

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTERNATİF SAC BAĞLANTI TEKNİĞİ VE BU YÖNTEMLE ÜRETİLEN
TAMBURUN DİNAMİK ANALİZİ**

VOLKAN ÇERKEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ MERAL BAYRAKTAR**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALTERNATİF SAC BAĞLANTI TEKNİĞİ VE BU YÖNTEMLE ÜRETİLEN
TAMBURUN DİNAMİK ANALİZİ**

Volkan ÇERKEZ tarafından hazırlanan tez çalışması 25.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğretim Üyesi Meral BAYRAKTAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi Meral BAYRAKTAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cihan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Zeynep PARLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez, doğal kaynak tüketiminin azaltılmasına katkı sağlayan bir sac bağlantı yöntemine ait detay bilgi içermektedir. Arçelik A.Ş. Çamaşır Kurutma Makinesi İşletmesi yardımıyla yüksek lisans tezimde yaptığım “Dünyaya Saygılı, Dünyada Saygın” vizyonunu destekleyen bu çalışma, aynı zamanda içerdiği yenilik ile rekabette maliyet avantajı sağlamaktadır.

Doğru sorular ile çözüme ulaşma ve daha ileriye gitme disiplini edinmemi sağlayan Ar-Ge Grup Yöneticimiz **Sn. Ertan Çetinkaya**’ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Bu disiplin ile denenmemiş çalışmaları deneyebilmeme ve bu çalışmalar sonucunda yenilikçi fikirleri hayata geçirmeme olanak sağlayan Arçelik A.Ş. Çamaşır Kurutma Makinesi İşletmesine teşekkür ederim.

Bitirme tezi çalışmalarımda her aşamada bana özveri ile yol gösteren tez danışmanım **Sn. Dr. Öğretim Üyesi Meral Bayraktar**’a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Yapılan analiz çalışmalarındaki desteği için **Sn. Doç. Dr. Cihan Demir**’e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimime başlamamı destekleyen ve her zorlukta yanımda olan sevgili eşim **Yüksek Makine Müh. Merve Doğan Çerkez**’e teşekkür ederim.

Anneme, abime, ablama ve manevi olarak her zaman yanımda olan rahmetli babam **İsmail Çerkez**’e şükranlarımı sunarım.

Aralık, 2018

Volkan ÇERKEZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Hipotez	10
1.4 Çalışma Koşulları	11
BÖLÜM 2	
ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİNİN İNCELENMESİ	13
2.1 Çamaşır Kurutma Makinesi	13
2.2 Çamaşır Kurutma Makinesinin Mekanik Olarak İncelenmesi	16
2.2.1 Tambur Grubu	17
2.2.1.1 Tambur Ön Sacı	18
2.2.1.2 Tambur Çevre Sacı	19
2.2.1.3 Tambur Arka Sacı, Tambur Flanşı ve Bağlantı Yöntemi	20
2.2.2 Yataklamalar	24
2.2.3 Tahrik Sistemi	25
2.3 Yüklerin İncelenmesi	27
2.4 Ömür Testleri	28
2.4.1 Gerçek Zamanlı Ömür Testleri	29
2.4.2 Hızlı Ömür Testleri	29

BÖLÜM 3

BAĞLANTI MUKAVEMETİ UYGUNLUĞUNUN ANALİZ VE TESTLER İLE BELİRLENMESİ.... 31

3.1	Bağlantıya Gelen Kuvvetlerin Tespiti	31
3.2	Bağlantı Mukavemeti Analizi İçin Yapılan Ön Çalışmalar.....	37
3.2.1	Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	38
3.2.2	Boyutsal Ölçümler	40
3.2.3	Model Oluşturma	41
3.2.4	Ağ Yapısı Oluşturma.....	42
3.3	Bağlantı Mukavemeti Analizleri	44
3.3.1	Sınır Şartları	44
3.3.2	Kesme Kuvveti Mukavemeti Analizi	47
3.3.3	Çekme Kuvveti Mukavemeti Analizi	50
3.4	Bağlantı Mukavemeti Testleri	54
3.4.1	Kesme Kuvveti Mukavemeti Testi	55
3.4.2	Çekme Kuvveti Mukavemeti Testi	57
3.4.3	CAE Analizlerinin Test Sonuçları ile Karşılaştırılması	60

BÖLÜM 4

SONUÇ VE YORUMLAR..... 62

KAYNAKLAR..... 66

EK-A

SAC HAMMADDE MEKANİK ÖZELLİKLERİ 68

A-1	D-Serisi Sac Hammadde Mekanik Özellikleri [11]	68
A-2	H-Serisi Sac Hammadde Mekanik Özellikleri [11]	68
A-3	AISI430 Paslanmaz Sac Hammadde Kimyasal ve Mekanik Özellikleri [12] ..	69

ÖZGEÇMİŞ..... 70

SİMGE LİSTESİ

a	Tambur-Kasnak Arası Mesafe
A	Kayışın kesit alanı
D_1	Kasnak çapı
D_2	Tambur çapı
d/d	Devir/dakika
f	Ölçülen kayış frekansı
F_ϕ	Çevresel kuvvet
F_{kger}	Kayışın gergin kolundaki kuvvet
F_{kgev}	Kayışın gevşek kolundaki kuvvet
F_t	Kayışın gerginlik kuvveti
K	Kayışın santrifüj etki katsayısı
l	Kayışın kol uzunluğu
L	Kayış uzunluğu
m_{rib}	Kayışın birim kayış ağırlığı
n	Kasnak Hızı
n_{rib}	Kayışın rib sayısı
P	İletilmesi gereken güç
R_1	Kasnak efektif yarıçapı
R_2	Tambur efektif yarıçapı
s	Kayışın yüksekliği
β	Sarılma açısı
μ	Kayışın sürtünme katsayısı
v	Kayışın çevresel hızı

KISALTMA LİSTESİ

A.Ş.	Anonim Şirketi
CAE	Computer Aided Engineering
GfK	Açılımı “Growth From Knowledge” olan Alman Araştırma Şirketi
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
T.A.Ş	Ticaret Anonim Şirketi
TSE	Türk Standardları Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Farklı konumlarda çift perçinleme işlemi yapılmış test numuneleri [1] a. Test kuvvetine dik konumlandırılmış çift perçinleme b. Test kuvvetine paralel konumlandırılmış çift perçinleme	2
Şekil 1.2	Test sonrası numune görselleri [1] a. Fretting çatlağı b. Yırtık oluşumu c. Yüksek kuvvetlerde oluşan perçin formu bozukluğu d. Bağlantı kopması.....	3
Şekil 1.3	Perçinleme analizinde kullanılan model ve analiz çıktısı [2]	4
Şekil 1.4	Farklı numunelerde ölçülmüş et kalınlığı ve girişim miktarları [3]	5
Şekil 1.5	Farklı numunelerin çekme test sonuçları ve enerji sönümlmeleri [3].....	5
Şekil 1.6	Zimba ve baskı plakası formu sayesinde düz zeminde yapılan perçinleme işlemi [4]	6
Şekil 1.7	İki farklı baskı plakası formu [4] a. Kademeli baskı plakası b. Radyuslu baskı plakası.....	6
Şekil 1.8	Perçinleme kalıbındaki değişkenler ve bu değişkenlerle oluşturulmuş farklı kalıp geometrileri [5]	7
Şekil 1.9	Perçinleme ve ek malzemesiz perçinlemede statik ve yorulma durumunda oluşan hatalar [6]	7
Şekil 1.9	Perçinleme ve ek malzemesiz perçinlemede statik ve yorulma durumunda oluşan hatalar [6] (devamı)	8
Şekil 1.10	Perçinleme ve ek malzemesiz perçinlemenin yorulma dayanımı ve tahmini [6]	8
Şekil 1.11	Tambur hareketi ve hava akışı.....	9
Şekil 1.12	Tambur yataklama elemanları.....	10
Şekil 1.13	Çamaşır yıkama makinesi ortalama satış oranlarının, makinelerin çamaşır yıkama kapasitelerine göre yıllık değişimi [7]	11
Şekil 1.14	Çamaşır kurutma makinesi ortalama satış oranlarının, makinelerin çamaşır kurutma kapasitelerine göre yıllık değişimi [8]	12
Şekil 2.1	Çamaşır kurutma makinesi kurutma çevrimi.....	13
Şekil 2.2	Açık tip çevrime sahip bacalı (air-vented) çamaşır kurutma makinesi kurutma çevrimi	14
Şekil 2.3	Kapalı tip çevrime sahip çamaşır kurutma makineleri a. Kondanserli b. Isı pompalı.....	15
Şekil 2.4	a. Kurutma makinası gövdesi b. Tambur, yataklamalar ve tahrik elemanlarını içeren çamaşır kurutma makinesi konstrüksiyonu	16
Şekil 2.5	Tambur grubunu oluşturan temel parçalar	17

Şekil 2.6	a. Tambur ön sacı yataklama tekerleri b. Tambur ön sacının tekerler ile yataklanması.....	18
Şekil 2.7	a. Tambur grubu b. Tambur ön sacı kesiti	19
Şekil 2.8	Tambur çevre sacı ile ilişkili tambur grubu parçaları.....	19
Şekil 2.9	a. Tambur grubu b. Tambur arka sacı üzerinde bulunan flanş bağlantısı	20
Şekil 2.10	Ek malzemesiz perçinleme işlemi ile tambur arka sacına sabitlenmiş sac flanş	21
Şekil 2.11	Ek malzemesiz perçinleme işleminde kullanılan parçalar	21
Şekil 2.12	Ek malzemesiz perçinleme işlemi aşamaları a. İç içe girme b. Zimba tarafı malzeme şekil bağı oluşumu c. Tamamlanmış bağlantı	21
Şekil 2.13	Ek malzemesiz perçinleme işleminde kullanılan zimba ve kalıp	22
Şekil 2.14	Sac flanş-tambur arka yataklama mili bağlantısı.....	23
Şekil 2.15	Tambur arka yataklama grubu	23
Şekil 2.16	Ön yataklamalar	24
Şekil 2.17	Arka yataklama	25
Şekil 2.18	Motor ve tambur tahrik mekanizması.....	26
Şekil 2.19	Tambur grubuna gelen kuvvetler	27
Şekil 2.20	Örnek bir çevrim testi laboratuvarı	29
Şekil 2.21	Tambur çevre sacı yüzeyine eşit aralıklarla yerleştirilmiş hızlı ömür testi ağırlıkları	30
Şekil 3.1	6 ve 3 bağlantılı tambur arka sacı flanş bağlantısı a. 6 bağlantılı zimba tarafı görünüm b. 6 bağlantılı kalıp tarafı görünüm c. 3 bağlantılı zimba tarafı görünüm d. 3 bağlantılı kalıp tarafı görünüm	32
Şekil 3.2	Tambur grubunu etkileyen etki kuvvetleri	33
Şekil 3.3	Tambur arka sacı flanş bağlantısının modeli a. 6 bağlantılı tasarım b. 3 bağlantılı tasarım	34
Şekil 3.4	6 bağlantılı tasarımda bağlantılara gelen normal kuvvetler.....	34
Şekil 3.5	6 bağlantılı flanş tasarımda tamburun 0° ve 180°'deki konumundaki tek bağlantıya gelen toplam kuvvet yönü	35
Şekil 3.6	6 bağlantılı tasarımda A bağlantısına gelen kesme kuvveti, yönü ve eksenel kuvvetleri.....	35
Şekil 3.7	3 bağlantılı tasarımda bağlantılara gelen normal kuvvetler.....	36
Şekil 3.8	3 bağlantılı tasarımda A bağlantısına gelen kesme kuvveti, yönü ve eksenel kuvvetleri.....	36
Şekil 3.9	Tambur flanşı üretiminde kullanılan DX51D+AZ150 malzemenin çekme testi sonucu	39
Şekil 3.10	Tambur arka sacı üretiminde kullanılan alternatif malzemelerin çekme testi sonuçları	39
Şekil 3.11	AZ, ZA ve Z(HDG) kaplama arasındaki korozyon direnci farkı [10].....	40
Şekil 3.12	Perçinlenmiş malzeme kritik et kalınlığı ölçümü	41
Şekil 3.13	Bağlantı mukavemeti ölçüm numuneleri a. Kesme kuvveti mukavemeti için b. Normal kuvvet mukavemeti için	42
Şekil 3.14	Analizlerde kullanılacak parça modelleri.....	42
Şekil 3.15	Analizlerde kullanılacak parça modellerin eleman ağı	43

Şekil 3.16 Analizlerde kullanılacak parçaların düğüm sayıları, eleman sayıları ve eleman kaliteleri a. Kalıp b. Zimba c. Baskı d. Tambur arka sacı plakası e. Flanş sacı plakası.....	43
Şekil 3.16 Analizlerde kullanılacak parçaların düğüm sayıları, eleman sayıları ve eleman kaliteleri a. Kalıp b. Zimba c. Baskı d. Tambur arka sacı plakası e. Flanş sacı plakası (devamı)	44
Şekil 3.17 Kesme kuvveti mukavemeti analizi eşdeğer gerilme sonucu.....	45
Şekil 3.18 Çekme kuvveti mukavemeti analizi eşdeğer gerilme sonucu	46
Şekil 3.19 a. AISI 430 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri	47
Şekil 3.19 a. AISI 430 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri (devamı).....	48
Şekil 3.20 a. H340LAD+AZ150 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri	48
Şekil 3.20 a. H340LAD+AZ150 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri (devamı)	49
Şekil 3.21 a. DX52D+Z275 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri	50
Şekil 3.22 a. AISI 430 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri	51
Şekil 3.23 a. H340LAD+AZ150 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri	52
Şekil 3.24 a. DX52D+Z275 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri	53
Şekil 3.25 Bağlantı mukavemeti ölçüm numuneleri	54
Şekil 3.26 Test cihazı	55
Şekil 3.27 Kesme kuvveti mukavemeti sonrası parçalarda oluşan deformasyonlar	55
Şekil 3.28 Kesme kuvveti mukavemet testi grafiği	56
Şekil 3.29 Kesme kuvveti mukavemeti testi sonuçları.....	57
Şekil 3.30 Çekme kuvveti mukavemeti sonrası parçalarda oluşan deformasyonlar	58
Şekil 3.31 Çekme kuvveti mukavemet testi grafiği	58
Şekil 3.32 Çekme kuvveti mukavemeti testi sonuçları	59
Şekil 3.33 Kesme kuvveti mukavemeti analiz ve test sonuçları.....	60
Şekil 3.34 Çekme kuvveti mukavemeti analiz ve test sonuçları	61

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Kayış kasnak mekanizması özellikleri	26
Çizelge 2.2 Tambur kayışı kuvveti hesapları	27
Çizelge 2.3 Tambur kayışı kuvveti hesapları	28
Çizelge 3.1 Tambur grubu analizi serbestlik tablosu	33
Çizelge 3.2 Yataklamalara gelen kuvvetler	37
Çizelge 3.3 Analiz sonuçlarının doğrulaması	37
Çizelge 3.4 Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	38
Çizelge 3.5 Test koşullarındaki farklılık	54
Çizelge 3.6 Kesme kuvveti mukavemeti test sonuçları	56
Çizelge 3.7 Çekme kuvveti mukavemeti test sonuçları	59
Çizelge 3.8 Test ve analiz sonuçları	61

ALTERNATİF SAC BAĞLANTI TEKNİĞİ VE BU YÖNTEMLE ÜRETİLEN TAMBURUN DİNAMİK ANALİZİ

Volkan ÇERKEZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Meral BAYRAKTAR

Yaşam alanlarımızda kullandığımız makinalarda işlevselliğin yanı sıra, makinanın görsel açıdan da estetik olması tercih edilmektedir. Bundan dolayı, günümüzde endüstriyel tasarım çalışmaları önem kazanmıştır. Endüstriyel tasarımı iyi yapılmış bir ürün, aynı fonksiyonel özellikteki ürünlere göre rekabette avantaj sağlamaktadır. Fakat daha fazla kullanıcıya hizmet verebilmek için, maliyette de avantaj sağlamak gerekmektedir. Algılanan kalitesi yüksek, maliyeti düşük ürün tasarımında yaygın olarak alternatif hammadde kullanımı yoluna gidilmektedir. Örneğin; algılanan kalitesi yüksek olan paslanmaz sacların yerini, artık maliyette avantaj sağlayan kaplamalı saclar almaktadır. Kullanıcı taleplerini karşılayabilmek için bu gibi farklılıklarda esnek üretim yapma gerekliliği doğmuştur. Bu durum, aynı kalıp ve ekipman ile üretilen bir parçada, malzeme farklılıkları opsiyonu sunulmasını gerektirmektedir.

Günümüzde “Güvenilirlik” her makine imalatında olduğu gibi, beyaz eşya sektöründe de ön plana çıkmaktadır. Artan rekabet ortamında müşteri beklentilerini karşılayan ve aynı zamanda maliyeti düşük makina üretimi, değer kazanmıştır. Güvenilirlik açısından uygun olmayan tasarımlar, kullanıcıya verdiği zararlar nedeniyle memnuniyetsizlik yaratmakta ve marka algısını olumsuz etkilemektedir. Güvenilirlik dolaylı olarak ürün satışlarını etkilemektedir. Bu nedenle, müşteri taleplerini karşılayabilmek için, aynı tasarımda farklı malzeme kullanımı da güvenilirlik açısından detaylı olarak incelenmelidir.

Bu çalışmada, aynı tasarımda farklı sac hammadde kullanımı olan bir çamaşır kurutma makinesi tamburunun, bağlantı mukavemeti ele alınmaktadır. İçerisine çamaşırların

yerleştirildiği çamaşır kurutma makinası tamburu, müşteri taleplerine göre, paslanmaz veya kaplamalı saclardan üretilmektedir. Hareketli tambur, sabit makina gövdesine ön kısımdan iki adet teker şeklindeki yataklama ile sabitlenmektedir. Arka kısımda ise tambur grubu üzerinde bulunan bir milin, küresel yataklama içerisinden geçmesi ile sabitlenmektedir. Mil ile tambur sacı arasında, sac flanş bulunmaktadır. Sac flanş üretiminde, DX51D+AZ150 hammadde kullanılmıştır. Sac flanşa bağlı olan tambur sacı üretiminde ise üç farklı hammadde kullanılmıştır. Bunlar, AISI 430 paslanmaz, DX52D+Z275 ve H340LAD+AZ150 hammaddeleridir. Sac flanş ile tambur sacı arasındaki bağlantı, ek malzemesiz perçinleme işlemi ile sağlanmıştır.

Çamaşır kurutma makinası dinamik parça kontrol testleri için ömür testleri yapılmaktadır. Ömür testlerinde, çamaşır kurutma çevrimine karşı tasarımı dayanıklılığı kontrol edilmektedir. Ömür testlerinin uzun süreli olması dolayısıyla tambura bağlanan ağırlıklarla, hızlandırılmış ömür testi geliştirilmiştir. 8 kg çamaşır kurutma kapasitesine sahip bir çamaşır kurutma makinesinde, hızlandırılmış ömür testi 16 kg ağırlık ile yapılmaktadır.

Çalışmada, 16 kg ağırlık bağlanmış, 6 ve 3 ek malzemesiz flanş-tambur sacı bağlantısına sahip tasarımlarda, bağlantıya gelen yükler analiz edilmiştir. 6 bağlantılı tasarımda bağlantıya tambur dönme frekansında maksimum 49,3 N eki ve bası kuvveti gelmektedir. Bu kuvvetin yanı sıra, bağlantıya, 46,9 N'luk değişken yönlü kesme kuvveti gelmektedir. 3 bağlantılı tasarımda ise bağlantıya tambur dönme frekansında maksimum 98,5 N eki ve bası kuvveti gelmektedir. Bu kuvvetin yanı sıra bağlantıya 93,8 N'luk değişken yönlü kesme kuvveti gelmektedir.

Ek malzemesiz bağlantıya yapılan bağlantı kesme kuvveti ve bağlantı çekme kuvveti testlerini simüle eden analizlerde ve gerçekleştirilen testlerde, bağlantıların bu kuvvet değerlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

Yapılan analizlerde elde edilen mukavemet değerlerine, kaplamalı tambur arka sacı ile yapılan alternatiflerde test sonuçlarına göre %34- %59 sapma ile ulaşılmıştır. AISI 430 tambur arka sacı hammaddesinde ise bu değer %1- %2 olarak gerçekleşmiştir. Ek olarak, test sonuçları incelendiğinde, bağlantı yapısı itibarı ile test sonuçları ortalama değerine göre %12 ila %44 arasında değişkenlik göstermektedir. Bundan dolayı konstrüksiyonda, bu oranlar göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalıdır.

Mevcut tasarım için, yapılan analiz ve test sonuçlarına göre hem kesme kuvveti mukavemeti, hem de çekme kuvveti mukavemeti açısından çalışılan alternatifler uygundur. Yapılacak yeni tasarımlarda, en düşük bağlantı mukavemeti değerine sahip olan DX52D+Z275 ve DX51D+AZ150 hammadde sacların birleşimi, tasarımı kısıtını oluşturmaktadır. Ve aynı ekipmanlar ile üretim yapılması durumunda bağlantı mukavemet değeri en düşük olan bu hammaddeler baz alınarak yükler belirlenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Perçinleme, Kenetleme (Clinching), Bağlantı Mukavemeti

**ALTERNATIVE SHEET METAL FIXING TECHNIC AND DYNAMIC ANALYSIS
OF DRUM RELATED TO THIS TECHNIC**

Volkan ÇERKEZ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Meral BAYRAKTAR

The machines that are in our living area must be esthetic with their functionality. So, industrial design happened more important in these days. Well designed productions about industrial design, have advantages in competitive environment. But, at the same time, productions must be cheaper for more sales in competitive environment. Alternative raw material usage is common for machines that have more perceived quality and less prices. For example, coated sheet metal usage is more than stainless sheet metal usage because of its price, although stainless have more perceived quality.

Different materials can be used with same construction due to production requirements, visual and cost differences for demands of customers. Part strength and producibility are affected, if you use different materials that have different mechanical properties with same production tools. So, construction must be checked about producibility and reliability.

This study includes clinching strengths of a tumble dryer's drum's different sheet metals that clinched with same tools at same press parameters. The sheet metal that used at die side for all tests is DX51D+AZ150 due to EN10346:2009 and its thickness is 1.5mm. The sheet metals that used at punch side are ferritic stainless steel due to AISI 430, DX52D+Z275 due to EN10346:2009, HX340LAD+AZ150 due to EN10346:2009, and their thickness is 0.5mm for all samples. Clinching tool have 8mm point diameter and 0.8 depths at die side and 5.6mm punch diameter at punch side. Press applied 54-55kN

when clinching that includes hold down force. Hold down force applied 4176N. Clinched materials total thickness became 0.6mm for all test.

In the study, 6 and 3 connections that are without any additional materials between flange and drum rear part were analyzed under 16 kg load condition. Maximum normal force occurred 49.3 N for one connection with design that have 6 connections. Maximum shear force occurred 46.9 N for one connection with design that have 6 connections. Maximum normal force occurred 98.5 N for one connection with design that have 3 connections. Maximum shear force occurred 93.8 N for one connection with design that have 3 connections.

Clinched sheet metals samples prepared for share and pull force tests and test applied to all samples. And this condition created with CAE and analysed. According to analysis and test results, clinching that applied to stainless steel at punch side have max. share and pull strength forces in examined materials. And H340LAD+AZ150 material is more strength than DX52D+Z275 material. As a result, construction must be designed due to DX52D+Z275 material, if same tools, production parameters and design are used.

The purpose of this study is to detect connection strength of two sheet metal's clinching that clinched with different punch side material, same clinching tools at same press parameters with analysis and tests.

In conclusion; the strength values were obtained with 34% - 59% deviation due to test results that are tested with coated drum rear part. This value was obtained with 1% -2% deviation due to test results that is tested with AISI 430 drum rear part. In addition, the test results vary from 12% to 44% based on the average of the test results. Therefore, the design should be done considering these ratios.

According to the analysis and test results for the current design, both the shear strength and the normal strength are suitable.

Used materials affect clinching strength if materials clinched with same tools at same production parameters. Normal and share tests used for defining the strength of clinching. Due to test results, clinching that applied to stainless steel at punch side have max. share and pull strength forces in examined materials. And H340LAD+AZ150 material is more strength than DX52D+Z275 material. New design must be checked about producibility and reliability, due to DX52D+Z275 material usage, if same tools, production parameters and design are used.

Keywords: Clinching, Connection, Clinching Strength

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu tez, genel olarak çamaşır kurutma makinesi tamburunda kullanılması planlanan, bir yeni nesil bağlantı yönteminin ve birleştirdiği parçaların ömür mukavemeti yeterliliği ile ilgilidir.

Nüfus artışı ve doğal kaynakların azalması, günümüz yaşam alanlarını daha küçük fakat daha işlevsel hale getirmiştir. Oturma ve dinlenme ihtiyaçlarımız dışında kullandığımız alanların küçülmesi de mecburen alışkanlıklarımızı değiştirmemize neden olmuştur. Bu durum, aşırı yağış alan ülkelerde kullanımı yaygın olan çamaşır kurutma makinesinin, ülkemizde de kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Artık, çamaşır kurutma ihtiyacının daha küçük, balkonsuz, bahçesiz konutlarda karşılanabilmesi için çamaşır kurutma makineleri kullanılmaktadır.

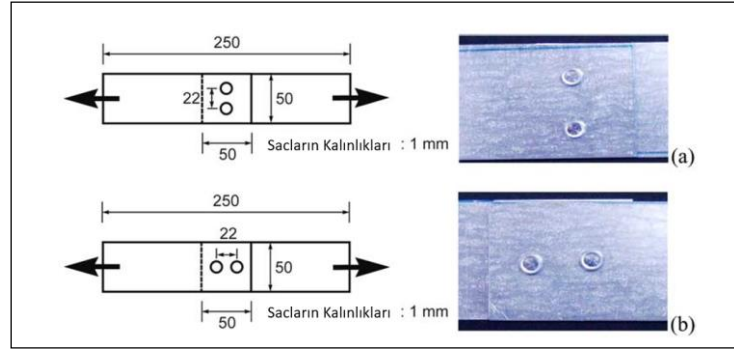
Tüketimin artması ve doğal kaynakların azalması, makine üretiminde de ürün maliyetlerini arttırmaktadır. Ürünlerin daha geniş kitlelerce kullanılması için fonksiyonellikten taviz vermeden yapılan maliyet iyileştirmeleri, ürün maliyetlerinde azalma, satış adetlerinde artma olarak üreticiye yansımaktadır.

Ürün maliyetini, hem işçilik hem de malzeme kullanımı açısından etkileyen bir unsur da kullanılan bağlantı yöntemleridir. Kullanılan bağlantı yöntemi ile sağlanan montajın kısa sürede olması, işçilik maliyetini azaltırken; bu yöntemde kullanılan bağlantı elemanının hammaddesi, boyutu ve imal yöntemleri malzeme maliyetini azaltmaktadır. Bu durum, sadece bağlantı elemanı üreten ve bağlantı yöntemleri geliştiren firmaların oluşmasına neden olmuştur.

Sonuç olarak; ürün güvenilirliğinin sağlanması ve makine ömrünün verilen garanti süresinin üzerinde olması, geliştirilen yeni bağlantı yöntemlerinin analizini ve testler ile doğrulanmasını gerektirmektedir.

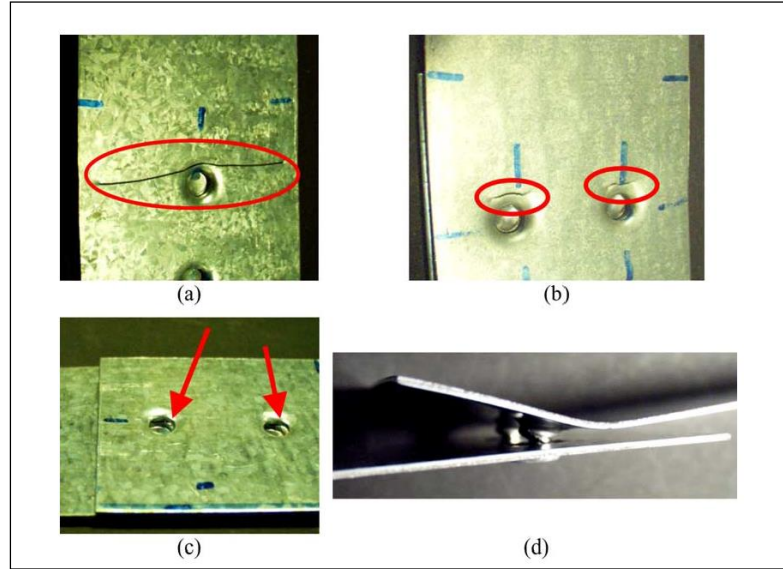
1.1 Literatür Özeti

Carboni vd. [1] tarafından yapılan çalışmada, sac malzemelerin birbirine geçmesi ile oluşan perçin işleminin, statik ve yorulma gerilmelerine maruz kalması durumunda, bağlantıda oluşan hata çeşitleri incelenmiştir. Şekil 1.1'te de görüleceği üzere, farklı pozisyonlarda çift perçinleme işlemi yapılmış (test kuvvetine paralel yönde sıralanmış ve test kuvvetine dik yönde sıralanmış) numunelerin, statik yükteki davranışı gözlemlenmiştir.



Şekil 1.1 Farklı konumlarda çift perçinleme işlemi yapılmış test numuneleri [1] a. Test kuvvetine dik konumlandırılmış çift perçinleme b. Test kuvvetine paralel konumlandırılmış çift perçinleme

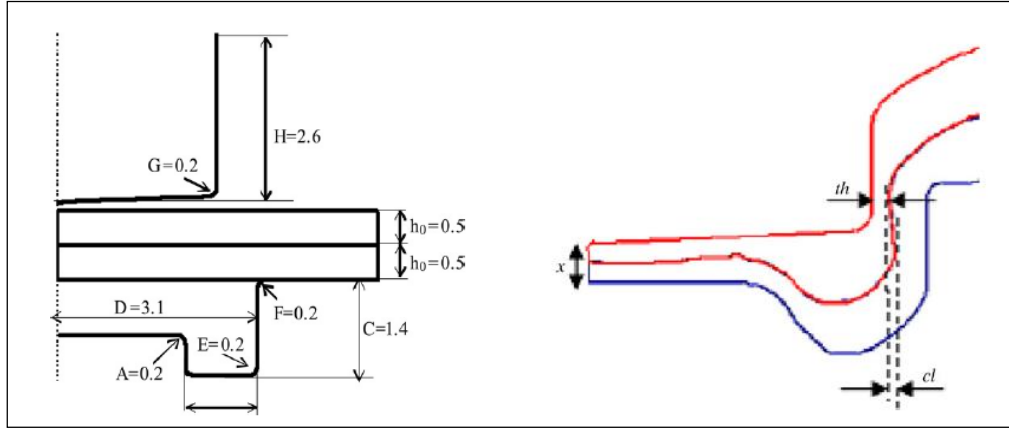
Yapılan test sonuçlarına göre, statik yükte perçin konumlarının mukavemete önemli bir etkisi bulunmadığı görülmüştür. Fakat dinamik yükler altında yapılan test sonuçlarına göre, bağlantının konumunun, uygulanan dinamik kuvvetin genliğinin ve uygulanan dinamik yükün minimum/maksimum gerilim oranının, bağlantı mukavemetinde etkili olduğu görülmüştür. Şekil 1.2.a'da görüldüğü üzere, dinamik yükün minimum/maksimum gerilim oranının 0,1 olduğu durumda, maksimum yükte ve test kuvvetine paralel konumlandırılmış perçinlemede yapılan testlerde titreşimli aşınma yorulması (fretting çatlakları) gözlemlenirken; dinamik yükün minimum/maksimum gerilim oranının 0,1 olduğu durumda, maksimum yükte ve test kuvvetine dik konumlandırılmış perçinlemede, kesme kuvvetinden dolayı oluşan yırtıklar gözlemlendiği belirtilmiştir.



Şekil 1.2 Test sonrası numune görselleri [1] a. Fretting çatlağı b. Yırtık oluşumu c. Yüksek kuvvetlerde oluşan perçin formu bozukluğu d. Bağlantı kopması

Dinamik yükün minimum/maksimum gerilim oranının 0,7 olduğu durumlarda ise bağlantının, plastik deformasyon dolayısıyla çözüldüğü belirtilmiştir. Yapılan sonlu elemanlar analizinde de hataların olduğu bölgelerde yüksek gerilmeler gözlemlenmiş olup, deneysel sonuçları desteklediği belirtilmiştir.

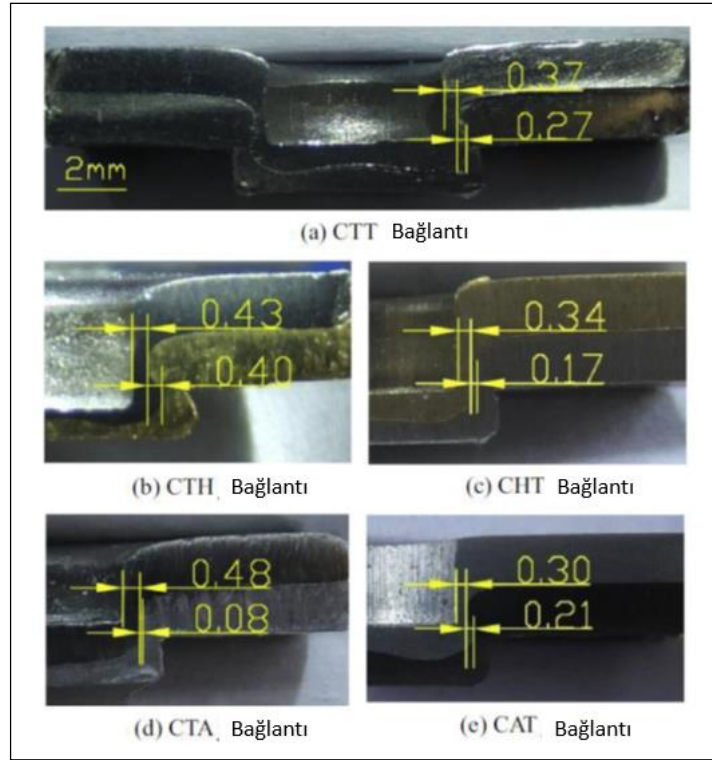
Oudjene ve Ben-Ayed [2] tarafından yapılan çalışmada ise Taguchi metodu kullanılarak, mukavemet açısından en iyi formu oluşturacak sac malzemelerin birbirine geçmesi ile oluşan perçinlemenin parametrelerinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmada, değişiklik yapılan parametreler, bu parametreler ile yapılan perçinleme işlemi sonucunda oluşan form geometrileri ve oluşan bağlantıya çekme testinin uygulanması sonucu çıkan verilerin tamamına ABAQUS programı ile yapılan sonlu elemanlar yöntemi ile ulaşılmıştır. Perçinleme işleminde zımba ve kovanın, alüminyum saclar arasındaki sürtünmesinde, 0,1 sürtünme katsayısı kullanılmıştır. Alüminyum sacların birbirleri arasındaki sürtünmesine ise 0,3 sürtünme katsayısı kullanılmıştır. Değişken parametreler olarak, zımba ve kovan üzerinde çeşitli ölçüler belirlenmiştir.



Şekil 1.3 Perçinleme analizinde kullanılan model ve analiz çıktısı [2]

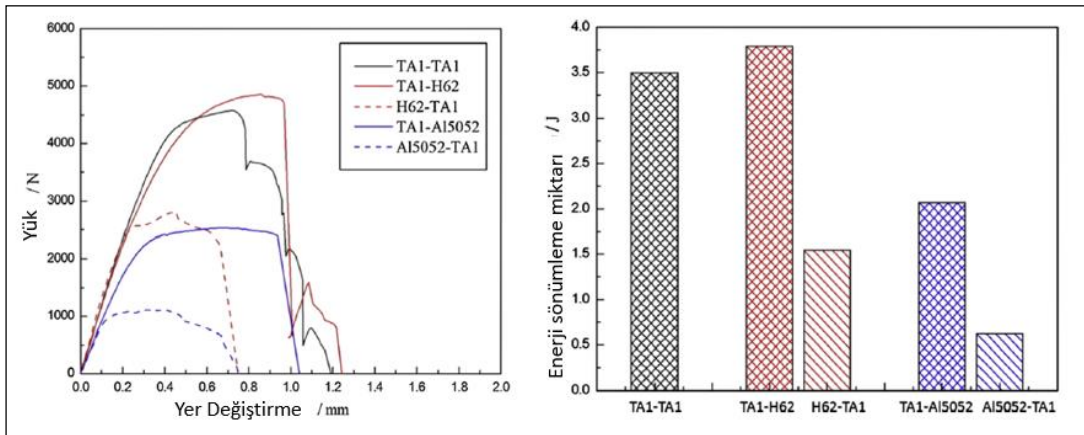
Şekil 1.3’de bulunan ve mm cinsinden verilen zımba, kovan ve malzeme boyutları ile elde edilen zımbalama işlemi sonucundan çıktı olarak, üst malzemenin dairesel yüzeydeki minimum et kalınlığı ve yine üst malzemenin alt malzeme içerisindeki girişim miktarı (undercut) alınmıştır. Son olarak, perçinli modele uygulanan çekme testi ile perçin formunun mukavemeti elde edilmiştir. Elde edilen en iyi mukavemet sonucuna göre üst malzemenin dairesel yüzeydeki minimum et kalınlığının maksimum olduğu ve yine üst malzemenin alt malzeme içerisindeki girişim miktarının (undercut) maksimum olduğu form en mukavemetli perçinlemeyi oluşturmaktadır.

He vd. [3] tarafından yapılan çalışmada aynı perçinleme yönteminin, aynı malzemelerle, farklı malzemelerle ve farklı malzemelerin yerleri değiştirilerek yapılan mukavemet testleri ile malzemelerin ve malzeme konumlarının bağlantı mukavemetine etkisi belirlenmiştir. Perçinleme zımba çapı, zımba radyusu, kovan çapı gibi perçinleme işleminin mukavemetini değiştirecek malzeme dışı etkenlerin sabit tutulduğu testlerde, perçinleme işlemi sonrası perçinlenen malzemelerin toplam kalınlıkları maksimum 1,4 mm olarak perçinleme işlemi yapılmıştır. TA1 (titanyum sac malzeme), H62 (Bakır alaşım sac malzeme) ve AA5052 (Alüminyum alaşım sac malzeme) ile yapılan perçinlemeler, perçinleme eksenine doğrultusundan ve zımba merkezinden kesit alınmıştır. Şekil 1.4’teki parça kesitlerinde de görüleceği üzere, her farklı durumda şekil bağının oluşturulduğu malzemelerin girişim mesafeleri ve üst malzemenin perçinleme bölgesindeki et kalınlığı farklı gerçekleşmiştir.



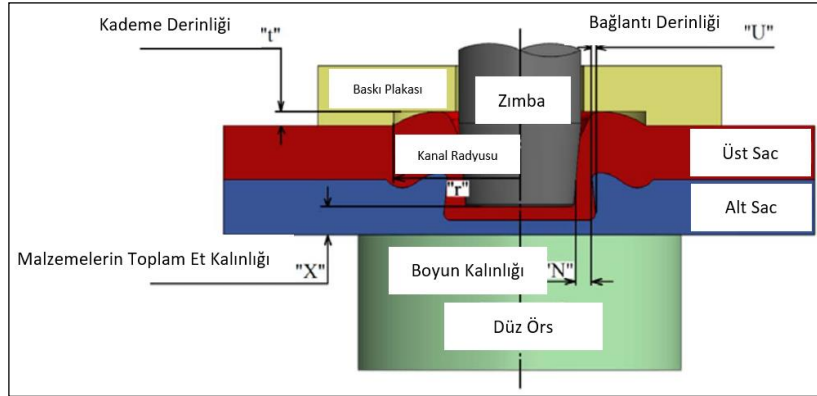
Şekil 1.4 Farklı numunelerde ölçülmüş et kalınlığı ve girişim miktarları [3]

Perçin eksenine dik gelecek şekilde kesme kuvvetine maruz bırakılan başlantıların gerçekteşen maksimum dayanım kuvvetleri ve test boyunca numunelerin uzama miktarları karşılaştırılmıştır. Belirtilen malzemeler ile yapılan tüm testlerde başarılı perçinleme işlemleri gerçekteşirilmiştir. Test sonuçları, tekrar edilebilirliği yüksek veriler içermektedir. Şekil 1.5'te de görüldüğü üzere, en yüksek mukavemete sahip perçinleme işlemi, üst malzemenin titanyum kullanılması durumunda gerçekteşmiştir. Yine aynı durum enerji emilimini maksimum düzeyde tutmaktadır.



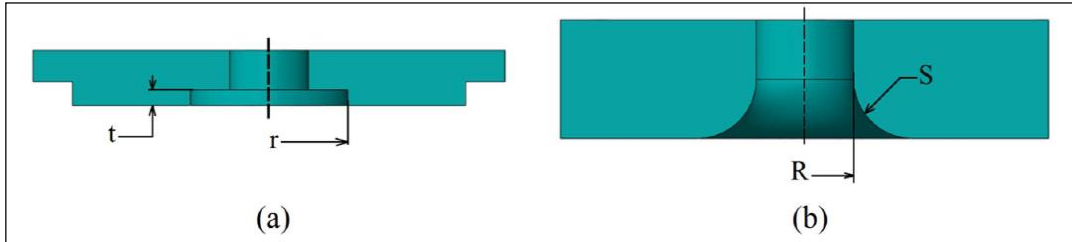
Şekil 1.5 Farklı numunelerin çekme test sonuçları ve enerji sönümlmeleri [3]

Atia ve Jain [4] tarafından yapılan çalışmada, Şekil 1.6'da perçin zımbasının içerisinden geçtiği ve malzemelere üstten baskı uygulayan baskı plakasındaki dairesel boşluk formunun, birleşme mukavemetine etkisi deneysel ve analizler ile incelenmiştir.



Şekil 1.6 Zimba ve baskı plakası formu sayesinde düz zeminde yapılan perçinleme işlemi [4]

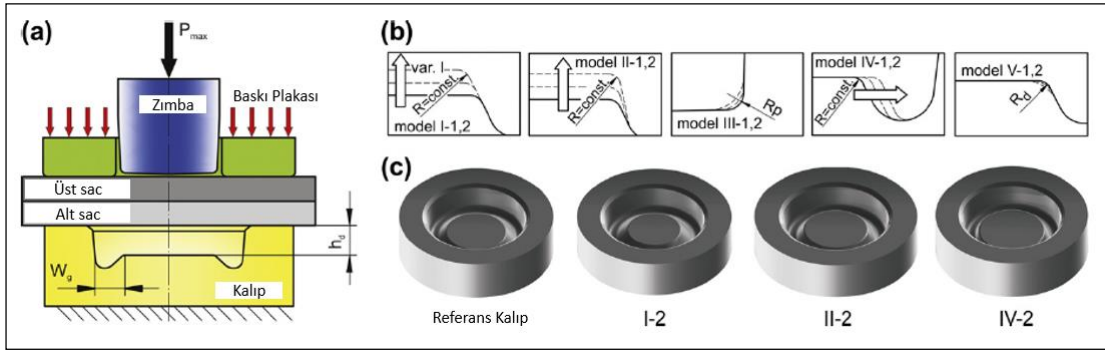
Şekil 1.6'da t ile belirtilen baskı plakası kademe derinliğinin azaltılması ile eksenel ve radyal malzeme akışının arttırılabilmekte olduğu belirtilmiştir. Boşluğun Şekil 1.7.a'daki gibi kademeli olması veya Şekil 1.7.b'deki gibi radyuslu olması perçinleme mukavemetini değiştirmemektedir, fakat kademe çapının artması veya radyusun büyümesi malzemeler arası kenet derinliğini arttırmaktadır.



Şekil 1.7 İki farklı baskı plakası formu [4] a. Kademeli baskı plakası b. Radyuslu baskı plakası

Zimba-kovan arasında perçinlenmiş bölgenin et kalınlığı, sacların toplam et kalınlığının %10'undan fazla olmasının, bağlantı mukavemeti açısından önemli olduğu belirtilmiştir.

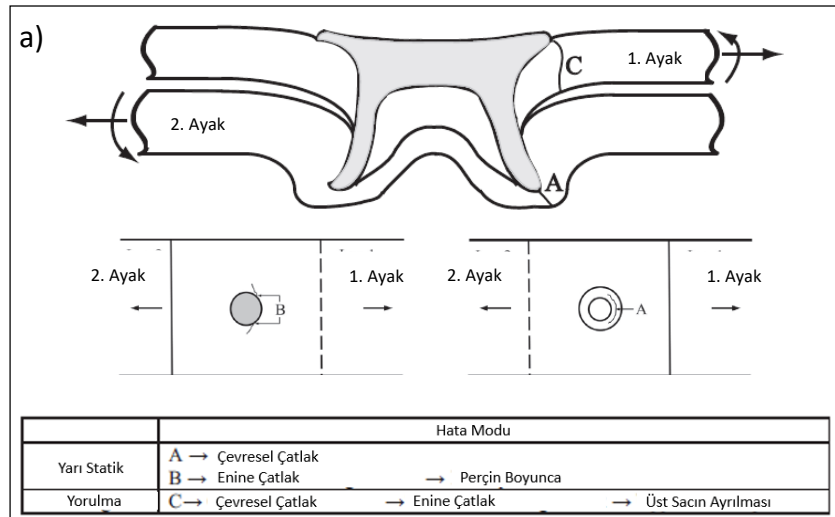
Mucha [5] tarafından yapılan çalışmada ise Şekil 1.8'de gösterilen farklı kalıp geometrilerinde ve farklı perçinlenmiş malzeme taban et kalınlıklarında, perçinleme işlemi malzeme akışları simüle edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre farklı durumlar için gerekli olan zimba kuvvetleri tespit edilmiştir. Farklı durumlar için oluşan perçin geometrileri ve bu geometrilerdeki kritik ölçülerin miktarları karşılaştırılmıştır.



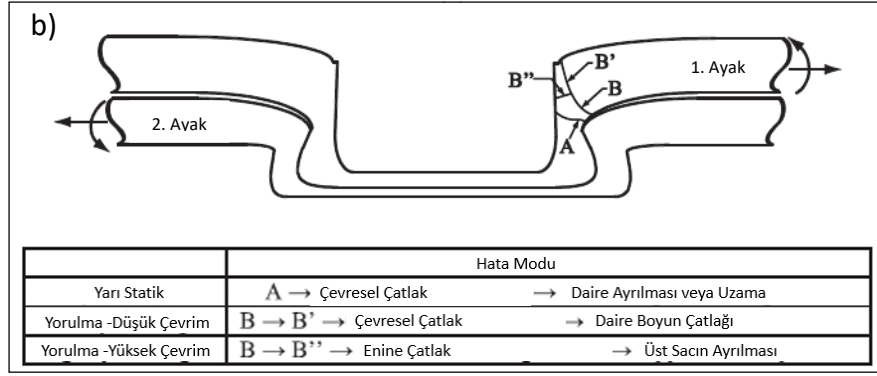
Şekil 1.8 Perçinleme kalıbındaki değişkenler ve bu değişkenlerle oluşturulmuş farklı kalıp geometrileri [5]

Yapılan çalışma sonuçlarına göre deneysel çalışmaların analizler ile desteklenmesi sonucu perçinleme aletleri tasarlanabilmekte ve düşük perçinleme kuvvetinde yüksek kaliteli bağlantı elde edilebilmektedir. Çalışma, kalıptaki oluk genişliğinin malzeme akışı ve gerilim dağılımına etkisi teorik olarak açıklanmaktadır. Kalıp ve özellikle oluk geometrisi, kilit form ve parametrelerini etkilediği belirlenmiştir. Yüksek perçinleme kuvveti bağlantılarında oluşan form, daha iyi bir bağlantı sağlamaktadır.

Su vd. [6] tarafından yapılan çalışmada perçinli bağlantı ve ek malzemesiz perçinleme işleminin yorulmaya karşı hata modlarına yer verilmiştir. Bu iki bağlantı şeklinde de statik kuvvet ve yorulma kuvveti dolayısıyla oluşan hatalar ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil 1.9.a'da gösterilen perçinleme işleminde statik hata A bölgesinin çatlaması iken, yorulma durumunda C bölgesi çatlağı gözlemlenmektedir.



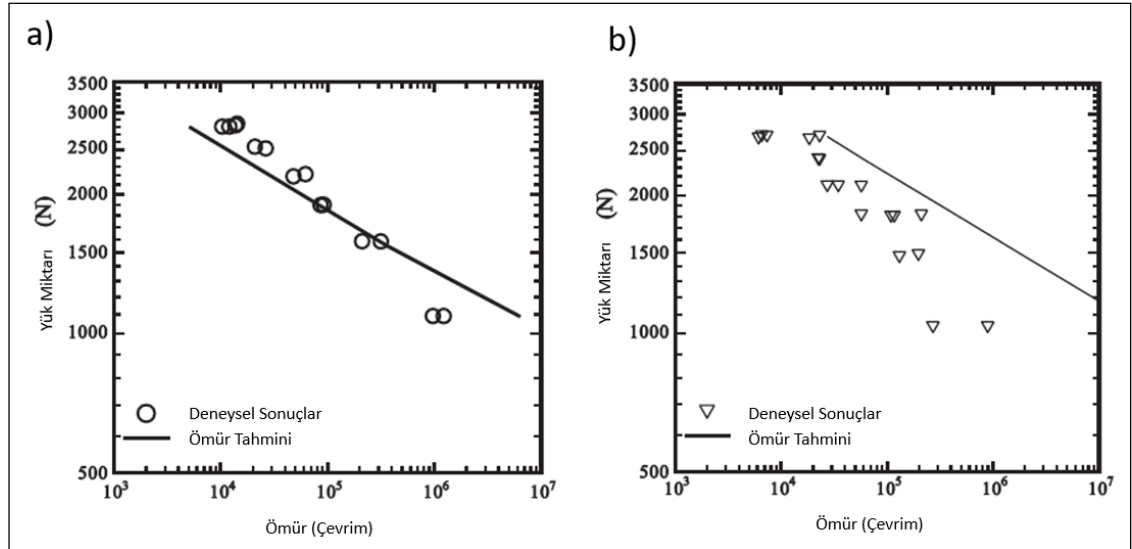
Şekil 1.9 Perçinleme ve ek malzemesiz perçinlemede statik ve yorulma durumunda oluşan hatalar [6]



Şekil 1.9 Perçinleme ve ek malzemesiz perçinlemede statik ve yorulma durumunda oluşan hatalar [6] (devamı)

Şekil 1.9.b'de gösterilen ek malzemesiz perçinleme işleminde statik yük altındaki hata A bölgesinin çatlaması ile gerçekleşmektedir. Düşük çevrimlerde oluşan hata modu, B-B' bölgesinde oluşan çatlak iken, yüksek çevrimlerde oluşan hata B-B'' bölgesinde oluşmaktadır. Her iki birleştirme yönteminde de statik durumda düşük et kalınlığında, yorulma durumunda ise görece yüksek et kalınlığında çatlama meydana gelmektedir.

Yapılan çalışmada, bağlantıya gelen yüklere, bağlantı boyutlarına, hammadde et kalınlıklarına ve hammadde Poisson oranına göre ömür çevrimleri yaklaşımları yapılmıştır. Sonrasında bu değerler Şekil 1.10'da göreceğiniz üzere gerçekleşen değerler ile karşılaştırılmıştır.

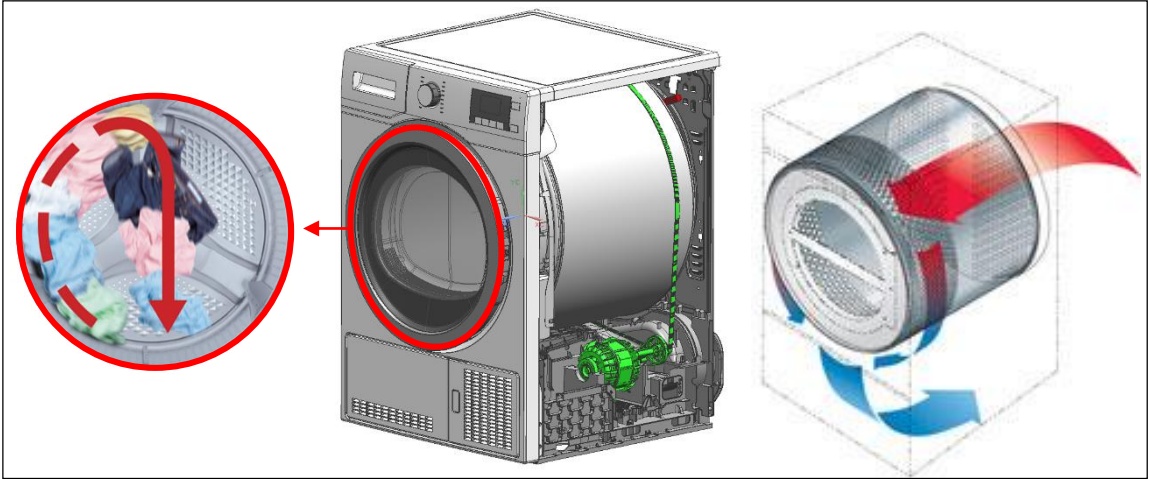


Şekil 1.10 Perçinleme ve ek malzemesiz perçinlemenin yorulma dayanımı ve tahmini [6]

1.2 Tezin Amacı

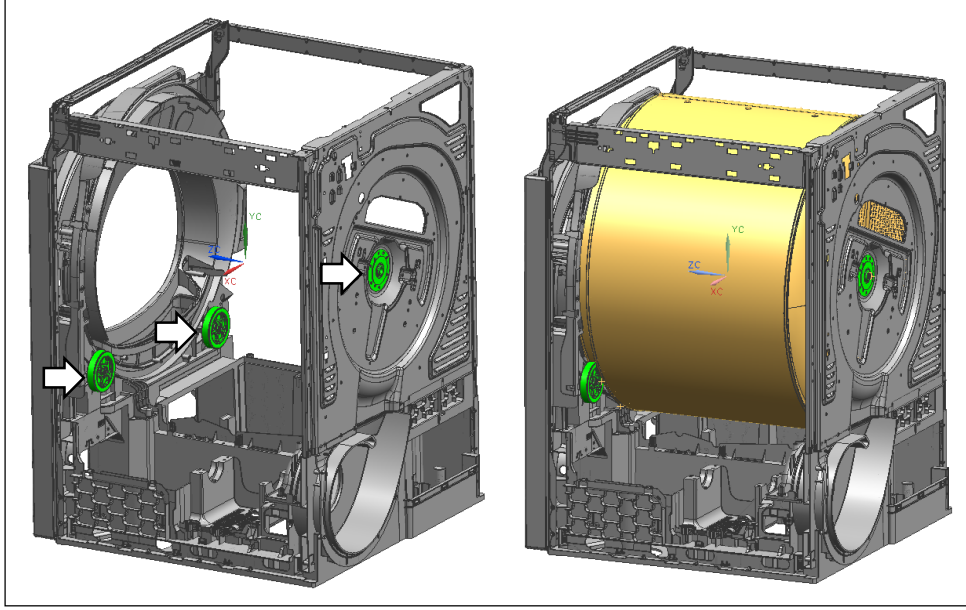
Çamaşır kurutma makinesinde, kurutulması istenen nemli çamaşırların yerleştirildiği bir tambur bulunmaktadır. Tambura yerleştirilen çamaşırların üzerinde bulunan su kütleleri, tamburdan geçen hava ile taşınarak çamaşırdan uzaklaştırılır. Bu sayede çamaşırların kuruması sağlanmaktadır.

Çamaşırların hava ile temasının homojen ve maksimum düzeyde olması, kurutma süresini azaltmakta ve kurutma kalitesini arttırmaktadır. Bu durumu sağlayabilmek için çamaşırların bulunduğu tambur, kendi ekseninde dönme hareketi yapmaktadır. Bu dönme hareketi, Şekil 1.11’de görüldüğü üzere çamaşırların tambur içerisinde üst noktadan yer çekimi etkisi ile düşmesini sağlamaktadır. Bu esnada tambur eksenine paralel giden hava akımı ile çamaşır arasındaki temas, artmakta ve daha homojen kurutma sağlanmaktadır.



Şekil 1.11 Tambur hareketi ve hava akışı

Tezde incelenecek olan çamaşır kurutma makinesinin hareketli tamburu, sabit makine gövdesi üzerinde Şekil 1.12’de gösterildiği gibi üç noktadan yataklanmaktadır. Bu yataklamalardan iki tanesini, tamburun çamaşır yükleme kısmında bulunan iki adet teker oluşturmaktadır. Bir diğer yataklama ise tamburun arka kısmında bulunan milin küresel mafsali içerisinde geçmesi ile sağlanmaktadır. Milin tambura bağlantısı, flanş ara parçası ile sağlanmaktadır. Flanş ile tambur sacı arasındaki bağlantıda ise yaygın olarak perçin kullanılmaktadır.



Şekil 1.12 Tambur yataklama elemanları

İnsan yaratıcılığı, teknolojik gelişmeler ile bir araya geldiğinde parça birleşimleri için farklı bağlantı yöntemleri geliştirilmiştir. Bu tezde, tambur ile sac flanş arasındaki bağlantının, özel bir şekil bağı (clinching) kullanılarak yapılması sonucunda, oluşan yapının, belirlenen şartlar altındaki mukavemeti incelenecektir. Oluşturulacak modeller üzerinde yapılacak sonlu eleman analizleri ile deney sonuçları karşılaştırılarak tasarım doğrulama yapılacaktır.

1.3 Hipotez

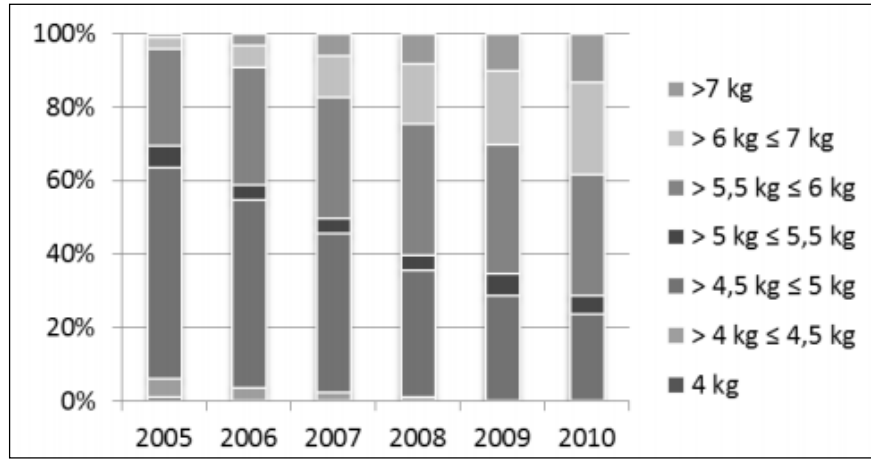
Yapılan çalışmada farklı mekanik ve yüzey özelliklerine sahip sac parçaların, aynı özel şekil bağı bağlantısı ile üretilmesi sonucu oluşan yapının mukavemet değeri ele alınmaktadır. Bu bağlantı yapısı, çamaşır kurutma makinesi tamburunda kullanılarak farklı hammaddeler için bağlantının yeterliliği tespit edilecektir.

Çalışmada kullanılan yöntemle, farklı hammadde ve aynı bağlantı kullanılarak elde edilen tambur bağlantısının, ihtiyaç olan yük taşıma kapasitesine yeterliliği konusunda bilgi edinilebilmektedir.

1.4 Çalışma Koşulları

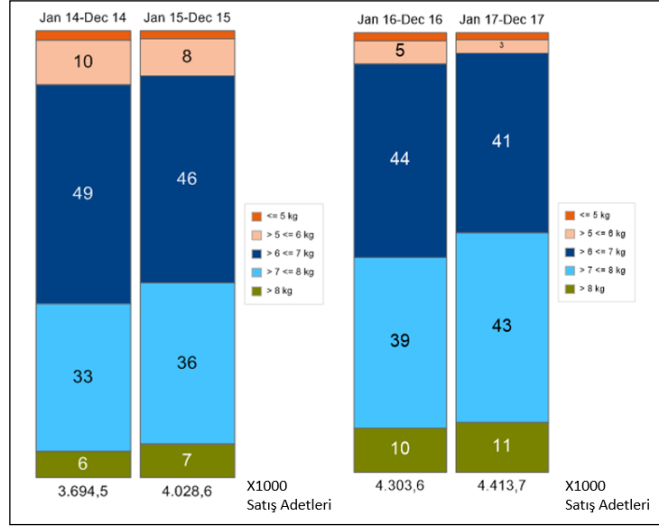
Çamaşır kurutma makineleri, çamaşır yıkama makinelerinin kapasitelerine paralel kapasitelerde tasarlanmakta ve üretilmektedir. Her iki makinada da çamaşır yük kapasiteleri, kullanıcıya, kuru çamaşır ağırlığı olarak bildirilmektedir.

Şekil 1.13’de görüldüğü üzere, GfK tarafından yapılan araştırmaya göre, 2005 yılından 2010 yılına kadar, 7 kg ve üzeri çamaşır yıkama makinesi satışı, diğer kapasitelere göre artış sağlamıştır.



Şekil 1.13 Çamaşır yıkama makinesi ortalama satış oranlarının, makinelerin çamaşır yıkama kapasitelerine göre yıllık değişimi [7]

Şekil 1.14’te bulunan, GfK’nın her yıl paylaşmakta olduğu çamaşır kurutma makinesi satışları raporuna göre, 2017 yılı içerisinde gerçekleşen Batı Avrupa’da 7 ve 8 kg kapasiteli çamaşır kurutma makinesi satışları, toplam satışların %84’ünü oluşturmaktadır. Geçmiş yıllar da incelendiğinde müşteri taleplerinin 7 ve 8 kg kapasiteli çamaşır kurutma makinesi üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 1.14 Çamaşır kurutma makinesi ortalama satış oranlarının, makinelerin çamaşır kurutma kapasitelerine göre yıllık değişimi [8]

7 ve 8 kg ürünlerin satış oranlarının diğerlerine göre yüksek olması nedeniyle, yapılan bu çalışmada 8 kg kapasiteli ürün referans alınmıştır. Bundan dolayı, çalışma, 2017 yılı verilerine göre satışlarının %89'unu kapsamaktadır.

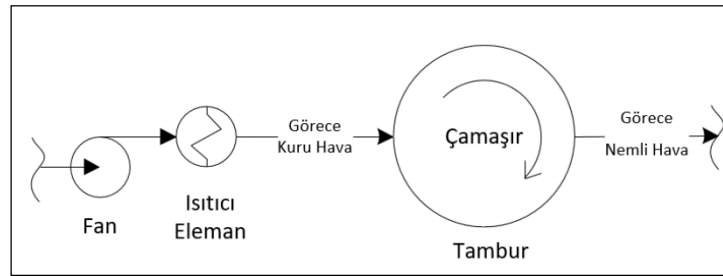
Müşteri seçimine bırakılan ve ürünün mukavemetini etkileyen bir diğer unsur ise çamaşırın içerisine yerleştirildiği tamburun imalatında kullanılan malzemedir. Çamaşır kurutma makinalarında tambur malzemesi olarak genellikle farklı mekanik özelliklere sahip paslanmaz veya kaplamalı saclar kullanılmaktadır. Maliyet açısından değerlendirildiğinde, kaplamalı sac kullanımı, paslanmaz sac kullanımına göre avantaj sağlarken, estetik açıdan değerlendirildiğinde kaplamalı saclar, paslanmaz saclara göre daha az tercih edilmektedir. Kaplamalı ve paslanmaz sac kullanımının farklı açılardan avantajı ve dezavantajı olması nedeniyle, yapılan çalışmada paslanmaz ve kaplamalı olarak farklı saclar kullanılmıştır.

ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİNİN İNCELENMESİ

Bu bölüm, çamaşır kurutma makinesinin tipleri ve çalışma prensipleri ile ilgili genel bilgileri, ayrıca 8 kg kapasiteye sahip bir çamaşır kurutma makinesine ait tambur ve ilişkili parçaları hakkında detay bilgileri içermektedir. Detay bilgiler kısaca, tambur yataklamaları, bağlantı elemanları, tahrik elemanları, tambura gelen kuvvetler, test ve kontrol yöntemleri gibi tamburun mukavemetini etkileyen parametreleri içermektedir.

2.1 Çamaşır Kurutma Makinesi

Çamaşır kurutma makinesini kısaca tarif edecek olursak, çamaşır üzerindeki suyun buharlaştırılarak, buharlaşan su kütlelerini çamaşırdan uzaklaştırıp çamaşırın kurumasını sağlayan makinadır. Çamaşır kurutma makinesinde temel olarak, çamaşır yüzeyine temas ederek çamaşırdan uzaklaşan bir hava akışı bulunmaktadır. Bu akıştaki hava kütlelerinin taşıdığı su kütlesi, çamaşıra temas sonrası artmakta ve suyu transfer etmektedir. Bu işlem çamaşır kuruyuncaya kadar devam etmektedir.



Şekil 2.1 Çamaşır kurutma makinesi kurutma çevrimi

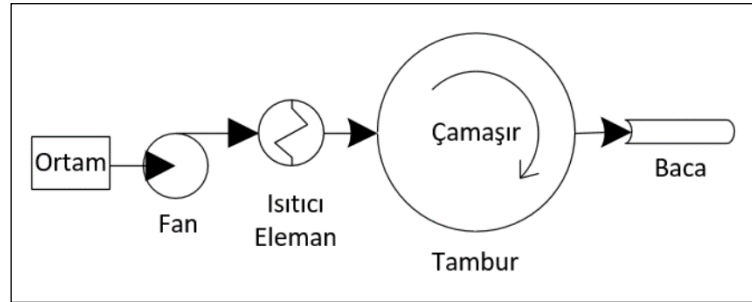
Çamaşır kurutma makinesi sisteminde, havanın çamaşırlara temas ederek çamaşırdan uzaklaşmasını sağlayan hava akışı, radyal bir fan vasıtasıyla sağlanmaktadır. Akıştaki hava, kurutma işlemini gerçekleştirdiği için proses havası olarak adlandırılır.

Proses havasının taşıdığı su oranını arttırmak için çamaşıra gelen proses havasının sıcaklığı artırılır. Proses havasının sıcaklığını arttırmak için genellikle elektrikli ısıtıcı veya akışkan gaz çevrimli ısı değıştirciler kullanılmaktadır.

Proses havası ile çamaşırın teması, çamaşırları içerisinde bulunduran tambur içinde gerçekleşmektedir. Havanın çamaşırlara homojen olarak temas etmesi ve temas yüzey alanının fazla olması için çamaşırların içerisinde bulunduğu silindirik tambur, kendi eksenini etrafında dönmektedir. Bu sayede çamaşırların homojen ve daha kısa sürede kuruması sağlanmaktadır.

Çamaşır kurutma makinaları, Şekil 2.1 'de gösterilen proses havası çevriminin kapalı ve açık çevrimde gerçekleşmesine göre ikiye ayrılır.

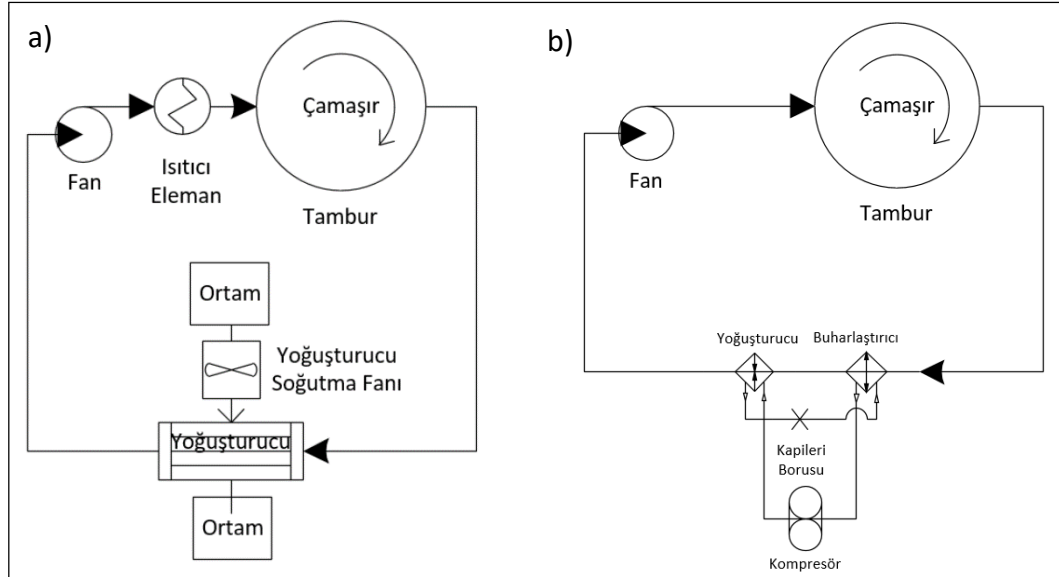
Şekil 2.2'de şematik olarak gösterildiği üzere, dış ortamdan alınan proses havasının, kurutma çevrimi sonrasında bir baca vasıtasıyla tekrar dış ortama atılması prensibine sahip çamaşır kurutma makinaları "bacalı (air-vented) çamaşır kurutma makinası" olarak adlandırılır.



Şekil 2.2 Açık tip çevrime sahip bacalı (air-vented) çamaşır kurutma makinesi kurutma çevrimi

Proses havasının kapalı bir sistem içerisinde çamaşırlar kuruyuncaya kadar tekrar tekrar kurutma çevrimine girmesi prensibine sahip olan çamaşır kurutma makineleri, "kapalı çevrim çamaşır kurutma makineleri" olarak adlandırılır. Kapalı çevrim çamaşır kurutma makinelerinde tamburdan çıkan proses havasının nemi, yoğuşturucu üzerinde alınarak görece kuru hava tekrar kurutma çevrimine sokulur. Kapalı çevrim çamaşır kurutma makineleri proses havası ısıtıcı elemanı ve yoğuşturucu elemana göre sınıflandırılır. Kapalı çevrim çamaşır kurutma makineleri, çevrimlerindeki farklılıklardan dolayı yaygın olarak "kondanserli" ve "ısı pompalı" olarak üretilmektedir. Şekil 2.3.a'da gösterilen

kondanseri li çamaşır kurutma makinelerinde, ısıtıcı eleman olarak elektrikli ısıtıcı, yoğuşturucu eleman olarak da hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılmaktadır. şekil 2.3.b’de gösterilen ısı pompalı çamaşır kurutma makinelerinde ise ısıtıcı ve yoğuşturucu eleman, ayrı bir akışkan gaz çevrimi (ısı pompası sistemi) üzerinde bulunan eşanjrlerden oluşmaktadır.

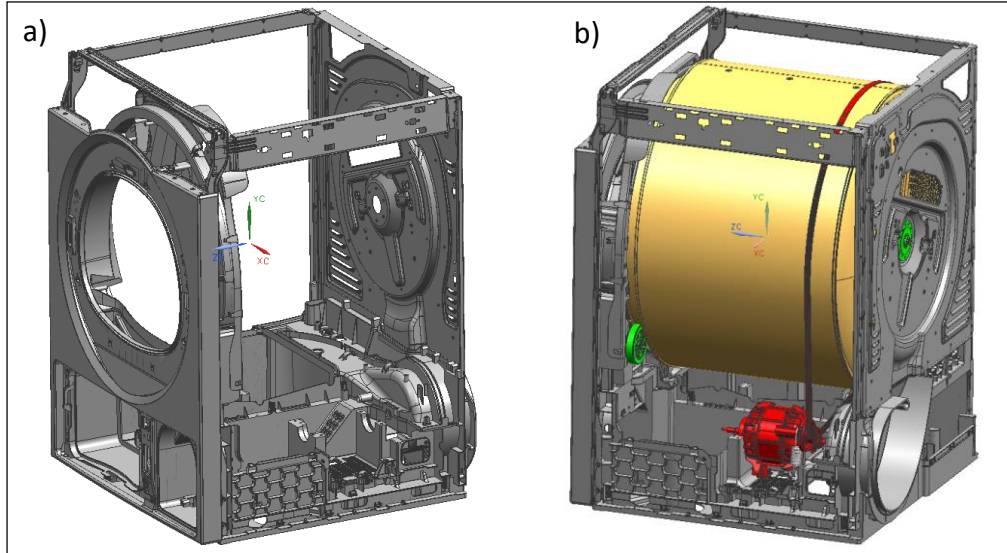


şekil 2.3 Kapalı tip çevrime sahip çamaşır kurutma makineleri a. Kondanseri li b. Isı pompalı

Tamburlu amaşır kurutma makinelerinin tüm tiplerinde, benzer tambur ve tambur tahrik elemanları kullanılmaktadır. Açık evrim çamaşır kurutma makinelerinde, sistem dış ortama açık olduğu için tambur içerisindeki nem oranı daha düşük olup, tambur içerisinde daha düşük korozi f ortam oluşmaktadır. Bundan dolayı açık çevrim çamaşır kurutma makinelerinde nemli ortam korozyonuna direnci düşük olan çinko kaplamalı saclar kullanılabilirken, kapalı çevrim çamaşır kurutma makinelerinde kullanılamamaktadır. Kapalı evrim çamaşır kurutma makinelerinde yaygın olarak korozyon direnci daha yüksek olan paslanmaz, alüminyum-çinko veya alüminyum-silisyum kaplamalı saclar kullanılmaktadır. Tambur imalatında kullanılan malzemeler korozyon direnci dışında, mekanik özelliklerine göre seçilmektedir. Bu mekanik özellikler, çamaşır kurutma makinesinin çamaşır yükü, tambur tahrik ve yataklama elemanlarına göre seçilmektedir. Tüm yük koşulları altında yapılan kontroller ile mekanik olarak en uygun malzeme veya malzemelerden oluşan tambur grubu kullanılmaktadır.

2.2 Çamaşır Kurutma Makinesinin Mekanik Olarak İncelenmesi

Çamaşır kurutma makineleri temel olarak, ana gövdeyi oluşturan statik parçalardan ve bu gövde üzerinde bulunan dinamik parçalardan oluşmaktadır.



Şekil 2.4 a. Kurutma makinası gövdesi b. Tambur, yataklamalar ve tahrik elemanlarını içeren çamaşır kurutma makinesi konstrüksiyonu

Şekil 2.4 a'da da görüleceği üzere çamaşır kurutma makinası gövdesi, dikdörtgenler prizmasına benzer bir yapıda olup, içerisinde temel olarak ısıtma elemanı, yoğuşurma elemanı, motor, tambur grubu, proses havası fanı, proses havası kanalları gibi sistemi oluşturan, sistem parçalarını taşıyan metal ve plastik parçalar bulunmaktadır.

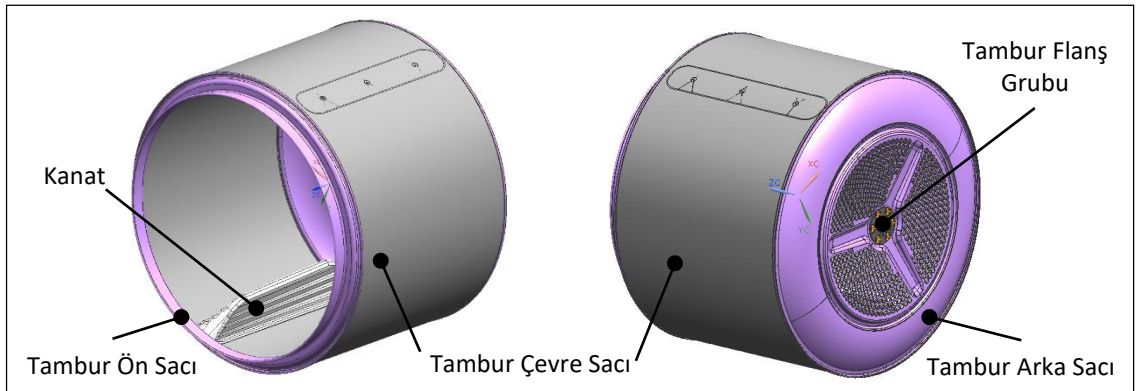
Çamaşır kurutma makinelerinde, proses havası sirkülasyon fanı ve tambur tahriği, genellikle aynı tahrik elemanı üzerinden sağlanır. Çamaşır kurutma işleminde etkin rol alan proses havasının daha hızlı kurutma işlemi yapabilmesi için, ana gövde üzerinde bulunan motorun mili, direkt fana bağlı olarak çalışmakta ve motor çevrim oranında dönme hareketi gerçekleştirmektedir. Tambur tahriği ise, proses havasının çamaşır yüzeyine tamamen temasının sağlanabilmesi için tambur devrinin düşük olmasını sağlayacak hızda gerçekleştirilmektedir. Yüksek motor devri ile düşük tambur devri sağlanması için motor ile tambur arasında kayış-kasnak mekanizması kullanılmaktadır. Motor kasnağı ve tambur grubu arasında bulunan kayış, tambura dönme hareketi kazandırmaktadır. Kayış, tambur etrafına sarılarak sürtünme kuvveti etkisi ile tamburu döndürmektedir. Bu sürtünme kuvvetinin oluşması için kayış kolları tarafından tambur

grubuna iletilen kuvvet, bağlantı elemanlarında, tambur grubu parçalarında ve yataklamalarda ek gerilmeler oluşturmaktadır.

İçerisinde bulunan çamaşır ile birlikte gövde içerisinde dönme hareketi yapan silindirik tambur grubu, güvenilirlik açısından çamaşır kurutma makinasının en önemli parçalarındandır. Bundan dolayı tambur grubu ve bu grubu oluşturan parçalar mukavemet ve ömür testlerine tabii tutulmaktadır.

2.2.1 Tambur Grubu

İncelenen çamaşır kurutma makinesinde kullanılan tambur grubu, içerisinde bulunan çamaşırların tambur dönüşü esnasında en üst noktadan düşmesini sağlamak için 54 ± 2 d/d ile dönme hareketi yapmaktadır. Tambur içerisinde çamaşırın hareketini yönlendirerek üst noktadan düşüşünü sağlayan bir diğer unsur da, tambur içerisinde bulunan kanatlardır. Bu kanatlar çamaşırın bir kısmını dönme esnasında üst noktaya taşıyarak, çamaşırın birbirine dolanarak yekpare bir kütle oluşturmalarının önüne geçer. Bu sayede çamaşırlarda daha homojen kurutma sağlanırken, çamaşır proses havası temasının artması dolayısıyla, daha hızlı kurutma işlemi gerçekleşir. Bu hareket esnasında, tambur grubunun kendi ağırlığı, kayış sisteminden gelen ek kuvvetler, içerisindeki yükün ağırlığı ve anlık darbe kuvvetleri bölgesel gerilmeleri arttırmakta ve bundan dolayı tasarım esnasında analiz ve prototipler ile deneme ihtiyacı doğurmaktadır.



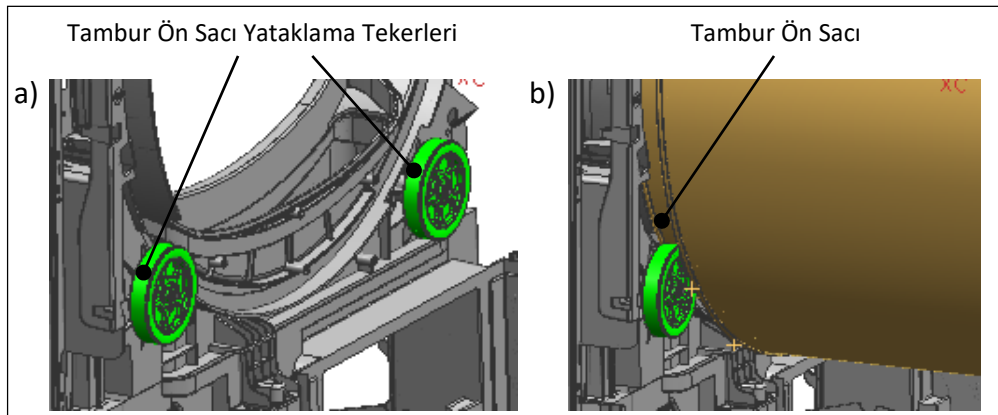
Şekil 2.5 Tambur grubunu oluşturan temel parçalar

İncelenmekte olan çamaşır kurutma makinasına ait Şekil 2.5’de bulunan tambur grubu, kanat, tambur ön sacı, tambur çevre sacı, tambur arka sacı ve tambur arka sacına

bağlantı elemanları ile bağlı olan bir flanş grubundan oluşmaktadır. Kanat parçası hariç, tüm tambur grubu parçaları, kuvvet ileten birer mukavemet parçasıdır. Bundan dolayı bu parçalar, tasarımda, güvenilirlik açısından değerlendirilmelidir.

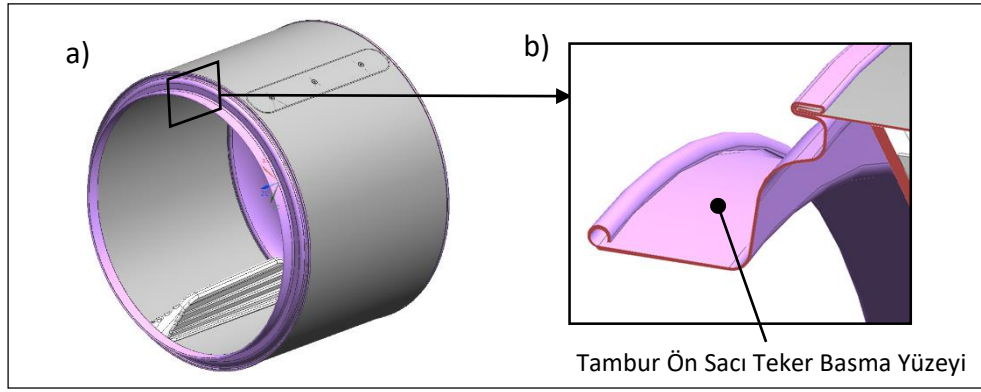
2.2.1.1 Tambur Ön Sacı

Tambur ön sacı, tambur grubunun yataklanmasını sağlayan üç yataklama elemanının ikisi ile temas halinde bulunan bir mukavemet parçasıdır. Tambur ön sacı ile çevre sacı arasındaki bağlantı kenetleme işlemi ile sağlanmaktadır. Tambur ön sacına temas eden yataklamalar, Şekil 2.6'da da görüleceği üzere iki adet temas yüzeyi EPDM malzeme olan tekerden oluşmaktadır. Bu tekerler makine gövdesinde bulunan millere bir rulman aracılığı ile bağlıdır.



Şekil 2.6 a. Tambur ön sacı yataklama tekerleri b. Tambur ön sacının tekerler ile yataklanması

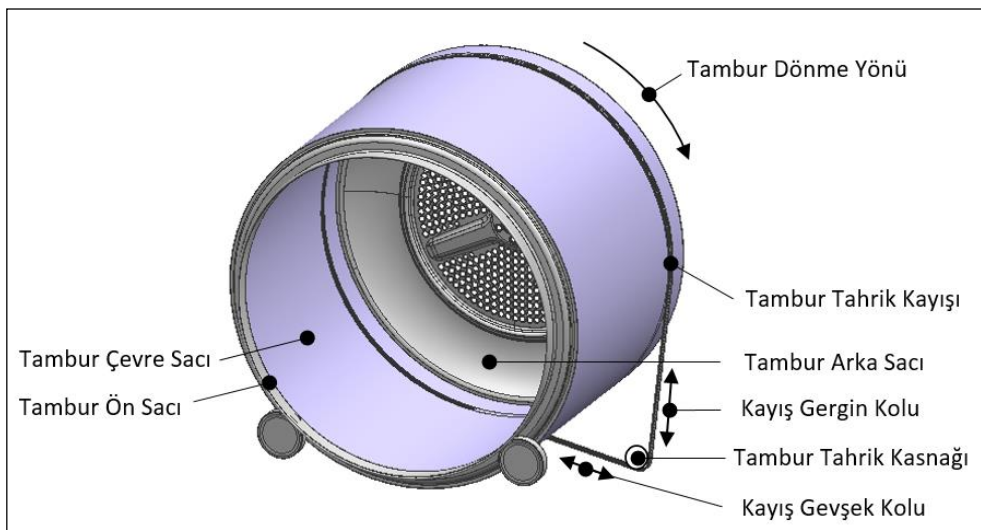
Tambur ön sacında, teker temas alanının Şekil 2.7'de gösterildiği üzere düşük alana sahip olması nedeniyle, temas alanı ve çevresi yüksek gerilmelere maruz kalmaktadır. Teker basma alanı dönme esnasında sürekli yer değiştirdiği için tambur ön sacı üzerindeki teker basma yüzeyi bölgesi, sürekli dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Bu sebepten dolayı, tambur ön sacı üretiminde yorulma dayanımı yüksek malzemeler kullanılmaktadır. Tambur ön sacı malzemesi seçiminde yaygın olarak mekanik özellikleri ve yorulma dayanımı yüksek paslanmaz soğuk haddelenmiş sac malzemeler kullanılmaktadır.



Şekil 2.7 a. Tambur grubu b. Tambur ön sacı kesiti

2.2.1.2 Tambur Çevre Sacı

Tambur çevre sacı Şekil 2.8' de görüldüğü üzere, tambur ön sacı ve tambur arka sacı arasında, çamaşırları taşıyan hacmi oluşturan içi boş silindirik bir yapıya sahiptir. Tambur ön sacı ve arka sacı bağlantılarında parçalar birbirlerine kenetleme işlemi ile birleştirilmektedir. Yataklama ve yataklamalara yakın bölgelerde oluşan yüksek gerilmeler, tambur çevre sacının, tambur ön sacı ve tambur arka sacı ile birleştiği kenet bölgelerinde daha düşük gerçekleşmektedir. Çamaşır tarafından oluşan gerilmeler ise çamaşırların tambur içerisinde dağınık bulunması dolayısıyla noktasal gerilmeler gerçekleştirilmemektedir. Tambur geneline yayılmış çamaşır yükü dolayısıyla, tambur çevre sacı parçası diğer tambur grubu parçalarına göre mukavemet açısından daha az öneme sahiptir.

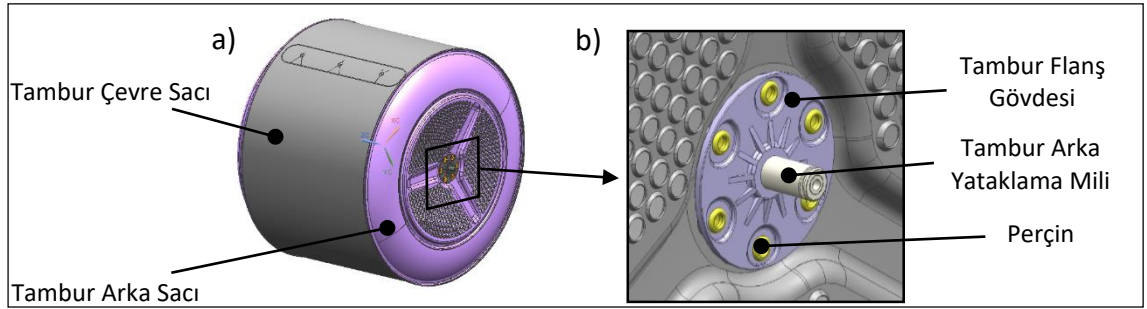


Şekil 2.8 Tambur çevre sacı ile ilişkili tambur grubu parçaları

Tambur çevre sacına, çamaşır yükü ve yataklamalar dolayısıyla iletilen kuvvetler dışında, dönme hareketini sağlayan kayış kuvveti de gelmektedir. Tambur çevre sacı dış yüzeyine temas eden tambur tahrik kayışı, sürtünmeyi uygun değerde tutacak şekilde bir yay ile gerdirilmektedir. Dönme esnasında bu yay kuvveti, kayışın gergin ve gevşek kolundan, tambur tahrik kasnağı çapının teğetine kuvvet oluşturmaktadır.

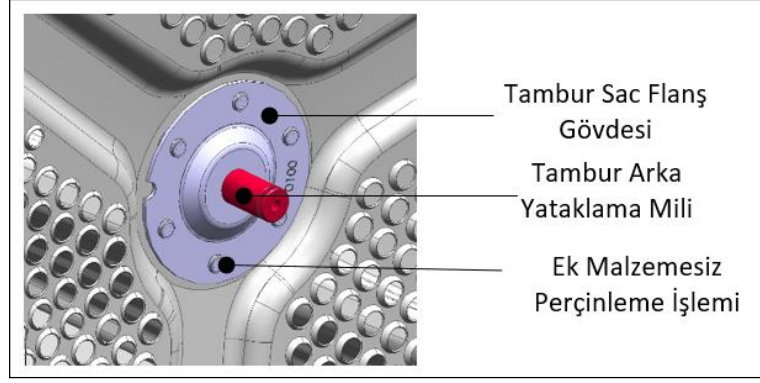
2.2.1.3 Tambur Arka Sacı, Tambur Flanşı ve Bağlantı Yöntemi

Tambur arka sacı, tambur ön sacı gibi kenetleme işlemi ile tambur çevre sacına bağlıdır. Tambur arka sacı, tambur grubunu yataklayan üç yataklamadan bir tanesini oluşturan tambur flanşını üzerinde bulundurmaktadır. Şekil 2.9'da görüldüğü üzere, incelenen makinede, tambur flanşı, "insert molding" yöntemi ile üretilmiş alüminyum enjeksiyon tambur flanş gövdesi ve tambur arka yataklama milinden oluşmaktadır. Tambur flanş gövdesi ile tambur arka sacı yaygın olarak perçin ile birleştirilmektedir.

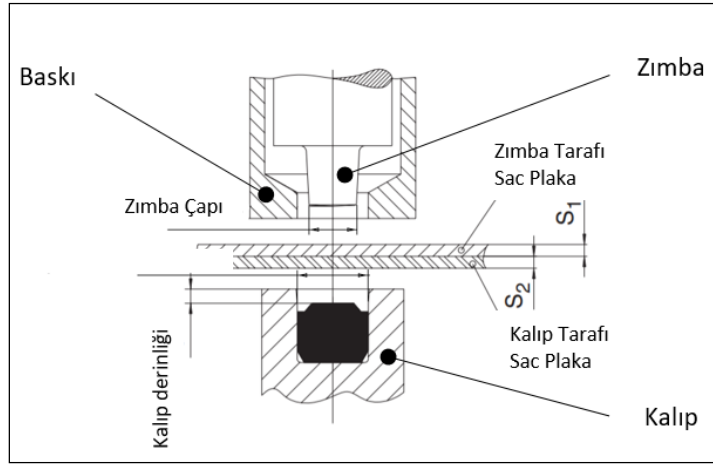


Şekil 2.9 a. Tambur grubu b. Tambur arka sacı üzerinde bulunan flanş bağlantısı

Çalışmada, Şekil 2.10'da gösterilen, ek malzemesiz perçinleme (clinchng) işleminin kullanılması ile üretilmiş tambur grubunun mukavemeti incelenmektedir. Ek malzemesiz perçinleme işleminin sac plakalar ile yapılmasından dolayı flanş gövdesi üretiminde alüminyum enjeksiyon yerine sac presi kullanılmaktadır. Sac parça imalatı süresinin alüminyum enjeksiyon işlemi süresinden kısa olması, üretimde verimlilik yaratarak imalatı hızlandırmaktadır. Bunun yanı sıra perçin kullanımını ortadan kalkması, maliyet avantajı sağlamakta ve daha da önemlisi üretimdeki doğal kaynak tüketimini azaltmaktadır.

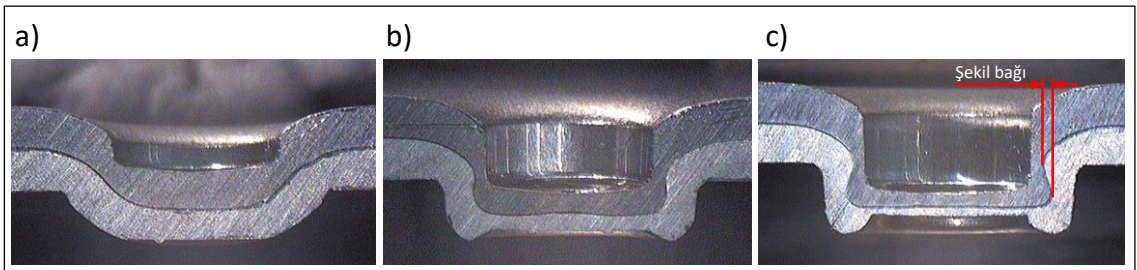


Şekil 2.10 Ek malzemesiz perçinleme işlemi ile tambur arka sacına sabitlenmiş sac flanş



Şekil 2.11 Ek malzemesiz perçinleme işleminde kullanılan parçalar

İki sac plakanın birbirine ek malzemesiz perçinleme işlemi ile birleştirilmesi için Şekil 2.11’de gösterildiği üzere, özel olarak hazırlanmış kalıp, baskı ve zımba kullanılmaktadır. İşlem başlangıcında, üst üste bulunan plakalar baskı parçasının kalıp yönüne yaptığı hareket ile belirli bir kuvvette sabitlenir. Ardından zımbanın, kendi ekseninde, kalıp yönüne doğru hareketi ile sac plakalar plastik deformasyona uğratılır.



Şekil 2.12 Ek malzemesiz perçinleme işlemi aşamaları a. İç içe girme b. Zımba tarafı malzeme şekil bağı oluşumu c. Tamamlanmış bağlantı

Şekil 2.12’de ek malzemesiz perçinleme işlemi esnasında sac plakalarda oluşan formlar gösterilmiştir. Şekil 2.12.a’da, zımbanın ilk teması ile zımba tarafındaki sac plaka, kalıp tarafındaki sac plakanın üst düzlemine girmektedir. İkinci aşama olan Şekil 2.12.b’de, zımbanın hareketinin devamı ile plakalar nominal kalınlıklarının altına düşer ve plastik deformasyon başlar. Her iki sac malzeme de zımba eksenine dik eksenlerde akmaya başlar. Kalıp formu nedeniyle akan malzeme, kenar boşluklara yönelir. Son aşama olan Şekil 2.12.c’de, bağlantı, istenilen şekil bağı (interlock) seviyesine ulaşır. Perçinleme işlemi yapılmış malzemede şekil bağı ölçüsünü ölçmek, tahribatlı ölçüm yöntemine girmektedir ve sonrasında parçalar kullanılamaz. Ölçüm için bu yöntemin yerine operasyon sonrasında zımba ile kalıp arasında ezilen iki malzemenin toplam et kalınlığı ölçülür. Bağlantının mukavemeti, bu değeri ölçülmüş malzemelere yapılan bağlantı kesme dayanımı ve bağlantı çekme dayanımı testlerinin sonuçları ile ilişkilendirilir.



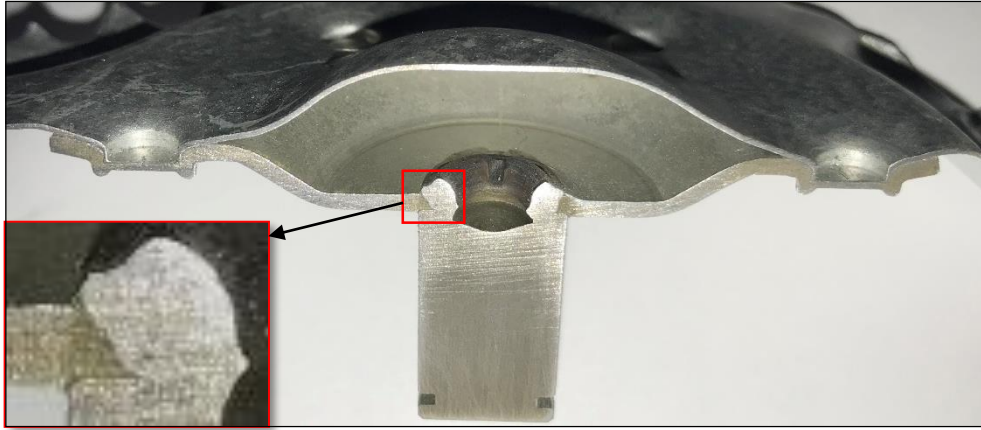
Şekil 2.13 Ek malzemesiz perçinleme işleminde kullanılan zımba ve kalıp

Yapılan çalışmada Şekil 2.10’da gösterilen tambur arka sacı, sac flanş ek malzemesiz perçinleme işlemi ile yapılmış, tambur grubu tasarımı ele alınmıştır. Bu tasarımda, perçinleme formunun çamaşırlara zarar vermemesi için, zımba tarafındaki malzeme olarak, tambur arka sacı kullanılmıştır. Kalıp tarafındaki malzeme için ise flanş sacı kullanılmış olup, perçinleme formu çamaşırın temas etmeyeceği şekilde görsel olmayan bölgede bırakılmıştır.

Analizlerde ve testlerde perçinleme işleminde kullanılan Şekil 2.13’de gösterilen kalıbın çapı 8 mm seçilmiş olup, birleştirilen sac kalınlıkları ele alınarak, bu kalıp karşılığında çapı 5,6 mm olan zımba kullanılmıştır. Kalıp derinliği 0,8 mm’dir. İşlem sırasında tek bağlantı için 54-55 kN’luk bir kuvvet uygulanmaktadır. Zımba istenilen konuma geldiği durumdaki

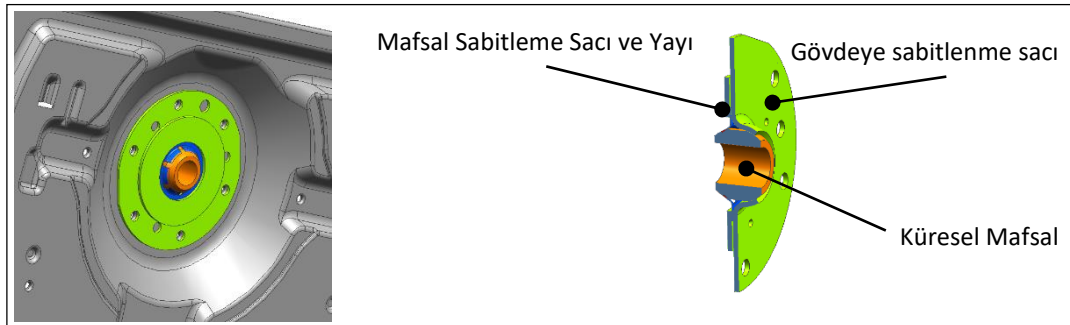
baskı altında tutma kuvveti 4176 N'dur. İşlem yapılmış bağlantıda iki malzemenin zımba merkez izdüşümündeki toplam et kalınlığı 0,6 mm gerçekleşmiştir.

Sac flanş grubu üzerinde bulunan tambur arka yataklama mili, sac flanşa, milin bağlantı tarafında bulunan yapının sac üzerine perçinlenmesi ile sağlanmaktadır. Mil ile sac flanş arasında gerçekleşen form Şekil 2.14'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Sac flanş-tambur arka yataklama mili bağlantısı

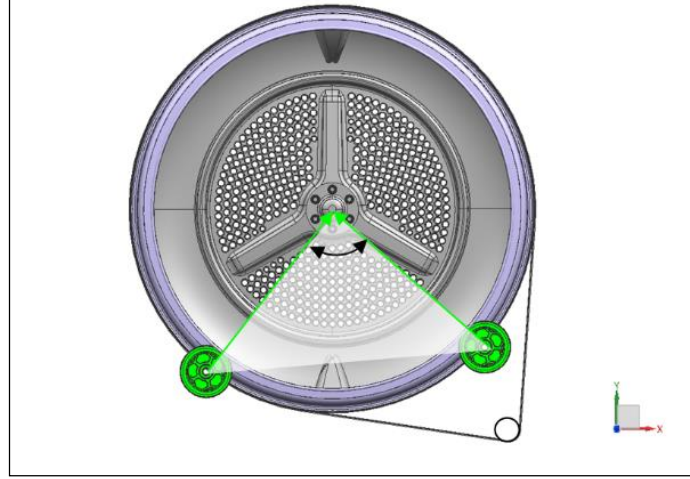
Flanş grubu üzerinde bulunan mil, makine gövdesi üzerine bağlı olan bir küresel mafsallı içerisinden geçmektedir. Küresel mafsallı makine gövdesine sabitlenmesi, Şekil 2.15'de gösterilen yapının makine gövdesine vidalanması ile gerçekleşir. Küresel mafsallı, gövdeye sabitlenen, gövdeye sabitlenme sacı üzerindeki yuvada, küresel olarak hareket etmektedir. Mafsallı yuvadan dışarı çıkmasını engelleyen bir mafsallı sabitleme sacı ve yayı bulunmaktadır. Makine gövdesine vidalanan bu yapı tambur arka yataklama grubu olarak adlandırılır.



Şekil 2.15 Tambur arka yataklama grubu

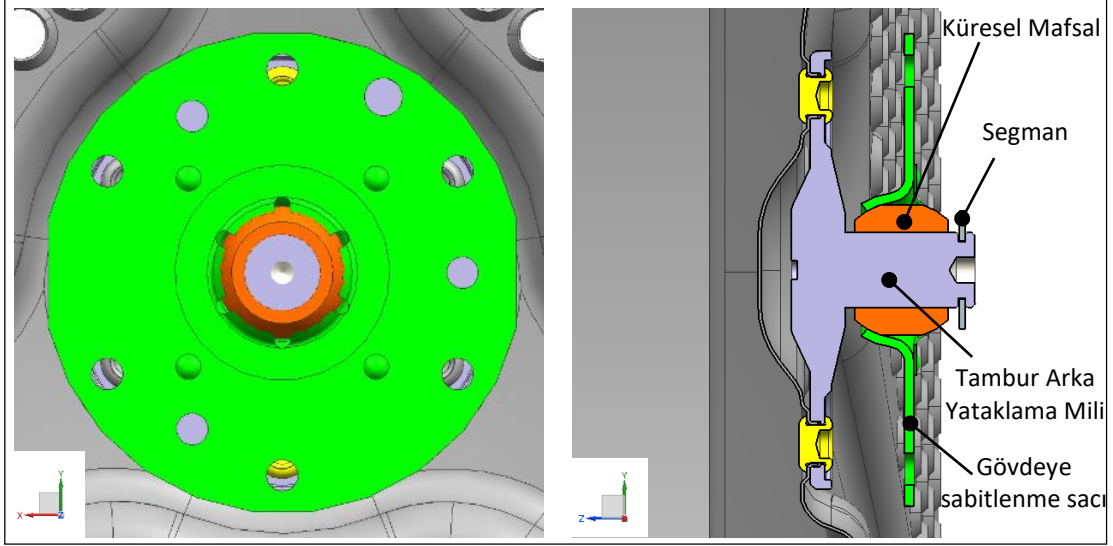
2.2.2 Yataklamalar

Tamburun gövde içerisinde sabitlenmesi, Şekil 1.2 'de görüleceği üzere üç adet yataklama ile sağlanmaktadır. Bu yataklamaların ikisi tambur grubunun ön kısmında bulunduğu için “ön yataklama”, diğeri ise tamburun arka kısmında bulunduğu için “arka yataklama” olarak adlandırılır.



Şekil 2.16 Ön yataklamalar

Ön yataklamalar, tambur ön sacı ile temasta olan yataklamalardır. Ön yataklamalar, üzerinde bulunan rulmanlar sayesinde, gövdeye bağlı olarak silindirik hareket etmektedir. Ön yataklamalar, tambur grubunun Şekil 2.16’da gösterilen Y ve X eksenindeki hareketini sınırlamaktadır. Şekil 2.16’da görüldüğü üzere, tekerler arasında bulunan tambur ön sacı formunun dairesel olması nedeniyle tambur ön sacı ile yataklamalar arasında oluşan kuvvetlerin bileşke kuvveti yönü, ön yataklamalar arasına geldiği sürece X ekseninde tambur hareketi gerçekleşmemektedir. Tasarımda ön yataklamaların konumu, bu bileşke kuvvet yönünün yataklamalar arasında kalacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede, ön yataklamalar, tambur ön sacı hareketini -Y , -X ve +X yönünde sabitlemektedir. Ön yataklamalar tambur ön sacının üç eksendeki dönme hareketini ve +Y, +Z, -Z yönlerindeki hareketlerini sınırlandırmamaktadır.



Şekil 2.17 Arka yataklama

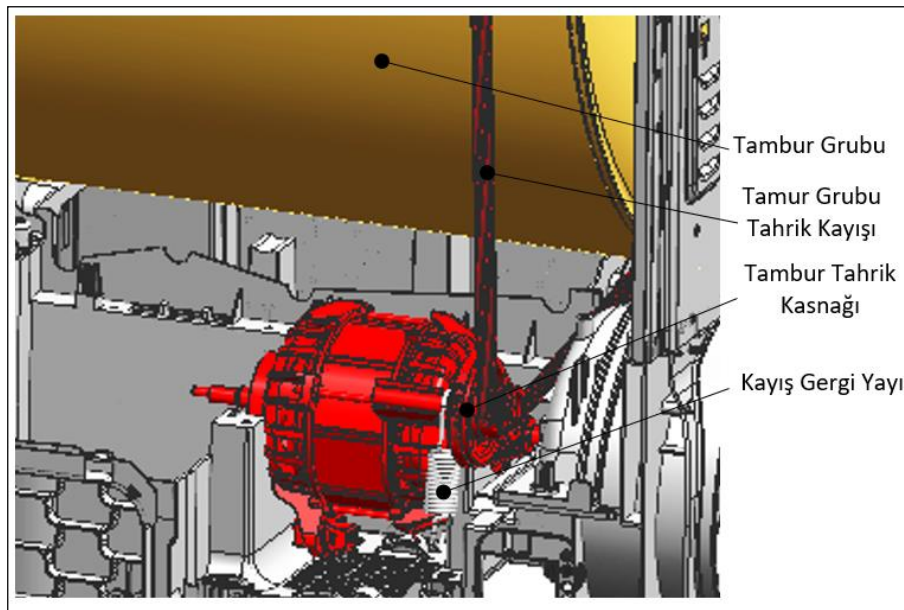
Şekil 2.17’de gösterilen arka yataklama, tambur arka sacı üzerinden tambur grubu hareketini sınırlamaktadır. +Z ve -Z yönündeki öteleme hareketini engellemek amaçlı, küresel mafsal içerisinde geçen tambur arka yataklama mili üzerine segman takılmaktadır. Küresel mafsal, yapısı itibarıyla tambur grubu hareketini, küresel mafsal merkezi referansında +Z, -Z, +X, -X, +Y ve -Y yönünde engeller. Arka yataklama, küresel mafsal merkezi referansında gerçekleşen tambur grubu hareketini, sadece üç eksenin dönme hareketlerinde serbest bırakmaktadır.

2.2.3 Tahrik Sistemi

Tambur tahriği, Şekil 2.18’de gösterilen gövde üzerine sabitlenmiş bir elektrik motoru ile gerçekleştirilmektedir. Motor devri, kullanılan kayış kaynak mekanizmaları ile iki kademe tambur devrine getirilmektedir. Birinci kademe motor ekseninde bulunan kasnak ile tambur tahrik kasnağı arasında gerçekleşir. İkinci kademe ise tambur tahrik kasnağı ile tambur çevre sacı arasında gerçekleşmektedir. 2800 d/d gerçekleşen motor devri, bu iki kademe vasıtası ile 54 d/d olan tambur devrini sağlar. İlk kademe kullanılan kasnaklar arasında, esnek kayış kullanılmakta olup, gergi kuvvetini esnek kayış sağlar. İkinci kademe kullanılan kayış, çok parçalı yapıdan gelen üretim ölçü saçınıklıklarını tolere edebilmek için yay gergilidir. Yay, tambur tahrik kasnağı merkezi ile sabit makine gövdesi arasında bir kuvvet oluşturarak, tambur grubu tahrik kayışını gergin tutmaktadır. Gergin tambur grubu tahrik kayışı, tambur çevresinden tambura temas

ederek kayışın hareketi ile tambura dönme hareketi gerçekleştirmektedir. Tambura dönme hareketi kazandıran kayış, aynı zamanda tambura ek kuvvetler uygulamaktadır. Bu kuvvetler, çalışmada incelenen bağlantı mukavemetini etkilemektedir.

Tambura kayış tarafından etki eden kuvvetlere ulaşmak için, dönme hareketini sağlayan motorun çektiği güç ve kullanılan kayışın frekansı ölçülmüştür. Güç değeri bir wattmetre yardımı ile, kayış frekansı ise bir frekans ölçer yardımı ile ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler yardımı ile Çizelge 2.1’de bulunan kayış kasnak mekanizması özelliklerine ait sabitler kullanılarak Çizelge 2.2’de bulunan formüller vasıtasıyla kayış tarafından tambura uygulanan kuvvetler hesaplanmıştır.



Şekil 2.18 Motor ve tambur tahrik mekanizması

Çizelge 2.1 Kayış kasnak mekanizması özellikleri

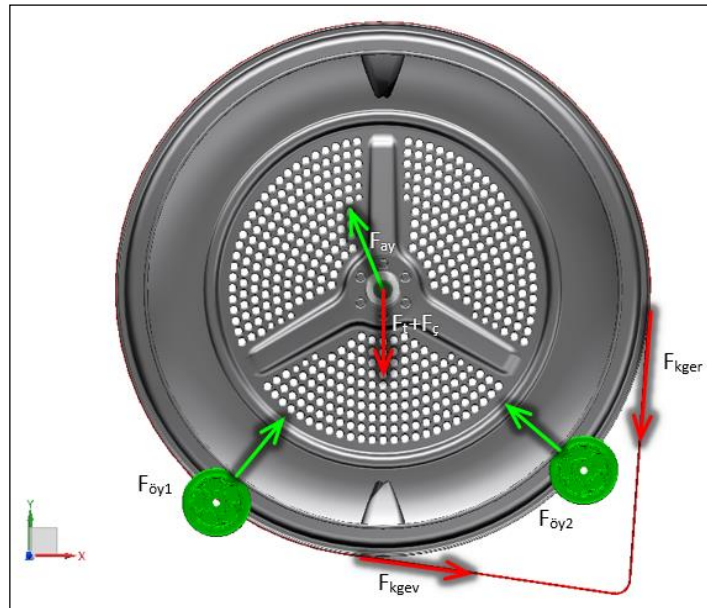
Tambur Kayışı Özellikleri	Değer	Birim	Sembol
Kayışın rib sayısı	7	adet	n_{rib}
Kayışın birim kayış ağırlığı	0,00438	kg/m/rib	m_{rib}
Kayışın sürtünme katsayısı	0,5	-	μ
Kayışın santrifüj etki katsayısı	0,06	-	K
Kayışın kesit alanı	28	mm ²	A
Kayışın yüksekliği	0,8	mm	s
Kasnak çapı	30,5	mm	D_1
Tambur çapı	576	mm	D_2
Kasnak efektif yarıçapı	15,25	mm	R_1
Tambur efektif yarıçapı	288,8	mm	R_2
Tambur-Kasnak Arası Mesafe	402,72	mm	a
Kasnak Hızı	976,54	d/d	n

Çizelge 2.2 Tambur kayışı kuvveti hesapları

	Değer	Elde Edilişi	Sembol
İletilmesi gereken güç	115 W	Ölçüm	P
Ölçülen kayış frekansı	115 Hz	Ölçüm	f
Sarılma açısı	94,4°	$\cos(\beta/2) = (R_2 - R_1)/a$	β
Kayışın kol uzunluğu	0,2956 m	$l = a \cdot \sin(\beta/2)$	l
Kayış uzunluğu	1,9549 m	$L = \beta \cdot R_1 + (2\pi - \beta) \cdot R_2 + 2 \cdot a \cdot \sin(\beta/2)$	L
Kayışın çevresel hızı	1,7 m/s	$v = \pi \cdot n \cdot D / 60$	v
Kayışın gerginlik kuvveti	134,6 N	$F_t = 3,8 \cdot m_{rib} \cdot n_{rib} \cdot l^2 \cdot f^2$	F _t
Çevresel kuvvet	104,9 N	$F_{\zeta} = 2 \cdot (F_t - k \cdot v^2) \cdot (e^{\mu \cdot \beta} - 1) / (e^{\mu \cdot \beta} + 1)$	F _ç
Kayışın gergin kolundaki kuvvet	186,9 N	$F_{kger} = F_{\zeta} \cdot (e^{\mu \cdot \beta} / e^{\mu \cdot \beta} - 1)$	F _{kger}
Kayışın gevşek kolundaki kuvvet	119,2 N	$F_{kgev} = F_{kger} - (P/v)$	F _{kgev}

2.3 Yüklerin İncelenmesi

Şekil 2.19’da oklar ile gösterilen tambur grubuna gelen kuvvetleri sınıflandırdığımızda, bu kuvvetleri, etki ve tepki (yataklama) kuvvetleri olarak iki gruba ayırabiliriz. Etki kuvvetleri de kendi içerisinde, doğal ve zorlanmış kuvvetler olarak iki grupta incelenebilir. Doğal kuvvetler yer çekimi ivmesi ile oluşan tambur grubu ağırlığı ve çamaşır yükü ağırlığından oluşmaktadır. Zorlanmış kuvvetler ise tambur tahrik kayışı gergin kol kuvveti ve tambur tahrik kayışı gevşek kol kuvvetinden oluşmaktadır. Tepki kuvveti ise etki kuvvetini dengelemek için yataklamaların uyguladığı kuvvetlerden oluşmaktadır. Bu kuvvetler, tambur ön sacına uygulanan ön yataklama ve tambur arka sacına uygulanan arka yataklama kuvvetlerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.19 Tambur grubuna gelen kuvvetler

Çizelge 2.3'te bulunan etki kuvvetlerinden çamaşır ağırlığı tasarım parametresi olup diğer kuvvetler yapılan ölçüm ve hesaplamalar ile elde edilmiştir. Tambur ağırlığı Densi HZQ laboratuvar terazisi ile ölçülmüş olup, terazinin hassasiyeti 0,05 gr ve ölçüm tekrarlanabilirliği $\pm 0,1\text{gr}$ 'dır. Bu etkilere karşılık yataklamalardan gelecek tepki kuvvetleri, yapılacak analizler sonucunda tespit edilecektir. Tambur grubu tahrik kayışı kol kuvvetleri hesabında kullanılan güç değeri bir wattmetre yardımı ile, kayış frekansı ise bir frekans ölçer yardımı ile elde edilmiştir. Frekans ölçümünde, frekans ölçer probu kayışı çevreleyecek şekilde tutularak, kayış gerilerek bırakılmış ve titreşim yapması sağlanmıştır. Ölçülen değerler kayıt altına alınmıştır.

Çizelge 2.3 Tambur kayışı kuvveti hesapları

Kategorisi	Sembol	Açıklaması	Dinamik Durumdaki Kuvvet Değeri (N)	Elde Etme Yöntemi
Etki Kuvveti (Doğal Kuvvet)	F_t	Tambur grubu ağırlığı	48,9	Ölçüm
Etki Kuvveti (Doğal Kuvvet)	F_{ϕ}	Çamaşır ağırlığı (Hızlı ömür testi için)	160,0	Tasarım Parametresi
Etki Kuvveti (Zorlanmış Kuvvet)	F_{kger}	Tambur grubu tahrik kayışı gergin kol kuvveti	186,9	Ölçüm ve Hesaplama
Etki Kuvveti (Zorlanmış Kuvvet)	F_{kgev}	Tambur grubu tahrik kayışı gevşek kol kuvveti	119,2	Ölçüm ve Hesaplama

Çamaşır kurutma makinalarında mukavemet hesapları, kuru yük ağırlığına göre değil, kurutma öncesi tambur içerisine yerleştirilen nemli çamaşır yüküne göre yapılmaktadır. Kuru çamaşırların çamaşır yıkama makinasında yıkanması sonrasında, 1000 d/d hız ile 12dk boyunca sıkılması sonucu elde edilen yük, kuru yük ağırlığının %60 fazlası olarak gerçekleşmektedir. 8 kg kapasiteye sahip bir kurutma makinasında kurutulacak maksimum çamaşır ağırlığı 12,8 kg olarak belirlenmiştir. 1,25 güvenlik katsayısına göre bu değer maksimum 16 kg'a denk gelmektedir. Bundan dolayı hızlı ömür testleri 16 kg ağırlıklar bağlı tambur grupları ile gerçekleştirilmektedir.

2.4 Ömür Testleri

Tambur mukavemetini etkileyen tasarım çalışmalarında, analiz ve yalın malzeme testleri dışında, prototip parçalar ile ömür testleri yapılmaktadır. Ömür testleri, yapılan değişikliğin, dinamik durumdaki yorulma dayanımı ile ilgili bilgi vermektedir. Ömür testleri normal çalışma koşullarında yapıldığından dolayı test süreleri uzun sürmektedir. Test sürelerini kısaltma amaçlı normal çalışma koşullarını simüle eden zorlandırılmış

yükler ile yapılan hızlı ömür testleri tasarlanmıştır. Hem maliyet, hem de zaman açısından analiz yönteminin yerini alamasa da, analiz yöntemi ile yakınsanamayan, uzun çevrimlerde görülebilecek hatalar, bu testler ile tespit edilebilmektedir.

2.4.1 Gerçek Zamanlı Ömür Testleri

Ömür testleri, mevcut çamaşır kurutma makineleri üzerine yerleştirilen prototip parçaların denenmesi esasına dayanmaktadır. Günümüz teknolojilerinde standart bir ısı pompalı ürünün çamaşır kurutma süresi, ortalama 2,5 saattir. Bu değer, kurutulan çamaşır özelliklerine göre değişkenlik gösterebilir. Haftada 3 sefer kullanım sağlayan bir aile, yılda 156 sefer kurutma işlemi gerçekleştirmektedir. 5 yıl garanti süresine sahip bir çamaşır kurutma makinesi ise minimum 780 kurutma çevrimi gerçekleştirmeye uygun olarak tasarlanmalıdır. 1,25 güvenlik katsayısı ile üretilen çamaşır kurutma makinesinin, 975 kurutma çevriminde, problemsiz bir şekilde çalışması gerekliliği bulunmaktadır.



Şekil 2.20 Örnek bir çevrim testi laboratuvarı

Resim 2.20’de gösterilen örnek bir laboratuvarda, makinenin fonksiyonelliği ve görsel kontrolleri yapılmaktadır. Her çevrim sonrası yapılan kontrollerde, denemesi yapılan parça ve komponentlerin ömür açısından uygunluğu kontrol edilmektedir. Ve yapılan test sonuçlarına göre, denenen parça veya komponentlerin toplam ömür çevrim sayısına ulaşılmaktadır.

2.4.2 Hızlı Ömür Testleri

Hızlı ömür testleri, her parça veya komponent için ayrı değerlendirilmektedir. Tambur grubu için hızlı ömür testi, çamaşır kurutma makinesi kapasitesinin 1,25 güvenlik katsayılı ağırlık ile yüklenmesindeki durumda makinenin problemsiz çalışma sayısını kayıt altında tutarak yapılır. Bu testte de, tambur grubu alt parçaları ve tüm ilişkili parçalar,

her çevrim sonunda, parçalarda herhangi bir problem olması ihtimaline karşı kontrol edilir. Tambur grubu ve ilişkili parçaları için hızlı ömür testinin normal ömür testinden farkı, ömür süresini 1/3 oranına indirmesidir. Uzun dönemde yapılan farklı testler ile belirlenen bu değer, daha kısa sürede konstrüksiyon hakkında bilgi vermektedir.



şekil 2.21 Tambur evre sacı yüzeyine eşit aralıklarla yerleşitirilmiş hızlı ömür testi ağırlıkları

8 kg çamaşır yükü %60 nem değeri ile birlikte 12,8 kg olmaktadır. Bu değer 1,25 güvenlik katsayısı ile çarpıldığında 16 kg ağırlığa karşılık gelmektedir. şekil 2.21’de görüldüğü üzere 8 kg kapasiteye sahip hızlı ömür çamaşır kurutma makinesi tamburuna dört adet 4 kg ağırlığa sahip ağırlıklar homojen olarak yerleşitirilmiştir. Makineler amaşırsız bir şekilde ard arda çevrimlere sokularak mekanik dayanım açısından incelenmektedir. Bu testin dezavantajı, gerçekte tambur içerisinde bulunan sıcaklık, nem oranı gibi yan etkilerin gzlemlenememesidir.

Yapılan hızlı ömür testleri, 6 bağlantılı ve 3 bağlantılı tasarımda ve çalışılan tüm alternatif hammaddelerde gerçekleştirilerek 350 çevrim üzerine çıkmıştır. Bu değerin normal ömür karşılığı 1000 çevrimin üzerinde olup, ihtiyaı karşılamaktadır.

BAĞLANTI MUKAVEMETİ UYGUNLUĞUNUN ANALİZ VE TESTLER İLE BELİRLENMESİ

Bağlantı elemanlarının seçimi, ortam koşulları ve bağlantı elemanına gelen kuvvetler göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Tambur arka sacı ve tambur flanşı bağlantısında kullanılması planlanan, ek malzemesiz perçinleme işleminde de, bağlantıya gelen kuvvetler ve bağlantı dayanımı, bağlantının mekanik olarak uygunluğunu belirlemektedir. Ortam koşulları dolayısıyla oluşabilecek korozyon, malzeme veya kaplama durumuna göre dayanım sergilemekte olup, korozyona karşı dayanım ömrü, tuzlu su sisi testi, nemli ortam testi gibi testler ile belirlenmektedir. Yapılan çalışmada bağlantının sadece mekanik açıdan uygunluğuna yer verilmiştir.

Ek malzemesiz perçinleme işleminde bağlantı dayanımı, birleştirilen malzemelerin mekanik özelliklerine, perçinleme sonrası oluşan formlarına ve malzemelerin birbirleri arasındaki sürtünme katsayısına göre farklılık göstermektedir.

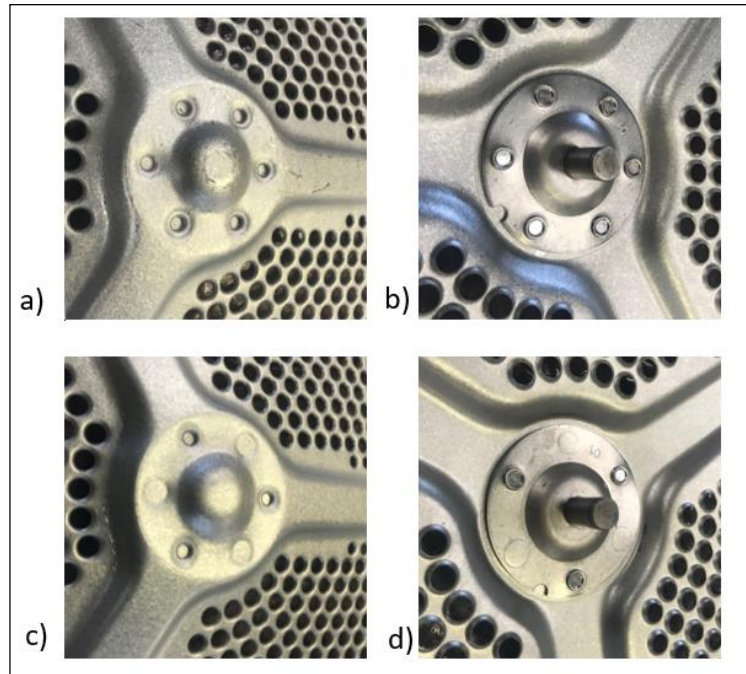
Bu bölümde; bağlantıya gelecek kuvvetler ve bağlantı mukavemetini etkileyen parametreler hakkında detaylı bilgiler verilerek; bağlantının uygunluğu, yapılan bilgisayar destekli analizler ve mukavemet testleri ile tespit edilecektir.

3.1 Bağlantıya Gelen Kuvvetlerin Tespiti

Çamaşır kurutma makinesinin çalışması esnasında tambur arka sacı ile tambur flanşı arasındaki bağlantıya gelen kuvvetler, tamburun bir dönüşü içerisinde gerçekleşen değişken kuvvetlerin, her tambur dönüşünde tekrarlanması ile oluşmaktadır. Bundan dolayı tamburun bir dönüşünde gerçekleşen kuvvetlerin belirlenmesi yeterli olacaktır.

Bağlantıya gelen kuvvetlerin tespitinde bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yöntemi kullanılmıştır. Bağlantıya gelen kuvvetlerin tespitinde ANSYS programının Rigid Dynamics modülü kullanılmıştır.

Tambur grubunda bulunan tambur ön sacı, tambur çevre sacı ve tambur arka sacı parçaları, birbirlerine temas noktaları boyunca kenetleme işlemi ile birleştirilmektedir. Bundan dolayı, parçaların bağlantı noktaları, altı hareket ekseninde birbirlerine göre sabitlenmiş olarak bağlantı oluşturulmuştur. Tambur arka sacı ile tambur flanş grubu arasındaki bağlantıda ise Şekil 3.1’de de görüldüğü üzere iki farklı alternatif değerlendirilecektir. Bu alternatifler, bağlantı merkezlerinin oluşturduğu çap değişmeyecek şekilde, eşit aralıklarla yapılmış 6 ve 3 bağlantıya sahip tasarımlardır.



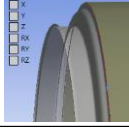
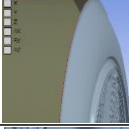
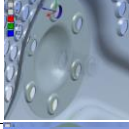
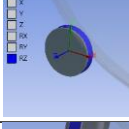
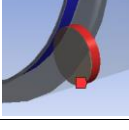
Şekil 3.1 6 ve 3 bağlantılı tambur arka sacı flanş bağlantısı a. 6 bağlantılı zımba tarafı görünüm b. 6 bağlantılı kalıp tarafı görünüm c. 3 bağlantılı zımba tarafı görünüm d. 3 bağlantılı kalıp tarafı görünüm

Bağlantıların her biri, tambur arka sacı ve flanşın bağlantı merkezinden küresel mafsallarak modellenmiştir. İki alternatif için tespit edilen farklı kuvvet değerleri üzerinden bağlantının güvenlik katsayıları belirlenecektir.

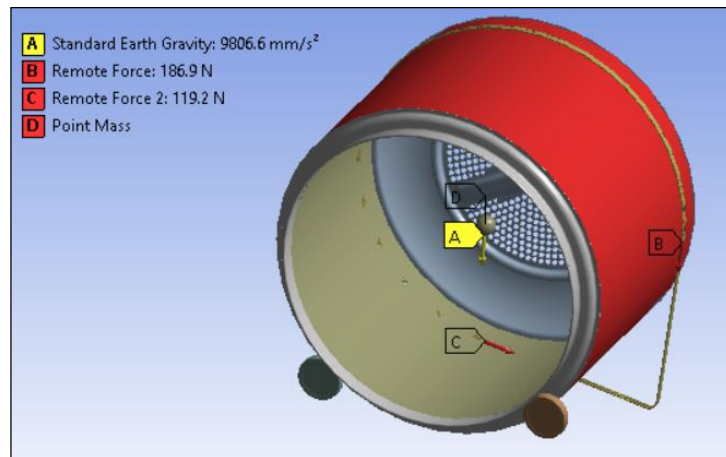
Oluşturulan tambur grubunun uzaydaki konumu ve hareket serbestliği ise Bölüm 2.2.2’de belirtilen yataklamalara göre modellenmiştir. Tambur grubu modellemesinde kullanılan tüm noktalar Çizelge 3.1’de belirtildiği gibidir. Ön yataklamayı oluşturan

tekerlerin yüzeyleri, tambur ön sacındaki temas yüzeyine sürtünmesiz temas olacak şekilde modellenmiştir. Arka yataklama bölgesinde ise flanş mili, arka yataklama merkezine, küresel mafsallık bağlantısı ile sabitlenmiştir.

Çizelge 3.1 Tambur grubu analizi serbestlik tablosu

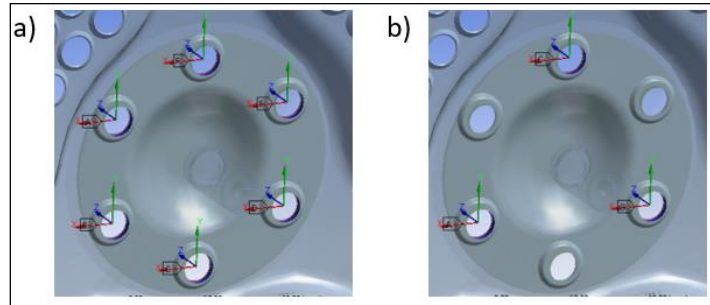
Bağlanan	Bağlanılan	Referans Eksen	Görsel	Hareket Eksenleri					
				X	Y	Z	X-Dönme	Y-Dönme	Z-Dönme
Tambur Ön Sacı (Bağlantı Yüzeyi)	Tambur Çevre Sacı (Bağlantı Yüzeyi)	Temas Dairesi Merkezi		Sabit	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit
Tambur Çevre Sacı (Bağlantı Yüzeyi)	Tambur Arka Sacı (Bağlantı Yüzeyi)	Temas Dairesi Merkezi		Sabit	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit
Tambur Arka Sacı (Bağlantı Yüzeyi x6 - x3)	Nokta (Arka Yataklama Merkez Noktası)	Arka Yataklama Merkezi		Sabit	Sabit	Sabit	Serbest	Serbest	Serbest
Ön Yataklama Teker x2 (Tambur Ön Sacı Temas Yüzeyi)	Nokta x2 (Tambur Ön Sacı Temas Yüzeyi Merkezi)	Tambur Ön Sacı Temas Yüzeyi Merkezi x2		Sabit	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit	Serbest
Tambur Ön Sacı (Teker Temas Yüzeyi)	Ön Yataklama Teker x2 (Teker Temas Yüzeyi)	Temas		Yüzeyler arası sürekli temas					

Analiz için, tambur grubunu oluşturan bağlantıların modellenmesi ve tambur grubunun sabitlenmesi dışında, etki kuvvetlerinin de modellenmesi gerekmektedir. Etki kuvvetleri, çamaşır ağırlığı, test ağırlığı, parça ağırlıkları ve kayış kuvvetlerinden oluşmaktadır.



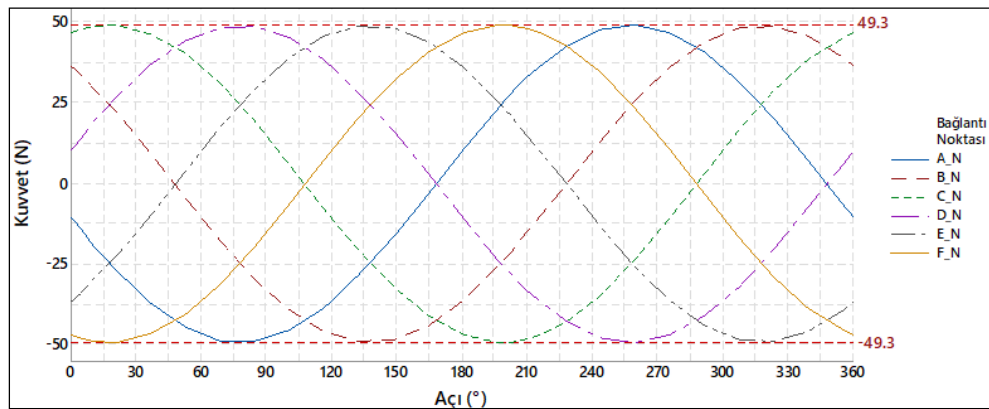
Şekil 3.2 Tambur grubunu etkileyen etki kuvvetleri

Şekil 3.2’de gösterilen ve hızlı ömür testleri ağırlıklarını simüle eden 16 kg’lık kütle, tambur çevre sacına etki edecek şekilde çevre sacı merkezine tanımlanmıştır. Parça ağırlıkları, demir malzemenin $7,85 \text{ g/cm}^3$ olan öz kütlesi ile $9806,6 \text{ mm/s}^2$ yer çekimi ivmesine göre ANSYS yazılımı vasıtasıyla parça hacimleri ele alınarak analize dahil edilmiştir. Kayış kuvvetleri için Bölüm 2.2.3’de yapılan hesaplar vasıtasıyla ele edilen veriler kullanılmıştır. Kayış kuvvetleri, Şekil 2.19’da görüldüğü üzere, kayışın tambura ilk temas ettiği ve tamburdan ilk ayrıldığı noktalardan, kayış doğrultusunda uygulanmıştır. Tüm kuvvetler ve yataklamalar belirtildiği şekilde tanımlanmış olup, tambur grubuna 360° dönme hareketi uygulanarak, Şekil 3.3’te bulunan iki farklı bağlantı modeline bilgisayar destekli analiz yapılmıştır.



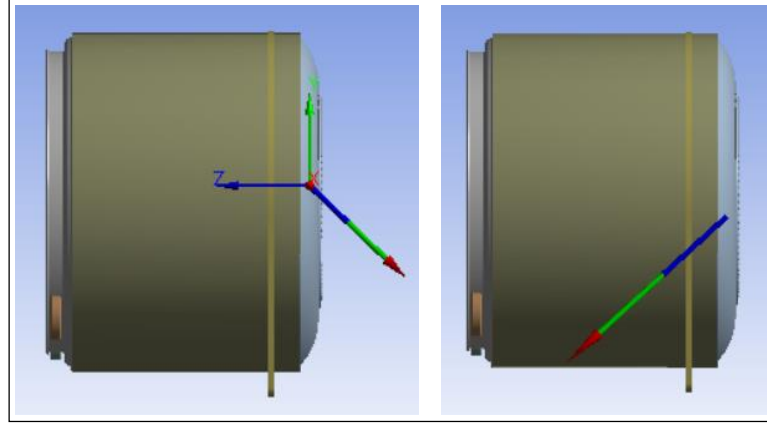
Şekil 3.3 Tambur arka sacı flanş bağlantısının modeli a. 6 bağlantılı tasarım b. 3 bağlantılı tasarım

6 bağlantılı tasarım modeline yapılan analizde, bağlantılara gelen normal kuvvetlerin tambur dönme açısı ile değişimi Şekil 3.4’te görülmektedir. Her bir bağlantıya gelen kuvvetler ve bu kuvvetlerin dönme hareketi ile değişimi aynı olup aralarında 60° ’lik faz farkı bulunmaktadır.



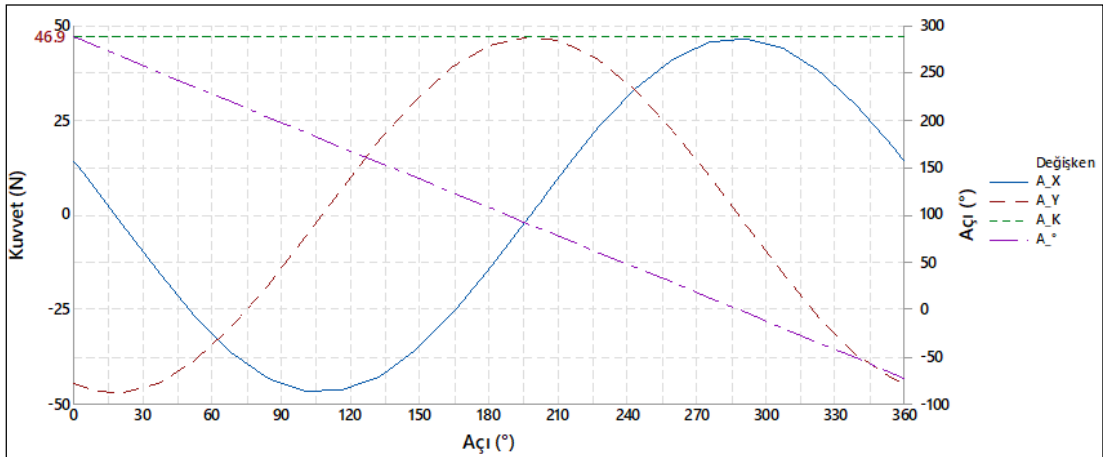
Şekil 3.4 6 bağlantılı tasarımda bağlantılara gelen normal kuvvetler

Her bağlantıya, bağlantı ekseninde, çeki ve bası yönünde, maksimum 49,3 N kuvvet gelmektedir. Gelen kuvvetin frekansı tambur dönme frekansı ile aynı olup 1,11 Hz değerinde gerçekleşmektedir.

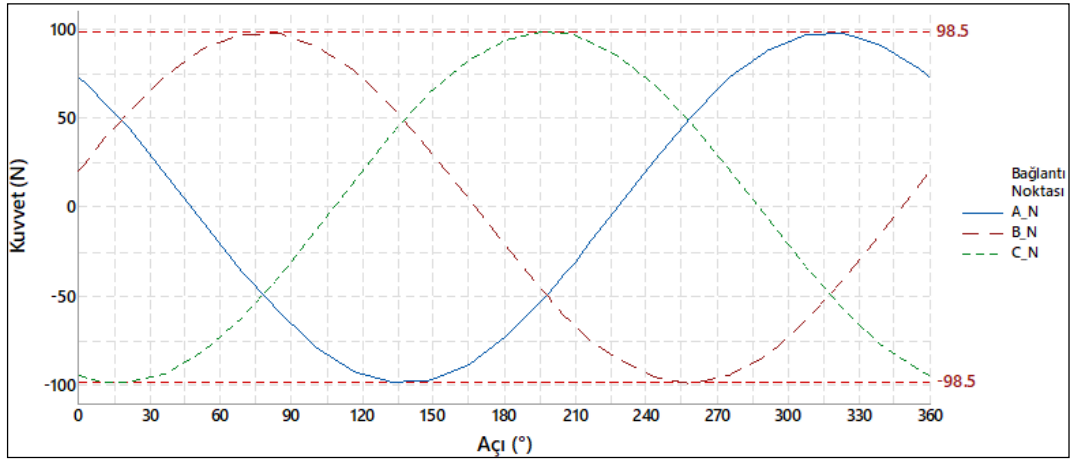


Şekil 3.5 6 bağlantılı flanş tasarımında tamburun 0° ve 180°deki konumundaki tek bağlantıya gelen toplam kuvvet yönü

Şekil 3.3.a'da gösterilen 6 bağlantılı bir tasarımda, A bağlantısına gelen X ve Y eksenindeki kuvvetler, bileşke kuvvet ve yönü şekil 3.6'da gösterilmektedir. Yapılan analiz sonucuna göre bağlantıya gelen bileşke kesme kuvveti 46,9 N gerçekleşmektedir. Bileşke kesme kuvvet değeri tambur dönme hareketi ile değişmemekte olup, kuvvetin yönü tambur dönme hareketi ile aynı frekansta değişmektedir.

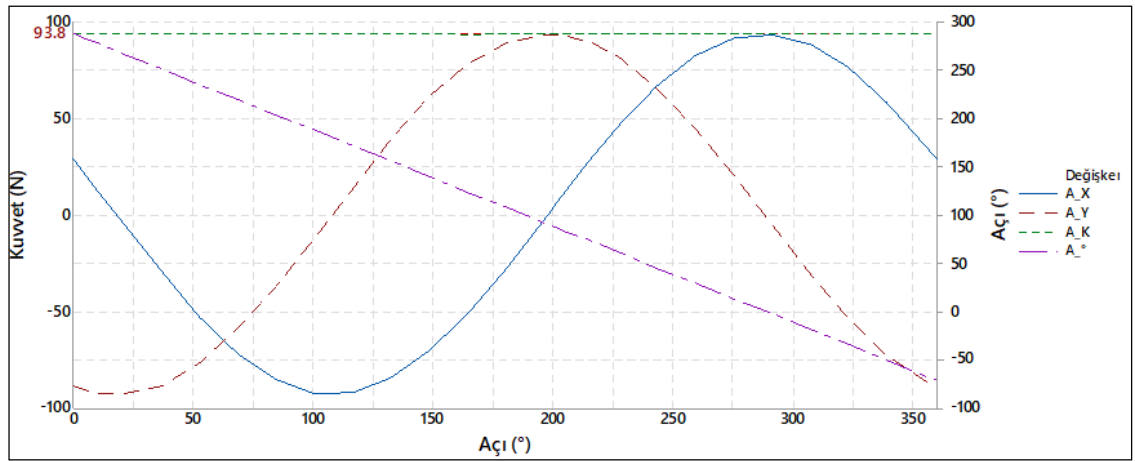


Şekil 3.6 6 bağlantılı tasarımda A bağlantısına gelen kesme kuvveti, yönü ve eksenel kuvvetleri



Şekil 3.7 3 bağlantılı tasarımda bağlantılara gelen normal kuvvetler

3 bağlantılı tasarım modeline yapılan analizde bağlantılara gelen normal kuvvetlerin tambur dönme açısı ile değişimi Şekil 3.7'de görülmektedir. Her bir bağlantıya gelen kuvvetler ve bu kuvvetlerin dönme hareketi ile değişimi aynı olup aralarında 120°'lik faz farkı bulunmaktadır. Her bağlantıya, bağlantı ekseninde, çeki ve bası yönünde, maksimum 98,5 N kuvvet gelmektedir. Gelen kuvvetin frekansı tambur dönme frekansı ile aynı olup 1,11 Hz değerinde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.8 3 bağlantılı tasarımda A bağlantısına gelen kesme kuvveti, yönü ve eksenel kuvvetleri

Şekil 3.3.b'de gösterilen 3 bağlantılı tasarımda, A bağlantısına gelen X ve Y eksenindeki kuvvetler, bileşke kuvvet ve bileşke kuvvet yönü Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Yapılan analiz sonucuna göre bağlantıya gelen bileşke kesme kuvveti 93,8 N gerçekleşmektedir. Bileşke kesme kuvveti değeri tambur dönme hareketi ile değişmemekte olup, kuvvetin yönü tambur dönme hareketi ile aynı frekansta değişmektedir.

Çizelge 3.2 Yataklamalara gelen kuvvetler

Kategorisi	Sembol	Açıklaması	Dinamik Durumdaki Kuvvet Değeri (N)	Elde Etme Yöntemi
Tepki Kuvveti	$F_{öy1}$	Sol ön yataklama kuvveti	92,9	Analiz
Tepki Kuvveti	$F_{öy2}$	Sağ ön yataklama kuvveti	101,4	Analiz
Tepki Kuvveti	F_{ay}	Arka yataklama kuvveti	282,1	Analiz

Yapılan analiz çıktılarına göre yataklamalara gelen kuvvetler Çizelge 3.2'deki gibidir. Yapılan analiz sonuçlarının doğrulaması için etki kuvvetlerinin bileşenlerinin toplamının tepki kuvvetleri bileşenleri toplamına eşitliği kontrol edilmiştir. Analize girdi olarak verilen tambur ağırlığı, çamaşır ağırlığı, tambur grubu tahrik kayışı gergin ve gevşek kol kuvvetleri ile analiz sonucu elde edilen sol, sağ ve arka yataklama kuvvetlerinin x ve y eksenindeki bileşenleri toplanıldığında, toplamın 0 N ve sistemin dengede olduğu Çizelge 3.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 Analiz sonuçlarının doğrulaması

Kategorisi	Sembol	Açıklaması	Dinamik Durumdaki Kuvvet Değeri (N)	X Bileşeni (N)	Y Bileşeni (N)
Etki Kuvveti (Doğal Kuvvet)	F_t	Tambur grubu ağırlığı	48,9	0,0	-48,9
Etki Kuvveti (Doğal Kuvvet)	$F_ç$	Çamaşır ağırlığı (Hızlı ömür testi için)	160	0,0	-160,0
Etki Kuvveti (Zorlanmış Kuvvet)	F_{kger}	Tambur grubu tahrik kayışı gergin kol kuvveti	186,9	-13,3	-186,4
Etki Kuvveti (Zorlanmış Kuvvet)	F_{kgev}	Tambur grubu tahrik kayışı gevşek kol kuvveti	119,2	117,7	-18,6
Tepki Kuvveti	$F_{öy1}$	Sol ön yataklama kuvveti	92,9	54,4	75,1
Tepki Kuvveti	$F_{öy2}$	Sağ ön yataklama kuvveti	101,4	-72,4	70,7
Tepki Kuvveti	F_{ay}	Arka yataklama kuvveti	282,1	-86,6	268,1
TOPLAM				0	0

3.2 Bağlantı Mukavemeti Analizi İçin Yapılan Ön Çalışmalar

Bağlantı mukavemeti analizinin yapılması için bağlantıyı oluşturan malzemelerin elastik ve plastik bölgedeki mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun dışında bağlantı kritik ölçüsünün bilinerek, bu bağlantıyı oluşturan ekipmanların modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bağlantı mukavemetinde etkin rol oynayan bu bilgiler, analiz öncesi ölçülerek detaylı bir şekilde toplanmıştır.

3.2.1 Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Her mukavemet probleminde olduğu gibi perçinleme işleminde de kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri etkin rol oynamaktadır. Kurutulacak çamaşırların içerisine yerleştirildiği tambur, kullanıcının etkileşimde olduğu bir parçadır. Algılanan kalite açısından değerlendirildiğinde, paslanmaz hammadde kullanımı avantaj sağlarken, maliyet açısından bir dezavantaj oluşturmaktadır. Kaplamalı sac kullanımı maliyet açısından paslanmaz saca göre daha avantajlıdır.

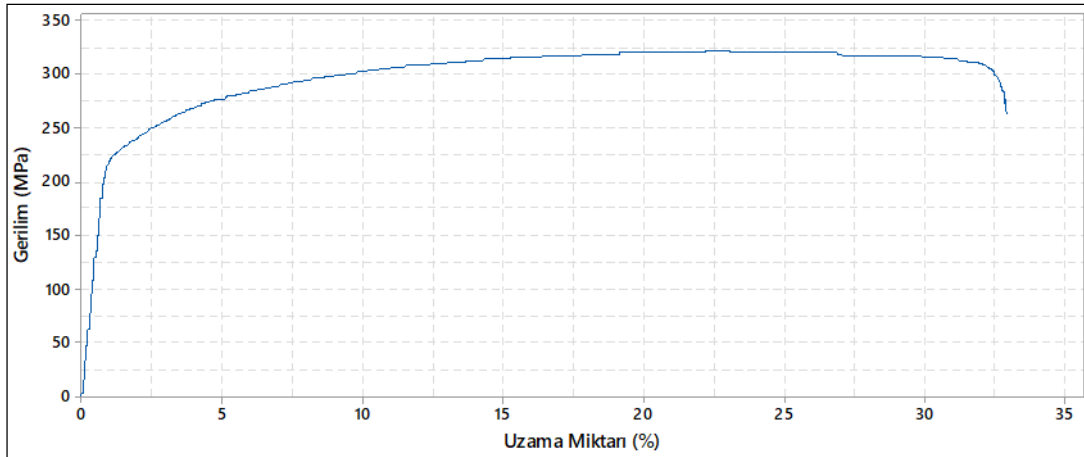
Yapılan çalışmada, çamaşır kurutma makinesi tambur üretiminde kullanılan üç farklı hammadde ele alınmıştır. Bu hammaddelerden AISI 430 malzeme, paslanmaz parlak yüzeyi sayesinde algısal olarak diğerlerinden üstündür. H340LAD+AZ150 hammadde, AISI 430 hammadde yerine kullanılabilen daha ucuz bir alternatiftir. DX52D+Z275 hammadde ise kapalı çevrim makinalarda paslanma problemi yarattığından dolayı, sadece açık çevrim makinaların tamburunda kullanılabilir. Bu üç hammadde hem görsel, hem de mekanik olarak birbirinden farklıdır. Flanş sacı görsel bir malzeme olmadığından dolayı, tek hammadde üzerinde çalışılmıştır. Kullanılan malzemelerin temel standart özellikleri Çizelge 3.4'te belirtildiği gibidir.

Çizelge 3.4 Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Bölge	Standart	Standart Tanımı	Et Kalınlığı (mm)	Çekme Dayanımı (Rm)	Min.Uzama Değeri (% - A80)	Min. Kaplama Kütlesi Çift Yüzey Toplamı (gr/m ²)	Min. Kaplama Kalınlığı Tek Yüzey (um)
Flanş Sacı (Alternatif 1-2-3)	EN10346:2009	DX51D+AZ	1,5	270-500	20	150	20
Tambur Arka Sacı (Alternatif 1)	AISI	430	0,5	450-650	24	-	-
Tambur Arka Sacı (Alternatif 2)	EN10346:2009	HX340LAD+AZ	0,5	400-500	20	150	20
Tambur Arka Sacı (Alternatif 3)	EN10346:2009	DX52D+Z	0,5	270-420	24	275	20

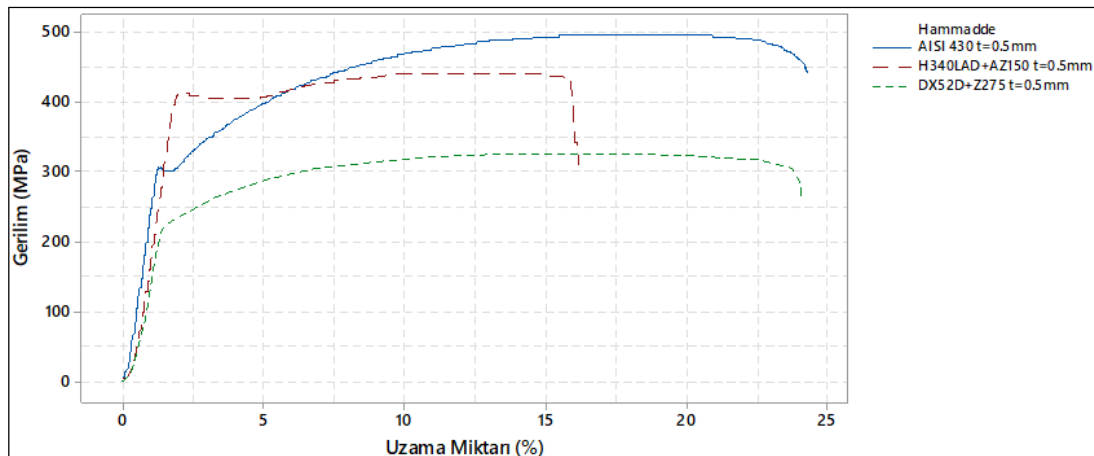
Yapılan çalışmada ele alınan birleştirme yönteminde hem zımba tarafı, hem de kalıp tarafındaki malzemede plastik akma söz konusudur. Bundan dolayı analizler için yapılan tanımlamalarda çekme testi sonuçları kullanılmıştır. Çekme testleri, Şekil 3.26'da görseli bulunan, Zwick marka, XForce P loadcel ile 0,5- 5 kN aralığında yük verme kapasiteli, 0,0410 μ m hareket ölçüm çözünürlüğünde bir çekme testi cihazında, TS EN ISO 6892-1 [9] standardına uygun olarak yapılmıştır. Çekme hızı 10 mm/dk. olarak ayarlanmıştır. Numunelerin genişliği 20 mm olup, 0,5mm et kalınlığındaki sac için kesit alanı 10mm², 1,5mm et kalınlığındaki sac için ise 30mm²'dir. Şekil 3.9'da, flanş malzemesi olarak

kullanılacak hammaddenin çekme test sonucu bulunmaktadır. Kullanılan malzemenin elastik bölgedeki uzaması %1 civarında olup, kopma uzaması %33'dür.



Şekil 3.9 Tambur flanşı üretiminde kullanılan DX51D+AZ150 malzemenin çekme testi sonucu

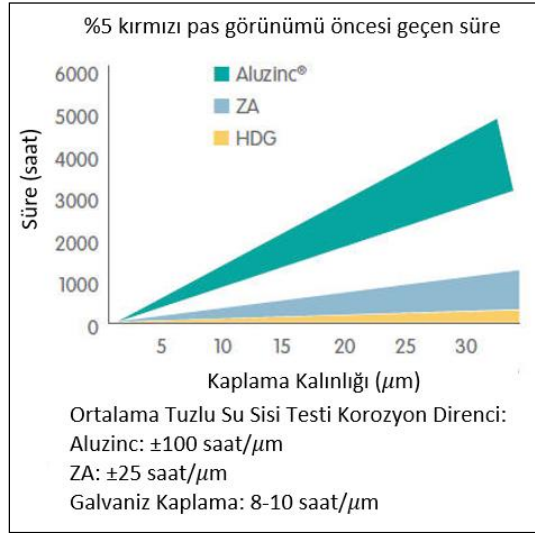
Tambur arka sacı alternatifi olarak kullanılacak hammaddelerin çekme test sonuçları ise Şekil 3.10'da yer almaktadır. Test sonuçlarına göre, en düşük akma gerilmesi DX52 hammaddede gerçekleşirken, en yüksek akma gerilmesi H340 malzemede gerçekleşmiştir. En yüksek çekme gerilmesi ise 430 kalite paslanmaz hammaddede görülmüştür. 430 kalite paslanmaz ve DX52 kalite sacda kopma uzaması %24 civarında gerçekleşirken, H340 kalite sacda uzama miktarı %16 ölçülmüştür.



Şekil 3.10 Tambur arka sacı üretiminde kullanılan alternatif malzemelerin çekme testi sonuçları

Bu sac alternatifleri arasında mekanik özellikleri yanı sıra korozyon dirençlerinde de farklılıklar bulunmaktadır. Paslanmaz malzemenin korozyon direnci maksimum seviyede

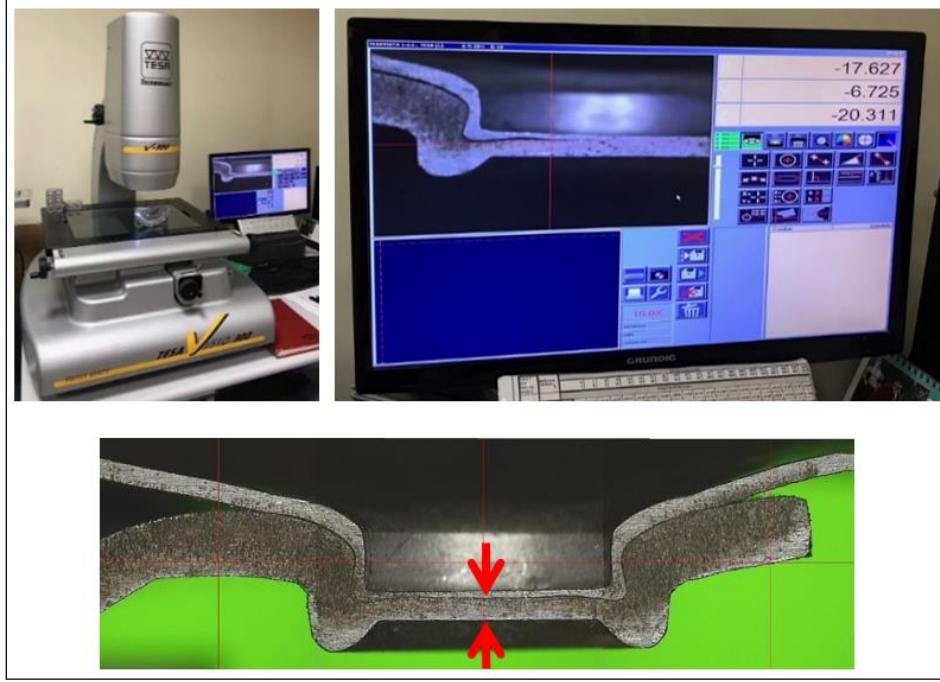
olup, çinko kaplamalı malzeme seçilen malzemeler arasında en düşük korozyon direncine sahiptir. Şekil 3.11’de bulunan grafik, farklı kaplama malzemelerine ve kalınlıklarına sahip sacların tuzlu su sisi testinde kırmızı pas görünüm sürelerini göstermektedir. Kapalı çevrim çamaşır kurutma makineleri tamburunda oluşan ortam, açık çevrim çamaşır kurutma makinesi tamburunda bulunan ortama göre daha koroziftir. Bundan dolayı kapalı çevrim çamaşır kurutma makinelerinde paslanmaz veya alüminyum-çinko kaplı saclar kullanılırken, açık çevrim çamaşır kurutma makinelerinde çinko kaplamalı sac kullanımı yeterlidir. Uygun korozyon direnci ve mekanik mukavemet değerine göre malzemeler farklı kapasiteli çamaşır kurutma makinelerinde değerlendirilebilir.



Şekil 3.11 AZ, ZA ve Z(HDG) kaplama arasındaki korozyon direnci farkı [10]

3.2.2 Boyutsal Ölçümler

Perçinlenmiş parçanın gerçekleşen kritik ölçülerinin tespiti için perçinlenmiş parçalar perçin ekseninden geçen hat boyunca tel erezyon yardımı ile kesilmiştir. Kesilen parça Tesa marka 2D ölçü aleti ile fotoğraflanan kesilmiş parçanın zımba ile kalıp arasında kalan mesafe Şekil 3.12’de görüldüğü gibi ölçülmüştür. Ölçülen bu ölçü 0,6mm olup, analizde kullanılacak zımba hareket mesafesi bu ölçüm sonucuna göre tanımlanacaktır.

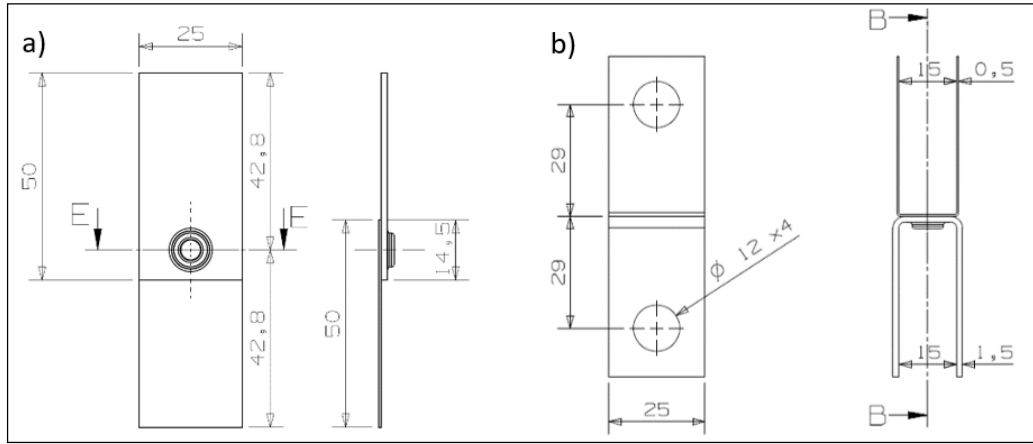


Şekil 3.12 Perçinlenmiş malzeme kritik et kalınlığı ölçümü

3.2.3 Model Oluşturma

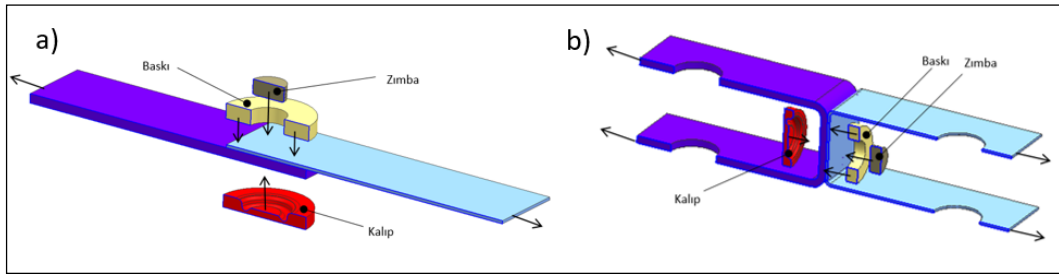
Analizde kullanılacak Şekil 2.13’de gösterilen zımba ve kalıbın modeli, UniGraphics programı kullanılarak oluşturulmuştur. Model oluşturmak için önce zımba ve kalıp 3D tarayıcı ile taranmıştır. Sonrasında nokta bulutu üzerinden alınan referanslar aracılığıyla perçinlemeye etkisi olan bölgeler, tersine mühendislik yöntemiyle modellenmiştir.

Analizler sonrasında yapılacak testler, analiz sonuçları ile karşılaştırılarak analizin yakınsama oranı elde edilecektir. Yapılan literatür araştırmalarına göre [1]-[4], perçinleme işlemi bağlantı mukavemeti, bağlantıya uygulanan kesme ve çekme testleri ile ölçülmektedir. Bundan dolayı, analizde kullanılacak sac modeller, Şekil 3.13’de gösterilen test numuneleri ölçüsündeki formlardan oluşmaktadır. Analiz ile plakalara perçinleme işlemi uygulanarak, sonrasında bağlantının kesme ve normal kuvvete karşı mukavemetini belirleyen çekme testi yapılacaktır.



Şekil 3.13 Bağlantı mukavemeti ölçüm numuneleri a. Kesme kuvveti mukavemeti için
b. Normal kuvvet mukavemeti için

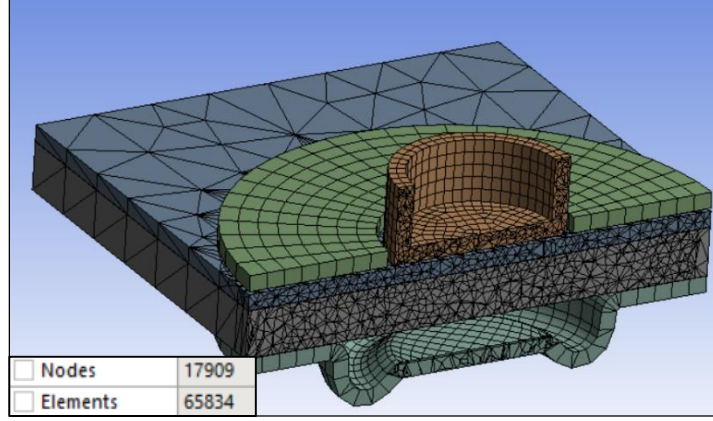
Oluşturulan baskı, zımba ve kalıp modelleri arasına yerleştirilen numune ölçüsündeki plakalara önce perçinleme işlemi yapılarak sonrasında Şekil 3.14’de belirtilen ok yönünde parçalar çekilecektir.



Şekil 3.14 Analizlerde kullanılacak parça modelleri

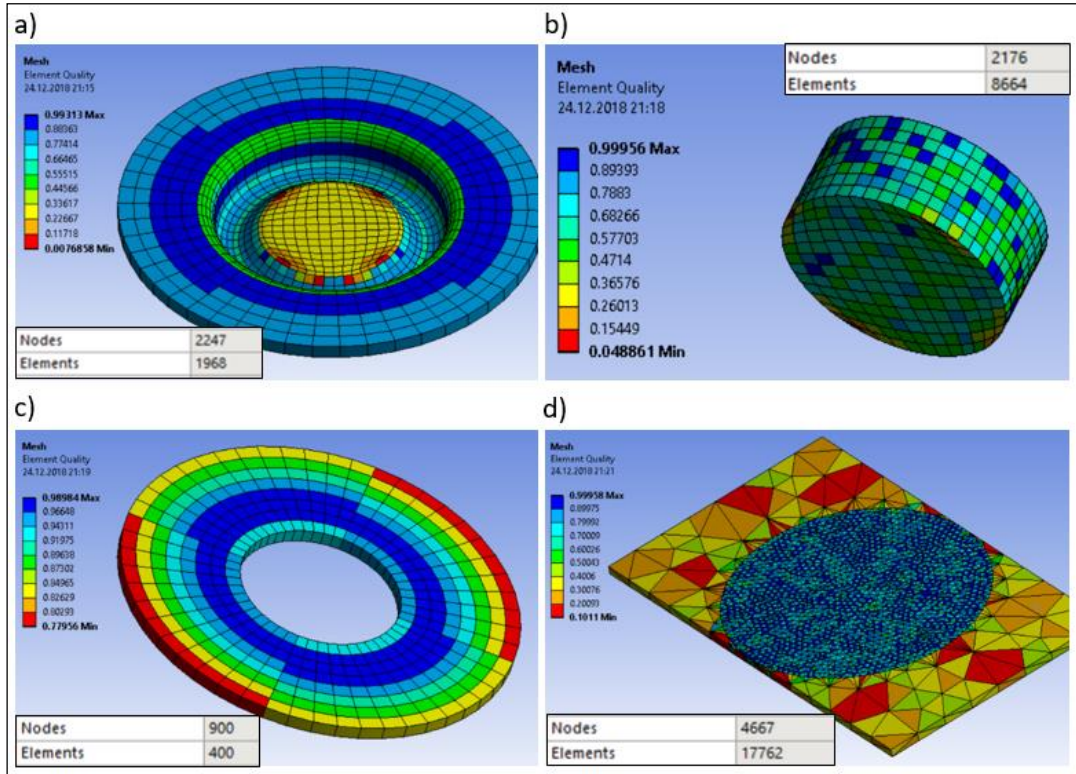
3.2.4 Ağ Yapısı Oluşturma

Hazırlanan modellerde, analiz edilen parçaların sadece temas bölgeleri alınarak model sadeleştirilmiştir. Kalıp ve baskı parçalarında da temas yüzeylerine et kalınlığı eklenerek modelde sadeleştirme yapılmıştır. Şekil 3.15’de sadeleştirilmiş modellerin mesh uygulanmış hallerinin zımba ekseninden kesiti bulunmaktadır. Baskı, zımba, kalıp, tambur arka sacı ve flanş malzemeleri saclarına uygulanan mesh sonucunda, model 17909 adet düğüm ve 65834 eleman ile oluşturulmuştur.

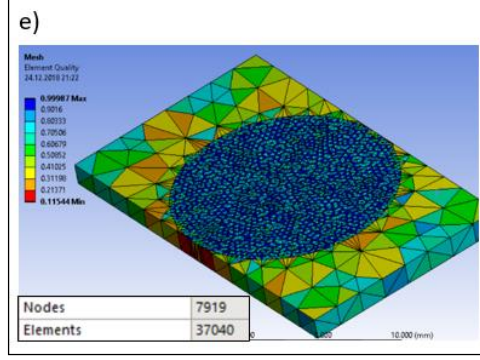


Şekil 3.15 Analizlerde kullanılacak parça modellerin eleman ağı

Modelde kullanılan parçaların mesh düğüm adetleri, eleman adetleri ve eleman kaliteleri Şekil 3.16’da bulunmaktadır. Modellerde baskın olarak hexa eleman kullanılmıştır. Parçalarda oluşan plastik deformasyonun fazla olduğu bölgelerde eleman boyutları küçültülerek analizler tekrarlanmıştır. İdeal eleman boyutları, analiz sonucunda elde edilen geometrinin gerçekleşen geometri ile benzerliğine bakılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.16 Analizlerde kullanılacak parçaların düğüm sayıları, eleman sayıları ve eleman kaliteleri a. Kalıp b. Zimba c. Baskı d. Tambur arka sacı plakası e. Flanş sacı plakası



Şekil 3.16 Analizlerde kullanılacak parçaların düğüm sayıları, eleman sayıları ve eleman kaliteleri a. Kalıp b. Zimba c. Baskı d. Tambur arka sacı plakası e. Flanş sacı plakası (devamı)

3.3 Bağlantı Mukavemeti Analizleri

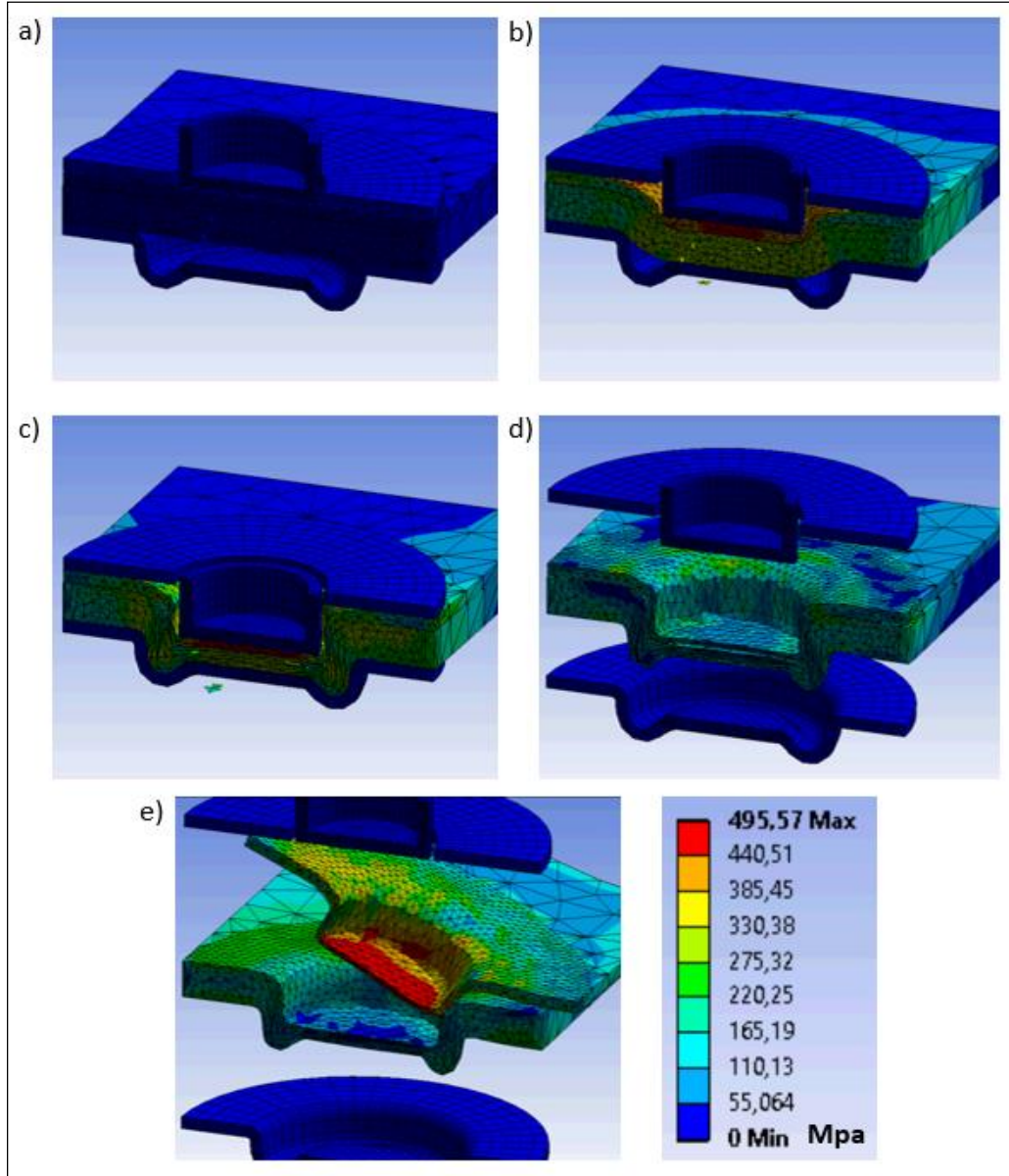
Bağlantı mukavemeti analizleri Ansys 18.2 programının “Explicit Dynamics” modülü ile yapılmıştır. Flanş ile tambur arka sacı malzemeleri 15mmx25mm ebatlarında plaka olarak modellenmiştir. Zimba, kalıp ve baskı plakası merkezleri bu plakaların merkezinde yer almaktadır. Analizler öncesi sınır şartları tanımlanarak, bu sınır şartlara göre perçinleme mukavemeti kontrol edilmiştir.

3.3.1 Sınır Şartları

Analizde zimba, kalıp ve baskı plakalarında herhangi bir deformasyon ön görülmemiş olup, bu parçalar rijit olarak tanımlanmıştır. Flanş ve tambur arka sacı malzemeleri arasındaki sürtünme katsayısı 0,12 olarak tanımlanmıştır.

İlk analizlerde, Şekil 3.17’de görüldüğü üzere, perçinleme işlemi ve bağlantı kesme kuvveti mukavemeti testini simüle eden çekme analizi yapılmıştır. Bu analizler tambur arka sacı üretiminde kullanılması planlanan her üç malzeme için tekrarlanmıştır. Görseldeki analizde tambur arka sacı malzemesi AISI430’dur. Renk göstergesi von-mises eşdeğer gerilmesini MPa cinsinden göstermektedir. Analiz iki etapta gerçekleştirilmiştir. İlk etapta zimba, zimba-kalıp mesafesi 0,6mm’e düşecek şekilde hareket ettirilir. Bu sırada baskı plakası tambur arka sacı malzemesi yüzeyinde sabit bırakılmıştır. İlk etabın sonunda zimba, kalıp ve baskı plakası sac malzemelerden uzaklaştırılır. İkinci etapta, flanş sacını temsil eden 1,5 mm et kalınlığındaki plaka, 25 mm ve 1,5 mm kenarlara sahip iki yüzeyin birinden sabitlenir. Tambur arka sacını temsil eden 0,5 mm kalınlığındaki

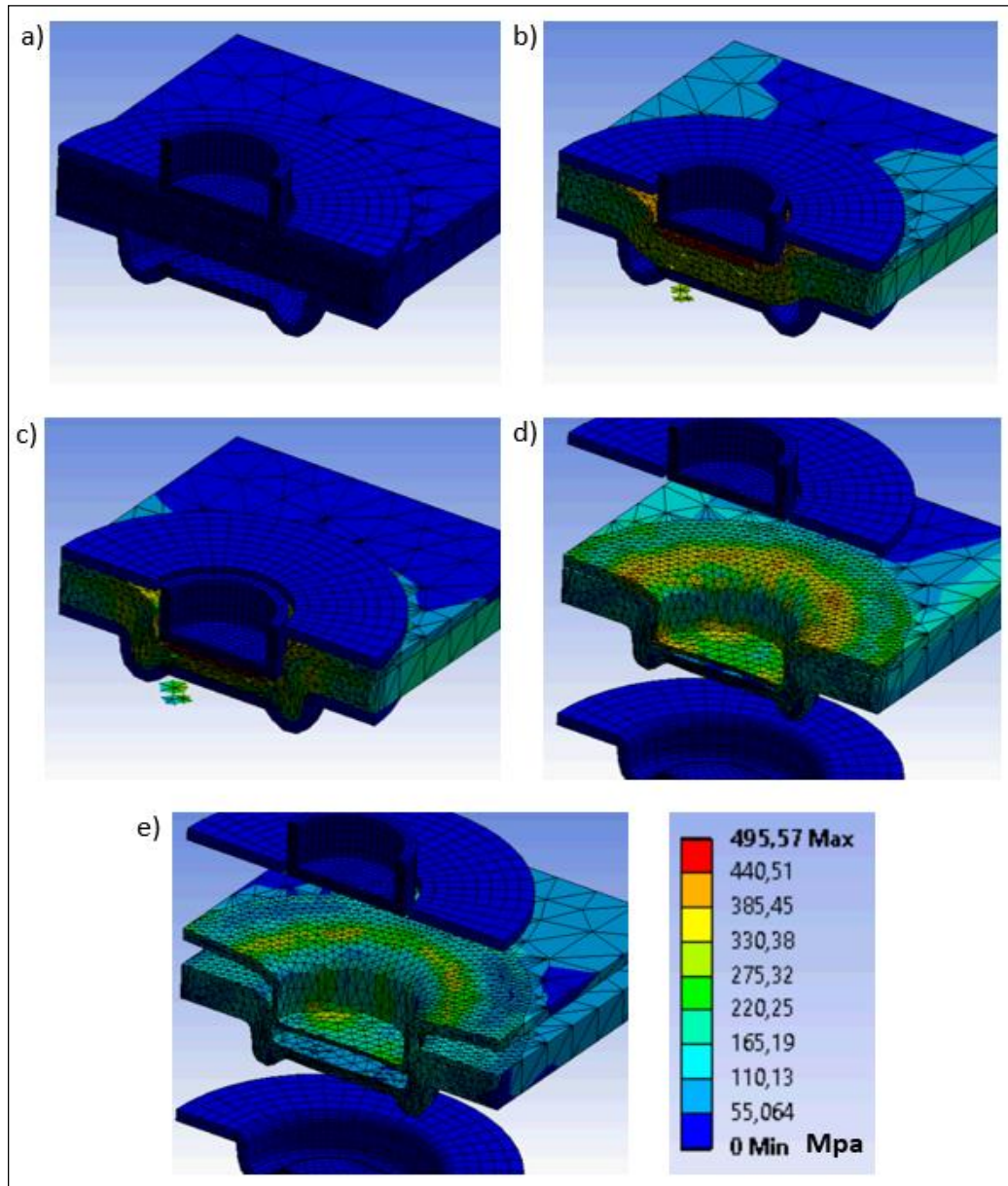
plaka, sabitlenen flanş sacı yüzeyi ile kesişmeyen 0,5 mm ve 25 mm kenara sahip yüzeyinden, 5mm/sn hız ile perçinleme bölgesinden uzaklaşacak şekilde yüzeye dik olarak çekilir. Analiz sonucu olarak, bağlantının çekme kuvvetine olan tepkisi alınmaktadır.



Şekil 3.17 Kesme kuvveti mukavemeti analizi eşdeğer gerilme sonucu

İkinci analizlerde, Şekil 3.18’de görüldüğü üzere, perçinleme işlemi ve bağlantı çekme kuvveti mukavemeti testini simüle eden çekme analizi yapılmıştır. Bu analizler tambur arka sacı üretiminde kullanılması planlanan her üç malzeme için tekrarlanmıştır. Görseldeki analizde tambur arka sacı malzemesi AISI430’dur. Renk göstergesi von-mises eşdeğer gerilmesini MPa cinsinden göstermektedir. Analiz iki etapta gerçekleştirilmiştir.

İlk etapta zımba, zımba-kalıp mesafesi 0,6mm'e düşecek şekilde hareket ettirilir. Bu sırada baskı plakası tambur arka sacı malzemesi yüzeyinde sabit bırakılmıştır. İlk etabın sonunda zımba, kalıp ve baskı plakası sac malzemelerden uzaklaştırılır. İkinci etapta, flanş sacını temsil eden 1,5 mm et kalınlığındaki plaka, 25 mm ve 1,5 mm kenarlara sahip iki yüzeyinden sabitlenir. Tambur arka sacını temsil eden 0,5 mm kalınlığındaki plaka, 0,5 mm ve 25 mm kenara sahip yüzeylerinden plakaları birbirinden ayıracak şekilde, perçinleme eksenine paralel yönde, 5mm/sn hız ile çekilir. Analiz sonucu olarak, bağlantının çekme kuvvetine olan tepkisi alınmaktadır.

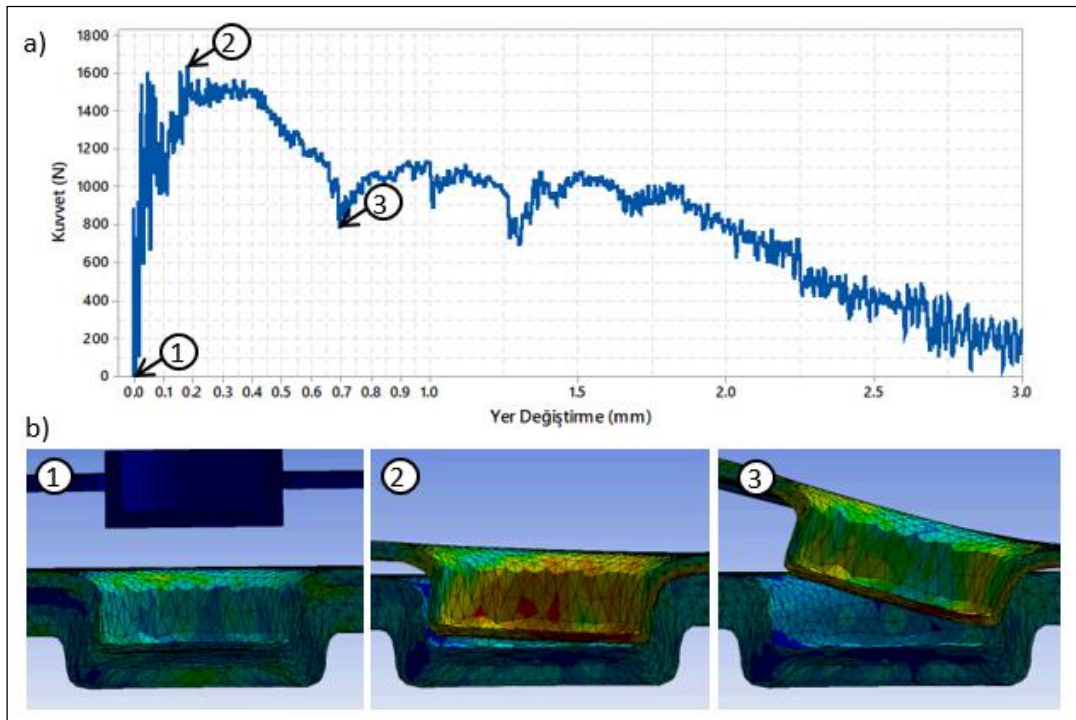


Şekil 3.18 Çekme kuvveti mukavemeti analizi eşdeğer gerilme sonucu

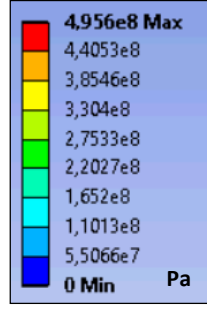
Yapılan çalışmada, Mucha [5] tarafından yapılan “çekme testi ile bağlanan malzemelerin ayrılması sırasında oluşan maksimum kuvvetin tespiti” çalışmasına benzer mukavemet kontrolü yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Tüm analizlerde, perçinleme zımba hızı 2,7 mm/sn, perçinlenmiş parçaların ayrılma hızı 5 mm/sn olarak gerçekleştirilmiştir. Şekillerde bulunan renk değişimleri malzemelerde oluşan bölgesel bileşke gerilme değerlerindeki farklılıkları göstermektedir.

3.3.2 Kesme Kuvveti Mukavemeti Analizi

Şekil 3.19’da görüldüğü üzere AISI 430 tambur arka sacı malzemesi ile yapılan kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu bağlantının çekme mesafesine göre gösterdiği reaksiyon kuvvetini belirtmektedir. Kuvvet grafiği altında bulunan görseller malzemenin o andaki bölgesel gerilme farklarını temsil etmektedir. DX51D+AZ150 flanş malzemesi ve AISI 430 tambur arka sacı malzemesi ile gerçekleştirilen perçinleme bağlantısında maksimum kesme kuvveti Şekil 3.17’de bulunan 2. Noktada gerçekleşmiş olup değeri 1647,6 N’dur. Maksimum kuvvetin gerçekleştiği anda parçalar arası ayrılma kısmı olarak gerçekleşmiştir. 3. Noktada ise kuvvet değeri belirgin bir şekilde düşmüştür ve büyük oranda parçalar arası ayrılma gerçekleşmiştir.

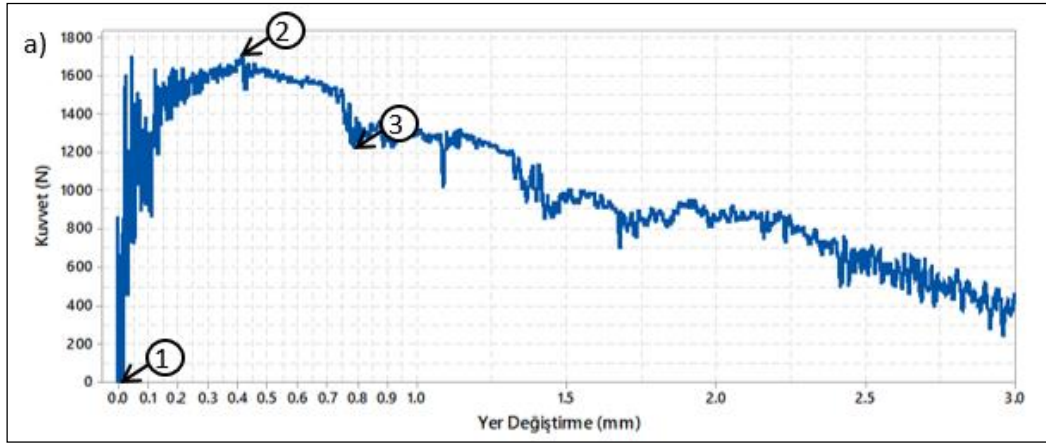


Şekil 3.19 a. AISI 430 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri

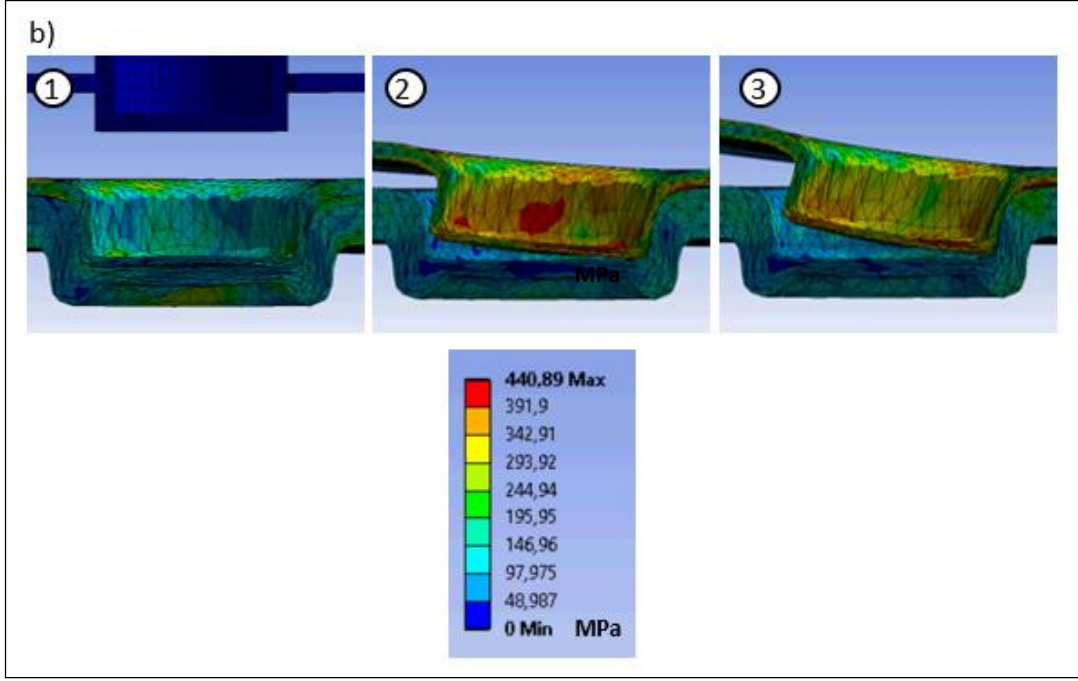


Şekil 3.19 a. AISI 430 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri (devamı)

Şekil 3.20’de görüldüğü üzere H340LAD+AZ150 tambur arka sacı malzemesi ile yapılan kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu bağlantının çekme mesafesine göre gösterdiği reaksiyon kuvvetini belirtmektedir. Kuvvet grafiği altında bulunan görseller malzemenin o andaki bölgesel gerilme farklarını temsil etmektedir. DX51D+AZ150 flanş malzemesi ve H340LAD+AZ150 tambur arka sacı malzemesi ile gerçekleştirilen perçinleme bağlantısında maksimum kesme kuvveti Şekil 3.18’de bulunan 2. Noktada gerçekleşmiş olup değeri 1711,6 N’dur. Maksimum kuvvetin gerçekleştiği anda parçalar arası ayrılma kısmi olarak gerçekleşmiştir. 3. Noktada ise kuvvet değeri belirgin bir şekilde düşmüştür ve büyük oranda parçalar arası ayrılma gerçekleşmiştir. H340LAD+AZ150 malzemenin çekme gerilmesi değerinin AISI 430 malzemeye göre daha düşük olması kaynaklı bağlantıdaki ayrılma daha yüksek deformasyon ile gerçekleşmektedir.

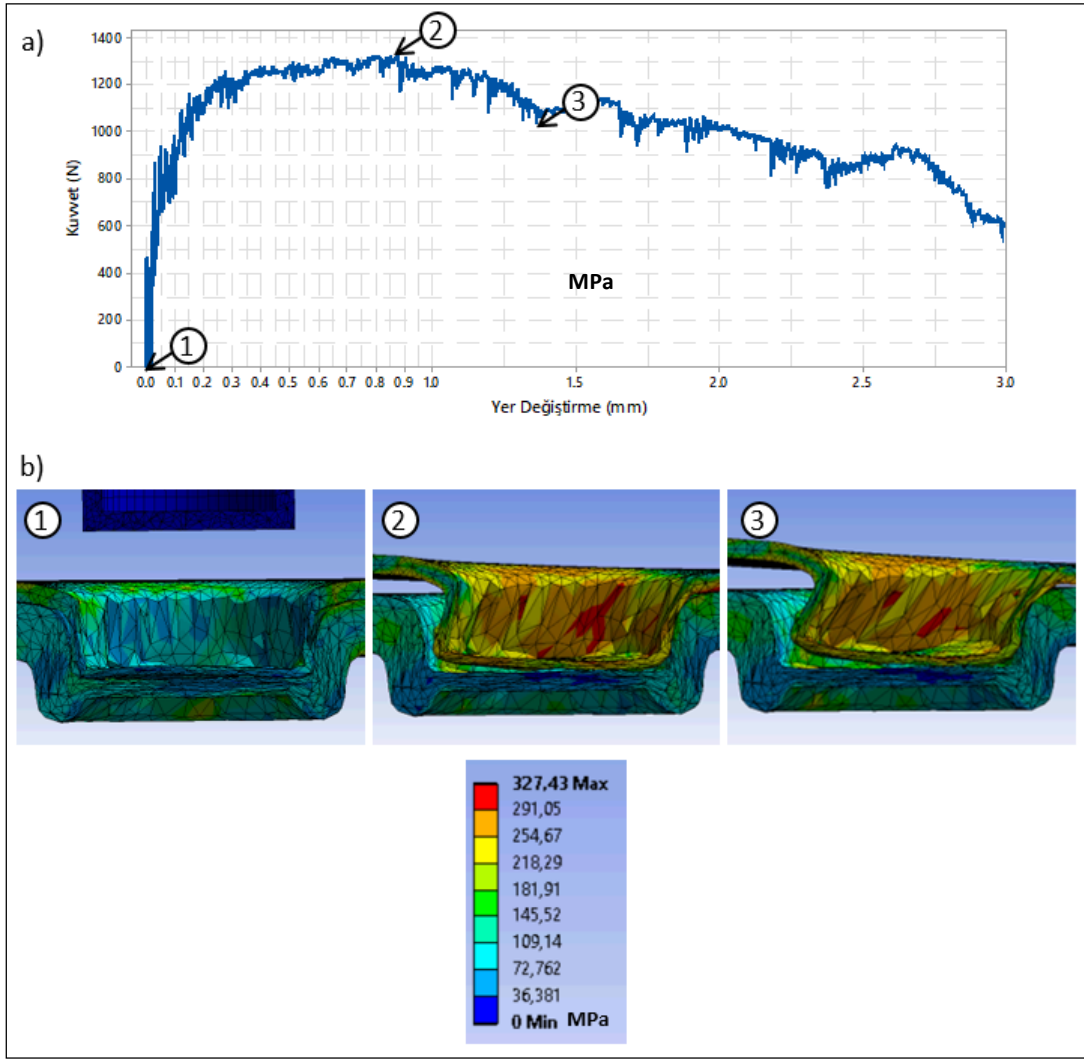


Şekil 3.20 a. H340LAD+AZ150 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri



Şekil 3.20 a. H340LAD+AZ150 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri (devamı)

Şekil 3.21’de görüldüğü üzere DX52D+Z275 tambur arka sacı malzemesi ile yapılan kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu bağlantının çekme mesafesine göre gösterdiği reaksiyon kuvvetini belirtmektedir. Kuvvet grafiği altında bulunan görseller malzemenin o andaki bölgesel gerilme farklarını temsil etmektedir. DX51D+AZ150 flanş malzemesi ve DX52D+Z275 tambur arka sacı malzemesi ile gerçekleştirilen perçinleme bağlantısında maksimum kesme kuvveti Şekil 3.19’de bulunan 2. Nuktada gerçekleşmiş olup değeri 1332,7 N’dur. Maksimum kuvvetin gerçekleştiği anda parçalar arası ayrılma kısmi olarak gerçekleşmiştir. 3. Nuktada ise kuvvet değeri belirgin bir şekilde düşmüştür ve büyük oranda parçalar arası ayrılma gerçekleşmiştir. DX52D+Z275 malzemenin çekme gerilmesi değerinin diğer tambur arka sacı alternatif malzemelerine göre daha düşük olması kaynaklı bağlantıdaki ayrılma daha yüksek deformasyon ile gerçekleşmektedir. Malzemenin sünek yapısı dolayısıyla en düşük kesme kuvvetine dayanım bağlantı mukavemeti bu malzemedede gerçekleşmiştir.

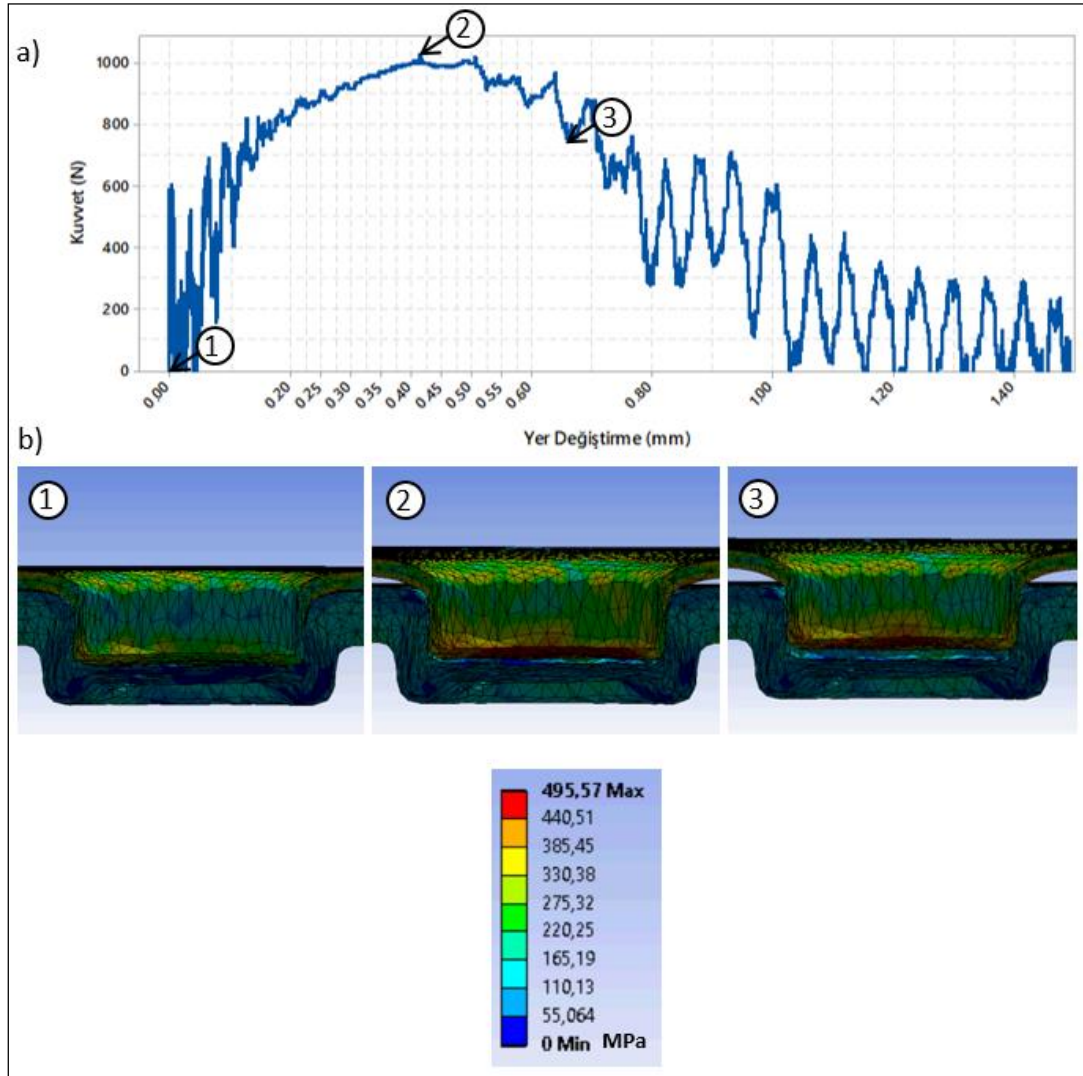


Şekil 3.21 a. DX52D+Z275 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının kesme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri

3.3.3 Çekme Kuvveti Mukavemeti Analizi

Şekil 3.22’de görüldüğü üzere AISI 430 tambur arka sacı malzemesi ile yapılan çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu bağlantının çekme mesafesine göre gösterdiği reaksiyon kuvvetini belirtmektedir. DX51D+AZ150 flanş malzemesi ve AISI 430 tambur arka sacı malzemesi ile gerçekleştirilen perçinleme bağlantısında maksimum çekme kuvveti Şekil 3.22’de bulunan 2. Noktada gerçekleşmiş olup değeri 1026,3 N’dur. Maksimum kuvvetin gerçekleştiği anda parçaların dairesel temas yüzeyleri arası ayrılma başlamıştır. Bu kuvvet değerinde, parçalar arası kenetleme maksimum düzeydedir. Bu noktadan itibaren parçada gerçekleşen plastik deformasyon sonucunda kenetleme miktarı azalmaktadır. 3. Noktada ise kuvvet değeri belirgin bir şekilde düşmüştür ve

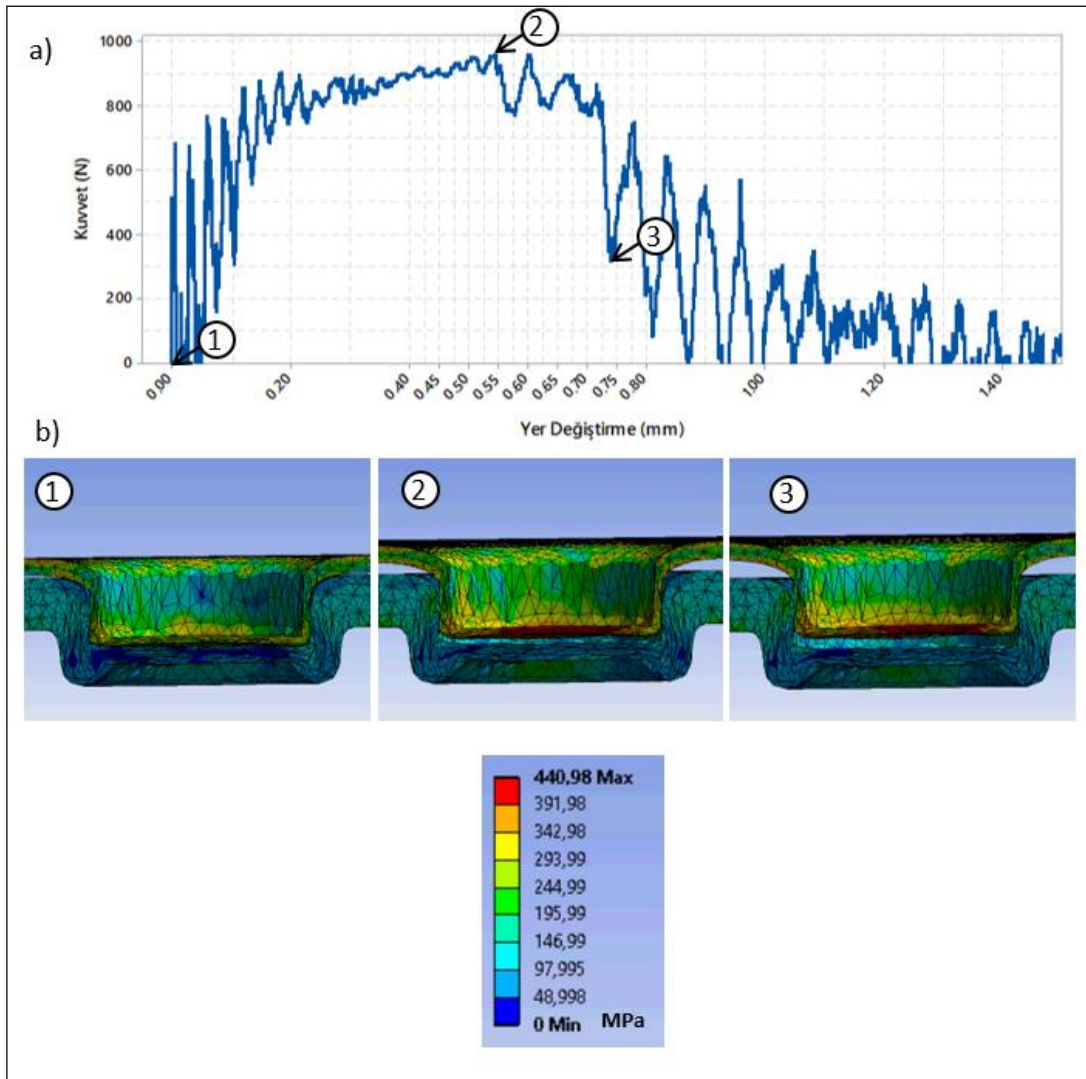
parçalar arasındaki kenetleme miktarı azalmaya devam etmektedir. Parçalar ayrılıncaya kadar, parçalarda plastik şekil değiştirme ve yaylanma gerçekleşerek, kuvvet değeri azalmaktadır.



Şekil 3.22 a. AISI 430 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri

Şekil 3.23’de görüldüğü üzere H340LAD+AZ150 tambur arka sacı malzemesi ile yapılan çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu bağlantının çekme mesafesine göre gösterdiği reaksiyon kuvvetini belirtmektedir. DX51D+AZ150 flanş malzemesi ve H340LAD+AZ150 tambur arka sacı malzemesi ile gerçekleştirilen perçinleme bağlantısında maksimum çekme kuvveti Şekil 3.21’de bulunan 2. Noktada gerçekleşmiş olup değeri 963,45 N’dur. Maksimum kuvvetin gerçekleştiği anda parçaların dairesel temas yüzeyleri arası ayrılma başlamıştır. Bu kuvvet değerinde, parçalar arası kenetleme maksimum düzeydedir. Bu

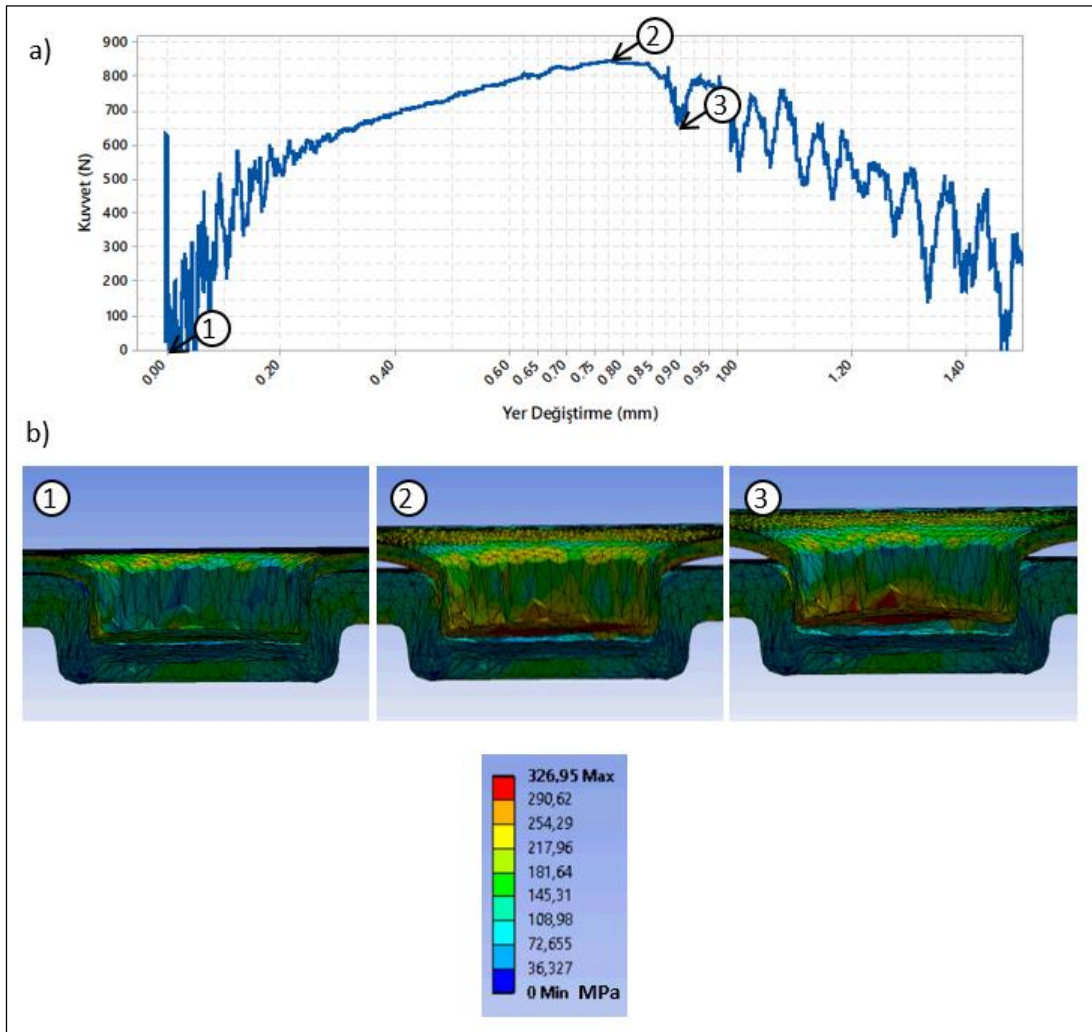
noktadan itibaren parçada gerçekleşen plastik deformasyon sonucunda kenetleme miktarı azalmaktadır. 3. Noktada ise kuvvet değeri belirgin bir şekilde düşmüştür ve parçalar arasındaki kenetleme miktarı azalmaya devam etmektedir. Parçalar ayrılincaya kadar, parçalarda plastik şekil değiştirme ve yaylanma gerçekleşerek, kuvvet değeri azalmaktadır. H340LAD+AZ150 malzemenin çekme gerilmesi değerinin AISI 430 malzemeye göre daha düşük olması kaynaklı bağlantıdaki ayrılma daha yüksek deformasyon ile gerçekleşmektedir.



Şekil 3.23 a. H340LAD+AZ150 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri

Şekil 3.24'te görüldüğü üzere DX52D+Z275 tambur arka sacı malzemesi ile yapılan çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu bağlantının çekme mesafesine göre gösterdiği reaksiyon kuvvetini belirtmektedir. DX51D+AZ150 flanş malzemesi ve DX52D+Z275

tambur arka sacı malzemesi ile gerçekleştirilen perçinleme bağlantısında maksimum çekme kuvveti Şekil 3.24'te bulunan 2. Noktada gerçekleşmiş olup değeri 848,92 N'dur. 3. Noktada ise kuvvet değeri belirgin bir şekilde düşmüştür ve büyük oranda parçalar arası ayrılma gerçekleşmiştir. Bu kuvvet değerinde, parçalar arası kenetleme maksimum düzeydedir. Bu noktadan itibaren parçada gerçekleşen plastik deformasyon sonucunda kenetleme miktarı azalmaktadır. 3. Noktada ise kuvvet değeri belirgin bir şekilde düşmüştür ve parçalar arasındaki kenetleme miktarı azalmaya devam etmektedir. Parçalar ayrılincaya kadar, parçalarda plastik şekil değiştirme ve yaylanma gerçekleşerek, kuvvet değeri azalmaktadır. DX52D+Z275 malzemenin çekme gerilmesi değerinin diğer malzemelere göre daha düşük olması kaynaklı bağlantıdaki ayrılma daha düşük kuvvette gerçekleşmiştir.



Şekil 3.24 a. DX52D+Z275 malzeme ile oluşturulmuş bağlantının çekme kuvveti mukavemeti analiz sonucu b. Analiz sonucunda parçalarda oluşan gerilme değerleri

3.4 Bağlantı Mukavemeti Testleri

Yapılan analizlerin doğrulanması için, Şekil 3.25’de görülen ve analizlerde kullanılan model ile aynı boyutlarda olan numuneler hazırlanmıştır. Her durum için beşer numune hazırlanmış olup, bu numunelere, kesme mukavemeti ve çekme mukavemeti testleri yapılmıştır. Yapılan testlerdeki amaç, malzeme çiftlerinde oluşan bağlantıların kuvvet altındaki davranışlarını tespit etmek ve bağlantı mukavemetindeki değişkenliği saptamaktır.



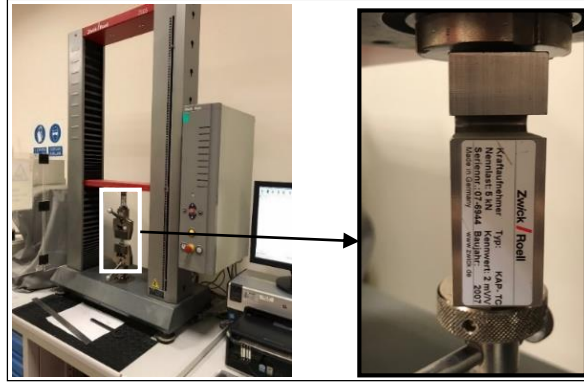
Şekil 3.25 Bağlantı mukavemeti ölçüm numuneleri

Çizelge 3.5’de görüleceği üzere tüm numunelerde kovan tarafında, tambur flanşı üretiminde kullanılan 1,5mm et kalınlığındaki DX51D+AZ özellikli malzeme kullanılmıştır. Zimba tarafında ise 0,5mm et kalınlığında farklı mekanik özelliklere sahip 3 farklı malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 3.5 Test koşullarındaki farklılık

Test Numune Tipi	Zimba Tarafındaki Malzeme	Kovan Tarafındaki Malzeme
Kesme Kuvveti Numunesi	AISI 430 t=0,5mm	DX51D+AZ t=1,5mm
Kesme Kuvveti Numunesi	DX52D+Z275 t=0,5mm	DX51D+AZ t=1,5mm
Kesme Kuvveti Numunesi	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	DX51D+AZ t=1,5mm
Çekme Kuvveti Numunesi	AISI 430 t=0,5mm	DX51D+AZ t=1,5mm
Çekme Kuvveti Numunesi	DX52D+Z275 t=0,5mm	DX51D+AZ t=1,5mm
Çekme Kuvveti Numunesi	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	DX51D+AZ t=1,5mm

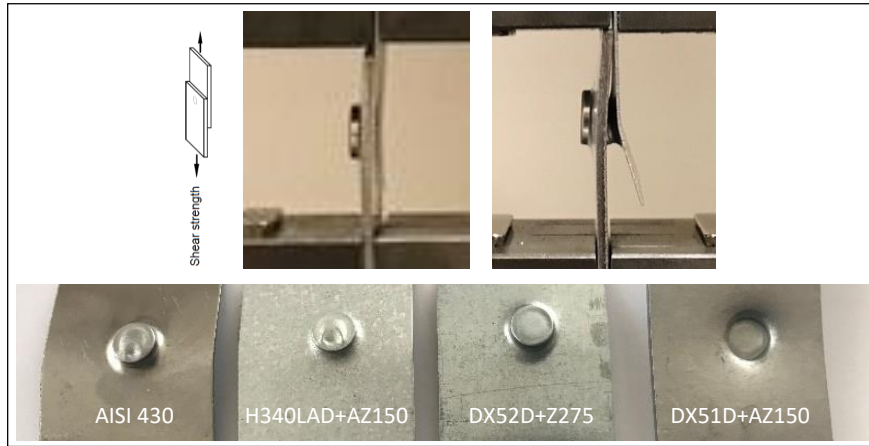
Testlerde, Şekil 3.26’da görülen, maksimum 5 kN test yükü kapasitesine sahip Zwick Z005 marka çekme test cihazı kullanılmış olup, testler 10 mm/sn test hızında yapılmıştır. Numune bağlantı noktaları arasındaki ölçüm çözünürlüğü 0,041 μm ’dir.



Şekil 3.26 Test cihazı

3.4.1 Kesme Kuvveti Mukavemeti Testi

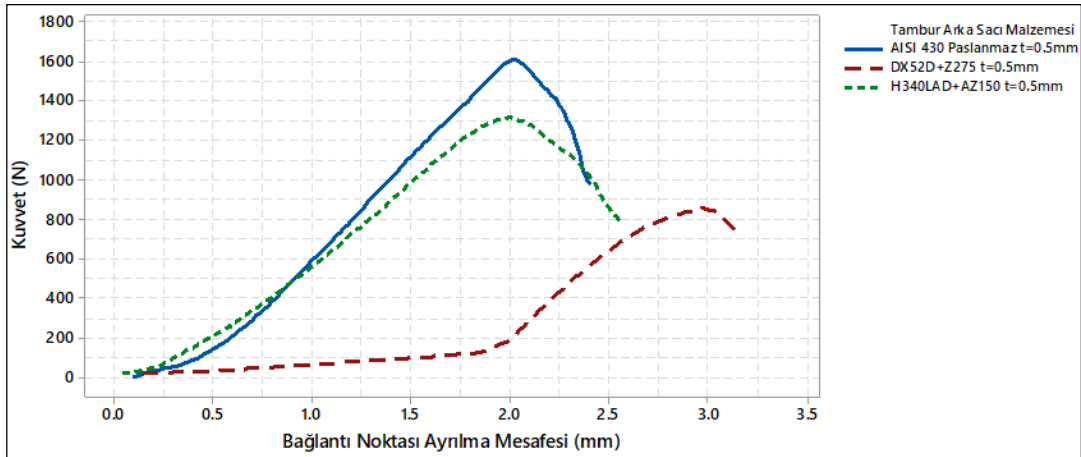
Bağlantının kesme kuvveti mukavemetinin belirlenmesi için hazırlanan numunelere testler uygulanmış olup, bağlantı, sac parçalarda herhangi bir yırtılma olmadan ayrılmıştır. Tüm testlerde Şekil 3.27’de görüldüğü üzere tambur arka sacı malzemesi deforme olmuştur. Deformasyon, AISI 430 ve H340LAD+AZ150 hammaddelerde zımba baskı yüzeyinin kabarması şeklinde gerçekleşirken, DX52D+Z275 malzemede deformasyon bağlantının çevresinde gerçekleşmiştir. Flanş sacı bağlantı bölgesinde herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir.



Şekil 3.27 Kesme kuvveti mukavemeti sonrası parçalarda oluşan deformasyonlar

Şekil 3.28’de bulunan, farklı testler içerisinde alınan test dataları incelendiğinde, DX52D+Z275 hammadde ile yapılan bağlantının sünek yapısı dolayısıyla deformasyonun farklı gerçekleştiği görülmüştür. DX52D+Z275 hammaddede düşük kuvvetlerde 2mm uzama miktarı gerçekleşmiş olup, sonrasında kuvvet artarak sonucunda ayrılma gerçekleşmiştir. AISI 430 ve H340LAD+AZ150 malzemelerin ayrılması, gevrek yapıları

dolayısıyla, DX52D+Z275 malzemeye göre daha düşük uzama miktarlarında gerçekleşmiştir.



Şekil 3.28 Kesme kuvveti mukavemet testi grafiği

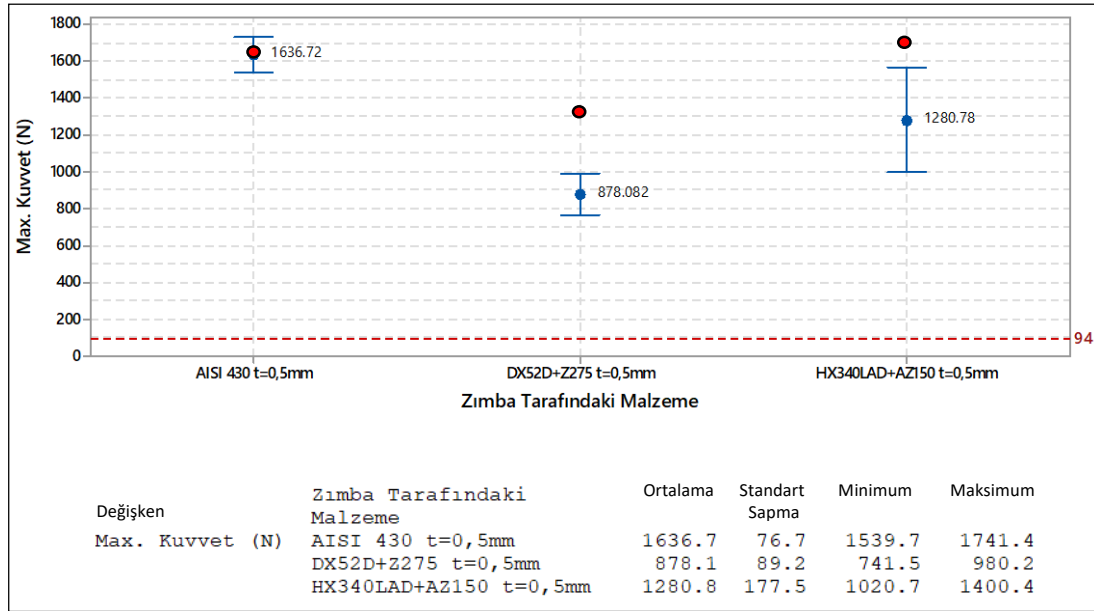
Çizelge 3.6'da kesme kuvveti mukavemeti test sonuçları bulunmaktadır. Test sonuçları bağlantının maksimum dayandığı kuvvet değerine göre belirlenmiştir.

Çizelge 3.6 Kesme kuvveti mukavemeti test sonuçları

Test	Çekme Hızı (mm/dk)	Kovan Tarafındaki Malzeme	Zımba Tarafındaki Malzeme	Max. Kuvvet (N)
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	1624,17
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	1600,57
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	1741,42
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	1677,69
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	1539,74
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	852,19
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	980,20
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	897,17
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	741,54
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	919,31
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	1314,71
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	1280,00
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	1400,37
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	1020,67
Kesme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	1387,36

Test sonuçlarının Minitab istatistik programı ile değerlendirmesi yapıldığında, Şekil 3.29'da görüleceği üzere, AISI 430 malzeme, ortalama 1636,72 N kuvvet değeri ile bağlantının en yüksek mukavemette olmasını sağlayan hammaddedir. Standart sapması 76,7 N olup en kararlı bağlantı bu malzeme ile sağlanmıştır. H340LAD+AZ150 hammadde ile yapılmış numunede, bağlantı mukavemeti, maksimum 1400,4 N ile minimum 1020,7 N arasında gerçekleşmiş olup, 177,5 N standart sapma değeri ile kesme kuvveti

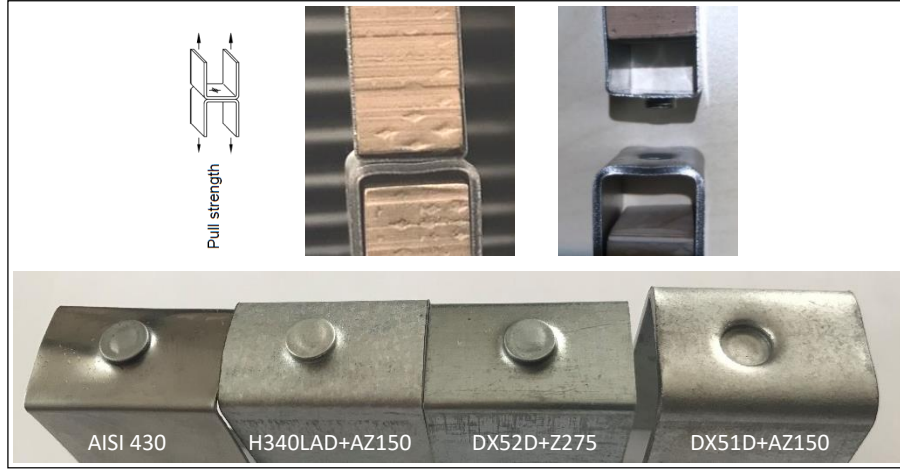
mukavemeti açısından en kararsız bağlantıdır. DX52D+Z275 hammadde ortalama 878,1 N değeri ile en düşük mukavemet sağlayan hammaddedir. Fakat mukavemet kararlılığı paslanmaz hammaddeye yakın değerde olup, standart sapması 89,2 N değerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 3.29 Kesme kuvveti mukavemeti testi sonuçları

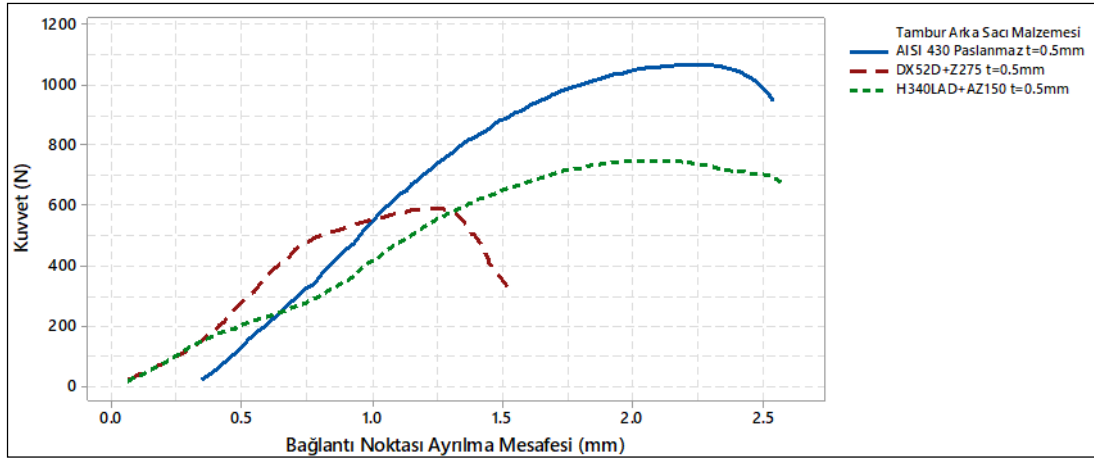
3.4.2 Çekme Kuvveti Mukavemeti Testi

Hazırlanan çekme testi numunelerine, bağlantı çekme kuvveti mukavemeti testi uygulanmış olup, parçalarda herhangi bir yırtılma olmadan ayrılma gerçekleşmiştir. Tüm testlerde Şekil 3.30'da görüldüğü üzere, tambur arka sacı malzemesi deforme olmuştur. Deformasyon, tüm numunelerde, tambur arka sacı malzemesi zımba baskı yüzeyinin kabarması şeklinde gerçekleşmiştir. Flanş sacı bağlantı bölgesinde herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir.



Şekil 3.30 Çekme kuvveti mukavemeti sonrası parçalarda oluşan deformasyonlar

Şekil 3.31’de bulunan, farklı testler içerisinde alınan test dataları incelendiğinde, DX52D+Z275 hammadde ile yapılan bağlantı, malzemenin sünek yapısı dolayısıyla daha düşük kuvvetlerde ayrılmıştır. DX52D+Z275 hammaddede ile H340LAD+AZ150 hammadde maksimum bağlantı kuvvetleri yakın değerler gösterirken H340LAD+AZ hammadde daha yüksek bağlantı noktası yarılma mesafesinde testi sonlandırmıştır. AISI430 hammadde çekme dayanımının en yüksek olan bağlantıyı sağlamaktadır.



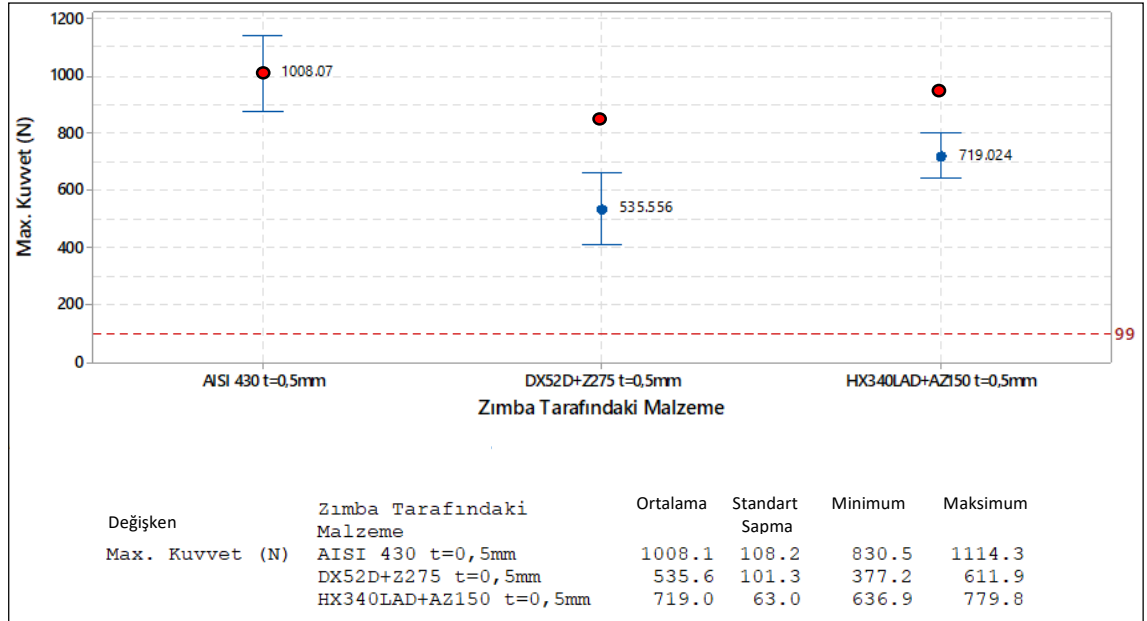
Şekil 3.31 Çekme kuvveti mukavemet testi grafiği

Çizelge 3.7’de çekme kuvveti mukavemeti test sonuçları bulunmaktadır. Test sonuçları bağlantının maksimum dayandığı kuvvet değerine göre belirlenmiştir.

Çizelge 3.7 Çekme kuvveti mukavemeti test sonuçları

Test	Çekme Hızı (mm/dk)	Kovan Tarafındaki Malzeme	Zımba Tarafındaki Malzeme	Max. Kuvvet (N)
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	1067,86
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	830,47
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	1114,26
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	1027,93
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	AISI 430 t=0,5mm	999,85
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	377,22
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	593,45
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	611,9
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	604,54
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	DX52D+Z275 t=0,5mm	490,67
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	749,35
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	667,14
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	779,81
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	636,93
Çekme Kuvveti Testi	10	DX51D+AZ t=1,5mm	HX340LAD+AZ150 t=0,5mm	761,89

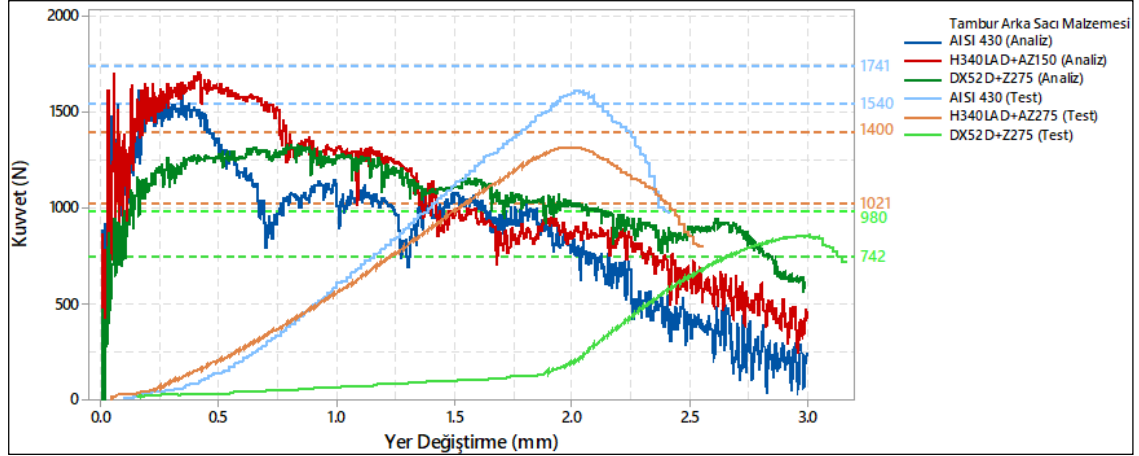
Test sonuçlarının değerlendirilmesi yapıldığında, Şekil 3.32’de görüleceği üzere, AISI 430 malzeme, ortalama 1008,07 N kuvvet değeri ile bağlantının en yüksek mukavemete olmasını sağlayan hammaddedir. Standart sapması 108,2 N değerinde gerçekleşmiştir. H340LAD+AZ150 hammadde ile yapılmış numunede, bağlantı mukavemeti, ortalama 719 N gerçekleşmiş olup standart sapması 63 N’dir. DX52D+Z275 hammadde ortalama 535,6 N değeri ile en düşük çekme kuvveti mukavemeti sağlayan hammaddedir. Bu hammadde ile yapılan test sonuçlarının standart sapması 101,3 N gerçekleşmiştir.



Şekil 3.32 Çekme kuvveti mukavemeti testi sonuçları

3.4.3 CAE Analizlerinin Test Sonuçları ile Karşılaştırılması

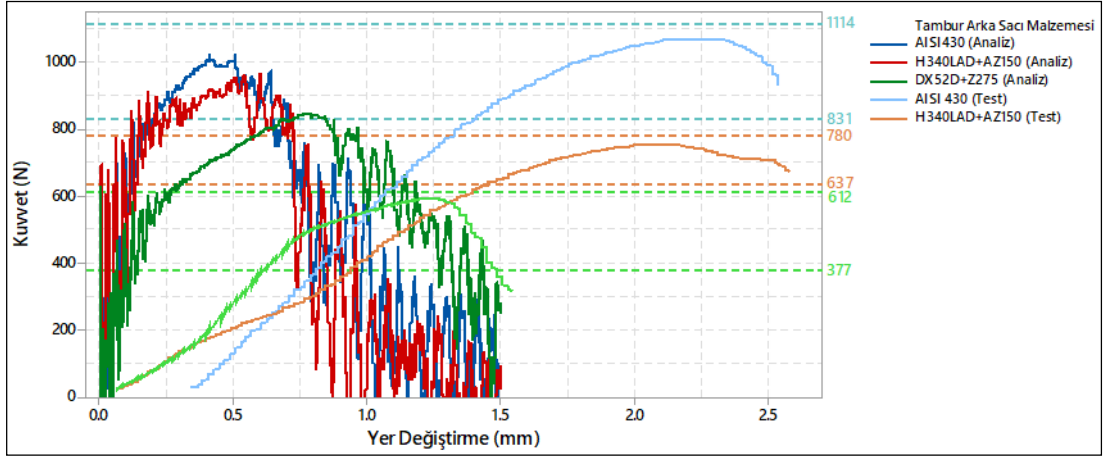
AISI 430, H340LAD+AZ150 ve DX52D+Z275 tambur arka sacı malzemelerine yapılan kesme kuvveti mukavemeti analiz ve test sonuçları Şekil 3.33’de görüldüğü gibidir. Grafikte bulunan referans çizgileri, test sonuçları ile elde edilen bağlantının maksimum kuvvetlerinin farklı testlerde gerçekleşen maksimum ve minimum kuvvet değerlerini gösterir. Referans çizgi renkleri, yapılan test renkleri ile aynı renk ile belirtilmiştir.



Şekil 3.33 Kesme kuvveti mukavemeti analiz ve test sonuçları

AISI 430 tambur arka sacı malzemesi ile üretilmiş bağlantıda gerçekleşen analiz sonucu, yapılan test sonuçları ile benzer kesme kuvvet değerlerine ulaşmıştır. Analiz sonucu, yapılan testlerin ortalama değerine göre %1 hata ile gerçekleşmiştir. Fakat yer değiştirme-kuvvet eğrisi incelendiğinde analiz sonuçları maksimum kuvvet değerine 0,2 mm yer değiştirme değerinde ulaşırken, test sonuçlarında maksimum kuvvet değeri 2 mm uzama anında gerçekleşmektedir. H340LAD+AZ150 ve DX52D+Z275 kaplamalı saclarda analiz sonuçları, yapılan test sonuçları ile birebir eşleşmemektedir. H340LAD+AZ150 tambur arka sacı malzemesinde ortalama değere %34'lük hata ile ulaşılmıştır. DX52D+Z275 tambur arka sacı malzemesinde ise bu değer daha fazla olup %52 olarak gerçekleşmiştir.

Yapılan Rigid Dynamics analiz sonuçlarına göre 3 bağlantılı tambur arka sacı tasarımında bağlantıya gelen bileşke kesme kuvveti 93,8 N olarak tespit edilmiş olup; hem analiz, hem de test sonuçlarına göre güvenli bölgededir.



Şekil 3.34 Çekme kuvveti mukavemeti analiz ve test sonuçları

Şekil 3.34'te bulunan çekme kuvveti mukavemeti analiz ve test sonuçları incelendiğinde, AISI 430 tambur arka sacı malzemesi ile üretilmiş bağlantıda gerçekleşen analiz sonucu, yapılan test sonuçları ile benzer çekme kuvvet değerlerine ulaşmıştır. Analiz sonucu, yapılan testlerin ortalama değerine göre %2 hata ile gerçekleşmiştir. Fakat yer değiştirme-kuvvet eğrisi incelendiğinde analiz sonuçları maksimum kuvvet değerine 0,5 mm yer değiştirme değerinde ulaşırken, test sonuçlarında maksimum kuvvet değeri 2,2 mm uzama anında gerçekleşmektedir. H340LAD+AZ150 ve DX52D+Z275 kaplamalı saclarda analiz sonuçları, yapılan test sonuçları ile birebir eşleşmemektedir. H340LAD+AZ150 tambur arka sacı malzemesinde ortalama değere %34'lük hata ile ulaşılmıştır. DX52D+Z275 tambur arka sacı malzemesinde ise bu değer daha fazla olup %59 olarak gerçekleşmiştir.

Yapılan Rigid Dynamics analiz sonuçlarına göre 3 bağlantılı tambur arka sacı tasarımında bağlantıya gelen çekme kuvveti 98,5 N olarak tespit edilmiş olup; hem analiz, hem de test sonuçlarına göre güvenli bölgededir.

Çizelge 3.8 Test ve analiz sonuçları

Kontrol	Flanş Sacı Malz.	Tambur Arka Sacı Malz.	Testlerde Ulaşılan Maksimum Kuvvet Değerleri		En yüksek ve Düşük Değer Farkı (N)	Ortalama Test Değeri (N)	Analiz Sonucu (N)	Analiz Sonucunun Test Değerleri Ortalamasına Göre Sapma Oranı	Test Sonuçlarında Elde Edilen En Yüksek ve En Düşük Değer Farkının Ortalamaya Oranı
			En Yüksek Değer (N)	En Düşük Değer (N)					
Kesme Mukavemeti	DX51D+AZ150	AISI 430	1741,4	1539,7	201,7	1636,7	1647,6	1%	12%
Kesme Mukavemeti	DX51D+AZ150	H340LAD+AZ150	1400,4	1020,7	379,7	1280,8	1711,6	34%	30%
Kesme Mukavemeti	DX51D+AZ150	DX52D+Z275	980,2	741,5	238,7	878,1	1332,7	52%	27%
Çekme Mukavemet	DX51D+AZ150	AISI 430	1114,3	830,5	283,8	1008,1	1026,3	2%	28%
Çekme Mukavemet	DX51D+AZ150	H340LAD+AZ150	779,8	636,9	142,9	719,0	963,5	34%	20%
Çekme Mukavemet	DX51D+AZ150	DX52D+Z275	611,9	377,2	234,7	535,6	848,9	59%	44%

SONUÇ VE YORUMLAR

Bu yüksek lisans bitirme tezinde, çamaşır kurutma makinası tamburunda bulunan flanş bağlantısının alternatifi olan, ek malzemesiz perçinleme işleminin, farklı tambur arka sacı malzemeleri ile yapılması durumundaki bağlantı mukavemeti ele alınmıştır. Bu sayede perçin kullanımı ortadan kaldırılarak, parçalar arası bağlantı, gerekli mukavemette ve herhangi bir ek malzeme kullanmadan gerçekleştirilmiştir. Mevcut bir çamaşır kurutma makinesinde, toplam 9 gr ağırlığında 6 adet Cu/Ni alaşımlı perçin kullanılmaktadır. Yapılan çalışma sayesinde 1 milyon çamaşır kurutma makinesinin tambur–flanş bağlantısında kullanılan 9 ton hammadde kullanımının önüne, kaliteden ödün verilmeden geçilerek, doğal kaynak tüketimi engellenmiştir.

İlk olarak, bu bağlantıya gelen kesme ve çekme kuvvet değerleri, Ansys programının “Rigid Dynamics” modülü yardımı ile elde edilmiştir. Elde edilen değerler, 3 ve 6 bağlantılı 2 farklı tasarım olmak üzere çamaşır kurutma makinasının zorlandırılmış koşuluna göre belirlenmiştir. 6 bağlantılı tasarımda tek bağlantıya gelen maksimum normal kuvvet 49,3 N ve maksimum kesme kuvveti 46,9 N olarak tespit edilmiştir. Bu değerler 3 bağlantılı tasarımda ise 98,5 N değerinde maksimum normal kuvvet ve 93,8 N değerinde maksimum kesme kuvveti olarak tespit edilmiştir. 3 bağlantılı tasarımda tek bağlantıya gelen normal ve kesme kuvveti değerleri 6 bağlantılı tasarıma göre daha yüksek olduğu için bağlantının uygunluğu ilk önce 3 bağlantılı tasarıma göre değerlendirilmiştir. 3 bağlantılı tasarımın uygun olmadığı durumda, bağlantıya gelen normal ve kesme kuvveti değerleri daha düşük olan 6 bağlantılı tasarıma göre uygunluk kontrol edilmiştir. Bağlantının bu kuvvet değerlerine göre uygunluğunu tespit etmek için tek bağlantıya kesme ve çekme kuvveti mukavemeti analizi ve testleri yapılmıştır. Sonuç

olarak; elde edilen deneysel ve analiz sonuçları birbiri ile karşılaştırılmış olup bağlantıya uygunluğu belirlenmiştir.

AISI 430 tambur arka sacı malzemesi ile yapılan kesme mukavemeti tespiti test değerleri, analiz sonucu ile benzer değerlerde gerçekleşmiştir. AISI 430 malzeme için test değer aralığı 1741,4N-1539,7N iken analiz sonucu 1647,6N'dur. Fakat diğer alternatif kaplamalı saclarda analiz sonuçları, ölçülen değer aralığının dışında gerçekleşmiştir. H340LAD+AZ150 sacda test değer aralığı 1400,4N-1020,7N iken, analiz sonucu 1711,6N gerçekleşmiştir. DX52D+Z275 sacda test değer aralığı 980,2N-741,5N iken, analiz sonucu 1332,7N gerçekleşmiştir. Bu değerlerler, 3 ek malzemesiz perçinleme işlemi ile gerçekleştirilen bağlantıda ihtiyaç duyulan 93,8 N'luk kesme kuvveti değerinden yüksek olup, her 3 alternatif malzeme de ilgili tasarım için uygundur.

Kesme kuvvetinde olduğu gibi, AISI 430 tambur arka sacı malzemesinde çekme kuvvetinin test değerlerine benzer analiz sonucu elde edilmiştir. AISI 430 malzeme için test değer aralığı 1114,3N-830,5N iken analiz sonucu 1026,3N'dur. Fakat diğer alternatif kaplamalı saclarda analiz sonuçları, ölçülen değer aralığının dışında gerçekleşmiştir. H340LAD+AZ150 sacda test değer aralığı 779,8N-636,9N iken, analiz sonucu 963,5N gerçekleşmiştir. DX52D+Z275 sacda test değer aralığı 604,5N-377,2N iken, analiz sonucu 848,9N gerçekleşmiştir. Bu değerler, 3 ek malzemesiz perçinleme işlemi ile gerçekleştirilen bağlantıda ihtiyaç duyulan 98,5 N'luk çekme kuvveti değerinden yüksek olup, her 3 alternatif malzeme de ilgili tasarım için uygundur.

Bağlantı yapısı itibarı ile üç alternatif için gerçekleştirilen kesme ve çekme mukavemeti test sonuçları, ortalama değerlerine göre %12 ila %44 arasında değişkenlik göstermektedir. AISI 430 malzeme ile yapılan analiz sonuçları, yapılan testler ile karşılaştırıldığında, doğruluğu en yüksek sonuçları sağlamış olup, %1-%2'lik sapma ile elde edilmiştir. Diğer alternatif kaplamalı saclarda analiz sonuçları ile testler arasında %34- %59 sapma bulunmaktadır.

Analiz ile test sonuçları arasındaki farklılık ve test sonuçlarındaki değişkenliğin nedeni, malzemelerin yüzeyindeki kaplama hammaddesinden, kaplama kalınlığından ve perçinleme işlemi sonrası plastik deformasyon sonucu malzemelerdeki bölgesel hammadde mekanik özelliği değişkenliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Test ve

analiz sonuularına göre bağlantının ayrılması sonrasında parçalardaki deformasyonun tambur arka sacı parçasında gerçekleştiği görülmüştür. Bundan dolayı bağlantı mukavemetinde etkin parça tambur arka sacıdır. AISI 430 malzemede analiz ve test sonuçlarındaki farkın düşük gerekeşmesinin nedeni, AISI 430 malzemede kaplama bulunmaması olarak düşünülmektedir. Ayrıca malzeme mekanik özellikleri incelendiğinde, çekme gerilmesi en yüksek olan AISI 430 malzemedeki değişkenlik diğer malzemelere göre daha düşük gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, perçinleme esnasında malzemenin bölgesel olarak mekanik özelliğinin değişmesinin, çekme mukavemeti yüksek olan hammaddede daha az değiştiğinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Yapılan test ve analiz sonuçlarına göre, çalışılan 3 alternatif malzeme de 3 bağlantılı tasarım için belirtilen koşullar dahilinde kullanıma uygundur. Mevcut durumda 3 bağlantılı tasarım gerekli mukavemeti sağladığı için 6 bağlantılı tasarıma ihtiyaç duyulmamıştır. Alternatif malzemelerin aynı zımba, kalıp ve proses parametreleri ile kullanımı değerlendirilecek olursa, kapalı çevrim çamaşır kurutma makinelerinde algılanan kalitesi yüksek olarak talep edilen ürünlerde tambur arka sacı AISI 430 olarak önerilirken, düşük maliyet talep edilen ürünlerde H340LAD+AZ150 hammadde önerilmektedir. Kaplama hammadde farklılığı dolayısıyla, açık çevrim çamaşır kurutma makinelerinde ise maliyeti kapalı çevrim çamaşır kurutma makinelerine göre daha da düşürmek için tambur arka sacı retiminde DX52D+Z275 hammaddenin kullanımı önerilmektedir.

Yapılan test ve analiz sonuçlarına göre, AISI 430 tambur arka sacı ile yapılmış bağlantı diğer alternatiflere göre daha mukavimdir. Tasarımı değiştirmeden tambur kapasitesi arttırılmak istenilirse, tambur arka sacı hammaddesi olarak AISI 430 hammadde kullanılması ve AISI 430 mukavemet değerlerine göre kapasite kontrolü yapılması önerilmektedir. Üç farklı tambur arka sacı hammadde alternatiflerinin aynı zımba, kalıp ve proses şartlarında kullanılması planlanırsa, bu durumda bağlantının, tambur kapasitesinin en düşük mukavemet değerine sahip DX52D+Z275 hammaddeye göre değerlendirilmesi önerilmektedir.

Yapılan alışma sonucuna göre, farklı malzemelerle yapılan ek malzemesiz perçinleme işleminin farklı konstrüksiyonlarda kullanılması durumunda, analiz ve test sonuçlarında

gerçekleşen sapmalardan dolayı, analiz harici malzemelerin mukavemet testlerinin de yapılması gerekmektedir. Bu farklılıklar, malzemeler arasındaki kaplama ve ana malzeme mekanik farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı yeni konstrüksiyonlarda, belirlenen sapma oranları göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Carboni, M., Beretta, S. ve Monno, M., (2006). "Fatigue behaviour of tensile-shear loaded clinched joints", Engineering Fracture Mechanics, 73: 178–190.
- [2] Oudjene, M. ve Ben-Ayed, L., (2008). "On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method", Engineering Structures, 30: 1782–1788.
- [3] He, X., Zhang, Y., Xing, B., Gu, F. ve Ball, A., (2015). "Mechanical properties of extensible die clinched joints in titanium sheet materials", Materials and Design, 71: 26–35.
- [4] Atia, M.K.S. ve Jain, M.K., (2018). "Finite element analysis of material flow in die-less clinching process and joint strength assessment" , Thin-Walled Structures, 127: 500–515.
- [5] Mucha, J., (2011). "The analysis of lock forming mechanism in the clinching joint", Materials and Design, 32: 4943–4954.
- [6] Su, Z., Lin, P., Lai, W. ve Pan, J., (2015). "Fatigue analyses of self-piercing rivets and clinch joints in lap-shear specimens of aluminum sheets", International Journal of Fatigue, 72: 53–65.
- [7] Bertoldi, P., Hirl, B. ve Labanca, N., (2012). Energy Efficiency Status Report 2012, Luxembourg.
- [8] GfK, Tumble Dryer Sales Reports , <https://www.gfk.com/>, 10 Haziran 2018
- [9] TS EN ISO 6892-1, (2010). Metalik Malzemeler Çekme Deneyi, TSE, 1. Baskı, Ankara.
- [10] ArcelorMittal Europe, Flat Products, https://constructalia.arcelormittal.com/files/Aluzinc_Industry_brochure_EN--ee040b43596a7b06eb45a3f5fe91f8a0.pdf, 1 Mart 2015.
- [11] Ereğli Demir ve Çelik Fabrikası T.A.Ş., Erdemir Ürün Kataloğu 2017, https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Urun_Katalogu-2017-1269.pdf, 1 Ocak 2017.
- [12] Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., Sarıtaş Teknik Yayın No:1 2. Baskı, <http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/paslanmaz.pdf>, 01 Ağustos 2004.

- [13] Kaytaz, A., (2017). "Çamaşır Kurutma Makinelerinde Oluşan Mekanik Kayıpların İncelenmesi ve Yataklama Sistemi Optimizasyonu", İTÜ Yüksek Lisans Tezi.
- [14] Hamela, V., Roelandta, J.M., Gacelb, J.N. ve Schmit, F., (2000). "Finite element modeling of clinch forming with automatic remeshing", Computers and Structures, 77: 185-200.
- [15] Gerstmann, T. ve Awiszus, B., (2014). "Recent developments in flat-clinching", Computational Materials Science, 81: 39–44.
- [16] Varis, J.P. ve Lepisto, J., (2003). "A simple testing-based procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching parameters", Thin-Walled Structures, 41: 691–709.
- [17] Coppieters, S., Lava, P., Baes, S., Sol, H., VanHoutte, P. ve Debruyne, D., (2012). "Analytical method to predict the pull-out strength of clinched connections", Thin-Walled Structures, 52: 42–52.
- [18] Breda, A., Coppieters, S. ve Debruyne, D., (2017). "Equivalent modelling strategy for a clinched joint using a simple calibration method", Thin-Walled Structures, 113: 1–12.
- [19] Lambiase, F., (2015). "Mechanical behaviour of polymer–metal hybrid joints produced by clinching using different tools", Materials and Design, 87: 606–618.

SAC HAMMADDE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

A-1 D-Serisi Sac Hammadde Mekanik Özellikleri [11]

Mekanik Özellikler

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	Garanti Süreleri ⁽¹⁾		R _L R _{L02} /R _{Lk} N/mm ² (kg/mm ²)	R _m ⁽²⁾ N/mm ² (kg/mm ²)	A ₅₀ ⁽³⁾ (%)	r ₉₀ min.	r ₉₀ min.
			Mekanik Değerler	Akma İz ⁽⁴⁾ Oluşmaması					
EN 10346	DX51D+Z	1311	1 ay	-	-	270-500 (27.6-51.0)	22	-	-
EN 10346	DX52D+Z	1312	1 ay	-	140-300 ⁽⁵⁾ (14.3-30.6)	270-420 (27.6-42.8)	26	-	-
EN 10346	DX53D+Z	1313	1 ay	-	140-260 (14.3-26.5)	270-380 (27.6-38.7)	30	-	-
EN 10346	DX53D+Z	1303	1 ay	-	140-260 (14.3-26.5)	270-380 (27.6-38.7)	30	-	-
EN 10346	DX54D+Z	1314	6 ay	6 ay	120-220 (12.2-22.4)	260-350 (26.5-35.7)	36	1.6 ⁽⁶⁾	0.18
EN 10346	DX54D+Z	1304	6 ay	6 ay	120-220 (12.2-22.4)	260-350 (26.5-35.7)	36	1.6 ⁽⁶⁾	0.18
EN 10346	DX56D+Z	1315	6 ay	6 ay	120-180 (12.2-18.4)	260-350 (26.5-35.7)	39	1.9 ⁽⁶⁾	0.21

Açıklamalar

- 1) Çekme testi değerleri "enine" test numunelerine uygulanır.
- 2) "Min. % uzama" değerleri, kaplama dahil 0.50 mm < t ≤ 0.70 mm kalınlık aralığında olan ürünler için 2 birim, 0.35 mm < t ≤ 0.50 mm kalınlık aralığında olan ürünler için 4 birim, t ≤ 0.35 mm olanlar için 7 birim azaltılır.
- 3) Garanti süresi, B ve C yüzey kalitesi istenen ürünlere uygulanır.
- 4) Kalınlığı 1.50 < t < 2.0 mm olan ürünler için r90 değeri 0.2 birim, t ≥ 2.0 olanlar için 0.4 birim azaltılır.
- 5) Tabloda belirtilen mekanik değerler, malzemenin üretildiği ve sevke hazır olduğu bildirildiği tarihte başlar.
- 6) Tabloda belirtilen garanti süreleri, malzemenin üretildiği ve sevke hazır olduğu bildirildiği tarihte başlar.

A-2 H-Serisi Sac Hammadde Mekanik Özellikleri [11]

Mekanik Özellikler⁽³⁾

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	R _L N/mm ² (kg/mm ²)	R _m ⁽²⁾ N/mm ² (kg/mm ²)	A ₅₀ ⁽³⁾ (%)
EN 10346	HX 260LAD+Z	1626	260-330 (26.6-33.6)	350-430 (35.7-43.8)	26
EN 10346	HX 300LAD+Z	1630	300-380 (30.6-38.7)	380-480 (38.7-48.9)	23
EN 10346	HX 340LAD+Z	1634	340-420 (34.7-42.8)	410-510 (41.8-52.0)	21
EN 10346	HX 380LAD+Z	1638	380-480 (38.8-48.9)	440-560 (44.8-57.1)	19
EN 10346	HX 420LAD+Z	1642	420-520 (42.9-53.0)	470-590 (48.0-60.1)	17

Açıklamalar

- 1) Çekme testi değerleri "enine" test numunelerine uygulanır.
- 2) "Min. % uzama" değeri t ≤ 0.35 mm kalınlık aralığı için 7 birim, 0.35 mm < t ≤ 0.50 mm kalınlık aralığı için 4 birim, 0.50 mm < t ≤ 0.70 mm kalınlık aralığı için 2 birim azaltılır.
- 3) Tabloda belirtilen mekanik değerler, malzemenin üretildiği ve sevke hazır olduğu tarihten başlamak üzere 6 ay için garanti edilir.

A-3 AISI430 Paslanmaz Sac Hammadde Kimyasal ve Mekanik Özellikleri [12]

ASTM Standardı	430
EN Standardı	1.4016
UNS Standardı	S43000
Sınıfı	Feritik
Ürün Türleri	Sıcak ve soğuk haddelenmiş sac, şerit, levha, çubuk vb

Kimyasal Bileşim	C	Cr	Ni	
En çok	0.08	18	-	
En az		16	-	

Fiziksel Özellikler	
Elastiklik Modülü (GPa)	220
Özgül Ağırlık (gr/cm³)	7,7
Isıl Genleşme Katsayısı (1/K)	10
Elektrik Direnci (Ωmm²/m)	0,60
Özgül Isı (J/kg.K)	460
Isı İletkenliği (W/m.K)	25
Manyetiklik	Var

Mekanik Özellikler					
		%0.2 Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (Brinell)
	Tavlama Durumunda	en az 210	430 - 600	> 20	150 - 190
Yüksek Sıcaklık Özellikleri					
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400	500
Elastiklik Modülü (GPa)	216	212	206	197	
%0.2 Akma Dayanımı (MPa)	220	210	200	190	110
Isıl Genleşme Kat. (1/K)	10	10	10,5	10,5	11

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Volkan ÇERKEZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.06.1983 / İzmit
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : volkancerkez@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makina Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2007
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2006
Lise	Fen Bilimleri	Namık Kemal Lisesi	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2018-...	Arçelik A.Ş. Çamaşır Kurutma İşl.	Üretim Takım Lideri
2014-2018	Arçelik A.Ş. Çamaşır Kurutma İşl.	Kıdemli Uzman - Ar-Ge
2011-2014	Arçelik A.Ş. Çamaşır Kurutma İşl.	Uzman - Ar-Ge
2010-2011	Arçelik A.Ş. Çamaşır Kurutma İşl.	Mühendis - Ar-Ge

2008-2010	Arçelik A.Ş. Çamaşır Kurutma İşl.	Mühendis - Üretim
2007	Canovate A.Ş.	Mühendis - Ar-Ge
2006	Çemsan A.Ş.	Stajyer - Üretim
2005	Toyota Motor Manufacturing Turkey	Stajyer - Üretim
2004	Pirelli Türk	Stajyer – Üretim

YAYINLAR

Bildiriler

1. Çerkez V., Bayraktar M., Demir C., “Clinching strengths of different sheet metals that clinched with same tools at same press parameters”, 1st International Symposium on Graduate Research in Science Focus on Entrepreneurship and Innovation (ISGRS 2018) October 4-6, 2018, İstanbul

Patentler

1. Cerkez V., Kaytaz A., Sengun I., Tekes Y., Sar C., 2017. A washer / dryer wherein air and water tightness is provided between the tub and the drum (searched), Patent numarası : WO2017211719A1.
2. Cerkez V., Muhiddin O., Bedir E., Ertas F.B., Selcuk C., 2017. A household appliance comprising a transparent knob, Patent numarası : WO2017134222A1.
3. Cerkez V., Metin A., Balaban A., Dogan M., 2017. Hinge assembly for use in a laundry treatment appliance, Patent numarası : WO2017133782A1.
4. Dogan M., Ertas F.B., Acil A., Cerkez V., Barbaroz B., 2017. Display assembly for household appliance, Patent numarası : WO2017020961A1.
5. Cerkez V., Acil A., Dogan M., Muhiddin O., Tuna M., 2016. Stacking kit for two laundry treatment appliances, Patent numarası : WO2016155801A1.
6. Dogan M., Cerkez V., Can R., Metin A., Duran F., 2016. Household appliance with an improved top cover assembling, Patent numarası : WO2016134757A1.

7. Muhiddin O., Gulbay U., Acil A., Cerkez V., 2016. Laundry dryer for use with a drying rack, Patent numarası : WO2016119871A1.
8. Dogan M., Cerkez V., Muhiddin O., Cengiz M., 2016. Electronic card frame retaining a household appliance electronic card, Patent numarası : WO2016119844A1.
9. Cerkez V., Bulut B., Bulut L., Guvercin B., 2016. Laundry drying machine with a condensate water receptacle, Patent numarası : WO2016086966A1.
10. Muhiddin O., Cerkez V., Gulbay U., Dogan M., Metin A., 2016. Foldable drying rack and laundry dryer having the same, Patent numarası : WO2016070896A1.
11. Cerkez V., Sar C., Gulbay U., Ozdemir U., 2017. Household appliance having a fan with a protective air passage device, Patent numarası : EP3111095A1.
12. Cerkez V., Gulbay U., 2016. Combined cable connector and channel assembly, Patent numarası : EP3074561A1.

ÖDÜLLER

1. Arçelik patent ödülleri (2014-2015-2016-2017)
2. Yaratıcı yenilikçiler kategorisinde, Sirius (ısı pompalı kurutucu) projesi ile en başarılı koç'lu ödülü (2012)
3. Grundig ürün stiwa test sieger teşekkür ödülü
4. Başarımızı büyütenler ödülü - Yaratıcı ve yenilikçiler kategorisi - Blackbox smaller projesi
5. Başarımızı büyütenler ödülü - Çevreye ve topluma değer katanlar kategorisi - Ares ve sirius üründe kaynak tüketiminin azaltılması
6. Başarımızı büyütenler ödülü - Yaratıcı ve yenilikçiler kategorisi - B13 better görünüş projesi
7. Başarımızı büyütenler ödülü - Müşteri mutluluğu yaratanlar kategorisi - Hibrit kurutma makinesi projesi
8. Başarımızı büyütenler ödülü - Fark yaratanlar kategorisi - Amerika ısı pompalı kurutma makinası projesi