

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLI OTOMOBİL
JANTLARINDA DENEYSEL DARBE TESTLERİNİN
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE
DOĞRULANMASI**

Emrah AYRAN

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut PEKEDİS

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2019

Emrah AYRAN tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantlarında Deneysel Darbe Testlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Doğrulanması” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş vetarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı :

Raportör Üye :

Üye :

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantlarında Deneysel Darbe Testlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Doğrulanması” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

.... / / 20..

İmzası

Adı-Soyadı

ÖZET**ALÜMİNYUM ALAŞIMLI OTOMOBİL JANTLARINDA
DENEYSEL DARBE TESTLERİNİN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE DOĞRULANMASI**

AYRAN, Emrah

Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut PEKEDİS

Temmuz 2019, 56 sayfa

Binek araçlar için üretilen alüminyum alaşımlı jantlar üretim sürecinde bazı performans testlerine tabi tutulmaktadır. Jant bir emniyet parçası olduğu için, bu testler hem tedarikçi hem de müşteri kanadında büyük önem arz etmektedir.

Tasarım sürecinde, optimum tasarımın yapılabilmesi için simülasyonlar ile tasarım desteklenmektedir. Bu simülasyonlardan alınacak doğru sonuçlar, tasarım sürecini hızlandırmak ile birlikte jantta imalattan sonra farkedilebilecek tasarım hatasının da tespit edilmesini kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada alüminyum alaşımlı jant hakkında genel bilgiler verilerek imalat sürecinden bahsedilmiştir. Bununla birlikte janta uygulanan testlerden bahsedilmiştir. Özellikle darbe testi üzerinde durularak, simülasyon ile doğrulanması ve malzeme modelinin geliştirilmesi ve detaylandırılması üzerinde çalışılmıştır. Çekme testlerinden elde edilen veriler analiz edilmiş, Johnson-Cook malzeme modelinde şekil değişim hızı (strain rate) etkisi incelenmiş ve simülasyon sonuçlarına olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, şekil değişim hızının nümerik sonuçları değiştirdiği ve daha gerçekçi simülasyonlar elde edilmesi için bunun bünyesel malzeme modeline katılması gerektiği çıkarımı yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: Alüminyum alaşımlı jant, sonlu elemanlar yöntemi, şekil değişim hızı, strain rate, Johnson-Cook malzeme modeli, darbe testi.

ABSTRACT**VALIDATION OF EXPERIMENTAL IMPACT TESTS ON
ALUMINUM ALLOY CAR WHEELS USING THE FINITE
ELEMENT METHOD**

AYRAN, Emrah

MSc in Mechanical Eng.

Supervisor: Dr. Mahmut PEKEDİS

July 2019, 56 pages

Aluminum alloy wheels for passenger cars are subjected to some performance tests in the production process. These tests are so important for the supplier and the customer because of the wheel is a safety part of a car.

In the design process, the design is supported by simulations to ensure optimum design. Accurate results from these simulations allow to accelerate the design process and make it easier to detect the design error that may be noticed on the wheel after manufacture.

In this study, fundamental procedures about aluminum alloy wheel is given and manufacturing process is mentioned. Moreover, the tests applied to the wheels are mentioned. It is mostly here is focused on physical impacts tests and their numerical validation by governing a proper constitutive material model. The data obtained from tensile tests are analyzed, strain rate effect is investigated in Johnson-Cook material model and its effects on simulation results are examined. As a result, it is concluded that the strain rate affects the numerical data which shows that it should be included in constitutive material model to obtain more realistic simulations.

Keywords: Aluminum alloy wheels, finite element method, strain rate, Johnson-Cook material model, impact test

ÖNSÖZ

Bu çalışmaya başlamadan önce sonlu elemanlar analizi ile ilgili bir tez yazmak istiyordum. Danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mahmut PEKEDİS'in de yönlendirmesiyle darbe testi simülasyonu ve şekil değişim hızının (strain rate) etkisinin incelenmesiyle ilgili çalışmaya karar verdim. Çalıştığım şirkette daha önce böyle bir çalışma yapılmamıştı ve bu çalışma beni heyecanlandırmıştı.

Bu doğrultuda bir çok test ve simülasyon yaparak çalışmayı tamamlamayı ve doğru sonuçları elde edebilmeyi hedefledim.

İZMİR

.../.../20..

Emrah AYRAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
TABLolar DİZİNİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Alüminyum Alaşımli Jant.....	2
1.2. Jantın Yapısı	3
2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTIN ÜRETİM SÜRECİ	5
2.1. Döküm	5
2.1.1. Alçak Basınçlı Döküm.....	6
2.2. Talaşlı İmalat	10

İÇİNDEKİLER (devam)

2.3. Boyahane.....	12
3. ÜRÜN DOĞRULAMA VE TESTLER.....	14
3.1. Malzeme Testleri.....	14
3.1.1. Kimyasal analiz.....	14
3.1.2. Sertlik testi	14
3.1.3. Mikro yapı analizi	16
3.1.4. Çekme testi.....	17
3.2. Performans Testleri	19
3.2.1. Darbe testi	19
3.2.2. Köşe yorulma testi	23
3.2.3. Radyal yorulma testi	24
3.3. Boya Testleri	26
3.3.1. Korozyon Testi.....	26
4. DARBE TESTİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELENMESİ	28
4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	28
4.2. Malzemenin Belirlenmesi	29
4.2.1. Birim şekil değiştirme hızının etkisi	30
4.2.2. Deneysel veriler ve çekme testi simülasyonu	31

İÇİNDEKİLER (devam)

4.2.3. Darbe testi simülasyonu.....	44
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	47
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	53
TEŞEKKÜR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56



ŞEKİLLER DİZİNİSayfa

Şekil 1.1.Alüminyum jant görseli	1
Şekil 1.2. Jant ve lastik ölçüleri gösterimi	2
Şekil 1.3.Farklı tasarımlarda alüminyum alaşımlı jantlar	3
Şekil 1.4. Bir jantın genel yapısı	3
Şekil 1.5. Bir jantın bölge ve ölçü tanımlamaları	4
Şekil 2.1.Alüminyum alaşımlı jant imalat süreci	5
Şekil 2.2.Ergimiş metalin bekletme ocaklarına transferi	6
Şekil 2.3.Alçak basınçlı döküm yöntemi şeması	7
Şekil 2.4.Alçak basınçlı döküm tezgahı görseli	8
Şekil 2.5. Bir jantın X-Ray kontrol görüntüsü	8
Şekil 2.6. Brüt (Dökülmüş) jant ön görüntüsü	9
Şekil 2.7 Brüt (Dökülmüş) jant arka görüntüsü	9
Şekil 2.8. İşlenmiş jant ön görüntüsü	11
Şekil 2.9. İşlenmiş jant arka görüntüsü	11
Şekil 2.10.Askılara asılmış jant görüntüsü.....	12
Şekil 2.11. Boyanmış ve ön yüzey işlenmiş jant görüntüsü.....	13

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

Şekil 3. 1. Sertlik ölçüm yöntemi şeması	15
Şekil 3.2. Sertlik test cihazı	15
Şekil 3.3. Mikroyapı inceleme mikroskopları	16
Şekil 3.4. Çekme çubuğu teknik resmi	17
Şekil 3. 5. Çekme testi sonucunda kırılan numune.....	18
Şekil 3.6. Çekme testi cihazı	18
Şekil 3.7. Örnek çekme testi sonuç grafiği	19
Şekil 3.8. Darbe testine ilişkin jant montaj bölgesi şeması	20
Şekil 3 9. Darbe test cihazı şematik gösterimi.....	21
Şekil 3.10. Darbe test cihazı	22
Şekil 3.11. Tamamlanmış bir darbe testi	22
Şekil 3.12. Köşe yorulma test cihazı şematik gösterimi.....	23
Şekil 3.13. Köşe yorulma test cihazı	24
Şekil 3.14. Radyal yorulma test makinası şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.15. Radyal test makinası.....	25
Şekil 3.16. Korozyon test cihazı	27
Şekil 4.1. Sonlu elemanlarda ağ yapısı gösterimi.....	28
Şekil 4.2. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman tipleri	29

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

Şekil 4.3.Şekil değişim hızına bağlı olarak birim şekil değiştirme ve gerilmenin değişimi.....	30
Şekil 4.4. Farklı test tiplerinde kullanılan şekil değiştirme hızları	30
Şekil 4.5. Farklı çekme hızlarında yapılan testlerin kopma gerilmesi dağılımları	33
Şekil 4.6. Farklı çekme hızlarında 3 numune ile yapılan çekme testlerinin kopma gerilmesi sonuçları	33
Şekil 4.7. Farklı çekme hızlarında yapılan testlerin akma gerilmesi dağılımları...	34
Şekil 4.8. Farklı çekme hızlarında 3 numune ile yapılan çekme testlerinin akma gerilmesi sonuçları	35
Şekil 4. 9.Farklı çekme hızlarında oluşturulmuş gerilme-şekil değişimi grafiği ...	35
Şekil 4.10. Eğri uydurma tekniğiyle elde edilen Johnson-Cook malzeme eğrisi ile deneysel ölçümlerin uyumu – 1 mm/dk (Turuncu: Johnson-Cook, Mavi: Deneysel Ölçüm)	38
Şekil 4. 11. Çekme testi simülasyonunda uygulanan sınır koşulları.....	39
Şekil 4.12. Çekme testi simülasyonundan elde edilmiş zamana bağlı gerilme eğrisi	40
Şekil 4.13. Çekme testi simülasyonundan elde edilmiş zamana bağlı plastik şekil değişimi eğrisi	41
Şekil 4.14. Deneysel veriler ile simülasyon verilerinin birlikte gösterimi.....	42
Şekil 4.15. Şekil değişim hızı etkisi göz önünde bulundurularak yerleştirilen eğri – 10 mm/dk	42
Şekil 4.16. 1 mm/dk hız ve şekil değişim hızı etkisiyle yapılmış simülasyon sonuçları	44

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

Şekil 4.17. Darbe testi simülasyon modeli parça görüntüsü.....	45
Şekil 4.18. Jant modelinin ağ örülmüş komple görüntüsü.....	45
Şekil 4.19.Darbe testi simülasyonu modeli	46
Şekil 5.1 Şekil değişim hızı etkisi göz ardı edilmiş darbe testi simülasyonu (ön görüntü)	47
Şekil 5.2 Şekil değişim hızı etkisi göz ardı edilmiş darbe testi simülasyonu (izometrik görüntü)	48
Şekil 5.3. Şekil değişim hızı etkisi göz ardı edilmiş darbe testi simülasyonu (arka görüntü)	48
Şekil 5.4. Gerçek darbe testi sonucu ön görüntüsü.....	49
Şekil 5.5.Gerçek darbe testi sonucu arka görüntüsü.....	49
Şekil 5.6. Şekil değişim hızı etkisi tanımlanmış darbe testi simülasyonu ön görüntü	50
Şekil 5.7. Şekil değişim hızı etkisi tanımlanmış darbe testi simülasyonu izometrik görüntü	50
Şekil 5.8. Yüksek ağırlık ile yapılan gerçek darbe testi sonucu ön görüntü	51
Şekil 5.9. Yüksek ağırlık ile yapılan gerçek darbe testi sonucu arka görüntü	52

TABLolar DİZİNİ**Sayfa**

Tablo 1.1. A356 alaşım kimyasal kompozisyonu tablosu	2
Tablo 3.1. AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları element oranları	14
Tablo 3.2. AlSi7Mg T6, lSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları sertlik değerleri	16
Tablo 4.1. Farklı çekme hızlarında yapılan testler ve sonuçlar tablosu	32
Tablo 4.2. 1 mm/dk çekme hızıyla yapılmış çekme testi sonuçları	36
Tablo 4.3. Eğri uydurmada kullanılan değerlerin bir kısmının tablo gösterimi – 1mm/dk	37
Tablo 4.4. Johnson-Cook malzeme modelinde hesaplanan parametreler	38
Tablo 4.5. Johnson-Cook hasar modeli yardımı ile hesaplanan katsayılar	39
Tablo 4.6 Şekil değişim hızı etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanan malzeme modeli katsayıları	43
Tablo 4.7 Şekil değişim hızı etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanan hasar modeli katsayıları	43
Tablo 4.8. 10 mm/dk çekme hızıyla yapılmış çekme testi sonuçları	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
HB	Brinell Sertlik
S	Güvenlik faktörü
r_{dyn}	Lastiğin dinamik yarıçapı
ε_f	Plastik şekil değişimi
$\sigma_{gerçek}$	Gerçek gerilme
$\varepsilon_{gerçek}$	Gerçek birim şekil değişimi
$\sigma_{mühendislik}$	Mühendislik gerilmesi
$\varepsilon_{mühendislik}$	Mühendislik şekil değişimi
<u>Kısaltmalar</u>	
AB	Alçak basınç
MPa	Mega Pascal
Pa	Pascal
mm	milimetre

1.GİRİŞ

Jant, halk arasında her ne kadar görselliğin ön planda tutulduğu bir parça olarak yorumlansa da, aslında bu görselliğinin yanında araçtaki en önemli emniyet parçalarından birisidir. Otomotiv endüstrisindeki en önemli konulardan birisi yakıt tüketimini azaltma çalışmalarıdır. Yakıt tüketimini azaltmak için de araçlarda daha hafif malzemeler kullanılmaya başlanmış ve ağırlık azaltma çalışmaları üzerine yoğunlaşmıştır. Ağırlığın azaltılmasının yanında güvenlikten de ödün verilmemesi gerektiğinden, otomotiv endüstrisi düşük yoğunluklu ve yüksek mukavemetli malzemelere yönelmiştir. Alüminyum alaşımlarının hafif ve yüksek mukavemetli olmasının yanında farklı özelliklerinin de olması bu alaşımın jant endüstrisinde kullanılması birçok avantajı da beraberinde getirmiştir. Alüminyum alaşımlı jantların, işlenebilirliğinin yüksek olması, geri dönüştürülebilir olması, maliyeti gibi avantajları otomotiv sektöründe kullanım oranını yıldan yıla arttırmıştır.

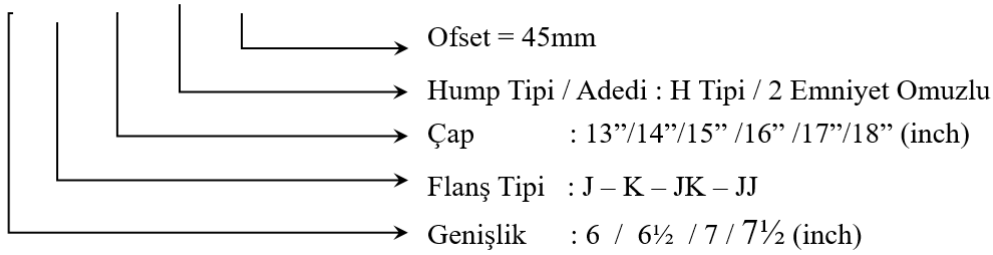
Jant; lastik ile aks sistemi arasında bulunan ve araç ile zemin arasındaki yük aktarımına aracı olan bir emniyet parçasıdır. Jantın ağırlığı, tasarımı, ölçüleri aracın sürüş performansını doğrudan etkilemektedir. Jant, araç üzerinde hem görselliğe ciddi etki eden hem de bir emniyet parçası olan tek parçadır. Dolayısıyla, alçak basınçlı döküm yöntemiyle, görsel olarak son kullanıcıyı tatmin edebilecek ve sürüş güvenliğini sağlayabilecek alüminyum jantlar üretilmektedir. Şekil 1.1’de alüminyum jant gösterilmiştir.



Şekil 1.1.Alüminyum jant görseli

Yeni bir jant tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken bazı noktalar vardır. Öncelikle jantın, müşteri tarafından belirlenen araç yükünü karşılayabilecek mukavemete sahip olması gerekmektedir. Dayanıklılığın yanı sıra hafiflik de çok önemli bir koşuldur. Bu nedenle jantın yük taşımayan bölgelerine ağırlığı azaltmak için çeşitli boşaltmalar da tasarlanabilmektedir. Tüm bunların yanında jant, birlikte araca monte edilecek diğer parçalarla (bijon, porya, lastik vb.) da uyumlu olması gerekmektedir. Bu uyumluluklar Avrupa Lastik ve Jant Teknik Organizasyon'u (ETRTO) tarafından belirlenmiş ve standartlaştırılmıştır. Bir jant tasarlanırken ETRTO standartlarına uygun olarak tasarlanmalıdır. Şekil 1.2'de jant ve lastik ölçülerinin anlamları gösterilmektedir.

6 ½ J x 16" H 2 ET45



Şekil 1.2. Jant ve lastik ölçüleri gösterimi

1.1. Alüminyum Alaşım Jant

Alüminyum alaşım jantlar, hafif ve mukavim olmaları, yüksek toklukları ve yüksek yorulma dirençleri dolayısıyla günümüzde en fazla tercih edilen jant çeşididir. Alüminyum alaşım jantların üretiminde genellikle alçak basınçlı döküm yöntemi kullanılır. Alaşım olarak A356 alaşımı kullanılır ve ısıl işlem olarak da T6 ısıl işlemi uygulanır. Tablo 1.1'de A356 alaşımı kimyasal kompozisyonu gösterilmiştir.

Tablo 1.1. A356 alaşım kimyasal kompozisyonu tablosu

Alaşım	%Si	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Ni	%Zn	%Ti
A356	7,00	-	-	0,35	-	-	-	-

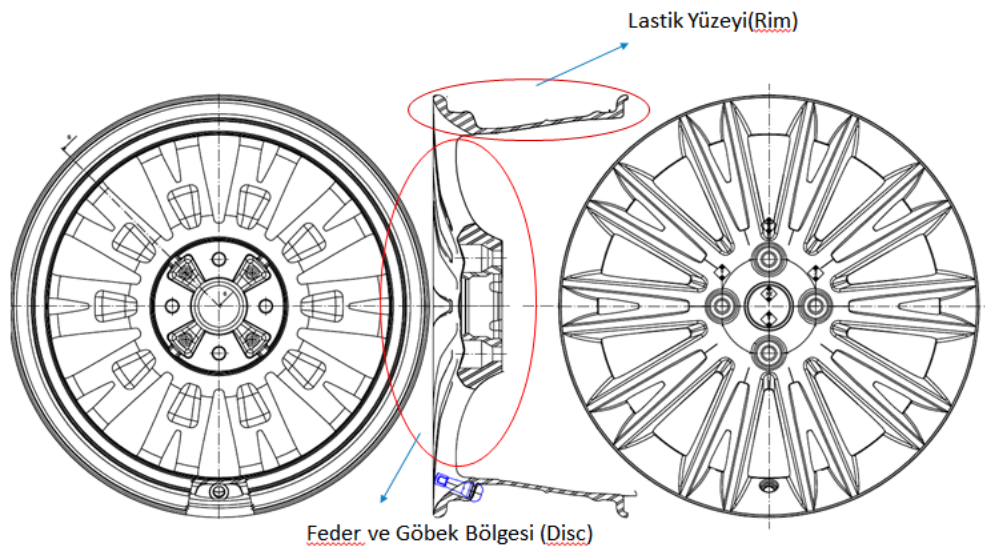
Alüminyum alaşım jantlar mekanik özelliklerinin yanı sıra görsel olarak da farklı tasarımlara uygundur. Üretim yönteminin avantajlarından dolayı görsel olarak çok farklı tasarımlar üretilebilir olmaktadır. Şekil 1.3'de farklı stil yüzeyi tasarımlarına sahip, alüminyum alaşım jantlar gösterilmektedir.



Şekil 1.3.Farklı tasarımlarda alüminyum alaşmalı jantlar

1.2. Jantın Yapısı

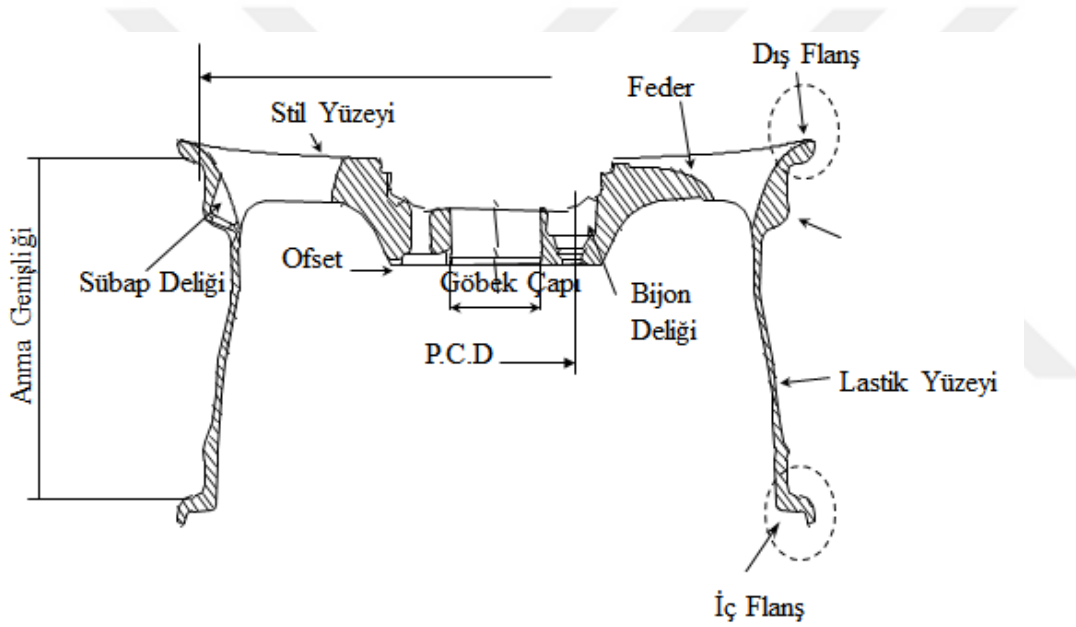
Alüminyum jantların yapısı genel olarak 2 ana bölgeden oluşur. Bunlar lastik yüzeyi ve stil yüzeyidir. Stil yüzeyinde alta gösterildiği gibi jantın ön taraftan görünen yüzeyleridir. Lastik yüzeyi bölgesi ise janta lastik montajının yapıldığı bölgeyi kapsar. Stil yüzeyinin lastik yüzeyi ile birleştiği her kol, feder olarak ve aradaki her boşluk feder arası veya pencere olarak adlandırılır. Şekil 1.4’de bir jantın genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Bir jantın genel yapısı

Feder bölgesinin ön kısmı stil yüzeyidir, arka bölgesine ağırlık azaltmak ve gerilme yığılmalarını azaltmak için boşaltmalar eklenir. Janta lastiğin oturduğu bölgeler, ön ve arka flanş olarak adlandırılır. Jantın içinde kalan kısım dış lastik yüzeyi, içinde kalan kısım ise iç lastik yüzeyi olarak adlandırılır.

Bijon delikleri jantın göbek bölgesinde bulunur. Bu bijon deliklerinin merkezlerinden geçen hayali bir çember taksimat dairesini oluşturur. Bu çemberin çapına PCD çapı adı verilir. Jantın, araçta porya adı verilen parçaya monte edildiği bölge, montaj yüzeyi olarak adlandırılır. Montaj yüzeyinde yağmurda dolan suyun tahliye edilmesini sağlayan yağmur kanalları bulunur. Bu bölgeye, ağırlık azaltmak için simetrik bir şekilde boşaltmalar da eklenir. Şekil 1.5’de jantın bölge ve ölçü tanımlamaları gösterilmiştir.

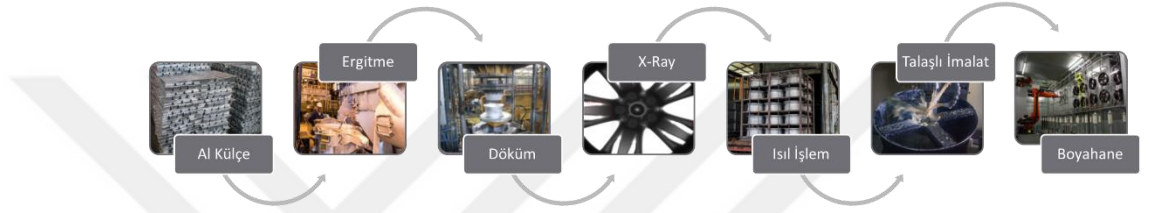


Şekil 1.5. Bir jantın bölge ve ölçü tanımlamaları

Jantın göbek bölgesinde stil yüzeyi tarafında, kapak montajının yapıldığı kapak bölgesi vardır. Jantın lastik yüzeyinin ortasından geçen hayali bir eksen ile jantın montaj yüzeyi arasındaki dik mesafe, ofset ölçüsü olarak adlandırılır. Bu ölçü jantın montajı yapıldıktan sonra çamurluk bölgesinde içte veya dışta kalmasını etkileyen kritik bir ölçüdür.

2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTIN ÜRETİM SÜRECİ

Alüminyum alaşımlı jantların üretimi, genel olarak üç ana proses ile tamamlanır. Bunlar döküm, talaşlı imalat ve boyahane prosesidir. Bu üç ana prosesden en önemlisi de döküm prosesidir. Çünkü dökümdeki hatalar ilerleyen proseslerde karşımıza çıkar. Döküm ne kadar iyi olursa daha sonraki proseslerde jantta hata çıkma riski o kadar azdır. Bu ana proseslerin yanında, ana proseslerde ürün kalitesini arttırmak ve üretim kalitesini kontrol etmek için ara süreçler de mevcuttur. Bu süreçler Şekil 2.1’de belirtilmiştir ve proses başlıklarında detaylandırılacaktır.



Şekil 2.1. Alüminyum alaşımlı jant imalat süreci

2.1. Döküm

Alüminyum jant imalat sürecinde farklı döküm ve imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Bu farklı imalat yöntemlerinin de farklı maliyet ve kalite özellikleri vardır. Farklı süreçlerden alınan çıktıların da mutlaka birbiri arasında farkları oluşacaktır. Jantın üretim amacı, üretim adedi, döküm kalitesi ve döküm sonrası uygulanacak işlemler gibi farklı faktörler göz önünde bulundurularak, hangi döküm yönteminin kullanılacağına karar verilir.

Alüminyum jant üretiminde kullanılan genel döküm yöntemleri şunlardır:

- Alçak Basıncılı Döküm
- Sıkma-Sıkıştırma Döküm
- Gravite Döküm

2.1.1. Alçak Basıncı Döküm

Jant üretiminde her ne kadar farklı üretim yöntemleri olsa da bunlardan en yaygın olarak kullanılanı alçak basınçlı döküm yöntemidir. Alçak basınçlı döküm yöntemini diğer metotların önüne çıkaran en önemli özelliklerinden birisi dökümün kalitesidir. Alçak basınçlı döküm metodu kalıp maliyetleri açısından diğer döküm yöntemlerinden daha maliyetli olsa da ürün kalitesi ve hafif tasarımların sağlam üretilirliği açısından avantajlıdır. Kalıp maliyetinin yüksek olması sebebiyle daha çok seri üretime uygundur.

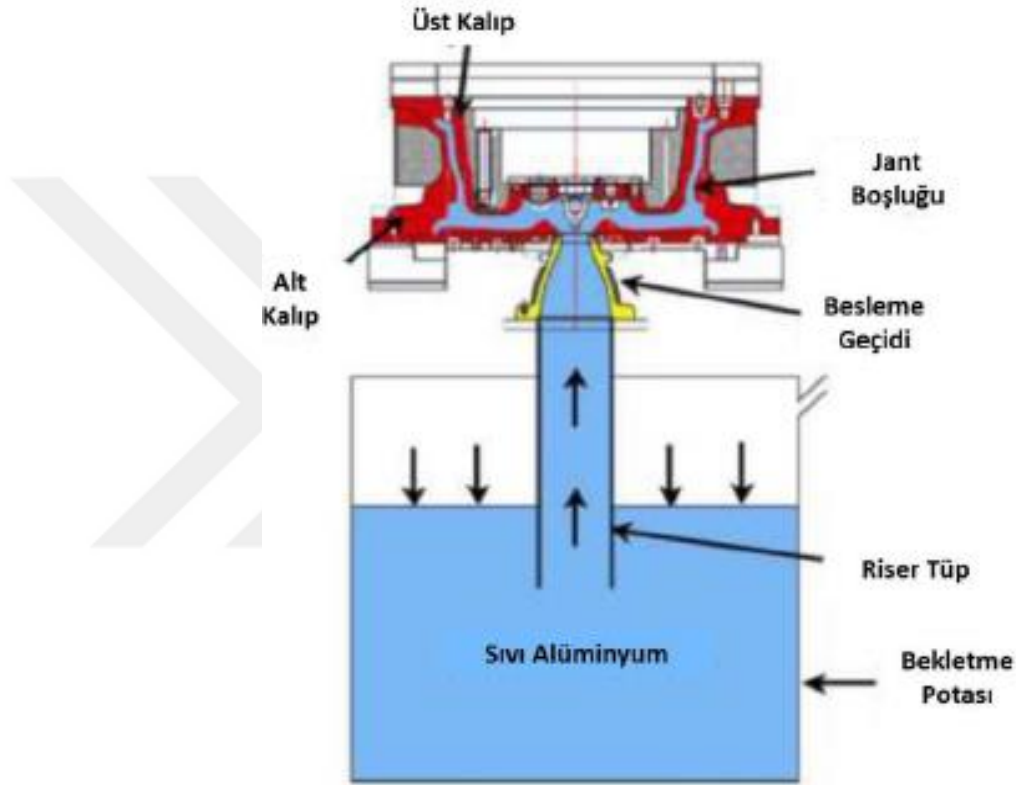
Alçak basınçlı döküm yöntemi, genel olarak ergimiş metalin, metal kalıp içerisine pompalandığı döküm olarak tanımlanabilir.

Döküm işleminden önce ergitme operasyonu gerçekleşmektedir. Ergitme işlemi için, elektrikli ergitme ocakları kullanılır. Alüminyum alaşım külçeleri ocaklarda ergitildikten sonra alaşımlandırma ve gaz giderme işlemleri yapılır. Bu işlemlerin yapılmasındaki amaç ergimiş metali istenilen temizlik ve kaliteye ulaştırmaktır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra ergimiş metal pota yardımı ile bekletme ocaklarına transfer edilir. Şekil 2.2’de ergimiş metalin bekletme ocaklarına transferi gösterilmektedir.



Şekil 2.2.Ergimiş metalin bekletme ocaklarına transferi

Alçak basınçlı döküm yönteminde, kalıbın altında bulunan bekletme ocağına basınç uygulanarak yükseltici tüp ve yolluk yardımı ile ergimiş metalin kalıba dolması sağlanır. Burada kullanılan yükseltici tüp sayesinde alçak basınçlı döküm yönteminin en önemli avantajlarından biri olan, temiz metalin kalıba dolması gerçekleşmektedir. Bu yöntemde kullanılan kalıp alt maça, üst maça ve yan maçalardan oluşmaktadır. Şekil 2.3’de alçak basınçlı döküm yönteminin şeması gösterilmiştir. Ergimiş metalin kalıba dolumu gerçekleştikten sonra kalıp homojen bir şekilde soğutularak katılaşma gerçekleştirilir.



Şekil 2.3. Alçak basınçlı döküm yöntemi şeması

Döküm işlemi bittikten sonra alt maça sabit kalacak şekilde yan maçalar pistonlar yardımı ile ayrılır. Üst maça da jant ile birlikte yukarı kalkar ve iticiler yardımı ile jant, üst maçadan ayrılıp, jant tutma tablasına düşer. Bu aşamadan sonra jant, bir robot yardımı ile soğutma havuzuna sokulur. Döküm sonrası 350-400 C olan jant sıcaklığı 60-70 C ‘ye kadar iner. Bu işlemin amacı jantı soğutmak ile birlikte, sertliğini arttırarak, hatta meydana gelebilecek olası deformasyonların oluşmasını engellemektir. Şekil 2.4’de alçak basınçlı döküm tezgahı ve jantın iticiler yardımı ile jant tutma tablasına düşmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Alçak basınçlı döküm tezgahı görseli

Dökümden sonra, zımbalama (punch) operasyonu uygulanır. Bu operasyondaki amaç, jantın göbek bölgesinde havuç olarak adlandırılan, yolluktan gelen ve metal filtrenin olduğu kısmın janttan basit bir operasyon ile ayrılmasıdır. Bu işlemden sonra jantlar X-Ray kontrolüne tabi tutulurlar. X-Ray kontrolü müşteri tarafından istenen ve kriterleri müşteri şartnamelerinde tanımlanan bir güvenlik karakteristiğidir. Şekil 2.5.'de bir jantın X-Ray kontrolü sırasındaki görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Bir jantın X-Ray kontrol görüntüsü

X-Ray kontrolünde dökülmüş jantta oluşan hataların yakalanması ve jantların fireye ayrılması amaçlanmıştır. Bu kontrolde döküm boşluğu, çekinti, porozite gibi hatalar yakalanabilir.

X-Ray ve zımbalama operasyonlarından sonra ortaya çıkan jantın, ön ve arka görüntüleri sırasıyla Şekil 2.6'da ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Brüt (Dökülmüş) jant ön görüntüsü



Şekil 2.7 Brüt (Dökülmüş) jant arka görüntüsü

X-Ray kontrolünden sonra uygun olan jantlar, ısıl işlem operasyonuna devam eder. Eğer jant ısıl işlemsiz ise bu operasyonu atlayarak direk bir sonraki operasyona geçer. Alüminyum jantlara T6 ısıl işlemi uygulanır. Isıl işlem operasyonun amacı jantların mukavemetinin artırılmasıdır. Bu işlem genel olarak, çözelti alma, su verme ve yapay yaşlandırma olarak 3 aşamadan oluşur. Bu işlemde parçalar önce 500-550 C sıcaklıkta 4-6 saat bekletilir ve yapay yaşlandırma için su verilerek 180-200 C'de 8-12 saat bekletilir. Isıl işlemde sürecinde, yukarıda bahsedilen çözelti alma, su verme ve yapay yaşlandırma aşamalarının hepsinde uygulanan süre ve sıcaklık önemlidir. Bu parametreler doğrudan son ürün mekanik özelliklerine etki etmektedir.

2.2. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat operasyonunda dökülmüş jantlar işlenip nihai ölçülere getirilir. Sübap ve bijon delikleri delinir, feder arkası ve lastik yüzeyi profili işlenir. Jantın türüne göre de ön yüzeyi işlenir veya işlenmez. Eğer ön yüzey işlemeli bir jant ise jantın ön yüzey bölgesinden de talaş alınır.

Bu işlem jantın doğru üretilmesi için kritik bir operasyondur. Talaşlı imalat operasyonundan sonra janta herhangi bir ölçüsel müdahale yapılmaz. Jantın tüm ölçülerinin kontrol planına uygun olarak işlenmesi gerekir. Aksi halde janta monte edilecek parçalar monte veya jant araca monte edilemeyecektir.

Talaşlı imalatta uygulanan bazı ara operasyonlar ve kontroller de vardır. İşlenen jantlar %100 sızdırmazlık testine alınır. Sulu sızdırma ve helyum sızdırma olarak iki farklı sızdırmazlık testi vardır. Bu testlerde uygun olarak değerlendirilen jantlara balans ölçümü yapılır. Bu ölçümde, müşteri tarafından belirlenen ağırlıklar kullanılarak merkezden kaçıklık değeri ve bölgesi belirlenir. İstenilen değerleri karşılamayan jantlar fireye ayrılır ve uygun olan jantlar tesviye ve fırçalama operasyonuna ilerler. Bu işlemlerde, jantın üzerinde kalan işleme kaynaklı çapak ve keskin köşelerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Boya sürecinin verimli olması ve uygulanacak olan boya testlerinde uygun sonuçlar alabilmek için bu süreç kritiktir.

Talaşlı imalar operasyonlarından sonra ortaya çıkan jantın, ön ve arka görüntüleri sırasıyla Şekil 2.6'da ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Jantın kapak bölgesi, lastik iç ve dış yüzeyi, feder arkası işlenmiş ve bijon, sübap delikleri delinmiştir.



Şekil 2.8. İşlenmiş jant ön görüntüsü



Şekil 2.9. İşlenmiş jant arka görüntüsü

2.3. Boyahane

Boyahane süreci de en önemli süreçlerden biridir. Bu süreç son ürünün ortaya çıkmasını sağlayan süreçtir. Bu süreçten çıkan jant direk son kullanıcıya ulaşır ve dolayısıyla hatasız olması gerekmektedir. Boya, jant için görsel olarak önemli olduğu kadar jantın ömrü için de önemlidir. Jantın boyadan sonraki rengi ile alıcı tarafından belirlenen renk arasındaki benzerlik önemlidir. Çünkü bazen araç rengine göre jant rengi belirlenir ve iki renk arasındaki uyum önemli bir hal alır. Boya sürecinde, jantı dış etkenlerden koruyan ve korozyona uğramasını engelleyen işlemler uygulanır. Boyahane ana süreçler, yüzey hazırlığı, boya ve vernik uygulamalarından oluşmaktadır.

Yüzey hazırlığı boyadan önce uygulanan en önemli süreçlerden biridir. Bu sürecin başarılı bir şekilde uygulanması boya kalitesini doğrudan etkilemektedir. Yüzey hazırlığı sürecinin amacı, önceki süreçlerden oluşan kirlilikleri jant yüzeyinden temizleyerek, boya sürecinde olası hataları engellemektedir. Yüzey hazırlığı sırasında jant çeşitli banyolara sokularak yüzeyler temizlenir ve fırınlarda kurutularak boyaya hazır hale getirilir. Bu şekilde jantın daha iyi boyanması ve boyandıktan sonra boyanın altında kalabilecek pisliklerin ve lekelerin ortadan kaldırılması sağlanır.

Jant, askılar yardımı ile boyahaneye girer ve tüm süreç başlar. Şekil 2.10'da askılara asılmış jant görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.10.Askılara asılmış jant görüntüsü

Jant, boyanmaya hazır hale getirildikten sonra boya uygulamaları başlar. Sırasıyla toz boya, toz vernik, yağ boya ve yağ vernik uygulamaları yapılır. Toz boya uygulamasında amaç yüzeyi yağ boyaya hazırlamak ve korozyon direncini arttırmaktır. Toz boya uygulaması ile jant yüzeyi daha pürüzsüz bir hale gelir. Boya uygulandıktan sonra boyanın kürlenmesi için jantlar fırında bekletilir ve

ardından soğutularak yaş boya uygulamasına geçilir. Yaş boya uygulaması da benzer şekilde tamamlanır. Yaş vernik de uygulandıktan sonra ürün son halini alır ve kontrol noktalarına gönderilir. Şekil 2.11’de tüm süreçleri tamamlamış, sevkiyata hazır bir jant gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Boyanmış ve ön yüzey işlenmiş jant görüntüsü

Talaşlı imalat kısmında da bahsedildiği gibi bazı jantlar ön yüzey işlemelidir. Ön yüzey işlemeli jantlar görsel olarak daha güzel görünür ancak bu jantların maliyetleri daha yüksektir. Bu işlemde ekstra proses vardır ve akış standart jantlardan biraz daha farklıdır. Ön yüzey işleme, jant boyandıktan sonra ön yüzeyinde bazı bölgelerin işlenerek alttaki alüminyumun ortaya çıkarılması ve ardından sadece vernik uygulanarak daha parlak bir görüntü kazandırılmasıdır.

3. ÜRÜN DOĞRULAMA VE TESTLER

Alüminyum jantlar, üretildikten sonra kalitelerinin değerlendirilmesi için çeşitli testlere tabi tutulurlar. Uygulamalara göre bu testlerde farklılıklar görülebilmektedir. Yaygın olarak uygulanan teknikler aşağıda verilmiştir.

3.1. Malzeme Testleri

İşlenmiş ve işlenmemiş jantın malzeme özelliklerini tayin edebilmek için kontrol yöntemleri vardır. Jantın, kimyasal kompozisyonunu tayin edebilmek için kimyasal analiz, sertliğin ölçülmesi için sertlik testi, mikro yapının incelenebilmesi için mikro yapı analizi ve mekanik özelliklerinin tayini için çekme testleri uygulanır.

3.1.1. Kimyasal analiz

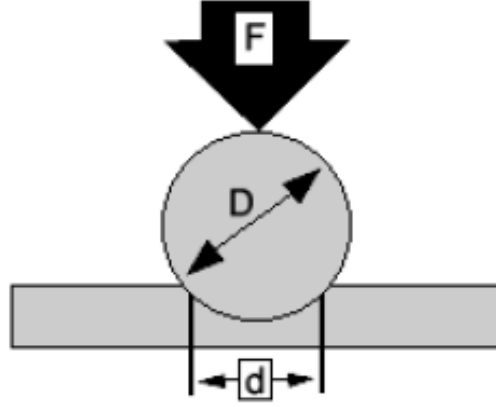
Kimyasal analiz ile alüminyum alaşımlı jantın içindeki alaşım oranları belirlenir. Bu işlem optik emisyon spektrometresi kullanılarak yapılır. Tabloda AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları için sınır değerler belirtilmiştir. Bu değerlerin, şartnameler yardımıyla uygun aralıklar arasında olup olmadığı tespit edilir. Tablo 3.1’de AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları element oranları gösterilmiştir.

Tablo 3.1. AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları element oranları

Element(%)	Alaşım(%)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Ca	Sn	Sr	Sb	P
Maksimum	AlSi11Mg	12	0,1	0,02	0,04	0,25	0,04	0,1	0,02	0,02	0,01	0,003	0,01	0,025	0,005	0,002
Minimum		11	0	0	0	0,1	0	0,05	0	0	0	0	0	0,01	0	0
Maksimum	AlSi7Mg	7,5	0,1	0,02	0,04	0,4	0,04	0,2	0,02	0,02	0,01	0,003	0,01	0,025	0,005	0,002
Minimum		6,5	0	0	0	0,25	0	0,08	0	0	0	0	0	0,01	0	0

3.1.2. Sertlik testi

Döküm ürünlerinin sertlik testlerinde genellikle brinell yöntemi kullanılır. Brinell sertlik ölçümünün yöntemi ASTM E10 ve ISO6506 standartlarında belirtilmiştir. Deneyin temeli, bir bilya aracılığı ile malzeme yüzeyine belirli bir süre yük uygulayarak malzeme yüzeyinde iz çıkarma temeline dayanır. Teste ilişkin uygulama şeması Şekil 3.1’de ve test cihaz görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Sertlik ölçüm yöntemi şeması

Brinell sertliği aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$HB = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Bu formülde; D küre çapını, d iz çapını (mm) ve F uygulanan kuvveti (N) gösterir.



Şekil 3.2. Sertlik test cihazı

Alüminyum janttan sertlik ölçümü, stil yüzeyi kesiti boyunca ve flanş bölgelerinden yapılır. Alüminyum alaşımlar için minimum sertlik değerleri alttaki Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. AlSi7Mg T6, lSi7Mg veAlSi11Mg alaşımları sertlik değerleri

Alaşım	Sertlik(Brinell Sertlik Değeri-HB)
AlSi7Mg T6	Min. 75
AlSi7Mg	Min. 60
AlSi11Mg	Min. 55

3.1.3. Mikro yapı analizi

Jant üzerinden metalürjik analiz yapılmak istenilen bölgeler çıkartılır ve analiz yüzeyi parlatma cihazında zımparalar yardımıyla temizlenir. Dağlama işlemi yapılır, alkol ve saf su ile yıkanıp kurutularak analize hazır hale getirilir. Şekil 3.3’de mikro ve makro yapı analizi için kullanılan mikroskoplar gösterilmiştir.

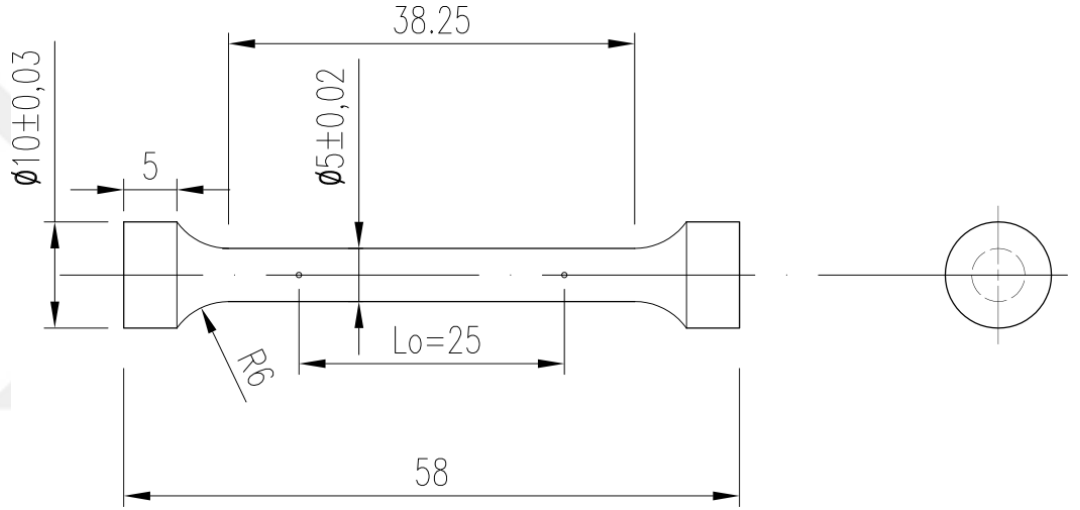


Şekil 3.3. Mikroyapı inceleme mikroskopları

Mikroskop altında, genel olarak jantın lastik yüzeyi, göbek, bijon, feder ve flanş bölgeleri incelenir. Bu incelemeler sonucunda; dendrit büyüklükleri saptanabilir ve oksit, çekinti, porozite gibi döküm hataları yakalanabilir. Bu çıktılar sonucunda döküm sürecinde yaşanan problemlerin tespiti yapıp, döküm parametrelerine müdahale edilerek hatalar giderilmeye çalışılır.

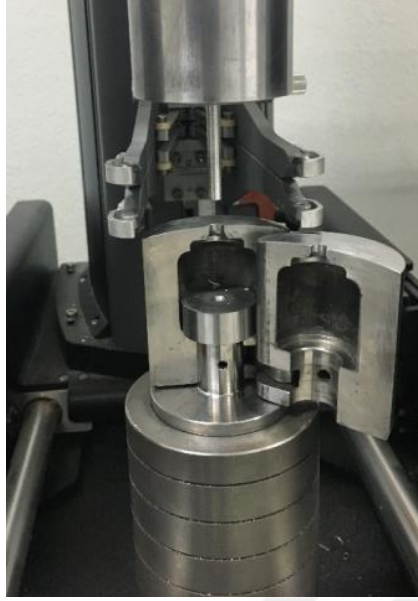
3.1.4. Çekme testi

Çekme testi alüminyum jant için kritik testlerden biridir. Standartlara göre, çekme testi sonuçlarının uygunluğunun periyodik olarak kontrol edilmesi ve raporlanması gerekmektedir.



Şekil 3.4. Çekme çubuğu teknik resmi

Çekme çubukları, test yapmak istenilen bölgeye göre, jantın farklı bölgelerinden testere yardımı ile parçalar kesilerek oluşturulur. İçinden numune çıkarabilecek boyutta bir parça kesilir ve tornada işlenerek, silindirik çekme testi numunesi haline getirilir. Şekil 3.4'de çekme çubuğu teknik resmi gösterilmiştir. Şekil 3.5'de test sonunda kırılan bir numune, Şekil 3.6'da ise çekme test cihazı gösterilmiştir.



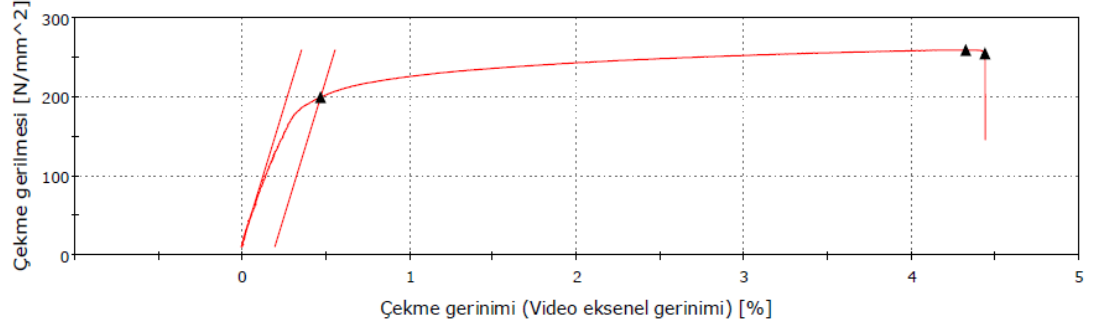
Şekil 3. 5. Çekme testi sonucunda kırılan numune



Şekil 3.6. Çekme testi cihazı

Testler sonucunda akma gerilmesi, kopma gerilmesi, yüzde uzama değerleri belirlenir ve bu değerlerin beklenen koşulları karşılaması gerekir. AlSi7Mg alaşımlar için elde edilmiş gerilme-yüzde uzama grafiği Şekil 3.7’de verilmiştir.

Jantın belirli bölgelerinden alınan numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda, akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve yüzde uzama değerleri hesaplanabilmektedir. Tekrarlı testler için elde veriler arasında standart sapma değeri dikkate alınır.



Şekil 3.7. Örnek çekme testi sonuç grafiği

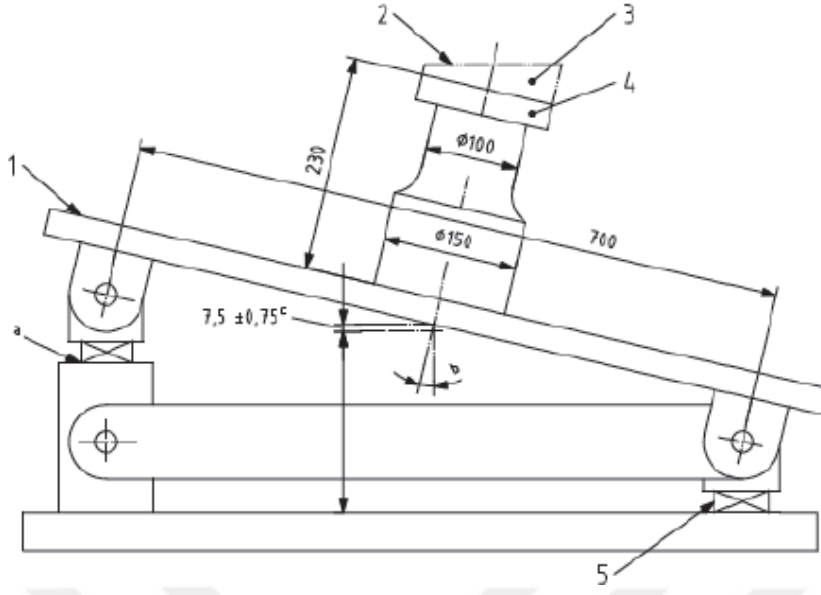
3.2. Performans Testleri

Alüminyum jant imalatında, performans testleri önemli testlerdir. Bu testler, jantın, araç hareket halindeyken maruz kalacağı genel şartların test edilmesini sağlar. Jantın maruz kalacağı ani yük sonunda davranışı, yorulma davranışı gibi faktörleri incelemek ve yeterli olup olmadığına karar vermek için bu testler uygulanır. Bu sayede jantın istenilen mukavemette olup olmadığı kontrol edilmiş olur ve güvenli bir şekilde araca takılabilir.

3.2.1. Darbe testi

Bu test ile alüminyum alaşımlı jantların, maruz kalabileceği yanal darbelere karşı dayanımları incelenir. Araç yükü de göz önünde bulundurularak, jantın kırılmaya karşı yeterli direnç göstermesi gerekir. Bu test bir tahribatlı muayene yöntemidir. Bu nedenle bu testte kullanılan jant araca monte edilmemelidir.

Jant, test cihazına yer eksenini ile 13 derece açı yapacak şekilde bir flanş yardımı ile bağlanır. Şekil 3.8'de jantın, darbe testine bağlandığı montaj bölgesinin şeması gösterilmiştir.



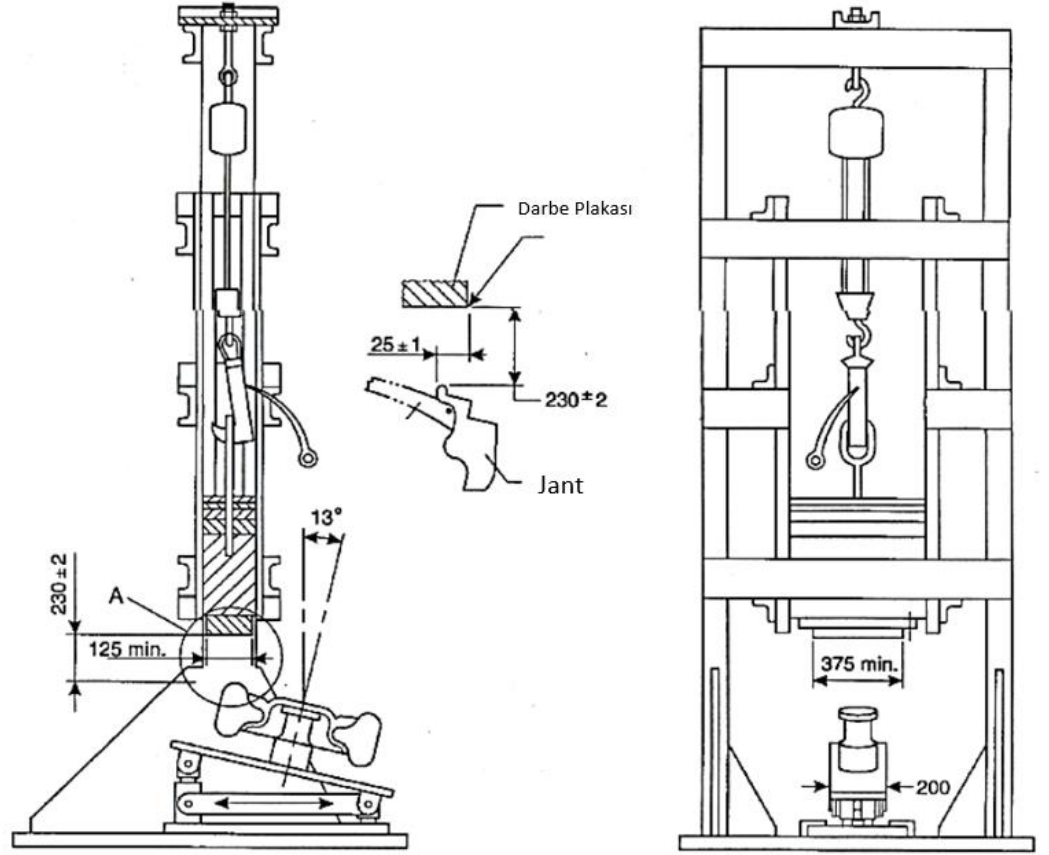
Şekil 3.8. Darbe testine ilişkin jant montaj bölgesi şeması

Lastik basıncı ve bijon sıkma torqu müşteri tarafından belirlenen kriterler dahilinde uygulanmalıdır. Test cihazı üzerinde bulunan darbe plakası ve üzerindeki kütleler ayarlanmalıdır.

Jantın taşıdığı maksimum kütleyle göre darbe kütlesi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$D = 0.6 \times W + 180$$

Bu formülde; D darbe kütlesini (kg) ve W jantın taşıdığı maksimum kütleyi (kg) gösterir.



Ölçüler mm olarak gösterilmiştir.

Şekil 3.9. Darbe test cihazı şematik gösterimi

Darbe plakası jantın montajlı haliyle en yüksek noktasından 230 mm yüksekte olmalıdır. 230 mm yükseklikten serbest düşme ile bırakılan yük, jant üzerine düşer ve test tamamlanır. Şekil 3.9'da darbe test cihazı şeması gösterilmiştir. Bu test, bir jantın simetrisine göre, janta farklı pozisyonlardan darbe uygulayacak şekilde de tekrarlanır. Şekil 3.10'da darbe testi cihazı gerçek görüntüsü gösterilmiştir.

Test sonuçları, standartlara göre değerlendirilip işlem tamamlandıktan sonra janta penetrant uygulanır ve jantta her hangi bir kırık çatlak olup olmadığı gözlenir. Göbek bölgesinde, feder bölgesinde ve flanş bölgesinde herhangi bir kırık, çatlak olmamalıdır. Testten sonra lastiğin hava basıncı ani bir şekilde düşmemelidir. Ancak düşen ağırlık ile birlikte o bölgede meydana gelen bölgesel deformasyon darbe izi gibi hatalar kabul edilebilir. Şekil 3.11'de darbe testi uygulanmış bir jant görüntüsü gösterilmiştir.



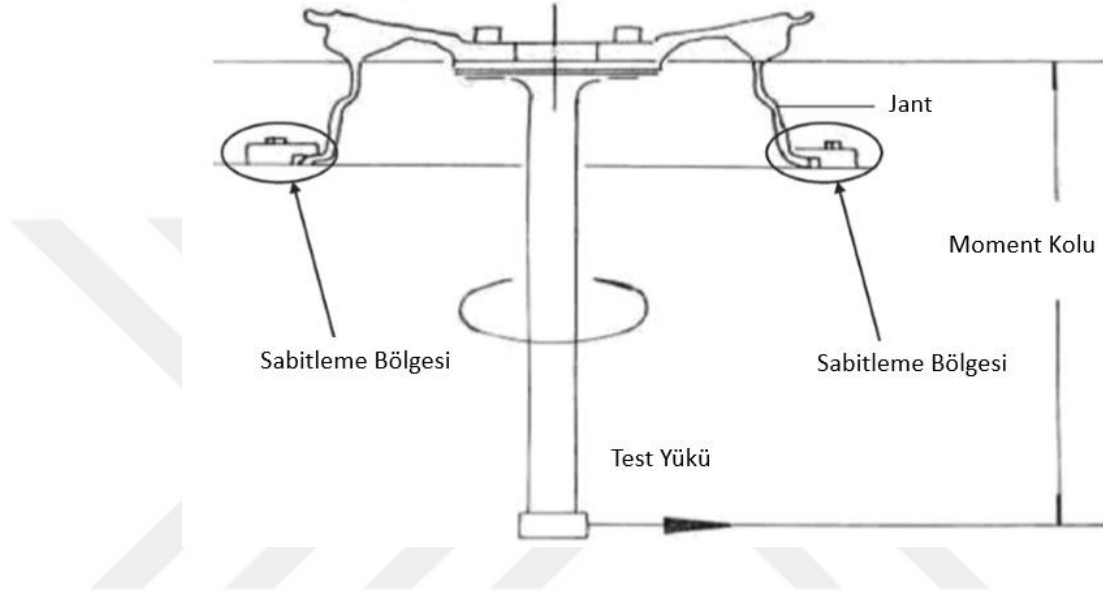
Şekil 3.10. Darbe test cihazı



Şekil 3.11. Tamamlanmış bir darbe testi

3.2.2. Köşe yorulma testi

Köşe yorulma testi, viraj boyunca jantın üzerine gelen kuvvetleri simüle edilmesini ve jant üzerindeki etkilerinin incelenmesini amaçlar. Jant bijonlardan ve arka flanş bölgesinden somun ve saplamalar yardımıyla sabitlenir. Bijonlar ve somunlar uygun tork değeri ile sıkılır. Şekil 3.12’de köşe yorulma testi şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Köşe yorulma test cihazı şematik gösterimi

Jantın montaj yüzeyine tekrarlı olarak, sabit bir eğilme momenti uygulanır. Bu değer, jantın fiziksel ortamda maruz kalabileceği çalışma koşullarındaki yüklere göre belirlenir ve laboratuvar testleri gerçekleştirilir. Uygulanan eğilme momenti test süresinde en fazla % ± 5 aralığında değişebilir. Şekil 3.13’de köşe yorulma test cihazı gösterilmiştir.

Köşe yorulma testinde uygulanacak eğilme momenti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$M_{b_{max}} = S \times F_R \times (\mu \times r_{dyn} + d)$$

Bu formülde; $M_{b_{max}}$ azami eğme momenti (Nm), F_R azami yük kapasitesi (N), r_{dyn} jant için önerilen en büyük lastiğin dinamik yarıçapı (m), d kaçıklık ölçüsü (m), μ lastik ile yol arasındaki sürtünme katsayısı ve S ise güvenlik faktörüdür.



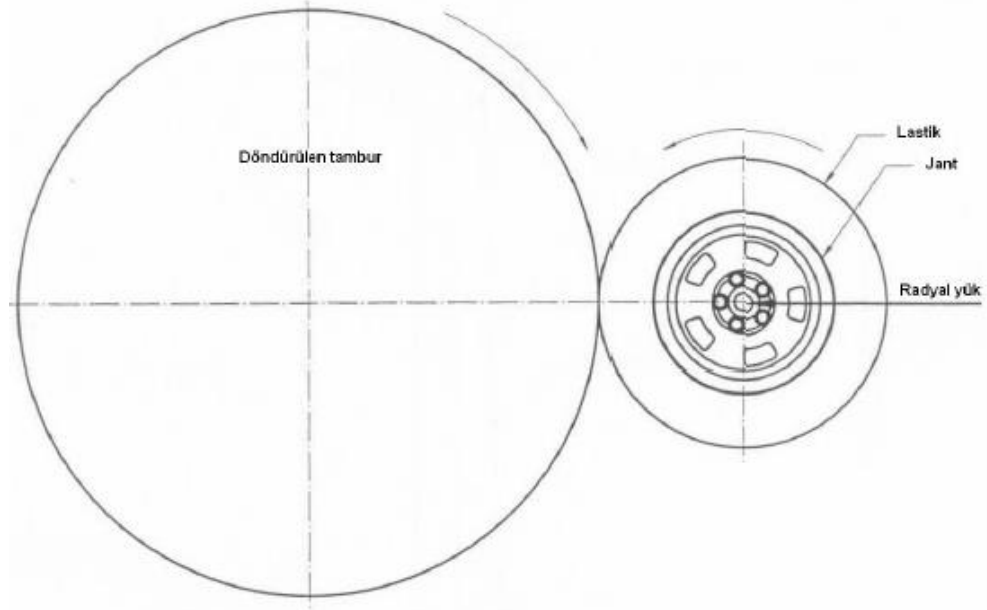
Şekil 3.13. Köşe yorulma test cihazı

Standartlardaki moment değerleriyle yapılan testlerin belirlenen minimum tur sayısını tamamlaması gerekmektedir. Test sonunda penetrant ile yapılan kontrollerde herhangi bir kırık, çatlak görülmemelidir. Bazen bu testler, belirlenen momentler ile kırılana kadar yapılmaktadır.

3.2.3. Radyal yorulma testi

Radyal yorulma testi sırasında, lastik takılmış jant dönerken, sabit ve radyal yük uygulayan bir tambur bulunur. Bu tamburun genişliği ve çapı janttan daha büyüktür. Silindir çapı 1,7 m olmalıdır.

Bu test sırasında lastik basıncında az bir yükselme olabilir. Nitekim bu olağan bir durumdur. Bu basınç yükselmesinin bir hata meydana getirmemesi için lastik basıncı $\pm\% 2,5$ tolerans dahilinde tutulur. Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'de sırasıyla radyal yorulma test cihazı şeması ve gerçek görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Radyal yorulma test makinası şematik gösterimi

Radyal yük aşağıdaki formülden hesaplanır. Bu formül bütün taşıt tipleri için geçerlidir.

$$F_P = S \times F_R$$

Bu formülde; F_P deney yükü (N), F_R jantın azami yük kapasitesi (N) ve S ise güvenlik faktörüdür.



Şekil 3.15. Radyal test makinası

Belirlenen radyal yük ile hangi hızda ve ne kadar süreli bir test yapılacağı standartlar dahilinde belirlenir. Alüminyum jantlarda genelde 1000 km boyunca bu test yapılır ve test hızı da lastiğin hız indeksine göre belirlenir.

Bu test sonunda penetran kontrolü yapılır ve herhangi bir çatlığa rastlanmamalıdır. Aynı şekilde lastikten hava sızdırma olmamalıdır.

3.3. Boya Testleri

Janta uygulanan birçok boya testi vardır. Bu testlerin hepsinin amacı, janta uygulanan boyanın performansını ölçmektir. Boyahane süreci parametrelerle kontrol edilir ve bu parametrelerle janta uygulanacak boya ve verniğin kalınlıklarının kontrol altına alınması mümkündür. Boyanın kalınlığı, yapışma direnci gibi faktörler, janta uygulanan boya testlerindeki performansı doğrudan etkilemektedir.

Bu testlerde jant, hızlandırılmış testlere maruz bırakılır ve korozyon direnci, yapışma direnci gibi faktörler ölçülür. Jantın uzun bir süre kullanımından sonra, yol ve hava koşullarına bağlı olarak boyasının hasar görmemesi amaçlanır.

3.3.1. Korozyon Testi

Bu testler uygulama ve gerekliliklerine göre farklılık gösterebilir ama genel amacı jantın boyasının korozyon direncini test etmektir. Bu deney belli bir süre boyunca tuz püskürterek yapılır.

Üretimi tamamlanmış bir numuneye, çapraz çizik ve taş darbesi uygulanarak aracın normal kullanımını simüle etmek için hasar verilir. Bu şekilde hasarlı jant test kabine sokulur ve belirli bir süre tuzlu suya maruz bırakılır. Belirli bölgelerde korozyon oluşup oluşmadığı kontrol edilerek test sonuçları değerlendirilir. Şekil 3.16'da korozyon testlerinin yapıldığı test cihazı gösterilmiştir.



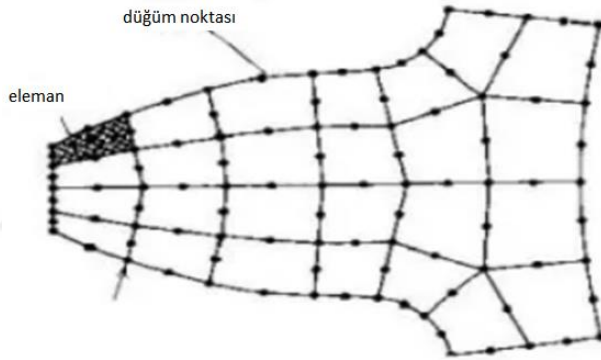
Şekil 3.16. Korozyon test cihazı

4. DARBE TESTİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, analitik olarak çözülmesi zor problemlerin yaklaşık olarak sonuçlarını elde etmek için, belirli sayısal yöntemler kullanılarak çözülmesidir. Bu problemler kısmi diferansiyel denklemlerden ve sınır koşullarından oluştuğu için sınır değer problemleri olarak adlandırılır. Sonlu elemanlar yardımı ile bir problem bölgesi için oluşturulan kısmi diferansiyel denklemler, matematiksel fonksiyonlar haline dönüştürülür ve çözüme yaklaşılr.

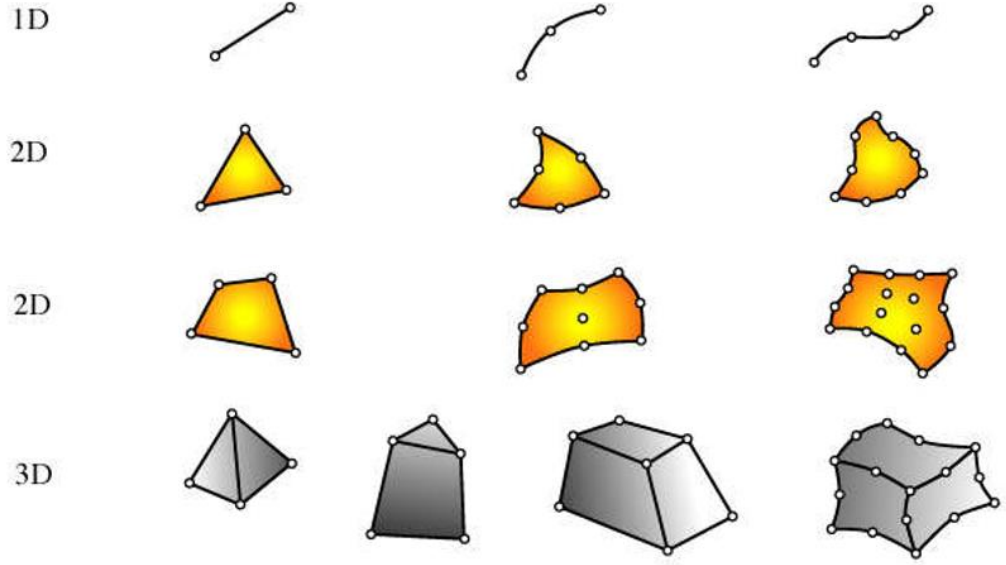
Basit olarak tanımlamak gerekirse, sonlu elemanlar yöntemi bir parçanın veya bir sistemin, belirli sınır koşulları altında nasıl bir davranış sergileyeceğini tahmin etmek için kullanılan sayısal bir yöntemdir.



Şekil 4.1. Sonlu elemanlarda ağ yapısı gösterimi

Mukavemet problemleri, termal problemler, akış problemleri, elektrostatik problemler gibi mühendisliğin birçok problemi sonlu elemanlar yöntemi yardımı ile çözüme kavuşturulabilmektedir. Bu yöntemin ilk aşamasında, problem bölgesi eleman adı verilen küçük bölgelere ayrılır. Bu işlem ile çözüm daha kolay bir hale getirilir. Bu işlemden sonra oluşan yapıya ağ yapısı adı verilir. Ağ yapısı elemanlardan ve elemanların köşe ve kenarlarındaki düğüm noktalarından oluşur. Problemin çözümleri bu düğüm noktalarında hesaplanmaktadır. Şekil 4.1’de örnek bir ağ yapısı gösterilmiştir.

Sonlu elemanlar yönteminde bir boyutlu çizgisel elemanlar, iki boyutlu kabuk elemanlar ve üç boyutlu katı elemanlar kullanılmaktadır. Şekil 4.2’de farklı boyutlarda ve farklı tiplerde örnek elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman tipleri

Sonlu elemanlara bölme aşamasında en kritik nokta kaç adet elemana böleceğimize. Sonlu eleman sayısı arttıkça sonuç gerçeğe bir o kadar yaklaşacaktır. Ancak eleman sayısını fazla arttırmak, bilinmeyen sayısını arttıracığından problemin çözüm süresi de uzayacak ve verimsiz bir çalışma olacaktır. Gerçek problemin sadeleştirilmesi hem sonuca ulaşmayı hızlandıracak hem de sonuçları gerçeğe daha çok yaklaştıracaktır. Örneğin; bu çalışma kapsamında yapılan darbe testi simülasyonunda, belirli bir yükseklikten jantın üzerine serbest düşme ile bırakılan darbe plakası tanımlanmıştır. Bu plakaya, serbest düşme tanımlamak yerine janta temas noktasında, enerjinin korunumu yasası yardımı ile ilk hız tanımlanmış ve simülasyon o şekilde çalıştırılmıştır. Bu sayede zamana bağlı olan bu analizdeki sonuca ulaşma süresi rasyonel bir şekilde azalmıştır.

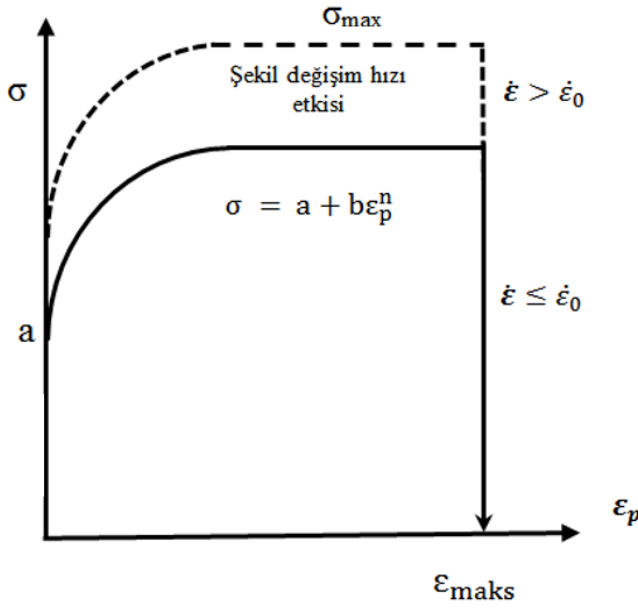
4.2. Malzemenin Belirlenmesi

Sonlu elemanlar yönteminde en doğru sonuçları alabilmek için malzeme belirleme kısmı çok önemlidir. Simülasyon programına malzeme ne kadar doğru tanımlanırsa sonuçlar o kadar gerçeğe yakın olur.

Bu çalışma kapsamında simülasyon programına iki farklı malzeme modeli tanımlanmış, karşılaştırma yapılmış ve birim şekil değiştirme hızının etkisi incelenmiştir. Malzeme modeli olarak Johnson-Cook malzeme modeli, hasar modeli olarak da Johnson-Cook hasar modeli kullanılmıştır.

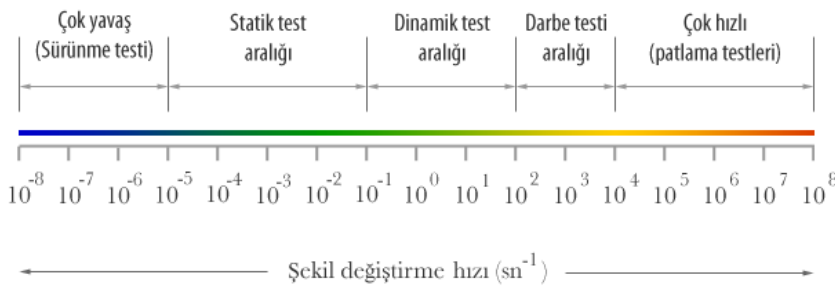
4.2.1. Birim şekil değiştirme hızının etkisi

Bazı malzemeler şekil değişim hızına (strain rate) bağlı olarak sertleşebilir. Bu da demek oluyor ki, bu özelliğe sahip bir malzemeye iki farklı hızda çekme testi uyguladığımızda aynı gerilim – şekil değişimi eğrisini elde etmiyoruz. Daha hızlı çektiğimiz numunenin eğrisi diğerine göre yukarı kayıyor. Yani malzemenin mukavemetinin arttığını gösteriyor. Şekil 4.3’de şekil değişim hızı etkisinin grafik görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.3.Şekil değişim hızına bağlı olarak birim şekil değiştirme ve gerilmenin değişimi

Şekil değişim hızı, malzemenin şeklinin ne kadar hızlı değiştiğini ifade eder. Örneğin; çekme testinde şekil değişim hızı, numuneyi hangi hızda çektiğimizi gösterir. Şekil değişim hızını, malzemede oluşan uzamayı değil, şekil değişimini göz önüne alarak ifade ediyoruz. Şekil 4.4’de farklı testlerde kullanılan şekil değiştirme hızları gösteriliyor.



Şekil 4.4. Farklı test tiplerinde kullanılan şekil değiştirme hızları

Bu çalışmada bir binek araç jantına uygulanan darbe testi simüle edilmeye çalışılmıştır. Bu darbe testi sırasında, malzemenin, janttan alınan numunelere uygulanan çekme testinden daha farklı davranış gösterebileceği düşünülmüş ve alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen, A356 alaşım jantın şekil değişim hızı davranışı incelenmeye çalışılmıştır.

4.2.2. Deneysel veriler ve çekme testi simülasyonu

Bu çalışma kapsamında A356 alaşımı üzerindeki şekil değişim hızı etkisini incelemek için farklı hızlarda çekme testleri yapılmış ve sonuçları analiz edilmiştir. İlk aşamada simülasyon ile gerçek malzeme korelasyonu için çekme testi yapılmış ve ondan elde edilen veriler ile simülasyonda malzeme modeli oluşturulmuştur. Bu malzeme modeli ile yapılan analiz ile gerçek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra şekil değişim hızı etkisi incelenmiş ve simülasyonda sonuçlar gözlenmeye çalışılmıştır.

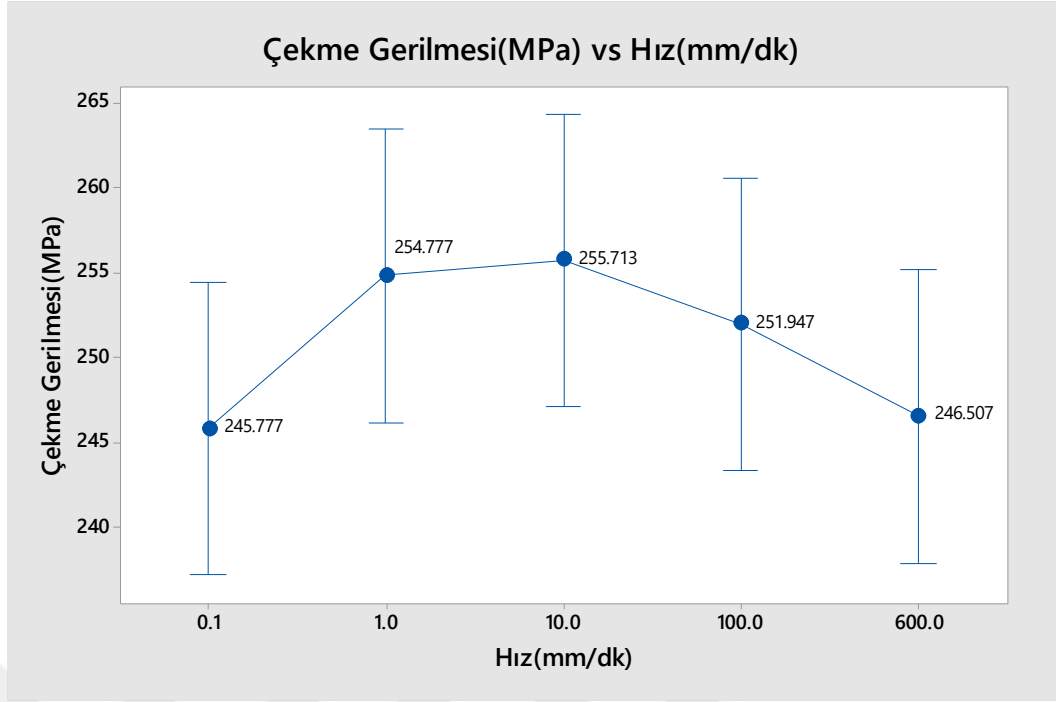
Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi, jantın kritik bölgelerinden, her bölge için 3 numune çıkarılıp her çekme hızı için test edilmiştir. Bu çalışma kapsamında toplam 30 adet çekme testi tamamlanmış. Bu testler 0,1 mm/dk, 1 mm/dk, 10 mm/dk, 100 mm/dk ve 600 mm/dk olmak üzere 5 farklı çekme hızında tamamlanmıştır. Jantın feder ve dış flanş bölgelerinden çıkarılan numuneler incelenmiştir. Darbe testinde asıl yükü taşıyan bölge jantın federleri olduğu için, feder bölgesindeki malzemenin davranışı incelenmiştir. Ancak döküm prosesindeki değişkenlikten dolayı çekme sonuçlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu nedenle her bölgeden ortalamaya yakın bir numunenin sonuçları, o grubu temsil için seçilmiş ve ham verileri analiz edilmek için kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Farklı çekme hızlarında yapılan testler ve sonuçlar tablosu

Çekme Hızı (mm/dk)	Numune	Akma Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Uzama (%)
0,1	Numune 1	196,84	253,81	4,38
	Numune 2	202,12	243	2,27
	Numune 3	188,85	240,52	3,21
1	Numune 1	200,06	259,48	3,96
	Numune 2	192,08	245,69	3,47
	Numune 3	200,27	259,16	4,2
10	Numune 1	203,83	259,56	3,74
	Numune 2	210,15	261,95	2,88
	Numune 3	193,87	245,63	2,47
100	Numune 1	192,16	254,35	3,53
	Numune 2	196,39	252,77	2,77
	Numune 3	193,72	248,72	2,87
600	Numune 1	198,41	242,48	2,76
	Numune 2	195,15	252,26	3,59
	Numune 3	201,5	244,78	2,77

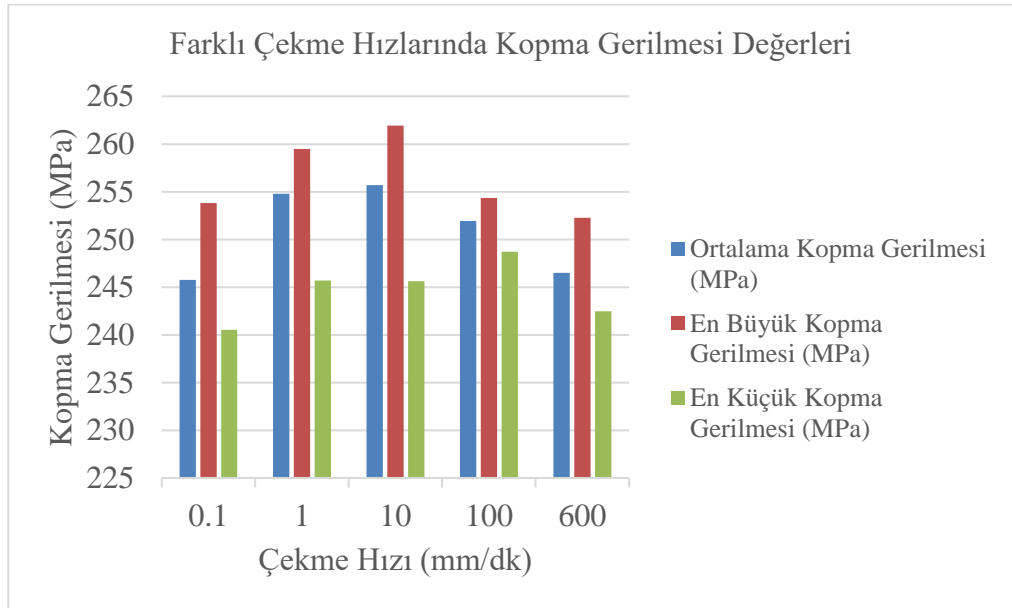
Tablo 4.1’de görünen ve testleri tamamlanmış numuneler, dokuz adet federli olan bir jantın farklı federlerinden çıkarılmış numuneleri göstermektedir. Aynı şartlar altında ve sıralı olan dökülen bu jantların, aynı çekme hızındaki test sonuçları arasında az da olsa bir değişkenlik gözlenmektedir. Çok düşük uzama değerleri görülen numuneler incelendiğinde, numune çıkarılan bölgede döküm boşluğu gözlenmiştir ve bu kopmayı hızlandırmıştır. Bu değişkenlik döküm yönteminden ve jant tasarımından kaynaklanmaktadır. Dökümde; dolumu ve katılaşmayı etkileyen her türlü faktör jantın mekanik özelliklerine etki etmektedir. Bu faktörler de çok fazla olduğu için bu değişkenlik belli oranda görülebilmektedir.

Çekme testi sonuçları, çekme cihazından alınan akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve yüzde uzama değerlerine göre incelenmiş ve şekil değişim hızı etkisinin net bir şekilde görülüp görülmediği incelenmiştir.



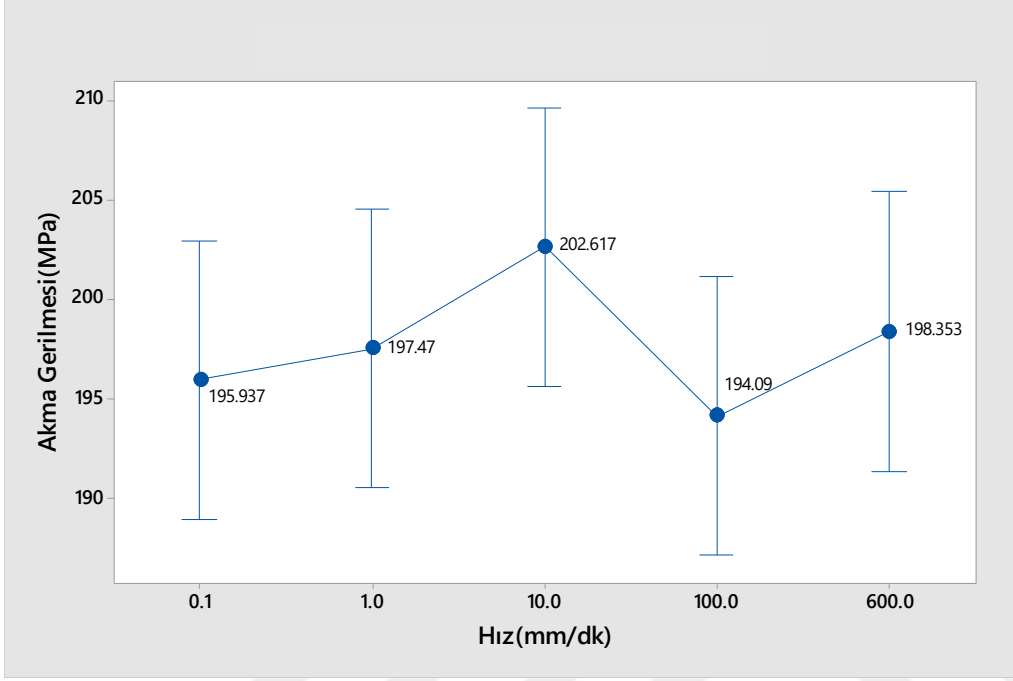
Şekil 4.5. Farklı çekme hızlarında yapılan testlerin kopma gerilmesi dağılımları

Şekil 4.5.'de farklı hızlarda çekme testi uygulanan numuneler gruplandırılmış, değer aralığı gösterilmiş ve ortalama kopma gerilmesi değerlerinden geçen bir eğri gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde 10 mm/dk hıza kadar kopma gerilmesinde bir artış gözlenmiştir. Şekil 4.6'da farklı çekme hızlarında 3 numune ile yapılan çekme testlerinin kopma gerilmesi sonuçları gösterilmiştir.



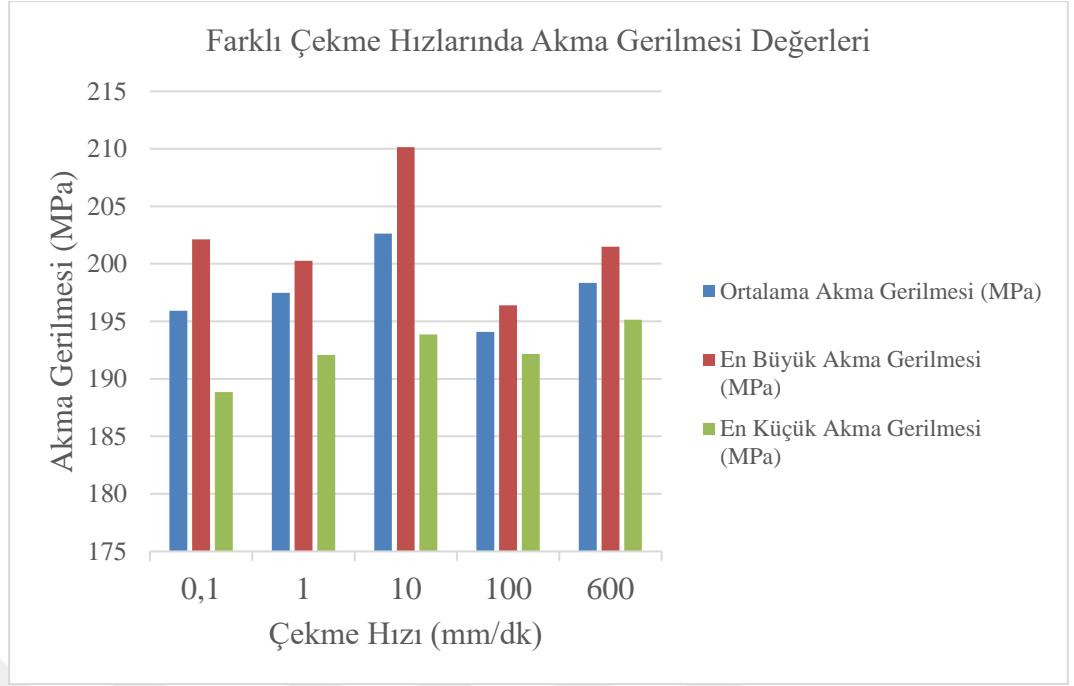
Şekil 4.6. Farklı çekme hızlarında 3 numune ile yapılan çekme testlerinin kopma gerilmesi sonuçları

Çekme testleri sonuçlarında her bölgenin, farklı çekme hızlarında gösterdiği farklılıklar ve kendi içindeki değişkenlik incelenmiştir. Bu değişkenliği gidermek için ortalamaya yakın numuneler seçilmiş ve çekme testi ham verileri analiz edilmiştir.

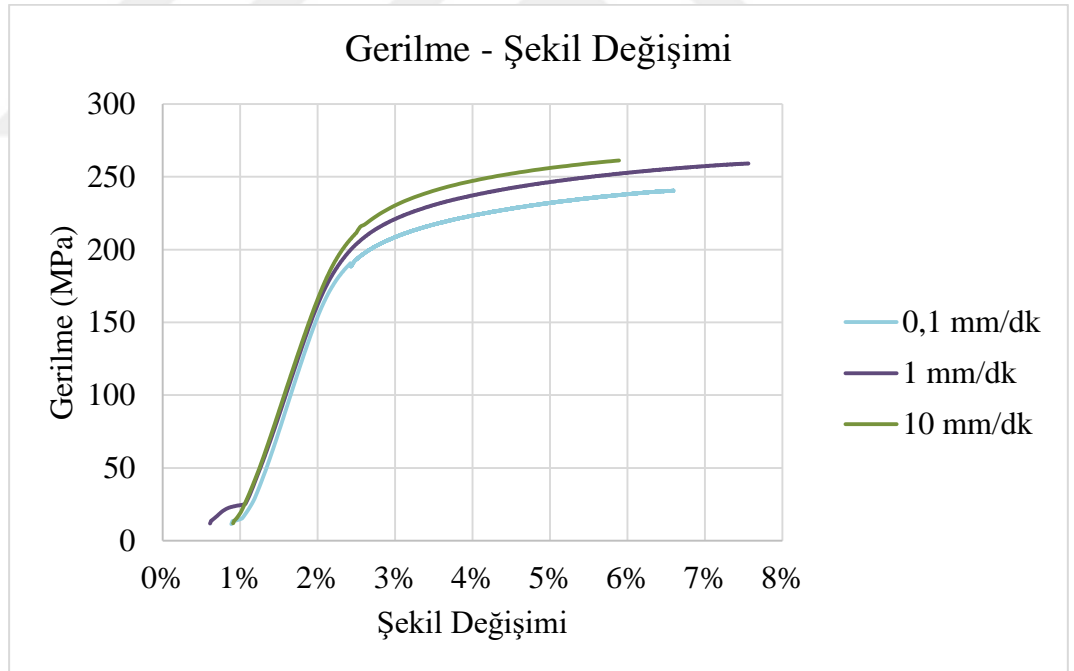


Şekil 4.7. Farklı çekme hızlarında yapılan testlerin akma gerilmesi dağılımları

Şekil 4.7.'de farklı hızlarda çekme testi uygulanan numuneler gruplandırılmış, değer aralığı gösterilmiş ve ortalama akma gerilmesi değerlerinden geçen bir eğri gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde 10 mm/dk hıza kadar akma gerilmesinde bir artış gözlenmiştir. Şekil 4.8'de farklı çekme hızlarında 3 numune ile yapılan çekme testlerinin akma gerilmesi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Farklı çekme hızlarında 3 numune ile yapılan çekme testlerinin akma gerilmesi sonuçları



Şekil 4. 9.Farklı çekme hızlarında oluşturulmuş gerilme-şekil değişimi grafiği

Yapılan testler sonucunda oluşturulan gerilme-şekil değişimi grafikleri Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Bu grafikten anlaşılacağı üzere çekme hızı arttıkça akma gerilmesi ve kopma gerilmesinde bir artış gözlemlenmiştir.

Başlangıçta çekme testinin simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyondaki amaç; çekme testinden elde edilen veriler ile oluşturulan malzeme modelini doğrulamaya yöneliktir. Tablo 4.2’de referans şekil değişim hızı değerindeki akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve yüzde uzama değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.2. 1 mm/dk çekme hızıyla yapılmış çekme testi sonuçları

Akma Gerilmesi (Ofset 0,2%) (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	İlk Boy (mm)	Çap (mm)	Çekme Hızı (mm/dk)	Uzama (%)
200,06	259,48	33,48	5	1	3,96

Çekme testinden elde edilen veriler Johnson-Cook malzeme modeli yardımı ile simülasyon programına tanımlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Johnson- Cook malzeme modeli ile malzeme gerilmesi, şekil değiştirme, şekil değiştirme hızı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Ayrıca maksimum plastik şekil değişimi ile ilişkili bir hasar modeli de bulunmaktadır. Bu çalışmada şekil değiştirme hızının etkisini inceleyebilmek için bu model üzerinde çalışılmıştır. Sıcaklık etkisi çalışmanın dışında bırakılmıştır.

Johnson-Cook malzeme modelinde gerilme değeri alttaki formül ile hesaplanmaktadır. (Radioss User Guide, 2017)

$$\sigma = (a + b\varepsilon_p^n)(1 + c \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0})(1 - (T^*)^m)$$

Bu formülde; a akma gerilmesini (Pa) , b plastik pekleşme parametresini, n plastik pekleşme üstünü ve c şekil değişim hızı katsayısını, $\dot{\varepsilon}$ şekil değişim hızını, $\dot{\varepsilon}_0$ referans şekil değişim hızını, T^* sıcaklık etkisini ve m ise sıcaklık üstünü ifade eder.

Hasar modeli olarak da Johnson-Cook hasar modeli kullanılmıştır. Bu model malzeme modeli ile doğrudan ilişkilidir. Yapısal elemanlar, Johnson-Cook hasar kriterine bağlı olarak belirli eşiği aşması durumunda simülasyon modelinden silinir ve böylece deformasyon bölgeleri tayin edilir.

Johnson-Cook hasar modelinde şekil değişimi alttaki formülle hesaplanır. (Radioss User Guide, 2017)

$$\varepsilon_f = \left[D_1 + D_2 \exp \left(D_3 \frac{\sigma_m}{\sigma_{vm}} \right) \right] \times \left[1 + D_4 \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \times [1 + D_5 T^*]$$

Bu formülde; D_1, D_2, D_3, D_4 ve D_5 katsayıları, σ_m ortalama gerilmeyi, σ_{vm} von-mises gerilmesini (MPa), $\dot{\varepsilon}$ şekil değişim hızını, $\dot{\varepsilon}_0$ referans şekil değişim hızını ve T^* ise sıcaklık etkisini ifade eder.

Çekme testinden elde edilen her noktadaki, mühendislik gerilmesi ve mühendislik şekil değişimi değerleri alttaki eşitlikler yardımı ile gerçek gerilme ve gerçek şekil değişimine dönüştürülmüştür. Malzeme modelinde kullanılan kopma anındaki plastik şekil değişimi alttaki formül ile hesaplanmış ve malzeme modeline tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} \sigma_{gerçek} &= \sigma_{mühendislik} \times (1 + \varepsilon_{mühendislik}) \\ \varepsilon_{gerçek} &= \ln(1 + \varepsilon_{mühendislik}) \\ \varepsilon_p &= \varepsilon_{gerçek} - \frac{\sigma_{gerçek}}{E} \end{aligned}$$

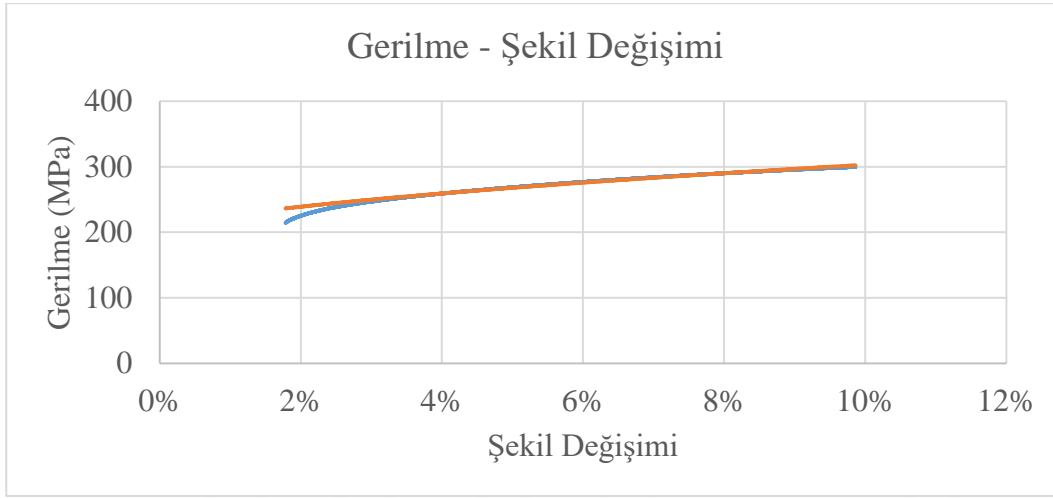
Bu formülde $\sigma_{mühendislik}$ mühendislik gerilmesi, $\varepsilon_{mühendislik}$ mühendislik birim şekil değişimi, $\sigma_{gerçek}$ gerçek gerilme, $\varepsilon_{gerçek}$ gerçek birim şekil değişimi, ε_p plastik şekil değişimi ve E ise elastisite modülüdür.

Tablo 4.3. Eğri uydurmada kullanılan değerlerin bir kısmının tablo gösterimi – 1mm/dk

Yük(N)	Mühendislik Gerilmesi (MPa)	Mühendislik Birim Şekil Değişimi	Gerçek Gerilme (MPa)	Gerçek Birim Şekil Değişimi	Plastik Şekil Değişimi	Johnson-Cook Gerilme (MPa)	Hataların Kare Farkı	Hataların Kare Farkının Ortalaması
4119,011	209,780	0,021	214,142	0,021	0,018	236,338	9998,845	1026,243
4119,942	209,827	0,021	214,191	0,021	0,018	236,345	9981,125	
4120,568	209,859	0,021	214,225	0,021	0,018	236,350	9969,140	
4121,845	209,924	0,021	214,292	0,021	0,018	236,355	9942,399	
4122,357	209,950	0,021	214,320	0,021	0,018	236,360	9932,998	

Johnson-Cook modelinde belirtilen formül ile her noktada gerilme değerleri hesaplanmıştır. Bu gerilme değerleri ile çekme testi ham verilerinden elde edilen, gerçek gerilme değerleri arasındaki farkın karesi hesaplanmıştır. Bu fark Johnson-

Cook formülündeki teorik hesap ile çekme testinden elde edilen gerçek gerilme değerleri arasındaki hataların kare farkı olarak tanımlanmıştır. Daha sonra her noktadaki kare farklarının ortalaması hesaplanmıştır. Eğri uydurma tekniği ile Sayfa 37’de gösterilen denklemdeki “b” ve “n” parametreleri hesaplanmıştır. “a” parametresi belirtildiği gibi akma gerilmesi olarak denkleme dahil edilmiştir. Tablo 4.3’de eğri uydurmada kullanılan değerlerin tablosu gösterilmiştir. Şekil 4.10’da eğri uydurma işlemi sonucunda elde edilen eğri verilmiştir. Şekildeki turuncu renk ile gösterilen eğri Johnson-Cook malzeme modeli ile hesaplanmış eğriyi, mavi ise deneysel ölçüm eğrisini göstermektedir.



Şekil 4.10. Eğri uydurma tekniğiyle elde edilen Johnson-Cook malzeme eğrisi ile deneysel ölçümlerin uyumu – 1 mm/dk (Turuncu: Johnson-Cook, Mavi: Deneysel Ölçüm)

Bu hesaplamalar referans şekil değişim hızı değerine göre yapılmıştır. Referans şekil değişim hızı olarak 1 mm/dk belirlenmiştir. Johnson-Cook malzeme modeli denkleminde belirtilen $\dot{\epsilon}_0$ ve $\dot{\epsilon}$ değerleri birbirine eşittir. Bu nedenle şekil değişim hızı katsayısı olan “c” değerinin etkisi ortadan kalmıştır. Dolayısıyla, referans şekil değişim hızında yapılan çekme testinde, şekil değişim hızının etkisi yoktur. Tablo 4.4.’de eğri yerleştirme işlemi sonucunda hesaplanan parametreler gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Johnson-Cook malzeme modelinde hesaplanan parametreler

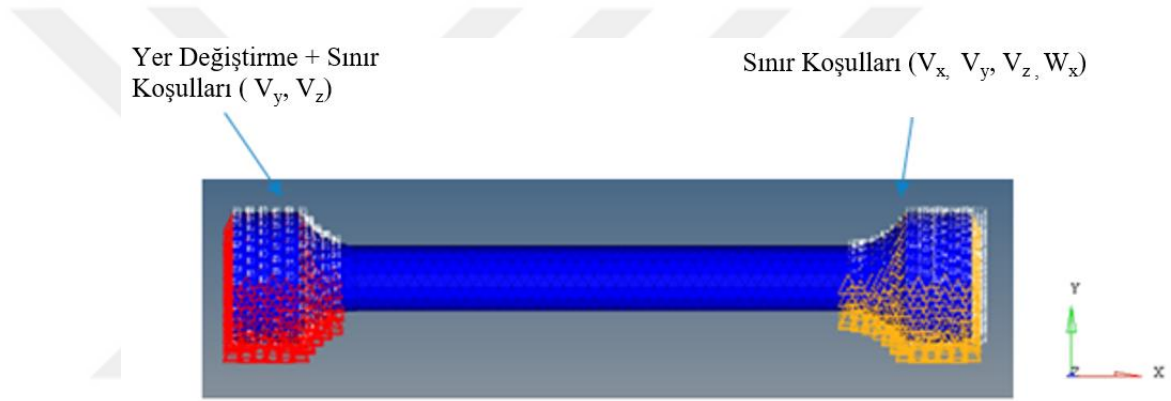
Yoğunluk (kg/m ³)	E (Pa)	Nu	a (Pa)	b	n
2700	77800000000	0,33	200060000	414659259	0,604979

Aynı yöntem Johnson-Cook hasar modeli için de uygulanmış ve bir önceki parametreler hesaplanmış ve simülasyona tanımlanmıştır. Tablo 4.5.'de Johnson-Cook hasar modelindeki parametreler gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Johnson-Cook hasar modeli yardımı ile hesaplanan katsayılar

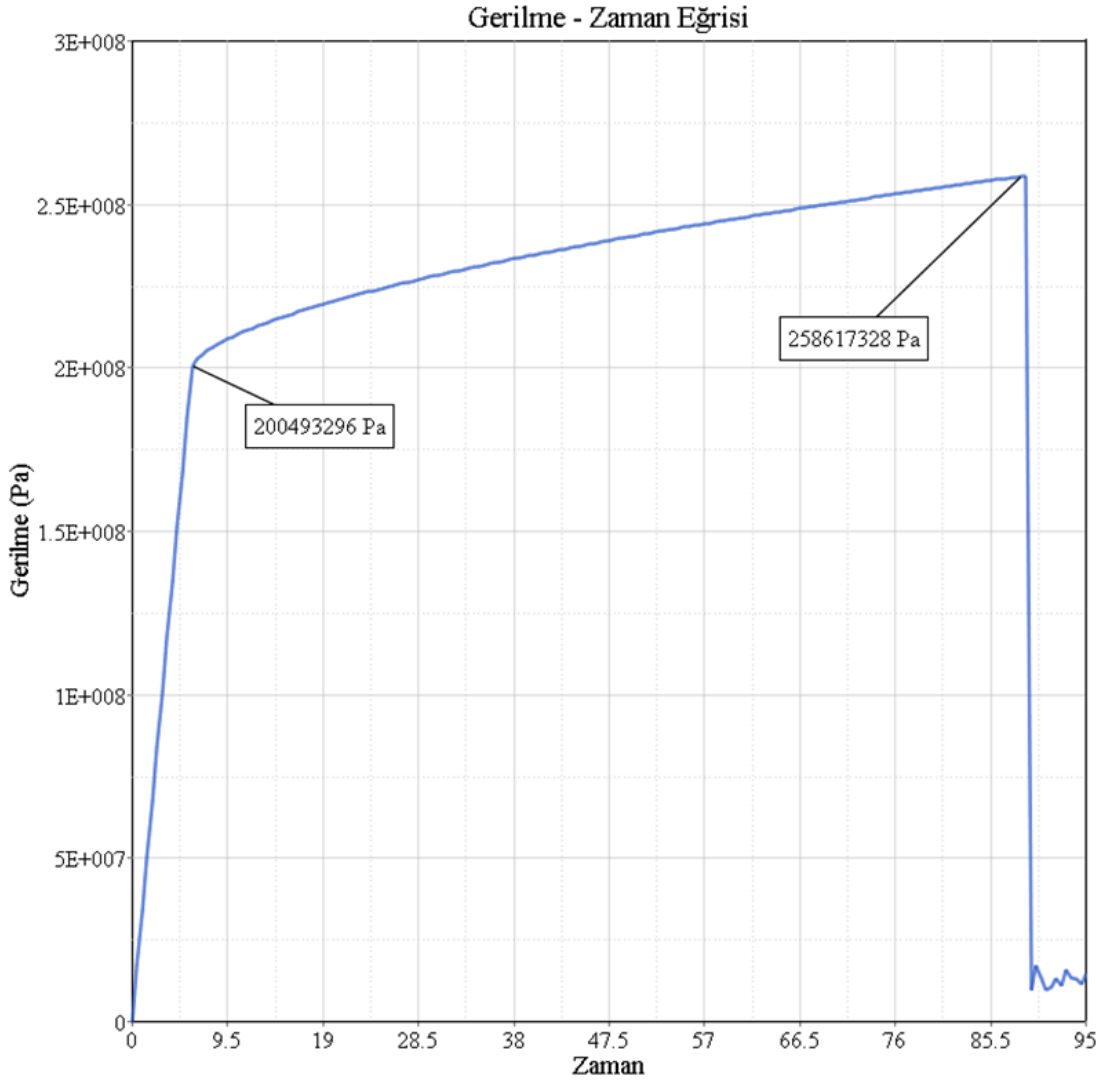
D_1	D_2	D_3
0,0396	0,1	-20

Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de gösterilen değerler ile bir çekme testi simülasyonu yapılmış ve deneysel çekme testinden elde edilen veriler ile karşılaştırması yapılmıştır. Çekme testi simülasyonu referans değer olan 1 mm/dk hızında yapılmıştır.

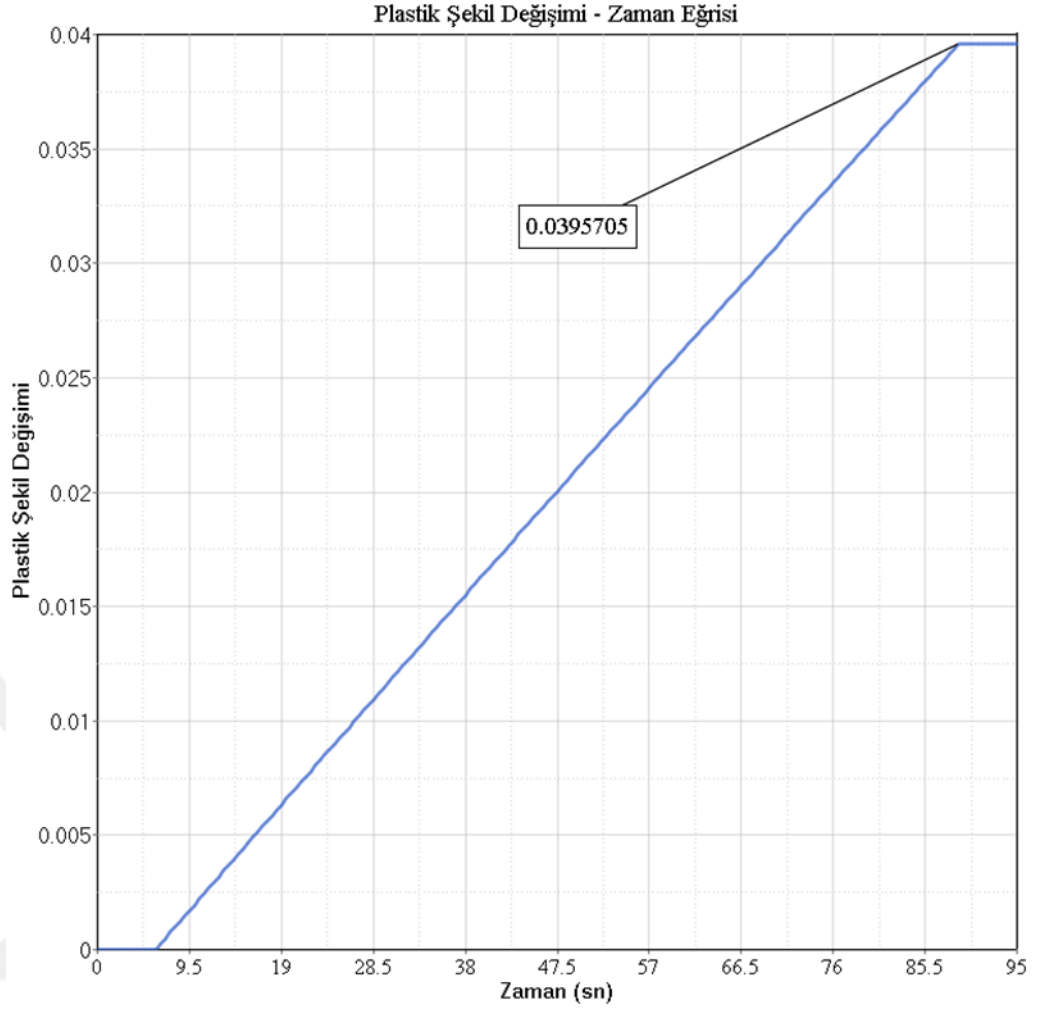


Şekil 4.11. Çekme testi simülasyonunda uygulanan sınır koşulları

Simülasyon sonuçlarında akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve yüzde uzama değerleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.12'de çekme testi simülasyonundan elde edilmiş zamana bağlı gerilme eğrisi gösterilmiştir. Bunun yanında Şekil 4.13'de ise çekme testi simülasyonundan elde edilmiş zamana bağlı plastik şekil değişimi eğrisi gösterilmiştir.

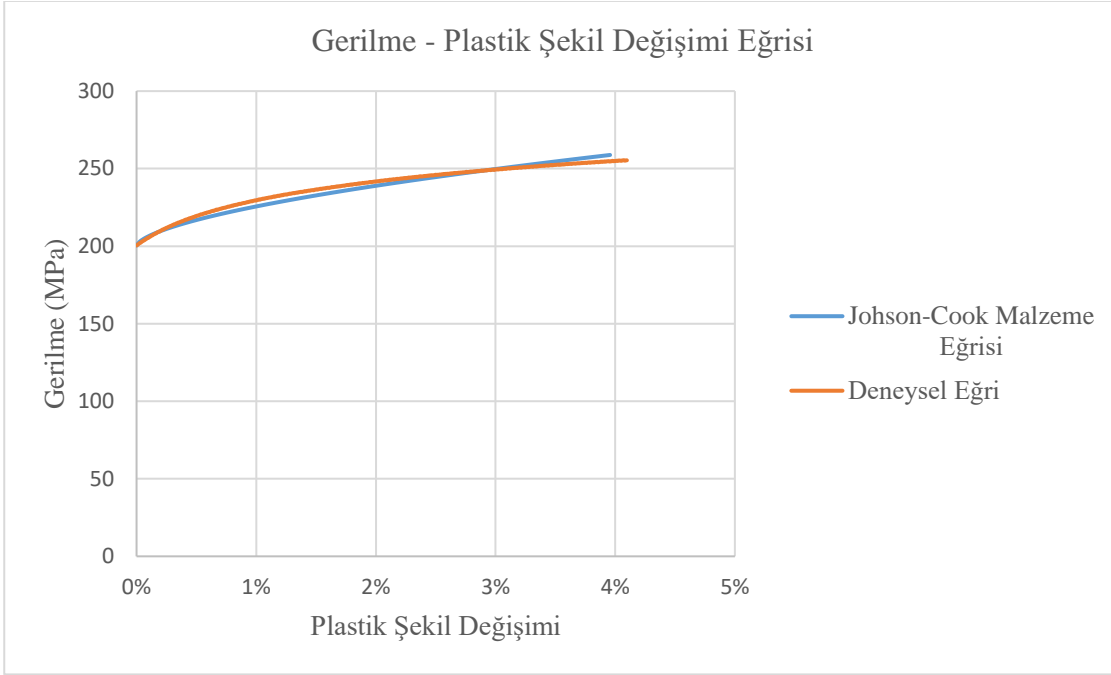


Şekil 4.12. Çekme testi simülasyonundan elde edilmiş zamana bağlı gerilme eğrisi



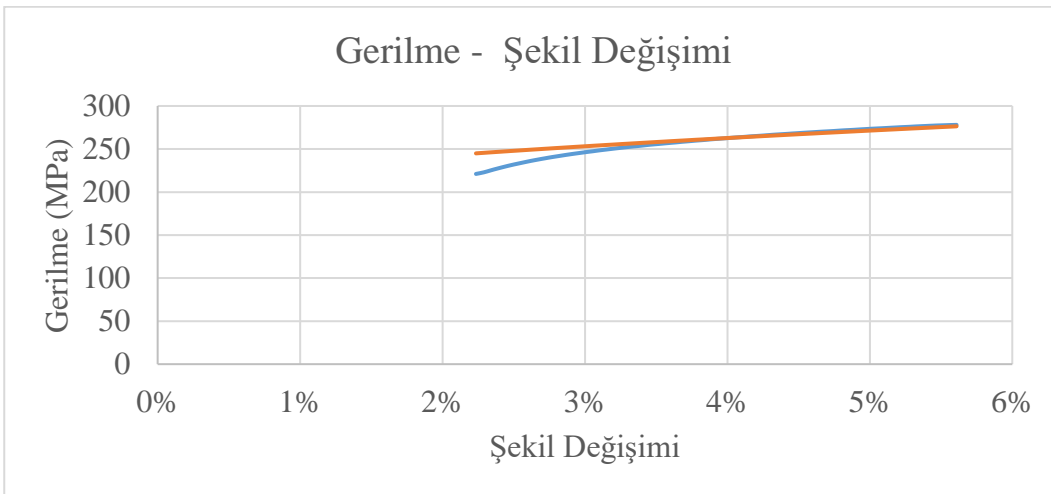
Şekil 4.13. Çekme testi simülasyonundan elde edilmiş zamana bağlı plastik şekil değişimi eğrisi

Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda çekme testi simülasyonu ile bir korelasyon elde edildiği söylenebilir. Çekme cihazından elde edilen veriler ile simülasyon sonucunda elde edilen verilerin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.14’de deneysel verilerden elde edilen eğri ile simülasyon verilerinden elde edilen eğri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Deneysel veriler ile simülasyon verilerinin birlikte gösterimi

1 mm/dk hız ile yapılmış çekme testinin ham verilerinden elde edilen a, b ve n değerleri 10 mm/dk hız ile yapılmış bir başka testinin ham verileriyle oluşturulmuş gerçek gerilme – plastik şekil değiştirme grafiğinin üzerine yerleştirilir. Bu işlemde şekil değişim hızı faktörü olan c katsayısı da göz önünde bulundurulur ve c katsayısının etkisi gözlenir. Şekil 4.15’de eğri yerleştirme işlemi sonucunda ortaya çıkan eğri gösterilmiştir. Şekilde turuncu renk ile gösterilen eğri Johnson-Cook malzeme modeli formülü ile hesaplanmış eğriyi, mavi ise deneysel ölçüm eğrisini göstermektedir.



Şekil 4.15. Şekil değişim hızı etkisi göz önünde bulundurularak yerleştirilen eğri – 10 mm/dk

Bu işlemden sonraki aşama hesaplanan c katsayısını simülasyona tanımlamaktır. Hesaplanan c katsayısı simülasyona tanımlanır ve bununla birlikte şekil değişim hızı etkisi tanımlandığı için aynı işlem Johnson-Cook hasar modelinde de yapılarak orda da şekil değişim hızı etkisi D₄ katsayısı ile tanımlanır. Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de sırasıyla Johnson-Cook malzeme modeli ve hasar modeli parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Şekil değişim hızı etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanan malzeme modeli katsayıları

Yoğunluk (kg/m ³)	E (Pa)	Nu	a (Pa)	b	n	c
2700	77800000000	0,33	200060000	414659259	0,604979	0,059651

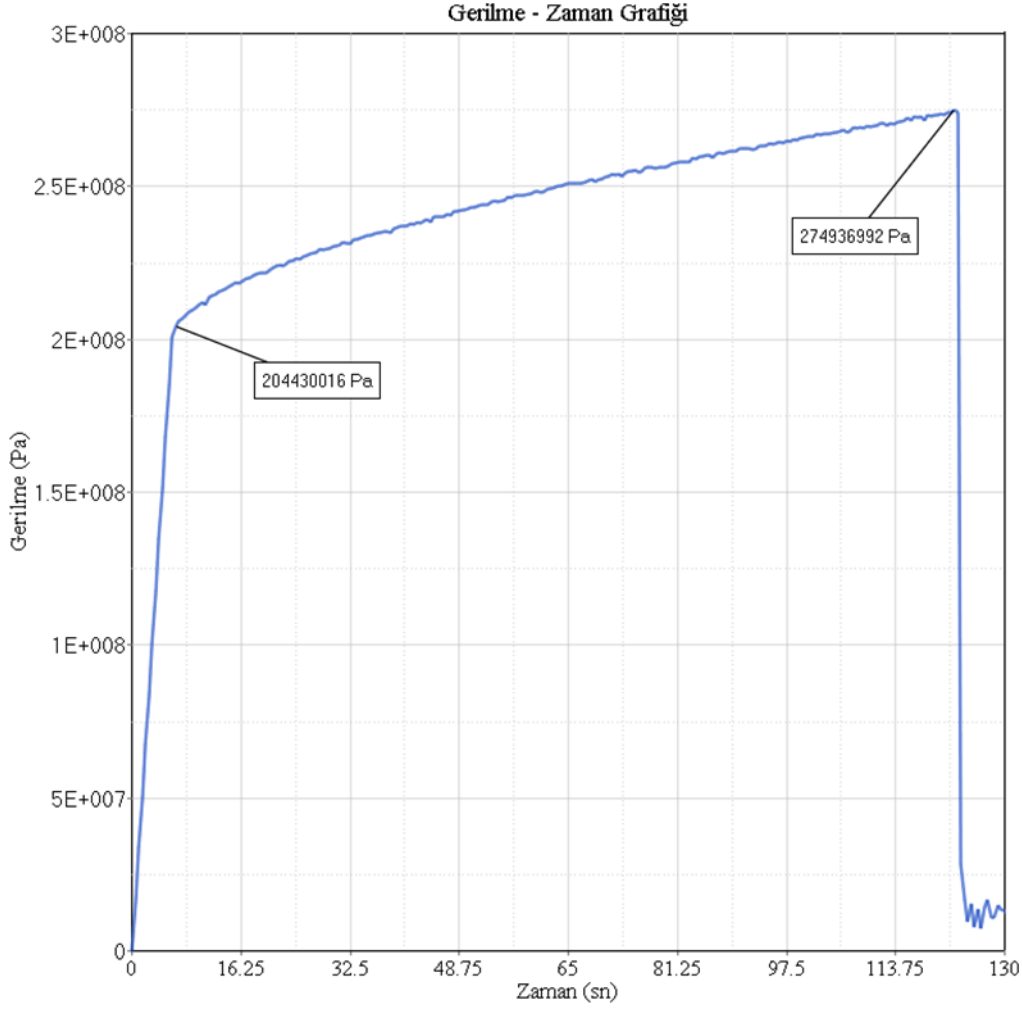
Tablo 4.7 Şekil değişim hızı etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanan hasar modeli katsayıları

D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
0,0396	0,1	-20	0,01

10 mm/dk hız ile yapılmış çekme testinin cihazdan alınmış sonuçları ile simülasyon programında yapılmış simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında akma gerilmesi değerleri benzer tespit edilmiştir. Ancak çekme gerilmesi ve yüzde uzama değerleri arasında fark gözlenmiştir. Bu farkın da döküm prosesindeki değişkenlikten dolayı olabileceği yorumlanmıştır. İlgili çekme testinin, deneysel sonuçlar Tablo 4.8’de, simülasyon sonuçları Şekil 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.8. 10 mm/dk çekme hızıyla yapılmış çekme testi sonuçları

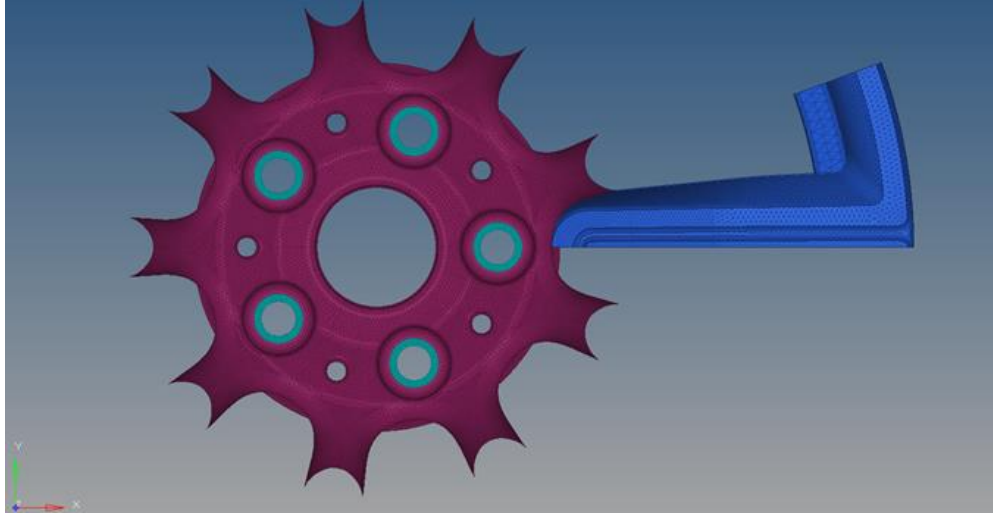
Akma Gerilmesi(Ofset 0,2%) (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	İlk Boy(mm)	Çap(mm)	Çekme Hızı(mm/dk)	Uzama(%)
210,15	261,95	32,51	5	10	2,88



Şekil 4.16. 1 mm/dk hız ve şekil değişim hızı etkisiyle yapılmış simülasyon sonuçları

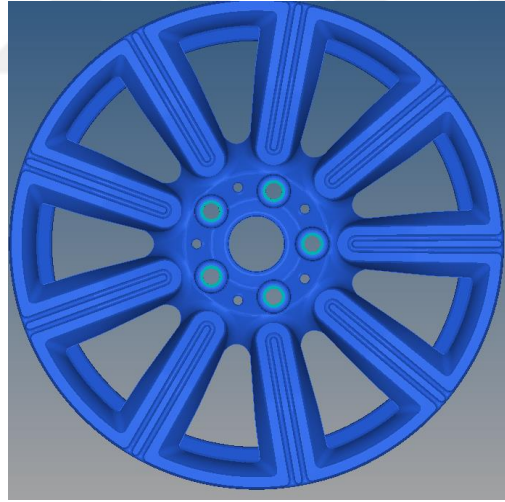
4.2.3. Darbe testi simülasyonu

Jantlar genelde simetrik bir yapı oluşturur. İncelenen modelde feder bölgeleri simetrik bir yapıdadır ancak göbek bölgesi federlere göre simetrik değildir. Bu nedenle jant modelinde göbek bölgesi ve feder bölgesinin ağ yapısı, geometrik olarak birbirinden ayrılmış ve o şekilde hazırlanmıştır. Şekil 4.17'de jant modeli parça görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Darbe testi simülasyonu modeli parça görüntüsü

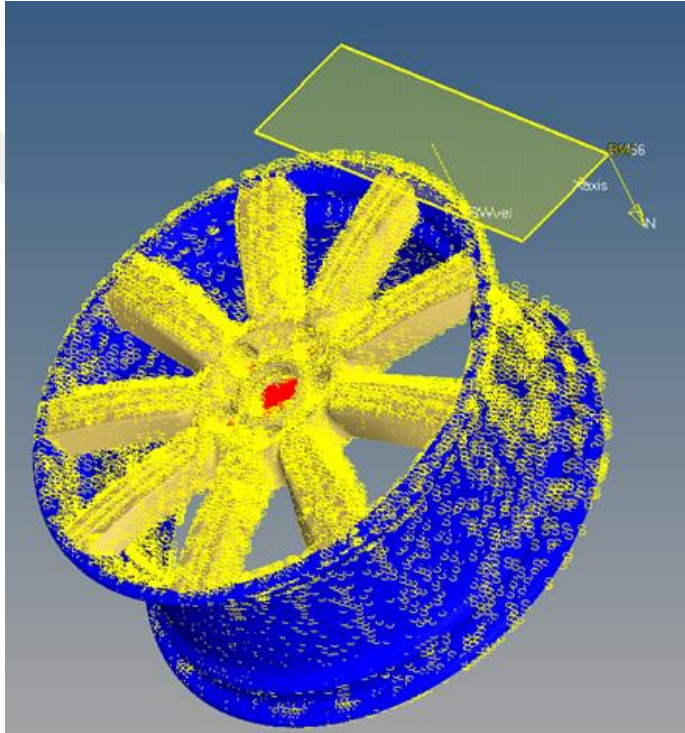
Jant ölçüleri 6J x 17'dir. Model üzerinde, jantın yük taşıyan bölgelerinde 1.9 mm, diğer bölgelerinde ise 2.5 -5 mm arası piramit elemanlar kullanılarak ağ yapısı örülmüştür. Bu model, toplam 1397198 adet üç boyutlu elemandan oluşmaktadır. Şekil 4.18'de jant modelinin komple ağ örülmüş görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Jant modelinin ağ örülmüş komple görüntüsü

Darbe testi simülasyonunda jant, disk ve lastik yüzeyi olarak iki parça halinde incelenmiştir. Bu iki bölgenin döküm prosesi ve katılma kaynaklı malzeme özellikleri birbirinden farklıdır. Kesit kalınlıkları, dolum ve katılma gibi faktörler uzama, akma gerilmesi ve kopma gerilmesi üzerinde etkilidirler. Bu nedenle bu iki bölgeye farklı malzeme özellikleri tanımlanmaktadır.

Modelde; jant, önceki bölümlerde anlatıldığı gibi yer eksenine 13 derece bir açı olacak şekilde ayarlanır ve bijon ve montaj yüzeyinden sabitlenir. Jantın en üst noktasından temas çok yakın pozisyonda rijit bir plaka tanımlanmıştır. Bu plaka gerçek testte 230 mm yükseklikten serbest düşme ile bırakılmaktadır. Ancak simülasyonda serbest düşme tanımlamak çözüm süresini gereksiz uzatacaktır. Bu nedenle simülasyonda rijit plaka çok yakın bir pozisyona konumlandırılır ve ilk hız tanımlanır. Bu ilk hız, 230 mm yükseklikten düşerek, o temas noktasına geldiği andaki potansiyel enerji farkının kinetik enerjiye dönüşmesinden oluşan $2,12 \text{ m/s}^2$ 'dir.



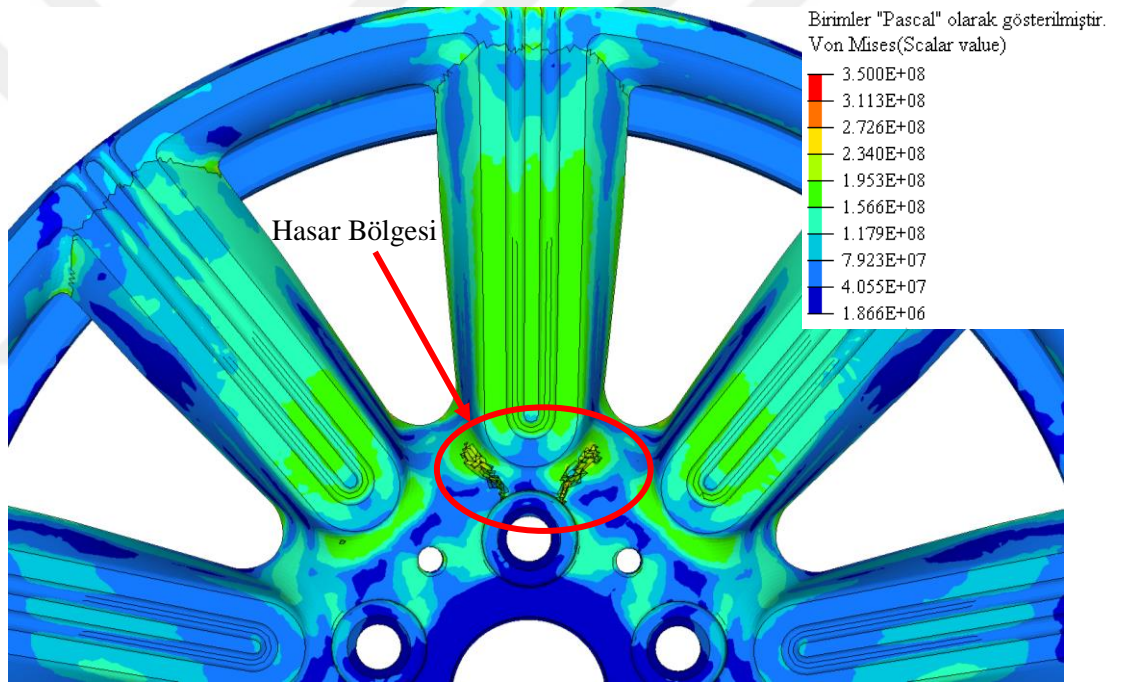
Şekil 4.19. Darbe testi simülasyonu modeli

Darbe testi simülasyonunda kullanılan hasar modeli tanımlamasıyla, jant modelinde oluşan hasar, gözle görülür. Simülasyon sonucunda jant modelinde oluşan kırık veya çatlakın derinliğine göre simülasyon sonucu yorumlanır. Standart bir darbe testi simülasyonunda şekil değişim hızı etkisi göz önünde bulundurulmamaktadır.

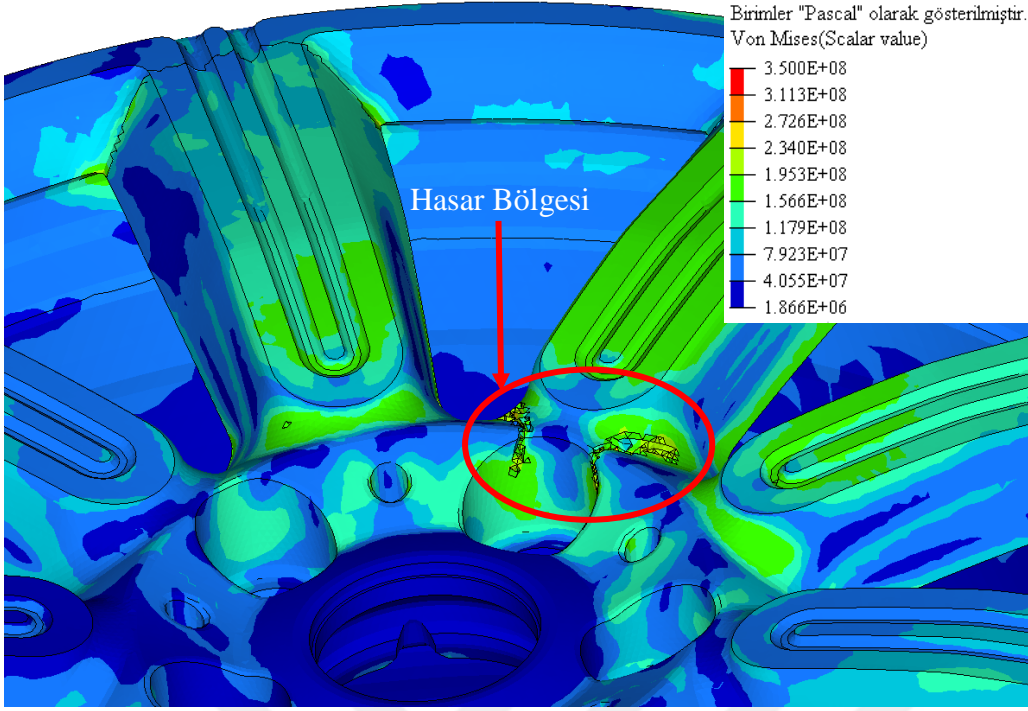
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında, simülasyon sonuçlarıyla gerçek test sonuçları arasında uyumun artırılması amaçlanmıştır. Malzeme modeline şekil değişim hızını etkileyen parametreler katılarak simülasyonlar yapılmıştır. Sınır şartları, deneysel benzer olarak tanımlanmış ve bu testler ile simülasyonlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

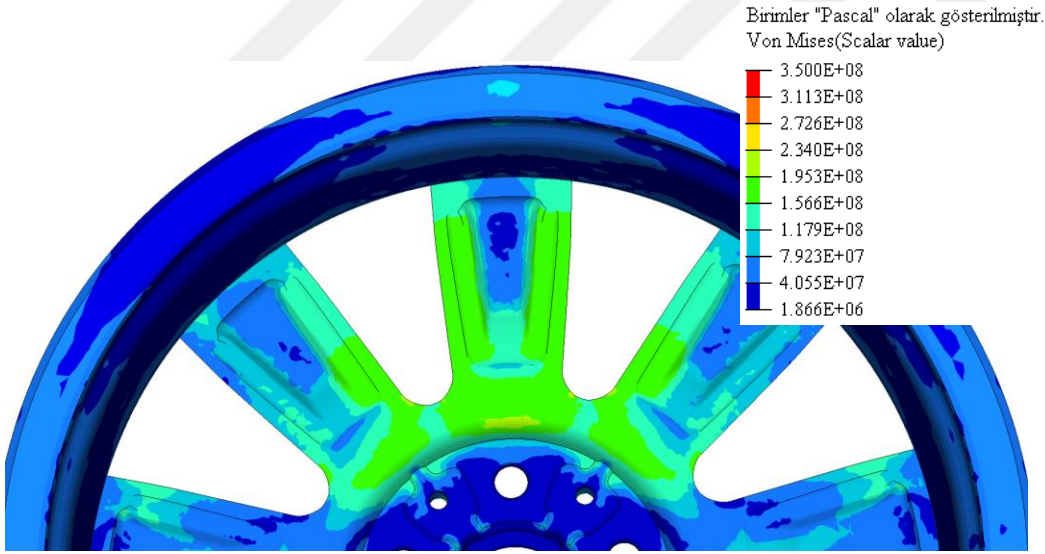
Başlangıçta, şekil değişim hızı etkisi göz ardı edilerek standart bir darbe testi simülasyonu tamamlanmıştır. Bu simülasyon sonucunda jant modelinde derin çatlak gözlemlenmiştir. Bu simülasyon sonucunda Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te görüldüğü üzere derin çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 5.1 Şekil değişim hızı etkisi göz ardı edilmiş darbe testi simülasyonu (ön görünüş)



Şekil 5.2 Şekil değişim hızı etkisi göz ardı edilmiş darbe testi simülasyonu (izometrik görünüş)



Şekil 5.3. Şekil değişim hızı etkisi göz ardı edilmiş darbe testi simülasyonu (arka görünüş)

Şekil 5.1. ve şekil 5.2.'de görüldüğü gibi şekil değişim hızı etkisinin göz ardı edildiği simülasyonlarda, jantın bijon ile feder birleşim noktalarında kırık görülmektedir. Şekil 5.3.'te ise herhangi bir çatlak görünmemektedir. Ön yüzeyde derin çatlak oluşmuş ancak komple ayrılma gerçekleşmemiştir. Kırılan bölgeler yüksek gerilme bölgeleridir. Şekil 4.9'da görüldüğü üzere, şekil değişimi hızının etkisiyle gerilmelerin yükseldiği tespit edilmiştir. Şekil değişim hızının etkisini gösteren parametrenin ihmal edilmesiyle gerçekleştirilen simülasyonda çatlaklar

oluşmuştur. Bir başka deyişle, daha düşük gerilmeler altında hasara uğramış bu modelin gerçek testlerde de hasara uğrayacağı yorumu yapılabilir.

Simülasyon sonuçlarını karşılaştırmak için aynı şartlar altında gerçek darbe testi tamamlanmıştır. Bu testler sonucunda jantlara penetrant muayenesi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar şekil 5.4. ve 5.5.'de gösterilmiştir.

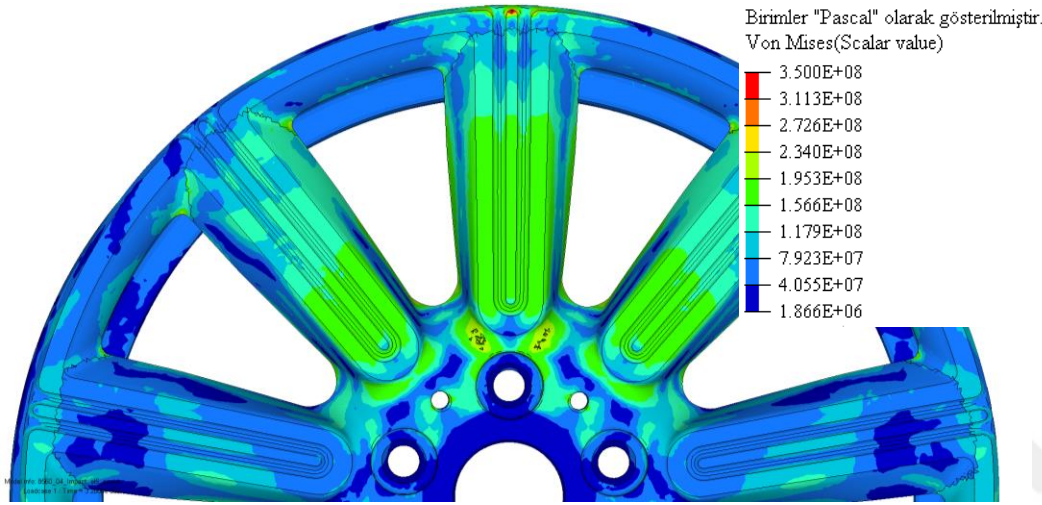


Şekil 5.4. Gerçek darbe testi sonucu ön görünüşü

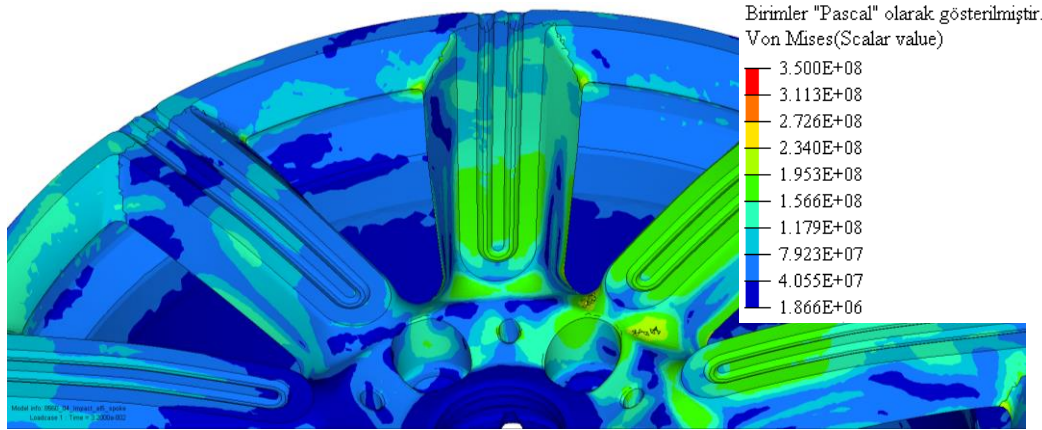


Şekil 5.5. Gerçek darbe testi sonucu arka görünüşü

Şekil 5.4. ve 5.5.'te görüldüğü üzere, yapılan gerçek testler sonucunda jantta her hangi bir kırık veya çatlak gözlenmemiştir. Bu da yapılan simülasyon ile test arasında bir farklılık olduğu yorumunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle simülasyonun geliştirilmesi gerektiği düşünülmüş ve sonuca büyük etkisi olduğu düşünülen malzeme modeline şekil değişim hızı faktörü eklenerek aynı şartlar altında simülasyon tamamlanmıştır. Bu simülasyon sonuçları şekil 5.6 ve 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Şekil değişim hızı etkisi tanımlanmış darbe testi simülasyonu ön görünüşü

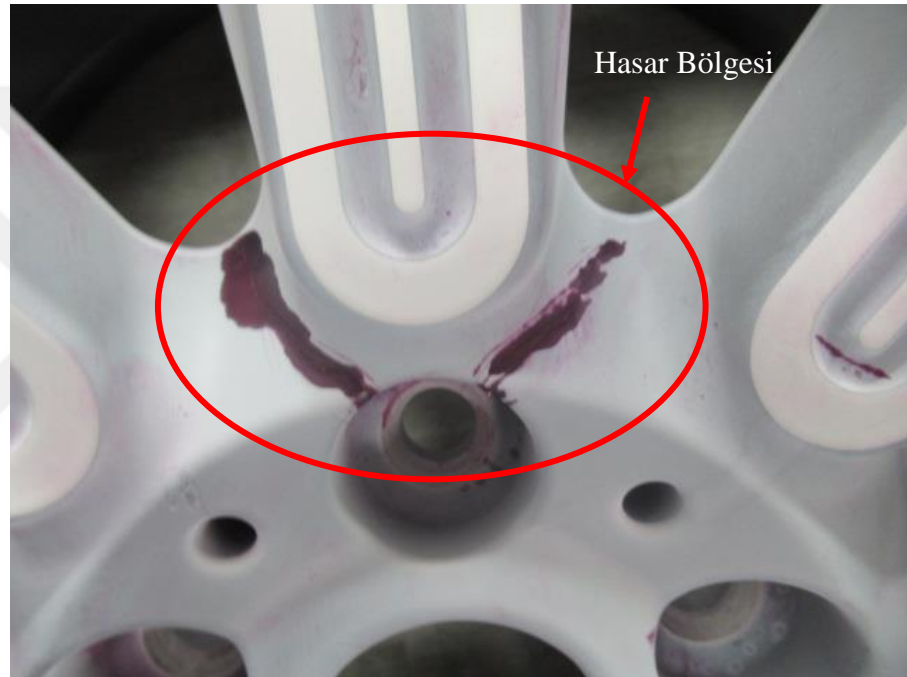


Şekil 5.7. Şekil değişim hızı etkisi tanımlanmış darbe testi simülasyonu izometrik görünüşü

Şekil 5.6 ve şekil 5.7'den, şekil değişim hızı etkisi tanımlandığı simülasyon sonuçlarında herhangi bir kırık görünmemektedir. Sadece bir kaç elemanın, kopma gerilmesi değerinin üzerine çıkması sonucu ihmal edilebilecek düzeyde hasarlar gerçekleşmiştir. Bu hasarlar tekil gerilmelerden oluşmuştur. Bu nedenle, bu simülasyon sonuçları gerçek testte herhangi bir hasar oluşmayacağını ön

görmektedir. Nitekim, Şekil 5.4 ve 5.5'te deneysel sonuç görüntülerine bakıldığında, şekil değişim hızı etkisinin tanımlandığı analizlerde daha gerçekçi sonuçlar elde edildiği anlaşılmaktadır.

Şekil değişim hızı etkisinin göz ardı edildiği, darbe testi simülasyonunda görülen, yüksek gerilme bölgesinin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla tekrar bir gerçek darbe testi yapılmıştır. Bu yapılan darbe testinde, jantta bir kırık oluşturmak ve kırık bölgesini doğrulamak için normal taşınması gerektiği ağırlıktan 80 kg daha yüksek bir ağırlık ile test gerçekleştirilmiştir. Bu testin sonuçları şekil 5.8. ve şekil 5.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Yüksek ağırlık ile yapılan gerçek darbe testi sonucu ön görünüşü



Şekil 5.9. Yüksek ağırlık ile yapılan gerçek darbe testi sonucu arka görünüşü

Şekil 5.8.'de görüldüğü üzere, jantın bijon ve feder birleşim bölgesinde bir kırık oluşmuştur. Şekil 5.9.'de görüldüğü gibi jantın arkasında bir kırık tespit edilmemiştir. Bu test sonuçlarında tespit edilen kırık, şekil 5.1.'de görünen kırık ile aynı bölgede oluşmaktadır. Bu da jantın yüksek gerilme bölgesinin doğru tespit edildiği çıkarımının yapılmasına yardımcı olmaktadır.

Darbe testi simülasyonu iki farklı malzeme ve hasar modeli ile yapılmıştır. Bu iki malzeme ve hasar modelinin tek farkı şekil değişim hızı etkisini tanımlayan parametrelerdir. Bu malzeme ve hasar modelleriyle tamamlanan darbe testi simülasyonlarında, şekil değişim hızı etkisinin tanımlandığı simülasyon sonuçlarıyla gerçek test sonuçlarının daha uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma ile birlikte, darbe testi simülasyonu ile gerçek test arasındaki korelasyon artırılmıştır. Bu sayede tasarım aşamasında daha doğru sonuçlar elde edilip, belki de daha hafif jantların tasarlanması mümkün olacaktır. Otomotiv endüstrisinde, daha doğru simülasyonlar ile birlikte daha hafif jantların tasarlanabilmesi, dolaylı yoldan yakıt tüketimini azaltmaya da fayda sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Baharom, M.I.F.B.**, 2008, Simulation Test of Automotive Alloy Wheel Using Computer Aided Engineering Software, Universiti Malaysia Pahang, 44, p.
- E.Cadoni1, M.Dotta1, D.Forni1, S.Bianchi, and H.Kaufmann**, 2012, Strain rate effects on mechanical properties in tension of aluminium alloys used in armour applications, EDP Sciences, 6, p.
- E.T.R.T.O.**, 2016, Standards Manual, The European Tyre and Rim Technical Organisation
- Fletcher, L. and Pierron, F.**, 2018, An Image-Based Impact Test for the High Strain Rate Tensile Properties of Brittle Materials, EPJ Web of Conferences 183, 02042
- Higashi, K., Mukai, T., Kaizu, K., Tsuchida, S. and Tanimura, S.**, 1991, Strain rate dependence on mechanical properties in some commercial aluminum alloys, 7, p.
- ISO**, 2015, ISO 3006:2015, Road vehicles -- Passenger car wheels for road use -- Test methods, International Organization for Standardization
- ISO**, 2015, ISO 3894:2015, Road vehicles – Wheels/rims for commercial vehicles -- Test methods, International Organization for Standardization
- Ivanov, K.V. and Naydenkin, E.V.**,2014, The effect of strain rate on tensile behavior and deformation mechanisms of ultrafine-grained aluminum, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,11, p.
- Kara, A.,Çubuklusu, H.A., Topçuoğlu, Ö.Y.,ÇE, Ö.B., Aybarç, U. ve Kalender, C.**,2017, Alüminyum alaşımlı jantların tasarım ve ağırlık optimizasyonu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(8), 957-962,s.
- Kumar, R. And Meher, S.**, 2013, Topology optimization of aluminium alloy wheel, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 6, p.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Radioss Theory Manual**, 2017, Large displacement finite element analysis, Altair Engineering, 75, p.
- Society of Automotive Engineers**, 2016, J175-201603, Wheels - Lateral Impact Test Procedure - Road Vehicles, SAE International
- Şirin, U.**, 2017, Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantının Dinamik Testinin Modellenmesi ve Doğrulama Yaklaşımı, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 59, s.
- Tarkun, D.**,2015, AlSi7Mg T6, AlSi7Mg ve AlSi11Mg Alaşımlarının Binek Araç Jant Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,98, s.
- Y. Chen, A.H. Clausen, O.S. Hopperstad and M. Langseth.**,2009, Stress–strain behaviour of aluminium alloys at a wide range of strain rates, International Journal of Solids and Structures, 11, p

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca yaptığım araştırmalarda ve testlerde benden desteğini esirgemeyen Maxion İnci Jant. ailesine, tez çalışmam boyunca yönlendiren ve yeni fikirler veren danışman hocam sayın Dr.Öğr.Üyesi Mahmut PEKEDİS'e, tüm eğitim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen anneme ve babama ve bu süreçte beni sürekli motive eden sevgili eşime teşekkürlerimi borç bilirim.

.... / / 20..

İmzası

Adı-Soyadı

ÖZGEÇMİŞ

Emrah Ayran, 1993 yılında İzmir’de doğmuştur. İlkokul ve lise eğitimini İzmir’de tamamlamıştır. 2011 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nü kazanmış ve 2015 yılında mezun olmuştur.

Yaklaşık 4 yıldır Maxion İnci Jant A.Ş.(Alüminyum)’de çalışmaktadır. Çalışma hayatının ilk 3 yılında Tasarım Mühendisi olarak görevini sürdürmüştür ve 2019 Mart ayından itibaren görevine Kalıp ve Simülasyon Mühendisi olarak görevine devam etmektedir.

