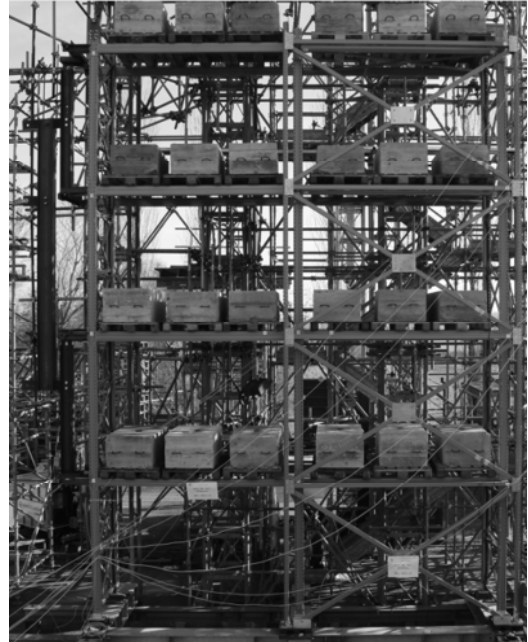
Çizelge 2.1. Numunelerden elde edilen sonuçlar

	Endüstriyel Üretici	Numune	Raf tipi
"SEISRACKS2"	IP A	IPA1	çaprazsız
		IPA2	çaprazlı
	IP B	IPB1	çaprazsız
		IPB2	çaprazlı
	IP C	IPC1	çaprazsız
		IPC2	çaprazlı
	IP D	IPD1	çaprazsız
		IPD2	çaprazlı
MÜŞAVİRLİK	S A	S	çaprazsız
		S	çaprazlı
		S	çaprazlı
	S B	S	çaprazsız
		S	çaprazsız
		S	çaprazlı

Tüm numuneler iki göz ve 4 katlı raf sisteminden oluşmaktadır. Her raf katının yüksekliği 2 m olup, test sırasında 4 adet raf katı da yüklenmiştir.



a) Çaprazsız sistem (IPA1)



b) Çaprazlı sistem (IPD2)

Şekil 2.1. Test yükleme çerçevesi ve düzeni a) Çaprazsız sistem (IPA1),
b) Çaprazlı sistem (IPD2)

Numunelerin toplam yüksekliği 8 metredir ve dikme aralıkları 1.2 ila 1.1 m arasında değişmektedir. Bu konfigürasyon uygulamada kullanılan en yaygın raf tiplerine karşı gelmektedir. Bu boyutlar bağlayıcı değildir ve deney düzeneği numune boyutlar ve/veya yükleme doğrultusuna (düşey veya enine doğrultuda) bağli olarak kolaylıkla uygulanabilir. Numuneler FEM 10.02.08'deki tasarım parametreleri kullanılarak boyutlandırılmıştır. Şekil 2.1.'de numunelerin iki tipik şekli görölmektedir.

Şekil 2.1.'den göröldüğü gibi, numuneler şunlardan oluşmaktadır:

- Düşey çerçeveler: Çapraz elemanlarla oluşturulmuş bir taşıyıcı sistem ile bağlantılı ince cidarlı soğukta şekil verilmiş delikli profillerle teşkil edilen 2 adet dikmeden oluşmaktadır.
- Raf kirişleri: Çerçevenin komşu düşey dikmelerini birbirine bağlayan, işletme eksenine paralel (boyuna doğrultuda) yatay düzlemde yer alan elemanlardır. Bunlar soğukta şekil verilmiş iki adet "C" profillerinden oluşturulmuş kutu kesitlerdir ve dikmelerin deliklerine geçen uç levha bağlantılarına kaynaklanmışlardır.
- Kiriş-Kolon birleşimleri: Kirişin kolonlara birleşimi, kiriş uçlarına kaynaklanmış patentli özel üretim kancalı bağlantılardır ve bu kancalar dikmelerin üzerinde düzenli aralıklara bırakılan boşluklara geçirilmek suretiyle bağlantı sağlanmaktadır.
- Mesnet bağlantıları: Dikmelerin temele bağlantısını sağlayan mesnet ayağı L-şeklindeki bir elemanla teşkil edilmiştir. Dikmeler bu mesnet ayağına L elemanın düşey kısmında yer alan oval deliklerden bulon geçirilip sıkılmak suretiyle tespit edilmiştir. L şeklindeki mesnet ayağının yatay kısmında ise ankraj bulonları kullanılmak suretiyle dikmenin temele bağlantısı sağlanmıştır. Bulonların yerleşimi ve sayısı tasarımcının seçimine bağlıdır.

Çaprazlı sistemde ayrıca şunlar bulunmaktadır:

- Düşey çaprazlar: Çerçeve düzlemine paralel düşey düzlemde yer alan çaprazlar komşu çerçevenin dikmelerini birbirine bağlamaktadır. Bu düşey

perde tek taraftan yükleme girişı olan depolama raflarının arka tarafında düzenlenir ve düşey dikmeler, enine elemanlar (genelde basınca çalışan) ve genellikle çekmeye çalışan çapraz elemanlardan oluşmaktadır.

- Yatay çaprazlar: Kirişler arasında diyagonal elemanlar teşkil edilir ve böylece yatay kuvvetler dikmenin çaprazlanmamış düşey düzleminden çaprazlanmış düşey düzlemine aktarılırlar.

Bu çalışmada tam yüklü paletli depolama çelik raf sistemlerinin önemli yatay yükler altında davranışları araştırılmıştır. Raf numuneleri uluslararası raf üreticilerinden temin edilmiş olup, bunların boyuna doğrultularında testleri yapılmıştır.

Numunelerden elde edilen tümsel deplasman-yük davranışı sonucu iki önemli tip gözlemlenmiştir: sünek ve gevrek. Çaprazsız raf sistemlerinde, yumuşak kat mekanizmasının meydana gelmesi sonucu gevrek davranış gözlemlenirken, çaprazlı raf sistemlerinde ise çapraz birleşimlerinde oluşan ani kopmanın birleşimin plastikleşme mekanizmasının gelişimine izin vermediği sonucuna varılmıştır.

Gevrek davranış tasarım kabulleri ile uyumlu değildir. Buna göre, tasarımda öngörülen ile testten elde edilen q-faktörü değerleri arasında bazı durumlarda farklılığın oluştuğunun bilinmesi yeterlidir. Bu nedenle eğer sünek tasarım kabul edilecekse, tümsel dayanım, rijitlik ve düktillik kavramları cinsinden gerçek yapı davranışının onaylanması endüstriyel üreticiler için acil bir gereksinimdir. Bu bildiride bu gereksinime yönelik raf numunelerinin tam ölçekli itme testlerinin yapılmasının pratikte nasıl etkin ve kolay-uygulanabilir olduğu gösterilmektedir. Bunun yanı sıra test sonuçları raf sistemlerinin sayısal modellerinin onaylanması ve kalibre edilerek düzeltilmesinde kullanılabilir. Raf sistemlerinin gerçek davranışını tam olarak yansıtabilen sayısal modellerden başlayarak, endüstriyel üreticiler testlerde kullanılan yapısal elemanlar ve birleşimler veya bunların geometrisi ve enkesit mukavemet özelliklerine sahip çelik depolama raf sistemlerini esas aldıklarında, bunların daha güvenli şekilde tasarımını yapmaları mümkün olabilecektir.

“SEISRACKS2” projesi kapsamında geliştirilen test metodolojisi bir test protokolüne dönüştürülmüştür. Böyle bir protokol izlenerek, Politecnico di Milano’da yönetilen laboratuvar tesislerinde “SEISRACKS2” projesinden elde edilen en son bulguların çelik depolama raf sistemlerinin endüstriyel üreticilere etkisinin gösterildiği testler, yakın zamanda iki endüstriyel üretici için yapılmıştır.

Benoit P. Gilbert, Ph.D.1, Kim J. R. Rasmussen, M.ASCE2 (2012), Soğuk haddelenmiş çelikten yapılmış depolama rafları, ürünlerin depolanması için endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Back to Back ve Drive-in olarak adlandırılan iki ana raf sistemi hakimdir. Uluslararası raf tasarım standartları ağırlıklı olarak Back to Back raf sistemidir, ancak Drive-in raf sistemleri için sınırlı sayıda tasarım kılavuzu bulunmaktadır. Drive-in raf sistemi, paletleri art arda boşluk bırakılmadan depolayarak minimum alan kaplamaktadırlar. Forklift ile kanal içine girerek istiflememe yapılır, ilk giren son çıkar prensibi ile paletler depolanır. Forklift girişine izin verilmesi için, drive-in raf sistemlerinde çapraz bağlantıları sadece kanal sonunda ve koridor doğrultusunda üstten bağlanabilir; sonucunda, göçme riski yüksek ve az bilinen üç boyutlu davranışa (3D) sahip karmaşık narin bir yapı oluşmaktadır. 3D davranışlarını doğru bir şekilde yakalamak için drive-in raf sistemlerinde yapılan testler daha önce literatürde mevcut değildir. Bu çalışmada, bir drive-in raf sistemi modülü üzerinde yapılan tam ölçekli testlerden deney sonuçları sunulmaktadır. Çeşitli yatay yükleme koşullarında yük aktarımı ve bağıl rijitlik deneysel araştırmaları sunulmaktadır. Deneyler yüklü ve yüksüz modüllerde yapılmıştır.

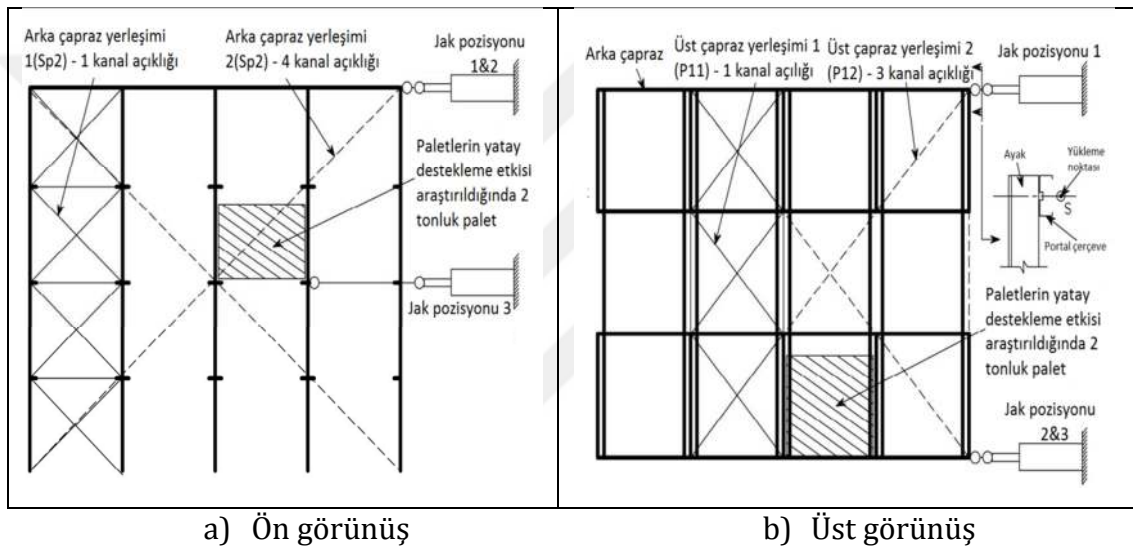
Bu araştırma, drive-in raf sistemlerde forkliftlerin kanala girme ve çıkma esnasında kazara çarpma sonucunda gerçekleşen yatay darbeler altında dayanım ve davranışını incelenmemiştir.

Yüklü ve yük olmadığı durumlarda, farklı bağlantı şekillerin rijitliğe etkisi de irdelenmiştir. Raf sisteminin 3D davranışı koridora dik ve koridor doğrultusunda kapsamlı yatay deplasman ölçerler sayesinde açıklanmıştır. Ayakların eğilme momenti ve eksenel kuvvetleri gerinim ölçer cihazları

Deney çalışmada 6 adet farklı çapraz bağlantı şekli test edilmiştir, bunların 2 si kanal sonu, 2 si kanal boyunca üst çapraz, bir adet kanal sonunda ve bir adet üstte kanal boyunca çapraz bağlantısı kullanılmadan bakılmıştır. Çapraz rijitliklerini değiştirmek için bu farklı düzendeki bağlantılar tasarlanmıştır.

Arka çaprazları kullanımında: 1-tip tek kanal gözünde çapraz bağlantı uygulanmıştır, 1-tip tüm kanallar çapraz bağlantı uygulanmıştır.

Üst çaprazları kullanımında: 1-tip tek kanal gözünde çapraz bağlantı uygulandı, 1-tip 3 kanalla çapraz bağlantı uygulandı. Şekil 2.4.'de farklı tip çapraz kullanım şekilleri gösterilmiştir.



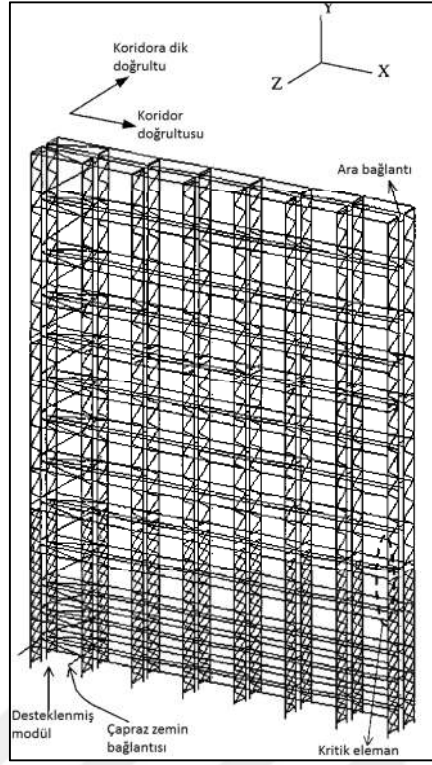
Şekil 2.4. Çapraz bağlantı şekli genel görünüm

Bu çalışma, bir drive-in raf sistemi üzerinde statik testlerin sonuçlarını sunmaktadır. Makalede taban plakasının yükseltilmesi ve farklı tip çapraz bağlantıları kullanarak raf sisteminde deformasyonlar, rijitlikler ve iç kuvvetlerin etkisini incelemiştir. Rafın gözlenen 3D davranışı, modül üst planının koridora dik ve koridor doğrultusunda oluşan yer değiştirmelerini çizerek incelenmiştir.

Raflara yüklerin dolu ve boş hali incelenmiştir, burada esas olarak yüklü durumda paletlerin ve taban plakaların sağladığı rijitlik artışı görülmüştür. Paletlerin raflara önemli ölçüde dayanım sağladığı gösterilmiştir. Testler, drive-in rafların sayısal modellerini doğrulamak için yararlıdır.

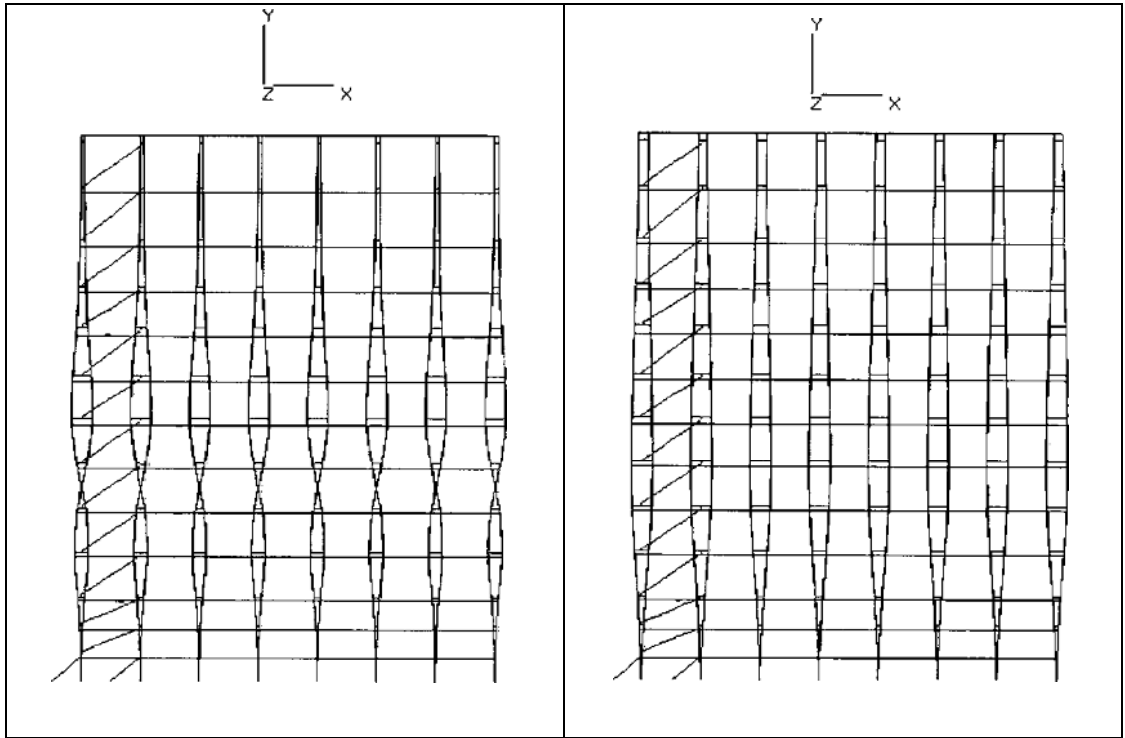
Raf sisteminin bir sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve rafın gözlenen 3D davranışını doğru şekilde bulunmuştur. Model, (Zhang ve ark. 2012) yazıdaki dinamik darbe testlerine göre kalibre edilmiş ve drive-in rafların yapısal tasarımı için nominal darbe kuvvetlerini ve yük faktörlerini belirlemek için bir güvenilirlik analizi ile birlikte kullanılmıştır.

Lip H. Teh¹, Gregory J. Hancock², Murray J. Clarke³ (2004), Çelik depolama raf çerçevelerinin tasarımında, üç boyutlu (3D) doğrusal burkulma analizleri yerine iki boyutlu 2D analiz yapmak çok daha yaygındır. Bu çalışmada, yüksek katlı çelik depolama raf çerçevelerinin global burkulma davranışının, 3D etkileşim modları söz konusu olduğunda 2D burkulma analizi ile ortaya çıkmayabileceği gösterilmiştir. Yüksek katlı raf çerçevesinin monosimetrik raf ayak kesitinin kayma merkezi eksantrikliği nedeniyle eğilmeli-burulma modunda başarısız olduğu ve raf çerçevenin kritik eleman belirlemede üç boyutlu burkulma analizi daha güvenilir olduğu gösterilmiştir. Mevcut çelik depolama raf tasarım standartları, bağımsız yapılan 2D eğilmeli burkulma analizlerini ve 3D davranışı dikkate alarak ayakları ayrı ayrı basitleştirilmiş ve eğilmeli burulmalı burkulma analizini birleştirilmiştir. Raf ayakların, 3D burkulma analizleri ile burkulma gerilmeleri belirlemesi ve çelik depolama raf standartlara göre belirlenen burkulma gerilmelerin karşılaştırmaları sunulmuştur. 2D analiz tabanlı prosedürlerin kullanılmasında güvenlik veya ekonomi açısından paletli rafların yanlış orantılı yapıya yol açabileceği sonucuna varılmıştır. Değişken derecelerde inceltme seviyelerine sahip 3D kiriş elemanlarının kullanıldığı burkulma analiz sonuçlarının karşılaştırılmasıyla, ticari çerçeve analiz programlarının çoğunda mevcut kiriş elemanlarının, monosimetrik ince cidarlı açık kesitlerden oluşan yüksek katlı raf çerçevelerinin doğru 3D burkulma analizleri için yeterince tam olmadığı da gösterilmiştir. Şekil 2.5.'de çalışmada kullanılan sayısal modelden bir görünüm verilmiştir.



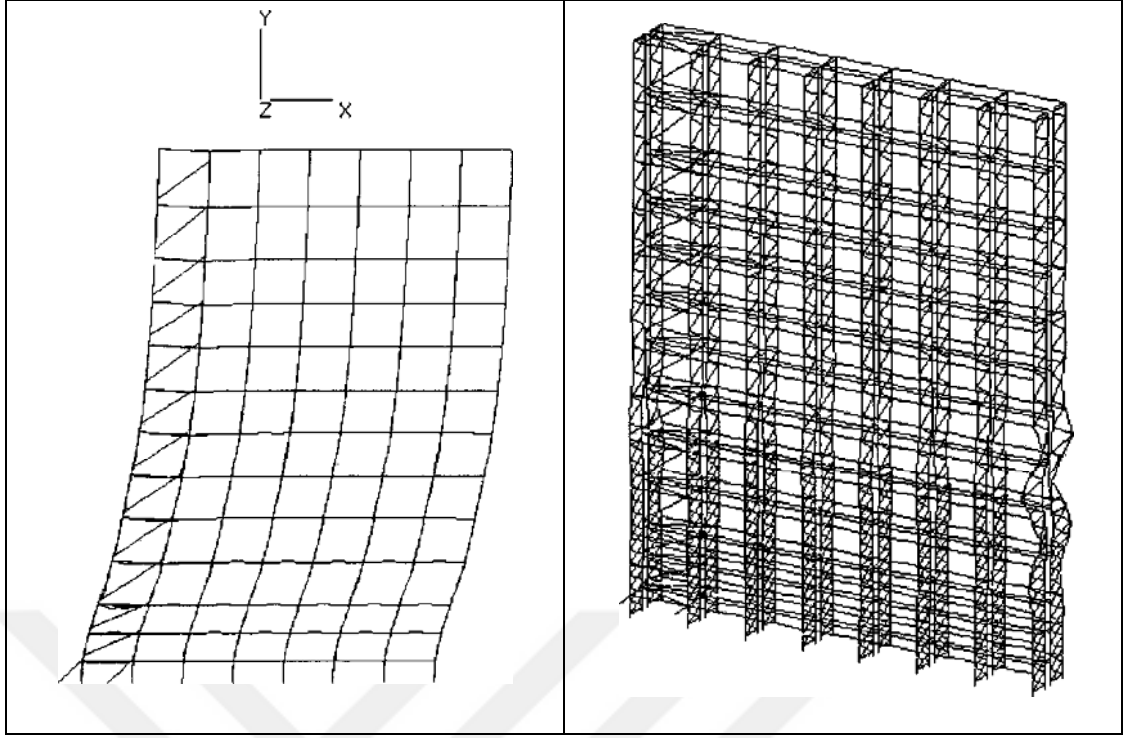
Şekil 2.5. Sırt sırta çerçeve sayısal model genel görünüm

Şekil 2.6.'de çalışmada kullanılan sayısal modelin burkulma durumları ayrı ayrı gösterilmiştir.



a) Basit elemanlarla sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 1)

b) Wagner etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 2)



c) Wagner ve burulma eğilmesinin rijitliği etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 3)

d) Wagner, burulma eğilmesi ve kayma merkezi dış merkezliliğini hesabı etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 4)

Şekil 2.6. Sayısal model burkulma durum genel görünüşleri a)Basit elemanlarla sırt sırta çerçeveni burkulması (Model 1), b)Wagner etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 2), c)Wagner ve burulma eğilmesinin rijitliği etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 3), d)Wagner, burulma eğilmesi ve kayma merkezi dış merkezliliğini hesabı etkisi ile sırt sırta çerçevenin burkulması (Model 4)

Bu makalede, yüksek katlı ayarlanabilir raf sisteminin 3 boyutlu çerçeve burkulma davranışını ve ayak kesitin elastik eğilmesi-burulmalı burkulma gerilmesini belirleme prosedürlerin 2 boyutlu analizde doğruluğuna bakılmıştır. Bu çalışmada incelenen raf modelinin topolojisi, eleman boyutları ve palet yükleri, lojistik endüstrisinde kullanılanları temsil etmektedir.

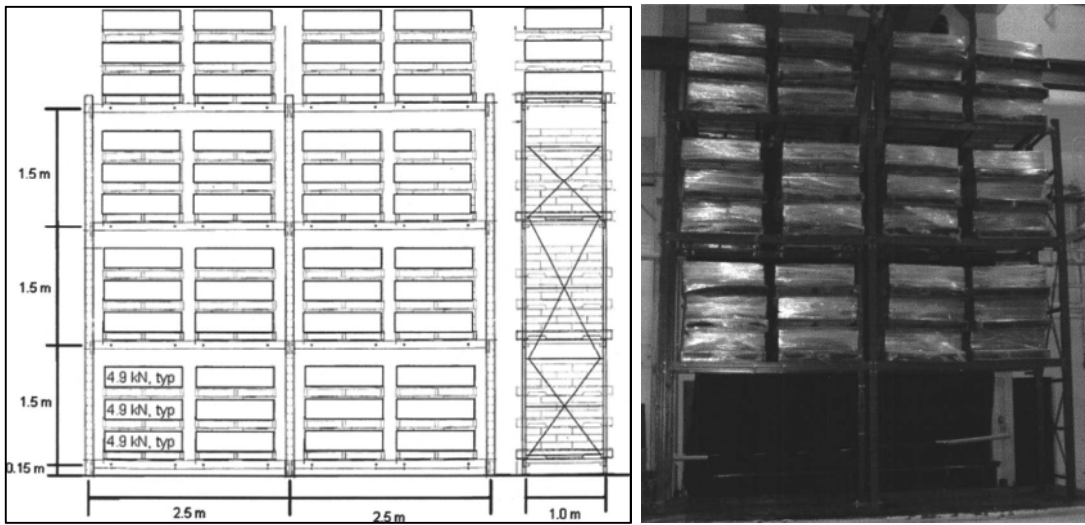
Birçok çerçeve analiz programında kullanılmakta olan travers elemanın burulmalı burkulma ve eğilmeli, burulmalı ve eksenel deformasyon modları arasındaki bağlantı göz ardı ediliyor olduğu sorunlar gösterilmiştir (Model 1). Bu ihmal, burulmada zayıf olan açık kesitli elemanlardan oluşan bir çelik çerçevenin 3D elastik burkulma yükünün önemli ölçüde tahmin edilmesine neden olabilir. Buna karşılık, eğer Wagner etkisi dahil edildiğinde kolon

kesitlerinin burulma çarpılması analizinde göz ardı edilirse (Model 2), raf çerçevesinin öngörülen 3D burkulma yükü gerçek dışı düşük olabilir. Belirgin bükülme sertliği olan kesitler için, bükülme sınırlamalarının sağladığı düzgün olmayan burulmaya karşı direnç (Model 3), burkulma modu alternatif eğilmeli-burulmalı aşamasından genel dönmeye doğru değiştikçe sırt sırta çerçevenin bükülme yükünü beş kattan daha fazla arttırmaktadır. Bununla birlikte, monosimetrik bölümlerin kayma merkezi eksantrikliklerinin, kolonların (Model 4) eğilmeli-burulmalı, lokal bir bölgede daha düşük bir bükülme yükünde sallanmadan bükülmesine neden olduğu da gösterilmiştir.

Ticari alanda yaygın kullanılan çerçeve analiz programı Model 1 ile sırtsırta çerçeve için çalışmada tanımlanan Model 4 arasındaki öngörülen burkulma yükü faktör farkı sadece %16. Ancak, bu değer belirli çerçeve topolojisine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Ayrıca, farklı derecelerde geliştirme derecesine sahip kiriş elemanları kullanılarak tahmin edilen 3D burkulma modları birbirinden çok farklıdır. Burulma eğilmesini ve kayma merkezi dış merkezliliğini hesaba katan bir kiriş elemanının kullanılması, yüksek katlı bir palet rafi çerçevesinin kritik elemanlarının daha doğru tanımlanmasını sağlar.

G faktörü yaklaşımına veya "desteklenmiş çerçeve" için 1.0 basit efektif uzunluk faktörüne dayanan 2D prosedürünün kullanılması, ayarlanabilir palet rafların dikey çaprazlar ile koridor doğrultusunda salınımı tutulu olsa bile ayakların elastik eğilmeli - burulma gerilmeleri için fazla tahmin edilmesine neden olur. Öte yandan, G faktörü yaklaşımında çaprazsız bir çerçevenin varsayılması ya da 1.7'lik basit bir etkin uzunluk faktörü olduğu da aynı az alınmasına neden olmaktadır. Önceki paragrafta belirtilen 2D prosedürleriyle karşılaştırıldığında, 2D çerçeve burkulma analizine dayanan prosedür, raf ayakların elastik eğilmeli - burulmalı burkulma gerilmeleri için en iyi tahmin verir. Bununla birlikte, 2D kare burkulma analizi 3D burkulma analizi ile tutarlı değildir. 2D rasyonel burkulma analizinin, varsayılan burulma etki uzunluğu 0.8 olan varsayımla birlikte kullanılması, alt kolon için %11'lik eğilme-burulma burkulması gerilmesinin fazla tahmin edilmesine, ancak üst kolon için %28'lik bir az almamaya neden olur. Alt kolon fazla tahmin etmesini dengelemek için bir ayarlama faktörünün kullanılması, üst kolon al alınıcı büyütecek ve böylece tasarımı aşırı muhafazakar hale getirecektir.

André Filiatrault, M.ASCE¹; Peter S. Higgins, M.ASCE²; Assawin Wanitkorkul³ (2006), Palet tipi çelik depolama raflarının koridor doğrultusunda yanal yüke dirençli sistemleri, tipik olarak özel kiriş-kolon moment aktaran bağlantılar kullanan moment çerçevelerdir. Rafların stabilite ve sismik davranışı kiriş-kolon konektörlerin dönme rijitliğinen çok etkilenmektedir. Bu konektörlerin davranışı yeterince bilinmemektedir, ve sonuç olarak dizaynda kullanılan konektörün rijitlik ve dayanımın doğru değerleri konusunda önemli bir belirsizlik vardır. Bu makalede, sıcak haddelenmiş kesitlerden üretilmiş ve dört farklı cıvatalı kiriş-kolon konektörü içeren palet tipi çelik depo rafların koridor doğrultusunda sarsma masası deneyi yapılmıştır. Testlerin temel amacı, düşük amplitüdlü titreşimler altında depolama raflarının ölçülen dinamik karakteristiklerinden uygun statik yük konektörü dönme sertliğini belirlemek ve tepkilerini yarı-statik koşullar altında ve aynı zamanda kuvvetli deprem yer hareketleri altında değerlendirmek. Deneysel sonuçlar, hizmet koşullarında tipik olan küçük hareketlerle parçalanıp ve geri kazanan bir başlangıç statik sertliği göstermektedir. Bu sonuç bazı test protokollerinin zayıf tekrarlanabilirliğini açıklayabilir. Sismik hareketler için, tüm raf numuneleri yük taşıma kapasitelerinden ödün vermeden büyük elastik olmayan deformasyonlara maruz kalmıştır. Şekil 2.7.'de çalışmada kullanılan deneysel modelden görünüm verilmektedir.



a) Numune boyutları

b) Sismik test görünümü

Şekil 2.7. Çalışmada kullanılan deneysel modelden görünüm verilmektedir
a) Numune boyutları, b) Sismik test görünümü

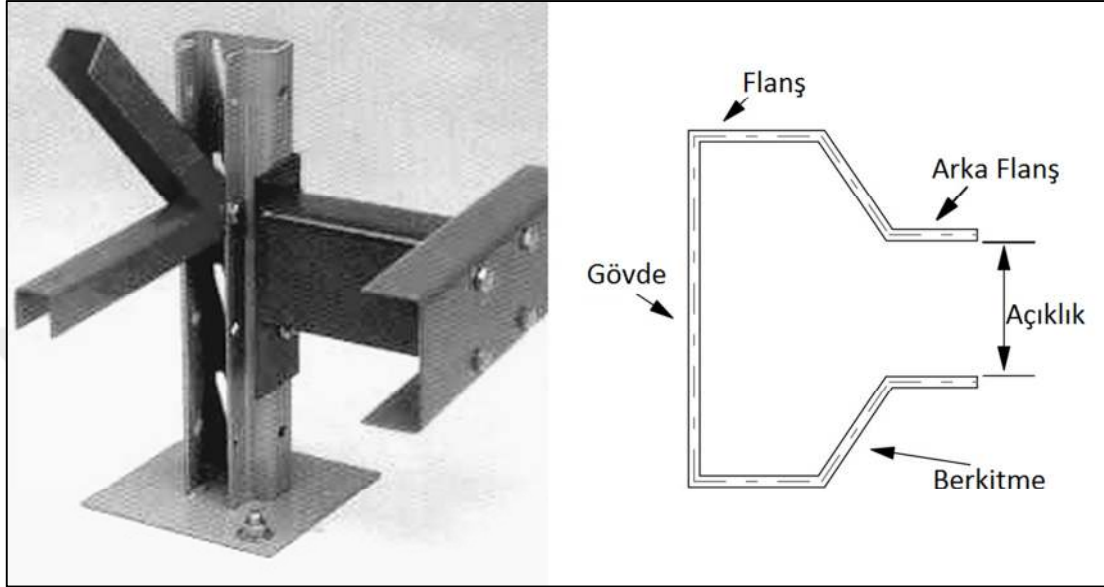
Dört farklı cıvatalı kiriş-kolon bağlantısı içeren çelik palet tipi depolama rafları üzerinde gerçekleştirilen koridor doğrultusunda sarsma masası testlerinin sonuçları, depolama raflarının ölçülen dinamik özelliklerinden kiriş-ayak konektör dönme sertliği değerlerinin tahmin edilmesini sağlamıştır ve güçlü deprem yer hareketleri altındaki depolama raflarının sismik tepkisini değerlendirmek için iyi bir fırsat sağladı. Elde edilen deneysel sonuçlara dayanarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Başlangıç kiriş-ayak bağlantı sertliği 210 ila 1.050 kN m/rad arasında değişmektedir ve belirli bir raf numunesi için içeriğin ağırlığına nispeten önemsiz kalmıştır.
2. Beklendiği gibi, kiriş-ayak bağlantı sertliğinin en büyük değerleri, en büyük kirişlere ve konektörlere sahip olan Raf 2'de görülmüştür
3. Raf numunelerinden üçünün (1, 3 ve 4) hepsi aynı kiriş boyutlarına sahip olsalar da, kiriş-ayak konektör sertliği açısından önemli farklılıklar gözlenmiştir. Özellikle, gömülü konektörleri barındıran Raf 3, Raflar 1 ve 4'ten daha büyük kiriş-ayak konektör sertliği değerlerinde önemli ölçüde daha düşük değerler sergilemiştir.
4. Başlangıç kiriş-ayak bağlantı sertliği, RMS büyüklüğü ile 0.01 ila 0.1 g arasında değişen artan White Noise uyarımı ile 3-4 faktörü tarafından monoton bir şekilde bozunur. Bu varyasyonlar, oldukça iyi bir sertlik değerine logaritma ve RMS giriş ivme büyüklükleri arasındaki doğrusal ilişkiler tarafından tahmin edilebilir.
5. Başlangıç sertlik değeri, 1-2 dakika boyunca yaklaşık 0.01-0.02g'de White noise uyarımı ile esasen geri kazanılmıştır. Gömülü konektör ilk sertliğinin sadece % 75'ini geri kazanmıştır.
6. RMI portal test protokolünün tekrarlanabilirliğindeki zorluklar bu çalışmada elde edilen sonuçlarla açıklanabilir. Basitçe monoton bir şekilde rafı ilk konumuna geri döndürmek, konektörlerin başlangıçtaki sertliğini geri getirmez. Raf, bu sertlik geri kazanılmadan önce, servis içi palet yerleşimlerini ve küçük darbeleri simüle eden çok düşük büyüklükte deplasmanlar kullanarak "yerleşmelidir".

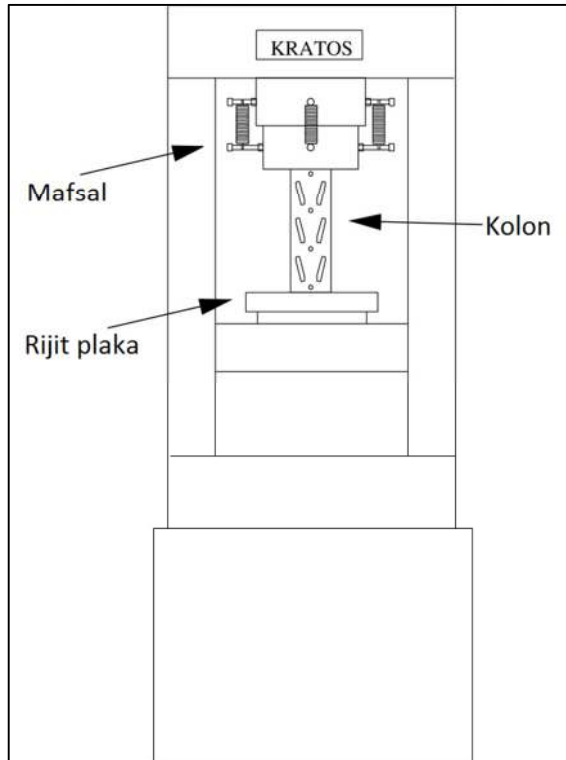
7. Raf numunelerinin eşdeğer sönümleme oranı, yer değiştirme büyüklüğü ile yükselmiştir. Dört raf numunesi için sönümleme oranları, pull-back testlerinde göz önünde bulundurulan düşük seviye büyüklüklerin aralığı için % 5'in altındaydı. Güçlü yer hareketi uyarımlarının neden olduğu daha büyük tepki genlikleri için daha yüksek sönümleme değerleri bekleniyor. Ayrıca, rijit şekilde tutturulmuş palet ağırlıkları yerine daha gerçekçi paletler kullanılmışsa, sönümleme değerleri daha yüksek olacaktır.
8. Dört raf numunesinin hiçbirinde, sismik testlerin hiçbirinde 0.30 g'den az PGA bulunan hiçbir hasar gözlenmedi. Tüm raf numunelerinde kiriş-ayak konektörlerin kalıcı kaymaları, kiriş deliklerinin kalıcı deformasyonu ve PGA 0.30 g'den büyük sismik testler sırasında taban plakalarının verimi görülmüştür.
9. Yalnızca Raf 2, 0.30g'den büyük PGA ile sismik testler sırasında bazı kiriş-ayak konektörlerde kısmi kaynak kırılmaları geçirdi. Bu, oldukça güçlü kaynak düzenine rağmen oldu. Bunun, daha güçlü ve daha sert olmanın daha iyi sismik performansa yol açmaz.
10. Raflar 2, 3 ve 4, taban plakası bağlantılarında kısmi kaynak çatlakları görülmüştür.

A.M.S. Freitas*, M.S.R. Freitas, F.T. Souza (2005), Depolama raf sistemleri, kolon, kiriş ve destek olarak kullanılan arakayıtlar soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarından oluşan yapılardır. Raf kolonları tasarımlarında kendine özgü özellikler sunar, çünkü sistemin montajını kolaylaştıracak deliklere sahiptir ve bu da soğuk şekillendirilmiş çelik yapı tasarım kodları ile analiz etmeyi daha zor hale getirir. İmalatçı birlikleri tarafından önerilen, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsünün (AISI) spesifikasyonu ile birlikte ABD'de uygulanan Rafa Üreticileri Enstitüsünün (RMI) spesifikasyonları olarak önerilen birkaç tasarım kodu vardır. Bu kodlar dirençlerinin belirlenmesi için deneysel saplama sütun testleri önermektedir. Bu çalışmada, Ansys yazılımı kullanılarak, bu sütunların doğrusal olmayan analizi için elde edilen sonuçları, Brezilya'da üretilen rafların tipik bir kesimi için saplama sütun testleriyle elde edilen deney verileri ile karşılaştırılmıştır.

Analiz edilen kolon kesiti ince cidarlı soğuk şekillendirilmiş çelikten yapılmıştır. Bu kesitlerden biri ve parçalarının tanımlanmasında kullanılan adlandırma, Şekil 2.8.'de verilmiştir. Yapıların montajını kolaylaştıran, desteklerin takılmasına olanak sağlayan arka flanşlara sahiptir.

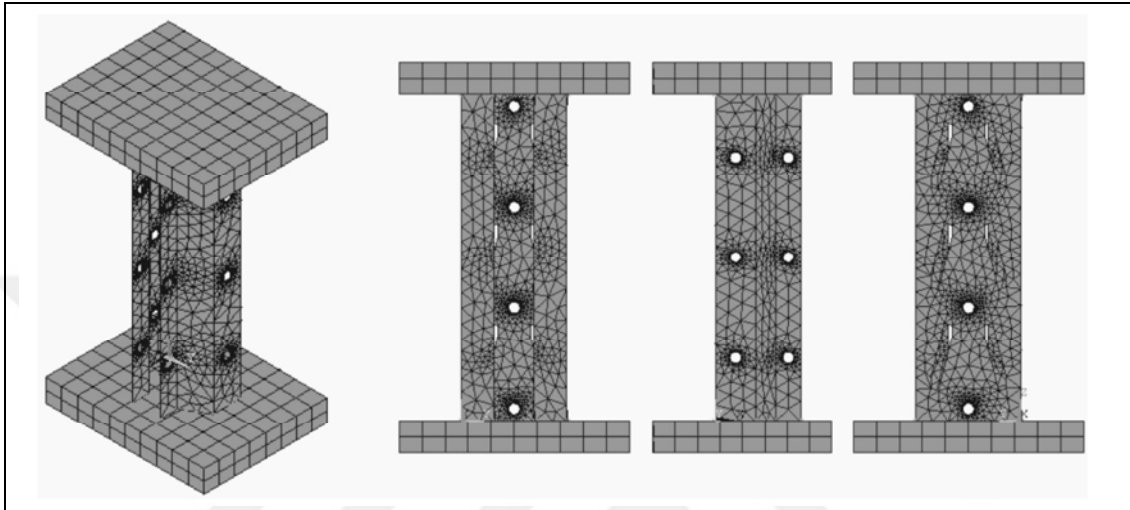


Şekil 2.8. Kolondaki bağlantılar, Raf tipi kesit tipi ve adlandırma



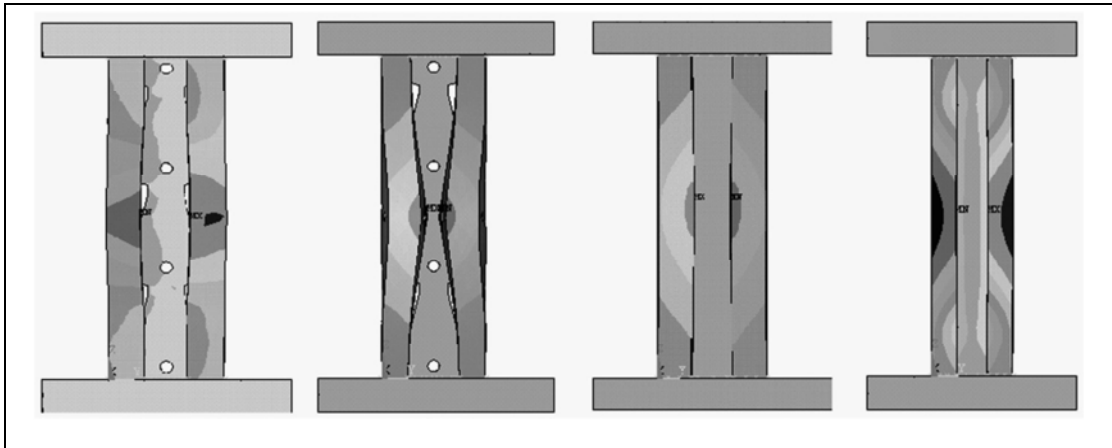
Şekil 2.9. Kısa kolon testi şematik görünümü

Numune kesitinin minimum net alanının ağırlık merkezinde uygulanan bir basınç yüküne tabi tutulur. Yük bir Üniversal Test Cihazı ile uygulanır ve uçlarda herhangi bir delik olmaksızın sert plakalar ile kolona iletilir. Şekil 2.9.'de, kısa kolon testinin şematik bir görünümünü göstermektedir. Bu test ile kolonun nihai mukavemeti elde edilir.



a) izometrik görünüş b) Ön görünüş c) Flanş görünüş d) Gövde görünüş

Şekil 2.10. Sonlu eleman mesh görünümleri a) izometrik görünüş, b) Ön görünüş, c) Flanş görünüş, d) Gövde görünüş



a) Nominal kolon b) Gerçek kolon c) Brüt kolon d) Net kolon

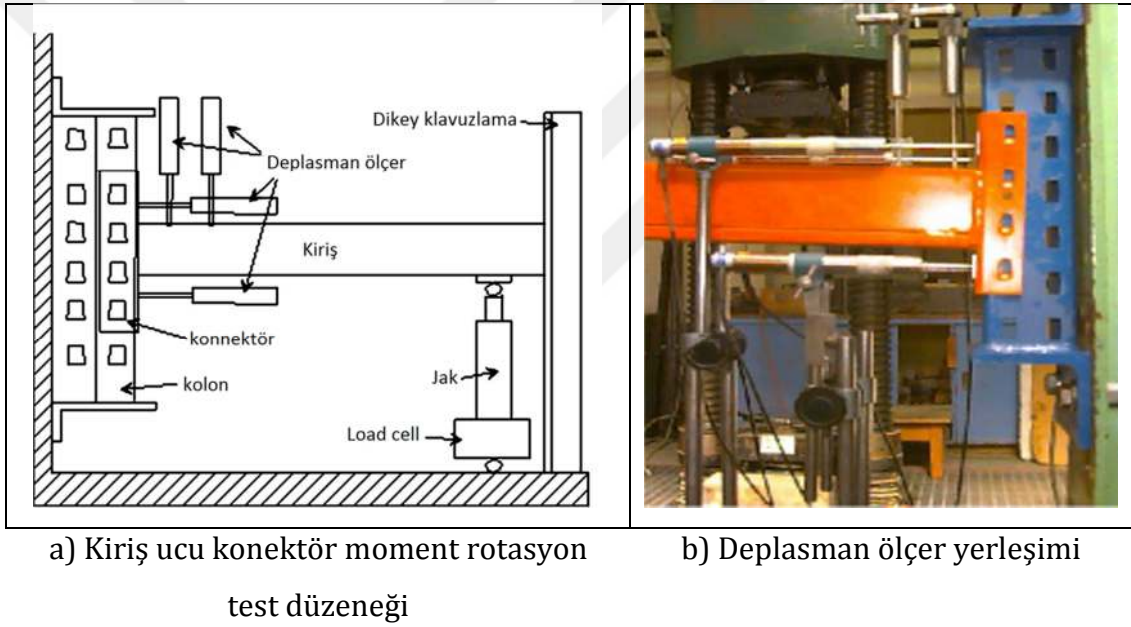
Şekil 2.11. Simülasyonlardaki yer değiştirme görünümleri a) Nominal kolon, b) Gerçek kolon, c) Brüt kolon, d) Net kolon

Sonlu eleman analizi kusurların, deliklerin ve malzeme özelliklerinin göçme modu üzerindeki etkisini ve eksenel basınç sunulan raf tipi soğuk şekillendirilmiş çelik bölümlerin nihai gücünü incelemek için geliştirilmiştir. Modelde, deney programı tarafından analiz edilen saplama kolonunu temsil

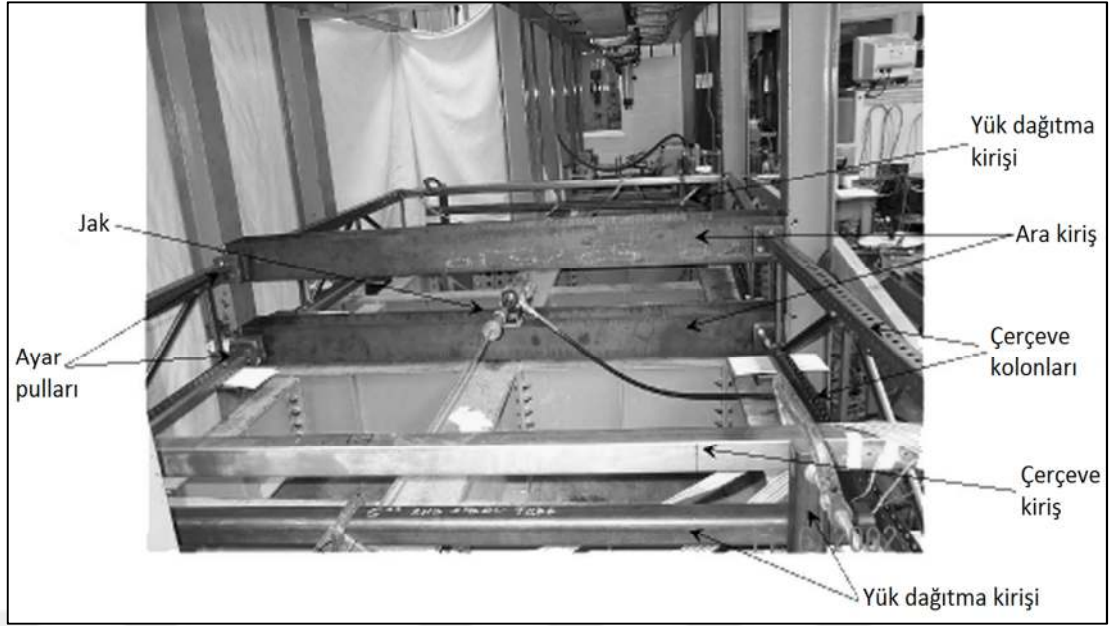
etmek için Shell, Solid ve Contact sonlu elemanlar kullanılmıştır. Sonlu eleman mesh görünümleri Şekil 2.10.'da gösterilmiştir. Sonlu eleman mesh görünümleri Sonlu elemanlar modeli ayrıca, nominal ve deneysel olarak türetilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkileri ve geometrik kusur dağılımı da kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modeli farklı kesit alanları olarak düşünülmüş ve sonuçlar deney sonuçları ve kod klavuzu ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçları ve sonlu eleman sonuçları arasındaki karşılaştırma, gerçek kolonun ve net kolonun nihai yükünün iyi bir şekilde anlaşıldığını gösterir. Simülasyonlardaki yer değiştirme görünümleri şekil 2.11.'de gösterilmiştir. Kod (RMI) ve sonlu eleman sonuçları arasındaki karşılaştırma koruyucu değerleri gösterir. Sonlu elemanlar analizinde nominal akma gerilmesi kullanıldığında, nominal kolon, gerçek kolon ve net kolon, deneysel sonuçlarla iyi bir uyum olduğunu göstermiştir. Model ayrıca lokal mod ve distorsiyonel mod tahmin edebildi. Gerçek akma gerilmesi kullanılarak sonlu elemanlar tarafından modellenen gerçek saplama kolonu örneği, simüle edilen diğer kesit alanlarına kıyasla nihai yük ve göçme modunun en iyi sonuçlarını göstermiştir.

M. Abdel-Jabera, R.G. Bealeb, M.H.R. Godley (2006), Kiriş-uç konektör testlerinin doğruluğunu etkileyen faktörlerin teorik ve deneysel bir şekilde incelenmesi, esnekliğin konsol testinde kullanılan saplama kirişinin, deneysel olarak belirlenen moment-rotasyon ilişkilerinde %4'e kadar hatalar oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu yazıda uygun düzeltme denklemleri çıkarılmıştır. Düzeltilmiş moment-eğriliği denklemi daha sonra, zemine normal olan nokta yükleri ve orantılı olarak artan yan yükler kombinasyonu altında sallanan yapıların salınım davranışı üzerine bir araştırmada kullanılmıştır. Deneysel testlerde yatay duran iki portal çerçevenin ayna düzenlemesi kullanılmıştır. Her test sırasında, çerçeve nihai yüküne ulaşmadan önce üç yükleme ve boşaltma döngüsü gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta her iki kiriş-kolon bağlantısındaki eğilme momentleri de aynı yönde olduğu belirtilmiştir. Yapıya uygulanan yan yük yüzdesi, çerçeve geometrisi değişiminin etkisiyle, eğilme momentlerinin ters çevrilmesi test sırasında birleşimlerden birinde meydana gelecek şekilde seçilmiştir. Çerçevenin kiriş ve kolon bileşenleri, stabilite fonksiyonları kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Kiriş-kolon bağlantıları yarı rijit ve

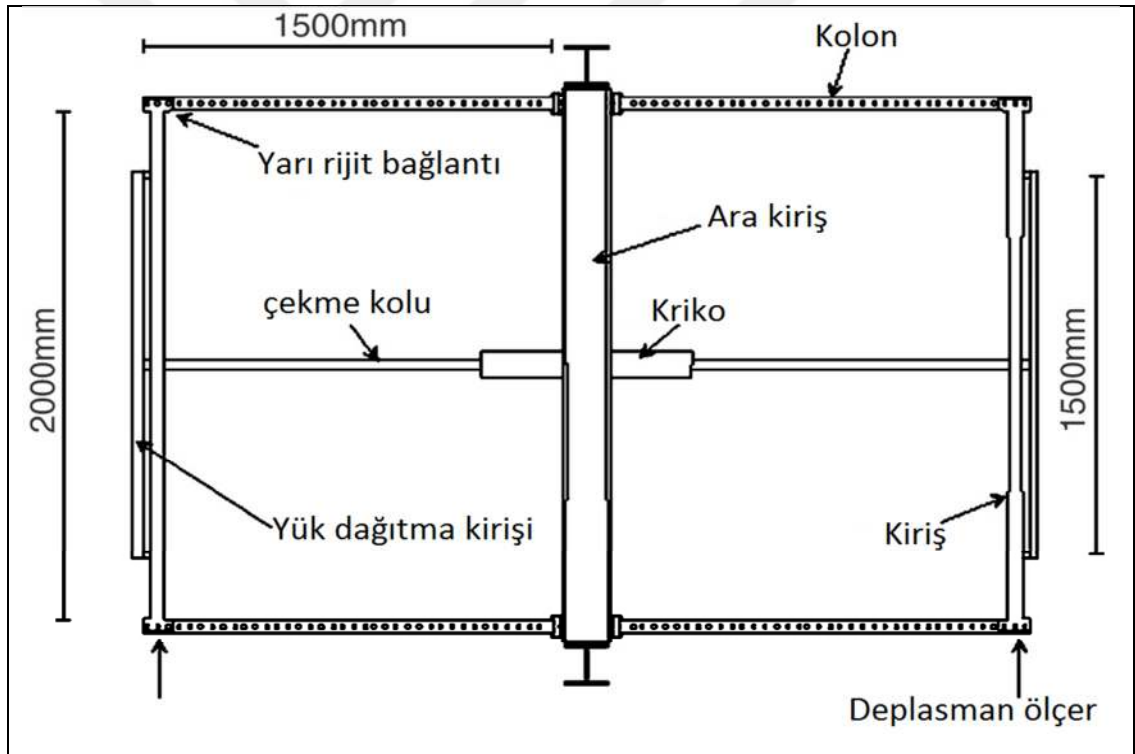
deneysel moment-rotasyon eğrileri bağlantı davranışına dahil edildi. Şekil 2.12.'de Moment-Rotasyon test görünüşleri verilmiştir. Üç farklı teorik model test edildi: yazarlar tarafından önerilen multilinear bir model ve FEM ve SEMA kodlarına göre üretilen iki bilinear model. FEM kod modeli, rafta meydana gelen salınım sapmalarını aşırı tahmin etti, ancak birleşim momentlerini kesin tahminlerini verdi ve konservatif olarak tasarımda kullanılabilir. SEMA kodu, salınım sürekli tahmin altında kalmış ve birleşim momenti tersinir yüklemde tahmin edememiştir. Teorik model doğrulandıktan sonra, iki bölmeli portal çerçeve yapısının davranışı üzerine bir çalışma yapıldı. Şekil 2.13. ve Şekil 2.14.'de yükleme düzeneğine ait genel görünüşler verilmiştir.



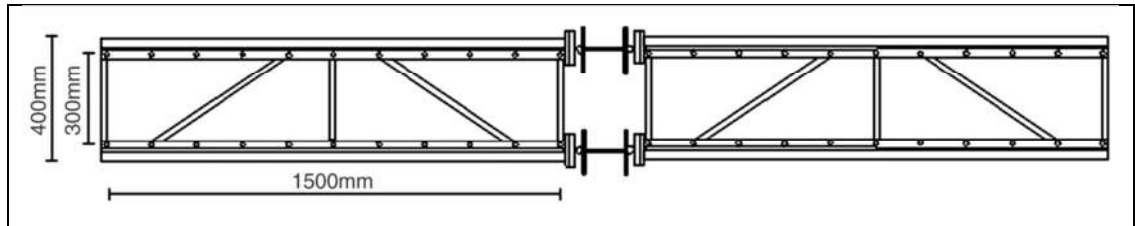
Şekil 2.12. Moment-Rotasyon test görünüşleri a) Kiriş ucu konektör moment rotasyon test düzeneği, b) Deplasman ölçer yerleşimi



Şekil 2.13. Yükleme düzeneği görünümü

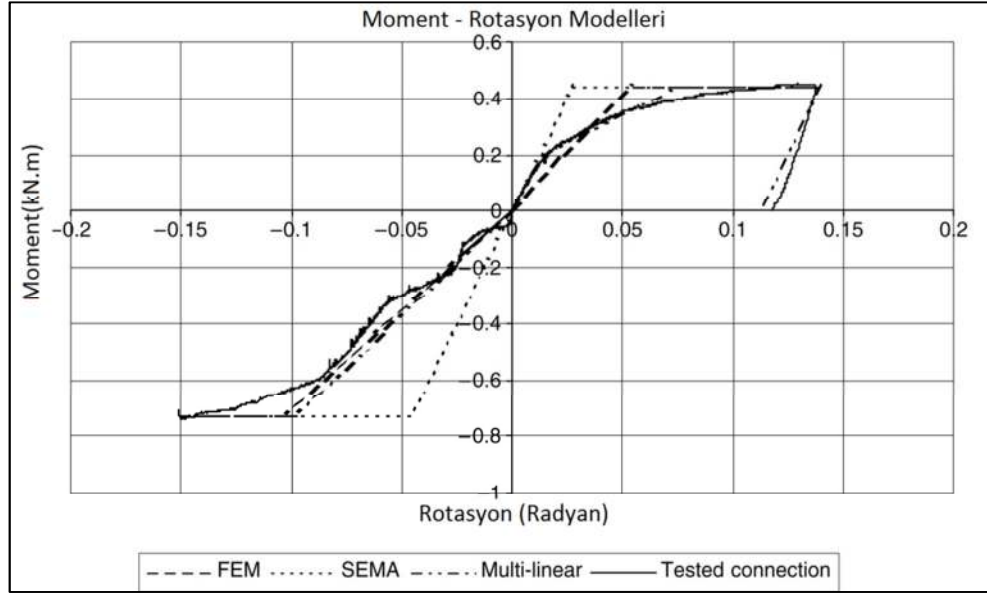


a) Üst görünüş



b) Yan görünüş

Şekil 2.14. Yükleme düzeneği genel görünümü a) Üst görünüş, b) Yan görünüş

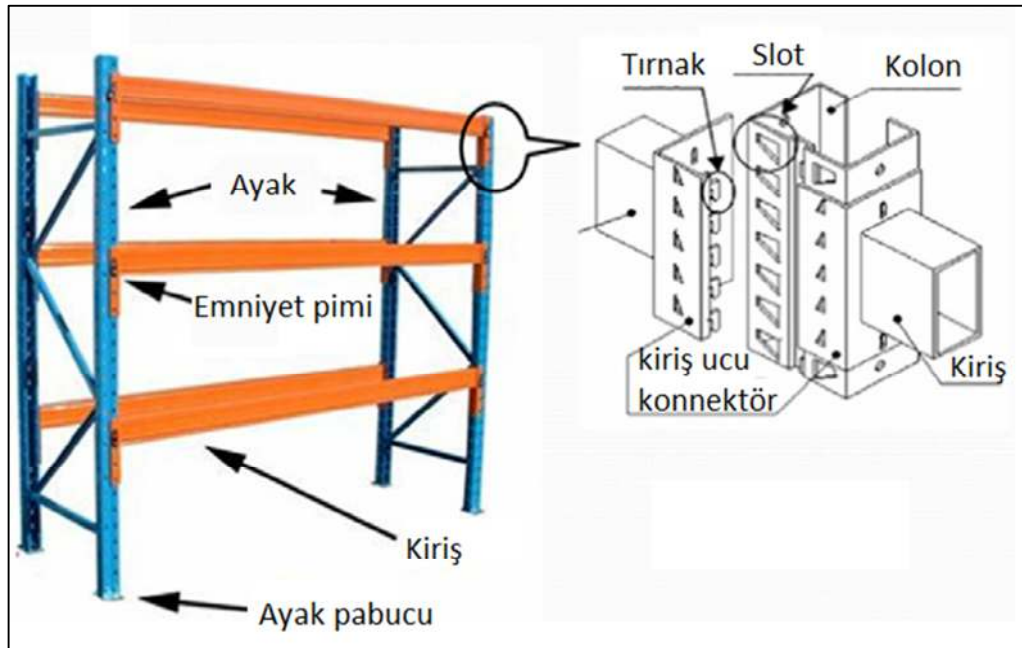


Şekil 2.15. Birleşim deneysel moment-rotasyon eğrisi

Bu çalışmada, palet raf yapılarının serbest salınım davranışını araştırmak için bir gergi krikosu vasıtasıyla yatay olarak yerleştirilmiş ve birbirine bağlanmış portal çerçevelerin bir ayna düzenlemesinin başarılı bir şekilde kullanımı açıklanmaktadır. Deneysel sistem bağlantılardaki momentleri ve ölçülecek toplam salınımını sağlamıştır. Deneyler, birleşimlerin birisinde ters moment oluştuğu göstermiştir. Çalışmada elde edilen düzeltme denklemleri, palet raf kiriş-uç konektörlerinin dönme sertliği ölçümlerinde esneklik ve kayma nedeniyle düzeltme uygulanması gerekliliğini göstermiştir. Deneysel sonuçları modellemenin en doğru yöntemi, bileşen testlerinden elde edilen kiriş ucu konektörleri için multi-lineer bir moment-rotasyon eğrisi (bi-lineer boşaltma eğrisi ile birlikte üç-lineer yükleme) kullanmaktır. Şekil 2.15.'de deney sonuçlarının birleşim moment-rotasyon eğrisi gösterilmiştir. Tasarım kodlarında şu anda kullanımda olan yöntemlerden FEM kodunda önerilenler en doğru ve kabul edilebilirdi.

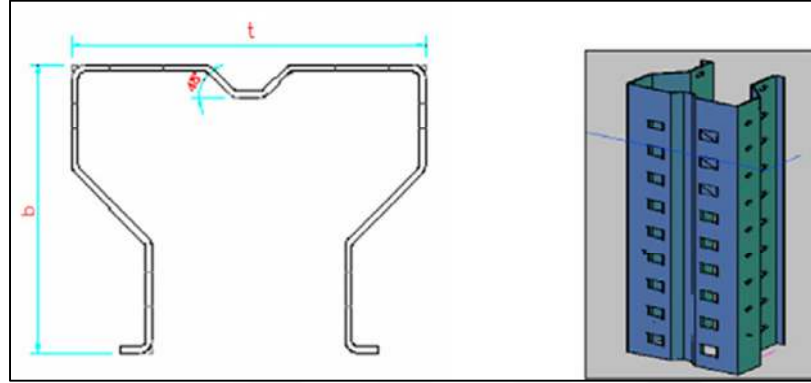
P. Prabha, V. Marimuthu, M. Saravanan, S. Arul Jayachandran (2010), Çelik depolama rafları soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden imal edilen üç boyutlu çerçeveli yapılardır, kancalı konektörler, esas olarak cıvata kullanmadan kiriş kolon bağlantıları yapmak için kullanılır ve bağlantı şekliyle yarı-rijittir. Bağlantıların farklı geometrisine sahip farklı türdeki kiriş-uç konektör çeşitleri mevcuttur, bu da genelleştirilmiş bir analitik model geliştirmeyi imkansız hale

getirir. Bazı tipik konektörler için bağlantıların performansını değerlendirmek için çok az sayıda teorik model mevcuttur. Her farklı tipteki konektörlerin davranışını tahmin etmek için daha çok deneysel değerlendirme ve sayısal çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, ticari olarak temin edilebilen bir palet raf bağlantısı üzerinde, kolonun et kalınlığı, konektörün derinliği ve kirişin derinliği gibi en etkileyici parametreler değiştirilerek on sekiz deney yapılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı kiriş-kolon bağlantısını incelemek, yaygın olarak kullanılan palet raf çerçevesinin esnekliğini incelemek ve göreceli dönme ilişkisine karşı genel bir Frye Morris tipi / üç parametrelili güç modeli tip momenti geliştirmektir. Deneysel davranışı yakından simüle eden bir eşlikçi sonlu elemanlar kabuk modeli, daha sonraki parametrik çalışmalar için de kullanılan ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Üç ana değişkeni boyut parametreleri olarak kullanarak, Frye Morris tipi bir denklem önerildi. Bazı kalibrasyon çalışmaları da yapılmıştır. Nihai moment kapasitesi, ilk bağlantı sertliği ve elde edilen şekil parametresi kullanılarak, geçmeli bağlantıların moment-rotasyon davranışını temsil eden üç parametrelili bir güç modeli de önerilmiştir. Şekil 2.16.'da tipik paletli raf sistemi görünümü gösterilmiştir.

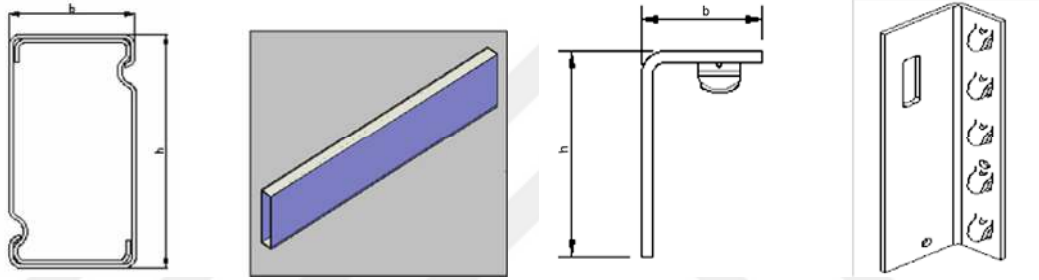


Şekil 2.16. Tipik paletli raf sistemi görünümü

Kolon ve kiriş numuneleri soğuk şekillendirilmiş çelik profillerdir. Kiriş uç konektörleri ise sıcak haddelenmiş çelikten yapılmıştır. Kolonun kesit detayları Şekil 2.17.'de gösterilmiştir ve kiriş, tırnak kesit detayları ise Şekil 2.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Kolon kesit detay görünümü

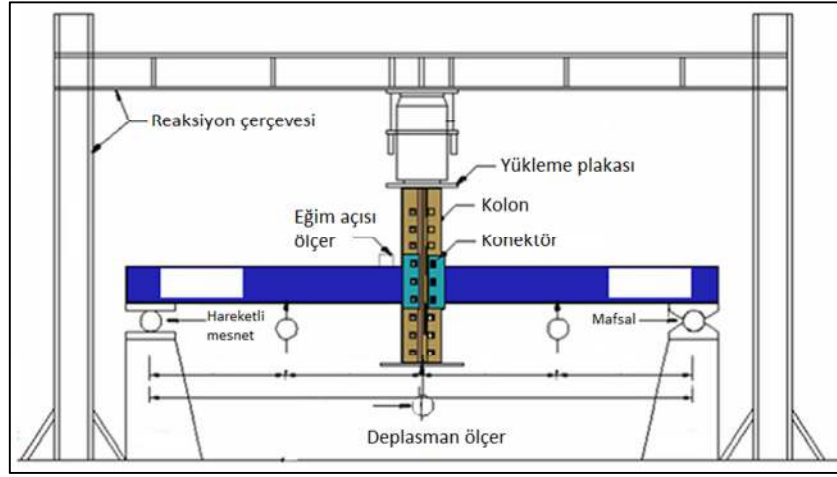


a) Kiriş kesit görünümü

b) Konektör kesit görünümü

Şekil 2.18. Kiriş ve konektör detay görüntüleri a) Kiriş kesit görünümü,
b) Konektör kesit görünümü

Test düzeneğinin şematik diyagramı Şekil 2.19.'da verilmiştir. Çift konsol tipi test düzeneği Şekil 2.20.'de gösterilmiştir. Kolona iki kiriş bağlanmıştır. Bu tip kurulumun en büyük avantajı, kolonun sert bir gövde olarak sadece yukarı ve aşağı hareket etmesidir. Tüm kiriş deformasyonu sadece bağlantı yerinde olur.

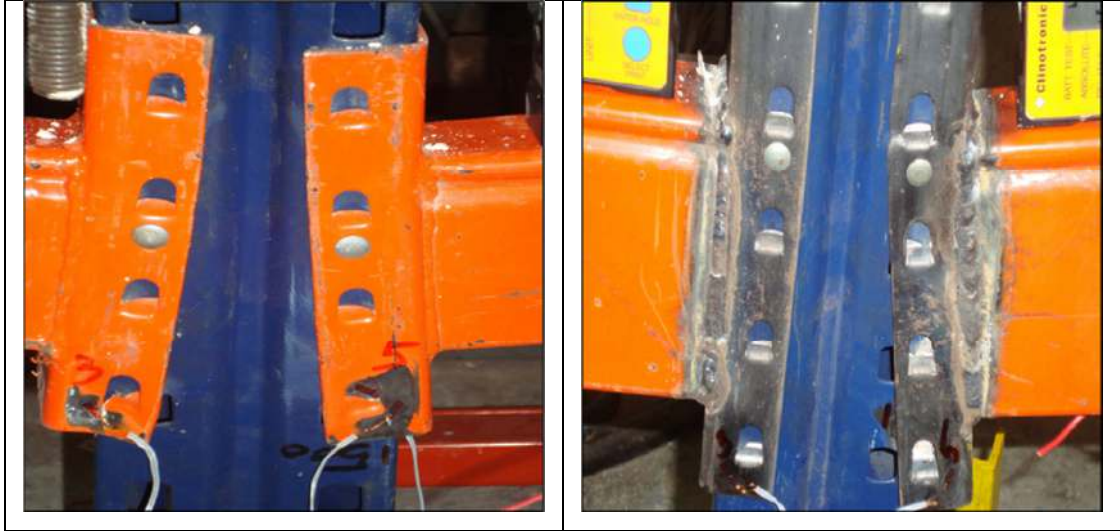


Şekil 2.19. Test düzeneği şematik çizim görünümü



Şekil 2.20. Test düzeneği şematik çizim görünümü

Tüm testlerde, kanca köşeleri kolon gövdesi ile temas etti ve göçmeye başladı. Nihai birleşim göçmesi, çekme tarafındaki kancalar tarafından yüklenir ve yükün düşmesine neden olan kolon gövdesi slotları yırtıp çıkmaya çalışılır. Dört kancalı konektöre sahip örnekler için, her iki taraftaki çekme tarafı iki kancası, kolon flanşını (Şekil 2.21.a) yırtma suretiyle çıkmıştır ve basınç tarafına yakın olan üçüncü kanca, kolon gövdesinde hafif bir yırtılma yapmıştır. Beş kancalı konektör numunesinde, üç yan kancası (Şekil 2.21.b) yırtılıyor ve basınç tarafına yakın olanlar hafif bir yırtılma yaptı. 2.5UT-5L-125BD ve 2.5UT-5L-150BD numuneler için, kiriş ucu konektörünün yüksekliğin ortasında bir kesik gözlenir. Gerilmeler kolonda ve konektörde gözlenir. Testler boyunca kiriş deformasyonu gözlemlenmedi.



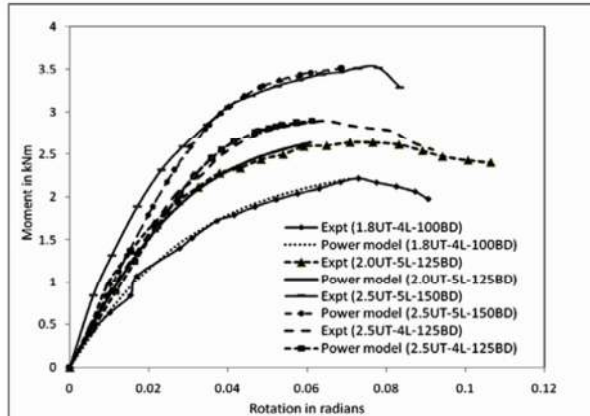
a) 4 kancalı numune görünümü

b) 5 kancalı numune görünümü

Şekil 2.21. Deney sonrası 1.8UT-4L-100BD ve 1.8UT-5L-100BD numune görünümleri a) 4 kancalı numune görünümü, b) 5 kancalı numune görünümü

ABAQUS FE modelini kullanan 18 numune üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan ve sayısal çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Bir birleşimlerin moment rotasyon özelliği, sadece kiriş-uç konektörünün tasarımıyla değil, aynı zamanda birleşen elemanların, özellikle de kolonun tasarımı ile belirlendi.
2. Parametrik çalışmalardan, tırnakların sayısının arttırılması, kiriş ucu konektörünün sertliği ve kuvvetinde artışa yol açtığı gözlenmektedir. Tırnaklar, uygulanan yüke direnç gösterecek şekilde düzenlenmelidir.
3. Kirişin derinliği arttırılması ve kolonun et kalınlığı bağlantı dayanımını ve sertliğini arttırmıştır.

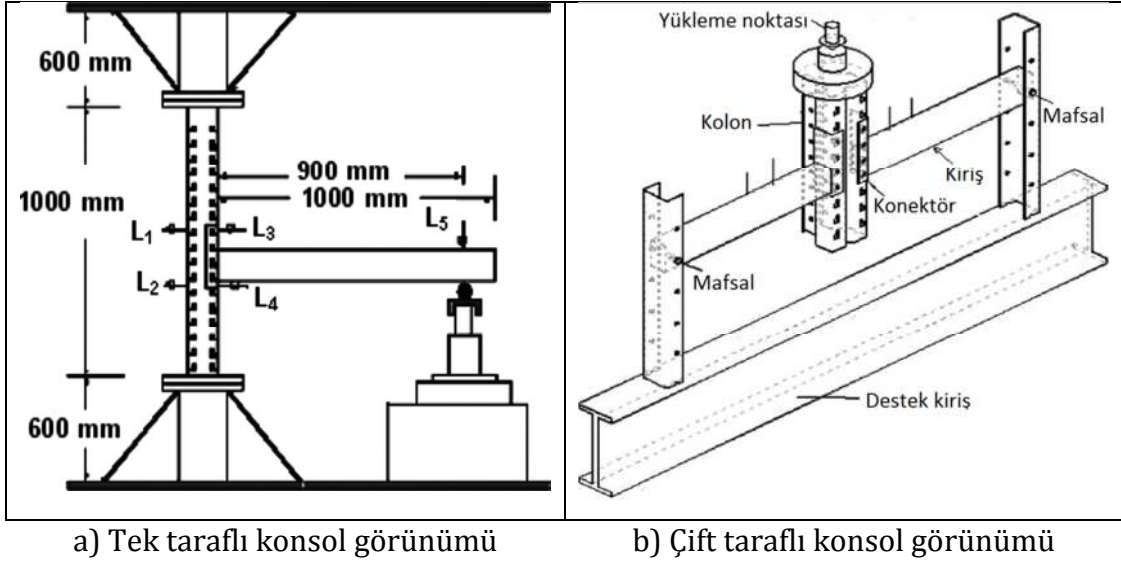


Şekil 2.22. Önerilen güç modeli ile deneysel moment-dönme davranışının karşılaştırılması.

ABAQUS [15] kullanılarak yapılan sayısal analiz ile ilgili olarak, test sonuçları kullanılarak geliştirilen FE modeli, deneysel davranışa en iyi uyumu sundu. Bu nedenle, doğrulanmış model ileri parametrik çalışmalar için kullanılabilir.

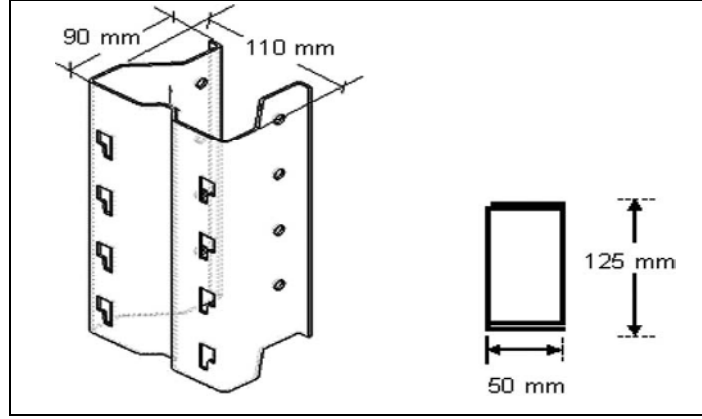
İki analitik model önerilmiştir; Bunlardan biri Frye-Morris [1] prosedürüne dayanan polinom modeli ve soğuk şekillendirilmiş cıvatalı yarı-rijit bağlantılar için güç modelidir. Güç modeli ile deneysel moment-dönme davranışının karşılaştırılması Şekil 2.22.'de verilmiştir. Frye-Morris modeli, test sonuçları kullanılarak değerlendirilen standartlaştırma sabitini K içerir ve kolonun et kalınlığı, kirişin derinliği ve konektörün derinliği gibi üç ölçü parametresini dikkate alır. Önerilen polinom modelinin, test edilen bağlantıların başlangıç sertliğini makul derecede iyi tahmin ettiği bulunmuştur. Yazarın bildiği kadarıyla, literatürde moment-rotasyon davranışını öngörecektir analitik model bulunmadığından, önerilen model doğrusal tasarım alanı için faydalı olacaktır. Güç modeli tahmini, deneysel sonuçlarla yakından uyumludur ve ayrıca bağlantının nihai kapasitesini de tahmin edebilir.

K.M. Bajoria*, R.S. Talikoti (2006), Bu yazıda, konvansiyonel palet raf sistemlerinde kullanılan kiriş-kolon bağlantılarının esnekliğini belirleyen yeni bir test açıklanmaktadır. Bu çalışmada, bir konektörün esnekliğini bulmak için iki farklı yol kullanılmıştır. Geliştirilen konektör, konvansiyonel konsol yöntemi kullanılarak ve daha sonra yeni önerilen bir çift konsol yöntemi kullanılarak test edildi. Her iki testten elde edilen sonuçları doğrulamak için, tam ölçekli bir çerçeve testi yapılmıştır. Çift konsol testinde konektör moment, kesme ve kirişlerin eksenel olarak çekilmesi gibi üç tip kuvvete tabi tutulur, böylece konektörlerin pratik kullanımına yakın bir davranış sergiler. Her iki testlerin ve tam ölçekli testlerin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi ANSYS yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Çift konsol testinden elde edilen sonuçların, tam ölçekli çerçeve testiyle iyi eşleştiği görülmüştür. Deneysel sonuçlar ve sonlu elemanlar sonuçları bu yazıda karşılaştırılmıştır. Şekil 2.23.'de Tek ve Çift taraflı konsol deney düzeni gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Tek ve Çift taraflı konsol deney düzeneği a) Tek taraflı konsol görünümü, b) Çift taraflı konsol görünümü

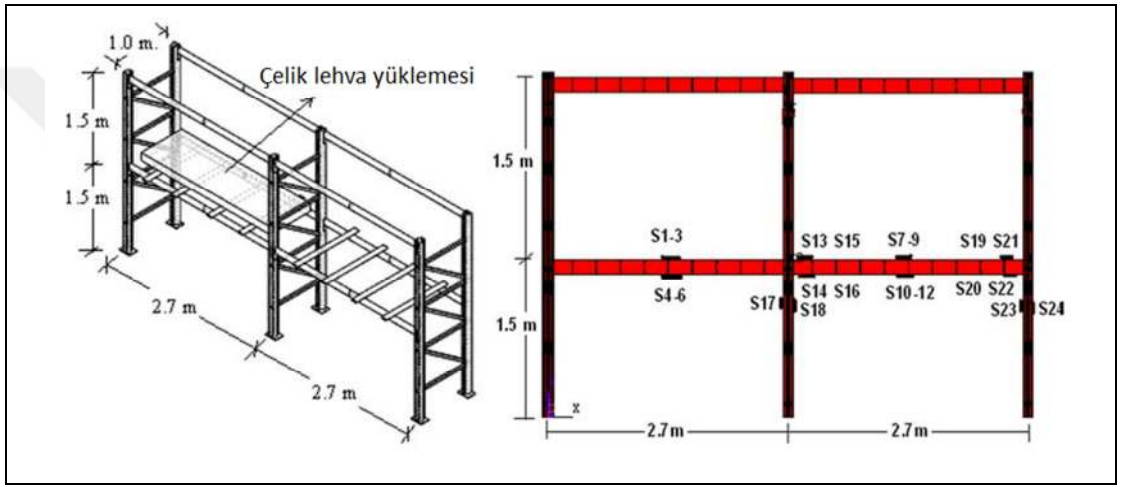
Geliştirilen kirişe-kolon konektörüne özel vurgu yaparak çerçeveyi oluşturan tüm elemanların davranışını değerlendirmek için tam ölçekli çerçeve testi yapılır. Amaç, gerçek koşullarda konektörün ve sürekliliğin davranışını değerlendirmektir. Maksimum yük, eğilme kriteri (kirişin), konektörün moment kapasitesi ve kiriş kolonun gerilme kriterlerine göre izin verilen değerlerle sınırlandırılmıştır. Kullanılan kolon ve kirişinin kesitleri Şekil 2.24.'de gösterilmektedir. Çerçeve, çapraz destekler ile birbirine tutturulmuş iki katlı olan iki modülden oluşmaktadır. Test sırasındaki çeşitli gerinim ölçer konumları ve deneysel düzeneği Şekil 2.25'de gösterilmektedir. Toplam çerçeve yüksekliği 3.0m her kat 1.5 m, her modülün net açıklığı 2.7 m ve enlemesine doğrultuda ayak derinliği 1.0'dır. m (dıştan dışa). C kesitinden yapılmış olan çapraz elemanları ayağa cıvata ile bağlanmıştır. Palet raf sistemlerinde kirişe genellikle dört noktadan yük yüklenir. Bu nedenle, bu testte de dört noktadan yük uygulanmıştır (Bknz. Şekil 2.25.). Her biri yaklaşık 740 N ağırlığında 3.15 mm kalınlığında ve 2.50x1.25 m boyutlarında MS levhaları yükleme için kullanılmıştır. Yükleme sadece alt kata yapıldı. Bu tür yükleme, daha iyi yük dağılımı, hassasiyet ve temizlik açısından geleneksel kum torbası yüklemesine göre avantajlıdır. Her modülde 17 adet olmak üzere toplam 34 plaka kullanılmıştır. Test ve sonlu elemanlar analizi sonuçları Çizelge 2.2.'de karşılaştırılmıştır.



a) Kolon kesiti

b) Kiriş kesiti

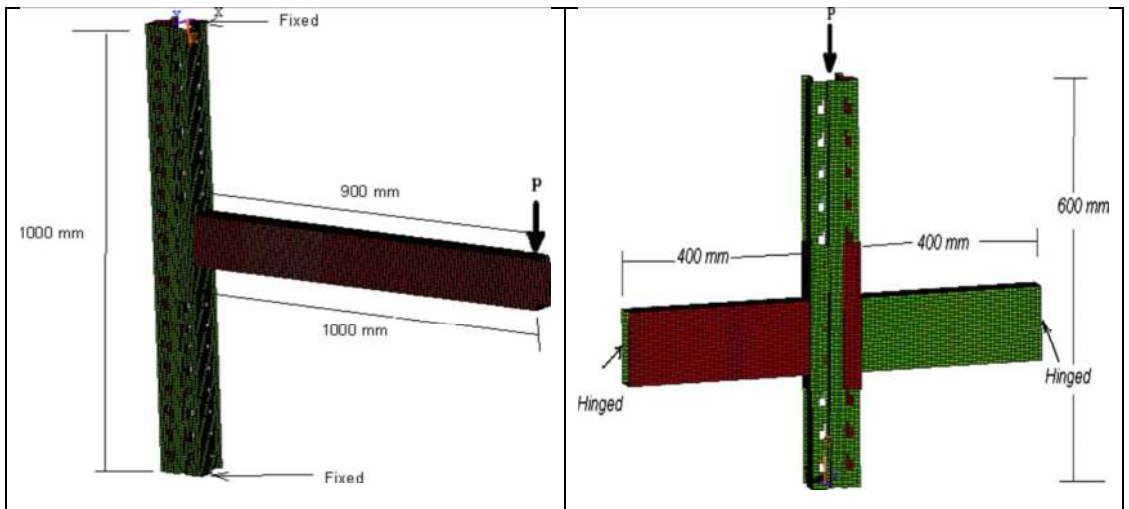
Şekil 2.24. Kolon ve kiriş kesit görünümleri a) Kolon kesiti, b) Kiriş kesiti



a) Deney düzeneği

b) Gerinim pul yerleşim düzeni

Şekil 2.25. Tam ölçekli deney görünümleri a) Deney düzeneği, b) Gerinim pul yerleşim düzeni



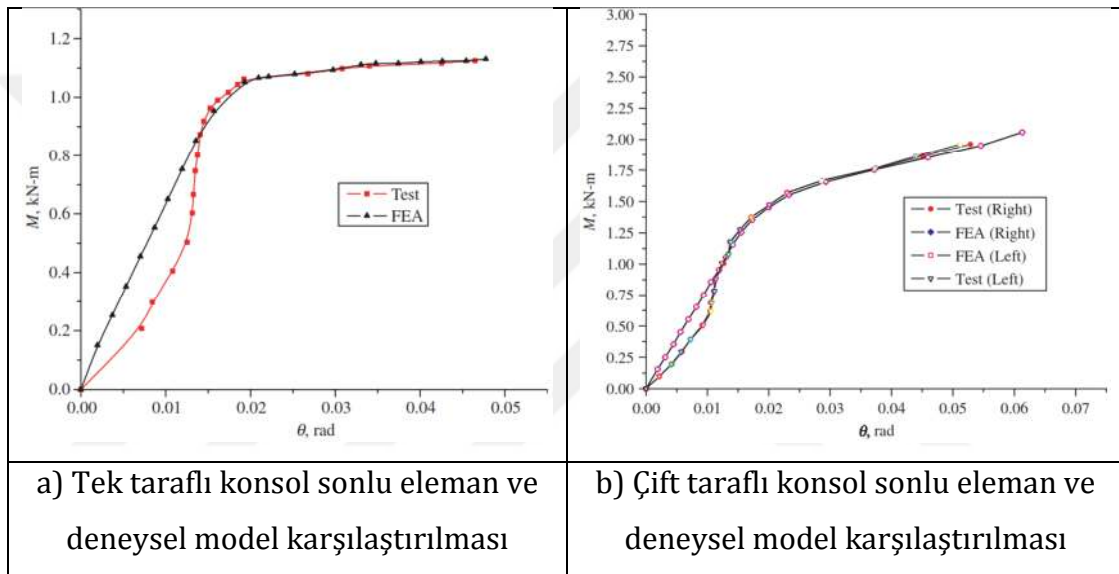
a) Tek taraflı sonlu eleman model

b) Çift taraflı sonlu eleman model

Şekil 2.26. Konsol testi sonlu eleman model görünümleri a) Tek taraflı sonlu eleman model, b) Çift taraflı sonlu eleman model

Çizelge 2.2. Ansys ve tam ölçekli test arasındaki eğilme momenti ve sehim karşılaştırılması

Ansys ve tam ölçekli test arasındaki eğilme momenti ve sehim karşılaştırılması				
Açıklama	Ansys model		Tam ölçekli model	
	Tek taraflı	Çift taraflı	Sol açıklık	Sağ açıklık
Açıklık ortası Eğilme moment (kN-m)	2,086	2,030	2,053	2,046
Orta açıklık sehim (mm)	3,800	3,679	3,689	3,725



Şekil 2.27. Konsol testi sonlu eleman model ve deneysel model sonuç karşılaştırması a) Tek taraflı konsol sonlu eleman ve deneysel model karşılaştırılması, b) Çift taraflı konsol sonlu eleman ve deneysel model karşılaştırılması

Kiriş-kolon bağlantılarının esnekliğini belirlemek için geleneksel bir tek taraflı konsol testi ve yeni önerilen bir çift taraflı konsol testi yapılmıştır. Deney sonuçları doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırıldı. Şekil 2.26. ve 2.27.'de konsol testlerine ait sonlu eleman model görünüşleri ve deneysel model ile karşılaştırmaları verilmiştir. Çift taraflı konsol testinin sonuçları sonlu elemanlar analizi ile yakından eşleşmiştir. Çift taraflı konsol testinde, konektör moment, kesme ve eksenel çekme gibi üç tip kuvvete tabi tutulur, bu nedenle tam alan koşullarını temsil eder. Çift taraflı konsol testinde konektör moment, kesme ve eksenel çekme gibi üç tip kuvvete tabi tutulur, böylece tam fiziki koşullarını temsil eder.

Gerçek bir çerçevedeki kayma momenti oranı bu çift taraflı konsol testi ile daha iyi temsil edilir. Bu, aynı sonlu elemanlar analizi ile birlikte tam ölçekli çerçeve testi ile de doğrulandı ve Çizelge 2.2.'de karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu nedenle, konektörün esnekliğini belirlemek için, klasik tek taraflı konsol testi yerine çift taraflı konsol testi kullanılabilir. Çift taraflı konsol testinin, geleneksel tek konsol testinden çok daha üstün olduğu tespit edildi.



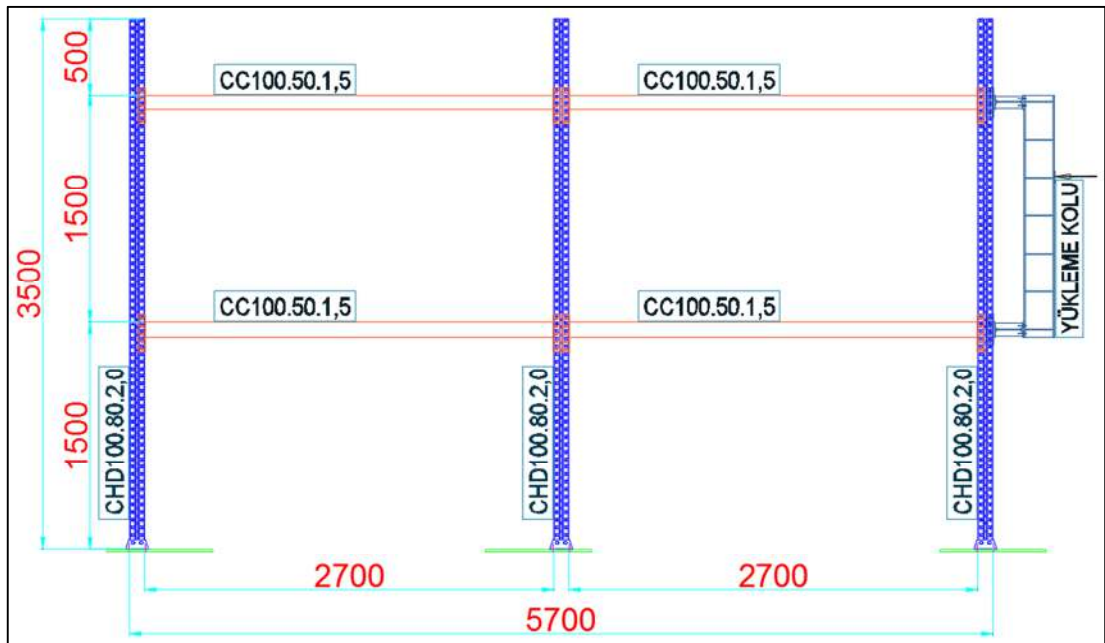
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

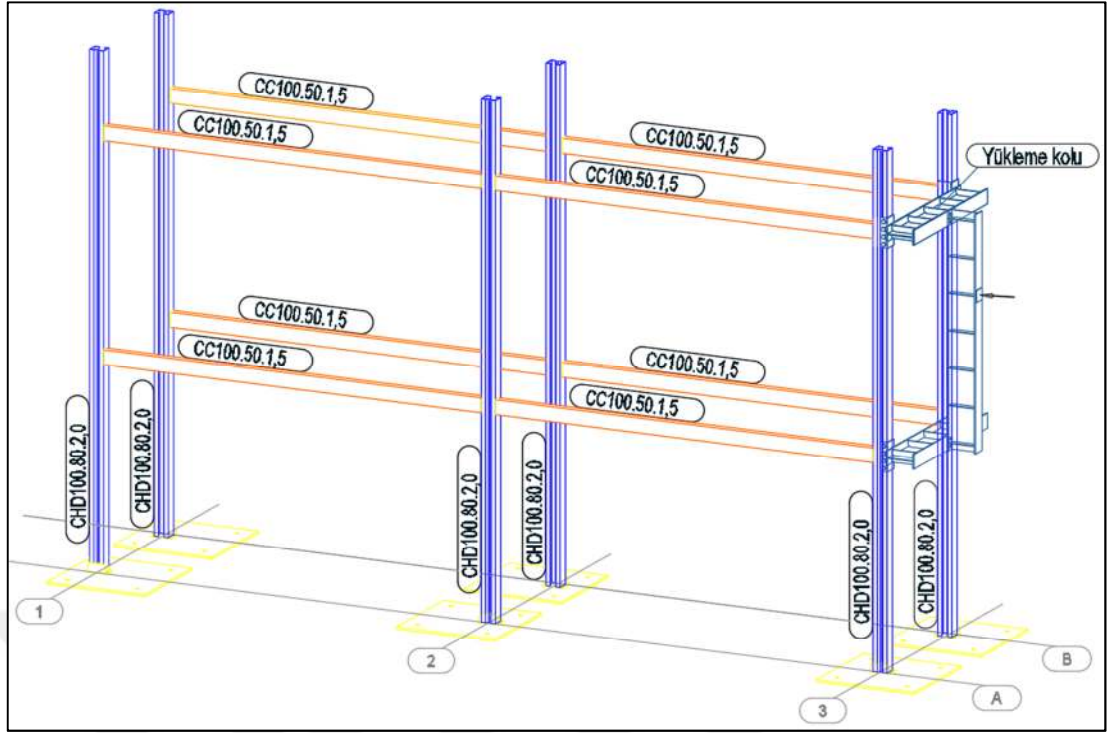
3.1.1. Deneysel Modeller

Dış giydirme depo raf sistemlerin sismik performansını incelendiği bu çalışma deneysel ve sayısal olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. Deneysel ve sayısal olarak analiz edilen tüm modellerde yükleme statik artımsal olarak etkilmiştir.

Bu kapsamda; çalışmanın deneysel bölümünde, bir adet çaprazsız, bir adet statik gergili ve bir adet çaprazlı olmak üzere toplamda üç adet numune oluşturulmuştur. Çalışmada deneysel olarak analiz edilen numunelerin ayak derinliği, ayak toplama şekli ve kiriş açıklığı gibi parametreleri en yaygın kullanılan parametreler seçilmiştir. Bu kabuller doğrultusunda oluşturulan raf sistemi; Eleman ve birleşimlerinin tasarım ve kontrolünde Amerikan Raf Üreticileri Enstitüsü RMI 2011 standardında yer alan kriterlere göre dizayn edilmiştir. Şekil 3.1. ve 3.2.'de deney numunesi ve yükleme düzeneği genel görünümü ve boyutsal parametreleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Yükleme çerçevesi ve deney düzeneği yerleşim planı



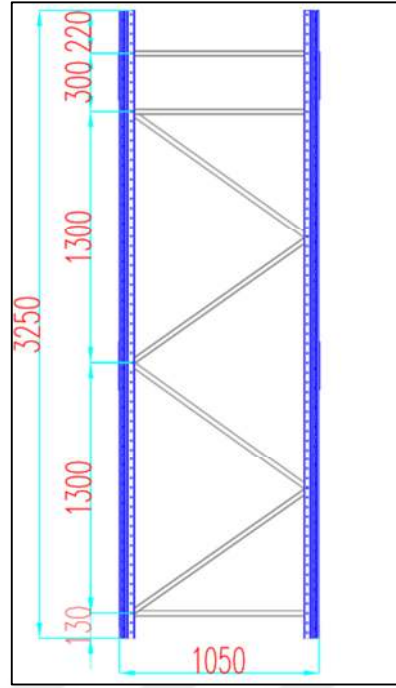
Şekil 3.2. Deney düzeneği genel görünümü

Bu çalışma, RMI'ya göre dizayn edilen paletli raf sistemlerin sismik performansın incelemek için oluşturulmuştur. Bütün numunelerde ayak takımı ve travers boyutları sabit olup, S235 (A36) yapısal çelik sınıfı, Rollform ile soğukta şekillendirilerek üretilen CHD100.80.2,0 ayak, CC100.50.1,5 travers profili kullanılmıştır. Ayak takımı diagonelleri de yine aynı şekilde soğuk çekim üretim ile C30.30.1,5 kesiti kullanılmış olup 1300mm'de toplanmıştır.

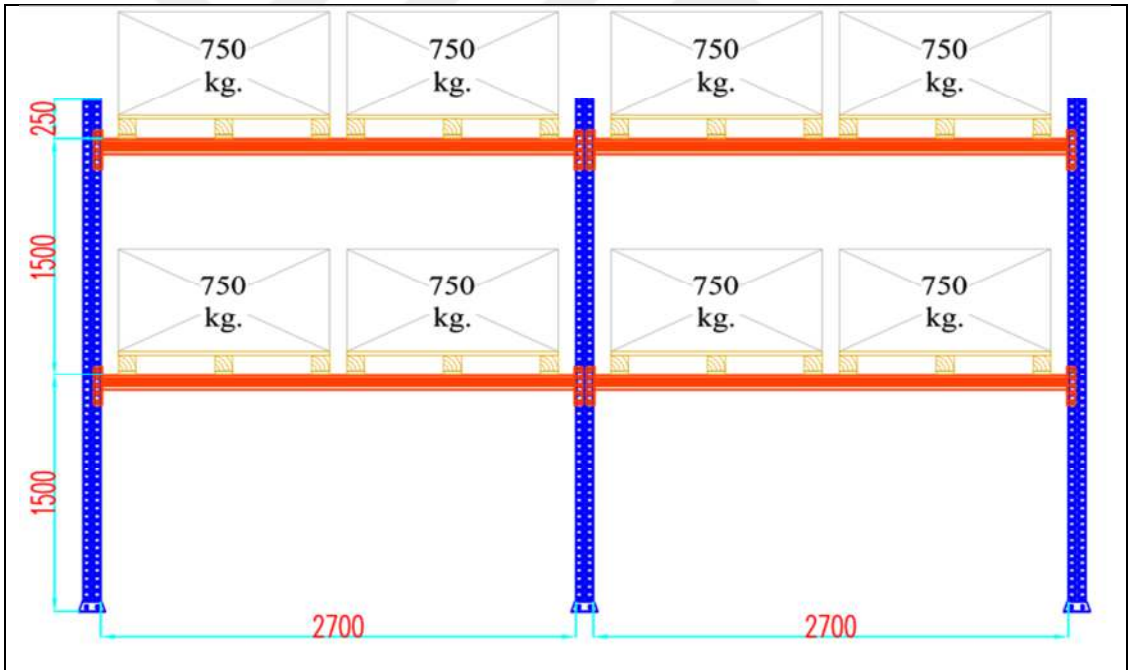
Tüm deneysel ve sayısal modellerde palet ağırlığı 750kg olup, ayak yüksekliği 3250mm, traversler uzunluğu 2700mm ve kat yükseklikleri 1500mm olarak ölçeklendirilmiştir. Çizelge 3.1.'de çalışmada kullanılan modellerin sabit parametreleri verilmiştir. Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'de raf sistemi elemanlarının yerleşim şekli gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan modellerin sabit parametreleri

Profil	Uzunluk
CHD100.80.2,0	3250 mm
CC100.50.1,5	2700 mm
C30.30.1,5	1250 mm

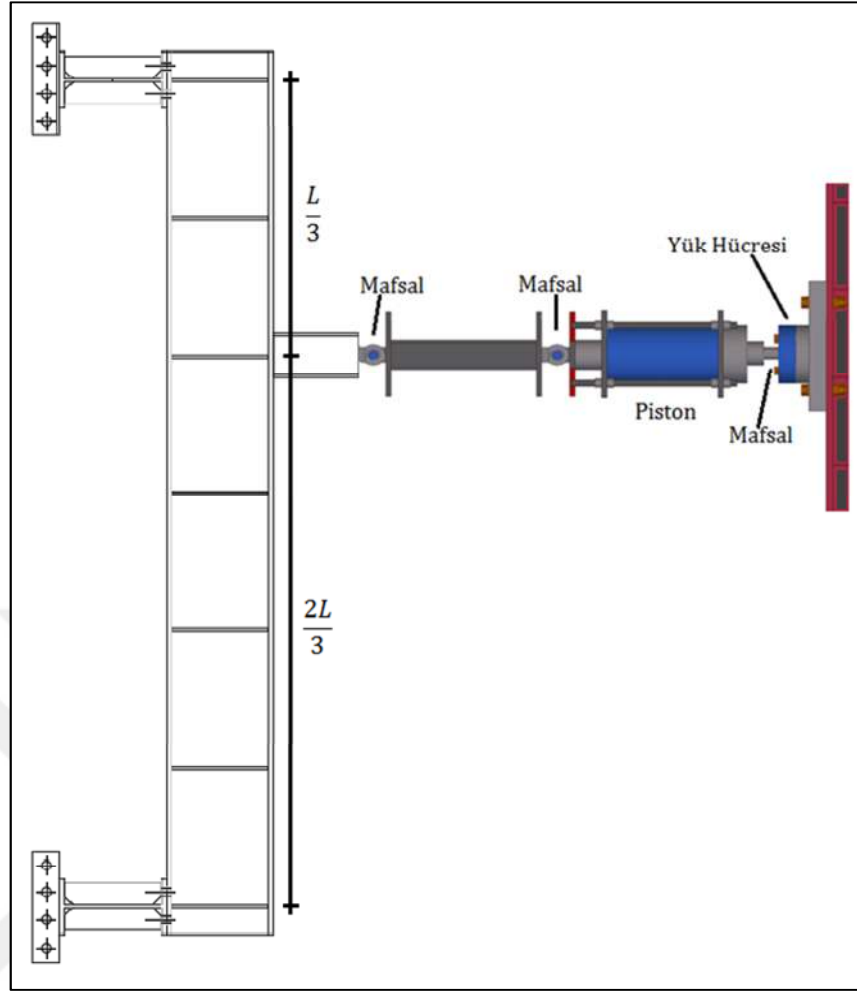


Şekil 3.3. Raf sistemi kesit görünüm



Şekil 3.4. Raf sistemi boyutları

Deneysel modellere yük aktarımında kullanılan yükleme kolunun reaksiyon duvarı ve numune ile olan bağlantıları da mafsallı dizayn edilmiştir. Bu sayede yükleme düzeneğindeki moment aktarmayan mesnetler, numuneye uygulanan kuvvetin numuneye dik yük aktarımını sürekli kılmaktadır. Deneysel analizlerde yükleme manuel pompa ile statik artımsal ve tersinir olarak etkitilmiştir. Şekil 3.5.'de yükleme düzeneği ve piston genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yükleme düzeneği ve piston genel görünümü

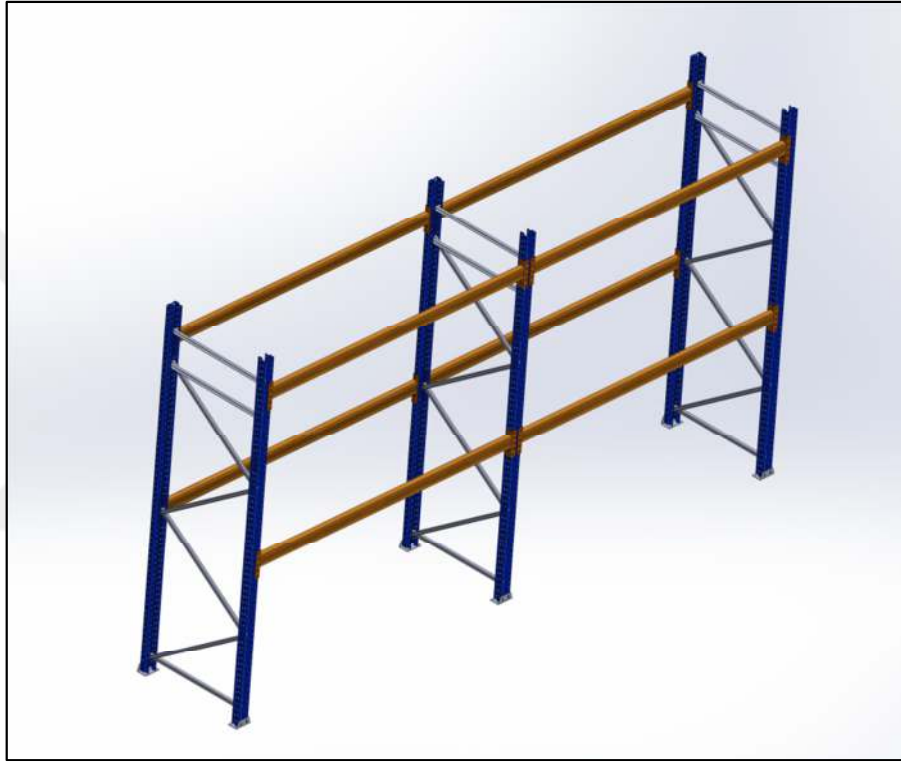
Çizelge 3.2'de çalışmada kullanılan modeller ve her birine ait parametre değişimleri ifade edilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal değişkenleri

Model No:	Deprem Çaprazı	Statik Gergi	Raf içi çaprazı	Palet ağırlığı	Kat yüksekliği
DM1	Yok	Yok	Yok	750kg	1500mm
SM1/M					
SM1/R					
DM2	Yok	Var	Var	750kg	1500mm
SM2/M					
SM2/R					
DM3	Var	Yok	Var	750kg	1500mm
SM3/M					
SM3/R					
DM = Deneysel Model SM/M = Mafsals Birleşim Sayısal Model SM/R = Kısmi Rijit Birleşim Sayısal Model					

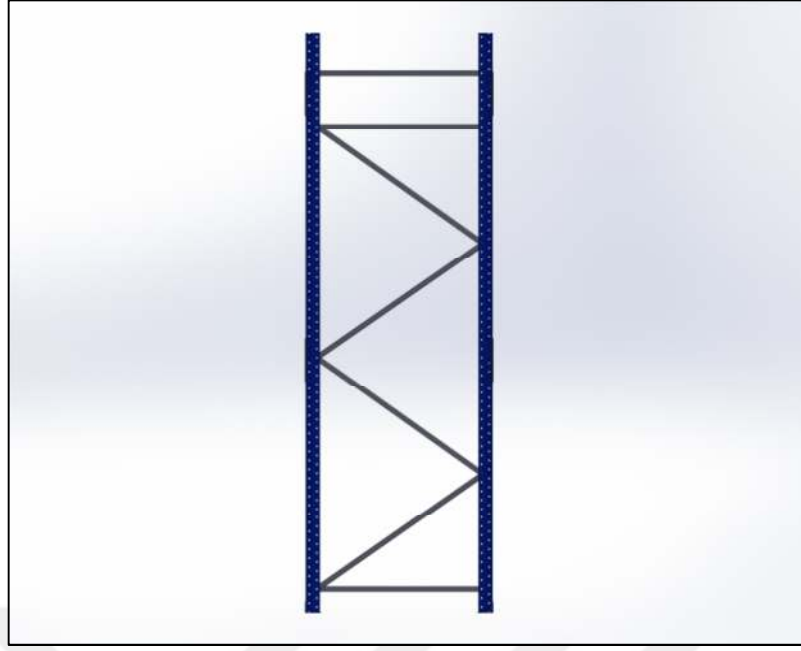
3.1.2. SM1/DM1 Model tanıtımı

Bu model 3 adet toplanmış ayak ve 8 adet traversten oluşmaktadır. Bu modelde koridor doğrultusunda herhangi bir stabilite elemanı olmamaktadır. Çaprazsız oluşturulan bu modelde koridor doğrultusunda stabilite travers-ayak birleşimlerinin semi-rijit bağlantısından karşılanmaktadır. Bu modele ait izometrik ve kesit görünüşler Şekil 3.6. ve 3.7.'de verilmiştir.

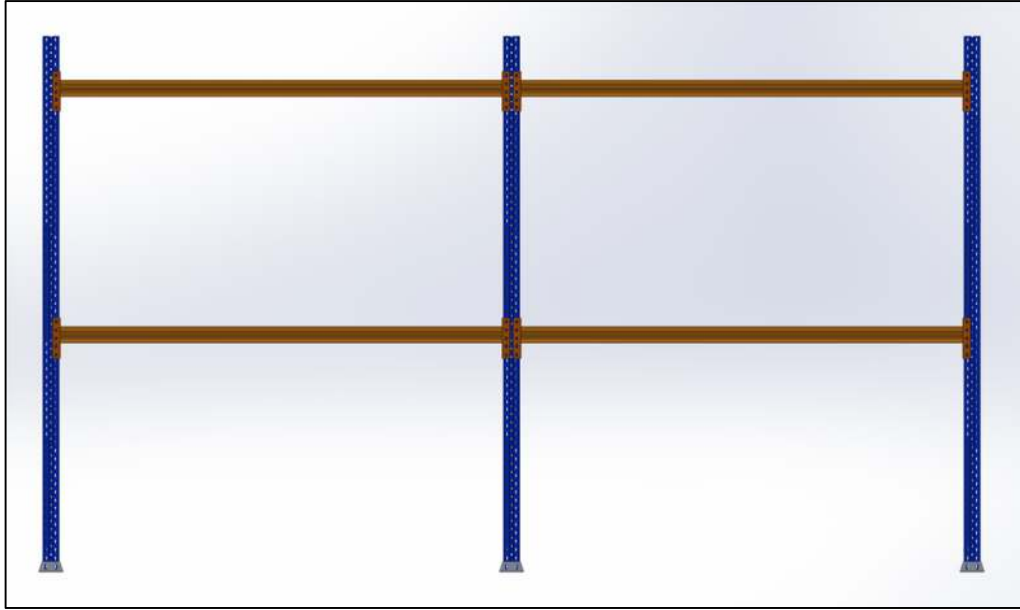


Şekil 3.6. SM1/DM1 Çaprazsız model izometrik görünümü

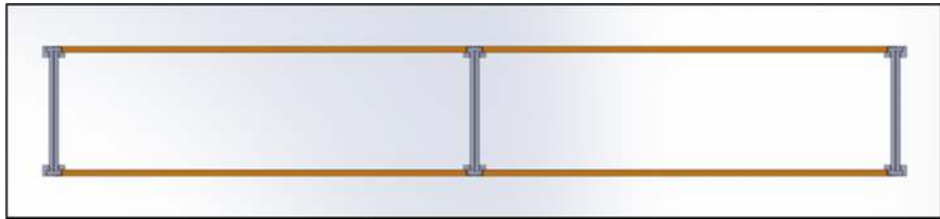
Şekil 3.9.'de SM1/DM1 modeli içerisinde kullanılmış olan bütün malzemeler pozlanmış olup kaçar adet hangi malzeme kullanıldığı Çizelge 3.3.'de üzerinde gösterilmiştir.



a) Yan görünüm



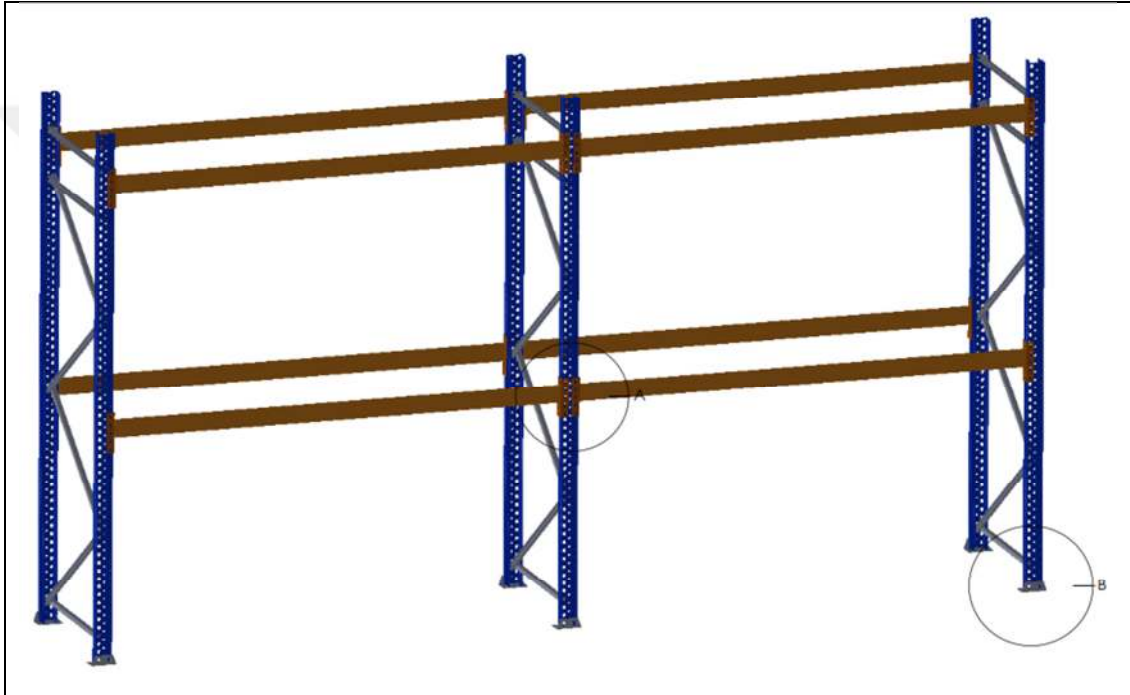
b) Ön görünüm



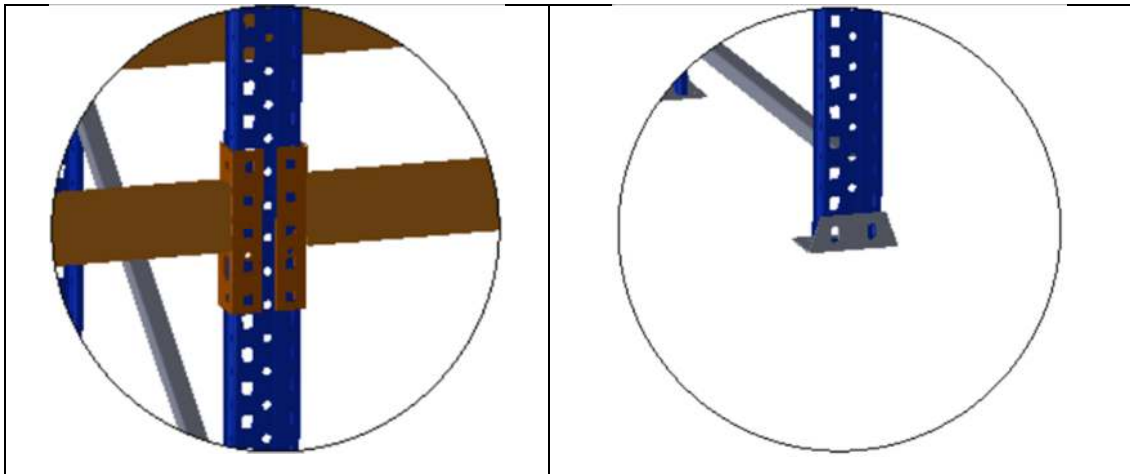
c) Kat görünüm

Şekil 3.7. SM1/DM1 Çaprazsız model kesit görünümü a) Yan görünüm, b) Ön görünüm, c) Kat görünüm

Şekil 3.8.a'de verilen izometrik görünüş üzerinden detaylar alınarak SM1/DM1 modeli detaylı gösterilmiştir. Şekil 3.8.b'de kolon-kiriş detayı verilmiştir. Burada traverslerin kolona bağlandığı yerde konektör diye adlandırılan 5 turnaklı bir eleman kullanılmıştır. Bu elemanlar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde belirli bir dönme kuvvetine dayanabilmeleri sisteme koridor doğrultusunda rijitlik sağlamaktadır. Şekil 3.8.c'de verilen detay ayak pabucu-ayak bağlantı elemanıdır. Bu eleman zemine 2 adet mekanik veya kimyasal dübelle bağlantı olmaktadır. Bu bağlantı teşkilinin sayısal modelde basit mesnet olarak alınmasını gerektirmiştir.



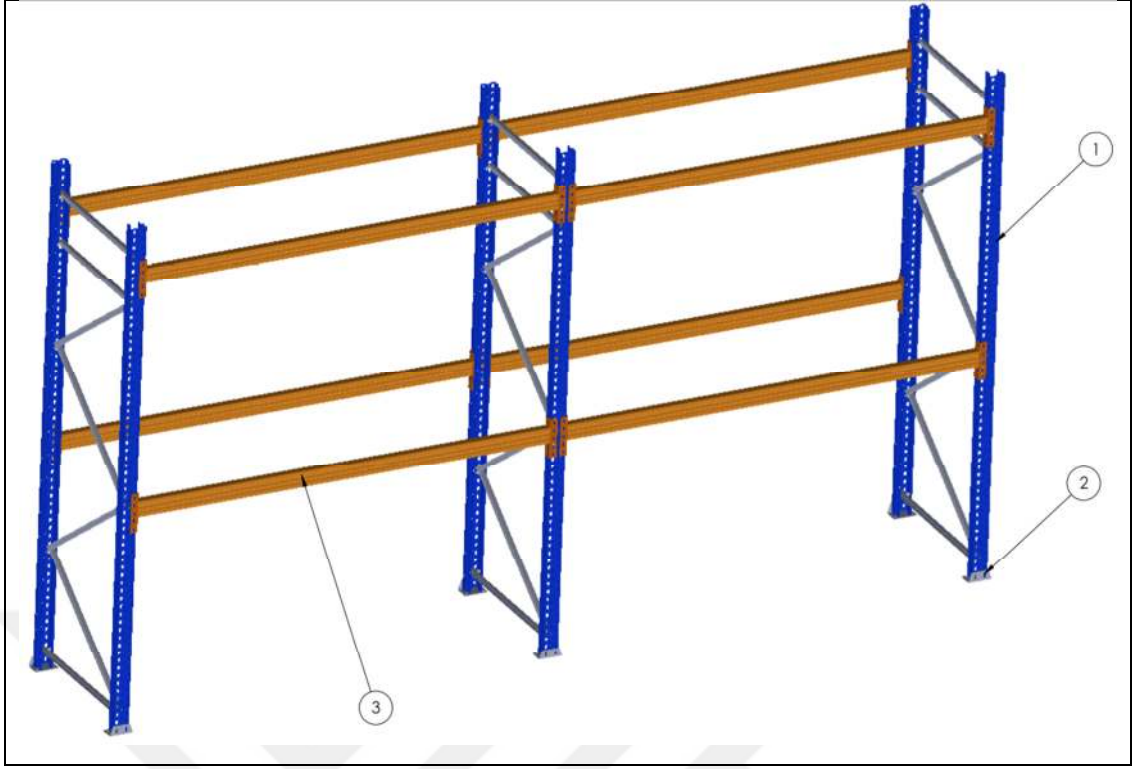
a) Çaprazsız modül izometrik görünümü



b) A-Detay görünümü

c) B-Detay görünümü

Şekil 3.8. SM1/DM1 Model çapraz detay görünümü a) Çaprazsız modül izometrik görünümü, b) A-Detay görünümü, c) B-Detay görünümü



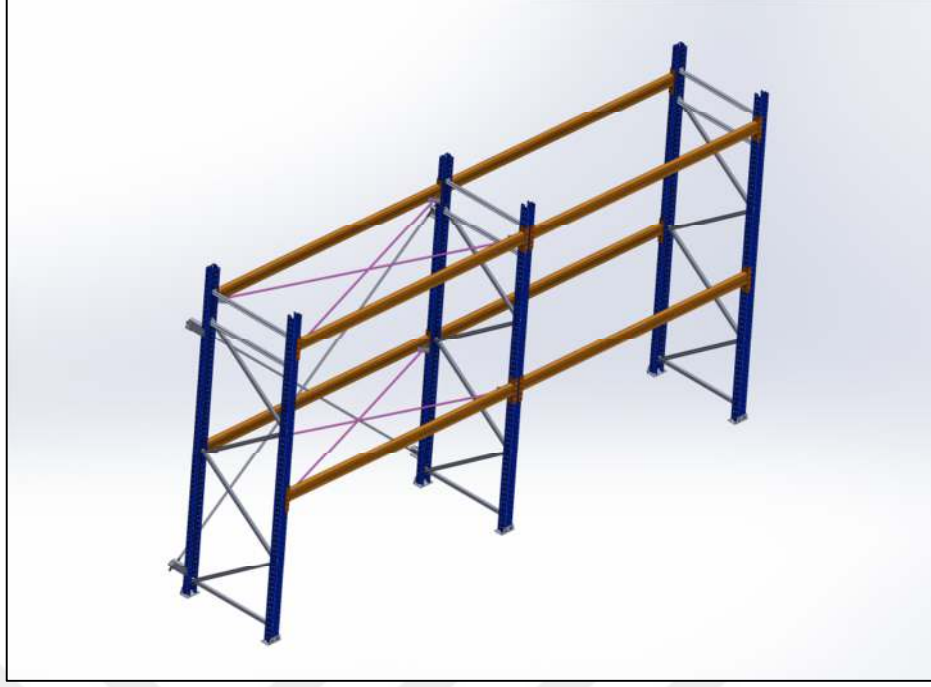
Şekil 3.9. SM1/DM1 model montaj detay görünümü

Çizelge 3.3. SM1/DM1 model montaj detay listesi

ÖĞE NO.	PARÇA NUMARASI	MKT.
1	Ayak takımı 100x80x2,0mm Slot L:3250mm D:1050	3
2	Ayak pabucu	6
3	CC50x100x1,5mm L:2700	8

3.1.3. SM2/DM2 Model tanıtımı

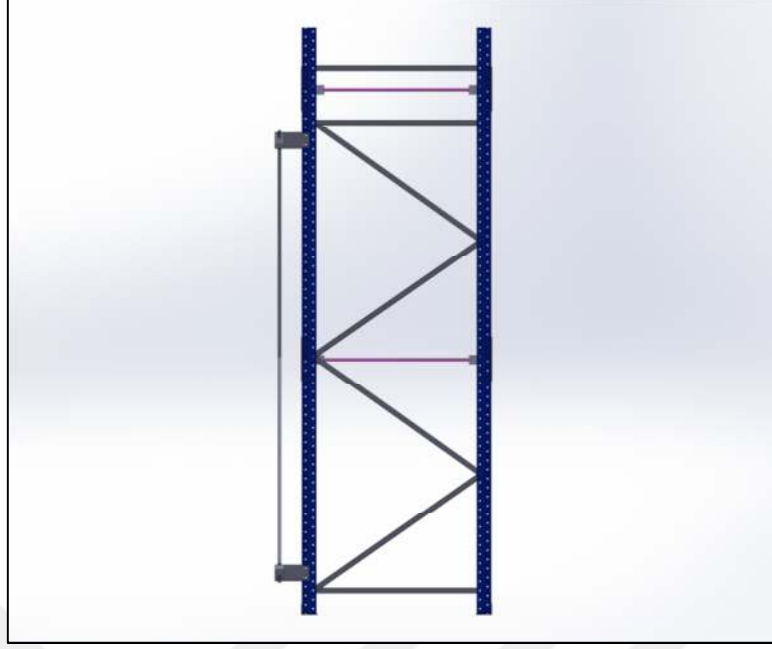
Şekil 3.10.'da SM2/DM2 modeli için verilmiş izometrik görünüş bulunmaktadır. Bu modelde raf sistemi arkasında $\varnothing 19 \times 2,00$ mm statik gergi sistemi kullanılmıştır. Statik gergi seti sadece bir modüle bağlanmıştır. Bağlandığı modüle aynı zamanda raf içi çaprazı diye adlandırılan yatay çapraz seti de bağlanmıştır.



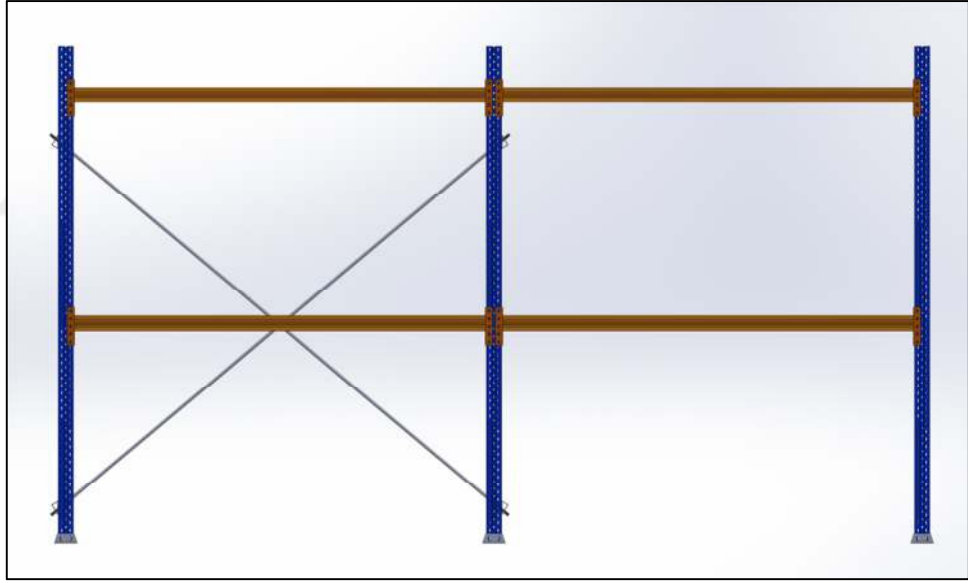
Şekil 3.10. SM2/DM2 Statik Gergili model izometrik görünümü

Raf içi çaprazları sistemin mod şekillerinin daha düzenli halde olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda bu elemanlar düğüm noktalarının birlikte aynı ötelemeyi yapmasını sağlayarak diyafram etkisi sağlarlar. SM2/DM2 Statik gergili modelin Şekil 3.11.'de plan ve görünüşleri verilmiştir. Statik gergili bu modelde statik gergi elemanları X şeklinde atılmış olup sadece çekme kuvveti alacak şekilde modellenmiştir.

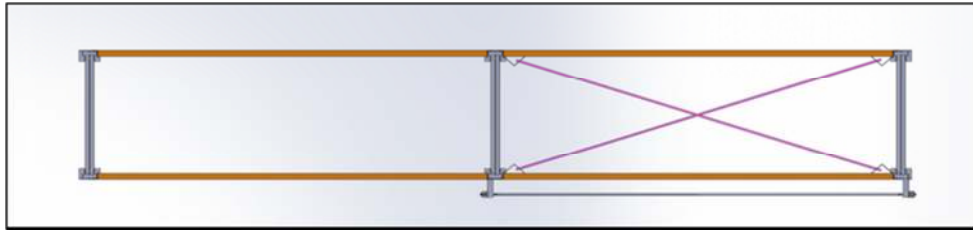
Şekil 3.13.'de SM2/DM2 modeli içerisinde kullanılmış olan bütün malzemeler pozlanmış olup kaçar adet hangi malzeme kullanıldığı Çizelge 3.4.'de üzerinde gösterilmiştir.



a) Yan görünüm

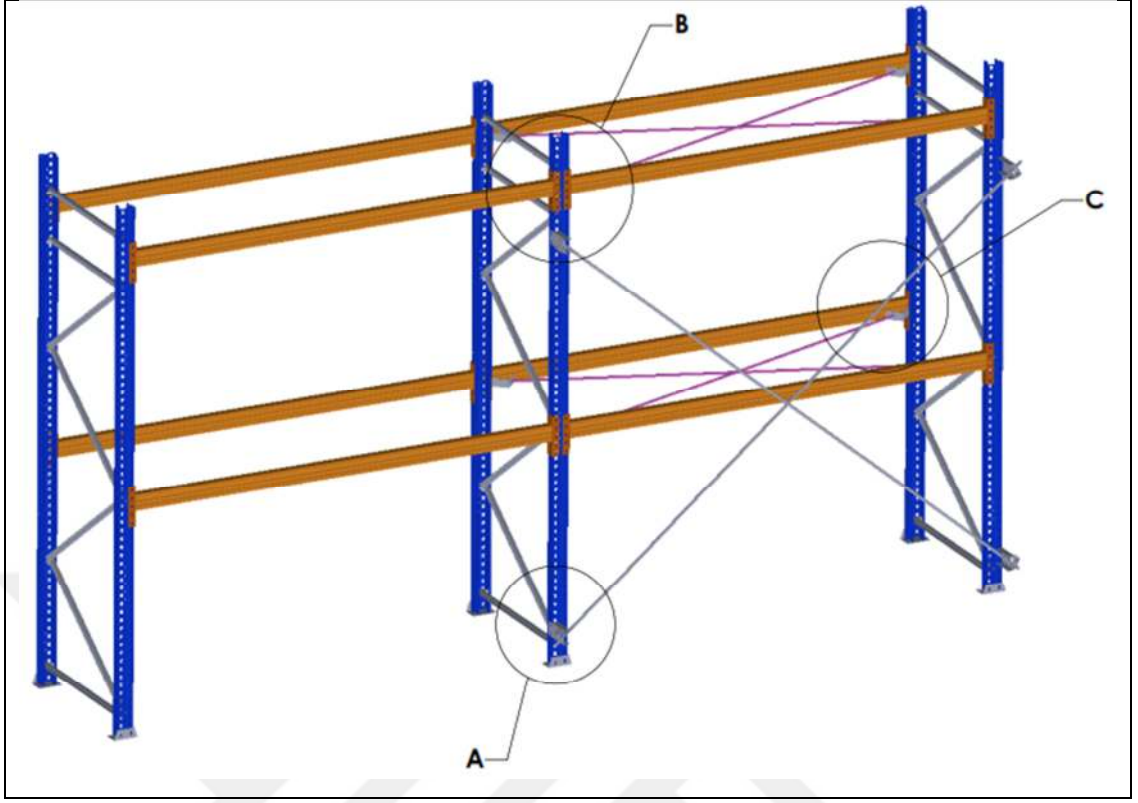


b) Ön görünüm

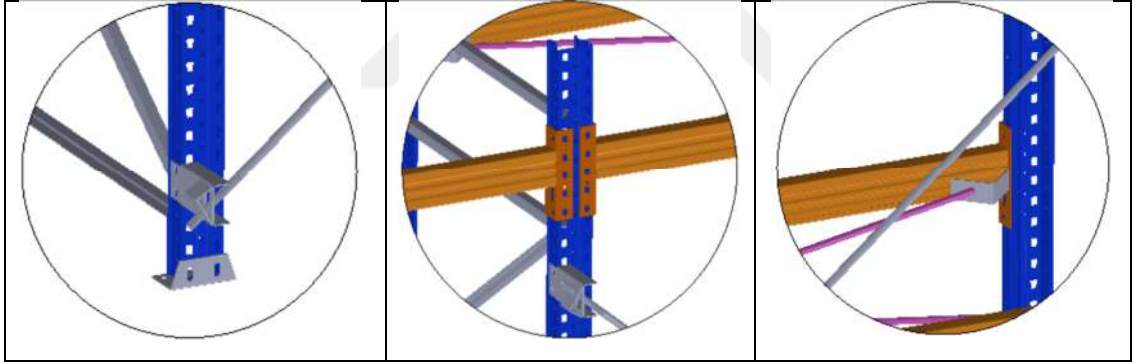


c) Kat görünüm

Şekil 3.11. SM2/DM2 Çaprazsız model kesit görünümü a) Yan görünüm, b) Ön görünüm, c) Kat görünüm



a) Gergi izometrik görünümü

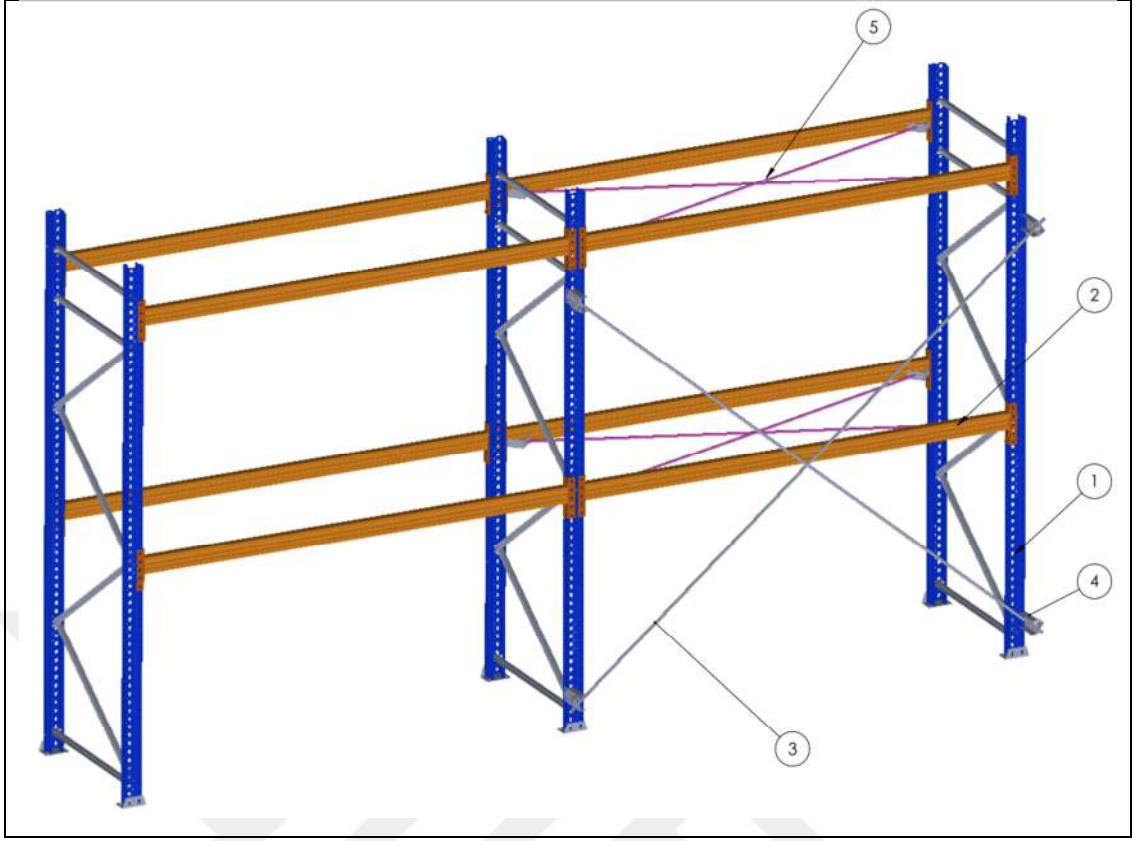


b) A-Detay görünümü

c) B-Detay görünümü

d) C-Detay görünümü

Şekil 3.12. SM2/DM2 Model çapraz detay görünümü a) Gergi izometrik görünümü, b) A-Detay görünümü, c) B-Detay görünümü, d) C-Detay görünümü



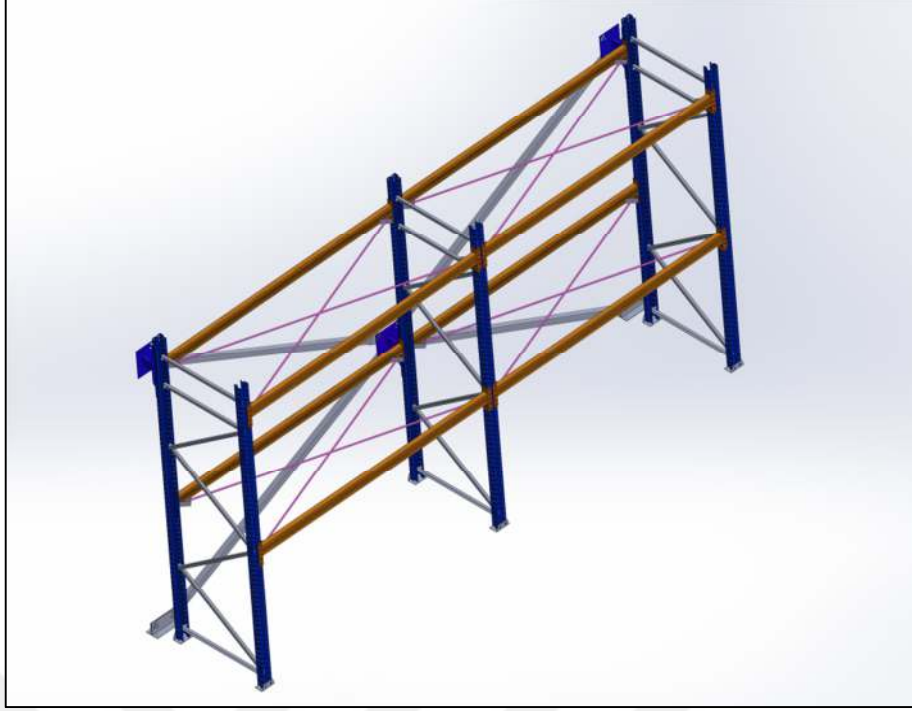
Şekil 3.13. SM2/DM2 model montaj detay görünümü

Çizelge 3.4. SM2/DM2 model montaj detay listesi

ÖĞE NO.	PARÇA NUMARASI	MKT.
1	Ayak takımı 100x80x2,0mm Slot L:3250mm D:1050	3
2	CC50x100x1,5mm L:2700	8
3	Statik Gergi 19x2mm L:3850mm	2
4	Statik Gergi Konsolu Tek Taraflı L:150	4
5	Raf İçi Çaprazı Ø12 Tij	4

3.1.4. SM3/DM3 Model tanıtımı

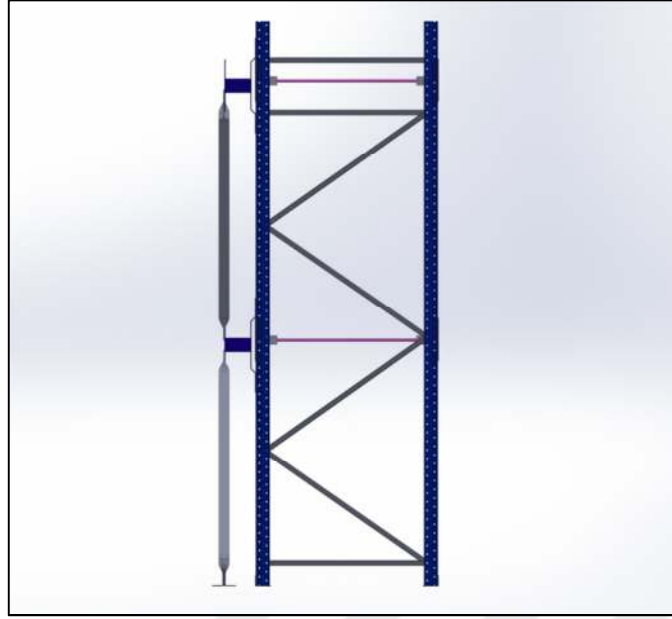
Şekil 3.14.'de SM3/DM3 modeli için verilmiş izometrik görünüş bulunmaktadır. Bu modelde raf sistemi arkasında RHS60.60.3 mm kutu profilden oluşturulmuş X çapraz sistemi kullanılmıştır. Çapraz sisteminde X formunu verebilmek için 2 modüle bağlanmıştır. Her iki modül ve her katta raf içi çaprazı diye adlandırılan yatay çapraz seti de bağlanmıştır.



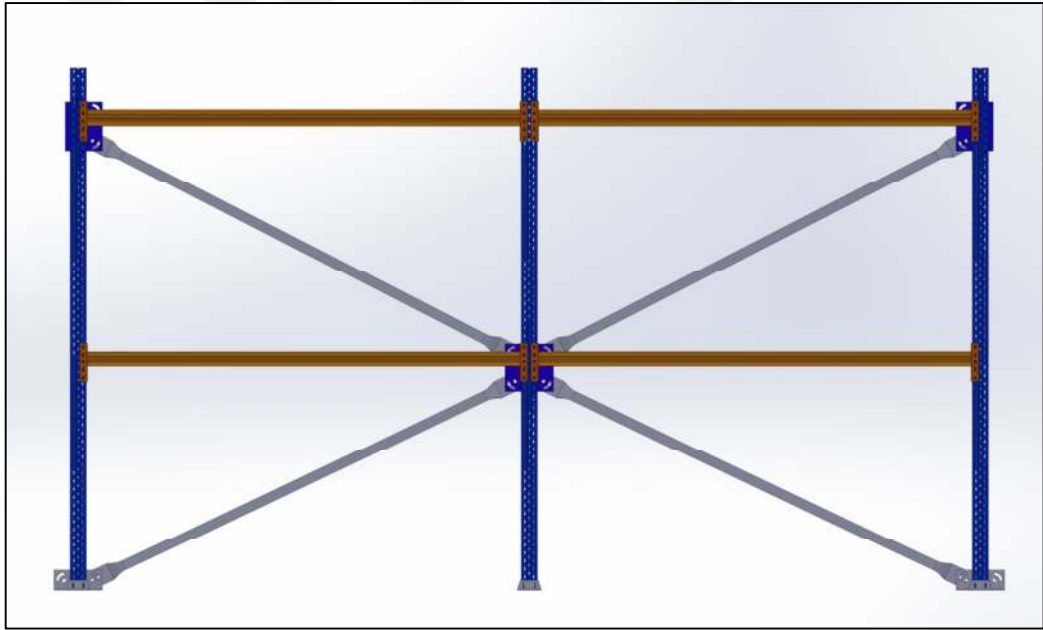
Şekil 3.14. SM3/DM3 Çaprazlı model izometrik görünümü

Raf içi çaprazları sistemin mod şekillerinin daha düzenli halde olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda bu elemanlar düğüm noktalarının birlikte aynı ötelemeyi yapmasını sağlayarak diyafram etkisi sağlarlar. SM3/DM3 Çaprazlı modelin Şekil 3.15.'de plan ve görünüşleri verilmiştir. Çaprazlı bu modelde çapraz elemanları (RHS60.60.3) elemanları X şeklinde atılmış olup çekme ve basınca göre kuvvet alacak şekilde modellenmiştir.

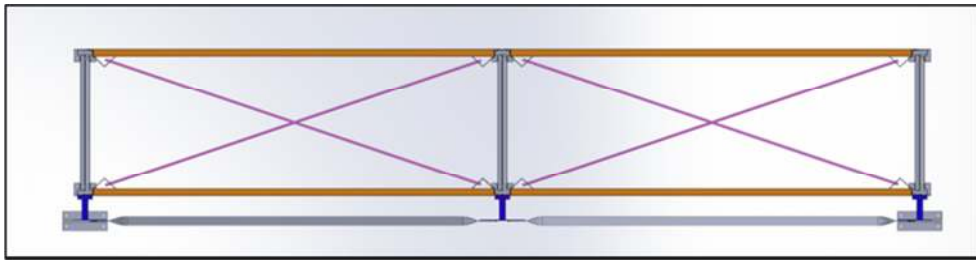
Şekil 3.17.'da SM3/DM3 modeli içerisinde kullanılmış olan bütün malzemeler pozlanmış olup kaçar adet hangi malzeme kullanıldığı Çizelge 3.5.'de üzerinde gösterilmiştir.



a) Yan görünüm

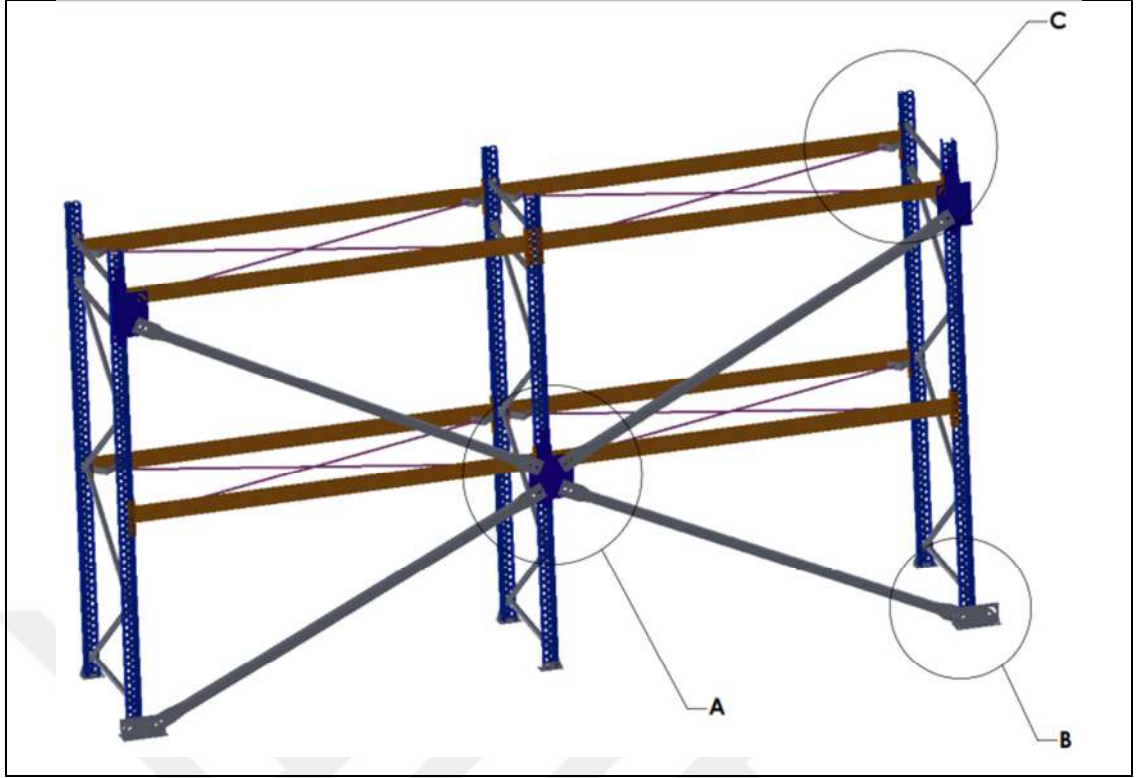


b) Ön görünüm



c) Kat görünüm

Şekil 3.15. SM3/DM3 Çaprazsız model kesit görünümü a) Yan görünüm, b) Ön görünüm, c) Kat görünüm



a) Çapraz izometrik görünümü



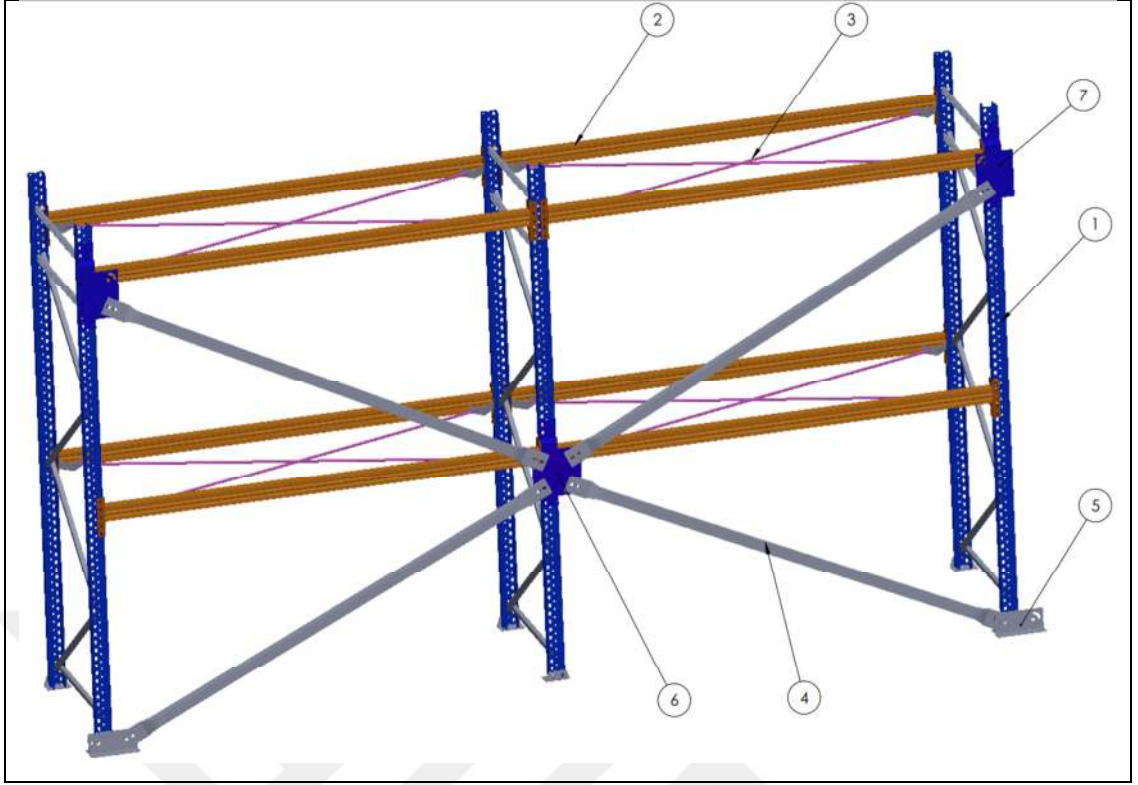
b) A-Detay görünümü

c) B-Detay görünümü

d) C-Detay görünümü

Şekil 3.16. SM3/DM3 Model çapraz detay görünümü a) Çapraz izometrik görünümü, b) A-Detay görünümü, c) B-Detay görünümü, d) C-Detay görünümü

Şekil 3.16.a'de verilen izometrik görünüş üzerinden detaylar alınarak SM3/DM3 modeli detaylı gösterilmiştir. Şekil 3.16.b'de çapraz ayak elemanı bağlantı şekli verilmiştir. Şekil 3.16.c'de kolon-kiriş detayı verilmiştir. Şekil 3.16.d'de raf içi çapraz detayı verilmiştir. Burada traverslerin kolona bağlandığı yerde konnektör diye adlandırılan 5 tırnaklı bir eleman kullanılmıştır. traverslerin kolona bağlandığı yerde konnektör diye adlandırılan 5 tırnaklı bir eleman kullanılmıştır.



Şekil 3.17. SM3/DM3 model montaj detay görünümü

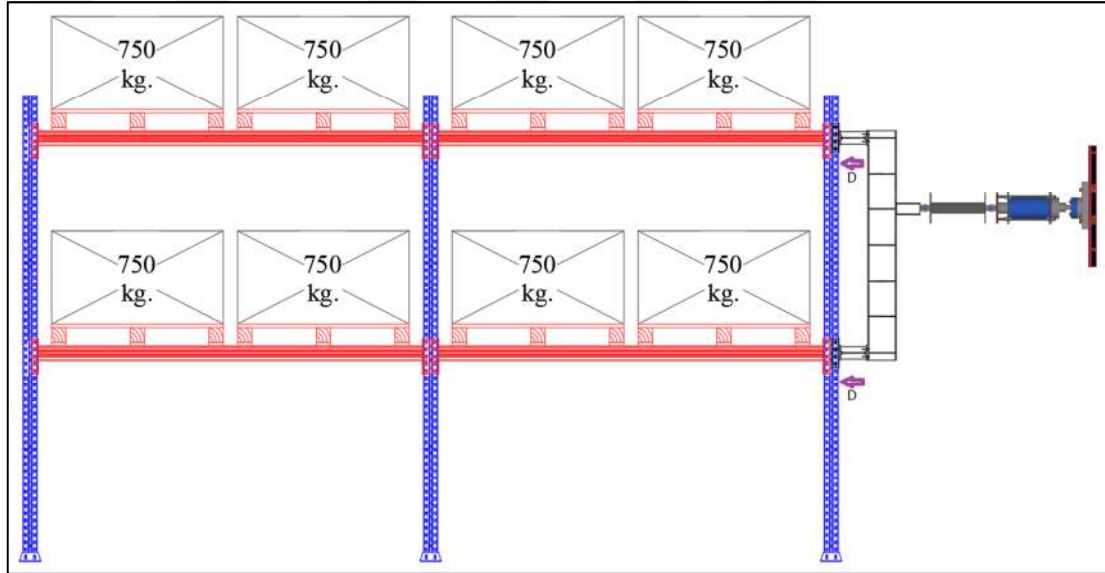
Çizelge 3.5. SM3/DM3 model montaj detay listesi

ÖĞE NO.	PARÇA NUMARASI	MKT.
1	Ayak takımı 100x80x2,0mm Slot L:3250mm D:1050	3
2	CC50x100x1,5mm L:2700	8
3	Raf İçi Çaprazı Ø12 Tij	8
4	RHS60x60x3 Deprem Çaprazı	4
5	Zemin Mapası	2
6	Çapraz Konsolu Tek Taraflı L:180 Tip:1	1
7	Çapraz Konsolu Tek Taraflı L:180 Tip:2	2

3.1.5. Deneysel modellerde veri toplama sistemleri

Deneysel analizlerde veri toplama aşaması, yük, deplasman ölçer okuması şekliyle yapılmıştır. Yük okuması, hidrolik sistem ile reaksiyon duvarı arasına yerleştirilen yük hücresi aracılığı ile sağlanmıştır.

Sistemin yük deplasman eğrisinin çizilebilmesi, birleşim bölgesi moment dönme ilişkisinin değerlendirilebilmesi için sistemde çeşitli yerlere deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Şekil 3.18.'de gösterildiği üzere, deneysel numunenin kolon kiriş düğüm noktasındaki çökmeyi tespit edebilmek için D no'lu deplasman ölçerler yerleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Deplasman ölçer yerleşim planı

Şekil 3.19., 3.20. ve 3.21.'de deneysel modellere ait genel görünüm verilmektedir. Şekil 3.19.'de Çaprazsız numunenin yükleme anına ait bir görünüm verilmektedir. Şekil 3.20.'de Statik Gergili numunenin yükleme anına ait bir görünüm gösterilmektedir. Şekil 3.21.'de ise Çaprazlı numunenin yükleme anına ait bir görünüm verilmektedir.



Şekil 3.19. SM1/DM1 Çaprazsız model genel görünüm



Şekil 3.20. SM2/DM2 Statik Gergili model genel görünüm



Şekil 3.21. SM3/DM3 Çaprazsız model genel görünüm

3.2. Sayısal Modeller

Deneysel çalışmada kullanılan her numune için bir sayısal model oluşturulmuş olup SAP2000 V16.0 sonlu eleman analiz programı kullanarak analiz edilmiştir.

3.2.1. SAP2000 V14.0 sayısal modelleme yöntemi

Modeller SAP2000 V14.0 sonlu eleman analiz programı kullanarak modellenmiştir.

Modellerde deneysel modeller baz alınmış olup, malzeme özellikleri, kesit özellikleri ve boyutsal parametreleri bakımından birebir aynı ölçüler ve değerler kullanılmaya çalışılmıştır. Ayrıca deneysel analizde kullanılan yükleme ünitesi, uygulama şekli, mesnet şartları ve tüm bağlantı detayları bakımından sayısal modellere büyük oranda yansıtılmaya çalışılmıştır. Bu şekli ile deneysel ve sayısal modeller birbiri ile örtüştürülerek karşılıklı doğrulama yapılmak istenmiştir.

3.3. Çelik Malzeme Özellikleri

Raf elemanlarında kullanılan malzeme ince cidarlı soğukta çekilen çeliktir. Kullanılan elemanların malzeme sınıfı S235 olarak belirlenmiştir. EN15512-2009 / 8.1.3 e göre malzeme özellikleri aşağıda verilmiştir;

Çizelge 3.6. Yapı çeliği malzeme özellikleri

Elastisite modülü	E=210000 MPa
Kayma modülü	G=80770 MPa
Poisson oranı	$\nu=0.3$
Lineer ısı genleşme katsayısı	$\alpha=12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Yoğunluk	$\rho=7850 \text{ kg/m}^3$
S235 (St37H) (A1003/A1003M-05)	
Akma gerilmesi	F _y =235MPa
Kopma gerilmesi	F _a =360MPa

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Soğuk şekil verilmiş ince cidarlı profilleri kullanarak dizayn edilmiş raf tipi sistemlerin performans analizlerinin yapıldığı bu tez çalışmasında 3 deneysel 6 sayısal olmak üzere 9 model üzerinde analizler yapılmıştır.

Deneysel analizde modeller; Çaprazsız, Statik Gergili ve Deprem Çaprazlı olmak üzere sınıflandırılmıştır. Sayısal analizlerde ise deneyi yapılan her modeli temsili bir model oluşturulmuştur. Modellerin oluşturulmasında deneysel analizde kullanılan boyutsal parametreler birebir yansıtılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda 3 sayısal model tasarlanmıştır. Raf tipi sistemlerin dizaynında birleşim noktası mafsallı olarak kabul edilmektedir. Ancak yapılan analizde travers-kolon (raf ayağı) bağlantılarının tamamıyla mafsallı çalışmadığı travers bağlantı aparatının (travers konnektörü) kolon üzerinde kısmi rijitlik kazandırdığı tespit edilmiştir. Bağlantı noktalarındaki rijitlik kazanımlarının dikkate alındığı her bir durum için 3 sayısal model daha oluşturulmuştur. Bu kapsamda çalışma kapsamında dikkate alınan modeller çizelge 4.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan modeller

DM-1	Çaprazsız
DM-2	Statik Gergili
DM-3	Deprem Çaprazlı
SM-1/M	Çaprazsız / Mafsallı Birleşim
SM-1/R	Çaprazsız / Kısmi Rijit Birleşim
SM-2/M	Statik Gergili / Mafsallı Birleşim
SM-2/R	Statik Gergili / Kısmi Rijit Birleşim
SM-3/M	Deprem Çaprazlı / Mafsallı Birleşim
SM-3/R	Deprem Çaprazlı / Kısmi Rijit Birleşim

4.1. DM-1, SM-1/R ve SM-1/M Modellerinin Analizi ve Değerlendirilmesi

Raf tipi sistemlerinin performans analizlerinin değerlendirildiği bu tez çalışmasında DM-1 nolu model ilk analiz edilen numunedir. Model için yapılan

analizler sabit düşey yükler altında statik artımsal olarak etkiyen yatay yükler için yapılmıştır. Çalışmanın tamamında düşey yükler (Palet Yükleri) ağırlığı 750kg olan ve her aralıkta 2 adet kullanılan toplamda 6000kg'a tekabül edecek şekilde temsil edilmiştir. Yatay yükleme ve hidrolik piston aracılığıyla statik artımsal olarak uygulanmıştır. Hidrolik Piston Deney numunesi bağlantısı bir yükleme kolu ile sağlanmış olup sisteme kat yükseklikleri boyunca bağlanmıştır. Yükleme kolu deney numunesi bağlantı şekli dikkate alındığında üst kata "2 kat", birinci kata "tek kat" yük sağlayacak şekilde bağlantı sağlanmıştır. Deney numuneleri temel bağlantısı ankraj plakasına yerleştirilen bağlantı detayı bu şekil ile uygulama koşulları yaratılmaya çalışılmıştır. Şekil 4.1.'de deney numunesinin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 4.1. Çaprazsız model genel görünüm

Statik artımsal yatay yük altında analiz edilen DM-1 nolu model statik gergi ve deprem çaprazının kullanıldığı durumu temsil etmemektedir. Bu kapsamda etkiyen yükler kolon ve kirişlerce karşılanmıştır.

Raf tipi sistemin temel bağlantı şeklinin, düşey yükler için yeterli rijitlikte olmasına karşın yatay yükler için yeterli rijitlik sağlamamaktadır. Bu durumda sistem direnci Kolon/Kiriş yani Kolon/Travers bağlantı noktasına karşılatılmaktadır. Yapılan deneysel analizde bu durum açıkça görülmüştür. Kolon/Temel bağlantısı mafsallı olarak çalışmış, birleşim sabit mesnet kabulünü sağlamıştır. Ancak Kolon/Travers bağlantı noktaları bağlantı aparatının etkinliği ve konumuna göre sisteme rijitlik kazandırılmıştır. Şekil 4.2.'de DM-1 nolu modelin statik itme sonrası genel durumu gösterilmiştir.



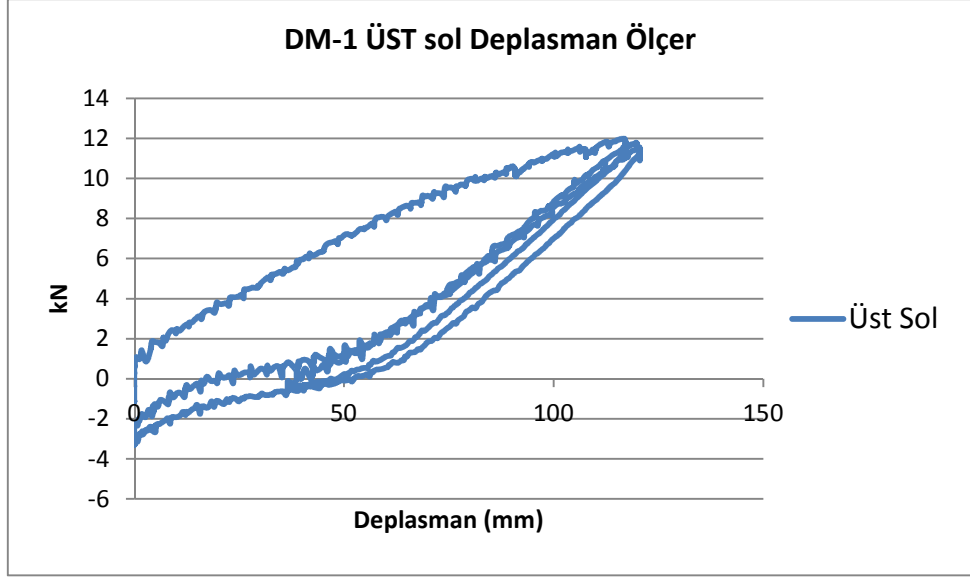
Şekil 4.2. Çaprazsız model deney öncesi genel görünüm

Deplasman uğramış duruma ait genel durum incelendiğinde sistemin temel bağlantısının yatay yükler açısından yeter rijitlikte olmadığı kolon deformasyon şeklinden anlaşılmaktadır. Ancak Travers/Kolon bağlantı noktaları ve yerleri dikkate alındığında birleşimlerin rijitlik kazanımı açıkça görülmektedir. Şekil 4.3.'de genel görünümeleri detaylandırılan resimlerde kolonlar “S” şeklini almaktadır. Bu durum Travers/Kolon bağlantısını sağlayan konnektörün birleşim rijitlik kattığını en belirgin haldir.

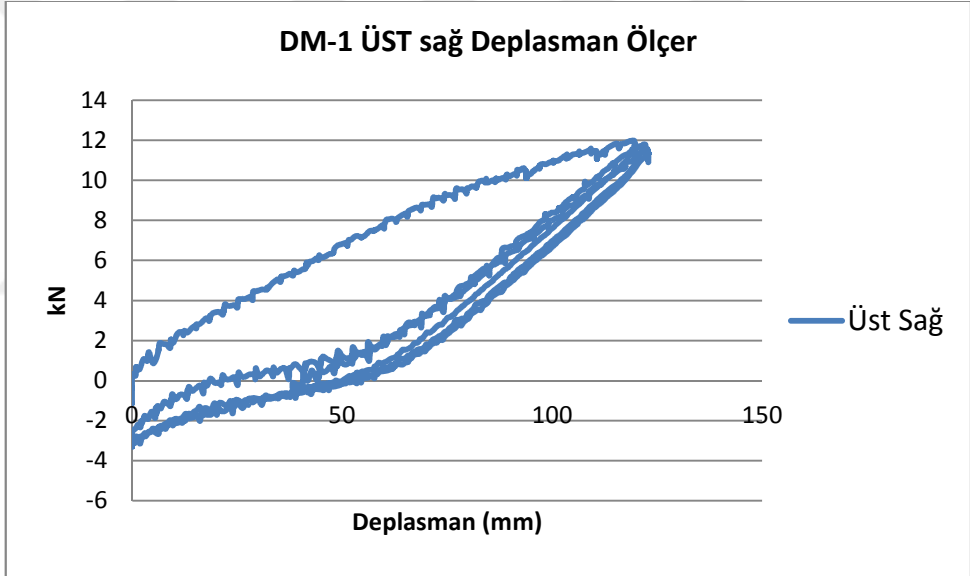


Şekil 4.3. Çaprazsız model deforme olmuş görünümü

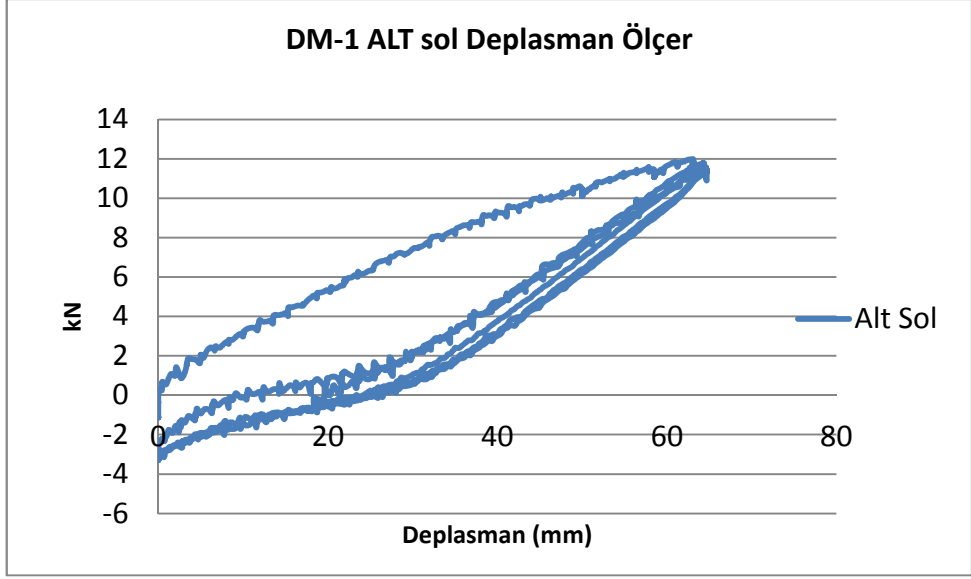
Şekil incelendiğinde konnektöre bağlı rijitlik kazanımı Travers’de değil kolonda sağlanmıştır. En büyük kazanım orta aksta elde edilmiştir. Deneysel analizlerde sisteme etkiyen yük, yük hücresi, etkiyen yükler altında meydana gelen deplasmanlarda birinci aksta birinci ve ikinci kata yerleştirilen deplasman ölçerler ile hesaplanmıştır. Elde edilen deplasmanlar Üst Sol, Üst Sağ, Alt Sol ve Alt Sağ nokta olmak üzere şekil 4.4.’de verilmiştir.



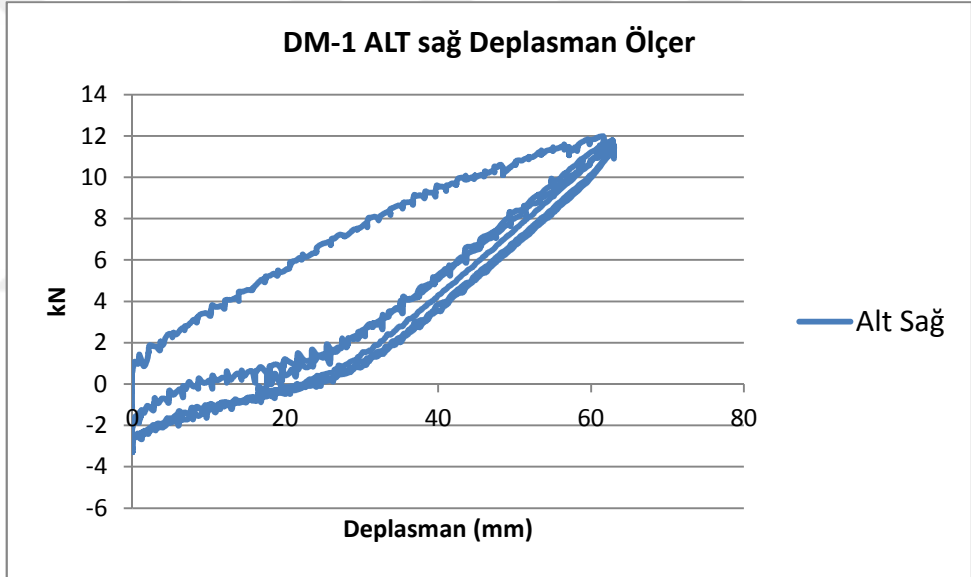
a) ÜST sol deplasman grafiği



b) ÜST sağ deplasman grafiği



c) ALT sol deplasman grafiği

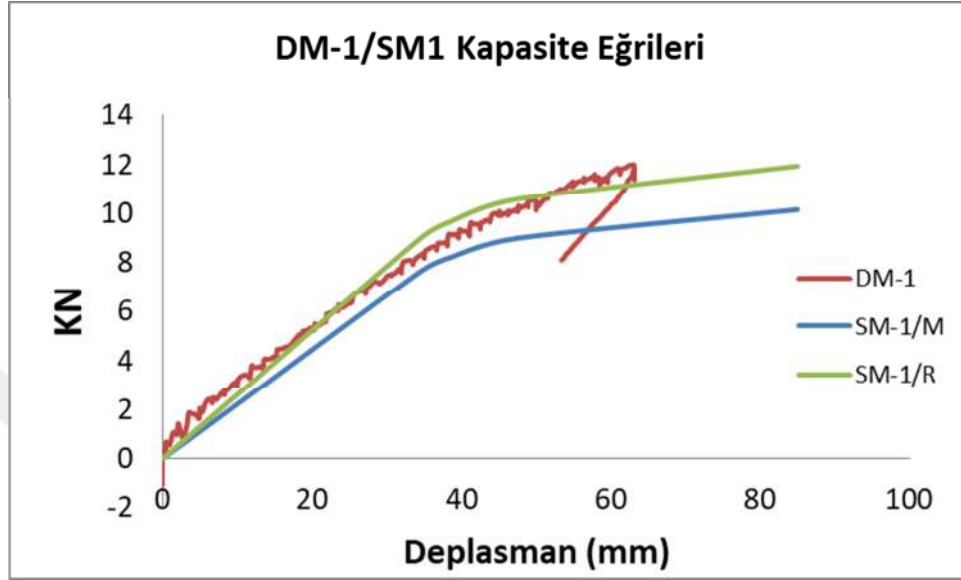


d) ALT sağ deplasman grafiği

Şekil 4.4. Çaprazsız Model Kapasite grafikleri a) ÜST sol deplasman grafiği, b) ÜST sağ deplasman grafiği, c) ALT sol deplasman grafiği, d) ALT sağ deplasman grafiği

Şekil 4.5.'de deneysel analiz kapasite eğrileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde sistemin tek yönlü itildiği ve yüklemenin tekrarlı uygulandığı görülmektedir. 100mm yatay deplasmanın uygulandığı DM-1 nolu modelde birinci katta 20mm ikinci katta 40mm kalıcı deformasyonun meydana geldiği buna karşın birinci katta 40mm ikinci katta 60mm deplasman kendini toparladığı açıkça tespit edilmiştir. Ayrıca bu korunum tekrarlı yüklemelerde kendini göstermiştir. Bu

Şekil incelendiğinde konnektör bağlantılı rijitlik kazanımının kolon üzerinde etkili olduğu en büyük etkileşiminde orta aksta olduğu açıkça görülmektedir. Bu şekli ile elde edilen durum deneysel analizle birebir örtüşmektedir. SM-1/M ve SM-1/R modellerinden elde edilen kapasite eğrileri Şekil 4.6.'da deneysel analizden elde edilen sonuç ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.6. DM1/SM1 Kapasite eğrileri karşılaştırması

Şekil 4.6.'da verilen kapasite eğrilerini incelendiğinde konnektör kaydanklı rijitliğin dikkate alındığı SM-1/R modelinin DM-1 ile aynı sonuçları verdiği Mafsallı yaklaşımın dikkate alındığı SM-1/M modelinin %10 daha düşük performans sergilediği açıkça görülmektedir.

4.2. DM-2, SM-2/R ve SM-2/M Modellerinin Analizi ve Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında ikinci model olan ve statik gergi çaprazlarının sistem performansı ve davranışı üzerine etkisinin incelendiği DM2 nolu modelidir. Bu numunede DM1'de olduğu gibi Statik artımsal etkiyen yatay yük altında analiz edilmiştir. Bu modeli birinci modelden ayıran en belirgin durum sisteme eklenen gergi çubuğu stabilite bağlantısıdır. Şekil 4.7.'de deney öncesi genel görünüm ve stabilite bağlantısı görülmektedir.



a) Önden genel görünüm



b) Arkadan genel görünüm

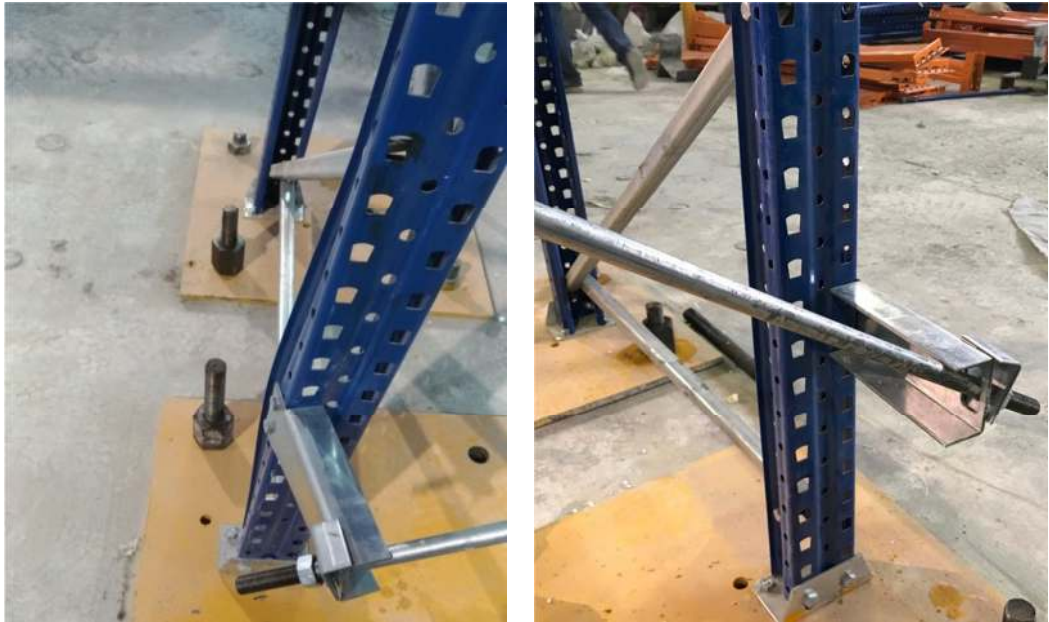
Şekil 4.7. Statik Gergili model deney öncesi genel görünüm a) Önden genel görünüm , b) Arkadan genel görünüm

Statik gergi sistemi modül bağlantısı kolona konsol çalışan bir bağlantı ekipmanı ile sağlanmaktadır. Bu şekli ile gergi statik kazanım bir aralıktaki ve dolaylı olarak sisteme bağlanmıştır. Statik artımsal etkiyen yük altında DM2 nolu modelin deforme olmuş haline ait görünüm şekil'4.8.'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Statik Gergili model deforme olmuş görünümü

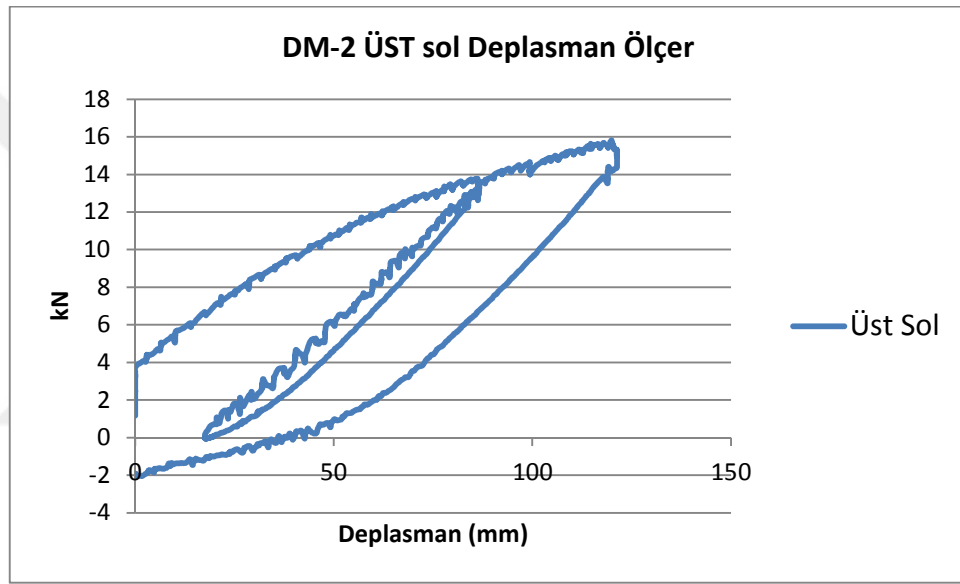
Deforme olmuş hal için veriler resimler incelendiğinde DM1 nolu model ile paralel sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bu modelde kolon temel bağlantı kaynaklı rijitlik kazanmazken, travers bağlantı kaynaklı rijitlik kazanımı sağlanmıştır. DM2 nolu model DM1 nolu modelden ayıran statik gergi sistemi etkileyen yatay yük altında sistem ile bağlantısını sağlayan konnektör performansı kaynaklı kazanım sağlamıştır. Şekil 4.9.'da DM2 nolu numune statik gergi bağlantı ekipmanının deformasyon sonrası genel görünümü verilmiştir.



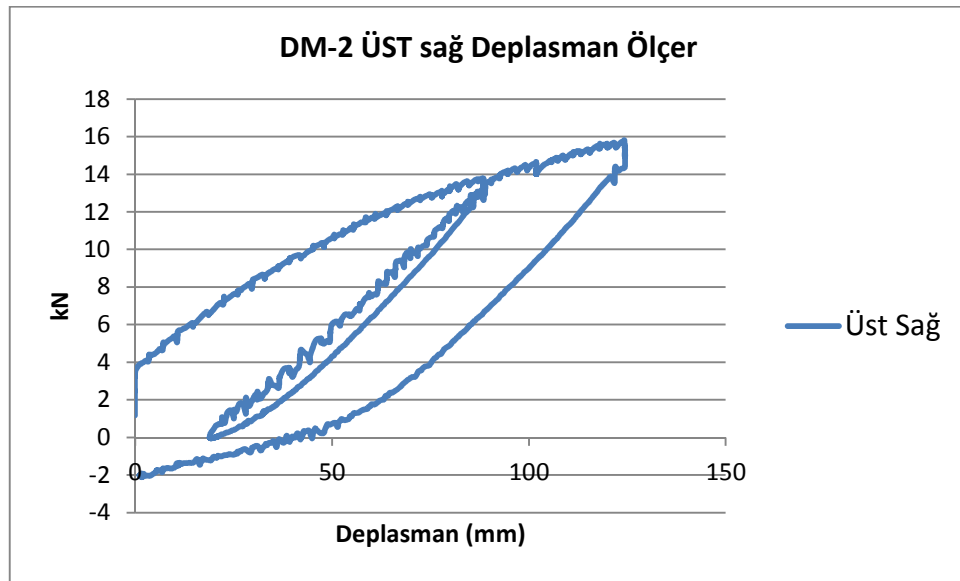
Şekil 4.9. Statik gergi bağlantı ekipmanının deformasyon sonrası genel görünümü

Şekil incelendiğinde ekipmanın konsol olarak çalışması sebebiyle deforme olduğu, ayrıca bu deformasyonun kolonu mekanizma duruma getirmeye zorladığı açıkça görülmektedir. Soğuk şekil verilmiş ve kesit özellikleri gereği eğilmeli burulmalı burkulmaya yatkınlığı olan kolonun gerger bağlantısı kaynaklı ortaya koyduğu deformasyon şekli sistem güvenliği açısından dikkat edilmesi gereken bir durumdur.

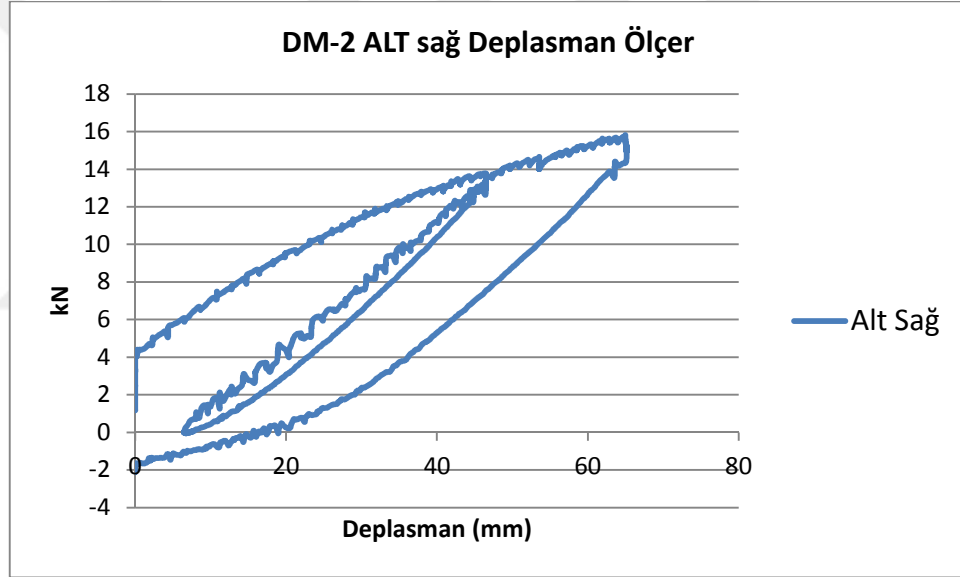
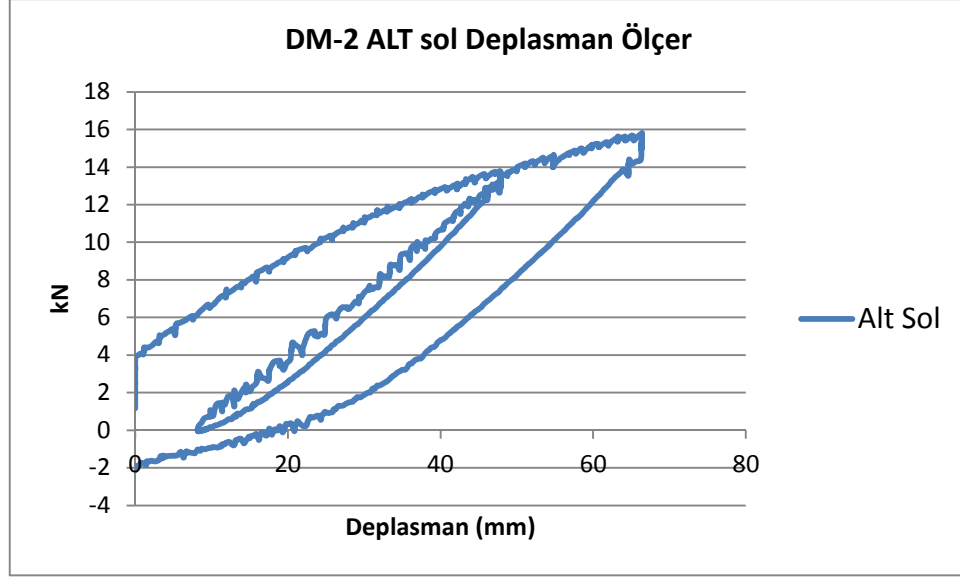
Deneysel analizlerde statik gergerli model'e etkiyen yükler altında meydana gelen deplasmanlar birinci aksta birinci ve ikinci kata yerleştirilen deplasman ölçerler ile hesaplanmıştır. Elde edilen deplasmanlar şekil 4.10.'da verilmiştir.



a) ÜST sol deplasman grafiğı

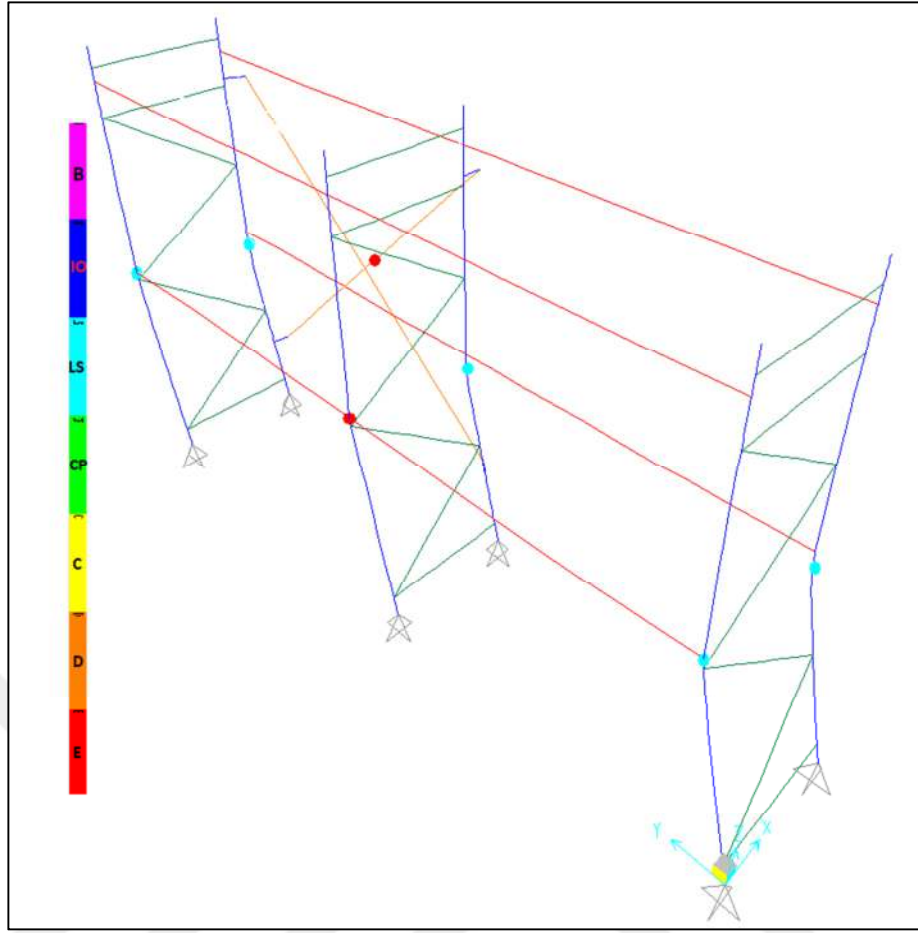


b) ÜST sağ deplasman grafiğı



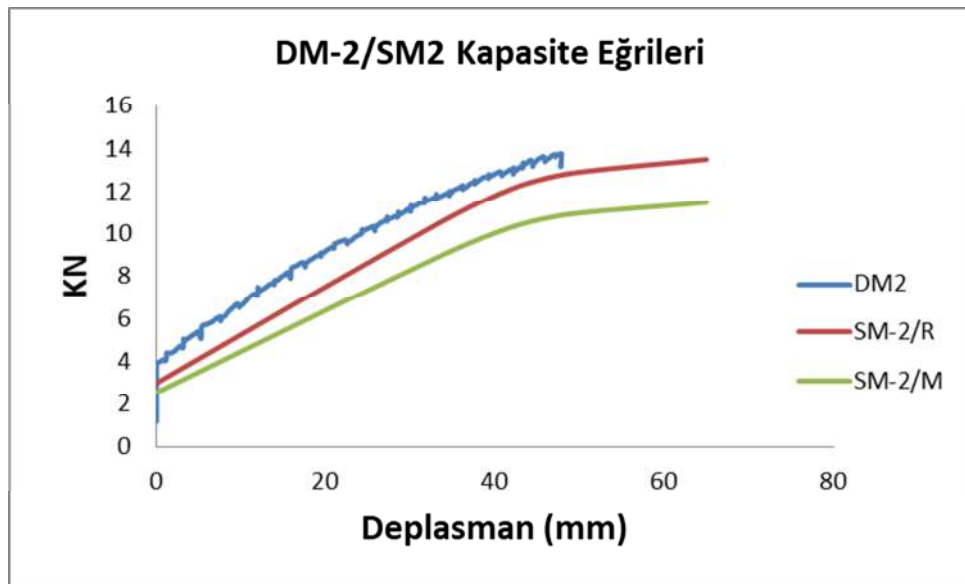
Şekil 4.10. Statik Gergili Model Kapasite grafikleri a) ÜST sol deplasman grafiği, b) ÜST sağ deplasman grafiği, c) ALT sol deplasman grafiği, d) ALT sağ deplasman grafiği

DM2 nolu numunenin sonuçlarının kontrolü ve değerlendirilmesi için SM2 R ve M modelleri oluşturulmuştur. SM2/R modeli performans analizi sonucunda elde edilen mekanizma durumu Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. SM-2 Mekanizma durumu genel görünümü

Şekil incelendiğinde Statik gerginin basınç yükü altında burkulma durumunun konnektörden önce meydana geldiğidir. Bu durum için elde edilen Kapasite eğrileri Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. DM2/SM2 Kapasite eğrileri karşılaştırması

DM2, SM2/R ve SM2/M için elde edilen kapasite eğrileri incelendiğinde Statik gerginin DM1'e göre sisteme %10 kazanım sağladığını ancak SM2/R ve SM2/M açısından durum değerlendirildiğinde DM1 ile paralel sonuçlar verdiği görülmektedir.

4.3. DM-3, SM-3/R ve SM-3/M Modellerinin Analizi ve Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamındaki son model olan DM3 nolu numune Deprem Çaprazlı model olarak tasarlanmıştır. Bu model diğerlerinden ayıran en büyük fark Burkulma rijitliği yüksek çapraz stabilite elemanları ve bu elemanların bağlantı şeklidir. Şekil 4.13.'de DM2 nolu numunenin deney öncesi durumu verilmiştir.



a) Sistem genel görünümü



b) Deprem çaprazı genel görünümü

Şekil 4.13. Deprem Çaprazlı model deney öncesi genel görünüm a) Sistem genel görünümü , b) Deprem çaprazı genel görünümü

Şekilde görüldüğü üzere “X” çapraz şekli ile modülün tek tarafına bağlantı sağlanmıştır. Statik Gergi sisteminde olduğu gibi modelde bağlantısı, Rijit Konnektörler ile sağlanmıştır. DM2’den en büyük farkı, stabilite çaprazları burkulma rijitliği yüksektir. Ayrıca çapraz/modül bağlantı ekipmanları da daha rijit kapasite değerlerine sahiptir.

Yapılan deneysel analizde DM1 ve DM2’ye göre kapasite ve rijitlikçe çok daha yüksek değerler elde edilmiştir. Kapasite ve Rijitlikteki bu kazanım kullanılan Çapraz eleman ve bağlantı ekipmanlarının boyutsal kazanımlarıdır. Bu kazanımlar, Kolon/Travers kazanımından yüksek olması sebebi ile deformasyonlar DM1 ve DM2’de olduğu gibi kolon üzerinde Travers konnektörü kaynaklı olmamıştır. Buna karşın meydana gelen deformasyonlar kolon üzerinde Çapraz/Kolon bağlantı konnektörü meydana gelmiştir. Şekil 4.14.’de meydana gelen deformasyon görülmektedir.



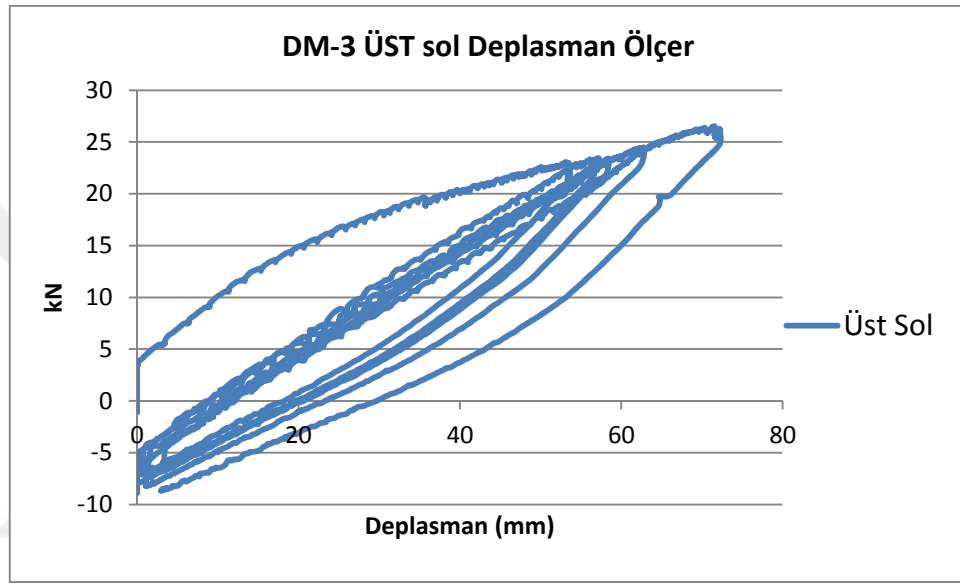
Şekil 4.14. Deprem Çaprazlı model deforme olmuş görünümü

Şekil incelendiğinde kolon DM2’de olduğu gibi Burulmaya zorlanmıştır. Bu modelde kullanılan bağlantı aparatının şekli itibari ile oluşan deformasyon kolonla birlikte bağlantı üzerinde yoğunlaştırılmıştır. DM3’de kullanılan bağlantı aparatının DM2’ye kolona daha stabil bağlanması durumu kolonun tekrarlı yükler altındaki deformasyon toplamalarına katkı sağlanmıştır. Bu şekli ile kalıcı deformasyon kolon üzerinde olmayıp bağlantı ekipmanı üzerinde yoğunlaşmıştır.

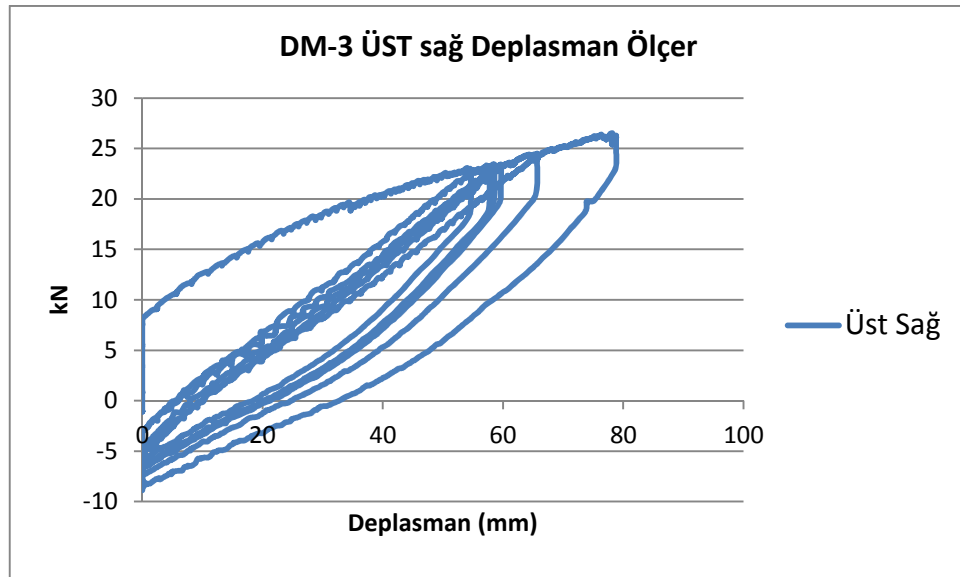
Ancak sisteme stabilite sağlaması için eklenen çapraz elemanlar bağlantı ekipmanlarındaki ve kolonlardaki ekipman kaynaklı deformasyonlardan dolayı istenen rijitlik sağlanamamıştır. Başka bir ifade ile bağlantı ekipmanlarındaki deformasyonlar çaprazlardan önce meydana gelmesinden dolayı, çapraz elemanlardan beklenen kazanım yeterince elde edilememiştir. Ancak uygulamada bu tipteki çapraz sistemleri sırt sırta montajı sağlanan modüller

(back to back) arasında kullanılacak olması bağlantı ekipmanına bağlı deformasyonu devre dışı bırakacaktır.

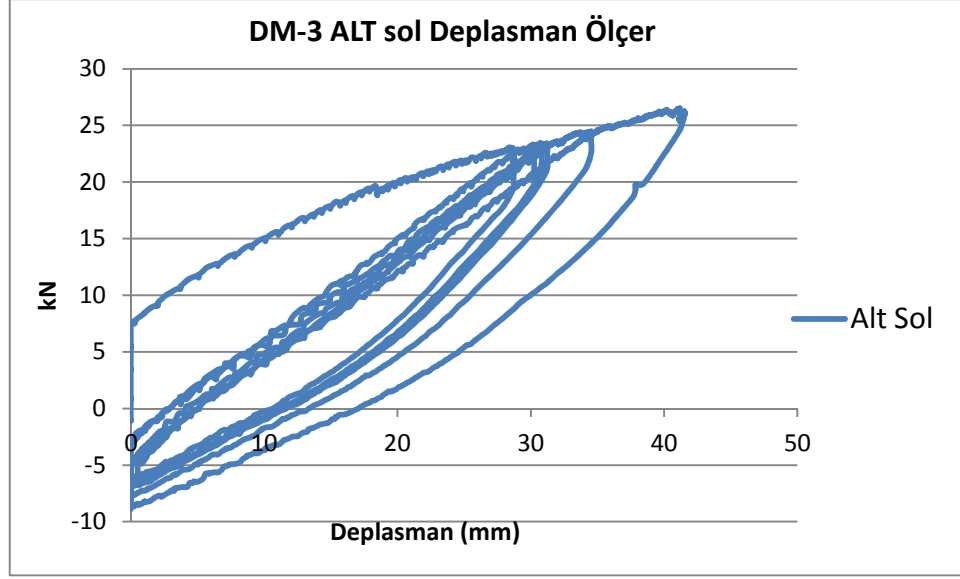
Deprem çaprazlı modülde etkiyen yükler altında meydana gelen deplasmanlar diğer deneysel analizlerde olduğu gibi birinci aksta birinci ve ikinci kata yerleştirilen deplasman ölçerler ile hesaplanmıştır. Elde edilen deplasmanlar şekil 4.15.'de verilmiştir.



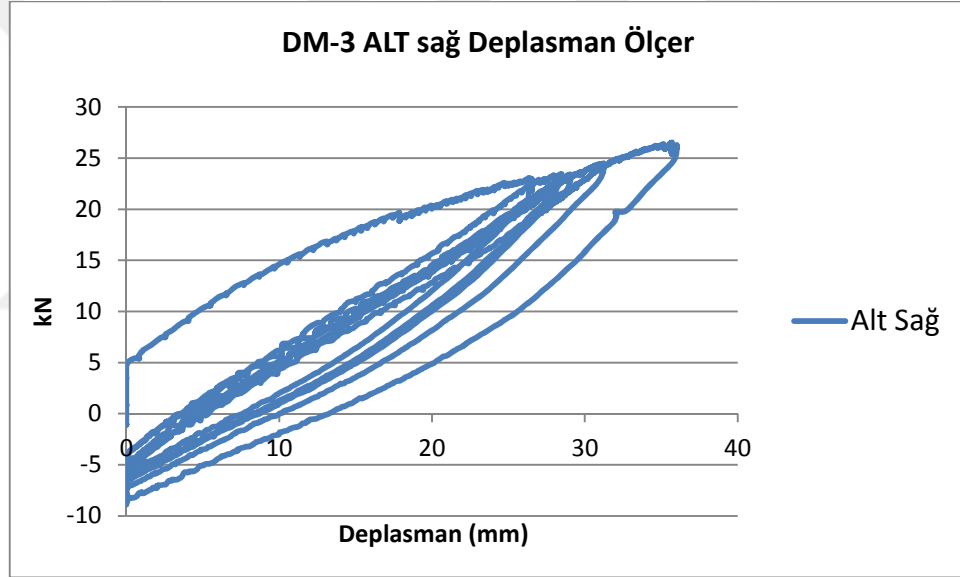
a) ÜST sol deplasman grafiği



b) ÜST sağ deplasman grafiği



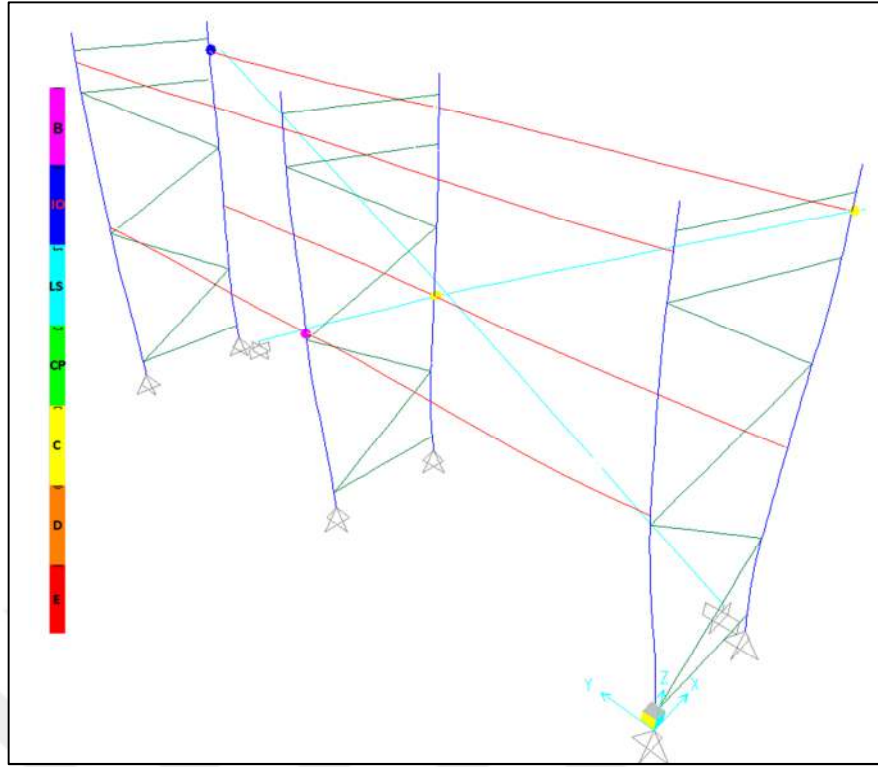
c) ALT sol deplasman grafiği



d) ALT sağ deplasman grafiği

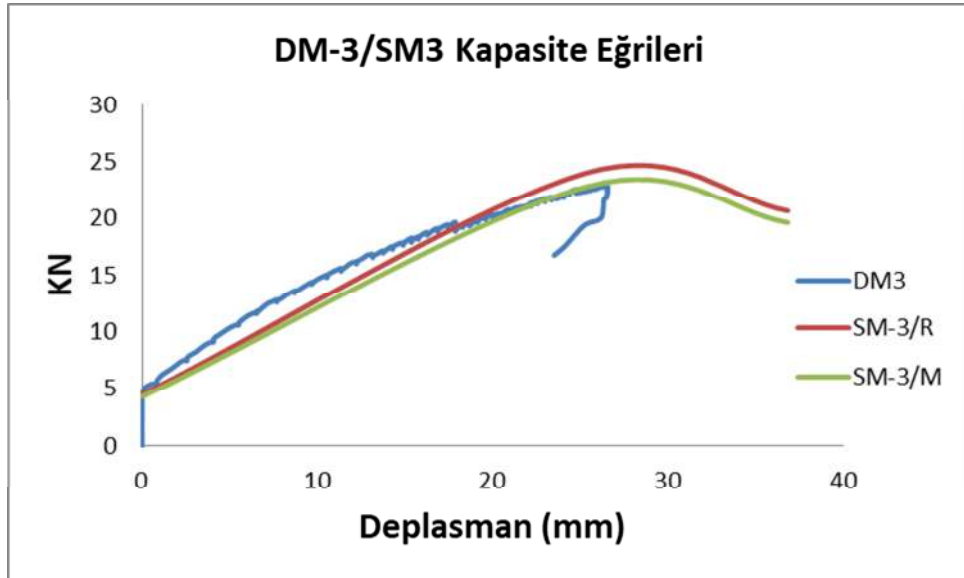
Şekil 4.15. Deprem Çaprazlı Model Kapasite grafikleri a) ÜST sol deplasman grafiği, b) ÜST sağ deplasman grafiği, c) ALT sol deplasman grafiği, d) ALT sağ deplasman grafiği

Deneysel analizdeki sonuçları doğrulamak için oluşturulan Sayısal Model SM3/R için elde edilen Mekanizma haline ait genel görünüm Şekil 4.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. SM-3 Mekanizma durumu genel görünümü

Şekil incelendiğinde deneysel analizde olduğu gibi deformasyonların çapraz bağlantı ekipmanlarında olduğu görülmektedir. Performans analizi kapasite sonuçları Şekil 4.17.'de deneysel analiz ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.17. DM3/SM3 Kapasite eğrileri karşılaştırması

Şekil 4.17.'de verilen kapasite eğrileri incelendiğinde bağlantı ekipmanlarının deformasyon üzerinde toplanmasına bağlı Kolon/Travers bağlantı kaynaklı

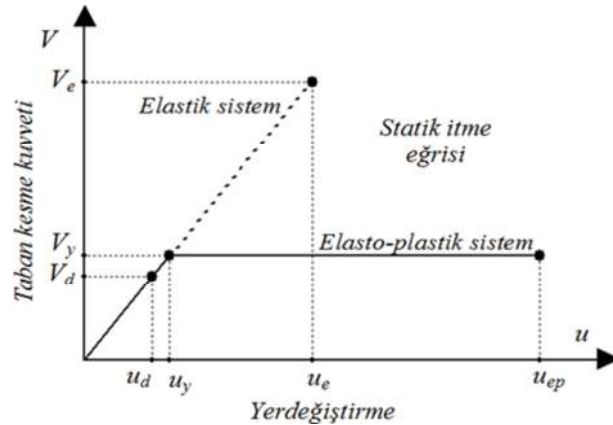
rijitlik kazanım ikinci planda kalmıştır. Çaprazdaki rijitlik artışı sistem deformasyonunu engellediği için kazanım Travers/Kolon kaynaklı olması çapraz kaynaklı meydana gelmiştir.

4.4. Raf Tipi Sistemleri Deprem Yüğü Azaltma Katsayısının Belirlenmesi

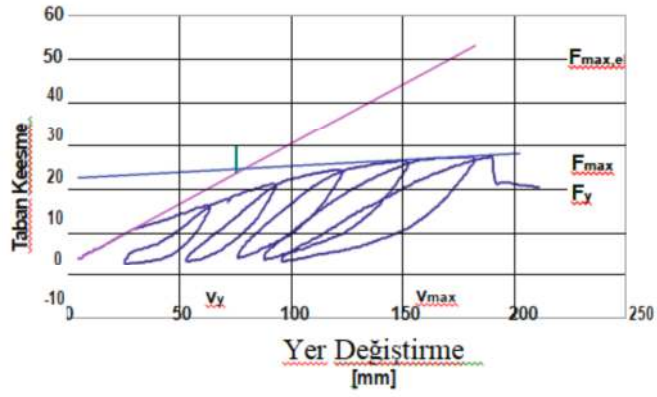
4.4.1. Yapı Davranış Katsayısı

Yapı sistemlerinde yapı elemanlarının malzeme özellikleri, kesit özellikleri, birleşim özellikleri ve sistem geometrisinin bir sonucu olarak bir performans değeri ve bu değeri ulaşıncaya kadar sergilediği bir kapasite dağılımı mevcuttur. Elde edilen bu kapasite dağılımına göre yapının süneklik seviyesi ve yapı davranışı ortaya konur. Yapı davranışının bir sonucu olarak, yapı sisteminin dinamik yükler ile olan etkileşimi belirlenmektedir. Bu etkileşimin yapıya etkileyen dinamik yükün hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu durum ilgili yönetmelik ve literatürde Deprem yükü azaltma katsayısı olarak karşılık bulmaktadır.

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı Üzerine Bir İnceleme (2015), Deprem Yüğü Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemlerde yapı kapasite eğrisi üzerinde elastik ötesi davranış göz önüne alındığında, taban kesme kuvvetinin Elastik Deprem Yüğü V_e 'ye erişmediği ve V_y değerini aşmadığı kabul edilir Şekil 4.18 ve 4.19'da bu durum ifade edilmiştir. Bu iki kuvvet arasındaki oran Dayanım Azaltma Katsayısı R_y olarak tanımlanır ve taşıyıcı sistemin sünekliği ile doğrudan ilgilidir.



Şekil 4.18 Elastik sistemde basitleştirilmiş statik itme eğrisi (Celep,2014)



Şekil 4.19 Kapasite eğrisi performans dağılım grafiği

$$R_y = \frac{V_e}{V_v} = \frac{U_e}{U_v} \quad (1)$$

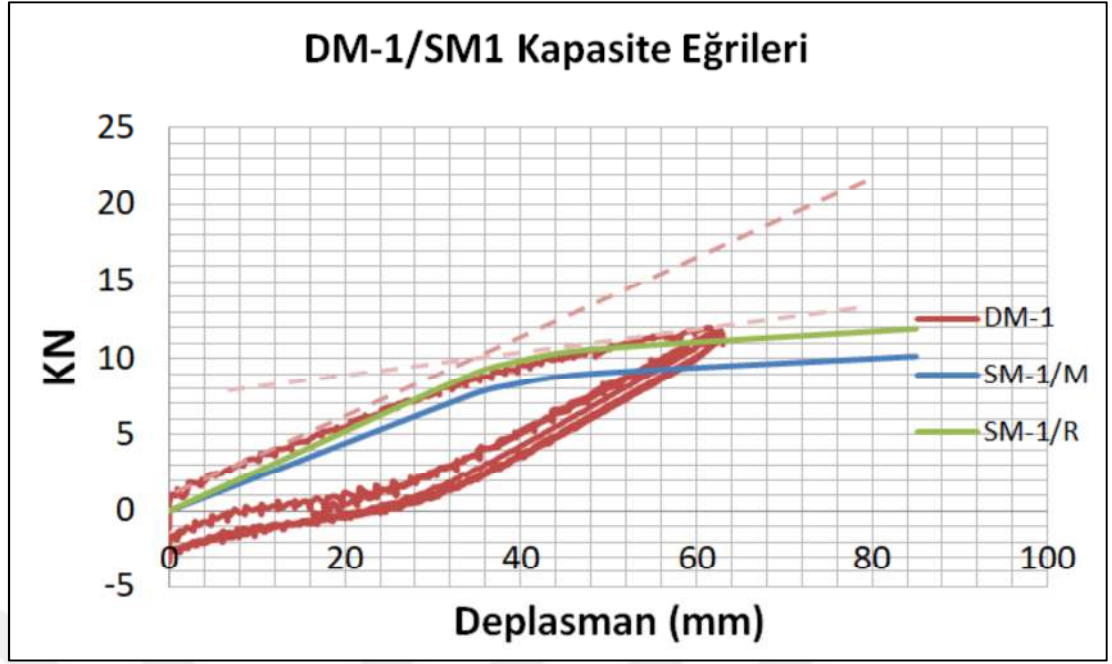
Burada R_y dayanım azaltma katsayısını V_e elastik deprem yükünü, V_y elastik ötesi davranış gösteren sistemin kesme kuvveti taşıma kapasitesini, U_e elastik sistemin ötelenmesi, uy elastik ötesi davranışın başlangıç (akma) ötelenmesini göstermektedir. Yapı sistemine ait kapasite eğrisinden yararlanarak elasto-plastik sistemin yer değiştirme sünekliği (μ) Denklem 2’de verildiği gibi elde edilebilir.

$$U = \frac{U_{ep}}{U_v} \quad (2)$$

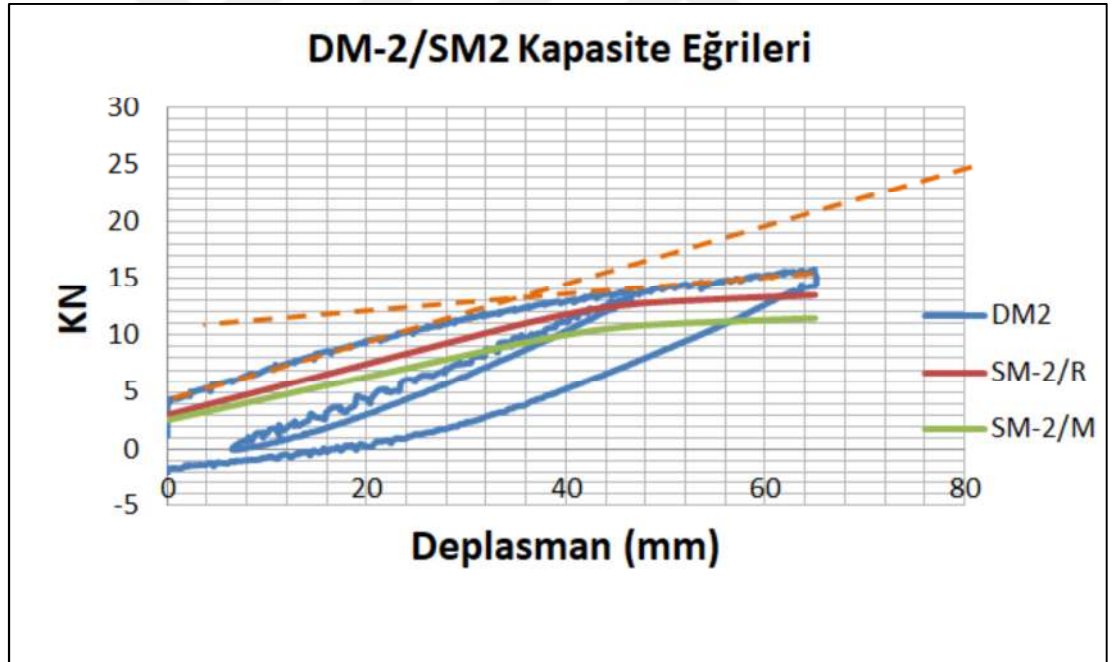
Taşıyıcı sistemin tasarım yatay yük kapasitesi V_d olarak gösterilirse dayanım fazlalığı Katsayısı denklem 3’te verildiği gibi tanımlanabilir.

$$D = \frac{V_y}{V_d} \quad (3)$$

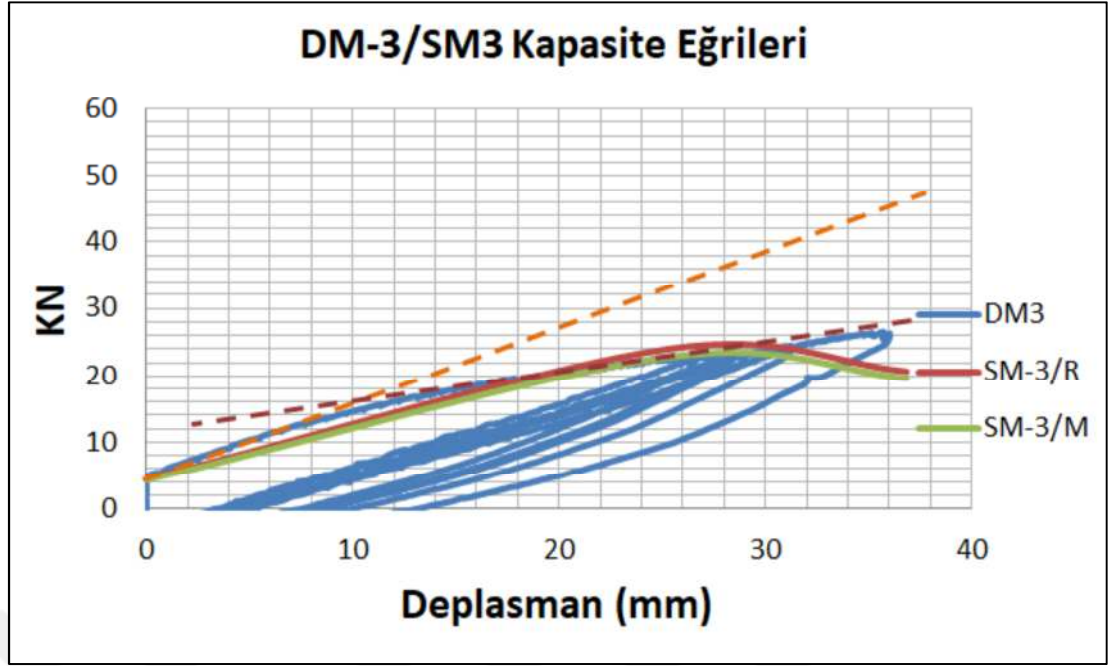
Denklemde tanımlanan değerler bu çalışmada kullanılan modeller için değerlendirildiğinde Şekil 4.20’de tüm modeller için elde edilen sınır durumlar tanımlanmıştır.



a) Modül 1 Kapasite Eğrisi



b) Modül 2 Kapasite Eğrisi



c) Modül 3 Kapasite Eğrisi

Şekil 4.20. Çalışmada kullanılan tüm modellerin kapasite karşılaştırmaları a) Modül 1 Kapasite Eğrisi, b) Modül 2 Kapasite Eğrisi, c) Modül 3 Kapasite Eğrisi

Şekil 4.20’de tanımlanan grafikler üzerinde V_e ve V_y değerleri belirlenmiştir. Bu değerler üzerinden R deprem yükü azaltma katsayısı hesaplandığında şu veriler elde edilmiştir.

- $M1 = \frac{V_e}{V_y} = \frac{17}{10} = 1,7$ “R” katsayısı M1 nolu modül için
- $M2 = \frac{V_e}{V_y} = \frac{21}{13} = 1,63$ “R” katsayısı M2 nolu modül için
- $M3 = \frac{V_e}{V_y} = \frac{43}{18} = 2,38$ “R” katsayısı M3 nolu modül için

Elde edilen değerler değerlendirildiğinde Raf tipi modül sistemlerin malzeme, kesit ve geometri özellikleri gibi özelliklerinin yanı sıra en önemlisi birleşimlerinin sistem rijitliği ve sünekliğine sağladığı katkı ortaya çıkmaktadır. Literatürde ve bu tipteki yapıların analizinde kullanılan şartnamelerde göre bu yapılar için öngörülen “R” katsayısı 1-1,5 aralığında tanımlanmıştır. Ancak analizlerde elde edilen veriler göstermiştir ki bu tipteki yapılarda “R” değeri 1,5 dan daha büyük sonuçlar vermiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde çalışmasında ülkemizde ve dünyada oldukça yaygın olarak kullanılan yapılan ağır yük raf sistemlerinin performans özellikleri incelenmiştir. Çalışmaya konu olan bu tipteki sistemler depolama yapılacak bölgenin; lokal yük değerleri (kar, rüzgar vs.), sismik verileri ve mekanik yük değerleri göz önünde bulundurularak raf sistemleri çaprazlı veya çaprazsız olarak tasarlanabilmektedir. Çaprazlı sistemlerde kendi aralarında statik gergili ve deprem çaprazlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çaprazsız modelde sistem koridor doğrultusunda kolon/kiriş rijitlikleri ile stabilitesi sağlanmaktadır. Tabi ki bu durum deprem ivmelerinin yüksek olduğu bölgelerde yetersiz kaldığından sistem çapraz elemanları ile statik gergili veya deprem çaprazlı sistem olarak yerini alması gerekmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında çaprazız modül, statik gergili ve deprem çaprazlı modüllerin statik artımsal etkiyen yük altında performans sevipleri belirlenmiştir.

Bu kapsamda aynı boyutsal parametrelere sahip modeli 3 farklı şekilde ele alınmıştır. Bu üç modelde düşeyde sabit yüklü durumdayken yatayda kat seviyelerinden artımsal olarak itilmiştir. Bir piston kullanılarak gerçekleştirilen itme her iki katın sağ ve sol düğüm noktalarına denk gelecek şekilde aparat kullanılıp yükleme dağıtılarak gerçekleştirilmiştir.

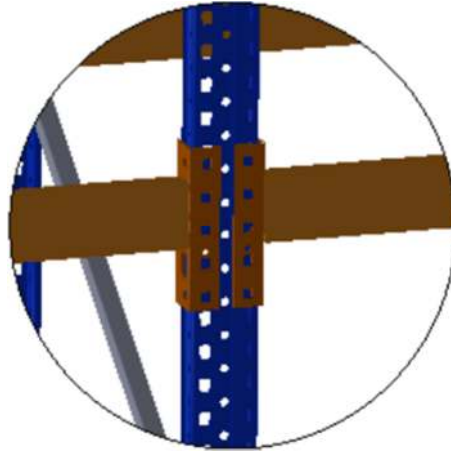
Yapılan analizlerde, sistem geometrisi ve birleşim koşullarının sistem performansı üzerindeki sonuçları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda yapılan ilk deneyde DM1 stabilite çaprazız durum değerlendirilmiştir. Yapılan statik itme analizinde kolon/temel bağlantılarının statik kabule uygun davranarak sabit mesnet koşullarını sağladığı görülmüştür. Ancak sistem birinci ve ikinci katında, kolon/travers bağlantılarının, travers konektörünün etkisi ile rijit bir davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle sistem orta aks kolonlarında kolonların "S" şeklini aldığı gözlenmiştir. Burada kazanılan bu durumun travers (kirişler) ve kolon bağlantı teşkilinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Travers/Kolon Bağlantı aparatının (konnektör) kullanılan kirişten yaklaşık 2.5 kat daha büyük alanda kolon ile bağlantı sağlıyor olması kolonlardaki sınır koşulların değişmesine sebep olmaktadır. Bu değişim direkt olarak sistem rijitliğini ve sünekliliği üzerine pozitif katkı sağladığı görülmüştür.

Çalışma ikinci model olan M2 nolu Statik gergili numunede birinci deney olan M1 çaprazız sisteme göre bir miktar daha kapasite ve rijitlik artışı tespit edilmiştir. Bu tipdeki sistemlerde kullanılan Statik gergi "X" çaprazlarının sadece çekmeye göre tasarlanmış olması; Yapılan test sonucu basınç kuvvetine maruz kalan statik gergi elemanı ilk önce burkulmasına bunu takiben kolonlarda deformasyon oluşmuştur. Bu sistemdeki statik gergi/kolon bağlantı elemanı deformasyonu sonucu ayaklarda burulma meydana gelmiş bu burulma, stabilite çaprazının çekmeden önce burkulma şeklinde deformasyonunu kolaylaştırmasına sebep olmuştur. Soğukta şekil verilmiş olan ve genellikle "et" kalınlıkları $t < 3\text{mm}$ den küçük üretilen ayak elemanları sahip oldukları kesit özellikleri gereği eğilmeli burulmalı burkulmaya yatkındırlar. Bu sistemde de çapraz bağlantı konsollarının burkulması sistem ayaklarının deformasyon yapmasına sebep olup sistem de ikinci kapasite kaybına uğrayan bölgeyi oluşturmuşlardır. Bu sistem için büyük ölçüdeki rijitlik kazanımı çaprazsız sistemde olduğu gibi travers-ayak birleşim rijitliğinden kazanılmıştır. Stabilite çaprazı ve bağlantı konsolundan elde edilen rijitlik miktarı yaklaşık %15 civarında olduğu görülmüştür. Yükleme başladığında ilk burkulmanın çaprazda gerçekleşmesine kadar sistem yük altında deforme olmadan bir miktar yüklenmiştir. Çapraz elemanın burkulmasından sonra sistem deformasyon almaya başlamış olup akabinde kolon-kiriş rijitlikleri ile deformasyon devam etmiştir.

Çalışmada son numune olan M3 Deprem çaprazlı modelde kullanılan çapraz elemanlar, burkulma kapasiteleri yüksek elemanlardan seçilmiştir. Bu elemanlar back to back sistem olarak tanımlanan 2 modül içerisinde "X" şeklinde merkezi çaprazlı olarak tasarlanmıştır. Ancak bu çalışmada bu çalışmada çaprazlar elemanlar tek modül için kullanılmıştır. Bu kapsamda çapraz eleman temel bağlantısı yeter rijitlikte olur iken, çapraz eleman, kolon bağlantısı konsol olarak çalışmaktadır. Yapılan analizde Sistem diğer iki sisteme göre daha fazla kapasiteye ve rijitliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Kapasite ve rijitlik artışlarındaki bu kazanımlar kolon-kiriş bağlantılarından daha yüksek olan çaprazlar ve bağlantı konsollarındandır. Bu sebeple diğer iki modelde meydana gelen deformasyonlar travers-kolon noktasından olmasına rağmen bu

modelde çapraz konsolunda meydana gelmiştir. Bu durum, kullanılan çapraz elemanların sahip olduğu kesit özelliklerini sistem rijitliğine dahil ettiğini göstermektedir. Ancak İki modül arasında merkezi olarak çalışması planlanan bağlantı konsollarının, bu sistemde tek modül için kullanılması tüm deformasyonun bu bağlantılarda yoğunlaşmasına sebep olmuş, beklenen kapasitenin altında kalınmıştır. Eğer tasarımına uygun şekilde back to back 2 modül arasında kullanıldığı zaman, deformasyon, bağlantı konsolunda gerçekleşmeyecek ve sistem çapraz elemanlardan kazandığı rijitliği kullanabilecektir.

Çalışmada yapılan tüm deneysel numuneler SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Oluşturulan sayısal modeller de deneysel numuneler gibi yatay olarak etkiyen ve statik artımsal olarak uygulanan yükleme altında analiz edilmiştir. Bu kapsamda deneysel modeli temsilen iki tip sayısal model oluşturulmuştur. Modellerin oluşturulmasında, birleşim rijitliklikleri ön plana çıkmıştır. SM /M olarak isimlendirilen sayısal modellerde, kolon/travers bağlantısı direkt olarak yapılmıştır. SM /R olarak isimlendirilen modellerde ise Travers bağlantı konnektörünün kolon üzerinde ki bağlantı aralığı dikkate alınmıştır. şekil 5.1’de bu durum ifade edilmiştir.



şekil 5.1. Travers konnektörü bağlantı detayı

şekilde gösterilen konnektör kolon üzerinde 250mm lik bir alanda kolona sabitlenmiştir. SM /R nolu modellerde bu alan sayısal modele tanımlanmış ve bu kısım programda %80 oranında rijit kabul yapılmıştır. SM /M nolu modelde ise kolona 125mm derinlikte bağlanan travers ataleti üzerinden hesaplar yapılmıştır. Yapılan analizlerde Konnektör tarafından sisteme kazandırılan

rijitliğin dikkate alındığı SM /R modelleri, deneysel analizler ile benzer sonuçlar vermiştir. Bu kapsamda birleşimlerin bağlantıların şekli oranınca, bir rijitlik kazanımına sahip olduğu açıkça hesaplanmıştır. Bu durumun dikkate alındığı performans analizlerinde, yapı sünekliliğinde bu rijitlik kazanımının çok büyük etken olduğu tespit edilmiştir.

Birleşim elemanlarının Rijitlikteki kazanıma olan katkısı modül kapasite eğrisi ve sünekliliği açısından değerlendirmelerinde; bu tipteki yapılarda literatürde tanımlanan Deprem Yüğü azaltma katsayısı “R” değerinin 1,5’den büyük olabileceği görülmüştür. Çalışma kapsamındaki modüller için hesaplanan R değerlerin $M1=1.7$, $M2=1.63$ ve $M3=2.38$ olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak ağır raf tipi sistemler kullanılarak dizayn edilen bir yapının performans analizlerinin değerlendirilmesinde, bağlantı noktalarının sistem rijitliğine bir katkısının olduğu açıkça görülmüştür. Bu sebeple bu tipteki yapılarda bağlantı noktalarının sistem üzerindeki sınır koşulları muhakkak dikkate alınması gerektiği görülmüştür. Bağlantı rijitliklerinin dikkate alınarak elde edilen kapasite eğrileri için hesaplanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları dikkate alındığında taşıyıcı sisteme gelen deprem yükleri için %40’a varan düşüşler alınabileceği elde edilen verilere göre hesaplanmıştır. Bu şekli ile dizayn edilen bir sistemde büyük ekonomik kazanımlar elde edileceği çok açık bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- A.M.S., Freitas, M.S.R., Freitas, F.T., Souza, 2005. Analysis of steel storage rack columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 61, 1135-1146.
- André, F., Peter, S.H., Assawin, W., 2006. Experimental Stiffness and Seismic Response of Pallet-Type Steel Storage Rack Connectors Practice Periodical on Structural Design and Construction, 161-170.
- Benoit, P., Gilbert, Kim, J.R., Rasmussen, 2012. Drive-In Steel Storage Racks I: Stiffness Tests and 3D Load-Transfer Mechanisms, American Society of Civil Engineers, *Journal of Structural Engineering*, 135-147.
- C.A., Castiglioni, A., Kanyılmaz, G., Brambilla, G.P., Chiarelli, 2015. Sismik Bölgelerde Paletli Depolama Çelik Raf Sistemleri: Tam Ölçekli İtme Testleri ve Nümerik Simülasyonlar, 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, 481-496.
- C.A., Castiglioni, 2015. Seismic Behavior of Steel Storage Pallet Racking Systems, 326-327.
- F., Demir, H., Dilmaç, H., Tekeli, K., Güler, 2015. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı Üzerine Bir İnceleme, 1066-1070.
- K.M., Bajoria, R.S., Talikoti, 2006. Determination of flexibility of beam-to-column connectors used in thin walled cold-formed steel pallet racking systems, 372-380.
- M., Abdel-Jaber, R.G., Bealeb, M.H.R., Godley, 2006. A theoretical and experimental investigation of pallet rack structures under sway, *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 68-80.
- Lip, H.T., Gregory, J., Hancock, Murray, J., Clarke, 2004. Analysis and Design of Double-Sided High-Rise Steel Pallet Rack Frames, *Journal Of Structural Engineering*, 1011-1021.
- P., Prabha, V., Marimuthu, M., Saravanan, S.A., Jayachandran, 2010. Evaluation of connection flexibility in cold formed steel racks, *Journal of Constructional Steel Research*, 863-872.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İbrahim YILDIZ
Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 1982
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ibrahimyildiz25@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Habire YAHŞİ Süper Lisesi
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Mesleki Deneyim

Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümünden 2004 yılında mezun oldum. Sonrasında betonarme ve çelik yapılar üzerine hem proje hem sahada olmak üzere iş hayatına başladım. 2009 yılında Uzay Kafes ve Çelik Konst. projelerin yürütülmesinde özel sektörde proje müdürlüğü yaptım. Bu süre zarfında yurt içinde ve yurt dışında bir çok nitelikli büyük projelerde çalışma fırsatı buldum. 2013 yılında Temesist firmasında göreve başladım. Evliyim ve üç oğlum var.