



**BİNEK ARAÇLARDA BAGAJ MENTEŞESİ TASARIMI
VE OPTİMİZASYONU**

Onur EROL



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNEK ARAÇLARDA BAGAJ MENTEŞESİ TASARIMI VE
OPTİMİZASYONU**

Onur EROL

Doç. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

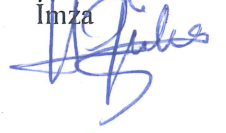
TEZ ONAYI

Onur EROL tarafından hazırlanan "BİNEK ARAÇLARDA BAGAJ MENTEŞESİ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL

Başkan : Doç. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Müh. ABD

İmza



Üye : Doç. Dr. Rukiye ERTAN
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Müh. ABD

İmza



Üye : Doç. Dr. Onur SARAY
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. ABD

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Akşel EREN
Enstitü Müdürü

13/05/2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

09/05/2019

Onur EROL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİNEK ARAÇLARDA BAGAJ MENTEŞESİ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Onur EROL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL

Günümüz otomotiv endüstrisinde, üreticiler arasında artan rekabet ile birlikte ucuz, hafif ve güvenilir ürün tasarımlarının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu rekabet ortamında sonlu elemanlar analizi düşük maliyetli ve hızlı doğrulama avantajları ile önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, otomobil bagaj menteşesinin simülasyon sonuçlarına etki eden parametreleri ve bu parametrelerin deneysel test bulgularına en yakın simülasyon sonuçlarını belirlemek için; kontaklardaki sürtünme katsayısı, burç malzemesi ve geometrik farklılık parametreleri UNECE R11 şartnamesinde belirtilen X, Y ve Z yönlerindeki yüklemeler için simülasyonlar ve deneysel testler ile incelenmiştir.

Sonuç olarak, her bir yön için karşılaştırılan simülasyonlar ve deneysel testlerin eğrileri incelenmiş ve bagaj menteşesi deneysel testleri ile uyumlu ortak olarak kullanılacak parametre olarak kontaklar arasında X yönü için 0,1 sürtünme katsayısı, F-0000-10 burç malzemesi ve üretim hatalarını en iyi şekilde temsil eden geometrik data, Y ve Z yönleri için 0,2 sürtünme katsayısı ile F-0000-10 burç malzemesi ve üretim hataları yansıtılmış geometrik data olarak saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bagaj menteşesi, sonlu elemanlar yöntemi, korelasyon, UNECE R11 testi, optimizasyon
2019, viii + 75 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

TRUNK HINGE DESIGN AND OPTIMIZATION AT COMMERCIAL VEHICLES

Onur EROL

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL

Today's automotive industry, the importance of cost-effective, lightweight ve reliable have been getting popular among manufacturer. In this competitive environment, The finite element analysis plays an important role due to its advantages like fast and cheap verification of the design.

In this study, Friction coefficient, bush material, and geometrical imperfections have chosen as simulation parameters and these were investigated according to UNECE R11 regulation force directions. After simulations' results were compared with experimental tests' results to determine optimum parameters of the simulation.

As a result of the comparison between trunk hinge's tests and simulations, 0,1 friction coefficient, F-0000-10 bush material and geometrical data with imperfections were determined as optimum parameters for loadings at X direction. For Y and Z directions, 0,2 friction coefficient, F-0000-10 bush material, and geometrical imperfection were inspected as an optimum parameter.

Key words: Trunk hinge, finite element methods, correlation, UNECE R11 tests, optimization

2019, viii + 75 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında makale ve tezimde ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan sayın hocam Doç.Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL'e teşekkür ederim.

Çalışmamda benden teknik desteğini esirgemeyen şefim N. Bener ALADAĞLI'ya ve şirketim Akwel Otomotiv ailesine teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca benden desteğini esirgemeyen arkadaşım Merve ÜNÜR'e teşekkür ederim.

Çalışmam süresince bilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşım Orhan DEDEOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışmaya katkıda bulunup bana her zaman destek olan arkadaşlarım M.Ali KOKSAL ve Büşra KOKSAL'a teşekkür ederim.

Çalışmamın destek olup yardımcı olan arkadaşım Baki LALEOĞLUN'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük katkısı olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Onur EROL
09/05/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Otomotiv Araç Mentesheleri.....	3
2.2. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu Şartname Numara: 11.....	11
2.2.1. Şartname Amaç ve Kapsamı.....	11
2.2.2. Şartname Prosedürü ve Kabul Kriteri.....	12
2.2.3. Test Aparatları.....	13
2.3. Sonlu Elemanlar.....	14
2.3.1. Tarihçesi.....	15
2.3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	18
2.3.3. Eleman Şekilleri.....	18
2.3.4. Sonlu Eleman Çözüm Metodolojisi.....	19
2.3.5. Ağ Üretimi.....	22
2.3.6. Yük Uygulama.....	25
2.3.7. Sınır Şartları.....	27
2.4. Kaynak Araştırması.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1. Sahte Model Tasarımı ve Üretimi.....	35
3.2. Malzeme Datası.....	38
3.3. Sonlu Elemanlar Modeli (SEM).....	44
3.3.1. Simülasyon Parametreleri.....	44
3.3.2. Geometrik Farklılık.....	45
3.3.3. Sürtünme Katsayısı.....	50
3.3.4. Burç Malzemesi Etkisi.....	50
3.3.5. Ağ Yapısı.....	51
3.3.6. Kontak Tanımlaması.....	52
3.3.7. Sınır Şartları.....	54
3.4. Deneysel Testler.....	57
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	60
4.1. Deneysel Testler.....	60
4.2. Sonlu Eleman Analizleri.....	61
4.2.1. X Yönü.....	61
4.2.2. Y Yönü.....	64
4.2.3. Z Yönü.....	67
5. SONUÇ.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

E	Elastisite modülü
F	Uygulanan kuvvet
σ	Gerilme
ε	Gerinme
K	Yay sabiti
X	Deplasman(yer değiştirme)

Kısaltmalar

Açıklama

BDT	Bilgisayar destekli tasarım
M1	Yolcu taşımak için kullanılan sürücü dahil 9 kişilik araçlar
N1	Yük taşımak için kullanılan en fazla 3.5 ton taşıyan araçlar
SEA	Sonlu elemanlar analizi
SD	Serbestlik derecesi
S-tem	Sınır temsili
SEY	Sonlu elemanlar yöntemi
UNECE R11	Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu Şartname No:11
YKG	Yardımcı katı geometri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Taşıt Kaput Menteşesi	3
Şekil 2.2. İki kol ön kaput menteşesi	4
Şekil 2.3. Dört kol menkanizmalı ön kaput menteşesi.....	4
Şekil 2.4. Hatchback araçlarda kullanılan iki kollu bagaj kapağı menteşesi	5
Şekil 2.5. Sedan araçlarda kullanılan kuğu boynu bagaj menteşesi.....	6
Şekil 2.6. Sedan araçlarda kullanılan dört kol bagaj kapağı menteşesi	6
Şekil 2.7. Otomatik bagaj kapağı menteşe sistemi.....	7
Şekil 2.8. Burulma çubuklu kuğu boynu bagaj kapağı menteşesi	9
Şekil 2.9. Çekme yaylı kuğu boynu bagaj kapağı menteşesi	10
Şekil 2.10. Çekme yaylı ve gazlı yay takviyeli kuğu boynu bagaj kapağı menteşesi.....	10
Şekil 2.11. UNECE R11 test yönleri ve araç eksenine göre konumları.....	12
Şekil 2.12. UNECE R11 şartnamesine göre tekil menteşe ve menteşe sistemi testleri .	13
Şekil 2.13. Krank milinin ağ yapısı ve stress değerleri.....	14
Şekil 2.14. Sonlu elemanlar eleman tipleri (a: 1-boyutlu çizgisel eleman, b: 2-boyutlu çizgisel eleman, c: 3-boyutlu katı eleman).....	19
Şekil 2.15. Seri bağlı çift yaylı basit sistem	20
Şekil 2.16. Malzemeler için gerilme-gerinim şekli.....	21
Şekil 2.17. Çekme numunesinin sonlu elemanlar prensibinde gösterimi	22
Şekil 2.18. İnce plaka modeli ağ yapısı ve sonuçları (a).....	25
Şekil 3.1. Sahte model; (a) hareketli kanat Ölçüleri, (b) sabit kanat ölçüleri, (c) eksen pimi ölçüleri ve (d) burç parçası ölçüleri	36
Şekil 3.2. Sahte menteşe parçalarının prototip adımları (A: Sabit Yaprak Bükme Adımı, B: Hareketli Yaprak İlk Büküm Operasyonu, C: Hareketli Yaprak Son Büküm Operasyonu)	38
Şekil 3.3. Sahte menteşe malzeme atamaları	39
Şekil 3.4. ASTM E8/E8M çekme testi şartnamesine göre numune tipleri ve boyutları (ASTM E8/E8M şartnamesinden değiştirilerek alınmıştır)	40
Şekil 3.5. (a) S355MC Gerçek çekme gerilme-uzama eğrisi, (b) 20MnB4 gerçek çekme gerilme-uzama eğrisi (Turna 2008'den değiştirilerek alınmıştır) ve (c) F-0000-10 gerçek çekme gerilme eğrisi(MPIF 35-SP standardından değiştirilerek alınmıştır).....	43
Şekil 3.6. Sahte menteşenin 3D tarama görüntüleri ve nominal data ile karşılaştırılması (a) alttan görünüş, (b) üstten görünüş, (c) sağdan görünüş ve (d) soldan görünüş.....	46
Şekil 3.7. Cıvata ön yükü altındaki sahte menteşenin boşluk ölçümleri.....	49
Şekil 3.8. Sonlu eleman modellerinde sürtünme parametresinin incelendiği kontak tanımları	50
Şekil 3.9. Sonlu elemanlar modelinde atanan ağ yapısı tipi ve boyutu.....	52
Şekil 3.10. Sonlu elemanlar modelinde atanan kontak ilişkileri ve tipleri	54
Şekil 3.11. Sonlu elemanlar modelinde atanan sınır şartları (a) x yönünde yükleme, (b) y yönünde yükleme ve (c) z yönünde yükleme.....	56
Şekil 3.12. UNECE R11 test konfigürasyonu (A: Test Ekipmanları, B: Sahte Menteşenin Ekipmanlar ile Görünüşü)	58
Şekil 3.13. Çekme makinesi konfigürasyonu (A: Çekme Makinesi, B: Yük Hücresi)...	59

Şekil 4.1. UNECE R11 yükleme yönlerine için deneysel test kuvvet-deplasman eğrileri	61
Şekil 4.2. X yönü faz-1 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması	62
Şekil 4.3. X yönü faz-2 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması	63
Şekil 4.4. Y yönü faz-1 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması	65
Şekil 4.5. Y yönü faz-2 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması	66
Şekil 4.6. Z yönü faz-1 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması	68
Şekil 4.7. Z yönü faz-2 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması	69



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri	41
Çizelge 3.2. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	42
Çizelge 4.1. X yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun hata değerleri.....	64
Çizelge 4.2. Y yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun hata değerleri.....	67
Çizelge 4.3. Z yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun hata değerleri	70



1. GİRİŞ

Günümüz otomotiv endüstrisinde doğru, hafif, güvenilir ürün tasarımı en önemli hedeflerdendir. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) düşük prototip bedelleri ve kısa doğrulama süreleri ile önemli bir tasarım aracıdır. Ancak, Sonlu Elemanlar Yönteminin yapabilecekleri temelde Sonlu Elemanlar Modeli ile modellenen test arasındaki kolerasyona dayanır. Bu sebepten dolayı araştırmacılar bir çok ürün üzerinde doğrulama ve korelasyon çalışmalarını endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile yapmışlardır (Erol ve Güler 2019).

Araç menteşeleri, kapı ile araç gövdesi arasında bağlantıyı sağlayan önemli bir komponenttir. Menteşeler, ana işlevi olan kapının açılıp kapanmasını sağlayarak yolcuların aracın içine yönlendirmesine ek olarak yolcuların güvenliğini sağlamak için kullanılırlar. (Erol ve Güler 2019)

Menteşelerin bu ek yolcu güvenliği sağlama, araç üreticilerini ve devletleri araçlar piyasaya çıkmadan önce çeşitli testler ile menteşeleri deneme yoluna itmiştir. Bu testlerden biri olan UNECE şartname 11, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu tarafından Avrupa pazarında satılacak bütün araçların menteşeleri için bir minimum dayanım beklentisini belirlemek ve bu beklentileri araç üreticilerinden talep etmek için oluşturulmuş bir şartnamedir (Erol ve Güler 2019).

Literatürde, araç kapı açma sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi üzerine çeşitli çalışmalar paylaşılmıştır. Ancak simülasyon parametrelerinin simülasyondan elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrilerine olan etkilerinin literatürdeki çalışmalarda incelenmediği tespit edilmiştir (Erol ve Güler 2019). Bu çalışmada; temas sürtünme katsayısı, üretim ile geometrik data arasındaki farklılıklar, burç malzemesinin tanımlanması parametrelerinin simülasyon ile deneysel testlerin korelasyonunu sağlamak amacı ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmiştir. Bu incelemeler UNECE R11 şartnamesinin araç eksenine göre belirttiği X, Y, Z yönleri için yapılmıştır.

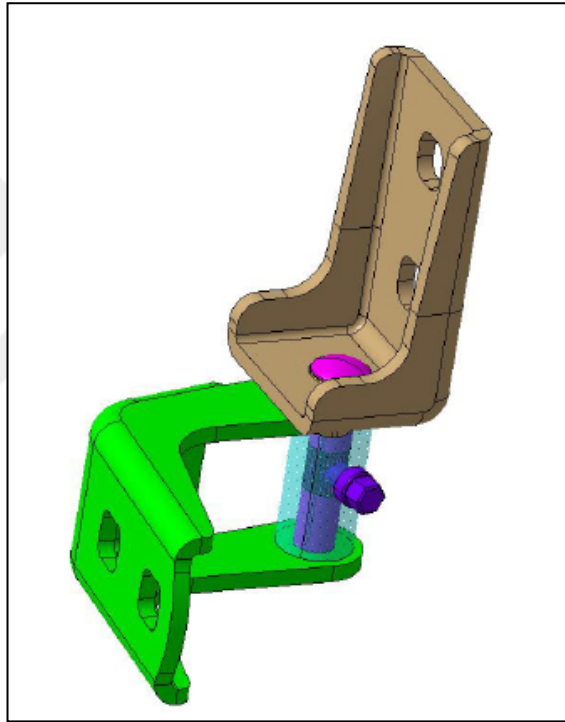
Çalışmanın amacı, otomotiv endüstrisinde çalışan mühendislere kendi sonlu elemanlar modellerinden hızlı korelasyon sağlamaları konusunda rehber olmaktır. Ayrıca, araştırmacılara kendi çalışmalarında kullanabilecekleri bir referans model sağlamaktır.



2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Otomotiv Araç Menteşeleri

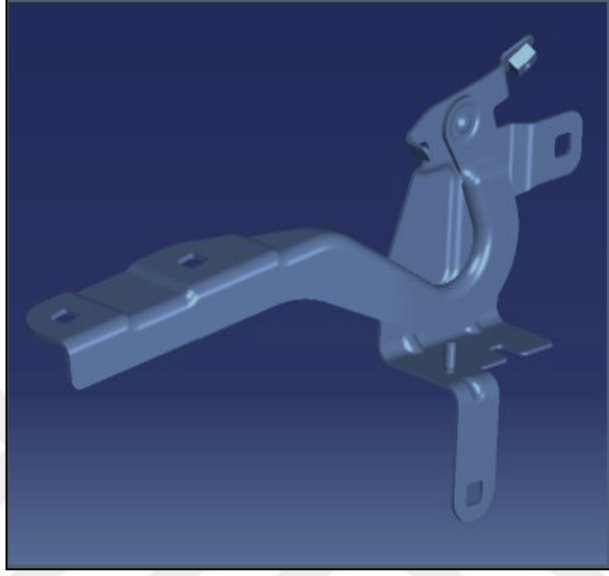
Menteşeler (Şekil 2.1), açılır kapanır parçaları birbirine bağlayarak hareketli bir sistem oluşturmaya yarayan bir bağlantı parçasıdır. Otomotiv endüstrisinin gelişmesiyle birlikte araçlarda ön kaput, kapı ve bagaj kapaklarında kullanımı artmıştır. Menteşeler, müşteri beklentileri, teknolojinin ilerlemesi ve güvenlik önlemlerinde oluşan beklenti artışı nedeniyle gelişimini devam ettirmektedir (Özcan 2017).



Şekil 2.1. Taşıt Kaput Menteşesi (Özcan 2017'den alınmıştır)

Araç içerisinde kullanılan ön ve arka kaput menteşeleri, kaputun hareketi sırasındaki müşteri beklentileri ve araç çevre şartlarının sınırlarına göre değişkenlik göstermektedir. Mevcut araçlarda kullanılan ön kaput menteşeleri iki kol (Şekil 2.2) veya dört kol (Şekil 2.3), bagaj kapağı menteşeleri dört kol veya kuğu boynu olarak beklentilere göre çeşitli tasarımlarla kullanılmaktadır (Özcan 2017).

Bagaj kapağı menteşeleri içinde buldukları fonksiyonlarına göre çeşitlendirildiğinde, hatchback sınıfındaki araçlarda çoğunlukla menteşe üzerindeki sabit kısım araç gövdesine ve hareketli kısım kapağa montaj edilmektedir (Şekil 2.4) (Özcan 2017).



Şekil 2.2. İki kol ön kaput menteşesi (Özcan 2017'den alınmıştır)



Şekil 2.3. Dört kol menkanizmalı ön kaput menteşesi (Özcan 2017'den alınmıştır)



Şekil 2.4. Hatchback araçlarda kullanılan iki kollu bagaj kapağı menteşesi(Özcan 2017'den alınmıştır)

Kuğu boynu ve dört kol arka kapı menteşeleri yaygın olarak sedan sınıfındaki araçlarda kullanılmaktadır. Hacimsel olarak diğer menteşelere göre oldukça fazla yer kaplamaktadırlar ve yüksek açma kuvveti gerektirmemektedir (Şekil 2.5) (Özcan 2017).

Bagaj içerisinde diğer türlere göre az yer kaplayan menteşe türü dört koldur ancak ihtiyaç duydukları açma kuvveti yüksektir (Şekil 2.6). İki kollu menteşeler bazı spor modelli sedan araçlarda kullanılmaktadır (Özcan 2017).



Şekil 2.5. Sedan araçlarda kullanılan kuğu boynu bagaj menteşesi (Özcan 2017'den alınmıştır)



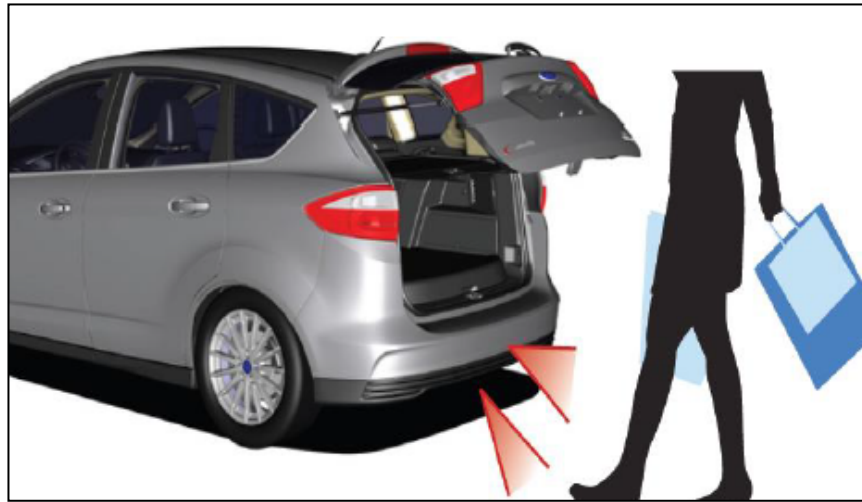
Şekil 2.6. Sedan araçlarda kullanılan dört kol bagaj kapağı menteşesi (Özcan 2017'den alınmıştır)

Dört kol menteşelerinde, dört kol mekanizması ve braket olmak üzere iki farklı bölüm mevcuttur. Dört kol mekanizmasının sabit dönme noktaları aracın gövdesine, biyel kolları ise bagaj kapağına montajlanmıştır. Bagaj kapağı menteşenin biyel kolları olan braketler yardımıyla açma kapama işlemini gerçekleştirmektedir (Özcan 2017).

Araç gövdesine bağlı bir braket ve bagaj kapağına bağlı dairesel veya dikdörtgen kesitli bir profilden oluşan menteşeler kuğu boynu menteşeleridir. Kaputun sağ ve sol bölümündeki profil yapı braketlere pimlerle bağlanmıştır. Pimler ekseninde serbest dönme hareketi gerçekleştirerek bagaj kapağının hareketini gerçekleştirmektedir (Özcan 2017).

Bagaj kapağı menteşeleri bagajın açılma ve kapanma hareketini yerine getirme işleminin yanında kullanıcı beklentilerini de göz önünde bulundurmalıdır. Ürün beklentilerinin belirtildiği şartnamede belirtilen boyutsal, kinematik ve ergonomi gibi istekleri karşılamalıdır. Bu istekleri karşılayabilmek için araç üzerinde yardımcı parça ya da sistemler kullanılmaktadır. Üründen karşılaması gereken beklentiler, araç modeli ve kullanılan menteşe tipine göre değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliği sağlayan sistem parçalarının başında çekme yayları, gazlı yaylar ve burulma çubukları gelmektedir. Parçaların kullanımı araç tipine ve beklentilere göre değişkenlik göstermektedir (Özcan 2017).

Son zamanlarda kullanıcı taleplerinin artmasıyla birlikte araç üzerindeki birçok manuel sistem otomatik olacak şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu grup içerisine otomatik bagaj menteşeleri de girmektedir. Otomatik bagaj kapağı için kullanılan tahrik üniteleri manuel sisteme ek olarak ilave edilmiştir (Şekil 2.7). (Özcan 2017).

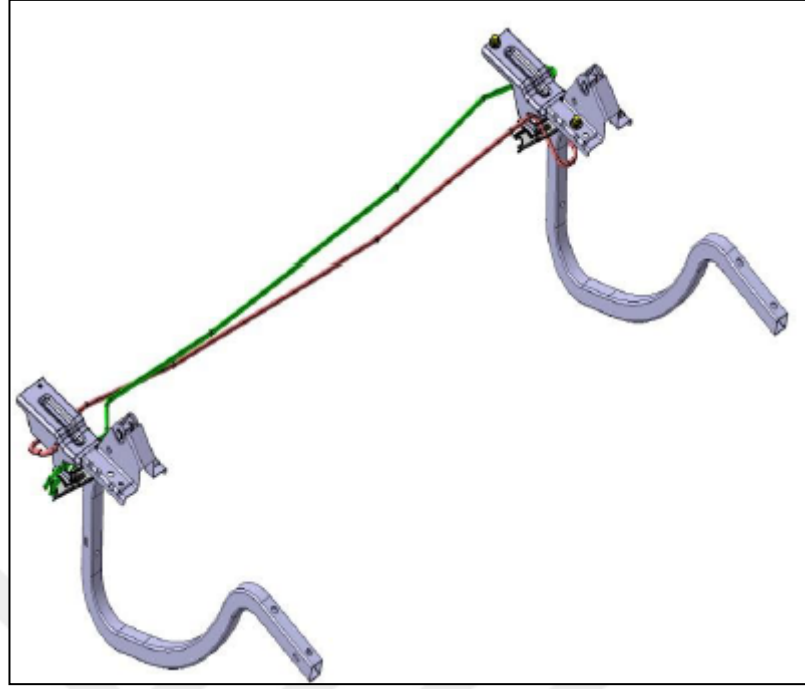


Şekil 2.7. Otomatik bagaj kapağı menteşe sistemi (Özcan 2017’den alınmıştır)

Menteşe sistemlerinde birçok yardımcı sistem kullanılmaktadır. Bu yardımcı sistemlerin başlıca görevleri menteşenin ana fonksiyonu olan açma ve kapama işlemini gerçekleştirmektir. Bunun dışında kapağın açılma ve kapanması sırasında bagaj kapağının dengede kalmasını sağlamak, kapağın açık pozisyonda kendiliğinden hareket etmesini ve sönümlenme özelliği ile sert bir şekilde kapanmasını önlemektir (Özcan 2017).

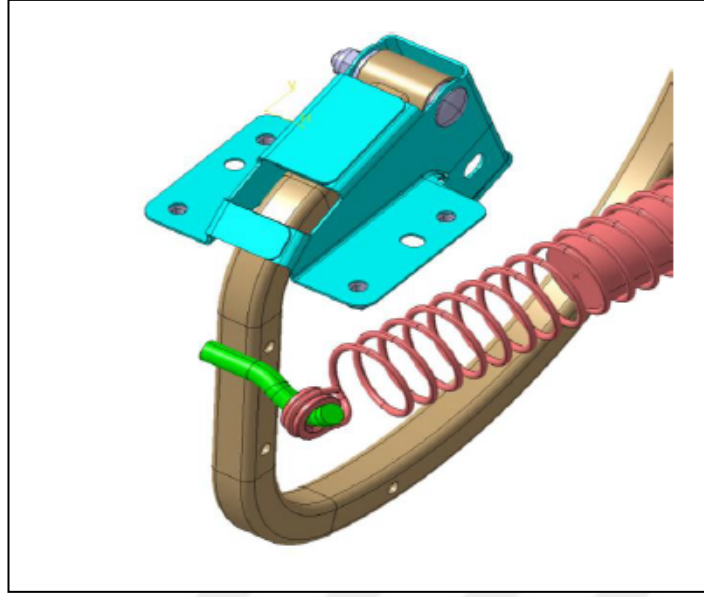
Mevcut sisteme yardımcı olan çekme yayları ve burulma çubukları kuğu boynu menteşelerinin kullanıldığı sedan araçlarda, gazlı yaylar ise kuğu boynu ve dört kol menteşeye sahip sedan ve iki kol bagaj menteşesine sahip hatchback araçlarda kullanılmaktadır. Burulma çubukları, bir bölümü araç gövdesine diğer bölümü kuğu boynu menteşeye bağlanan ana sisteme ek olarak görev alan bir yardımcı sistem elemanıdır (Şekil 2.8). Bagaj kapağının kapanma hareketi sırasında şekil değiştirme enerjisi depolamaktadır ayrıca bagaj kapağının açma işlemi sırasında açma yönünde kuvvet uygulamaktadır ve araç kullanıcısının bagaj kapağını kolaylıkla açmasını sağlamaktadır. Bu özelliklerin dışında bagaj kapağını belirlenen pozisyonda dengede tutmaktadır (Özcan 2017).

Denge pozisyonları kaputun bagaj kapağı ile 10° ve 60° olacak şekilde pozisyonlandığı düzlemlerdir. Burulma çubukları tasarım gerekliliklerini kendi başlarına sağlayamadığı zamanlarda mekanizmaya ek gazlı yay yerleştirilmektedir (Özcan 2017).



Şekil 2.8. Burulma çubuklu kuğu boynu bagaj kapağı menteşesi (Özcan 2017'den alınmıştır)

Kuğu boynu menteşe sistemlerinde mevcut duruma yardımcı olarak kullanılan bir başka eleman çekme yaylarıdır. Bagaj kapağının sağ ve sol olacak şekilde 2 bölümünde bulunmaktadırlar. Bir bölümü araç gövdesine diğer bölümü ise kuğu boynu menteşesinin profil kısmına bağlanmaktadır (Şekil 2.9) (Özcan 2017).



Şekil 2.9. Çekme yaylı kuğu boynu bagaj kapağı menteşesi (Özcan 2017'den alınmıştır)

Çekme yayları, kullanıcının bagaj kapağını açtığı sırada açma yönünde kuvvet uygulayarak gereken açma kuvvetini azaltıp kullanım kolaylığı sağlamaktadırlar. Bagaj kapağının kapanması sırasında kapanma yönüne ters olacak şekilde kuvvet uygulamaktadırlar böylece bagaj kapağının yüksek hız ve kuvvette kapanmasını önlemektedirler. Çekme yayları tek başına beklentileri karşılamazsa burkulma çubuklu mekanizmalarda olduğu gibi sisteme gazlı yay ilavesi yapılmaktadır (Şekil 2.10) (Özcan 2017).



Şekil 2.10. Çekme yaylı ve gazlı yay takviyeli kuğu boynu bagaj kapağı menteşesi (Özcan 2017'den alınmıştır)

Gazlı yaylar otomotiv sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılan parçalardır. İçinde bulundukları azot ve benzeri sıkıştırılabilir gazlar yardımı ile ters yönde kuvvet uygulayarak bağlı bulunduğu kütleyle hareket ettirebilirler. Bu sistemler, çekme yaylı ve burulma çubuklu menteşelerde yardımcı eleman olarak kullanılırken, dört kol mekanizmalı sistemlerde işlevi yerine getiren ana eleman olarak görev alırlar (Özcan 2017).

2.2. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu Şartname Numara: 11

Araç kapı menteşesinin herkesçe bilinen ana fonksiyonu olan yolcuların araca binmesi ve/veya inmesini sağlamak amaçlı araç kapısının açılıp kapanmasını sağlamasının yanı sıra kaza anında yolcuların güvenliğini sağlamakta fonksiyonları arasındadır. Bu yüzden araç üreticileri ve ülkelerin araç şartnameleri (Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu Şartname Numara 11, Federal Motorlu Araçlar Güvenlik Standartları, Japon Otomobil Standartları Uluslararasılaştırma Merkezi, vb.) araç piyasaya çıkmadan önce menteşe üreticilerinden güvenlik fonksiyonunu sağladığını garanti etmesi için birçok çeşit testten geçmesini talep etmektedirler. UNECE R11 de Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu tarafından oluşturulmuş bu şartnamelerden biridir (<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R011r2e.pdf>, erişim tarihi 9/10/2018).

2.2.1. Şartname Amaç ve Kapsamı

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu tarafından oluşturulan bu test, yolcuların kaza esnasından kapıların açılarak aracın içinden savrulmalarını önlemek için çekme komponentlerinin (Kapı menteşeleri, bagaj menteşeleri, kaput menteşeleri, kaput kilitleri, bagaj kilitleri, yan kapı kilitleri, vb.) minimum çekme dayanımlarını garanti almayı amaçlamaktadır. Şartnamede testlerin uygulanması gereken araç tipleri olarak, M1 tip 9 yolcu taşıma kapasiteli araçlar ile N1 tip olarak adlandırılan 3,5 tona kadar yük taşıma kapasitesine sahip araçlar kapsam içerisinde belirtilmişlerdir (<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R011r2e.pdf>, erişim tarihi 9/10/2018).

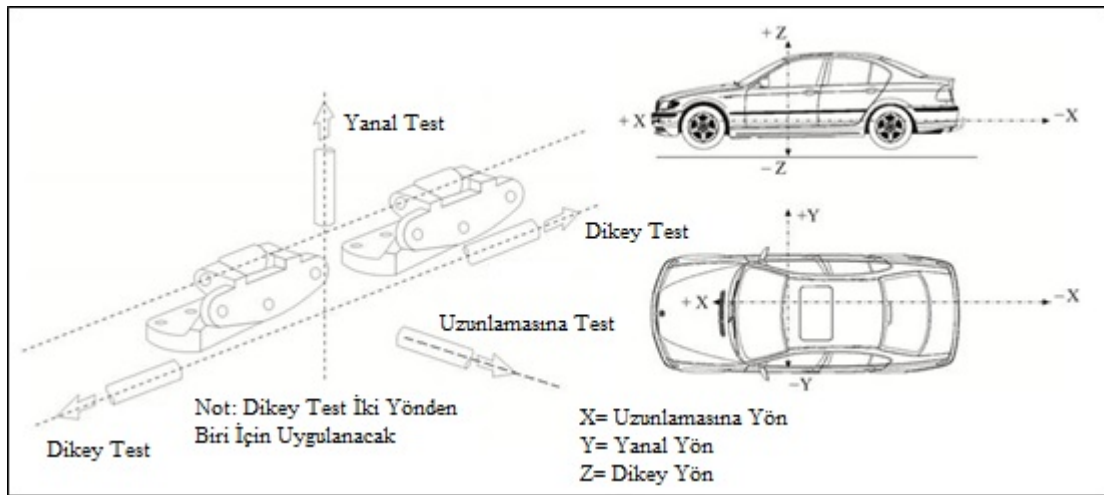
2.2.2. Şartname Prosedürü ve Kabul Kriteri

Şartnamede menteşelerin dayanım testleri için araç eksenine göre boyuna (araç X yönü) yönde 11 000 N, yanıl yönde (araç Y yönü) 9 000 N ve kapının dikine yönde açılanılır olması durumunda dikine yönde (araç Z yönü) 9 000 N kuvvetleri altında menteşede ayrılma durumu gerçekleşmemeli kabul kriteri ile birlikte Şekil 2.11'de belirtilmiştir

(<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R011r2e.pdf>, erişim tarihi 9/10/2018).

Test sırasında menteşelerin gerçek kaza anındaki durumunu yansıtmaları için menteşelerin karşılıklarına araç kapalı pozisyonunda bağlanması ve kuvvetlerin yükleme hızının 5 mm/dk'yı geçmeyecek şekilde iki menteşenin dönme ekseninin merkezinden geçen doğrunun orta noktasından uygulanması gerekliliği Şekil 2.12'de belirtilmiştir

(<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R011r2e.pdf>, erişim tarihi 9/10/2018).

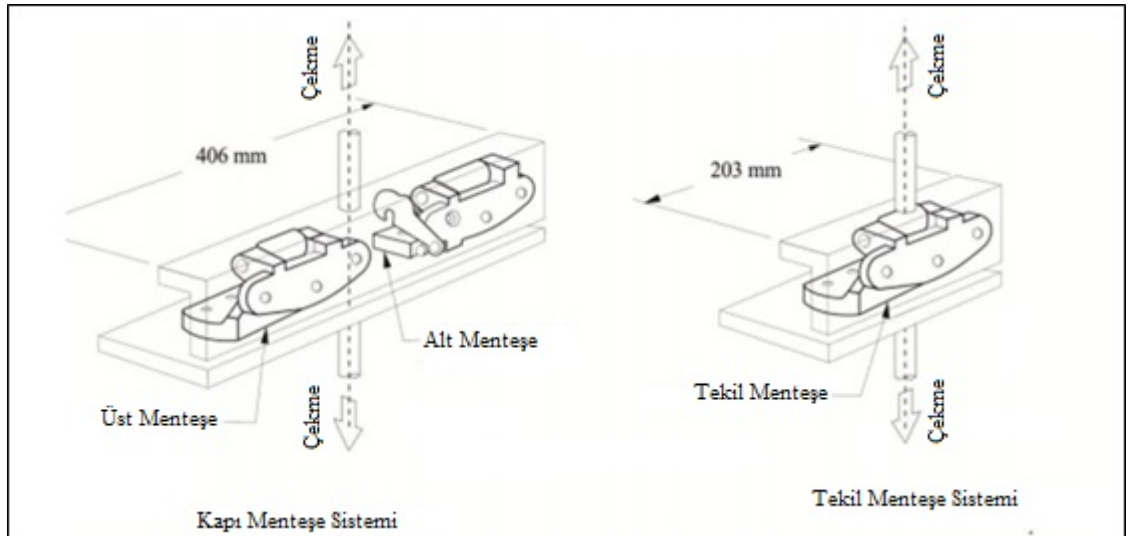


Şekil 2.11. UNECE R11 test yönleri ve araç eksenine göre konumları (UNECE R11 şartnamesinden değiştirilerek alınmıştır)

2.2.3. Test Aparatları

Şartnamede belirtilen testlerin gerçekleştirilmesinde kullanılması için menteşe sistemi değerlendirmesi ve tekil menteşe değerlendirmesi adına iki yöntem belirtilmiştir. Belirtilen bu yöntemlerden tekil menteşe değerlendirilmesi ancak menteşe sistemi çekme cihazına sığmadığında ya da menteşe sistemi birbirinin aynısı iki menteşeden oluşması durumunda kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Bu bahsedilen değerlendirme yönteminin kullanılması durumunda, menteşe sistemi testinde değerlendirme kriteri olan kuvvet değerlerinin 0,5 katında menteşelerde ayrılmanın görülmemesi beklentisi incelenmektedir. Aparatların uzunlukları menteşe sistemi için 406 mm ve tekil menteşe için 203 mm olarak şartnamede belirtilmiştir. Aparatların çekme eksenini araç eksen yönlerinde olacak şekilde iki menteşenin veya tek menteşenin orta ekseninden geçen doğruya dik olacak şekilde tasarlanması gerektiğini belirtmektedir. Test konfigürasyonları Şekil 2.12’de görülmektedir. Bu tez çalışmasında, testler kapının iki aynı menteşeden oluşması durumu kabul edilerek tekil menteşe değerlendirilmesi yapılmıştır

(<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R011r2e.pdf>, erişim tarihi 9/10/2018).

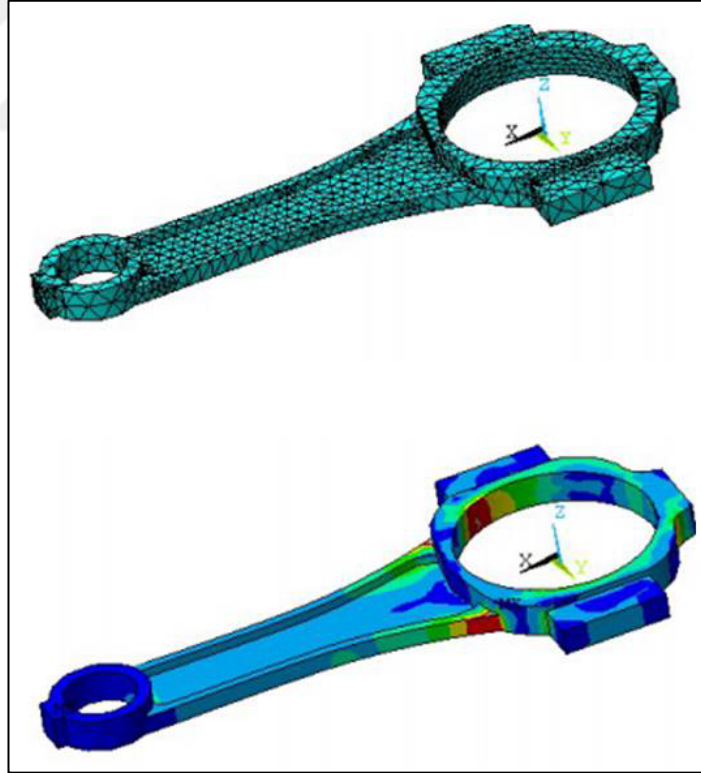


Şekil 2.12. UNECE R11 şartnamesine göre tekil menteşe ve menteşe sistemi testleri (UNECE R11 şartnamesinden değiştirilerek alınmıştır)

2.3. Sonlu Elemanlar

Kirişler, çubuk elemanlar gibi mekanik yapılar, kapalı çözümler sunan mekaniğin temel yöntemleri ile çözülebilirler. Ancak, gerçek hayattaki yapılar nadir olarak basit bileşenlerdir. Dolayısı ile tasarımcılar kapalı-form çözümlerdense deneysel çalışmaları, tahminlerini ve sayısal metotları kullanmak zorunda kalırlar. Mühendislikte bilgisayarların aktif olarak kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bilgisayar destekli tasarım (BDT) yazılımlarının etkin şekilde rol aldığı mekanik tasarımda, BDT ile uyumlu çalışabilen analiz yöntemi sonlu elemanlar analizi (SEA)'dir. Bu yöntemin çok sayıda matematiksel teori ve uygulaması mevcuttur(Budynas ve Nisbett 2015).

Şekil 2.13'de, bir kran milinin elastohidrodinamik yağlamanın yatak ve yapısal performansının incelenmesi amacı ile geliştirilmiş sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir(Budynas ve Nisbett 2015).



Şekil 2.13. Krank milinin ağ yapısı ve stress değerleri (Budynas ve Nisbett 2015'den alınmıştır)

Endüstride doğrusal ve doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler, bükülme analizi; serbest ve zorlanmış titreşimler, ısı transferi; elastik kararsızlık (burkulma); akustik; elektrostatik ve manyetik; akışkanlar dinamiği; boru hattının analizi ve çoklufizik gibi çoklu SEA uygulamaları bulunmaktadır. Bu çalışmada, sadece statik kısmın temellerine değinilmiştir (Budynas ve Nisbett 2015).

Gerçek hayatta bir mekanik bileşen sürekli bir elastik yapıdadır. SEA, mekanik yapıyı küçük sonlu, alt elemanlara ayırarak elastik yapısını sonlu olarak tanımlar. Polinom fonksiyonları ve matris işlemleri kullanarak, ayırdığı her bir elemanın sürekli elastik davranışı, eleman malzemesi ve geometrik özelliklerine göre geliştirilebilmektedir. Yükler eleman içine, yüzeyine, düğüm noktasına uygulanabilmektedir. Eleman düğüm noktaları, elemanın diğer elemanlar ile belirlenen, sınır şartlarına göre, elemanın elastik özelliklerinin tamamen belirlendiği ve kuvvetlerin en son noktada uygulandığı, elemanın esas yönetim öğeleridir. Bir düğüm, serbestlik derecelerine (SD) sahiptir. Serbestlik dereceleri bir düğümde olabilen bağımsız öteleme ve dönme hareketleridir. Bir düğüm en fazla 3 öteleme ve 3 dönme serbestlik derecesine sahip olabilir. Bir yapı içerisindeki her bir eleman SD'leri yardımı ile genel bir sistem matrisinde ilişkilendirilir. Ardından, yük ve sınır şartları belirlenip matris işlemleri ile zorlama ve gerilmeleri belirlemek için; yer değişim değerlerinin, elastisitenin temel denklemleri üzerinden hesaplanmaktadır (Budynas ve Nisbett 2015).

2.3.1. Tarihçesi

Sonlu elemanlara ayırma işleminin örnekleri antik tarihedeki matematikçilere kadar görmek mümkündür. Antik tarihteki matematikçilerin pi sayısını tahmin etme çalışmalarından, daireyi temsilen çok sayıda ama sonlu kenara sahip 40 özel poligon figürüne kadar örnekleri ile karşılaşmıştır. 1851 yılında, Schellback yüzeyi sonlu üçgen elemanlara ayırıp bir difransiyel denklem oluşturmuştur. Denklemi bir yüzeyin minimum sınır alanını uzayda kapalı eğri yöntemi ile çözme amacı ile oluşturmuştur (Budynas ve Nisbett 2015).

1906 yılında, Alman bilim adamları kare şeklinde birçok çubuktan oluşan gövde yapısının Isotropik malzeme olarak davrandığını keşfetmişlerdir. Bu ilk zamanlardaki uygulamalar gövdelerin bir problemi çözmek için sonlu parçalara ayrılabilceğini gösteren ilk örneklerdir (Budynas ve Nisbett 2015).

Modern sonlu elemanlar yönteminin gelişmesi 1940'larda uçak yapı mühendisliği alanında başlamıştır. Bu çalışmalarda uçak gövde ve kanatları, tel, kapuk yüzey ve kesme panelleri tek boyutlu bar ve kiriş kullanılarak kafes yapıları olarak modellenip stress, deformasyon vb. değerlerin hesaplanmasında kullanılmışlardır. Kafes yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem Hrennikoff (1941) ve McHenry (1943) bulunmuştur. Sonlu elemanlar yönteminin öncülerinden olan bu yöntem kafes yapısına sahip sistemlerde uyumlu sonuçlar vermesine rağmen garip şekillere sahip mekanik elemanlarda uygun sonuçlar vermemektedir. Bu yöntem, yapıyı sonlu elemanlara ayırmayıp eleman tiplerini değiştirmeyi mümkün kılmaktaydı (Budynas ve Nisbett 2015).

Modern sonlu elemanlar metodunun ilerleyen izleri Courant'ın çalışmalarında görülebilmektedir. Courant içi boş shaftın burulma rijitliğini shaftın kesit alanını küçük üçgen elemanlara ayıran bir şekil fonksiyonu kullanıp; ardından herbir üçgeni belli noktalarda stres değerlerini hesaplayabilmek için stres fonksiyonunu çözdürmüştür. 1947'de, Levy esneklik metodunu geliştirmiş ve 1953 yılında çalışmalarını yayınlamıştır. Levy çalışmasını diğer uçak yapıları için alternatif metot olarak sunmuştur. Rijitlik metodu başarılı olmasına rağmen yöntemin elle çözülemeyecek büyüklükte olması sebebi ile zamanında popüler olamamıştır. Ancak yüksek hızlı çözüm yapan bilgisayarların ortaya çıkması ile günümüzde popüler olmuştur (Budynas ve Nisbett 2015).

Mühendislerin hangi metodun sonlu elemanların ilk metot yada günümüz sonlu elemanlar yönteminin öncüsü olduğu üzerine tartışma devam etmekte olup; herbir çalışmanın özelliklerinin günümüz sonlu elemanlarında anahtar rol oynamaktadır. Resmi olarak metodun ilk örnekleri ise, 1950'lerin sonunda 1960'ların başında Turner, Robinson ve Argyris'in üç noktalı üçgen elemanlar ve iki boyutlu elemanlar

görülmektedir. Çalışmalarında bu elemanları bugün bilinen adı ile direk rijitlik metodu olarak bilinen prosedürde kullanmak için rijitlik matrisi türetmede kullanmışlardır (Budynas ve Nisbett 2015).

Kelime olarak Sonlu Elemanlar 1960'lara kadar kullanılmamıştır. Clough ilk defa bu terimi 3 noktalı ve 4 noktalı elemanlar kullanarak düzlem streslerini analiz ettiği çalışmasında kullanmıştır. Sonraki yıllarda, birçok teknik ve eleman geliştirilmiştir. 1961'de Melosh düz kare plakanın eğilme rijitlik matrisini geliştirmiştir. Benzer kavisli kabuk versiyonu asimetrik kabuklar ve basınçlı kaplar için 1963'de Grafton ve Strome tarafından geliştirilmiştir (Budynas ve Nisbett 2015).

Sonlu elemanlar 1960'ların başlangıcında tetrahedral elementler kullanılarak 3 boyutlu problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmış; ardından, ek yeni 3 boyutlu elemanlar kullanılmış ve asimetrik katı eleman metotları 1965 yılında geliştirilmiştir (Budynas ve Nisbett 2015).

Bütün bu çalışmalar küçük boyutlu gerinmeler ve yer değiştirmeler, elastik davranış ve statik davranış kullanılarak çalışılmış problemlerdir. Ancak, 1960'larda termal analiz, lineer olmayan malzeme modelleri, burulma, dağıtılmış ağırlık sistemleri ve vizkoelastisite üzerinede çalışmalarda bulunulmuştur (Budynas ve Nisbett 2015).

Sonlu elemanlar metodu üzerine bir diğer önemli gelişme birçok formülasyonu bir problemin çözümünde kullanılabilmesi olmuştur. Bunun sonucunda sonlu elemanlar metodu şaftın akış, ısı iletimi ve burulma probleminin çözümlenmesine olanak sağlamıştır ve metot Szabo ve Lee'nin ağırlaştırılmış artık metodunu geliştirmesi ile dahada genişleyerek zamana bağlı saha probleminin çözülmesinde kullanılmıştır (Budynas ve Nisbett 2015).

1960'larda yapılmış bu çalışmalar günümüz modern sonlu elemanlar metodunun temellerini oluşturmaktadır. Ancak, bu metotların uygulamaları elle on binlerce serbestlik derecesini sahip denklemin çözülememesi ve çözüm yapan bilgisayarın gücü ile de limitlidir. Sonuç olarak, sonlu elemanlar metodunun gelişmesi bilgisayarların

gücünün gelişmesi ile yakından bağlantılıdır. Genel sonlu elemanlar paket programları 1960'ların sonu ile 1970'lerin başında ortaya çıkmaya başlamışlardır. 1970'lerin sonunda, bilgisayar grafiklerinin yeterince gelişmesi ile yarı tamamlanmış tasarım onaylamaları ve kırılma analizleri yerine bitmiş tasarım üzerinde sonlu elemanlar metodu kullanılmaya başlanılmıştır (Budynas ve Nisbett 2015).

2.3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

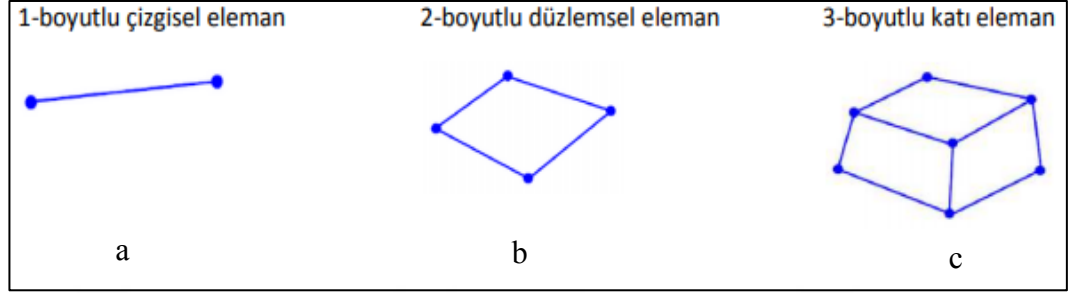
Sonlu elemanlar yönetimi, sürekli yapının olduğu bölgeyi ayrıştıran, sayısal bir teknik olduğundan, hatalar kaçınılmazdır. Bu hatalar (Budynas ve Nisbett 2015):

- Hesaplama hataları: Bunlar, bilgisayardaki ondalıklı hesaplamalardan ve sayısal integrasyon şemalarındaki formülasyonlardan kaynaklanan yuvarlatma hatalarıdır. Mesleğe yönelik sonlu eleman kodlarının çoğu, bu hataları azaltmaya yoğunlaştığı için, analiz yapan kişi genellikle, ayrıştırma katsayılarıyla ilgilenmektedir.
- Ayrıştırma hataları: Gerçek bir yapının şekli ve yer değiştirme dağılımı sürekli değişmektedir. Elemanların kendisinde bulunan matematiksel sınırlandırmalar nedeniyle, geometri ve yer değiştirme dağılımının eşleştirilmesinde; yapının modelini oluşturmak için, sonlu sayıda elemanların kullanılmasıyla, hatalar ortaya çıkmaktadır.

2.3.3. Eleman Şekilleri

Elemanlardaki geometrik şekillerin birçoğu, özel uygulamalar için sonlu eleman analizinde kullanılmıştır. Genel amaçlı ticari SEY yazılım kodlarında kullanılan birçok eleman, eleman kütüphanesi olarak bilinen kodu oluşturmuştur. Elemanlar, çizgi elemanları, yüzey elemanları, katı elemanlar ve özel amaçlı elemanlar şeklinde sınıflandırılabilir. Şekil 2.14, yapı problemleri için, sonlu-eleman analizine uygun bazı eleman tiplerini içermektedir.

Elemanların tümü, serbestlik derecelerinin tamamını taşımamaktadır. Örneğin, 3-B kafes kiriş (Şekil 2.14 c), her bir düğümün sadece, üç öteleme hareketinin serbestlik derecesini karşılamaktadır. Farklı serbestlik derecesine sahip bağlantı elemanları, genelde elle yapılan bazı değişiklikler gerektirmektedir (Budynas ve Nisbett 2015).

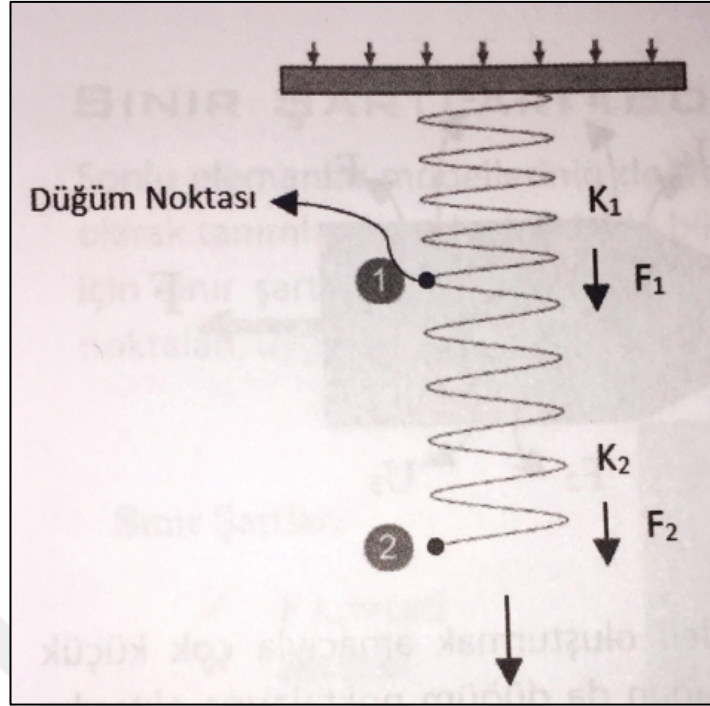


Şekil 2.14. Sonlu elemanlar eleman tipleri (a: 1-boyutlu çizgisel eleman, b: 2-boyutlu çizgisel eleman, c: 3-boyutlu katı eleman) (<http://analizsimulasyon.com/sonlu-elemanlar-yontemi/>, Erişim Tarihi: 10/01/2019'dan değiştirilerek alınmıştır)

Örneğin; bir kafes kiriş, kare şeklindeki bir elemana bağlandığında, kare eleman, her bir düğümdeki altı serbestlik derecesinin tamamını karşılamaktadır. Kare elemana bağlanan kafes kiriş elemanı, bağlantı üzerinde serbestçe dönebilmektedir. Tüm elemanlar tüm serbestlik derecelerini desteklememektedir. Örneğin, 3-B kafes elemanı her bir düğümde yalnızca üç öteleme serbestlik derecesini desteklemektedir. Farklı serbestlik dereceli elemanları birleştirme, genel olarak elle yapılan bazı değişiklikler gerektirmektedir (Budynas ve Nisbett 2015).

2.3.4. Sonlu Eleman Çözüm Metodolojisi

Sonlu elemanlar programlarının etkin kullanılabilmesi için sonlu elemanlar yönteminin çalışma prensiplerini incelenmesi önem arz etmektedir. Şekil 2.15'de çift yay ile çalışan bir model gösterilmiştir. Gösterilmiş sistem bir noktasından sabit yay ile birer nokaları birleştirilmiş iki yaydan oluşmaktadır. Yayların rijitlik sabitleri K_1 ve K_2 ile gösterilmiştir. Yayların sıfır konumlarındaki düğüm noktaları X_1 ve X_2 değişkenleri ile tanımlanmıştır. Yayların yüklendikten sonraki kuvvetlerde F_1 ve F_2 ile gösterilmiştir (Ovalı ve Esen 2017).



Şekil 2.15. Seri bağlı çift yaylı basit sistem (Ovalı ve Esen 2017'den alınmıştır)

Yaylardaki birim yer değiştirme Denklem 2.1'de verilen eşitlik ile ifade edilebilir.

$$F = K * X \quad (2.1)$$

F= Uygulanan Kuvvet

K= Yay Sabiti

X= Deplasman

Denklem 2.1'den yola çıkılarak, yayların uç noktalarına Denklem 2.2 ve Denklem 2.3'de belirtilen eşitlikler ile yazılabilir (Ovalı ve Esen 2017).

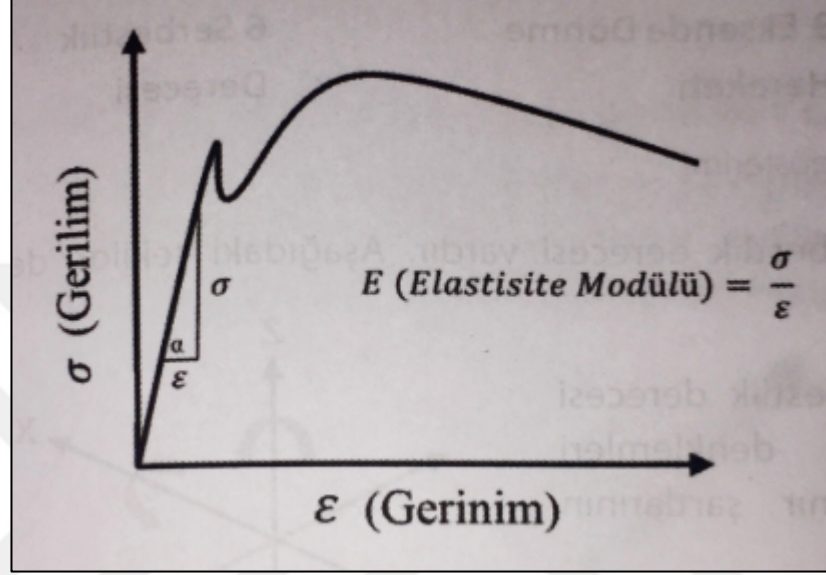
$$F_2 - (X_2 - X_1) * K_2 = 0, \quad (2.2)$$

$$F_1 - X * K_1 + (X_2 - X_1) * K_2 = 0 \quad (2.3)$$

Bu eşitlikler matris formunda Denklem 2.4'deki gibi gösterilebilir. Bu denklemden yola çıkılarak düğüm noktalarının uzayda yaptığı yer değiştirmeler hesaplanır (Ovalı ve Esen 2017).

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & -K_2 \\ -K_2 & K_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Aynı denklemsel yaklaşım yay yerine şekil 2.16'deki çekme diyagramına uygulanmıştır.



Şekil 2.16. Malzemeler için gerilme-gerinim şekli (Ovalı ve Esen 2017'den alınmıştır)

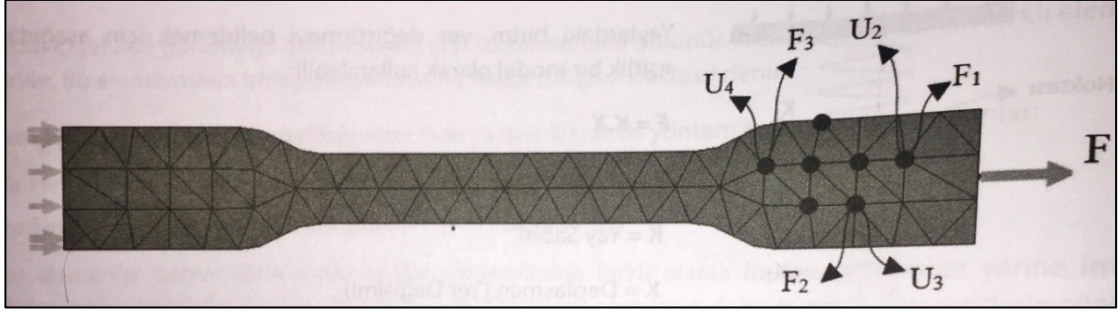
$$F = K \cdot U \quad (2.5)$$

F= Uygulanan Kuvvet

K= Elastikiyet Katsayısı

X= Deplasman

Formuldeki yaklaşımdan K elastikiyet katsayısı malzemenin türüne göre değişmektedir.



Şekil 2.17. Çekme numunesinin sonlu elemanlar prensibinde gösterimi(Ovalı ve Esen 2017'den alınmıştır)

Yay sistemi üzerinden denklemler ile anlatılmış çözüm yöntemi, daha karmaşık sistemlerin basit sistemlere indirgenmesi ile çözümlenebilmektedir. Şekil 2.17'de ağ yapısına ayrılmış karmaşık bir sistem gösterilmektedir (Ovalı ve Esen 2017).

2.3.5. Ağ Üretimi

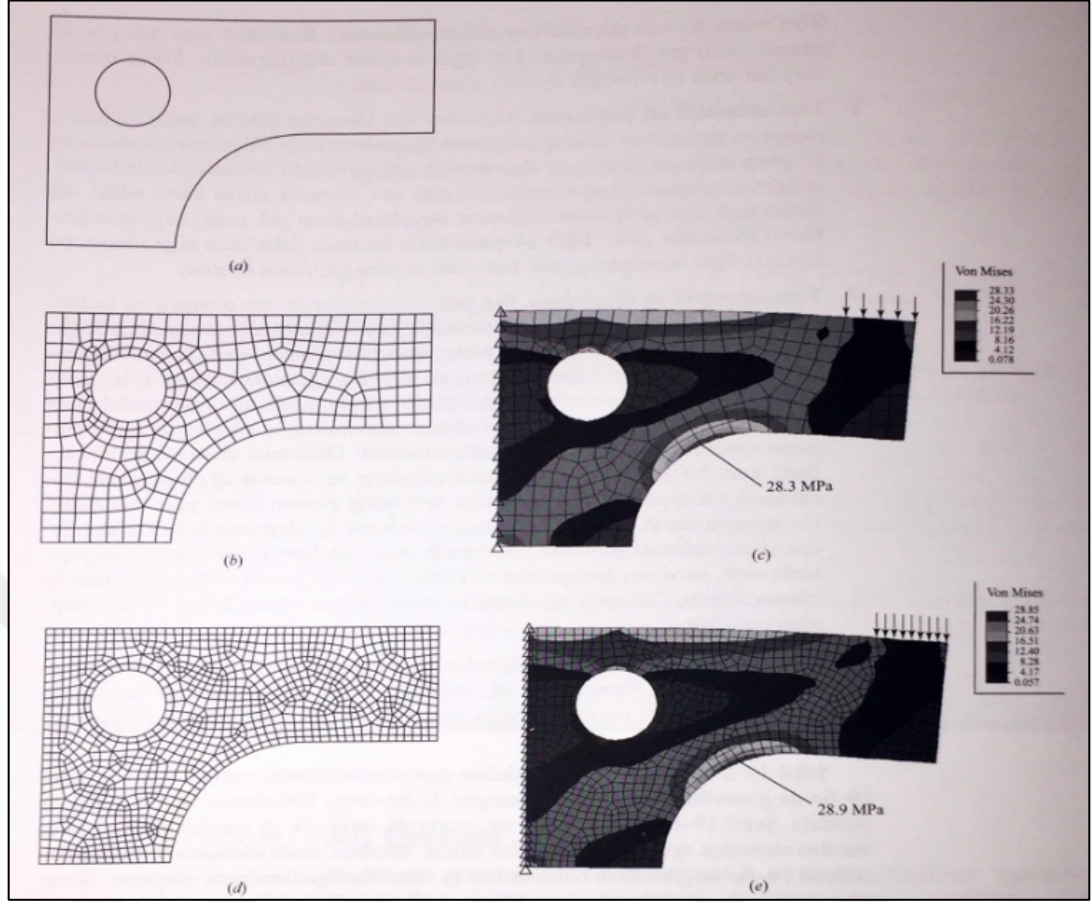
Bir bölgeyi ayrıştıran eleman ve düğüm ağı, ağ olarak adlandırılmaktadır. Verilen bir bölgeye daha fazla eleman yerleştirildiğinde ağ yoğunluğu artmaktadır. Ağ iyileştirmesi, daha iyi sonuçlar vermesi için ağın, bir ağ modeli analizinden diğer analize değiştirilmesidir. Genel olarak yüksek gerilme gradyanlarının olduğu alanlarda ve/veya geometrik geçiş bölgelerinde düzgün bir şekilde ağ oluşturularak, ağ yoğunluğu artırıldığında sonuçlar iyileşmektedir. Her zaman olmamakla birlikte, ağ sürekli olarak iyileştirildiğinde, genellikle SEA sonuçları, gerçek sonuçlara doğru yakınsamaktadır. Yüksek gerilme gradyanlarının ortaya çıktığı bölgelerde iyileşmeyi değerlendirmek için, bu bölgedeki ağ yoğunluğu yükseltilerek, yapının yeniden ağ oluşturması sağlanabilmektedir. Eğer, maksimum gerilme değerinde çok az bir değişim varsa, çözümün yakınsadığı kabul edilmektedir. Bir eleman ağını oluşturmada elle, yarı otomatik veya tam otomatik olmak üzere, üç temel yol bulunmaktadır (Ovalı ve Esen 2017).

- 1- Elle ağ oluşturma: Bu yöntem sonlu elemanlar yönetiminin ilk dönemlerindeki ağ oluşturma şeklidir. Bu yöntemle ağ oluşturma, yoğun bir emek gerektirmektedir. Bir model üzerinde bazı hızlı değişikliklerin yapılması dışında nadiren uygulanmaktadır.
- 2- Yarı otomatik ağ oluşturma: Yıllardan beri süregelen şekilde, modelleyicinin, yapıyı iyi tanımlayan sınırlar kullanarak bölümlendirdiği bölgelerde, otomatik ağ oluşumu sağlayan bilgisayar algoritmaları geliştirilmiştir. Modelleyicinin bu bölgeleri tanımlaması gerektiğinden, yöntem yarı otomatik olarak kabul edilmektedir. Ağ oluşturmak için geliştirilen bilgisayar algoritmalarının pek çoğu, bilgisayar grafikleri alanından çıkmaktadır.
- 3- Tam otomatik ağ oluşturma: Pek çok yazılım satıcısı, tam otomatik ağ üretimi geliştirmeye ve bazı durumlarda otomatik kendiliğinden uyarlanan ağ iyileştirmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Asıl amaç; modelleyicinin ön işlem zamanını önemli ölçüde azaltarak, iyi yapılandırılmış en son SEA ağına ulaşılmasını kolaylaştırmaktır. Yapının tam sınırı tanımlandığında, yarı otomatik ağ oluşturmadaki gibi alt bölgeler olmadan ve minimum kullanıcı müdahalesiyle, tek eleman tipiyle bölgenin ayrıştırıldığı pek çok plan bulunmaktadır. Düzlemsel elastisite problemlerinde sınır, bir dizi iç ve dış geometrik çizgilerle ve otomatik ağ oluşturmada kullanılacak düzlemsel elastik elemanın belirlediği eleman tipine göre tanımlanmaktadır. Üç boyutlu metal kaplama elemanının, otomatik ağ oluşturmada kullanıldığı ince cidarlı yapılarda geometri, üç boyutlu yüzey şekilleriyle tanımlanmaktadır. Katı yapılarda sınır, yardımcı katı geometri (YKG) veya sınır temsili (S-tem) metotları ile oluşturulabilmektedir. Otomatik ağ oluşturan sonlu eleman tipleri, briket ve/veya dörtyüzlü şekildedir.

SEA çözümündeki hata, kendiliğinden uyarlanan, otomatik ağ iyileştirme programlarıyla hesaplanmaktadır. Hataya göre ağ, otomatik olarak gözden geçirilir ve yeniden çözümlenmektedir. İşlem bazı yakınsama veya sonlandırma ölçütü sağlanıncaya kadar tekrarlanır (Budynas ve Nisbett 2015).

Şekil 2.18'deki ince plaka modelinde, yapının sınırları, Şekil 2.18(a)'da gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Daha sonra, 294 eleman ve 344 düğümün çizildiği, Şekil 2.18(b)'de gösterilen bu sınırlarda, otomatik ağ üretilmiştir. Sınırlarda üretilen elemanın aynı olmasına dikkat edilmesi önemlidir. Böylece, sonlu elemanlar çözümleyicisi Şekil 2.18(c)'de gösterilen bükülmeleri ve Von Misses gerilmelerine sebep olmaktadır. Gösterilen konumda maksimum Von Misses gerilmesi 28,3 MPa'dır. Şekil 2.18(d)'de görüldüğü üzere, 1008 eleman ve 1096 düğümün bulunduğu, ağ yoğunluğu artırılan model üzerinde, daha sonra otomatik ağ oluşturulmuştur. Bu modele ilişkin sonuçların Şekil 2.18(e)'de gösterildiği, bir önceki modelden sadece, % 1,8 daha yüksek olan maksimum Von Misses gerilmesi 28,9 MPa'dır. Büyük bir olasılıkla çözüm yakınsamıştır (Budynas ve Nisbett 2015).

Gerilme yığılmaları oluştuğunda, gerçekçi sonuçlar elde etmek için gerilmenin yığıldığı bölgede, oldukça ince bir ağa sahip olmak gerekmektedir. Ağ yoğunluğunun sadece gerilme yığılma bölgesinde artırılması gerektiği ve gerilme yığılma bölgesiyle, yapının geri kalanı arasındaki geçiş ağının kademeli olması önemlidir. Ani bir ağ geçişi kendi içerisinde, gerilme yığılmasıyla aynı etkiye sahip olacaktır (Budynas ve Nisbett 2015).



Şekil 2.18. İnce plaka modeli ağ yapısı ve sonuçları (a) Model sınırları, (b) 294 eleman ve 344 düğümle ağ oluşturma, (c) çökme oluşan düşey gerilme çizgileri, (d) 1008 eleman ve 1096 düğümle otomatik ağ oluşturma, (e) çökme ile görülen düşey gerilme çizgileri (Budynas ve Nisbett 2015’den alınmıştır).

2.3.6. Yük Uygulama

Bir yapı üzerindeki yükleri belirtmek için, düğüm ve eleman ile yükleme olmak üzere, iki temel şekil bulunmaktadır. Bununla birlikte; eleman yükleri, mutlaka eşdeğer düğüm yüklerinin kullanıldığı düğümlere uygulanmaktadır. Yük uygulama, bir açıdan Saint-Venant İlkesi ile ilişkilidir. Yük uygulama noktalarına yakın bölgelerdeki gerilmeler, ihmal edilmiş ise, yükü, tam olarak dağıtmaya çalışmak gerekmemektedir. Düğüm elemanını kuvvetle ve/veya momentle ilgili olan serbestlik derecesini desteklemesi koşuluyla, net kuvvet ve/veya moment, bir tek düğüme uygulanabilmektedir. Tekil momentler, kiriş ve levha şeklindeki pek çok elemanın düğümlerine

uygulanabilmektedir; ancak kafes, iki-boyutlu düzlemsel elastik, aksel simetrik veya briket elemanlarına uygulanamamaktadırlar. Bu elemanlar dönüş serbestlik derecelerini desteklememektedirler. Bu kuvvet çifti şeklinde kullanılan bu elemanlara, aksel moment uygulanabilmektedir. Statik bilimine göre, bir kuvvet çifti; aynı düzlemde etkiyen kuvvetlerin bileşkesi sıfır olduğu için, iki veya daha fazla kuvvet kullanılarak üretilebilmektedir. Kuvvetlerin meydana getirdiği net moment, kuvvet düzlemine dik bir vektördür ve ortak herhangi bir noktadan alınan kuvvetlerin sahip olduğu momentlerin toplamıdır (Budynas ve Nisbett 2015).

Düzenli ve hidrostatik basınç gibi, yüzeydeki yükler, ısı etkileri, yer çekimi (ağırlık) nedeniyle oluşan statik yüklerle, sabit ivme ve kararlı hal dönüşü (merkezkaç ivme) etkisiyle meydana gelen dinamik yükler, eleman yüklerini oluşturmaktadır. Yazılım kullanılarak, bahsedilen eleman yükleri, eşdeğer düğüm yüklerine dönüştürülür ve sonuçta düğümlere uygulanan tekil yükler gibi işlem görürler (Budynas ve Nisbett 2015).

Kütlesel yük için uygun birimde yerçekimi sabiti ve yönü yazılıma tanımlanmalıdır. Eğer model uzunluğu ve kuvvet birimleri metre ve Newton ise, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ 'dir. Yer çekimi ivmesinin yönü, yerin merkezine doğrudur (Budynas ve Nisbett 2015).

Isıl yüklemelerde, her bir malzeme için verilen ısı genleşme katsayısının yanı sıra, yapının başlangıç sıcaklığı ve düğüm noktalarının son sıcaklıkları da bilinmesi gerekmektedir. Pek çok yazılım paketi, sonlu elemanlar yönetimi kullanarak, düğümlerin son sıcaklıklarını belirlemek için, öncelikle yapı üzerindeki ısı transfer analizini gerçekleştirmektedir (Budynas ve Nisbett 2015).

Yüzey yüklemesi, genelde birçok elemana uygulanabilmektedir. Örneğin, düzenli veya düzgün dağılmış enine çizgisel yükler, (kuvvet/uzunluk) kirişler üzerinde belirtilebilmektedir. Düzgün ve doğrusal basınç, genellikle iki-boyutlu düzlemsel ve aksel simetrik elemanların kenarlarına uygulanabilmektedir. Levha şeklindeki elemanlara, yatay kuvvet uygulanırken, içi dolu briket elemanlarına basınç uygulanabilmektedir.

Her bir yazılım paketi, bu yüzey yüklerini belirlemek için, metin ve grafik şekillerinin genellikle birleştirildiği, özgün bir tekniğe sahiptir (Budynas ve Nisbett 2015).

2.3.7. Sınır Şartları

Yükleme yapılan yapının sonlu elemanlar modellerinin tanımlanması sırasında analizcinin model üzerinde kullandığı sınır şartları hesaplamaların doğruluğu açısından önem arz etmektedir. Bu işlem basamağı sırasında, modellerde çözüm hızı ve çözüm kesinliği parametreleri arasında optimum ayarlamalar yapılır.

Sınır koşulları, sonlu eleman modellerinde bilinmeyen sayısının azaltılması ve çözümleme süresini en aza indirgenmesinde ve yapının hesaplarının doğruluğunda önemli bir rol oynarlar.

2.4. Kaynak Araştırması

Toan ve ark. (2009) 'Finite Element Method Simulations to Improve Press Formability of Door Hinge' konulu makale çalışmalarında, formlama sırasında düzgün tasarlanmayan kenar ve köşe bölgelerinin stress ve gerinme konsantrasyon bölgesi oluşturarak kırılmalara sebep olabileceğini belirtip, alternatif şekiller üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları kalıp ve çevre kesimi yapılmış saç tabakasının 3 boyutlu geometrisini Catia'da oluşturmuşlardır. 'Abaqus 6.5' sonlu elemanlar programı kullandıkları çalışmalarında oluşturdukları modelleri explicit çözücü kullanarak çözdürmüşlerdir. Sonlu analiz modellerinin ilk sonuçlarını kırılma gözlemledikleri test parçası ile karşılaştırmışlar. Ardından bu kırılmaya etken olan parametreleri belirleyip. Sorunlu bölgeyi iyileştirme amacı ile 'Taguchi' metodunu kullanarak optimum parametreleri belirlemişlerdir. Analizler sırasında menteşe için kullandıkları SAPH-440-P çelik malzemesini şekillendirme davranışını Krukowsky'nin pekleşme modelini kullanarak modellemişleridir. Oluşturdukları sonlu elemanlar modelinde alt kalıp 6 ekseninde kısıtlanıp üst kalıp sadece dikine yönde serbest bırakılmış. Sürtünmeli kontak olarak ilişkilendirdiği tabaka ve kalıplar arasındaki temas durumunu colombun sürtünme kanununu kullanarak 0,1'lik sürtünme katsayısı ile modellemişlerdir.

Sonuç olarak, şekillendirme esnasında yırtılma olmaması için gerekli optimum parametreler çalışmanın sonunda verilir. Sonlu elemanlar ve Taguchi kullanılarak yapılan bu metodun yaygınlaştırılabileceği belirtilmiştir.

Darwish ve ark. (2012) 'Numerical Study of Automotive doors' konulu makale çalışmalarında, otomotive kullanılan kapı türlerinden biri olan sallanan kapı için önceden belirledikleri static ve dinamik yükleme durumları için yapısal analiz çalışması yürütmüşlerdir. 'Hypermesh 8' sonlu elemanlar analiz programı kullandıkları çalışmalarında oluşturdukları modelleri Nastran yardımı ile çözdürmüşlerdir. Oluşturdukları sonlu elemanlar modellerinde sistem yanal rijitlik testleri için kapının menteşelere bağlanan kısımlarından menteşe ekseninde dönmesine müsaade edip 5 serbestlik derecesinde ve kilit kısmından kapıyı 6 serbestlik derecesinde kısıtlayıp, pencerenin uç ve orta kısmından yükleme yapılarak. Kapı sarkması testleri için kapının menteşelere bağlanan bölgesinden 6 serbestlik derecesinde kısıtlanarak. S noktasından dikine yönde yükleme yapılarak. Lokas analiz testleri için menteşe bağlantı noktaları, kilit, üst ve alt kapı çizgisi 6 ekseninde kısıtlanıp, çeşitli bölgelerden kapıya 100 N kuvvet sınır şartları uygulanarak kapı modellenmiştir. Ark kaynak kullanılan parçalarda rijit eleman, spot welding kullanılan parçalarda 'CWELD' kullanmışlardır. Eleman boyutu 8 mm ile 16 mm arasında tayin edilip. Quadratik kabuk elemanlar (% 10 triangle eleman kullanımı limit) kullanılmıştır. Sonuç olarak yapılan testlerin sonunda ön ve arka kapının simülasyon sonuçlarının hedef değerleri sağladığı. İki kapı içinde bütün değerlerin hedef değerden iyi olduğunu ancak sadece yanal rijitlik testi için çıkan değerlerin hedef değerde olduğu tespit edilmiştir. Bu yükleme durumu için iyileştirme önerilerinde bulunmuşlardır.

Doğan ve ark. (2014) 'Experimental Verification and Finite Element Analysis of Automotive Door Hinge' konulu makale çalışmalarında, üç boyutlu datasını 'Catia V5 R20' çizim programında tasarladıkları otomotiv yan kapı menteşesinin sonlu elemanlar modelini 'Hypermesh V11'de oluşturmuşlardır. Sonlu eleman modellerinde 'Federal Motorlu Araçlar 206', extra yükleme ile kapı esnetme ve Y ekseninden aşırı yükleme durumlarını modellemişlerdir. 'Radioss' çözücüsünü kullanılarak, oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin çözdürmüşlerdir. Ağ yapısını oluşturma işlemi sırasında ağ

yapısı yüklemelerde stres yoğunluğunun olduğu bölgelerde sık tutmuşlar. Diğer bölgelerde daha kaba bir ağ yapısı tercih etmişlerdir. Bunun amacı olarak simülasyon sonuçlarının gerçek testlere yakınlığının arttırmak ve çözüm süresini azaltmak olduğunu belirtmişlerdir. Sonlu elemanlar modelinde S355J2 sıcak dövme malzemesi kullanılmışlar. Menteşelerin araca sabitlenmesinin modellenmesi için, sabit kanadın deliklerindeki düğümleri 6 serbestlik derecesinde kısıtlayarak ve hareketli kanatta yükleme, deliklerin içindeki noktalara kapının uç noktasını temsil eden noktadan veya iki menteşenin ortasından uygulamışlardır. Sıcak dövme ile S355J2 malzemesinden üretilen menteşeler makine ile işlenerek montaj delikleri oluşturmuşlar. Ardından üretilen menteşeler ile simülasyonu yapılan yükleme durumları için gerçek testleri yapmışlardır. Test ve simülasyon arasındaki yakın sonuçlardan yola çıkarak, sonlu elemanlar modelinin ileriki denemelerde süreci ve prototip maliyetlerinin azaltmak için kullanılabileceğine karar vermişlerdir.

Khannukar ve ark. (2015) 'Dynamic Analysis of Automotive Chassis Using FEA' konulu makale çalışmalarında, tasarladıkları şase tasarımının doğal frekans değerleri mod şekilleri gibi değerleri sonlu elemanlar metodu kullanarak değerlendirmişlerdir. 'Catia V5' tasarım programı kullanarak üç boyutlu tasarımını oluşturdukları şasinin sonlu elemanlar modelini Hypermesh programını kullanarak oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu modelin çözümlenmesi için Nastran çözücüsü kullanmışlardır. Oluşturdukları sonlu elemanlar modelinde ağ yapısı olarak 88 500 eleman kullanmışlardır. Modelde doğal frekans ve mod şekillerini elde edebilmek için serbest sınır şartlarını kullanmışlardır. Çalışmalarında şasinin malzemesi için AISI 1015 çeliği tercih etmişlerdir. Sonuç olarak, çalışmalarında sonlu elemanlar modeli kullanarak hesapladıkları sonuçlar ile analitik sonuçlar arasında uyum olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yol yüzey şartlarından kaynaklanan ivmelenme cevapları analiz edilmiş ve kaburga ve yatay kanalların kalınlığının ilk tasarıma göre iki katına çıkarılması halinde ivmelenme durumunun % 20,24 oranında azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

Tüfekci ve ark. (2015) 'Design Optimization of Aluminum Hinge Parts for Lightweight Vehicles: Performance, Durability and Manufacturability' konulu makale çalışmalarında, üç boyutlu dadasını 'Catia V5' çizim programında tasarladıkları otomobil

kapı menteşesinin bağlantı elemanının sonlu elemanlar modelini 'Hypermesh V13' analiz programında oluşturmuşlardır. Çalışmalarında çözücü olarak 'Radioss' yazılımını kullanmışlardır. Sonlu eleman modellerinde müşteri istekleri ve kapı şartnameleri adı altında X yönünde yükleme, Y yönünde yükleme, kapı kilitleme noktasından dikey yükleme, kapı ağırlığında sarkma testlerini modellemişlerdir. Çalışma sırasında ağ yapısı modelinde tetra parabolic eleman tipi seçilmiştir. Sistem 120 000 eleman sayısı ve 520 000 düğüm noktası ile ağ yapısı oluşturulmuştur. AA6082 alüminyum malzeme bağlantı elemanı için seçilmiştir. Menteşelerin araca sabitlenmesinin modellenmesi için, sabit kanadın deliklerindeki düğümleri 6 serbestlik derecesinde kısıtlayarak ve hareketli kanatta yükleme, deliklerin içindeki noktalara kapının uç noktasını temsil eden noktadan veya iki menteşenin orta noktasından uygulamışlardır. Sonuçların incelenmesinde 'Hyperview' kullanılmıştır. Çalışmalarının ilk aşamalarında, parça geometrisi topoloji optimizasyonu % 35, % 40, % 45 hacim azaltması sınır şartları için kullanılmıştır. Hesaplanan geometriler tasarımsal olarak yorumlanarak tasarım oluşturulmuştur. İlk süreçte oluşturdukları geometriyi çelik malzeme tayin ederek sonlu eleman modellerini hesaplatmışlardır. Ardından aynı geometrinin malzemesini AA6082 alüminyum malzemesi ile değiştirerek. Sonuçları karşılaştırmışlardır. Buldukları sonuçlar doğrultusunda alüminyum malzemesinin sonuçlarının uygunsuz olduğu kanaatine varmışlardır. Bu sonlu elemanlar sonucunu yaptıkları gerçek testler ile onaylamışlardır. Test ve sonlu elemanlar modellerinin incelenmesinin ardından delik çevresinde et kalınlığını uygun boyutlara getirmek için bir seri sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler doğrultusunda uygun tasarımı 4,8 mm delik çevresindeki et kalınlığı olarak tayin etmişlerdir. Yeniden oluşturdukları prototiplerde deneysel testlerde başarılı sonuçlar almışlardır. Sonuç olarak çalışmalarında link malzemesi üzerinde eski durumuna göre % 60 oranında hafifletme sağlamışlardır.

Tüfekçi ve ark. (2015) 'Otomobil Kapı Menteşelerinin Bilgisayar Destekli Tasarımı, Analizi ve Doğrulanması' konulu bildiri çalışmasında, otomotiv menteşe tasarım ve doğrulanmasını gösteren bir örnek bir çalışma sunmuştur. Tasarımın doğrulanmasında kullanılan simulasyon ve test sonuçlarını çalışmalarında paylaşmışlardır. Yaptıkları çalışmada S355J0 malzemesi kullandıkları menteşe üzerine rüzgar dayanımı testini hem sonlu elemanlar yöntemi kullanarak hemde menteşenin prototipleri üzerinde gerçek

testler yaparak karşılaştırmışlardır. Oluşturdukları ilk tasarım simülasyonlarda ve gerçek teste aynı noktadan kırılma göstermiş. Ardından güçlendirdikleri tasarımı simülasyonlarla test edip onayladıktan sonra gerçek testini gerçekleştirmişlerdir. Sonlu elemanlar modelini Hypermesh’de oluşturmuşlardır. Ağ yapısını 60 000 eleman, 15 000 düğüm noktası ile 1,5 mm eleman boyu kullanarak tetra yapılı elemanlardan oluşturulmuşlardır. Menteşenin araca olan bağlantısını menteşenin montaj deliklerinin iç yüzeylerinden 6 serbestlik derecesinde kısıtlayarak ve menteşenin kapıya montaj olan deliklerinin iç yüzeyinden kilitleme noktasına bağlanarak kapının montajını modellemişlerdir. Sonuç olarak, simülasyon sonuçlarının deneysel testleri % 8 hata oranı simüle ettiği görülmüştür. Güçlendirme çalışması yürüttükleri menteşelerine tasarım onayını almış ve çalışmanın sonucu olarak sonlu elemanlar metodunun güvenilirlik, zaman ve maliyet açısından yararlı olduğu ortaya konulmuştur.

More ve ark. (2016) ‘Stress analysis and Optimization of Car Door Hinge’ konulu makale çalışmalarında, üç boyutlu datasını ‘Catia V5’ çizim programında tasarladıkları otomotiv yan kapı menteşesinin sonlu elemanlar modelini ‘Hypermesh’ analiz programında oluşturmuşlardır. Çalışmalarında çözücü olarak ‘Ansys APDL’ kullanılmıştır. Sonlu eleman modellerinde ‘ISI4225:1995’ hindistan standardının boyuna ve yanal yüklemelerini lineer olarak modellemişlerdir. SAE 1008 hafif çelik malzemesi çalışmalarında menteşe yapraklarının malzemesi olarak seçilmiştir. Lineer hesaplama yaklaşımı çalışma için kullanıldığından bu malzemenin akma gerilmesi değeri başarısızlık değeri olarak kabul edilmiştir. Çalışmalarında ağ yapısını üç boyutlu tetra-hedral eleman tipi ile 4 mm eleman boyutu kullanarak oluşturmuşlardır. Oluşturdukları ağ yapısı 49 776 eleman düğümü ve 13 613 eleman sayısından oluşturulmuştur. Menteşenin sabit yaprağının araca montajlanmasını modellemek için, sabit kanadın deliklerindeki düğümleri 6 serbestlik derecesinde kısıtlamışlardır. Şartnamede belirtilen kuvvetler menteşenin orta noktasından bağlandığı aparata şartnamede belirtilen yönlerde uygulanmıştır. Simülasyon sonuçlarından boyuna yüklemeye en yüksek gerilme değeri 242,21 MPa, yanal yüklemeye için 248 MPa olarak tayin edilmiştir ve sonuçlar başarısızlık değerinin altında kalmasından dolayı uygun kabul edilmiş ve ardından prototip olarak üretilen menteşeler ile simülasyonu yapılan yüklemeye durumları için deneysel testleri yapmıştır.

Simulasyon ve deneysel testlerin kıyaslanması sonucunda, Boyuna yükleme için % 8,5, yanal yükleme için % 7,4 hata değeri ortaya konulmuştur.

Yılmaz ve ark. (2017) 'A Study of Lightweight Door Hinges of Commercial Vehicles Using Aluminum Instead of Steel For Sustainable Transportation' konulu makale çalışmalarında, ticari amaçlı araçların menteşelerinde hafifletme amaçlı yaptıkları çalışmayı sunmuşlardır. Çalışmalarında 3 farklı alüminyum malzemeyi (Al6082, Al6262, Al7075) çelik malzeme (S355J0) ile sonlu elemanlar analizi yöntemini kullanarak karşılaştırmışlardır. Yaptıkları karşılaştırmalarda menteşe dayanım testini (FMVSS206) ve rüzgar dayanımı testini kullanmışlardır. Sonlu eleman modellerinde tetra yapılı ağ yapısı kullanıp. Menteşenin araca montaj edilen bölgelerini montaj deliklerini 6 serbestlik derecesinde kısıtlayarak oluşturmuşlardır. Yükleme ise araç kapısının menteşeye bağlandığı noktalardaki deliklerden menteşe dayanımı için iki menteşenin ortasından, rüzgar dayanımı için kapının kilitlenme noktasından uygulamışlardır. Çalışmalarında sonuç olarak ticari araçlar için hafifletilmiş kapı menteşesi tasarlanıp prototipi üretilmiştir. Sonlu elemanlar analizi geliştirme aşamasında kullanılmıştır. Araç kapılarında alüminyum alaşımlarının kullanımı araştırılmıştır. Güvenlik şartnameleri ve istekleri baz alınarak yapılan birçok çalışma ile uygun alüminyum malzeme çeşidi seçilmiştir. Uygun malzemenin seçilmesinden sonra testler ile alüminyum malzeme kullanmanın güvenilirliğinden emin olunmuştur. Tasarım ve malzeme değiştirilmesi ile menteşenin toplam ağırlığı % 65 oranında azalmıştır. Bu çalışmanın sonunda belirtilen ağırlık azaltması ile yıllık tonlarca malzeme tasarrufu yapılabileceği. Ayrıca yapılan hafifletme işleminin binlerce kilogram CO₂ emisyonunu azaltabileceği belirtilmiştir.

Joshi ve ark. (2017) 'Design&Development of Car Door Hinge and Disassemble System' konulu makale çalışmalarında kaza yapmış araçlarda kapıların kolay sökülerek kazazedeyi araçtan çıkartma amacıyla yeni bir menteşe tasarımı oluşturmuşlardır. Alüminyum malzemedeki tasarladıkları menteşe modelini 'IS 14225:1995' hindistan standartlarına göre boyuna ve yatay yükleme durumları için test etmişlerdir. Menteşenin üç boyurlu tasarımını Catia üzerinde gerçekleştirip. Sonlu elemanlar modelini 'Ansys 14' üzerinde oluşturmuşlardır. Sonlu elemanlar modelinde hareketli kanat kısmı

6 ekseninde kısıtlanarak şartname yükleri boyuna ve yanal olarak uygulamışlardır. Sonuç olarak, öneri olarak sunulan tasarımın çekme dayanımı şartnamelerini hızlı sökülme zamanları ile sağladığını ve tasarımlarında kazadan sonra her hangi sensör bozulması durumuna karşı elektronik aksamalardan uzak durulduğunu belirtmişlerdir.

Gattmah ve ark. (2017) 'AISI 1010 çeliği için proses parametrelerinin sbit mandrel ile soğuk boru çekme işlemine etkilerinin sonlu elemanlar analiziyle incelenmesi' konulu makale çalışmalarında, sabit mandrek ile soğuk boru çekme işlemini sonlu elemanlar yöntemi ile modelliyerek kesit daralma oranı, yarı kalıp açısı, yarı mandrel açısı ve sürtünme katsayılarının çekme gerilmesine etkilerini araştırmışlardır. AISI 1010 çelik malzemesi tanımladıkları geometrik dalarını Abaqus sonlu elemanlar programı ile modellemişlerdir. Oluşturdukları sonlu elemanlar modellerinin açık çözücü kullanarak çözdürmüşlerdir. İlk olarak oluşturdukları % 16 kesit daralmasını modelledikleri sonlu elemanlar modelini yaptıkları deneysel çalışmalardan elde ettikleri kuvvet-yer değiştirme eğrileri ile doğrulayıp. Ardından kesit daralmaları % 16, % 19,4, % 23, kalıp açıları 5°, 7°, 10°, 12°, 15°, sürtünme katsayıları 0,1, 0,125, 0,15 parametrelerinin etkilerini denetlemişlerdir. Sonlu eleman modellerinde asimetrik iki boyutlu modelleme kullanıp, çekme işlemi uygulanacak boru malzemesine 4,25 m/dk hız verilmiş ve kalıp bütün serbestlik derecelerinde sınırlandırılmıştır. Ağ yapısı olarak modellerinde 4 noktalı kare eleman tipi seçmişlerdir. Kalıp yüzeyleri ike boru arasındaki temas yüzeyi ilişkilerini sürtünmeli temas yüzeyi olarak tanımlayıp. Sürtünme kanunu olarak coloumb sürtünme kanununu kullanmışlardır. Sonuç olarak, çalışmalarında ön kalıp açısının ardından gelen bölgenin açısından sonuçlar üzerinde daha etkili olduğunu, bütün sürtünme katsayılarında kesit daralması miktarı arttıkça çekme gerilmelerinin arttığı, kalıp açıları 12° ve 15° için çekme gerilmelerinin en az değerler olduğunu, yarı kalıp açısının 2° ile 4° yarı mandrel açısının 7° olması halinde konik borular için çekme işlemlerinde kullanılabilceğini, bütün kalıp ve tıkaç açıları için sürtünme katsayısının artması ile çekme stres değerlerinin artacağı belirtilmiştir.

Bayraktar ve ark. (2018) 'Frenli Taş Menteşe Kinematik, Kinetik ve Yorulma Analizi' makale çalışmalarında, çok parçalı gövde analizi programı ile yapılan analizlerden elde ettikleri yatak ve mafsal kuvvetlerini parçanın Ansys programında oluşturdukları sonlu

elemanlar modelinde girdi olarak kullanarak. Parçanın yorulma analizlerinde kullanmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları parçayı AISI 1045 çelik malzemesinden üretilen TS EN 15570 standardına göre oluşturdukları sonlu elemanlar vaka yüklemelerinde simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak bu oluşturdukları metodu parçanın zamana bağlı yapısal analizi yerine kullanılabilir bir metod olarak çalışmalarında belirtmişlerdir.

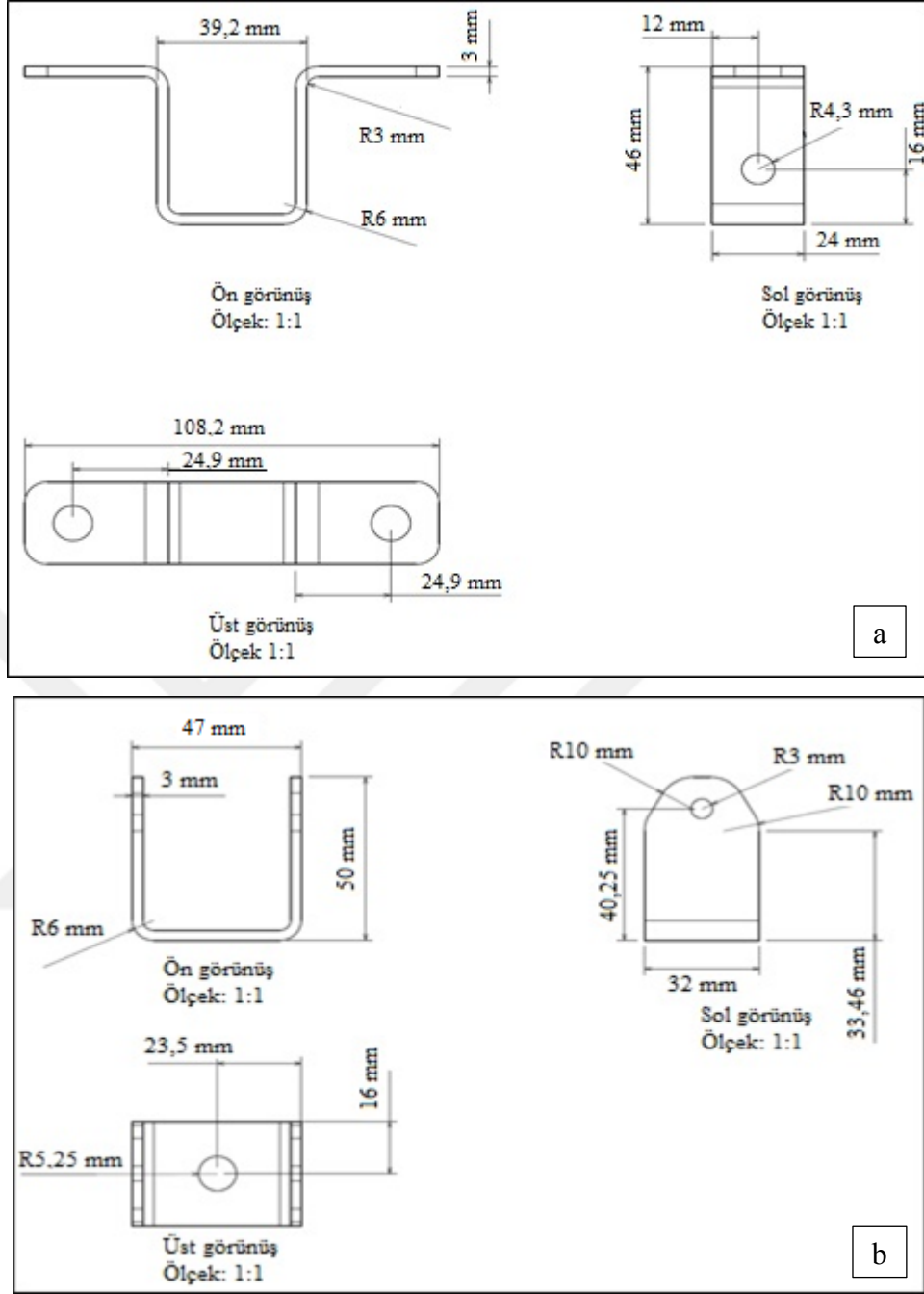
İlhan ve ark. (2018) ‘Sac Metal Şekillendirmede Mukavemet Arttırma ve Sonlu Elemanlar Analizlerinin Dinamik Testler ile Karşılaştırılması’ konulu makale çalışmalarında, beyaz eşya sektöründeki yatay ekseninde açılık kapanan ürünler için tasarlanmış menteşeler ömür testleri için incelenmiştir. Dx-51 malzeme kullanılan menteşelerin, üç boyutlu tasarımları Solidworks çizim programında yapılmıştır. Yapının sonlu elemanlar modelleri Solidworks programında oluşturulmuştur. Kurulan modellerin çözümlenmesinde kapalı çözücü kullanılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen veriler, menteşenin ömrünü temsil eden ömür test cihazında test edilmiş parça ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Bu doğrulamanın ardından yırtılmanında görüldüğü yüksek gerilim bölgeleri tasarım iyileştirilmesi kapsamında değiştirilerek oluşturulan yeni tasarım doğrulanmış sınır şartlarında tekrara analiz edilmiş ve ilk tasarım ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sac malzemelerde mukavemet arttırıcı değişkenler ile parçanın maliyeti arttırılmadan ürünün dayanımının arttırılabildiği, ürünün yorulma dayanımının iyileştirilebilmesi için parçanın üstünde biriken gerilmelerin ve yer değiştirmelerin az olması gerektiği görülmüştür. Ayrıca çalışmalarında ilk tasarımın çalışma çevriminin 140 000’den 250 000 seviyelerine çekerek % 56 oranında iyileştirme sağladıklarını tesbit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

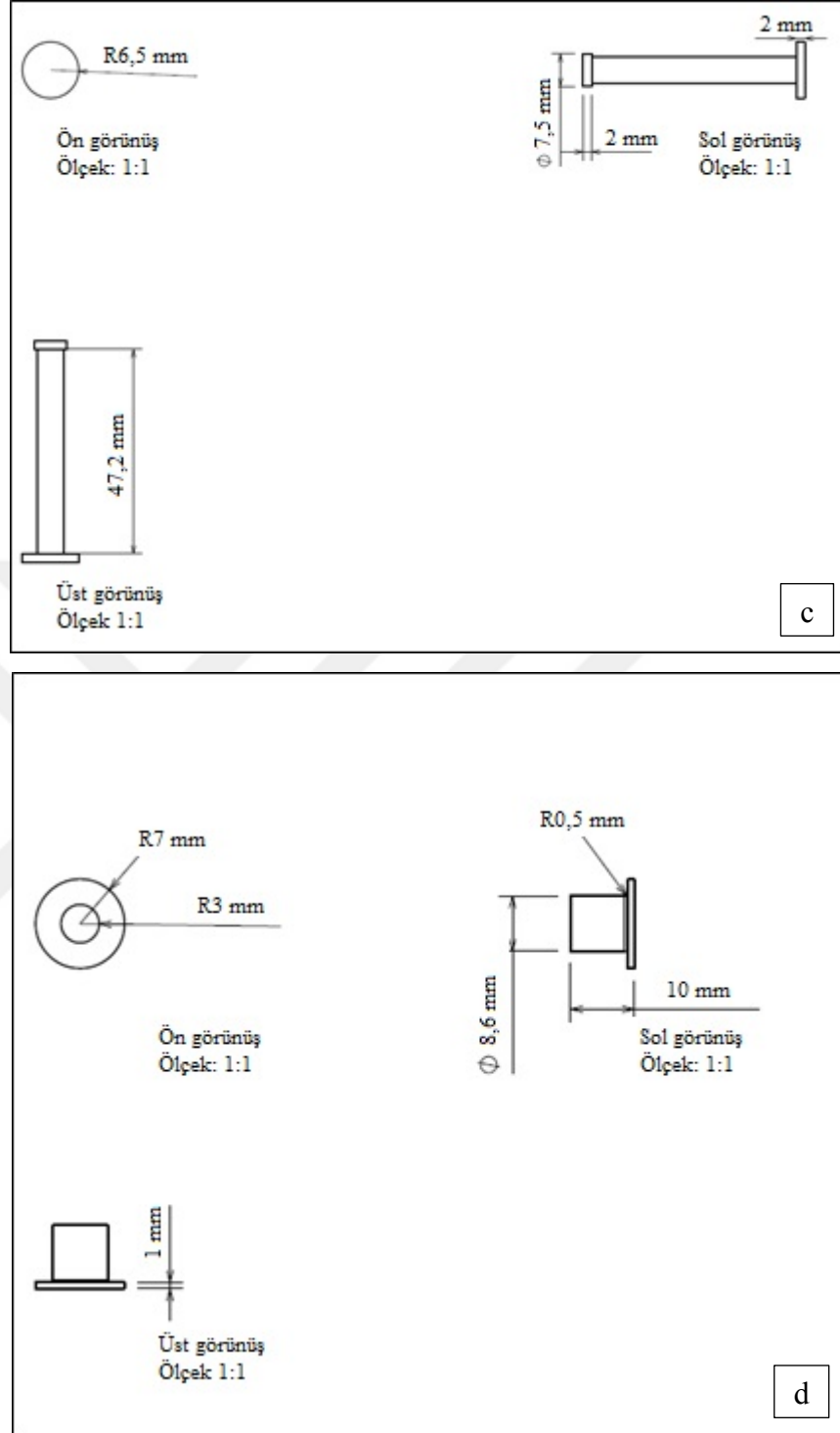
3.1. Sahte Model Tasarımı ve Üretimi

Ürün tasarımı; fikirden yeni bir ürüne giden bir süreç olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde tasarımcılar bu süreç boyunca birçok çeşit araç kullanmaktadırlar. Bu çalışmada, 'Catia V5 R22' tasarım yazılımı olarak ve 'Ansys workbench 18' simülasyon aracı olarak kullanılmıştır (Erol ve Güler 2019).

Çalışmada, piyasanın genelindeki 'hatchback' tipli binek araçların bagaj menteşeleri referans alınarak prototip araç mentelesi tasarlanmış ve sahte model olarak isimlendirilmiştir. Sahte model üretim sırasında kullanılan sac malzemesinin değişkenliği, homojen olmayan metal şekillendirmeleri, şekil verme postaları arasında oluşan pekleşme yüzünden malzeme özelliklerinin deforme olmuş bölgelerde diğer bölgelere oranla farklılık göstermesi gibi üretim hatalarından test modelinde uzak durmak amacıyla basit şekiller kullanılarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu sayede sadece bu çalışmaya özgün olan sonlu elemanlar modeli kurulumunun test edilmesi amaçlanmıştır. Sahte modelin ölçüleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Erol ve Güler 2019).

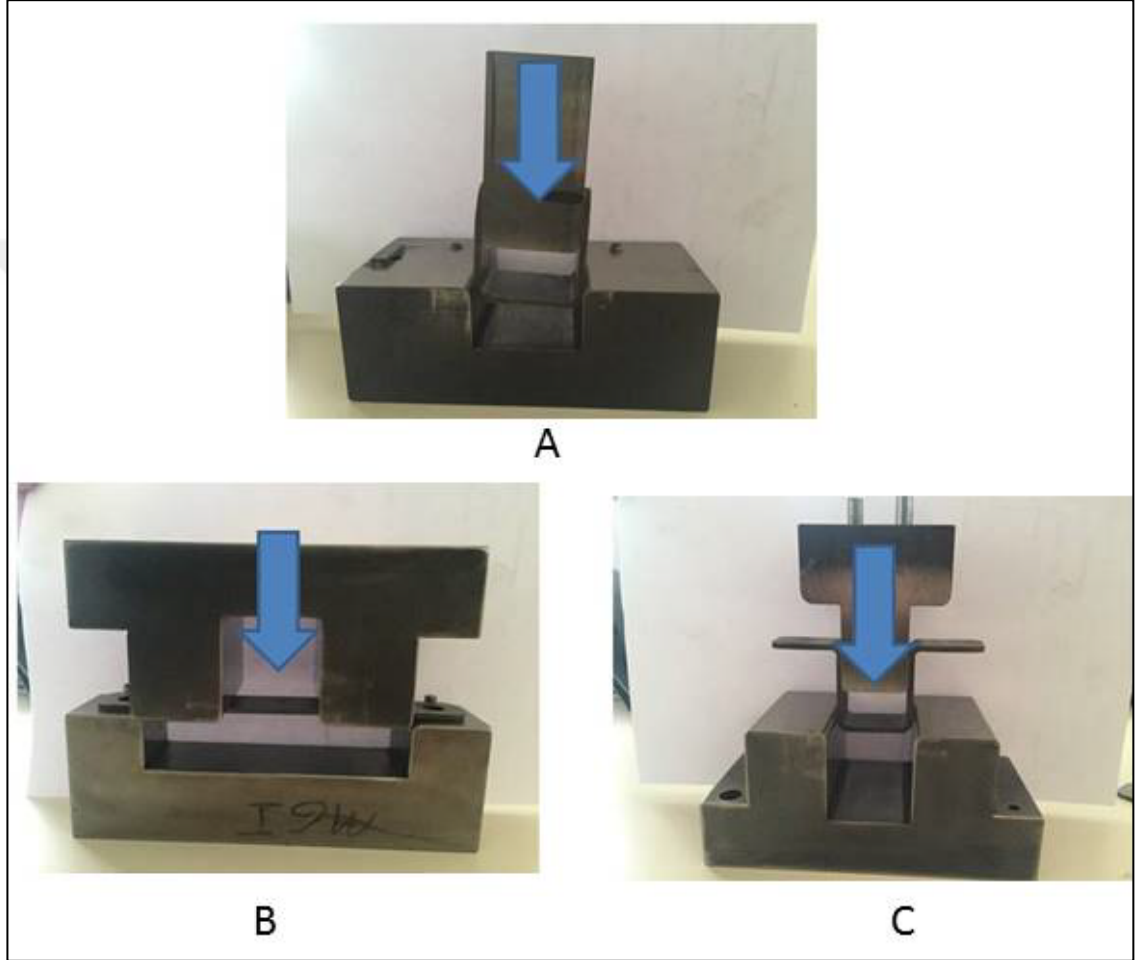


Şekil 3.1. Sahte model; (a) hareketli kanat Ölçüleri, (b) sabit kanat ölçüleri, (c) eksen pimi ölçüleri ve (d) burç parçası ölçüleri (Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 3.1. Sahte model; (a) hareketli kanat Ölçüleri, (b) sabit kanat ölçüleri, (c) eksen pimi ölçüleri ve (d) burç parçası ölçüleri (Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek alınmıştır) (devam)

Presleme prosesi; kalıp içine yerleştirilen metal plakanın kalıbın dişi ve erkek taraflarının kapanması ile şekil verme işlemidir. Bu çalışmada, Şekil 3.2’de belirtilen prototip kalıpları ile sahte menteşenin hareketli ve sabit kanat parçaları üretilmiştir. Sahte menteşenin eksen pimi, soğuk dövme işlemi kullanılarak ve burç malzemesi ise metal toz metallurjisi yöntemi ile üretilmiştir (Erol ve Güler 2019).

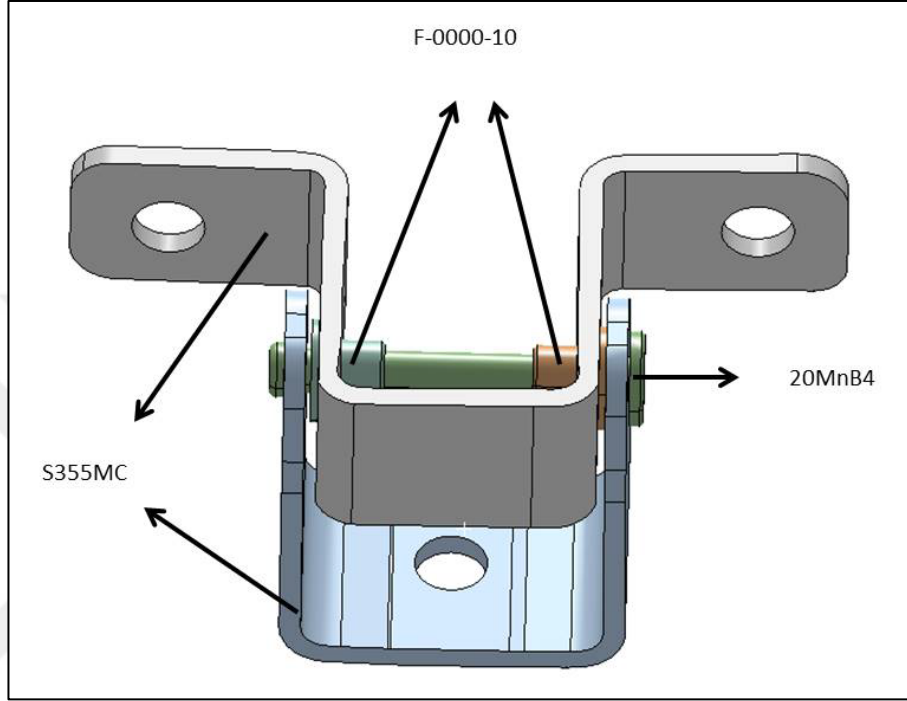


Şekil 3.2. Sahte menteşe parçalarının prototip adımları (A: Sabit Yaprak Bükme Adımı, B: Hareketli Yaprak İlk Büküm Operasyonu, C: Hareketli Yaprak Son Büküm Operasyonu) (Erol ve Güler 2019’den alınmıştır).

3.2. Malzeme Datası

Malzeme özellikleri, sonlu elemanlar ile yapılan modellemelerde en önemli girdilerden biridir. Gerçekte üründe kullanılan malzemenin özellikleri, gerçekçi şekilde temsil etmeyen malzemenin çekme dataları ile oluşturulan sonlu elemanlar modellerinden elde

edilen deformasyon sonuçlarını ve dolayısı ile ürün üzerinde görülen gerilme değerlerini etkileyebilmektedir. Sonuç olarak, malzeme datası sebebi ile sonlu elemanlar modeli ile gerçek test arasında farklılıklar ortaya çıkabilir. Bu çalışmada kullanılan malzemeler ve kullanıldığı sahte menteşe komponentleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



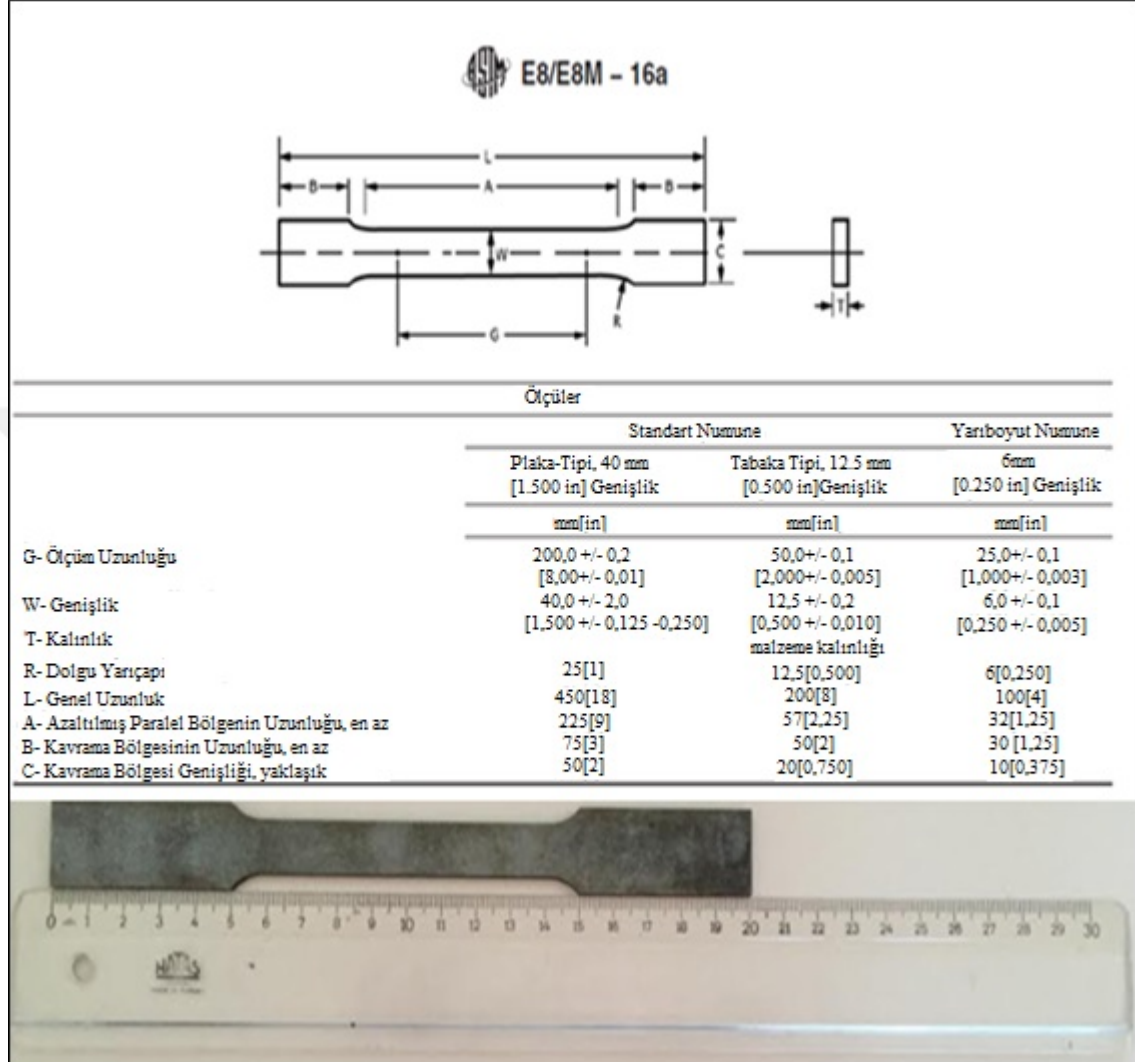
Şekil 3.3. Sahte menteşe malzeme atamaları

Bu çalışmada, S355MC çelik malzemesinin çekme test numune ebatları ve testleri Amerikan Derneği Test ve Malzeme kurumunun E8/E8M standardına göre gerçekleştirilmiş olup; eksen pimi malzemesi olarak kullanılan 20MnB4 malzemesinin çekme eğrileri tez çalışmasından referans alınmıştır (Turna 2008). Ek olarak burç malzemesi olan F-0000-10’in çekme eğrisi metal toz endüstrisi standart 35-SP’den referans alınmıştır

(<https://www.mpif.org/News/TabID/164/ArtMID/586/ArticleID/123/New-MPIF-Standard-35-Materials-Standard-Released.aspx> Erişim Tarihi: 08/05/2018).

S355MC malzemesinin eğrisinin elde edilmesi işlemi sırasında, çekme basma test cihazının kısıtlarından dolayı 12,5 mm genişliğinde numuneler kullanılmıştır. Çekme testleri 5 mm/dk’lık çekme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Çekme numunesinin şeklini ve

E8/E8M şartnamesinden alınan kesiti Şekil 3.4’de gösterilmektedir (<https://www.astm.org/Standards/E8.html> Erişim Tarihi: 08/10/2018).



Şekil 3.4. ASTM E8/E8M çekme testi şartnamesine göre numune tipleri ve boyutları (ASTM E8/E8M şartnamesinden değiştirilerek alınmıştır) (ASTM E8/E8M şartnamesinden değiştirilerek alınmıştır)

S355MC çelik malzemesinin testlerinden elde edilen mühendislik çekme eğrileri gerçek çekme-uzama eğrilerine Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 kullanılarak dönüştürülmüştür. Ayrıca çalışmada kullanılmak üzere şartnamelerden elde edilmiş olan F-0000-10 malzemesinin çekme eğrisi plastik bölgesi doğrusal olacak şekilde gerçek çekme-uzama eğrisine Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 ile dönüştürülerek oluşturulmuştur. Simülasyonlarda kullanılan 20MnB4 malzemesi referans alındığı tez çalışmasında

gerçek çekme gerilme-uzama eğrisi olarak paylaşıldığı için çalışmada belirtildiği şekilde alınmıştır(Turna 2008).

Kullanılan malzemeler için malzeme kompozisyonu Çizelge 3.1’de, mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir. Gerçek gerilme şekil değiştirme dönüşüm denklemleri:

$$\sigma_{\text{gerçek}} = \sigma_{\text{mühendislik}} * (1 + \epsilon_{\text{mühendislik}}), \quad (3.1)$$

$$\epsilon_{\text{gerçek}} = \ln(1 + \epsilon_{\text{mühendislik}}), \quad (3.2)$$

Çizelge 3.1. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

Malzeme	%C	%Fe	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%B
Steel	-	-	-	-	-	-	-	-	-
*F-0000-10	0.3 max	Bal.	-	-	-	-	-	-	-
**S355MC	0.12 max	Bal.	0.5 max	1.5 max	0.025 max	0.02 max	-	-	-
***20MnB4	0.2022	Bal.	0.0922	0.9822	0.0063	0.0042	0.0345	0.007	0.0046

* <https://www.mpif.org/News/TabID/164/ArtMID/586/ArticleID/123/New-MPIF-Standad-35-Materials-Standard-Released.aspx> ‘(08/05/2018)’ den alınmıştır

** https://www.steelnumbers.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=206 ‘Erişim Tarihi: 08/05/2018’ den alınmıştır

*** Turna 2008’den değiştirilerek alınmıştır

Çizelge 3.2. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

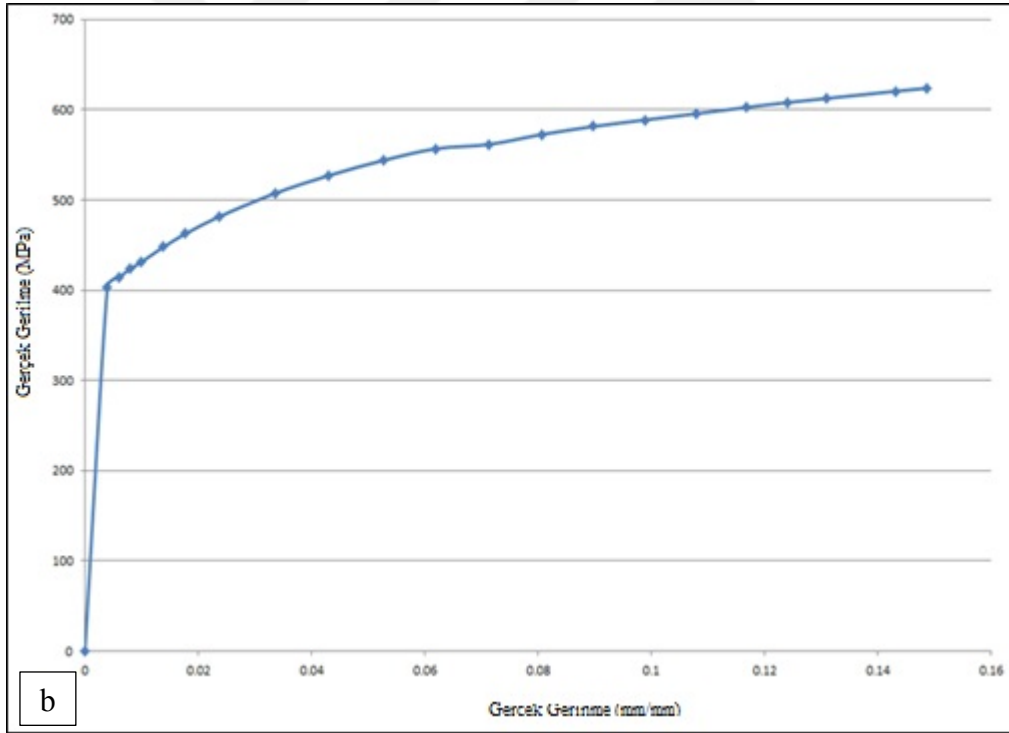
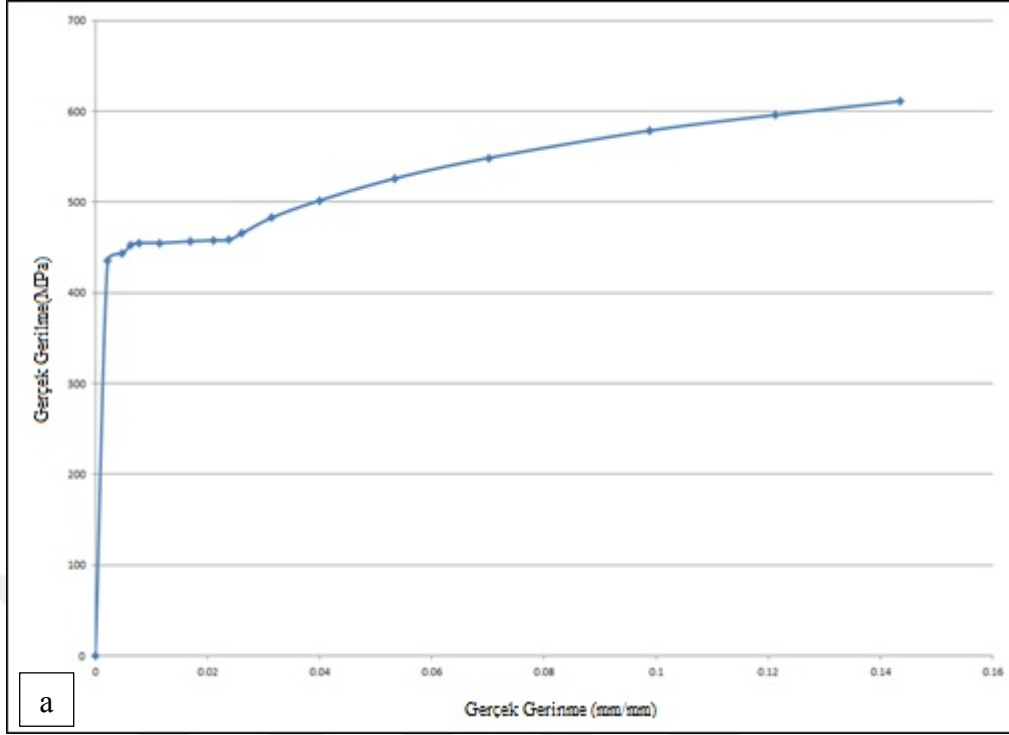
Malzeme İsmi	Malzeme Modeli	Elastisite Modülü (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Uzama(%)
Doğrusal Yapı Çeliği	İsotropik Doğrusal	200000	Plastik Deformasyon Göstermiyor	Limitsiz	Limitsiz
*F-0000-10	İsotropik Doğrusal Olmayan	96500	89.6	124	0.02
**S355MC	İsotropik Doğrusal Olmayan	194300	434.95	611.07	0.14
***20MnB4	İsotropik Doğrusal Olmayan	200000	403.05	636.04	0.1486

* <https://www.mpif.org/News/TabID/164/ArtMID/586/ArticleID/123/New-MPIF-Standard-35-Materials-Standard-Released.aspx> '(08/05/2018)' den alınmıştır

** https://www.steelnumbers.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=206 'Erişim Tarihi: 08/05/2018' den alınmıştır

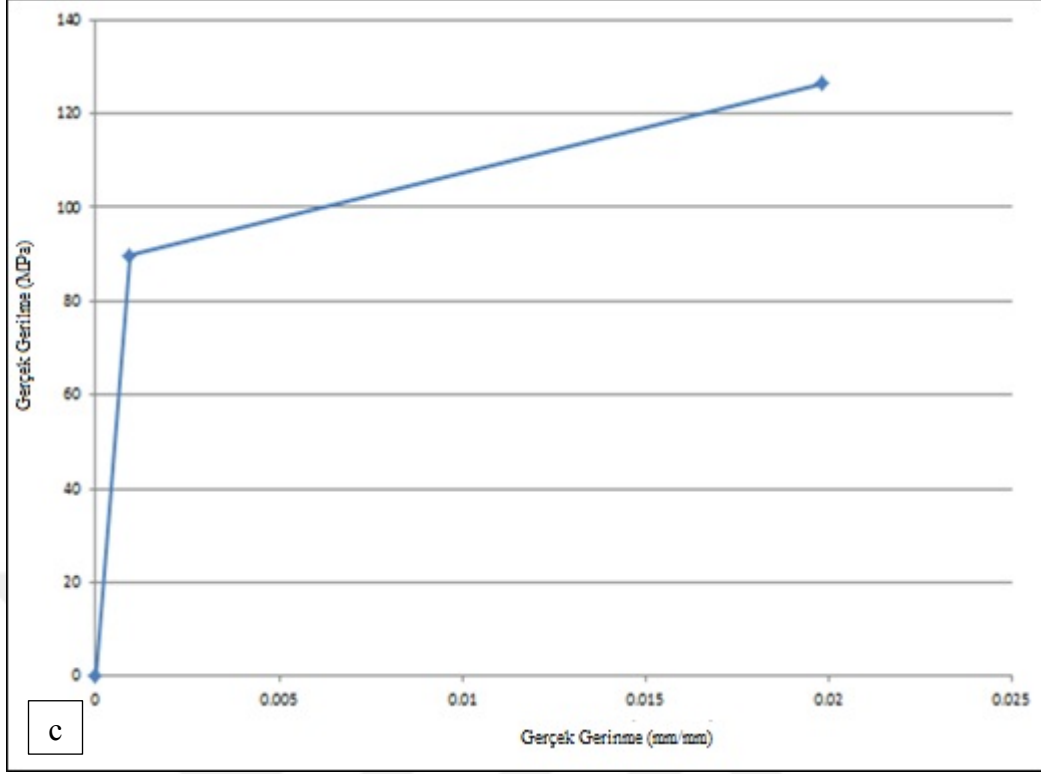
*** Turna 2008'den değiştirilerek alınmıştır

Kullanılan malzemeler için hesaplanan gerçek gerilme-uzama eğrileri Şekil 3.5'de belirtilmiştir.



Şekil 3.5. (a) S355MC Gerçek çekme gerilme-uzama eğrisi, (b) 20MnB4 gerçek çekme gerilme-uzama eğrisi (Turna 2008'den değiştirilerek alınmıştır) ve (c) F-0000-10 gerçek çekme gerilme eğrisi

(<https://www.mpif.org/News/TabID/164/ArtMID/586/ArticleID/123/New-MPIF-Standard-35-Materials-Standard-Released.aspx> '(08/05/2018)' den alınmıştır)



Şekil 3.5. (a) S355MC Gerçek çekme gerilme-uzama eğrisi, (b) 20MnB4 gerçek çekme gerilme-uzama eğrisi (Turna 2008’den değiştirilerek alınmıştır) ve (c) F-0000-10 gerçek çekme gerilme eğrisi
(<https://www.mpif.org/News/TabID/164/ArtMID/586/ArticleID/123/New-MPIF-Standard-35-Materials-Standard-Released.aspx> ‘(08/05/2018)’ den alınmıştır) (devam)

3.3. Sonlu Elemanlar Modeli (SEM)

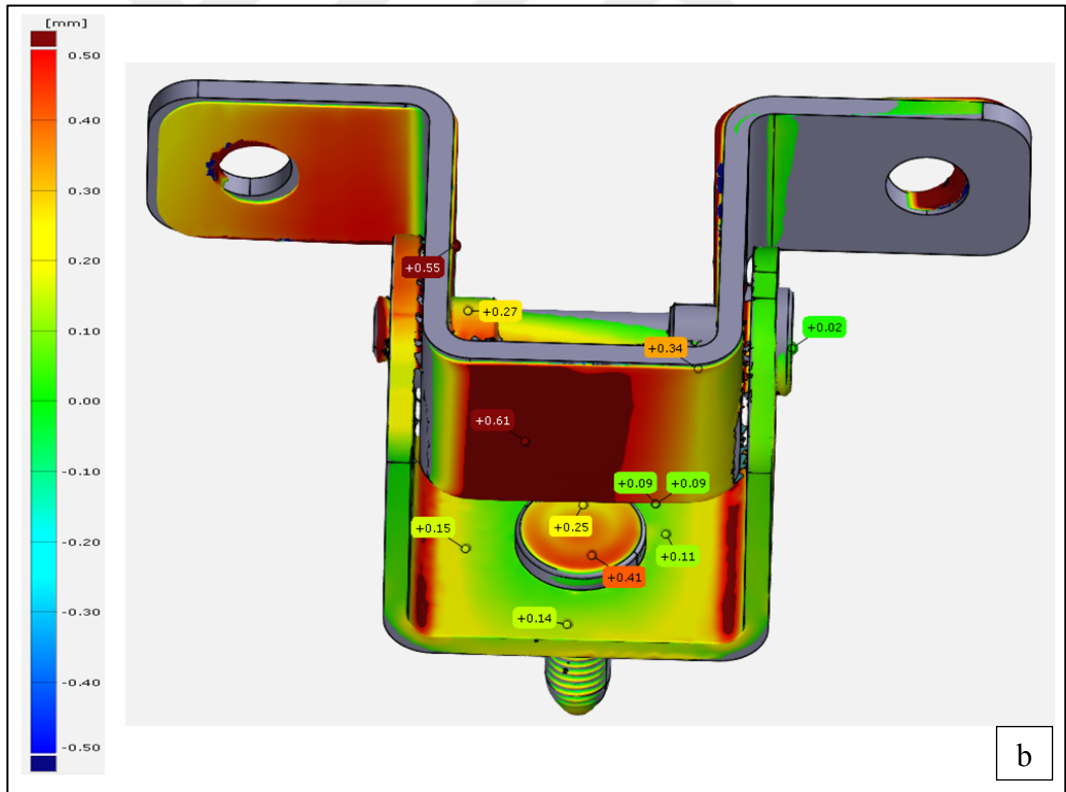
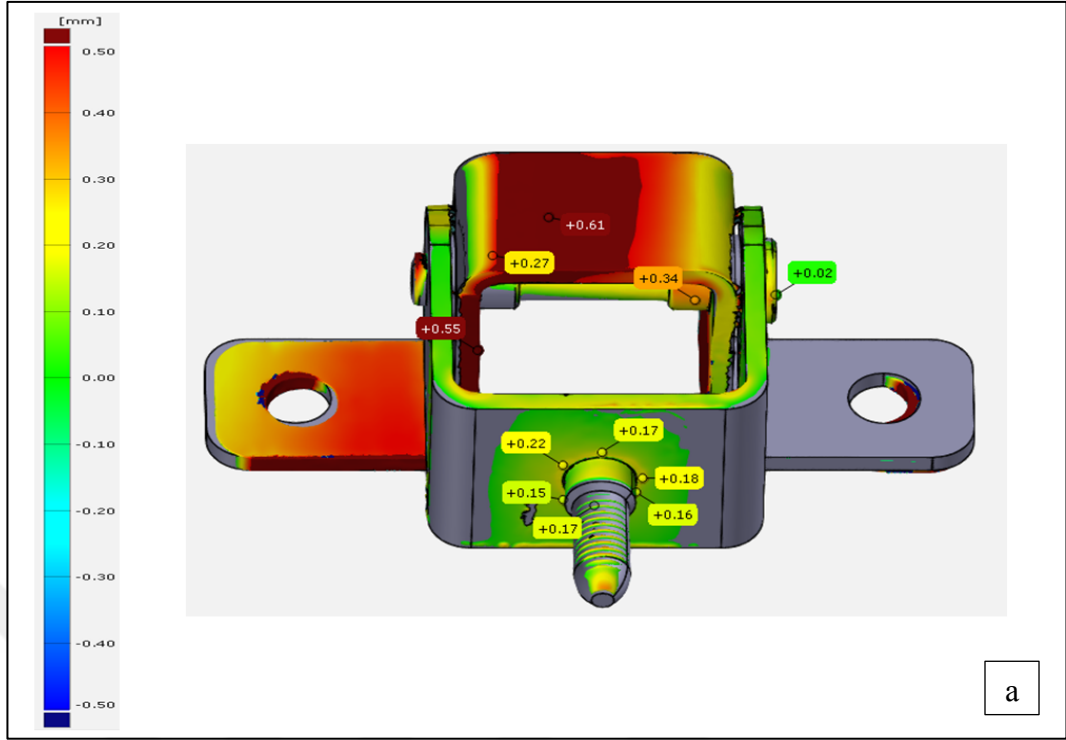
3.3.1. Simülasyon Parametreleri

Sonlu elemanlar programları ürünün tasarım aşamasında kullanılan güvenilir araçlardır. Tasarım ve validasyon aşamasında gerekli sürenin azaltılmasında etkin rol oynamaktadırlar. Bu tasarım doğrulamada ve sorunu incelemede kullanılan bu programlar karmaşık geometrilerin, isotropik veya isotropik olmayan yada birden fazla farklı tür malzeme ve malzeme modeli içeren yapıların yapısal olarak hesaplama kabiliyetine sahiplerdir. Ancak, birçok kabiliyetine rağmen bu tür hesaplamaların doğruluğu direkt olarak analizcinin tanımladığı parametreler olan malzeme özellikleri, sınır şartları ve etkili miktardaki ağ yapısı ile gerçek şartların uyumuna bağlıdır (Erol ve Güler 2019).

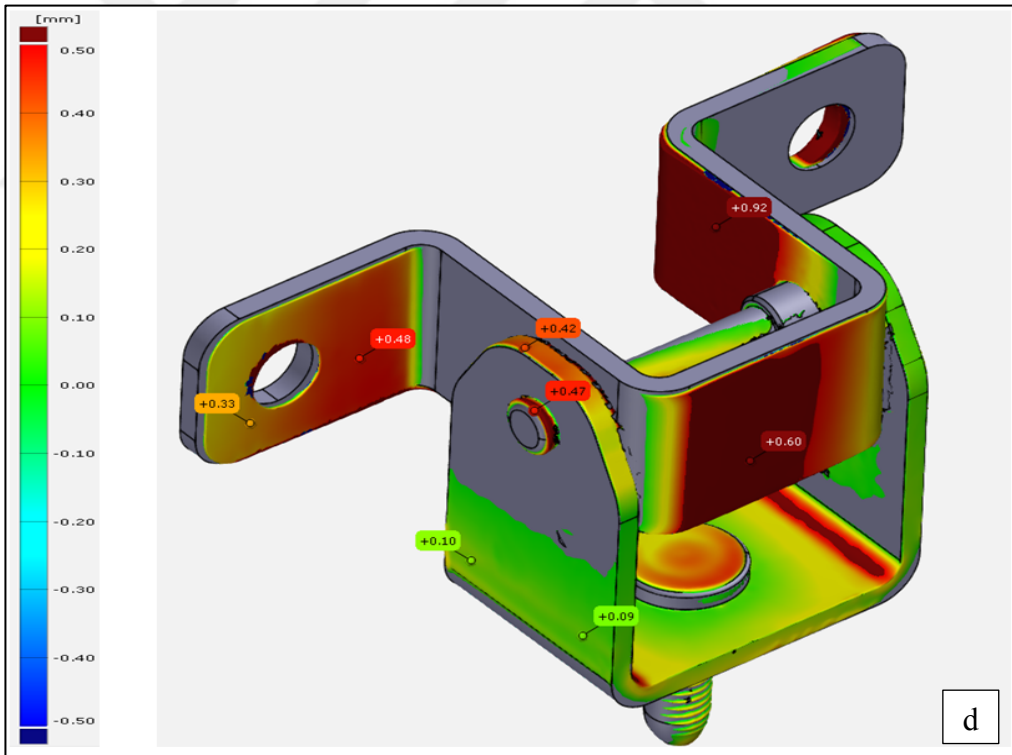
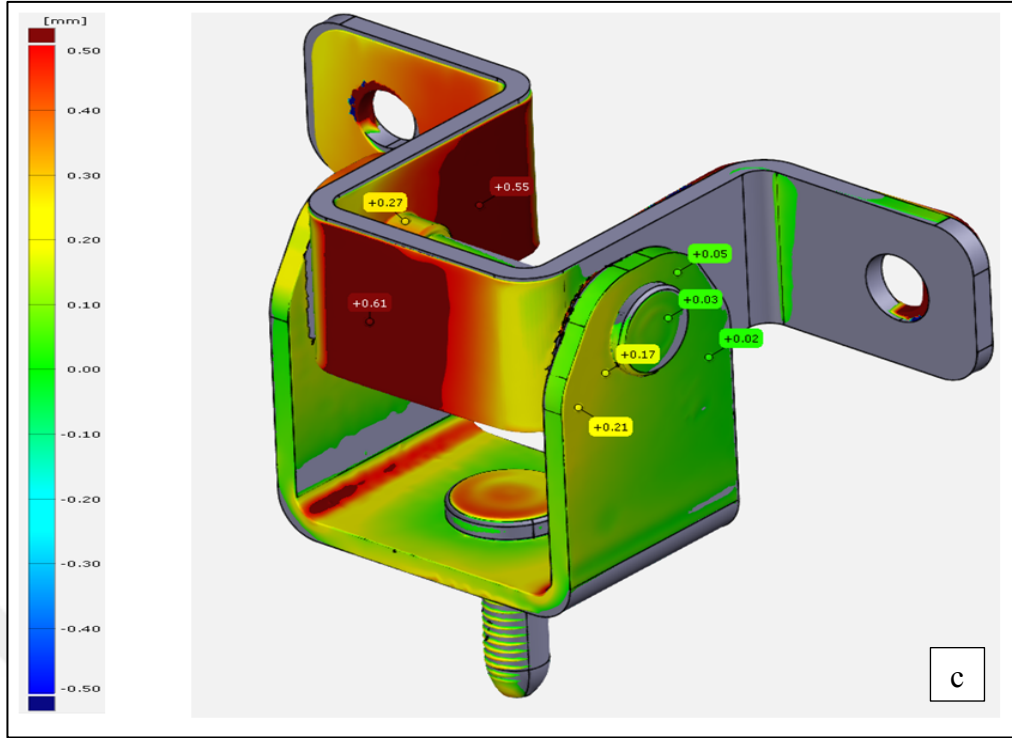
Bu çalışmanın amacı, sonlu elemanlar modeli ile deneysel testler arasındaki doğrulamayı etkileyen parametreleri belirleyip; bu uyumu sağlamak için belirlenen parametrelerin değerlerini tayin etmektir. Bu sebep ile 3D tasarlanan ürün ile gerçekte üretilen parça arasındaki üretimden kaynaklı geometrik farklılıklar, hareketli parçalar arasındaki sürtünme katsayıları ve burç malzemesi etkilerini değerlendirmek için parametrelerinin belirlenmişlerdir. Çalışma sırasında parametrelerin etkilerinin daha iyi incelenebilmesi için her analizde bir parametre değiştirilerek çalışma yürütülmüştür (Erol ve Güler 2019).

3.3.2. Geometrik Farklılık

Çalışmanın ilk safharlarında sahte model tasarımının sebebi üretim parametrelerinde olabildiğince az etkilenecek bir menteşe tasarımı ile parametrelerin doğrulaması sağlamaktı. Bu sebep ile üretilen sahte menteşeler 3D tarayıcı sonuçları ile Şekil 3.6 gösterilmiş ve incelenmişlerdir. Bu inceleme esnasında ‘Atos 3D’ tarayıcı ile ‘GOM inspect 2017’ yazılımı kullanılmıştır (Erol ve Güler 2019).



Şekil 3.6. Sahte menteşenin 3D tarama görüntüleri ve nominal data ile karşılaştırılması (a) alttan görünüş, (b) üstten görünüş, (c) sağdan görünüş ve (d) soldan görünüş (Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 3.6. Sahte menteşenin 3D tarama görüntüleri ve nominal data ile karşılaştırılması (a) alttan görünüş, (b) üstten görünüş, (c) sağdan görünüş ve (d) soldan görünüş (Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek alınmıştır) (devam)

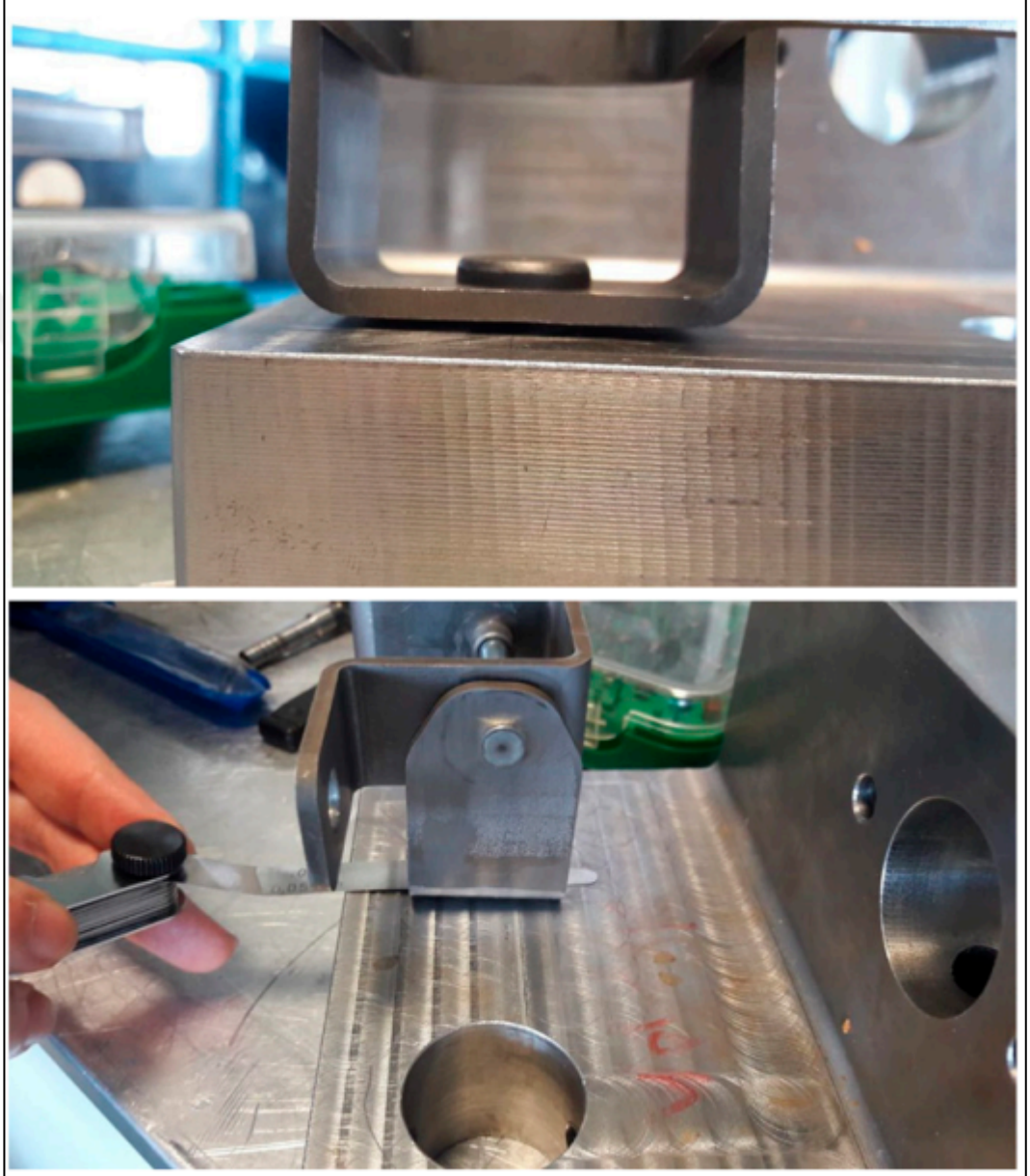
Bkz. Şekil 3.6’da yeşilden kırmızıya doğru olan renkler referans geometrik datanın dışında kalan bölgelerin uzaklıklara göre dağılımlarını, yeşilden koyu maviye doğru olan renkler referans geometrik datanın içinde kalan bölgelerin renklere göre olan dağılımlarını göstermektedir (Erol ve Güler 2019).

Bkz. Şekil 3.6’da gösterilen sonuçlardan yola çıkarak, üretilen sahte menteşelerin sabit kanadının montaj bölgesi ile tasarlanan sahte menteşenin sabit kanadının montaj bölgesinde 0,2 mm’lik bir farklılık gözlemlenmiştir. Bu farklılık sabit kanadın üretimi sırasında bükme işlemi esnasında gözlemlenmiştir. Ayrıca sonuçlarda sabit kanadın dikliğinde problem olduğu, parçanın 0,2 mm bir tarafa doğru eğildiği gözlemlenmiştir. Bu farklılığın sebebinin perçinleme işlemi sırasında sabit kanadın deformasyona uğraması sebebi ile olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sahte modelde eksen piminde kaçıklık gözlemlenmiştir. Bu farklılığın kök sebebi olarak düzgün olarak çakışmayan eksenlere sahip sabit parça üzerinde bulunan eksen pimi montaj deliklerinin olduğu saptanmıştır. Ek olarak hareketli parçanın kanatlarının deformasyon sebebi ile bir birine yaklaştığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak hareketli parçanın bükülmesi sırasında olduğu kök sebep olarak tespit edilmiştir (Erol ve Güler 2019).

Parçada belirlenen bu farklılıklardan dolayı eksen piminin kötü pozisyonlandırılması test sonuçlarını etkileyeceği yargısına varılmıştır. Ama, üretilen parçaların elle rahatlıkla açılıp kapatılabilmesi bu deformasyonun göz ardı edilebileceği kararına varılmasına sebep olmuştur. Ancak sahte menteşelerin montaj bölgelerinde gözlemlenen deformasyonlar, montajlandığı aparatlar ile arasında boşluk oluşturacağı ve kuvvet-deplasman eğrilerini etkileyeceği öngörülmüştür. Bunun sebebi olarak, düzgün desteklenmeyen montaj yüzeylerinin sistemin rijitliğini etkileyerek uygulanan deplasmana karşılık az direnç göstermesidir (Erol ve Güler 2019).

Yürütülen 3 boyutlu tarama çalışması ayrıca aparat üzerinde sentil çakısı ile tekrarlanmıştır. Bunun sebebi olarak civata ön yüklemesinde montaj yüzeyini deforme ederek üç boyutlu tarama değerlerinden daha az bir değere ulaşmasına sebep olacağı öngörülmüştür.

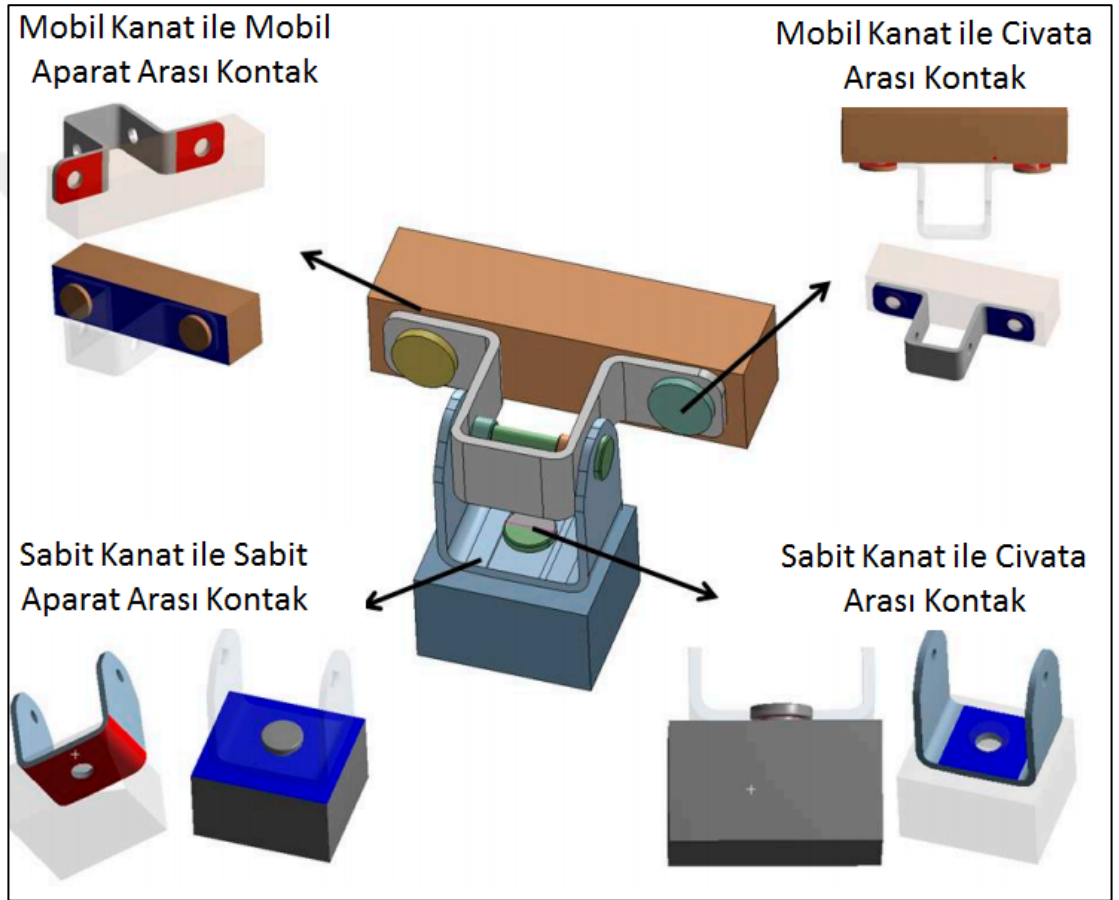
Yapılan ölçümlerde 0,05 mm'lik sentil çakısının civatanın gövdesine değecek kadar ön yükteki menteşede ilerlediği Şekil 3.7'de gösterildiği gibi gözlemlenmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmalarda bulunan bulgular 'Spaceclaim' aracılığı ile 3D olarak oluşturulmuştur (Erol ve Güler 2019).



Şekil 3.7. Cıvata ön yükü altındaki sahte menteşenin boşluk ölçümleri (Erol ve Güler 2019'den alınmıştır)

3.3.3. Sürtünme Katsayısı

Test örneklerine X, Y, Z yönlerinde UNECE R11 test koşulları altında deplasman (yer değiştirme) uygulandı. Sürtünme katsayısının inceleneceği kontaklar bütün yükleme yönlerinde en çok kayma gösteren yüzeyler arasından seçilmiştir. Seçilen kontaklar Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Belirlenen bu kontakların farklı sürtünme katsayıları altında üç yön için kuvvet-yer değiştirme eğrilerine olan etkileri incelenmiştir.



Şekil 3.8. Sonlu eleman modellerinde sürtünme parametresinin incelendiği kontak tanımları (Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek alınmıştır)

3.3.4. Burç Malzemesi Etkisi

Otomotiv endüstrisinde, burç malzemesinin malzeme özellikleri boyutlarının küçük olması ve karmaşık kompozit yapıya sahip olmaları sebebi ile genellikle yapısal analizlerde ihmal edilmektedir.

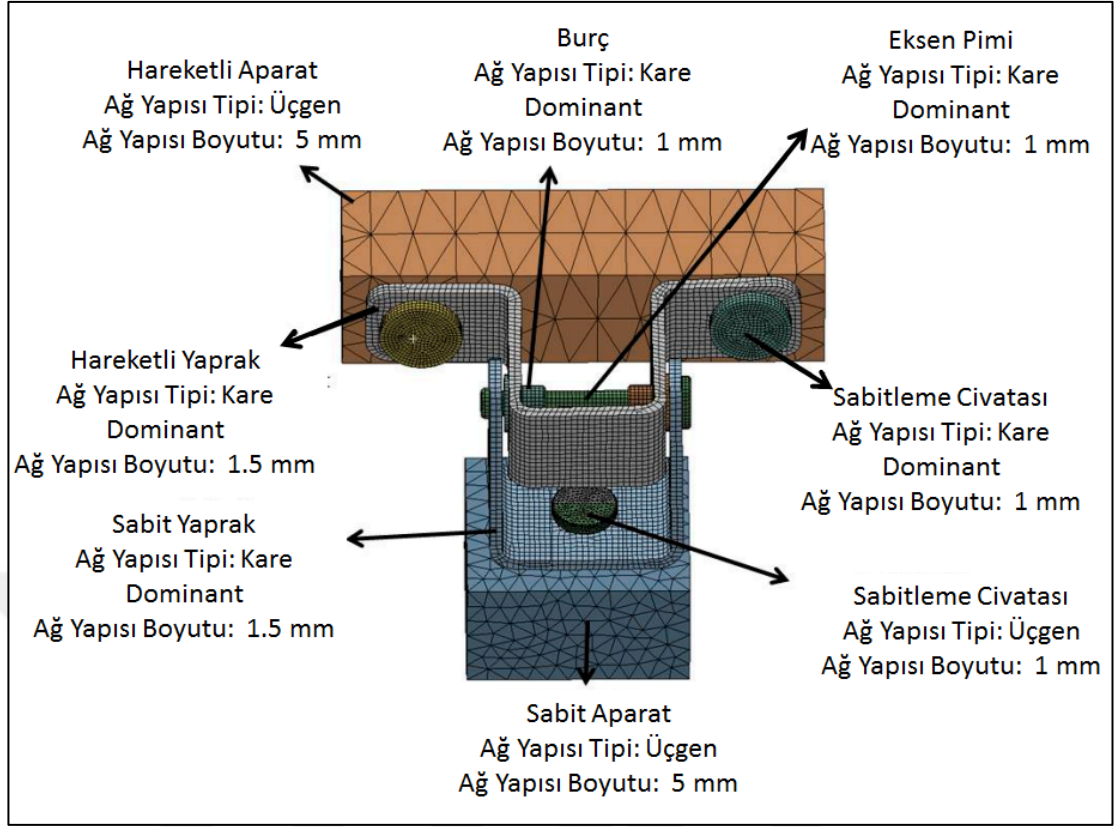
Bu çalışmanın simülasyonlarında, lineer yapı çeliği malzemesi yerine sahte menteşelerin burç malzemesi olarak kullanılan F-0000-10 atanması durumunda simülasyon sonuçlarına olan etkisi incelenmiştir. Hesaplamalarda, lineer malzeme ve burç malzemesi ile sırasıyla ayrı olarak kullanılmıştır (bkz. Şekil 3.5).

3.3.5. Ağ Yapısı

Ağ yapısı algoritmaları sonlu elemanlar hesaplamaları için büyük önem arz etmektedir. Çünkü; analizcinin, geometriyi analiz yazılımına ağ yapısı aracılığı ile tanımlatmaktadır. Bu işlem sırasında, ağ yapısı boyutu ve algoritması hesaplamanın doğruluğunu ve hesaplama süresini doğrudan etkiler (Erol ve Güler 2019).

Çalışmanın başında, farklı ağ yapısı algoritmaları ve boyutları denenmiştir; fakat sonuçlar üzerinde belirli bir etkisi gözlemlenmemiştir. Bu öngörülere bağlı olarak, kare eleman ağırlıklı ağ yapısı hareketli kanat, sabit kanat, eksen piminde kullanılırken hareketli ve sabit aparatlarda üçgen tipli ağ yapısı tercih edilmiştir. Eleman boyutu olarak 1,5 mm hareketli ve sabit kanat için atanmıştır. Ek olarak 1 mm'lik ağ yapısı boyutu burç, eksen pimi ve sabitleme civatarına ve 5 mm'de test aparatlarına atanmıştır. Bu ağ yapısı ayarları mevcuttaki ürünün daha iyi bir sayısal örneğini sağlamanın yanısıra, zaman açısından efektif ve sonuçların doğruluğu açısından gerçeğe daha yakın sonuçlar verecek şekilde seçilmiştir (Erol ve Güler 2019).

Tanımlanan ağ yapısı değerleri ile birlikte sonlu elemanlar modeli 134 730 ağ yapısı düğümüne ve 44 601 elemana sahip olmuştur. Her bir parça için eleman tipleri ve boyutları Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Sonlu elemanlar modelinde atanan ağ yapısı tipi ve boyutu (Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek alınmıştır)

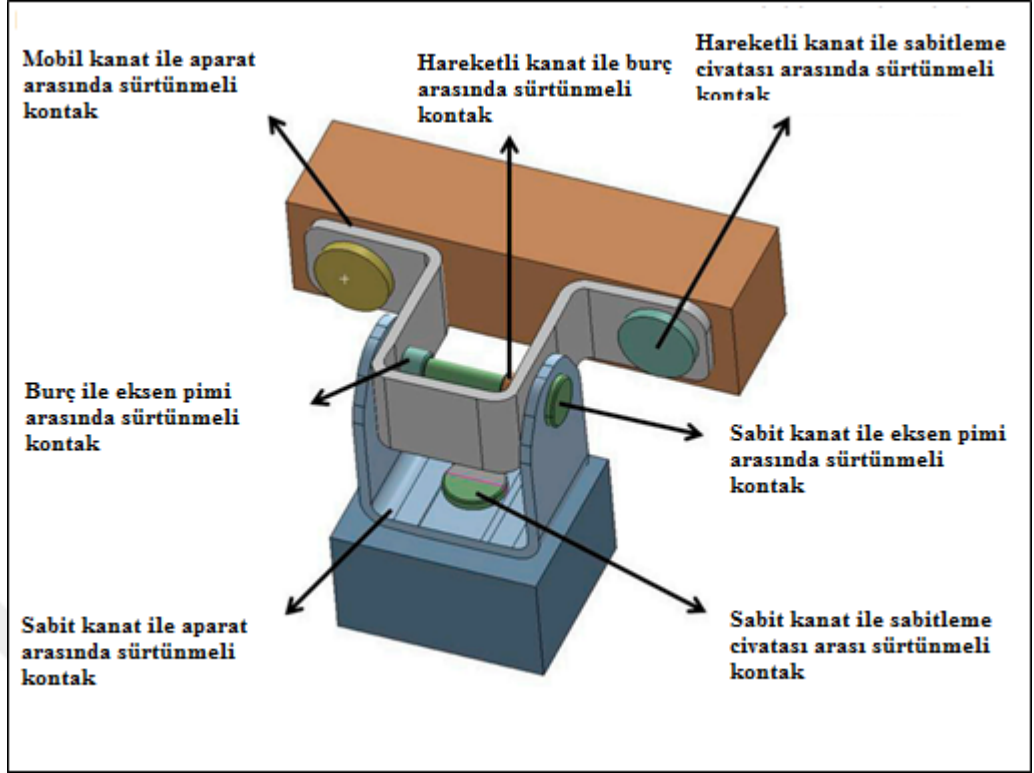
3.3.6. Kontak Tanımlaması

Kontak algoritmaları tasarım modelinde birbirine dokunan parçalar arasındaki ilişkinin nasıl olacağını tanımlarlar. Ansys sonlu elemanlar programı kullanıcılarına 5 tip kontak algoritması sağlamaktadır. Bunlar: bağlı, ayrılma yok, sürtünmesiz, sürtünlü, pürüzlü olarak adlandırılan bu kontak tiplerinin özellikleri (https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/wb_sim/ds_Contact_Defination.html Erişim Tarihi: 01/10/2018);

- **Bağlı:** Seçilen kontak yüzeyleri birbiri arasında kaynaklıymış gibi çalışırlar. Kontak yüzeyleri arasında yükleme sırasındaki kaymalar ve ayrılmalar ihmal edilir. Lineer kontak algoritması olarak tanımlanırlar.

- Ayrılma Yok: Tanımlanan kontak yüzeyleri birbiri üzerinde ayrılmadan kayabilmesine izin verilir. Lineer kontak algoritması olarak tanımlanırlar.
- Sürtünmesiz Kontak: Tanımlanan kontak yüzeyleri arasında kayma ve ayrılmalar serbest bırakılır ve tanımlanan yüzeyler arasında sürtünme katsayısı sıfır olarak kabul edilir.
- Sürtünmeli Kontak: Tanımlanan kontak yüzeyleri arasında kayma ve ayrılmalar serbest bırakılır ve tanımlanan yüzeyler arasında sürtünme katsayısı kullanıcının girdiği değer kadar kabul edilir.
- Pürüzlü Kontak: Kontak yüzeyleri arasında sonsuz büyüklükte bir sürtünme katsayısı tanımlanır. Bu yüzden tanımlanan yüzeyler birbiri üzerinde kaymaz. Ancak ayrılmalar serbest bırakılır.

Bu çalışmada, Şekil 3.10'de gösterildiği gibi kontak algoritmaları seçilmiştir. Sürtünme katsayıları çalışmanın başında planlanıp sırası ile etkileri incelenmiştir. Belirtilen sürtünmeli kontaklarda 'Pure Penalty' algoritması 0,6 kontak rijitliği ve her iterasyonda rijitliği yenileme algoritması ile tanımlanmıştır. Bu kontak algoritması ve rijitlik değerinin seçiminde hesaplama hızı ve değerlerin doğruluğu dikkate alınarak belirlenmiştir (Erol ve Güler 2019).



Şekil 3.10. Sonlu elemanlar modelinde atanan kontak ilişkileri ve tipleri (Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek alınmıştır)

3.3.7. Sınır Şartları

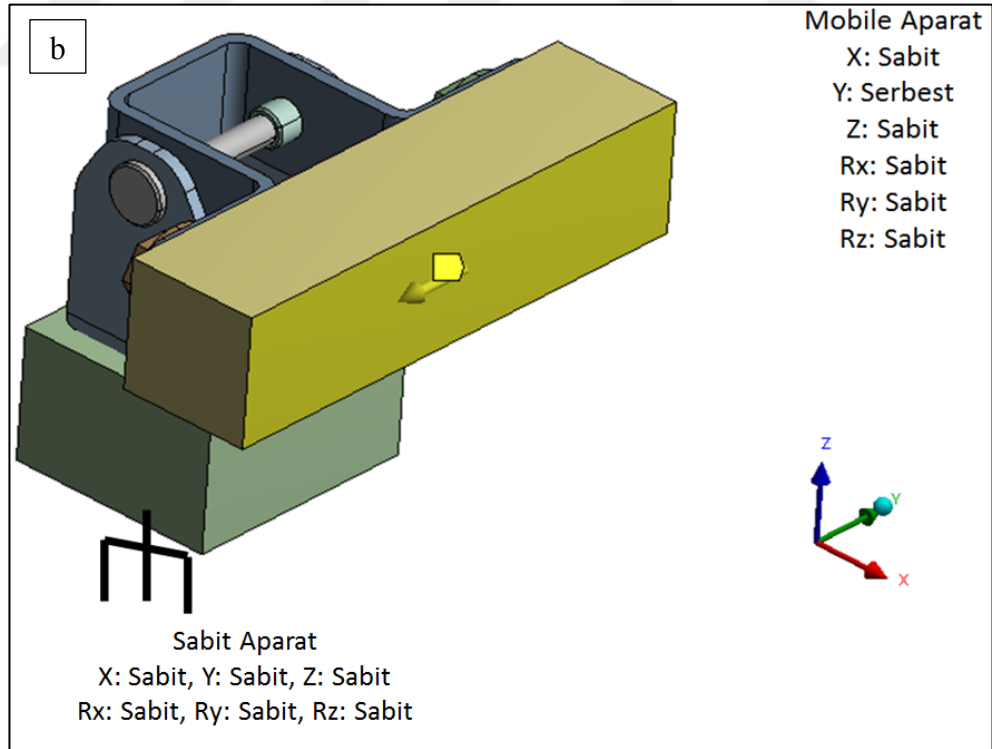
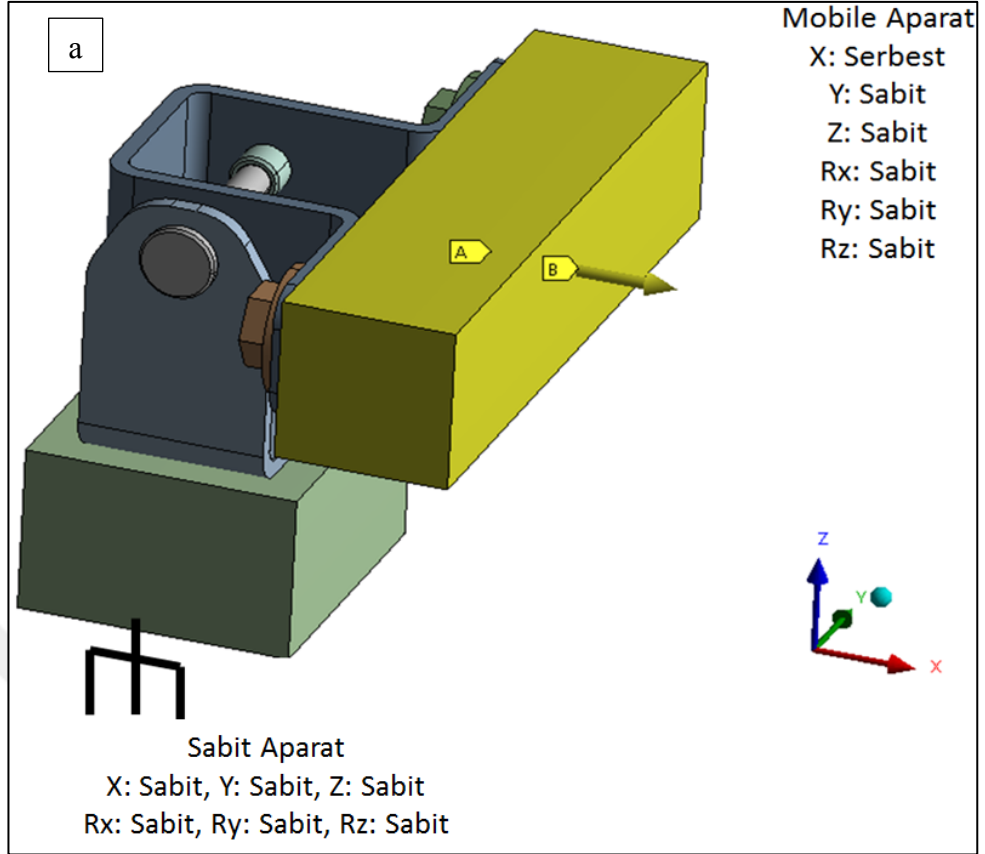
UNECE R11 test şartnamesi X, Y ve Z yönlerinde olmak üzere 3 farklı yönde yükleme şartı konulmuş bir test metodudur. Bu çalışmada, simülasyonlar tekil menteşe yöntemine göre X, Y ve Z yönlerinde çekme uygulayarak oluşturulmuştur. Ardından deneysel testler ile karşılaştırabilmek için kuvvet-yer değiştirme eğrileri oluşturulmuştur. Tekil menteşe yöntemini prototip olarak üretilen sahte menteşe modelleri arasında aynı olmayan kusurlar sebebi ile simülasyon ile deneysel testler arasında kuvvet-yer değiştirme eğrileri farklılıklarından kaçınmak sebebi ile kullanılmıştır.

3 yön içinde yapılan simülasyonlarda mobil aparat üzerine deplasman uzaktan yüzeye bağlanan bir noktaya verilen yer değiştirme ile uygulanmış olup; bu nokta üzerinden simülasyonlarda deplasman değerine karşılık gelen kuvvet değeri ölçülmüştür. Bu yöntem literatürde kullanılmış olan kuvvet temelli yüklemelere kıyasla farklı bir yöntem

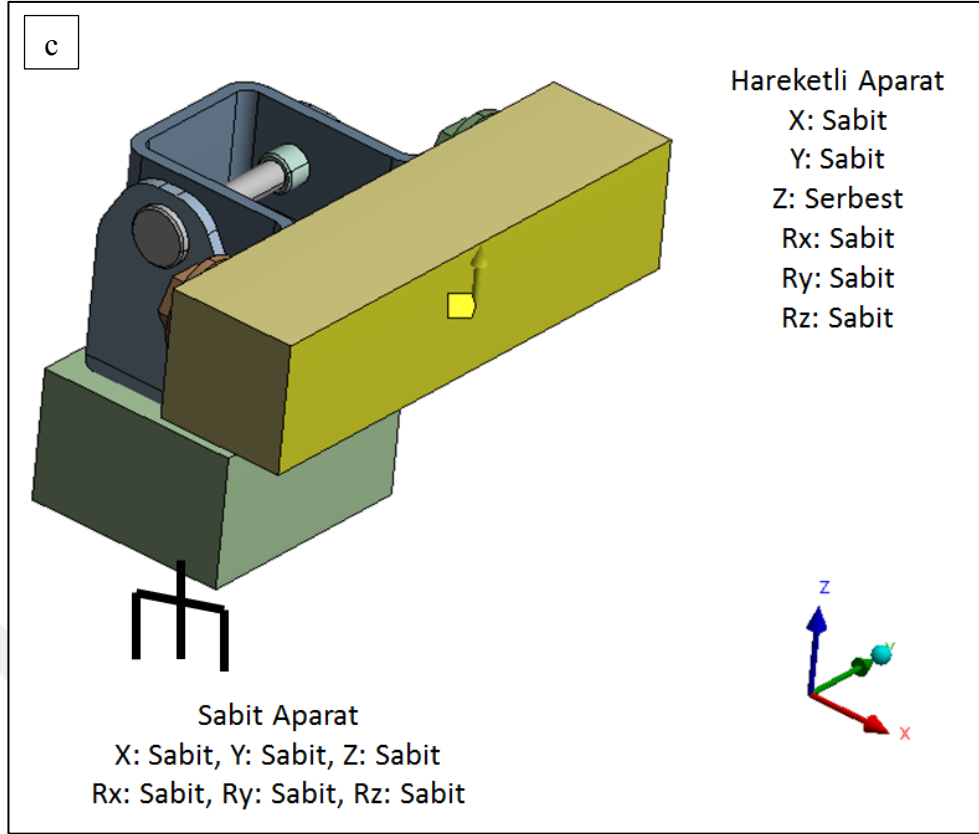
olarak belirtilmiştir. Yükleme yöntemi çekme cihazının çalışma prensibine göre oluşturulmuştur. Çünkü, deneysel testlerde kullanılan çekme cihazında, cihaz menteşelere deplasman uygulamakta ve karşılığında menteşelerin uyguladığı direnci yük hücresi yardımı ile ölçmektedir. Simülasyonlarda menteşenin uyguladığı bu direnç aparat yüzeylerine bağlanan noktadan ölçülmektedir. Oluşturulan modellerde sabit aparat 6 serbestlik derecesinde sabitlenip 21 Nm ön yük sabitleme civatalarına uygulanmıştır.

Simülasyonlarda 'Ansys Workbench 18' örtülü çözücü kullanılarak, büyük deformasyon etkisi 'explicit' yöntemi ile program tarafından otomatik olarak tanımlanan yakınsama kriterleri kullanılarak oluşturulmuştur.

Ayrıca bu tez çalışmasında literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bazı kabuller yapılmıştır. Simülasyonlarda yüklemeler literatürdeki gibi deliklere direk uygulanmak yerine aparat 3D olarak modellenerek aparata uygulanmıştır; bu sayede sabitleme parçaları delik eksenlerindeki civatalarda serbest olarak dönmesine izin verilerek civata ön yükü altında sürtünme kuvvetine karşı çalışmasına izin verilmiştir. Ek olarak, bağlama aparatlarının literatürden farklı olarak simülasyona tanımlanması ile menteşelerin montaj yüzeylerinde hesaplanan eğilme şekil değiştirmeleri ve buna bağlı olarak sabitlenen montaj deliklerinde oluşan gerçekçi olmayan gerilmelerden kaçınılarak, tanımlanan ön gerilmeler ile daha gerçekçi gerilme değerlerine ulaşılmıştır. Sınır şartları Şekil 3.11'de X, Y ve Z yönleri için gösterilmiştir (Doğan ve ark 2014, More ve Jadhav 2016, Yılmaz 2017, Tüfekçi ve ark 2015a, 2015b).



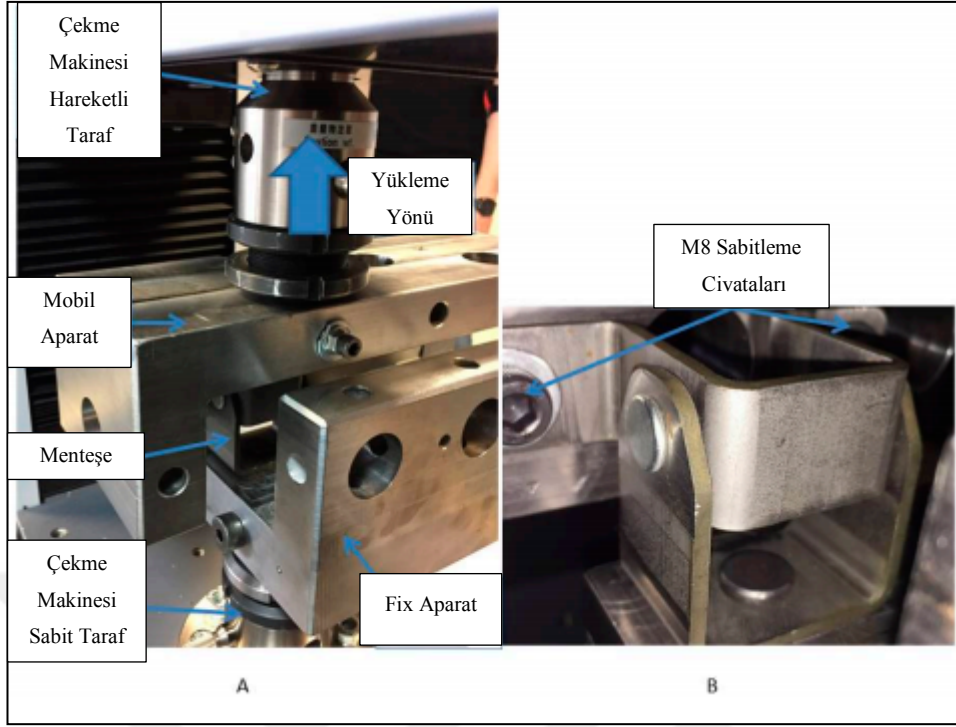
Şekil 3.11. Sonlu elemanlar modelinde atanan sınır şartları (a) x yönünde yükleme, (b) y yönünde yükleme ve (c) z yönünde yükleme



Şekil 3.11. Sonlu elemanlar modelinde atanan sınır şartları (a) x yönünde yükleme, (b) y yönünde yükleme ve (c) z yönünde yükleme (devam)

3.4. Deneysel Testler

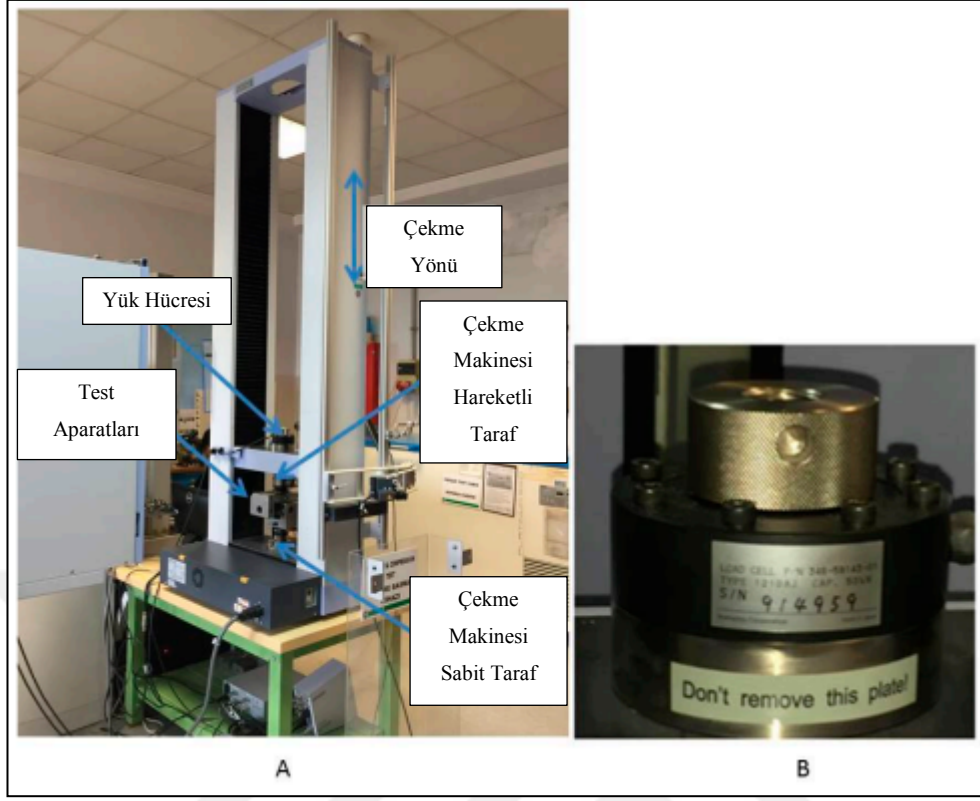
Menteşe test aparatları Şekil 3.12'deki gibi UNECE R11'deki tekil menteşe testi şartnamesine uygun tasarlanmışlardır. Test aparatlarının bağlantı delikleri menteşenin eksen piminin merkezinden aracın X, Y ve Z eksenlerinin çekme test makinesinin eksenine paralel olacak şekilde tasarlanmıştır. Test aparatları 30 mm kalınlıkta L şeklinde tasarlanmıştır (Erol ve Güler 2019).



Şekil 3.12. UNECE R11 test konfigürasyonu(A: Test Ekipmanları, B: Sahte Mentешenin Ekipmanlar ile Görünüşü) (Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek alınmıştır)

Testlerde, M8 kalite 8.8 civata kullanılmıştır. Bu civata tipi otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılması sebebi nedeniyle seçmiştir. Çalışmada seçilen civatalara 21 Nm ön yüklemeye uygulanmıştır (Erol ve Güler 2019)

Şekil 3.13(a)'da gösterilmiş 'Shimadzu Autograph AGS-X 50 kN' çekme testi cihazı çalışma sırasında kullanılmış. Yüklemeler 5 mm/dk yüklemeye hızıyla X, Y ve Z yönlerinde yüklenmişlerdir. Kuvvet-deplasman eğrileri şekil 3.13'deki yük hücresi sayesinde yüklemeye sırasında oluşturulmuştur (Erol ve Güler 2019).



Şekil 3.13. Çekme makinesi konfigürasyonu (A: Çekme Makinesi, B: Yük Hücresi)
(Erol ve Güler 2019'den değiştirilerek)

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

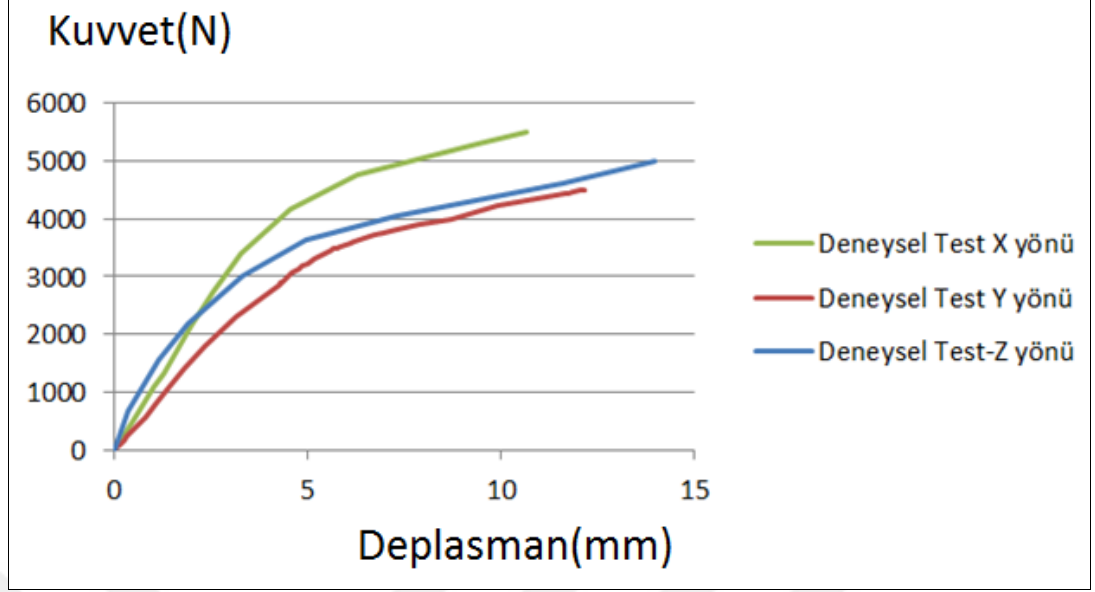
Bu çalışmada prototip olarak üretilen sahte menteşelere UNECE R11 şartnamesine uygun olarak deplasman uygulanıp, ardından kuvvet-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Sonrasında şartnamede tekil menteşe testleri için belirtilmiş boylamasına 5 500 N, yanal yönde 4 500 N, dikine yönde 4 500 N kuvvetlerindeki test ile simülasyon arasındaki deplasman değerlerini kullanarak Denklem 4.1 kullanılarak hata değerleri hesaplanmıştır. Ek olarak simülasyon ve deneysel testlerin kuvvet-deplasman eğrilerinin rijitlik davranışları parametrelere göre yorumlanmıştır.

$$\text{Hata(\%)} = \left(\frac{|\text{Deplasman Simülasyon} - \text{Deplasman Test}|}{\text{Deplasman Simülasyon}} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

Çalışmanın başında, simülasyon parametrelerinden olan sürtünme katsayısı ve burç malzemesi etkileri üç boyutlu tasarım programlarında üretim hatasız olarak tasarlanmış data üzerinde denenmiştir. Ancak şartnamede istenilen kuvvet değerlerine düşük deformasyon farkları ile ulaşılmış olmasına rağmen, kuvvet-deplasman eğrileri üzerindeki farklılıklardan ötürü üretimsel hatalar da prototiplerde yapılan incelemelere göre çalışmaya bir diğer parametre olarak eklenmiştir. Bu sebep yüzünden her 3 yönünde sonuçları faz-1 mükemmel geometri ile yapılan karşılaştırmalar ve üretim problemlerine göre tasarlanmış tarama datasını baz alan tasarım ile yapılan karşılaştırmalar faz-2 olarak çalışma yürütülmüştür.

4.1. Deneysel Testler

Yapılan testler sonucunda test örneklerinden elde edilen bulgularda menteşelerde ayrılma gözlemlenmemiştir. Sahte menteşe örnekleri UNECE R11 şartname kriterlerine uygunluk göstermektedir. Şekil 4.1'de testlerden elde edilmiş kuvvet-deplasman eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.1. UNECE R11 yüklemeye yönlerine için deneysel test kuvvet-deplasman eğrileri

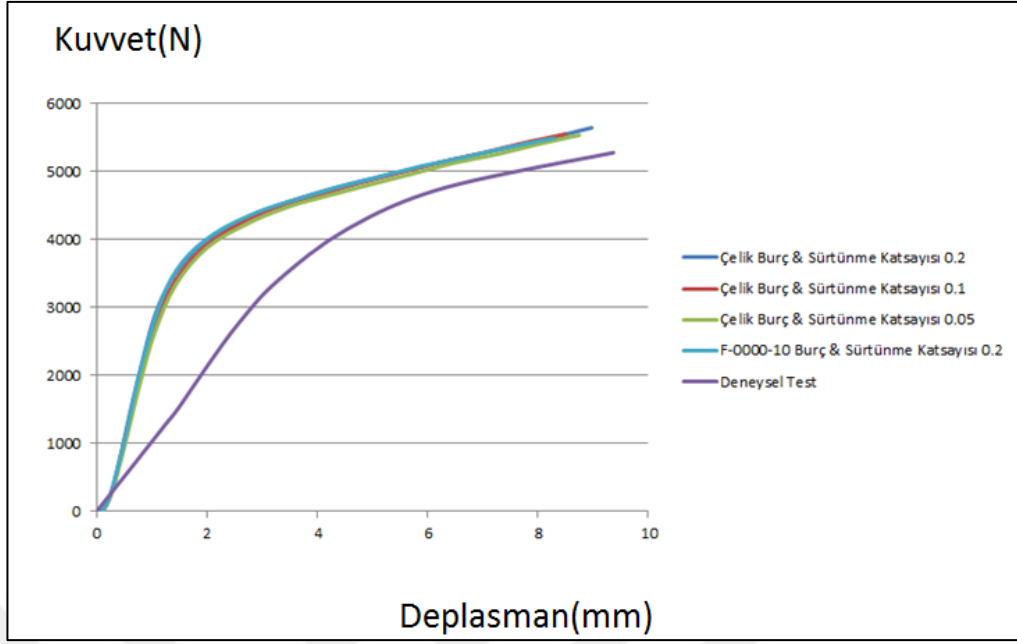
4.2. Sonlu Eleman Analizleri

4.2.1. X Yönü

Faz 1

Mükemmel geometrinin X yönündeki hesaplamalarında kullanıldığı bu fazda çalışma parametrelerinden biri sadece biri değiştirilerek sonuçlar ortaya konulmuştur.

Kuvvet-deplasman eğrileri Şekil 4.2’de farklı sürtünme katsayıları ve burç malzemesi için gösterilmiştir. Grafiğe göre farklı sürtünme katsayıları sistemde farklı iç sürtünme kuvvetleri oluşmaktadır. Ancak, oluşan bu iç sürtünme kuvvetlerinin kuvvetin etkisi uygulanma yönü olan X yönündeki yüklemeler boyunca kuvvet-deplasman eğrilerindeki çakışmalar sebebi ile ihmal edilebilir seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak, aynı iç sürtünme katsayılarına sahip lineer çelik malzeme atanmış burç sonuçları ile F-0000-10 malzemesi atanmış burç kuvvet-deplasman eğrilerinin çakışması sebebi ile yüklemeye yönünün sonuçlarında burç malzemesinin etkisi ihmal edilebilir olduğu gözlemlenmiştir.

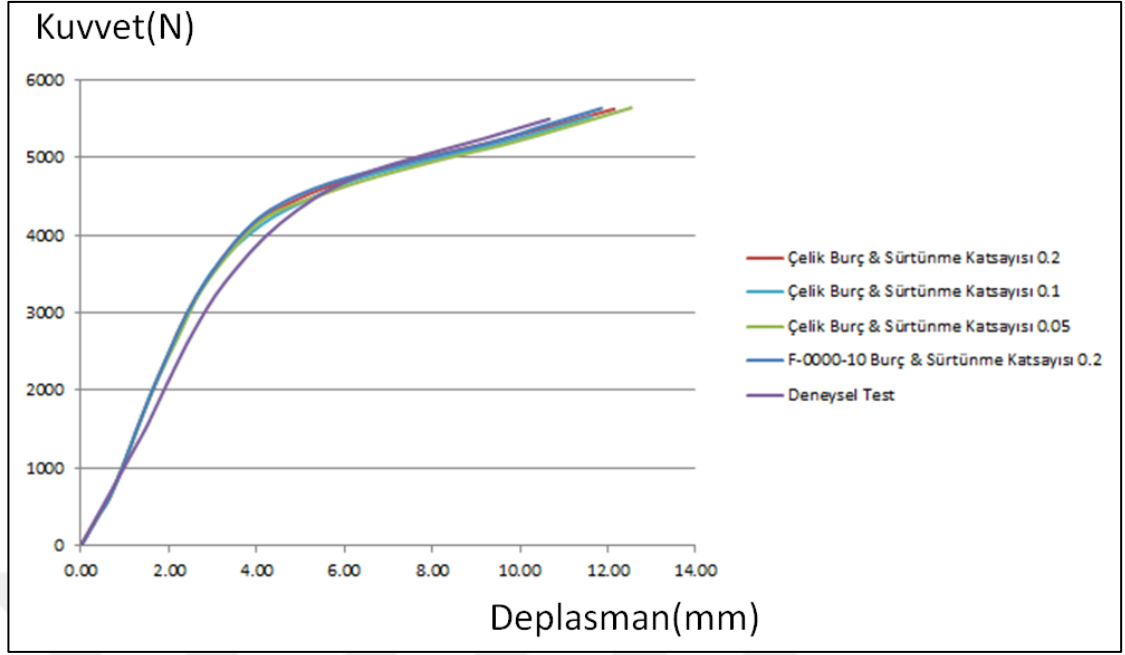


Şekil 4.2. X yönü faz-1 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması

Faz-2

Bu fazda, üretilen menteşeler üzerinde yapılan 3 boyutlu tarama sonuçlarına göre oluşturulmuş geometri kullanılmıştır. Bu fazın amacı üretimsel bozuklukların sonuçlar üzerindeki etkilerini gözlemlemektir.

Şekil 4.3’de kuvvet-deplasman eğrileri tarama geometrisine göre farklı sürtünme katsayıları ve F-0000-10 burç malzemesi etkisi göz önüne alınarak gösterilmiştir. Faz-1’de gözlemlenen sürtünme katsayısı ve burç malzemesinin X yönündeki yüklemelerde etkisinin üretimden gelen geometrik farklılıkların etkisine oranla ihmal edilebilir olması sebebi ile bu fazda da sürtünme katsayısı ve burç malzemesi parametrelerinin kuvvet-deplasman eğrilerinde çakışma görülmüştür. Bu sebeple faz-2’de bu yöndeki yüklemelerde geometrik bozuklukların etkisinin test sonuçları ile uyum sağlamada baskın olduğu incelenmiştir.



Şekil 4.3. X yönü faz-2 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması

X yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun faz-1 ve faz-2 hata değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. X yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun hata değerleri

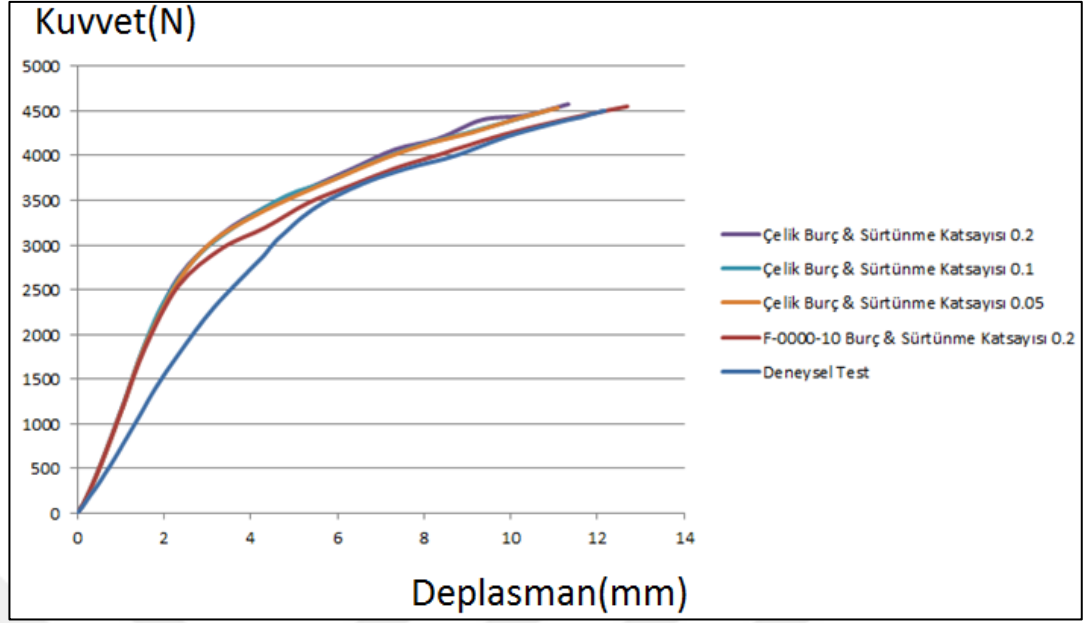
Simülasyon No	UNECE R11 Kabul Kriteri	Simülasyon Parametreleri			Sonuçlar(mm)		Hata (%)
		Geometri	Sürtünme Katsayısı	Burç Malzemesi	Simülasyon	Deneysel Test	
1	5500 N altında menteşelerde ayrılma olmayacak	Mükemmel Data	0,2	Lineer Çelik	8 (Ayrılma Yok)	10.66 (Ayrılma Yok)	33,37
2		Mükemmel Data	0,1	Lineer Çelik	8.2 (Ayrılma Yok)		30,12
3		Mükemmel Data	0,05	Lineer Çelik	8.54 (Ayrılma Yok)		24,94
4		Mükemmel Data	0,2	F-0000-10	8.29 (Ayrılma Yok)		28,70
5		3 Boyut Tarama	0,2	Lineer Çelik	11.3 (Ayrılma Yok)		5,66
6		3 Boyut Tarama	0,1	Lineer Çelik	11.45 (Ayrılma Yok)		6,89
7		3 Boyut Tarama	0,05	Lineer Çelik	11.7 (Ayrılma Yok)		8,88
8		3 Boyut Tarama	0,2	F-0000-10	11.1 (Ayrılma Yok)		3,96

4.2.2. Y Yönü

Faz-1

Mükemmel geometrinin Y yönündeki hesaplamalarında kullanıldığı bu fazda çalışma parametrelerinden biri sadece biri değiştirilerek sonuçlar ortaya konulmuştur.

Kuvvet-deplasman eğrileri Şekil 4.4’de farklı sürtünme katsayıları ve burç malzemesi için gösterilmiştir. Grafikten farklı sürtünme katsayıları sistemde farklı iç sürtünme kuvvetleri oluşmaktadır. Ancak oluşan bu iç sürtünme kuvvetlerinin kuvvetin etkisi uygulanma yönü olan Y yönündeki yüklemeler boyunca kuvvet-deplasman eğrilerindeki çakışmalar sebebi ile ihmal edilebilir seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak aynı iç sürtünme katsayılarına sahip lineer çelik malzeme atanmış burç sonuçları ile F-0000-10 malzemesi atanmış burç kuvvet-deplasman eğrilerinin arasındaki farklar sebebi ile bu yükleme durumunda burç malzemesinin etkili olduğu gözlemlenmiştir.

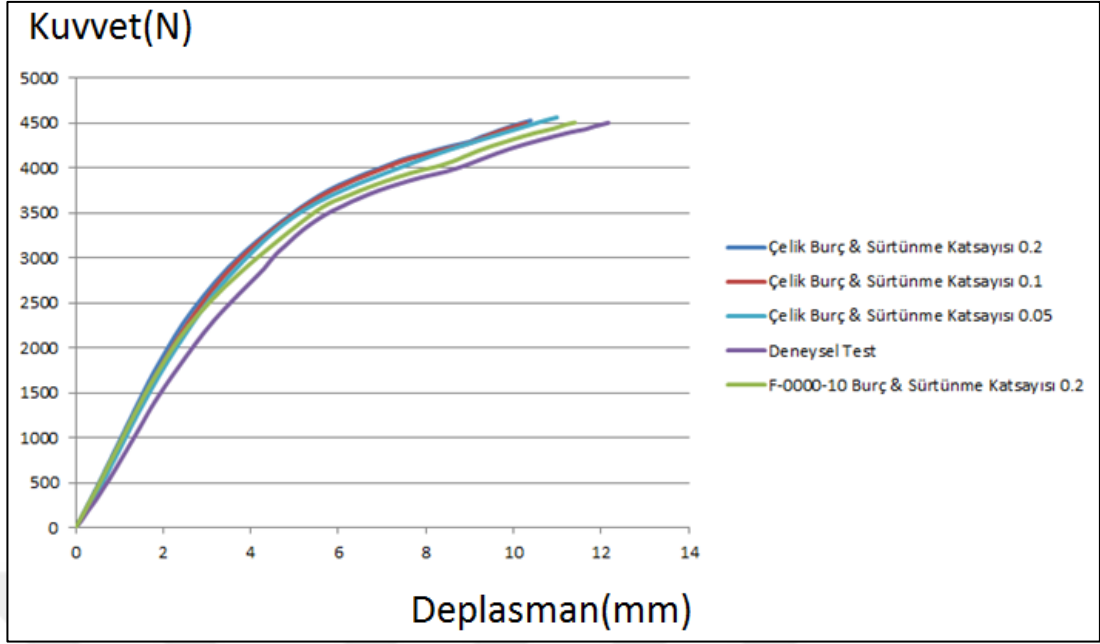


Şekil 4.4. Y yönü faz-1 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması

Faz-2

Bu fazda, üretilen menteşeler üzerinde yapılan 3 boyutlu tarama sonuçlarına göre oluşturulmuş geometri kullanılmıştır. Bu fazın amacı üretimsel bozuklukların sonuçlar üzerindeki etkilerini gözlemlemektir.

Şekil 4.5’de kuvvet-deplasman eğrileri tarama geometrisine göre farklı sürtünme katsayıları ve F-0000-10 burç malzemesi etkisi göz önüne alınarak gösterilmiştir. Faz-belirtilen elastik bölgedeki deneysel testlerle olan farklılıklar faz-2’de üretimden gelen geometrik farklılıkların etkisi ile etkilendiği gözlenmektedir. Ayrıca faz-1’de görülen sürtünme katsayısının yükleme yönünde ihmal edilebilirliği ve burç malzemesinin etkisi bu fazda gözlenmektedir. Faz-1 deki burç malzemesinin etkisi ile birlikte, bu fazda geometrik bozuklukların etkisinde etkin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. Y yönü faz-2 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması

Y yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun faz-1 ve faz-2 hata değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Y yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun hata değerleri

Simülasyon No	UNECE R11 Kabul Kriteri	Simülasyon Parametreleri			Sonuçlar(mm)		Hata (%)
		Geometri	Sürtünme Katsayısı	Burç Malzemesi	Simülasyon	Deneysel Test	
1	4500 N altında menteşelerde ayrılma olmayacak	Mükkemmel Data	0,2	Lineer Çelik	10.72 (Ayrılma Yok)	12.165 (Ayrılma Yok)	13,48
2		Mükkemmel Data	0,1	Lineer Çelik	10.83 (Ayrılma Yok)		12,32
3		Mükkemmel Data	0,05	Lineer Çelik	10.85 (Ayrılma Yok)		12,11
4		Mükkemmel Data	0,2	F-0000-10	12.17 (Ayrılma Yok)		0,04
5		3 Boyut Tarama	0,2	Lineer Çelik	10.4 (Ayrılma Yok)		16,97
6		3 Boyut Tarama	0,1	Lineer Çelik	10.45 (Ayrılma Yok)		16,41
7		3 Boyut Tarama	0,05	Lineer Çelik	10.52 (Ayrılma Yok)		15,63
8		3 Boyut Tarama	0,2	F-0000-10	11.4 (Ayrılma Yok)		6,71

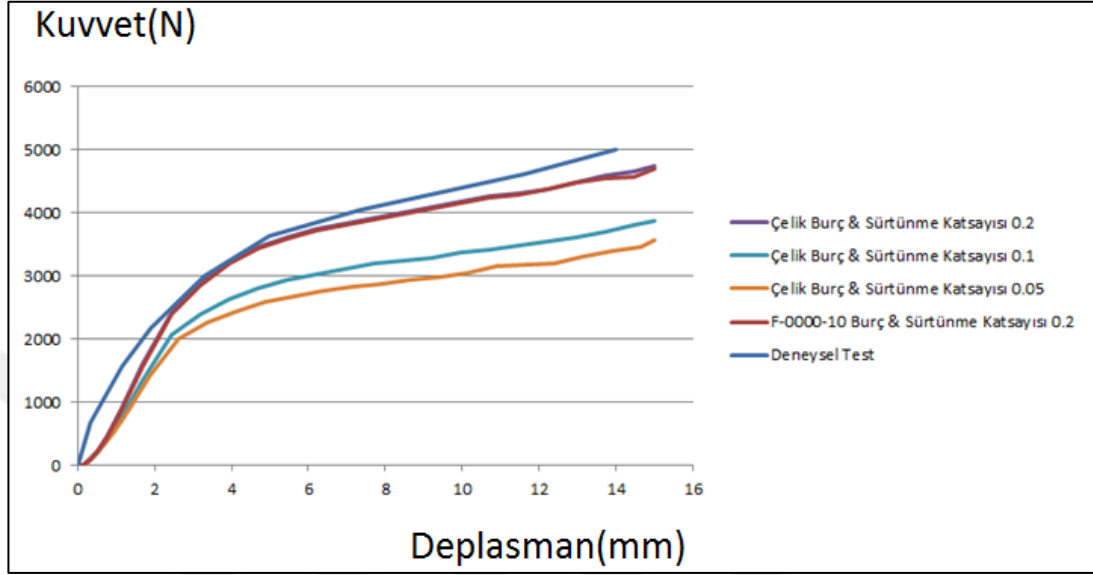
4.2.3. Z Yönü

Faz-1

Mükkemmel geometrinin hesaplamalarda kullanıldığı fazdır. Çalışma parametrelerinden biri sadece biri değiştirilerek sonuçlar ortaya konulmuştur.

Kuvvet-deplasman eğrileri Şekil 4.6'da farklı sürtünme katsayıları ve burç malzemesi için gösterilmiştir. Grafikten farklı sürtünme katsayıları için sistemde farklı iç sürtünme kuvvetleri oluşmaktadır. Bu sebeple sonuçlar sistemin sürtünme katsayısına bağlı bir sistem olduğunu göstermektedir. Belirtilen yorumlara ek olarak, lineer çelik malzeme atanmış burç malzemesi ile F-0000-10 malzeme atanmış burç malzemesinin kuvvet-deplasman eğrilerinde çakışma göstermiştir. Sonuç olarak, burç malzemesi etkisinin sonuçlar üzerinde bir etkisi olmadığı yorumlanmıştır.

Bütün simülasyon modellerinde, kuvvet-deplasman eğrilerinde eğrinin başlangıç ve bitiminde deneysel test sonuçlarından ıraksama gözlemlenmiştir. Ayrıca 4 500 N değeri için en yüksek ve en düşük hata değerleri % 39,48'i % 0,77 olarak belirlenmiştir.

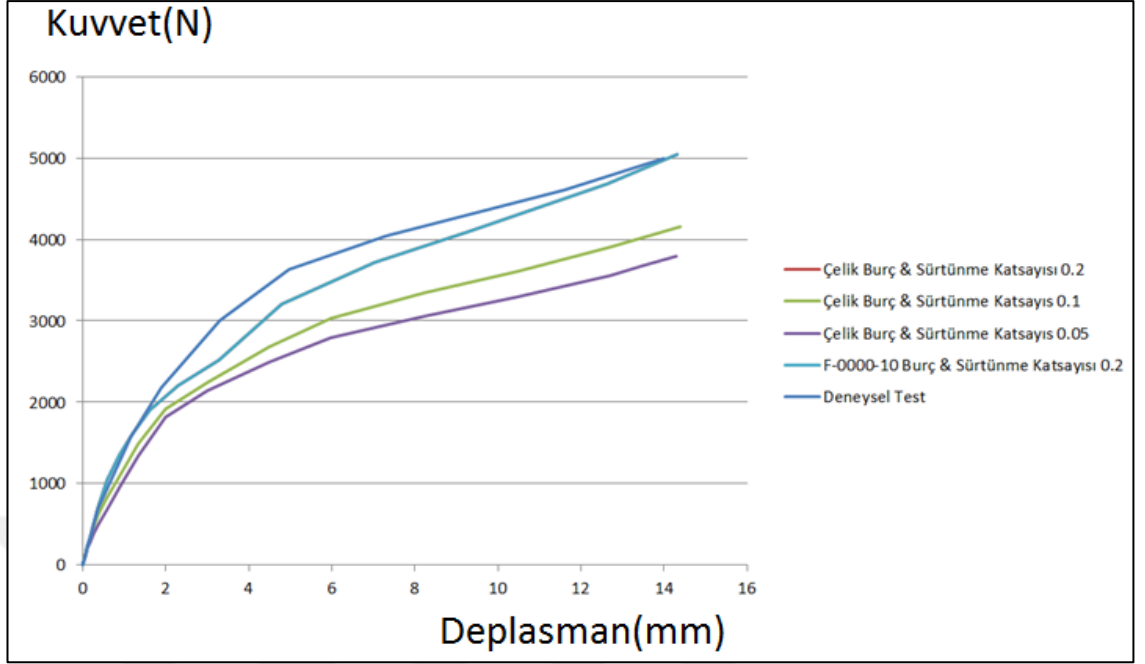


Şekil 4.6. Z yönü faz-1 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması

Faz-2

Bu fazda, üretilen menteşeler üzerinde yapılan 3 boyutlu tarama sonuçlarına göre oluşturulmuş geometri kullanılmıştır. Bu fazın amacı üretimsel bozuklukların sonuçlar üzerindeki etkilerini gözlemlemektir.

Şekil 4.7'de, farklı sürtünme katsayıları ve burç malzemeleri için kuvvet-deplasman eğrileri gösterilmiştir. Sonuçlara göre, farklı sürtünme katsayıları sistemde farklı iç sürtünme kuvvetlerine sebep olmaktadır. Bu sebep ile sonuçlar bu yükleme yönü için sürtünme katsayısına bağlıdır. Ek olarak burç malzemesi atanmış ve lineer çelik bırakılmış sistemler arasında kuvvet-deplasman eğrileri arasında çakışma bulunmuştur. Sonuç olarak, burç malzemesinin atanmasının sonuçlara bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Sürtünme etkisinin yanında faz-2 sonuçlarında geometrik bozukluklarında etkin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. Z yönü faz-2 simülasyon ve deneysel test kuvvet-deplasman eğrilerinin karşılaştırması

Z yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun faz-1 ve faz-2 hata değerleri Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Z yönü yüklemeleri için deplasman ve simülasyonun hata değerleri

Simülasyon No	UNECE R11 Kabul Kriteri	Simülasyon Parametreleri			Sonuçlar(mm)		Hata (%)
		Geometri	Sürtünme Katsayısı	Burç Malzemesi	Simülasyon	Deneyisel Test	
1	4500 N altında menteşelerde ayrılma olmayacak	Mükkemmel Data	0,2	Lineer Çelik	12.959 (Ayrılma Yok)	11.589 (Ayrılma Yok)	10,57
2		Mükkemmel Data	0,1	Lineer Çelik	16.5 (Ayrılma Yok)		29,76
3		Mükkemmel Data	0,05	Lineer Çelik	17.1 (Ayrılma Yok)		32,22
4		Mükkemmel Data	0,2	F-0000-10	10.85 (Ayrılma Yok)		6,81
5		3 Boyut Tarama	0,2	Lineer Çelik	11.5 (Ayrılma Yok)		0,77
6		3 Boyut Tarama	0,1	Lineer Çelik	16.85 (Ayrılma Yok)		31,22
7		3 Boyut Tarama	0,05	Lineer Çelik	19.15 (Ayrılma Yok)		39,48
8		3 Boyut Tarama	0,2	F-0000-10	11.68 (Ayrılma Yok)		0,77

5. SONUÇ

Çalışma süresince deneysel testlerden elde edilmiş kuvvet-deplasman eğrileri ile simülasyon sonuçlarından elde edilen eğriler karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda UNECE R11 şartnamesinde belirtilen yükleme değerleri altında farklı parametrelere sahip sonlu elemanlar modellerinin yaptığı deplasman miktarları deneysel testlerde yönlere bağlı olarak elde edilen değerler ile karşılaştırılıp, hata miktarları yüzdelik olarak hesaplanmış ve bkz. Çizelge 4.1, bkz. Çizelge 4.2 ve bkz. Çizelge 4.3’de ifade edilmiştir. Çizelgelerde belirtilen hata değerlerinde % 0’a yakın olan değerler simülasyondan elde edilen eğri ile deneysel test arasında gerçeğe yakın uyum olduğunu gösterirken, artan hata değerleri deneysel sonuçlar ile simülasyon arasındaki iraksamayı belirtmektedir.

Bu çalışmada, öncesinde belirlenmiş olan sürtünme katsayısı, burç malzemesi ve üretimden gelen geometrik hataların etkisi parametrelerinin simülasyonlardaki kuvvet-deplasman eğrilerine olan etkilerini ve sonuçların UNECE R11 şartlarında belirtilen yönlere göre yapılmış deneysel testlerden elde edilen kuvvet-deplasman eğrilerine olan uyumluluğu incelenmiştir. Hesaplamalar sırasında, simülasyon parametrelerinden her simülasyon denemesinde bir parametre değişken tutularak parametrelerin kuvvet-deplasman eğrilerine olan etkisi incelenmiştir. Ek olarak, UNECE R11 şartnamesinde belirtilen kuvvetlerde farklı parametreler ile oluşturulan simülasyonların yaptığı deplasman değerlerini kullanarak deneysel sonuçlara göre hata değerleri hesaplanmış ve yüzdesel olarak belirtilmiştir.

Çalışmanın sonucu olarak, X yönünde yapılan yüklemelerde üretim hatalarının yansıtıldığı üç boyutlu geometri ile birlikte F-0000-10 burç malzemeli ve 0,2 sürtünme katsayısına sahip sistem hata değeri olan % 3,96 ve eğrinin deneysel testlerden elde edilen eğriye yakınlığı sebebi ile bu yöndeki yüklemelerde yakınsamanın sağlandığı optimum parametreler olarak belirlenmiştir. Y yönünde yapılan yüklemelerde F-0000-10 burç malzemesi ile üretim hatalarının yansıtıldığı üç boyutlu geometri ve 0,2 sürtünme katsayısına sahip sistem % 6,71 hata katsayısı ve deneysel testlerden elde edilen kuvvet-deplasman eğrilerine olan yakınlığı sebebi ile bu yöndeki yüklemeler için optimum parametreler olarak gözlemlenmiştir. Z yönünde yapılan yüklemelerde

F-0000-10 burç malzemesi ile üretim hatalarının yansıtıldığı üç boyutlu geometri ve 0,2 sürtünme katsayısına sahip sistem % 0,77 hata katsayısı ve deneysel testlerden elde edilen kuvvet-deplasman eğrilerine olan yakınlığı sebebi ile bu yondeki yüklemeler için optimum parametreler olarak gözlemlenmiştir. Bu parametreler literatürde çalışılmış araç menteşelerinde farklı olarak 2 sabitleme noktasına sahip menteşeler üzerinde bağlantı civataları etrafında sürtünme kuvvetini yenerek sabit ve hareketli kanatların dönme etkisi göz önüne alınarak hesaplanmış ve sonuçları paylaşılmıştır. Bu duruma ek olarak çalışma, otomotiv yan sanayisinde sonlu elemanlar alanında çalışan mühendis ve araştırmacılar için sonuçların hızlı ve ucuz bir şekilde test sonuçları ile uyum sağlaması amacıyla bir rehber olarak sunulmuştur.

İleriki çalışmalarda sonlu elemanlar modeli yorulma ya da kırılma modeli katılarak ürünün kullanıldığı süre boyunca ömrünü belirlemek veya menteşelerin ayrılma kuvvetlerinin belirlenmesinde kuvvetlerin doğruluğunu arttırmak amacıyla düşünülmüştür.

KAYNAKLAR

- ASTM E8/E8M. Metal malzemeler için çekme testi test metodu.** <https://www.astm.org/Standards/E8.html> (Erişim Tarihi: 08/10/2018)
- Anonymous 1 Ansys Mechanical User Guide.** Malzeme modelleri https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/15.0.7/en-us/help/wb_sim/ds_plasticity.html (Erişim Tarihi: 08/05/2018)
- Anonymous 2 Ansys Mechanical User Guide.** Kontak tanımlamaları https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/wb_sim/ds_Contact_Defination.html (Erişim Tarihi: 01/10/2018)
- Bayraktar, M., Bilyaz, H., Demir, C. 2018.** Kinematic, Kinetic and Fatigue analyses of cup hinge with Brake. Sakarya University Journal of Science, 2, e-ISSN:2147-835X.
- Anonymous 3 United Nation Economic Commission for Europe.** Şartname numara 11. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R011r2e.pdf> (Erişim Tarihi: 9/10/2018)
- Budynas, R.G., Nisbett J.K. 2015.** Shigley'den makine mühendisliğinde tasarım. Literatür yayıncılık, İstanbul, 1055 s.
- Darwish S., Hussein H. M. A., Gemeal, A. 2012.** Numerical Study of Automotive Doors. International Journal of Engineering & Technology, 04, 12
- Doğan, S., Güven, C., Karpat, F., Doğan, O., Yılmaz, T.G. 2014.** Experimental Verification and Finite Element analysis of Automotive Door Hinge. Proceeding of the International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 14-20 Kasım 2014, ASME International, Canada
<http://analizsimulasyon.com/sonlu-elemanlar-yontemi/> (Erişim Tarihi: 10/01/2019)
- Erol, O., Güler Özgül, H. 2019.** Determining Simulation Parameters of Prototype Door Hinge for Correlation between Simulation and Experimental Results in United Nations Economic Commission for Europe Regulation No: 11 Tests. Designs, 3(1): 17.
- Gattmah, J., Öztürk, F., Orhan, S. 2017.** AISI 1010 çeliği için proses parametrelerinin sabit mandrel ile soğuk boru çekme işlemine etkilerinin sonlu elemanlar analiziyle incelenmesi. Sakarya University Journal of Science, 21(5): 886-892.
- İlhan, A., İlhan, E., Varol, F., Aslanlar, Y.S. 2018.** Sac Metal Şekillendirmede Mukavemet Arttırma ve Sonlu Elemanlar Analizlerinin Dinamik Testler ile Karşılaştırılması. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 6(3): 174-181.
- Joshi, A.J., Sone, P., Bhadane, S. 2017.** Design & Development of Car Door Hinge and Disassemble System. International Journal of Engineering Research & Technology, 6(4): 2278-0181.
- Khannukar, K., Kallannavar, V., Manjunath, B.S. 2015.** Dynamic Analysis of Automotive Chassis Using FEA. International Research Journal of Engineering and Technology, 2(9): 2395-0056.
- More, N.D., Öztürk T.A., H. 2016.** Stress Analysis and Optimization of Car Door Hinge. International Engineering Research Journal, 1202-1205.
- Ovalı, İ., Esen, C. 2017** Ansys Workbench. KODLAB, İstanbul, 550 s.
- Özcan, Ş. 2017** Bagaj Kapağı Menteşelerinin Optimum Tasarımı İçin Esnek Algoritma Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Toan, N.D., Seogou, C., Junyoung, P., Yeongsung, S., Youngsuk, K. 2008.** Finite Element Method Simulations to Improve Press Formability of Door Hinge, Journal of

Materials Engineering and Performance. Journal of Materials Engineering and Performance, 18, 1005-1011.

Anonymous 4 Steelnumbers. S355MC malzeme özellikleri. https://www.steelnumbers.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=206(Erişim Tarihi: 08/05/2018)

Anonymous 5 Metal Powder Industries Federation (MPIF). şartname 35-SP. <https://www.mpif.org/News/TabID/164/ArtMID/586/ArticleID/123/New-MPIF-Standad-35-Materials-Standard-Released.aspx> (Erişim Tarihi: 08/05/2018)

Turna, Ş. 2008. Analysis of True Stress Constitutive Equations. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

Tüfekçi, M., Karpaz, F., Yüce, C., Doğan, O., Yılmaz, T.G., Kaya, N. 2015. Design Optimization of Aluminum Hinge Parts for Lightweight Vehicles: Performance, Durability and Manufacturability. International Journal of Mechanical and Production Engineering, 3, ISSN: 2320-2092.

Tüfekçi, M., Yılmaz, T.G., Yüce, C., Doğan, O., Karpaz, F. 2015. Otomobil Kapı Menteşesinin Bilgisayar Destekli. Analizi, Doğrulanması, OTOSEM 2015, İstanbul.

Yılmaz, T.G., Tüfekçi, M., Karpaz, 2017. A Study of Lightweight Door Hinges and Commercial Vehicles Using Aluminum Instead of Steel for Sustainable Transportation. Sustainability, 9, 1661.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur EROL
Doğum Yeri ve Tarihi : Yıldırım/BURSA 08.05.1991
Yabancı Dili : İngilizce, Fransızca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Hürriyet Anadolu Lisesi, 2009
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, 2013
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, 2019

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Akwel Otomotiv, 2014-...

İletişim (e-posta) : onurerol91@gmail.com

Yayınlar :

Erol, O., Güler Özgül, H. 2019. Determining Simulation Parameters of Prototype Door Hinge for Correlation between Simulation and Experimental Results in United Nations Economic Commission for Europe Regulation No: 11 Tests. *Designs*, 3:17.