

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULAŞIK MAKİNELERİNDE KULLANILAN AIR
BREAK SOMUNUNUN KIRILMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ



Furkan KILAVUZ

Ekim, 2016

İZMİR

BULAŞIK MAKİNELERİNDE KULLANILAN AIR BREAK SOMUNUNUN KIRILMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı

Furkan KILAVUZ

Ekim, 2016

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FURKAN KILAVUZ, tarafından PROF. DR. BİNNUR GÖREN KIRAL yönetiminde hazırlanan “BULAŞIK MAKİNELERİNDE KULLANILAN AIR BREAK SOMUNUNUN KIRILMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

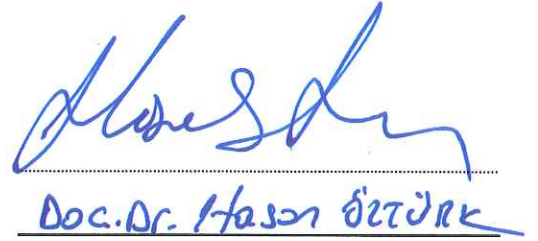


Prof. Dr. Binnur GÖREN KIRAL

Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden bu zamana kadar bana her türlü desteği veren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sn. Prof. Dr. Binnur GÖREN KIRAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım boyunca bilgisini ve tecrübesini esirgemeyen VESTEL Bulaşık AR-GE hidrolik grubu sorumlum Sn. Halil SAYIR'a teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman desteklerini benden esirgemeyen ve hep yanımda olan anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Furkan KILAVUZ

BULAŞIK MAKİNELERİNDE KULLANILAN AIR BREAK SOMUNUNUN KIRILMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZ

Bulaşık makinesinin air break parçasının üç temel görevi vardır. Birincisi air break girişindeki debi metre sayesinde yıkama suyunun ölçümü yapılır. İkinci olarak, air break yıkama suyunu iki kısma böler; birinci kısmı hazneye ve diğer kısmı yumuşatma sistemine gönderilir. Üçüncü olarak, tuz reçine rejenerasyon çevrimi için gerekli olan statik basınç air break haznesine dolan su sayesinde sağlanır. Air break civata ve somun ile bulaşık makinası sacına montajlanır. Montaj sırasında air break somununda çatlak başlangıcı ve gelişimi gözlemlenmektedir. Bu tez çalışmasında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, gerilme ve kırılma analizleri ile air break somununun mekanik davranışı incelenmektedir. Geometrisinin gerilme dağılımı ve kırılma davranışı üzerindeki etkisini incelemek üzere farklı air break somunu tasarımları yapılmış ve mevcut durumla karşılaştırılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bulaşık makinesi, kırılma analizi, çatlak, somun

INVESTIGATION OF FRACTURE BEHAVIOR OF AIR BREAK NUT USED IN DISHWASHER

ABSTRACT

Air break of a dishwasher serves three main purposes. First, it measures the washing water by means of a flowmeter provided in the air break inlet. Second, it divides the washing water into two parts; one part is sent directly to the tub and the other part is sent to the water softening system. Third, static pressure needed in the salt-resin regeneration cycle is provided by the water filled into the air break tank. Air break is assembled to the dishwasher tub using bolt and nut connection. During the assembly, crack initiation and propagation are observed in the air break nut. In this thesis, mechanical behavior of the air break nut is investigated by the stress and fracture analyses using the finite element method. Different designs of air break nut are carried out and compared with the current design in order to examine the effect of its design on the stress distribution and mechanical and fracture behavior.

Keywords: Dishwasher, fracture analysis, crack, nut

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.	ix
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – LİTERATÜR ÖZETİ	4
BÖLÜM ÜÇ – BULAŞIK MAKİNASININ ÇALIŞMA PRENSİBİ VE AIR BREAK SOMUNUNUN İNCELENMESİ	9
3.1 Bulaşık Makinası Çalışma Prensibi	9
3.2 Air Break Somunu Yapısal İncelemesi	10
3.3 Air Break Somunu Kesit Halinin İncelenmesi	12
3.4 Air Break Somunu Montajının İncelenmesi	13
BÖLÜM DÖRT – KIRILMA VE SONLU ELEMANLAR TEORİSİ	16
4.1 Kırılma Mekaniğine Giriş	16
4.2 Malzemede Kırılma Tipleri	17
4.3 Çatlak ve Gerilme Şiddeti Yaklaşımı	18
4.4 Çatlak Ucundaki ve Civarındaki Gerilmeler	19
4.5 Yükleme Çeşitleri ve Gerilme İfadeleri	20
4.5.1 Kırılma Tokluğu	22
4.6 Çatlaklı Sistemlerdeki Gerilmeler	25

4.6.1 Merkezi Çatlak İçeren Çekme Gerilmesine Maruz Sonlu Plaka.....	25
4.6.2 Tek Taraflı Çentikli, Gerilmeye Maruz Plaka	25
4.6.3 Merkezi Eliptik Çatlak İçeren Plaka	26
4.6.4 Yarı Eliptik Çatlak İçeren Plaka	27
4.7 Çatlak Ucundaki Plastik Bölge.....	29
 BÖLÜM BEŞ – GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME VE KIRILMA ANALİZLERİ	33
5.1 Gerilme-Şekil Değiştirme Analizi	33
5.2 Farklı Air Break Somunu Tasarımları	39
5.3 Farklı Air Break Somunu Tasarımlarının Analiz Sonuçları.....	41
5.3.1 Tasarımların Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	47
5.4 Kırılma Analizi	49
 BÖLÜM ALTI- KIRILMA ANALİZİ SONUÇLARI	53
6.1 Mevcut Air-Break Somunu Tasarımı Kırılma Analizi Sonuçları	53
6.2 Şerit Kademe Tasarımı ile Mevcut Air-Break Somununun Kırılma Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması	58
 BÖLÜM YEDİ- SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	62
 KAYNAKLAR	64

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Bulaşık makinası çalışma prensibi.....	9
Şekil 3.2 Air break ve air break somunu.....	10
Şekil 3.3 Air break debimetresi.....	11
Şekil 3.4 Air break su haznesi.....	11
Şekil 3.5 Air break contası.....	12
Şekil 3.6 Air break somununun ¼ kesit görüntüsü	12
Şekil 3.7 Air break somunu ve üç boyutlu katı modeli.....	13
Şekil 3.8 Air break somununun aparat yardımıyla montajlanması	13
Şekil 3.9 Parçaların üç boyutlu montajı ve demontajı	14
Şekil 3.10 Çatlak oluşumunun gözlemlendiği bölge.....	14
Şekil 3.11 Air break somununun montaj sonrası davranışı	15
Şekil 4.1 Air break somunu üç boyutlu sonlu elemanlar modeli	16
Şekil 4.2 (a) Gevrek kırılma.....	18
Şekil 4.2 (b) Sünek kırılma	18
Şekil 4.3 Plaka üzerindeki gerilme dağılımı	19
Şekil 4.4 Çatlak ucundaki gerilme dağılımı	19
Şekil 4.5 Değişik çatlak yükleme türleri	21
Şekil 4.6 (a) Kompakt çekme numunesi	23
Şekil 4.6 (b) Tek kenar çentikli bükme numunesi	23
Şekil 4.6 (c) Merkezde çatlak içeren çekme numunesi.....	23
Şekil 4.7 Kritik çatlak boyunun gerilmeye bağlı değişimi.....	24
Şekil 4.8 Çekmeye maruz merkezi çatlağa sahip plaka	25
Şekil 4.9 Tek tarafı çentikli plaka	26
Şekil 4.10 Eliptik çatlağa sahip plaka	27
Şekil 4.11 Yarı eliptik çatlağa sahip plaka.....	28
Şekil 4.12 Çatlak ucu koordinat sistemi gösterimi ve çatlak ucu plastik bölge.....	29
Şekil 4.13 Çatlak ucunda düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme için plastik bölge şekilleri	31
Şekil 4.14 Çatlak ucundaki plastik bölgenin görüntüsü.....	31

Şekil 4.15 Üç boyutlu çatlak ucu plastik bölgenin görüntüsü.....	32
Şekil 5.1 Air break somunu mevcut tasarımı	33
Şekil 5.2 Ansys workbench 17.0 programında statik yapısal analize giriş.....	34
Şekil 5.3 Air break somununun sonlu elemanlar modeli	35
Şekil 5.4 Air break somununun sınır şartlarının belirlenmesi	35
Şekil 5.5 Air break somununun kesit görüntüsü ve kuvvet uygulaması	36
Şekil 5.6 Air break somununa uygulanan torkun kuvvete indirgenmesi	36
Şekil 5.7 Mevcut tasarım air break somununun toplam gerilme dağılımı	37
Şekil 5.8 Mevcut tasarım air break somundaki yer değiştirme dağılımı.....	38
Şekil 5.9 Mevcut tasarım air break somununun gerilme analizi sonucu ile karşılaştırılması	38
Şekil 5.10 Mevcut tasarım	39
Şekil 5.11 16'lı şerit basamak tasarımı	39
Şekil 5.12 Şerit kademe tasarımı.....	40
Şekil 5.13 8'li şerit basamak tasarımı	40
Şekil 5.14 (a) Sivri köşe yerine radyus tasarımı	41
Şekil 5.14 (b) Sivri köşesiz tasarım	41
Şekil 5.15 8' li şerit kademe toplam gerilme dağılımı	41
Şekil 5.16 8' li şerit kademe toplam yer değiştirme sonucu	42
Şekil 5.17 Sivri kenar yerine radyuslu toplam gerilme dağılımı	42
Şekil 5.18 Sivri kenar yerine radyuslu toplam yer değiştirme sonucu.....	43
Şekil 5.19 Sivri köşesiz tasarım toplam gerilme dağılımı.....	43
Şekil 5.20 Sivri köşesiz tasarım toplam yer değiştirme sonucu.....	44
Şekil 5.21 Şerit kademe tasarımı toplam gerilme dağılımı	44
Şekil 5.22 Şerit kademe tasarımı toplam yer değiştirme sonucu	45
Şekil 5.23 16'lı şerit basamak tasarımı toplam gerilme dağılımı.....	45
Şekil 5.24 16'lı şerit basamak tasarımı toplam yer değiştirme sonucu.....	46
Şekil 5.25 8'li şerit basamak tasarımı toplam gerilme dağılımı.....	46
Şekil 5.26 8'li şerit basamak tasarımı toplam yer değiştirme sonucu.....	47
Şekil 5.27 Farklı tasarımların maksimum gerilme değerlerinin karşılaştırması	48
Şekil 5.28 Farklı tasarımların maksimum yer değiştirme değerleri karşılaştırması..	48
Şekil 5.29 Kırılma analizi için malzeme atama	49

Şekil 5.30 Kırılma analizi için model oluşturma	49
Şekil 5.31 Kırılma analizi için ‘fracture’ sekmesi atama	50
Şekil 5.32 Kırılma analizi için koordinat sistemi atama	51
Şekil 5.33 Kırılma yüzeyinin sonlu elemanlara ayrılması	51
Şekil 5.34 Sonlu elemanlara ayrılan modele kuvvet uygulanması	52
Şekil 6.1 Mevcut tasarım K_I gerilme şiddeti faktörü	53
Şekil 6.2 Mevcut tasarım K_{II} gerilme şiddeti faktörü	53
Şekil 6.3 Mevcut tasarım K_{III} gerilme şiddeti faktörü.....	54
Şekil 6.4 Mevcut tasarım J integral değişimi gösterimi	54
Şekil 6.5 Farklı malzemeler için gerilme şiddeti faktörü sonuçları	56
Şekil 6.6 Mevcut tasarımda F- K_I (kuvvet-gerilme şiddeti faktörü)	57
Şekil 6.7 Şerit kademe tasarımın üç boyutlu modeli	58
Şekil 6.8 Şerit kademe tasarımın F- K_I (kuvvet- gerilme şiddeti faktörü)	59
Şekil 6.9 Şerit kademe tasarımın a- K_I (çatlak boyu- gerilme şiddeti faktörü).....	60

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1 Metal veya alaşımların kırılma tokluğu değerleri.....	23
Tablo 4.2 Seramik veya camların kırılma tokluğu değerleri.....	24
Tablo 4.3 Polimerlerin kırılma tokluğu değerleri	24
Tablo 5.1 PP T40 malzeme özellikleri.....	34
Tablo 5.2 Farklı tasarımlara ait analiz sonuçları.....	47
Tablo 6.1 Farklı malzemeler için mevcut air break somunu kırılma analizleri	55
Tablo 6.2 Mevcut tasarım için farklı kuvvet değerlerine karşı kırılma analizi sonuçları	56
Tablo 6.3 Mevcut tasarımın farklı çatlak boylarına karşı kırılma analizleri.....	57
Tablo 6.4 Şerit kademe tasarımı farklı malzemeler için kırılma analizi sonuçları	58
Tablo 6.5 Şerit kademe tasarımı farklı kuvvet değerlerine karşı kırılma analizi sonuçları	59
Tablo 6.6 Şerit kademe tasarımı farklı çatlak boylarına karşı kırılma analizi sonuçlarının karşılaştırılması.....	60
Tablo 6.7 Mevcut tasarım ile şerit kademe tasarım sonuçlarının karşılaştırılması	61

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Kırılma Mekanikği, katı cisimler mekanikğinin bir dalı olup çatlak içeren cisimlerin mekanik davranışını ile ilgilendir. Uygulanan gerilme, çatlak boyutu ve kırılma tokluğu kırılma mekanikğindeki üç önemli faktördür (Meydanlık, 2012).

Kırılma mekanikğinde, mekanik olarak oluşan gerilme durumları incelenmektedir. Makine elemanı üzerindeki kritik noktalar belirlenerek, bu bölgelerdeki gerilme analizleri yapılmakta ve malzeme geometrisi ve malzeme tipi bu şekilde seçilmektedir. İmal edilen parçalar içinde çeşitli süreksizlikler bulunabilmekte; ayrıca dinamik yükler altında malzeme içerisinde bulunan küçük çatlaklar ilerleyip kırılmaya sebep olmaktadır.

Kırılma, gerilme altında bir malzemenin iki veya daha fazla parçaya ayrılmasıdır. Kırılma olayını çatlak başlaması (crack initiation) ve çatlak ilerlemesi (crack propagation) şeklinde iki kısımda incelenmektedir. Belirli bir gerilme altındaki parçalarda hasar, akma (yield) hasarı veya kırılma (fracture) hasarı ile meydana gelebilmektedir (Meydanlık, 2012).

Akma Hasarı: Akma ile oluşan hasarlar dislokasyon (çizgisel kusur) hareketini engelleyen hatalardır. Örneğini; tane sınırları, dislokasyon ağları ve çökeltiller (Yayla, 2007).

Kırılma Hasarı: Kırılma ile oluşan hasarlarda önemli parametreler ise makroskobik boyuttur. Plastik deformasyondan ziyade yerel gerilme şekil değıştirme alanları mevcuttur. Örneğini; kaynak hataları, malzeme yapısındaki boşluklar ve yorulma çatlakları (Yayla, 2007).

Malzemede kırılma genel olarak iki şekilde meydana gelmektedir. Bunlar sünek kırılma ve gevrek kırılmadır. (Yayla, 2007).

Sünek kırılma (Ductile fracture): Çatlak ilerlemesi öncesinde ve sırasında önemli ölçüde plastik deformasyon ile ifade edilmektedir (Yayla, 2007).

Gevrek kırılma (Brittle fracture): Hızla gelişen bir çatlak ilerlemesi ve mikro deformasyonlar ile ifade edilmektedir. Malzemede gevrek kırılma eğilimi, azalan sıcaklık, artan deformasyon hızı ve üç eksenli gerilme durumunda meydana gelmektedir (Yayla, 2007).

Çatlak davranışının belirlenebilmesi, malzemedeki çatlağın analizi ve bu durumun önlenmesi çalışmaları kırılma mekaniği alanında incelenmektedir. Bir katı cismin tasarımındaki ana hedef, belirli zaman diliminde yapıların veya bileşenlerinin statik veya dinamik yüklere maruz kalmasına rağmen güvenli bir şekilde dayanımının sürekliliğini sağlamak üzere tasarımın yapılmasıdır. Tasarım sürecindeki en önemli sorulardan birisi mekanik yorulmayı oluşturan parametrelerin belirlenmesidir. Genel olarak bunlar şu şekilde ifade edilebilir; Deformasyon ve kırılma, elastik deformasyonun aşılması, elastik deformasyonun aşılması, burkulma (buckling), plastik deformasyon ve kırılma (fracture) (Meydanlık, 2012).

Bulaşık makinasında air break, tuz kabı ile birlikte makinanın su yumuşatma sistemini oluştururlar. Yani bulaşıklar sadece şebekeden gelen sert su ile değil tuz kabı ve airbreak sayesinde sertliği azalan ve şebekeden gelen sert su ile birlikte makinaya verilen su ile yıkanmaktadır. Şebekeden gelen su tuz kabındaki tuz ile karışarak tuz kabının diğer bölmesinde bulunan reçineyi temizler. Reçine ise suyun yumuşamasını sağlayarak, air break tarafından makinanın içerisinde bulunan havuza gönderilmesini sağlar.

Bu tez kapsamında, bulaşık makinası yumuşatma sisteminin air break parçasının küvete montajlanmasını sağlayan somununun montaj hattında sürekli karşılaşılan çatlak oluşumu, ilerlemesi ve nadiren oluşan kırılma durumu incelenmiştir.

Parçadaki hasarlar malzemenin kırılmaya karşı direnç gösterebilme kabiliyeti, diğer bir deyişle kırılma tokluğu parametresine bakılarak incelenmiş ve mevcut durum ile yeni tasarımlar karşılaştırılmıştır.



BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR ÖZETİ

Çalışmanın bu bölümünde, üretimi yapılan parçaların kırılma davranışlarını inceleyen literatürdeki çalışmalar özetlenmiştir. Hasar analizleri ve çatlak oluşum nedenlerini inceleyen çalışmalara yer verilmiştir.

Das ve diğer.(2015), bir forkliftin arka aks şaftının hasar analizleri üzerinde çalışmışlardır. Kırılmanın hatalı ısıtma işlemi sonucunda meydana geldiğini gerçekleştirdikleri testlerle belirlemişlerdir. Bu testler; gözle inceleme, kimyasal analiz, mikro yapısal analiz, FEG-SEM analizleri ve sertlik testleridir.

Mokaberi ve diğer.(2015), çalışmalarında gaz türbin kompresör kanadının merkezkaç ve titreşim yükleri altında oluşan yorulma çatlaklarını incelenmiştir. Tekrarlanan yükleme ve boşaltma kompresör bıçaklarının ömrünü azaltabilir. Bıçak yüzeyi optik ve taramalı elektron mikroskobu ile inceleyerek mikro çatlakları ve zigzag modunda çatlak ilerlemesini gözlemlemişlerdir. Bunun yanında kimyasal analizler, sertlik testleri, çekme testi yapmışlardır. 48000 ile 100000 saat arasında olması gereken ömrün 36000 saatte kalmasının nedenlerini araştırmışlardır. Çevresel şartların, özellikle deniz suyunun korozyon çukuru oluşmasına ve bölgesel gerilme artışına neden olduğu sonucuna varmışlardır.

Garcia ve diğer.(2014), spt “small punch test” sistemi için iki farklı CrMoV çeliği kullanmışlardır. Bunlardan biri sünek biri gevrek olarak seçilmiştir. Deneysel verileri doğrulamak için sayısal model geliştirmişlerdir. SPT (Small Punch Test) iki eksenli gerilme altında malzemenin kırılma davranışının incelendiği bir testtir. CTOD (crack tip opening displacement) yani çatlak ucu açılma miktarı olup çatlak karakteristiğini belirlemek için malzemeye yapılan bir testtir. Çatlak ilerlemesine karşılık malzemenin buna karşı gösterdiği direnci belirlemektedir. SPT ve CTOD karşılaştırılıp SPT’ nin sünek malzemeler için uygun yöntem olduğunu belirtmişlerdir. SPT standart dışı küçük numunelere uygulanan test yöntemi olup (d=8mm ve t=0,5 mm) 1980’lerin başında geliştirmişlerdir. Bu çalışmada küresel

uçlu puch ile malzemeye kuvvet uygulamışlardır. ASTME8M standartlarına göre her bir numune test edilmiş ve plastik bölgede gerilme-şekil değiştirme eğrisinin $\sigma=K\varepsilon^n$ uygunluğu görülmüştür. Kırılma testinin ASTME1820 standartlarına göre 2 mm/dk sabit yer değiştirme oranında gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Ayrıca sayısal analizler için ABAQUS/6.13 programını kullanmışlardır. Minimum eleman boyunu 25 mikrometre ve sürtünme katsayısını 0,1 olarak almışlardır. Gerilme-şekil değiştirme grafiğini inceleyerek K ve n değerlerini tespit etmişlerdir. Small punch testinde çatlak ucu açılma miktarının (δ_{SPT}) deneysel sonuçlarla benzer olduğunu göstermişlerdir.

Yao ve diğer.(2014), havalandırma değirmeninin pulverizasyon fanındaki hata analizlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında fandaki hatanın nedenlerini tanımlamayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada, belirli deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmalar; gözle muayene, metalografik muayene, kimyasal kompozisyon analizi ve mekanik testi kapsamaktadır. Sayısal-deneysel sonuçlara göre hasarın uygun olmayan tasarım ve ağır çalışma şartlarından meydana geldiği belirtilmiştir. VM MB3600 malzemesi kullanılmış olup belirtilen ömrü 10 yıldır. Hasara, dönme mekanizmasındaki dengesizliğin yüksek dönüş hızının ve dolayısıyla yüksek atalet momentinin neden olduğu açıklanmıştır. Önemli hasarlar yüksek maddi kayıplara ve malzeme kaybına neden olabileceği için bir çok hasarlı parça bu çalışmada incelenmiştir. Ön ve arka yüzey köşelerindeki çatlakların benzer olduğu ayrıca incelemeler sonucunda uzun çalışma sürelerinde uzun çatlaklar oluştuğu görülmüştür. Ön ve arka yüzeyler ayrı ayrı incelenmiş, maksimum gerilmenin köşelerde olduğu belirlenmiştir. Kimyasal analizde GB/T 1591-2008 standartları baz alındığı, gerilme testinde ise 8mm çaplı numuneler kullanıldığı ve GB/T 2975-1998 standartlarına göre yapıldığı belirtilmiştir. Mikro yapı testinde belirli bir hasar görülmediği, EN 10293 standardına uygun, Çekme testinin ise analiz sonuçlarını doğruladığını söylemişlerdir. Analizde akma gerilmesinin aşılmasının hasarı oluşturan ilk etmen ve hasarın aşırı yüklemeye bağlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Pavan ve diğer.(2013), çalışmalarında bilyeli değirmen pinyon milindeki hasar analizlerini incelemişlerdir. Çalışmadaki pinyon mili 18CrNiMo7-6 malzemesinden

yapılmış olup 1000 dev/dak hız ile motor ve dişli kutusu arasında tork iletimini sağlamaktadır. Milin 100000 saatten fazla ömür için tasarlandığı ancak 1200 saat çalışma sonunda hasara uğradığı belirlenmiştir. Bu nedenle hasarlı mile metalografik muayene, gözle muayene, kimyasal muayene, sertlik testi uygulamaları yapılmıştır. Öncelikle mili çatlak yerinden kesip motor tarafı ve dişli kutusu tarafı olarak iki parçaya ayırmışlardır. Çatlak yüzeylerini görsel muayeneden sonra stereo mikroskopuyla incelenmişlerdir. Kimyasal analiz ile numunenin üç farklı bölgesini araştırılmışlar ve tüm değerlerin istenilen değerlerde olduğunu rapor etmişlerdir. Sertlik testi ile sertlik bölgesinin yüzeye yakın sertlikte olduğu, bunun herhangi bir sertleştirme işleminin olmadığını gösterdiğini belirtmişlerdir. Daha sonra ASTM standartlarına göre gerilme testi uygulayıp tasarım sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Darbe testi için dişli kutusu tarafından üç ve motor tarafından altı numune incelemişler, numunelerin istenilen değerlere uygun olduğunu belirtmişlerdir. Daha sonra motor ve dişli kutusu taraflarında kırılma yüzeylerini, genellikle gerilme artışı olan kama kanalı bölgelerini incelemişler ve kırılmanın buralardan başladığı tespit etmişlerdir. Çatlağın 430 mikrometre boyunda, metalurjik ve mekanik testlerin pinyon milindeki hasarın aşırı yüklemekten olduğu, ayrıca malzemenin akma gerilmesi istenilen değerden düşük olduğunu görmüşlerdir. Bu durumun kama kanalı köşesinde çatlağın başlamasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Lee ve diğer.(2011), uçak motoru kompresör kanadının aşınarak kırılmasını araştırmışlardır. Askeri uçak motoru kompresöründe birçok çatlamış kanat uçları araştırılması amacıyla hasar analizleri yapmışlardır. Bu çatlakların uçak bakımı sırasında tespit edildiği, motor kompresör kanadının Ti-6Al-4V malzemesinden yapıldığı, kanat ucundaki çatlak aşınma yorulması ve düşük yük çevrimi yorulması altında gelişerek oluştuğunu belirtmişlerdir. Kanattaki gerilme dağılımını doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizleriyle belirlemişlerdir. Gerilme dağılımının maksimum pim çapının etrafında görüldüğü ve santrifüj yükleme ve titreşim sebebiyle çatlak ilerlemesinin meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Vitek (2009), çalışmasında titreşime maruz kompresör kanadının deneysel çatlak ilerlemesi ve hata analizlerini araştırmıştır. Çalışmada helikopter turbo motor

kompresör bıçağının deneysel titreşim testlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Araştırmalar ön çatlakların varlığı hariç seçilmiş hasarsız bıçaklar için yapılmıştır. Yorulma testi süresince çatlak gelişiminin gözlemlendiği, çatlak ilerleme işleminin rezonans durumu için yapıldığı belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu ile titreşim süresince bıçağın gerilme durumu incelenmiştir. Bıçaktaki çatlakların olduğu bölgede en yüksek maksimum asal gerilmeye ulaşıldığı, $\sigma_{\max}=969$ MPa olarak elde edildiği ve $\sigma_{akma}= 828$ MPa olduğunda parçada hasar gözlemlendiği açıklanmıştır.

Pandey (2006), çalışmasında kömür öğütücü dişli kutusunun yorulmaya bağlı hata analizini incelemiştir. Mikroskop incelemeleri ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizlerini gerçekleştirip, ana gövdeden dişlilerin ayrıldığı gözlemlenmiştir. Mikro yapı sertlik gibi testler ile çatlak ilerlemesinin eğilme yorulmasından kaynaklandığını saptamıştır. Ama asıl neden ferrit-karbür kümelenmesi nedeniyle malzemede oluşan düşük sertlik olduğunu belirtip dişli kutusunun ömrünün lokal sertleştirme seviyeleri uygulanarak 55 Rockwell seviyesine çıkarılabileceğini belirtmişlerdir.

Parida ve diğer. (2002), kama yuvasının üst kısmında olan çatlakları incelemişler ve bunun yorulma çatlakları olduğunu gözlemlenmişlerdir. Bu çalışmada, milden kesit alınarak makro ve mikro analiz, sertlik analizi, kimyasal analiz ve ultrasonik muayene yapılmıştır. Sonuç olarak kama kanalında çatlak başlangıç yerinin kanalın üst köşesi olduğu görülmüş, ayrıca hatalı ısıl işlem sonucunda düşük sertlik ve kırılmalı mikro yapı çatlak ilerlemesini kolaylaştırdığı belirlenmiştir.

Das ve diğer.(1998), kömür pulvarizör değirmen milindeki hasar analizlerini incelemişlerdir. 6 cm çaplı A mili ve 7 cm çaplı B milini incelemişlerdir. (EN24AISI/SAE4340 malzemeli miller) Kimyasal analiz ile her iki milin malzemeleri doğrulanmıştır ve kimyasal kompozisyon uygunluğunu görmüşlerdir. Görsel muayenede ise her iki milin de yorulmadan dolayı hasar gördüğü tespit etmişlerdir. Mikro yapısal muayenede segregasyona rastlanmadığını, mekanik testlerde akma gerilmesi ve maksimum gerilmenin istenen değerin biraz altında

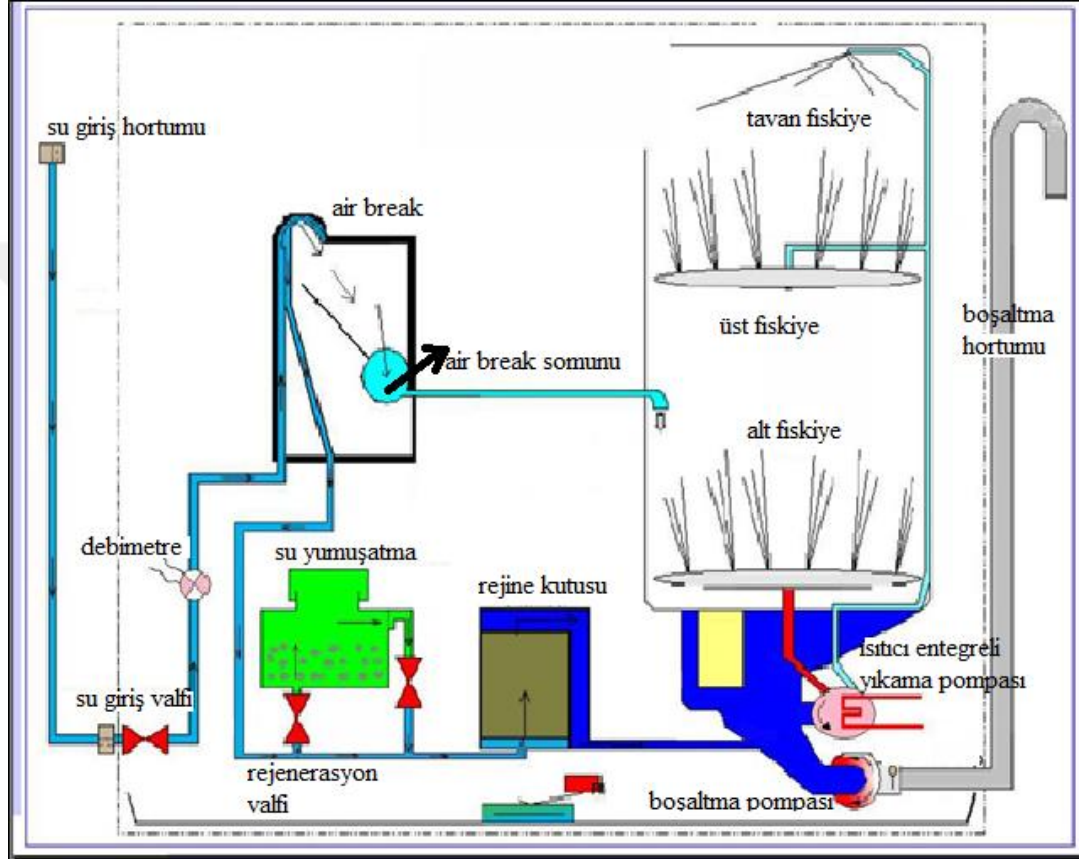
çıkıldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca darbe ve sertlik testi de gerçekleştirip sertlik değerlerinin istenen değerin altında çıktığını gözlemlemişlerdir. Anahtar bölgesinde çatlak oluşmasının öncelikli nedeninin; A milindeki hatalı ısıtım işlem ve istenmeyen mikro yapı nedeniyle düşük tokluk ve sertlik ve B milinde ise yanlış montaj ile mil kasnak arasında sürtünme ve aşınma nedeniyle plastik deformasyonun olduğu sonucuna varmışlardır.

Bu literatür çalışması kapsamında çeşitli hasar analizleri ve bu hasarların nedenleri incelenmiştir. Bu tez kapsamında ise bulaşık makinası üretim hattında kırılma problemiyle karşılaşılan air break somununun kırılma sebepleri incelenecek ve üretimdeki mevcut yükleme ile farklı yüklemeler için gerilme şekil değiştirme analizleri yapılacaktır. Bu analizler farklı tasarımlar için yapılarak karşılaştırma yapılacaktır. Gerilme analizleri Von Mises ve asal gerilmeler için ayrı ayrı yapılacaktır. Ayrıca air break somununda oluşan toplam yer değiştirme farklı tasarımlar için hesaplanacaktır. Ansys Workbench 17.0 programı kullanılarak mevcut ve farklı yüklemelerde oluşan gerilme şiddeti faktörü incelemesi yapılarak malzemenin kırılma tokluğuna karşı kırılma analizleri ve J integral değişimi incelemesi yapılacaktır. Farklı malzemeler için gerilme şiddeti faktörü hesabı yapıp mevcut durum ile karşılaştırma yapılacaktır. Farklı çatlak boylarına karşılık gerilme şiddeti faktörü hesaplanarak malzeme için kritik çatlak boyu, mevcut air break somunu ve yeni tasarlanan air break somunu için hesaplanacaktır. Air break somunu montajı esnasında uygulanabilecek kritik Tork değeri farklı iki tasarım için hesaplanacaktır. Yapılan literatür taramasında Ansys Workbench programı kullanılarak herhangi bir parçaya çatlak tanımlaması yapıp gerilme şiddeti faktörü hesabı ile kırılma tokluğu mukayesesi yapılmadığı görülmüştür.

BÖLÜM ÜÇ

BULAŞIK MAKİNASI ÇALIŞMA PRENSİBİ VE AIR BREAK SOMUNUNUN İNCELENMESİ

3.1 Bulaşık Makinası Çalışma Prensibi

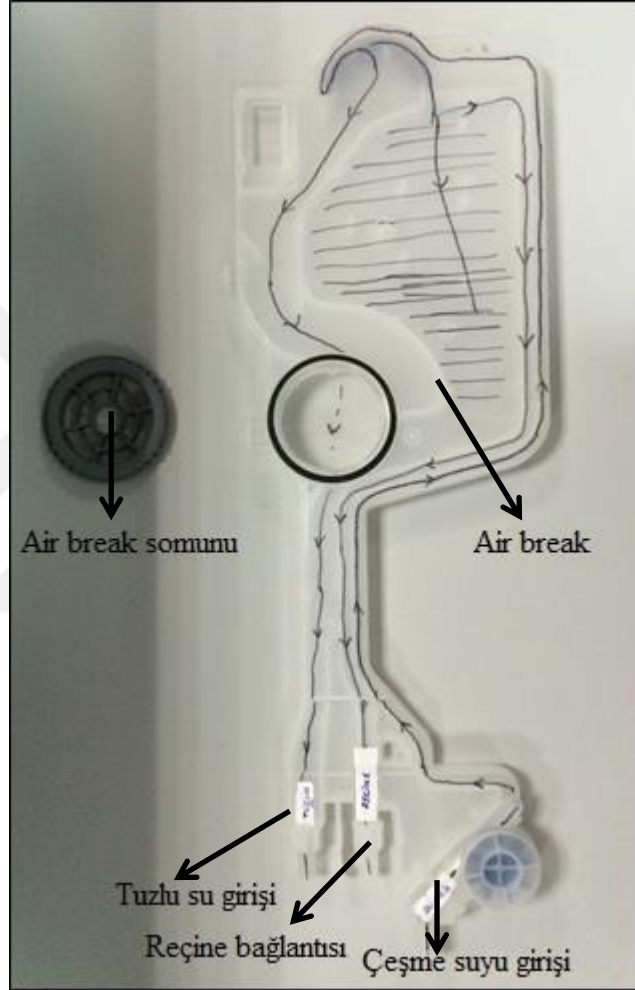


Şekil 3.1 Bulaşık makinası çalışma prensibi

Şekil 3.1’de bulaşık makinasının çalışma prensibi gösterilmektedir. Su giriş hortumu şebeke suyuna bağlanarak makinaya su girişi sağlanır. Air break üzerindeki debimetre sayesinde makinanın hangi programında kaç litre su alacağını debimetre sayesinde belirlenir. Reçinenin temizlenmesi rejenerasyon işlemi sırasında gerçekleşir. Tuzlu su reçineyi temizler ve reçine suyun yumuşamasını sağlar. Yumuşak su ve şebekeden gelen bir miktar sert su karışarak havuza birikir. Yıkama pompası sayesinde alt fiskiye yatağından su alt fiskiyeye ve üst fiskiyeye dağılarak makine yıkamaya başlamış olur.

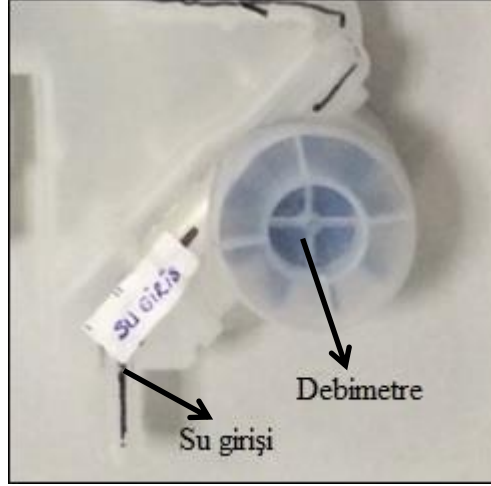
3.2 Air Break Somunu Yapısal İncelemesi

Çalışmanın bu bölümünde, bulaşık makinelerinde kullanılan air break parçasının bulaşık makinasındaki görevi ve bu parçanın somununun yapısal incelenmesi yapılacaktır. Şekil 3.2’de air break ve air break somunu gösterilmiştir.

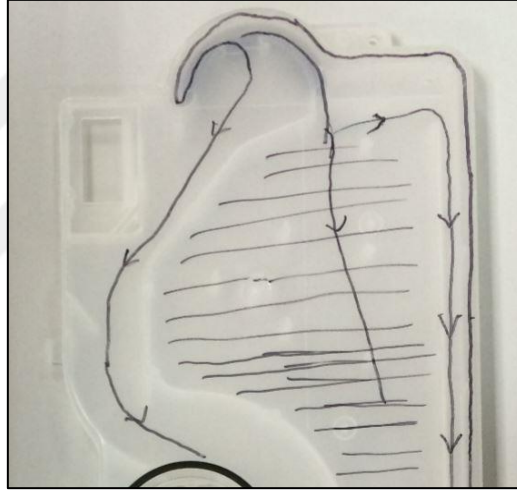


Şekil 3.2 Air break ve air break somunu

Bulaşık makinasında kullanılan air break debimetresi ve pcb kartı, su haznesi, air break contası ve air break somunundan oluşmaktadır. Bu elemanlar sırasıyla Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6’de gösterilmiştir.



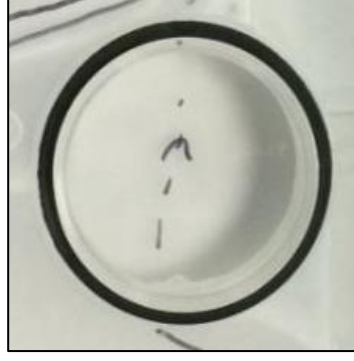
Şekil 3.3 Air break debimetresi



Şekil 3.4 Air break su haznesi

Bulaşık makinasında kullanılan air break su yumuşatma sisteminin önemli bir parçasıdır. Su yumuşatma sistemi su giriş valfi, tuz kabı ve air break parçalarından oluşmaktadır. Su girişi Şekil 3.3'deki debimetreden geçip air break'e geçerek başlar.

Normal yıkama çevriminde; Şekil 3.4'deki air break haznesinden taşan su tuz kabının yan tarafında bulunan reçine haznesinden geçerek makinanın havuzuna girip yıkamada kullanılmaktadır. Rejenerasyon çevriminde; su giriş valfi açılmakta ve air break haznesindeki su basınç sayesinde tuzla karışan tuzlu suyu ittirerek reçineden geçmesini ve makinanın içine gitmesini sağlar. Bu tuzlu su boşaltma pompası tarafından dışarı atılır.



Şekil 3.5 Air break contası

Herhangi bir su kaçağına sebep olmamak için Şekil 3.5'deki air break contası kullanılmaktadır. Rejenerasyon aşamasında amaç reçinenin temizlenmesidir. Reçine de suyun yumuşamasını sağlamaktadır. Böylece makine bulaşıkları yıkarken sadece şebekeden gelen sert su ile değil, yumuşak ve sert suyun karışımı ile bulaşıkları yıkamış olur.

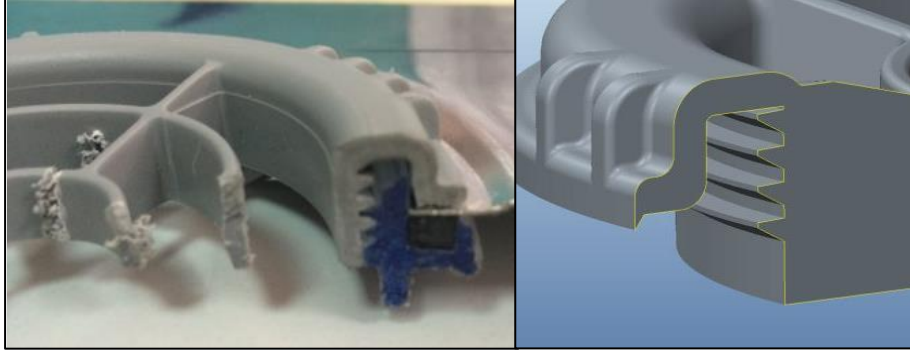
3.3 Air Break Somunu Kesit Halinin İncelenmesi

Parçanın montajlandığı yerde kesiti alınarak gerçekte montajından sonraki yapısı incelenmiştir.



Şekil 3.6 Air break somununun ¼ kesit görüntüsü

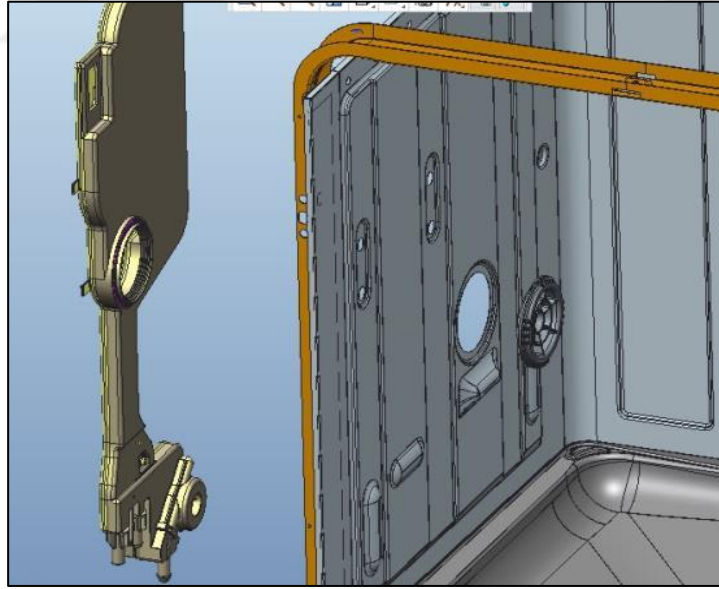
Parçanın montajlandığı yerde kesitinde dişlerin birbirine sıkı geçtiği gözlemlenmiştir. Montajdan sonra dışa doğru sivri kenardan açılma gözlemlenmiştir. (Şekil 3.6) Kırılmanın sivri köşeden başladığı gözlemlenmiştir. (Şekil 3.7)



Şekil 3.7 Air break somunu ve üç boyutlu katı modeli

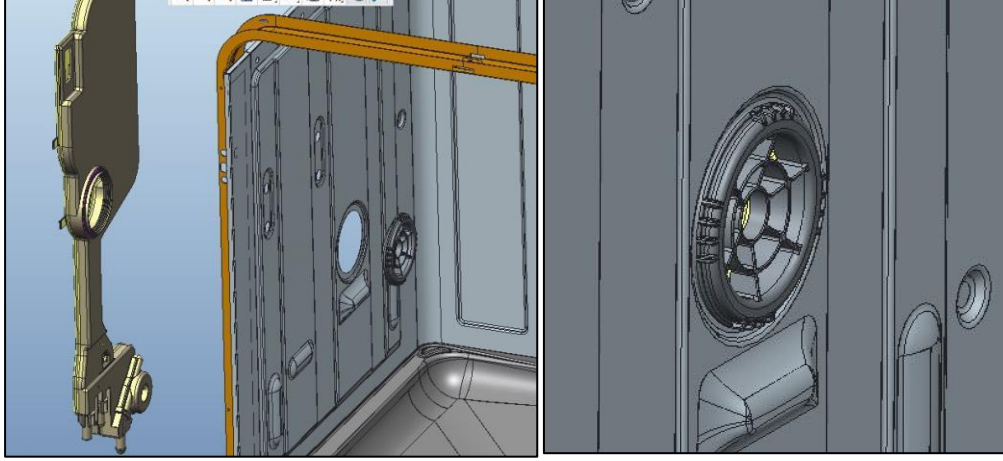
3.4 Air Break Somunu Montajının İncelenmesi

Parçanın montajı motorlu aparat sayesinde operatör tarafından gerçekleştirilmektedir. Operatör, aparatı air break somununa yerleştirdikten sonra yaklaşık 16 N·m tork değerine sahip motorlu somun sıkma aparatı ile somuna dik yönde kuvvet uygulayarak somunun montajını gerçekleştirmektedir. Şekil 3.8’de somun ve aparatın montaj şekli görülmektedir.



Şekil 3.8 Air break somununun aparat yardımı ile montajlanması

Şekil 3.9’da parçaların montajının Creo PTC 2.0 programındaki demontaj ve montaj hali görülmektedir.

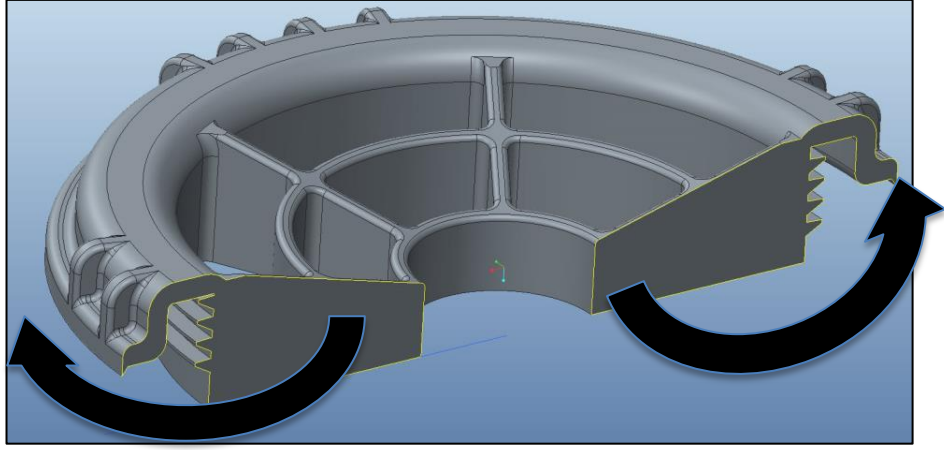


Şekil 3.9 Parçaların üç boyutlu montajı ve demontajı



Şekil 3.10 Çatlak oluşumunun gözlemlendiği bölge

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi parça montajlandıktan sonra parçanın kenarında çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. Çatlağın sivri köşeden başlayarak ilerlediği görülmektedir. Çatlağın gerek operatörün aparatı kullanımından, gerekse tasarımsal problemler nedeniyle oluşabileceği düşüncesi ile mevcut somun tasarımı ve geliştirilmiş yeni tasarımlar yapılarak çatlağın oluşmasının en az seviyeye indirilmesi ya da tamamen engellenmesi bu tez kapsamında incelenecektir.



Şekil 3.11 Air break somununun montaj sonrası davranışı

Şekil 3.11’de montaj sonrası parçadaki mekanik davranış gösterilmiştir. Kesit resminden görüldüğü gibi, küvete montajlandıktan sonra parça kenarından dışa doğru açılmaya zorlanmaktadır. Bu durumu incelemek üzere, sonlu elemanlar analizi için Ansys Workbench programı kullanılarak parçanın bu kırılma yüzeyinde gösterdiği davranış gerilme-şekil değiştirme ve kırılma analizleri gerçekleştirilecektir.

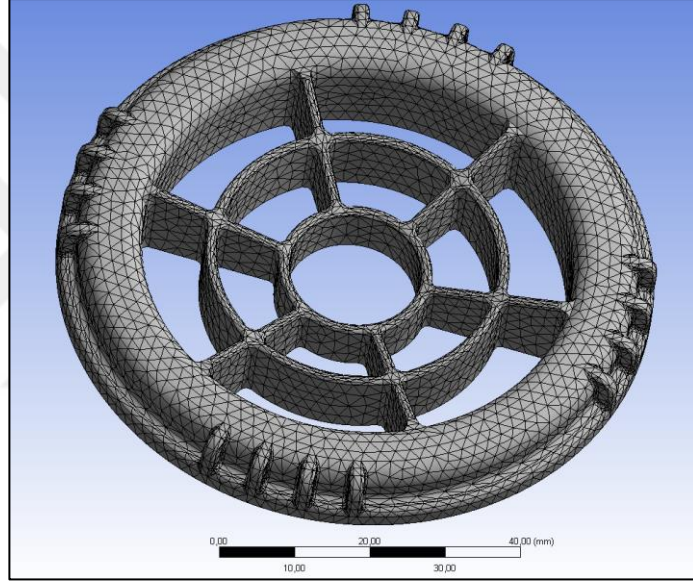
Problemin tanımlanmasıyla başlayan çalışma, problemin kök nedenine inmek için analizlerle pekiştirilecek ve yeni tasarımlar yapılarak statik analizlerle bu tasarımlar karşılaştırılacaktır. Ayrıca parçaya çatlak benzeri kusur tanımlanarak parçanın kırılma davranışı incelenecektir. Parçaya farklı malzeme ve farklı kuvvetler atanarak kırılma analizi ve statik analiz yapılacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır.

BÖLÜM DÖRT

KIRILMA TEORİSİ

4.1 Kırılma Mekaniğine Giriş

Tez çalışmasının bu bölümü, kırılma mekaniği teorisinin temel kavramlarının tanıtılması, air break somun parçasının kırılma davranışını incelemek amacı ile Ansys Workbench programı kullanılarak Şekil 4.1’ de gösterilen üç boyutlu sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve kırılma analizi aşamalarından oluşmaktadır.



Şekil 4.1 Air break somunu üç boyutlu sonlu elemanlar modeli

Malzeme belli bir yüklemeye maruz kalınca malzemede çatlak oluşumu gözlemlenmeye başlar. Çatlak oluşumundan sonra yükleme devam ettikten sonra malzemede kırılma gözlemlenmeye başlar. Malzemede çatlak başladıktan sonra yükleme altında çatlak ilerlemeye devam eder. Çatlak benzeri kusur içermeyen mekanik parçaların tasarımı yapılırken temel olarak parça üzerinde oluşan gerilme durumları incelenmektedir. Makine elemanı üzerindeki kritik noktalar belirlenerek, bu bölgelerdeki gerilme bileşenleri incelenmekte ve parça geometrisi ile malzeme tipi buna bağlı olarak seçilmektedir. İmal edilen parça içerisinde çeşitli süreksizlikler

bulunabilmekte, ayrıca dinamik yükler altında malzeme içerisinde bulunan küçük çatlaklar ilerleyip kırılmaya sebep olmaktadır.

Belirli bir gerilme altındaki parçalarda hasar, akma hasarı veya kırılma hasarı şeklinde meydana gelmektedir.

Akmayla oluşan hasarlarda önemli hatalar, kristal kafesi düzlemlerinin sürekliliğini bozan ve dislokasyon hareketini engelleyen hatalardır. Örnek olarak; tane sınırları, çökelti ve dislokasyonlar ağları verilebilir (Yayla, 2007).

Kırılmayla oluşan hasarlarda önemli olan hatalar ise makroskobik boyuttadır. Plastik deformasyondan ziyade lokal (yerel) gerilme-şekil değiştirme alanları meydana gelmektedir. Örnek olarak kaynak hataları, yorulma çatlakları ve malzeme yapısındaki boşluklar verilebilir (Yayla, 2007).

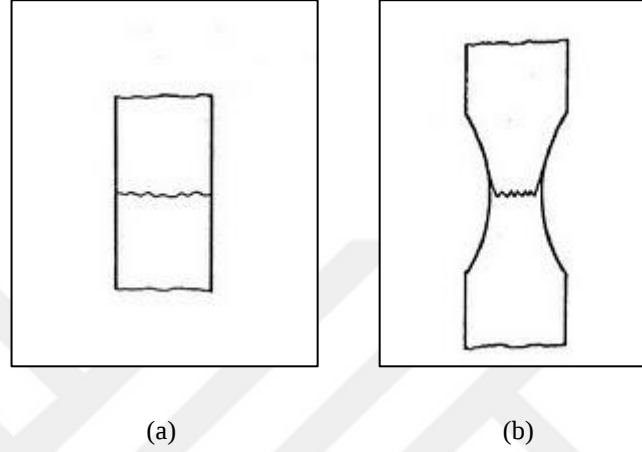
4.2 Malzemede Kırılma Tipleri

Malzemelerde yükleme altında sünek ve gevrek kırılma olmak üzere iki kırılma şekli görülmektedir.

Sünek kırılma, çatlağın oluşması ve büyümesinde önemli ölçüde kalıcı şekil değişiminin görüldüğü kırılma türüdür. Çatlak, boşlukların oluşması ve birleşmesi ile meydana gelir ve yavaşça ilerler. Kırılma yüzeyi mat ve lifli bir görünümdedir (Dikicioğlu, 2011).

Gevrek kırılmada ise çatlak büyük bir hızla ilerler ve kalıcı şekil değişimi önemsiz düzeylerde olur. Ayrılmalar çok taneli bir yapıda her tanenin en düşük kohezyon dayanımlı kristalografik düzleminde oluşur ve kırılma yüzeyi parlak ve taneli bir görünümdedir. Gevrek kırılmanın diğer bir türü de taneler arası kırılma ve tane sınırlarının kırılma bir yapıda olması durumunda görülür. Gevrek kırılmanın oluşmasına sebep olacak etkenler şu şekilde sıralanabilir; Çentik durumu, yüksek hızdaki zorlanmalar ve düşük sıcaklıklar (Dikicioğlu, 2011).

Gevrek kırılma önceden farkına varılmasına imkan olmadan ve büyük bir hızla gerçekleştiğinden en tehlikeli kırılma türüdür. Geçmişte bu tip oluşan hasarların çoğu facia ile sonuçlanmış; ancak o yıllarda bu tip hatalar mühendislik tasarım hatası olarak görülmüştür. Sonraki yıllarda kırılma mekaniği bilimi sayesinde kırılma hataları farkındalığı oluşmuştur (Dikicioğlu, 2011).



Şekil 4.2 (a) Gevrek kırılma (b) Sünek kırılma (Dikicioğlu, 2011)

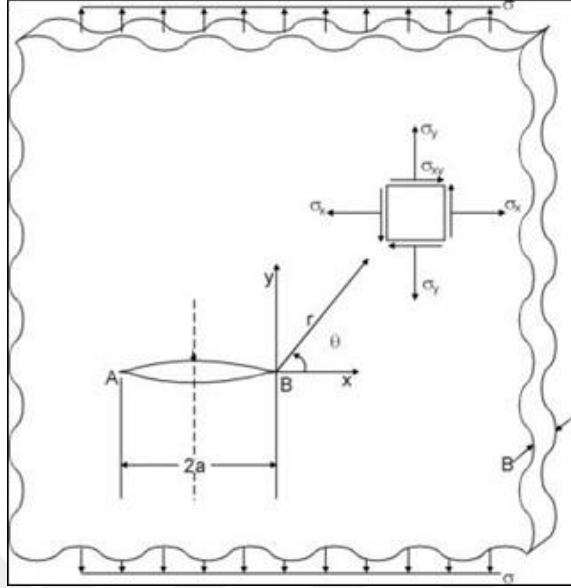
Şekil 4.2’ de sünek ve gevrek kırılma davranışlarının kopma bölgeleri gösterilmektedir. Gevrek malzemeler fazla plastik şekil değiştirmeden çekme kuvvetine dik bir kesitten koparlar. Sünek malzemelerde ise gözle görülebilen bir kalıcı şekil değişiminden sonra kırılma meydana gelir. Şekil 4.2 (a) ile gösterilen gevrek malzemenin kırılma şeklidir. Büzülme yoktur. Şekil 4.2 (b) ile gösterilen sünek malzemenin kırılma şeklidir. Büzülme mevcuttur (Dikicioğlu, 2011).

Seramikler ve camlar gevrek kırılma, metaller ve polimerler sünek kırılma davranışı gösterir.

4.3 Çatlak ve Gerilme Şiddeti Yaklaşımı

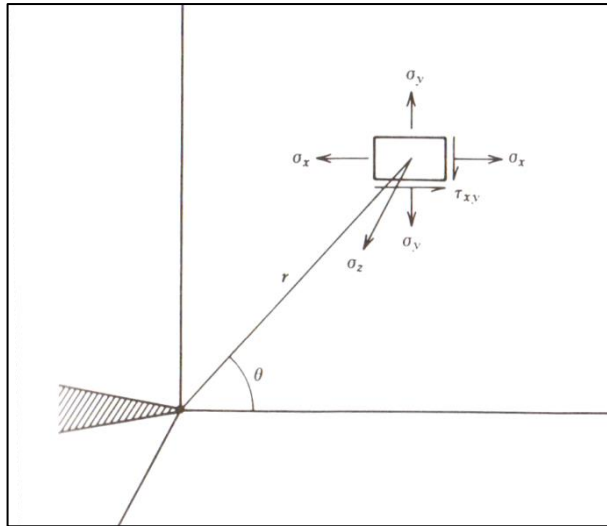
Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, $2a$ uzunluğunda çatlak içeren bir plaka çeki yükü altında gerilmeye maruz bırakılıyor. Normal gerilme bileşeni σ ve birimi MPa olan bu malzemenin kalınlığı B ve birimi ise mm’dir. Çatlak içeren bu plakanın çatlak ucundaki gerilme şiddeti faktörü K_I olup birimi $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ’dir (Meydanlık, 2012).

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (4.1)$$



Şekil 4.3 Plaka üzerindeki gerilme dağılımı

4.4 Çatlak Ucundaki ve Civarındaki Gerilmeler



Şekil 4.4 Çatlak ucundaki gerilme dağılımı

Çatlağın büyümesi bakımından çatlak çevresindeki gerilmelerin durumu önemlidir. Sonsuz büyüklükteki bir levhada düzlem gerilme halinde Şekil 4.4’de

verilen koordinatlarla herhangi bir noktadaki gerilmeler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\sigma_X = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (4.2)$$

(4.2) denklemi çatlakla paralel x eksenindeki gerilme ifadesidir (Mohammadi, 2012).

$$\sigma_Y = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (4.3)$$

(4.3) denklemi çatlakla dik yöndeki y eksenindeki gerilme ifadesidir (Mohammadi, 2012).

$$\tau_{XY} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left[\cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right] \quad (4.4)$$

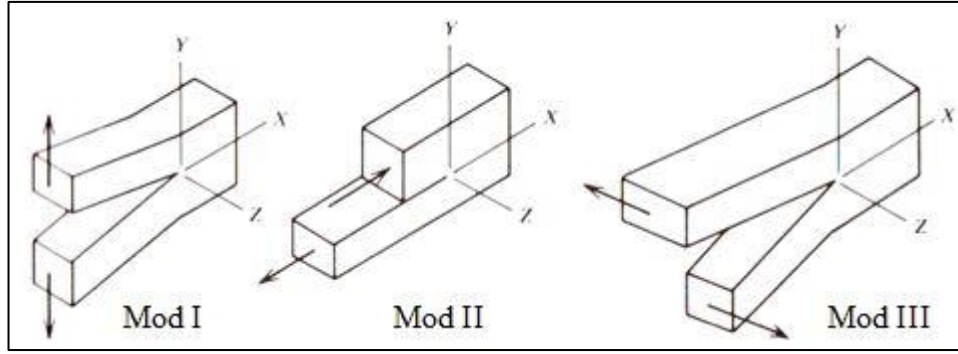
(4.4) denklemi ise kayma gerilmesini ifade etmektedir (Mohammadi, 2012).

Yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi gerilme ifadeleri K gerilme şiddeti faktörüne bağlı olarak ifade edilmektedir.

4.5 Yükleme Çeşitleri ve Gerilme İfadeleri

Her çeşit yüklemelerde $1/\sqrt{r}$ çatlak ucunda tekillik meydana getirir. K_I (gerilme şiddeti faktörü ve f_{ij} (boyutsuz şekil düzeltme faktörü) yükleme tipine ve geometriye bağlıdır (Meydanlık, 2012).

Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 olmak üzere farklı yükleme türleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Değişik çatlak yükleme türleri

Merkezde çatlak içeren ve çekme gerilmesine maruz kalmış bir plaka için Mod I gerilmesi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmekte olup çekme modu olarak adlandırılır.

$$\lim_{r \rightarrow 0} \sigma_{ij}^I = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}^I(\theta) \quad (4.5)$$

Merkezde çatlak içeren ve kayma gerilmesine maruz kalmış bir plaka için Mod II gerilmesi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmekte olup düzlem içi kayma modu olarak adlandırılır.

$$\lim_{r \rightarrow 0} \sigma_{ij}^{II} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}^{II}(\theta) \quad (4.6)$$

Merkezde çatlak içeren ve kayma gerilmesine maruz kalmış bir plaka Mod II'den farklı olarak düzlemden dışarıya doğru zorlanıyorsa bu Mod III gerilmesi düzlem dışı kayma modu olarak adlandırılır ve aşağıdaki bağıntı ile Mod III gerilmesi ifade edilmektedir.

$$\lim_{r \rightarrow 0} \sigma_{ij}^{III} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}^{III}(\theta) \quad (4.7)$$

Çatlak ilerlemesi, yükleme durumuna bağlı olarak, bu modların sadece birisiyle verilen türde olabileceği gibi farklı modların birleşimi şeklinde de ortaya çıkabilir. Bunlardan Mod I, çekme altında olduğundan teknik olarak en önemli olandır. Çünkü bu tür çatlak ilerlemesi en sık rastlanan ve en fazla hasara neden olan çatlak ilerleme modudur.

4.5.1 Kırılma Tokluğu

Malzemenin ani zorlamaları karşı dayanımını “kırılma tokluğu” denilen ifade açıklar. K_{IC} düzlemsel uzama kırılma tokluğu olarak ifade edilir. K_{IC} azaldıkça malzemenin gevrek kırılma eğilimi artar. ‘Çatlak ucundaki gerilme şiddeti faktörü’ K_I olup aşağıdaki formülasyon ile hesaplanmaktadır (Meydanlık, 2012).

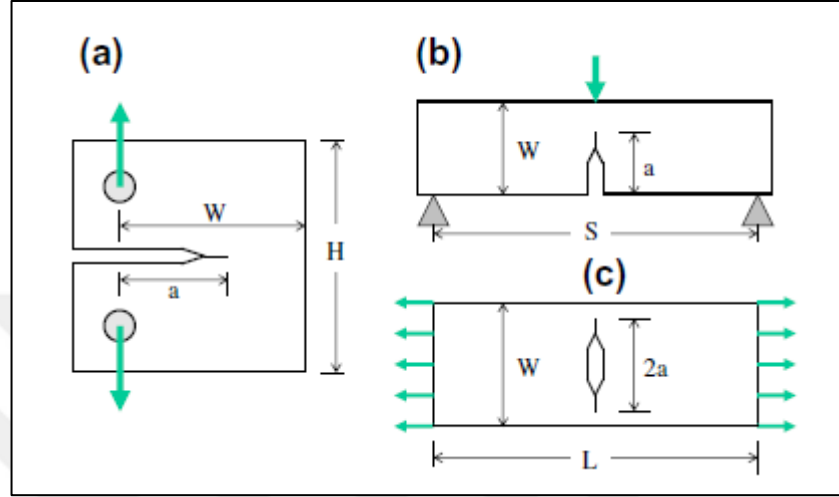
$$K_I = \beta \sigma \sqrt{\pi a}, \beta: \text{Şekil Faktörü}, \sigma: \text{Çekme Gerilmesi}, a: \text{Çatlak Boyu}$$

Parçanın tasarımıda herhangi bir zorlama altında ani ve gevrek kırılmaması için $K_I \leq K_{IC}$ olmalıdır. K değeri, K_{IC} değerini aştığında çatlak büyümeye başlar. Düzlemsel uzama durumu en kritik durumdur. Düzlemsel gerilme durumuna yaklaşıldıkça kırılma tokluğu artar.

K_{IC} değeri gerilme durumunun düzlem gerilme veya düzlem şekil değiştirme olması ile de önemli derecede etkilenir. Düzlem gerilme, bir noktadaki gerilmelerin tümünün belirli bir düzlem içinde kalması halidir. Örneğin; ince bir levhanın levha düzlemindeki kuvvetlerle yüklenmesi halinde levhanın her iki yüzünde bunlara dik yöndeki gerilme bileşeni sıfırdır ve levha içinde de bu bileşenin sıfır olduğu kabul edilir. Düzlem şekil değiştirme ise bir levhanın çok kalın olması durumunda levha yüzeyine paralel tüm kesitlerin aynı koşullar altında olduğu ve levha düzlemine dik doğrultuda şekil değişimin sıfır olduğu kabul edilebilir. Düzlem şekil değiştirme hali kırılma bakımından daha kritik bir durumdur ve K_{IC} değerleri bu koşullar altında en düşük düzeydedir. Bu nedenle K_{IC} değerleri düzlem şekil değiştirme halinde hesaplanır. Deneysel olarak hesaplanan K_{IC} değerlerinde aynı malzeme için sabit değerler elde edilir. Bu nedenle düzlem şekil değiştirme kırılma tokluğu olarak adlandırılan K_{IC} karakteristik bir malzeme özelliği olarak kabul edilerek, kırılma mekaniği yardımıyla yapılan tasarımlarda kullanılmaktadır (Meydanlık, 2012).

Kırılma tokluğu genel olarak çatlak genişlemesi ile malzeme direnci ölçümü için genel bir terim olarak kullanılmaktadır. Kırılma tokluğu kırılma mekaniği testleri sonuçlarıyla belirlenir. Kırılma mekaniği metodu uygulamasında yapısal bütünlük değerlendirmesi yapmak için kırılma tokluğu ölçümü ve standartı büyük rol oynar.

Kırılma tokluğu değerleri otomotiv, gaz ve boru hatları, uçak yapıları gibi tipik mühendislik yapılarının malzeme karakterizasyonu performans değerlendirme ve kalite güvencesi olarak hizmet verebilir. ASTM E 1823 standardına göre malzemenin kırılma tokluğu deneysel olarak hesaplanabilir.



Şekil 4.6 (a) Kompakt çekme numunesi (b) Tek kenar çentikli bükme numunesi (c) Merkezde çatlak içeren çekme numunesi

Şekil 4.6’da kırılma testlerinde sıkça kullanılan kırılma test numuneleri görülmektedir. (a) ile gösterilen şekil kompakt çekme numunesi olup plakanın kenarından W mesafe uzaklıkta parça ucunda çatlak içeren bir plakadır. (b) ile gösterilen şekil tek kenar çentikli bükme örneğini gösteren bir numunedir. (c) ile gösterilen şekil merkezde çatlak içeren çekme numunesi olup çatlak boyu 2a uzunluktadır. Kırılma testleri sonucunda farklı malzemelere ait kırılma tokluğu değerleri aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Metal veya alaşımların kırılma tokluğu değerleri

Metal veya Alaşımlar	$K_{IC} \text{ (MPa}\sqrt{m}\text{)}$
Yumuşak Çelik	140
Orta Karbonlu Çelik	51
Rotor Çelikler	204-214
Basıncılı Kap Çelikleri (HY130)	170
Yüksek Mukavemetli Çelikler	50-154
Dökme Demir	6-20
Saf Sünek Metaller	100-350
Aluminyum Alaşımları	23-45
Titanyum Alaşımları	53-115

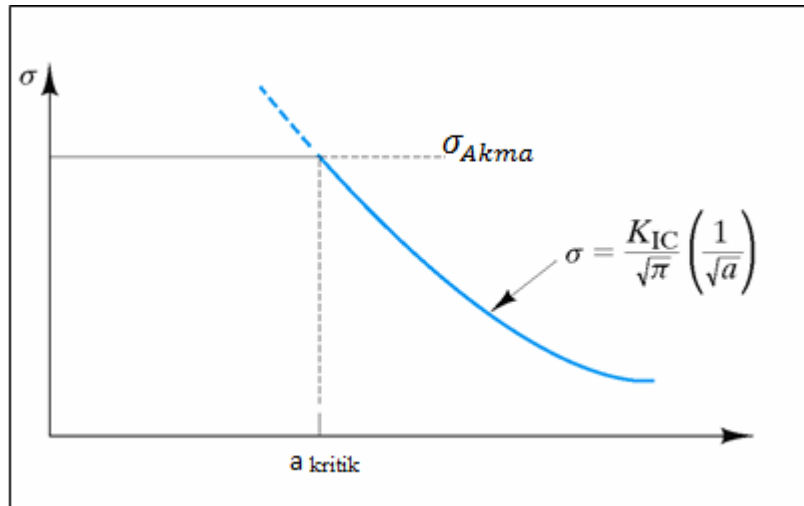
Tablo 4.2 Seramik veya camların kırılma tokluğu değerleri

Seramik veya Camlar	$K_{IC} \text{ (MPa}\sqrt{m} \text{)}$
Kısmen Stabilize Zirkonyum	9
Porselen	1
Alümin	3-5
Magnezyum Oksit	3
Çimento	0,2
Soda Camı	0,7-0,8

Tablo 4.3 Polimerlerin kırılma tokluğu değerleri

Polimer	$K_{IC} \text{ (MPa}\sqrt{m} \text{)}$
Polietilen (Yüksek Yoğunluk)	2
Polietilen (Düşük Yoğunluk)	1
Polipropilen(PP)	3
Polisitren	2
Polyester	0,5
Poliamid (Nylon 66)	3
ABS	4
Polikarbonat	1,0-2,6
Epoksi	0,3-0,5

Yapıda yükleme altında ani kırılma olmaması için; Çatlak boyunun kritik değerden küçük olması, gerilmenin kritik gerilme (kritik çatlak boyunda gevrek kırılmaya sebep olan gerilme) değerinden daha küçük olması gerekir (Dikicioğlu, 2012).



Şekil 4.7 Kritik çatlak boyunun gerilmeye bağlı değişimi (Alsaran, 2014)

Şekil 4.7’de kritik çatlak boyunun gerilmeye bağlı değişim grafiği gösterilmektedir. Kritik çatlak boyu arttıkça gevrek kırılma oluşma ihtimali de

artacaktır. Kritik çatlak boyu azaldıkça akma hasarı ile sünek kırılma oluşma ihtimali artacaktır.

Merkezde çatlak içeren ve Mod I gerilmesi en genel anlamda aşağıdaki gibi ifade edilir. $f_{ij}(\theta)$ boyutsuz şekil düzeltme faktörü olup çatlak geometrisine göre değişmektedir (Meydanlık, 2012).

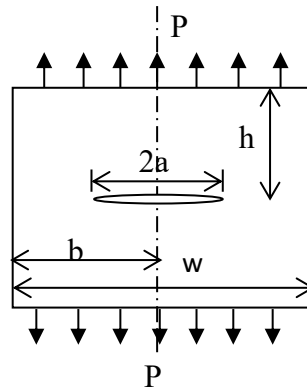
4.6 Çatlaklı Sistemlerdeki Gerilmeler

Merkezde çatlak içeren ve Mod I gerilmesi en genel anlamda aşağıdaki gibi ifade edilir. $f_{ij}(\theta)$ boyutsuz şekil düzeltme faktörü olup çatlak geometrisine göre değişmektedir. Merkez çatlak için $f_{ij}(\theta)$ aynı zamanda β parametresiyle ifade edilmektedir (Meydanlık, 2012).

$$\sigma_{ij}^I = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}^I(\theta) \quad (4.8)$$

$$K_I = \sigma^\infty \sqrt{\pi a} f\left(\frac{a}{r}\right) \quad (4.9)$$

4.6.1 Merkezi Çatlak İçeren Çekme Gerilmesine Maruz Sonlu Plaka



Şekil 4.8 Çekmeye maruz merkezi çatlağa sahip plaka

Şekil 4.8’de çekmeye maruz merkezi çatlakla sahip plaka gösterilmiştir. $2a$ uzunluğunda çatlak boyu, w plaka boyu olup P kuvvetiyle çekmeye maruz kalan bu sonlu plaka için gerilme şiddeti faktörü aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$K = \beta \sigma \sqrt{\pi a} \quad (4.10)$$

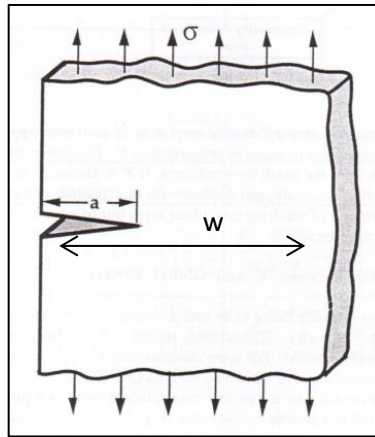
Merkezi çatlak içeren sonlu plaka için boyutsuz şekil değiştirme faktörü ifadeleri aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilmiştir.

$$\beta = 1 + 0,256 \left(\frac{a}{w} \right) - 1,152 \left(\frac{a}{w} \right)^2 + 12,2 \left(\frac{a}{w} \right)^3 \quad (4.11)$$

$$\beta = \sqrt{\sec \frac{\pi a}{w}} \quad (4.12)$$

Merkezi çatlak içeren sonsuz plaka için w sonsuz bir büyüklük olacağı için w sonsuza giderken boyutsuz şekil değiştirme faktörü 1 olacaktır. Yani $\beta=1$ olacaktır.

4.6.2 Tek Taraflı Çentikli, Gerilmeye Maruz Plaka



Şekil 4.9 Tek taraflı çentikli plaka (Meydanlık, 2012)

Şekil 4.9’da çekmeye maruz tek taraflı çentikli gerilmeye maruz plaka a uzunluğunda çatlak boyu, w plaka boyu olup gerilme şiddeti faktörü aşağıdaki bağıntıda ifade edilmiştir (Meydanlık, 2012).

Boyutsuz şekil değiştirme faktörü ise aşağıdaki bağıntıda açıklanmaktadır.

$$\beta = 1,12 - 0,23 \left(\frac{a}{w}\right) + 10,56 \left(\frac{a}{w}\right)^2 - 21,74 \left(\frac{a}{w}\right)^3 + 30,42 \left(\frac{a}{w}\right)^4 \quad (4.13)$$

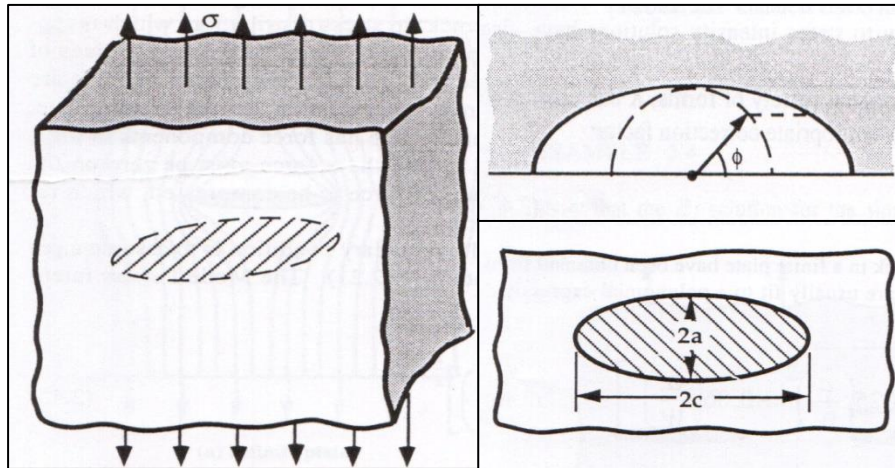
- a) Çok küçük çatlaklar için $a \ll w$ yarı sonsuz plaka $\beta = 1,12$ ’ dir.
- b) $\frac{L}{w} = 2$ oranı sağlandığında yukarıda formülde verilen β değeri kullanılabilir.

Çentik çift taraflı olursa;

$$\beta = 1,12 + 0,43 \left(\frac{a}{w}\right) - 4,79 \left(\frac{a}{w}\right)^2 + 15,46 \left(\frac{a}{w}\right)^3 \quad (4.14)$$

- a) Çok küçük çatlaklar için $a \ll w$ yarı sonsuz plaka $\beta = 1,12$.
- b) $\beta = 1,12 + 0,43 \left(\frac{a}{w}\right) - 4,79 \left(\frac{a}{w}\right)^2 + 15,46 \left(\frac{a}{w}\right)^3 \quad (4.15)$

4.6.3 Merkezi Eliptik Çatlak İçeren Plaka



Şekil 4.10 Eliptik çatlakla sahip plaka (Meydanlık, 2012)

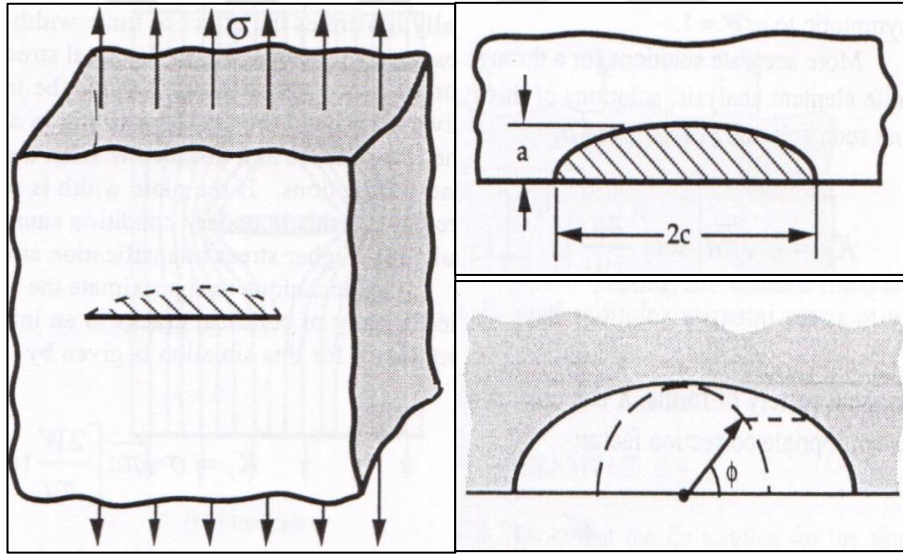
Şekil 4.10’da çekmeye maruz eliptik çatlığa sahip plaka gösterilmektedir. Gerilme şiddeti faktörü aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$K_I = \sigma \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} f(\phi) \quad (4.16)$$

Burada $f(\phi)$, gerilme şiddeti çarpanıdır. Eliptik çatlığın açısı aşağıdaki denklemde gösterilmiştir (Meydanlık, 2012).

$$\phi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(1 - \frac{b^2 - a^2}{b^2} (\sin \theta)^2 \right)^{1/2} \quad (4.17)$$

4.6.4 Yarı Eliptik Çatlak İçeren Plaka



Şekil 4.11 Yarı eliptik çatlığa sahip plaka (Meydanlık, 2012)

Şekil 4.11’de çekmeye maruz yarı eliptik çatlığa sahip plaka gösterilmektedir. Gerilme şiddeti faktörü bağıntısı aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$K_I = \alpha_s \sigma \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} f(\phi) \quad (4.18)$$

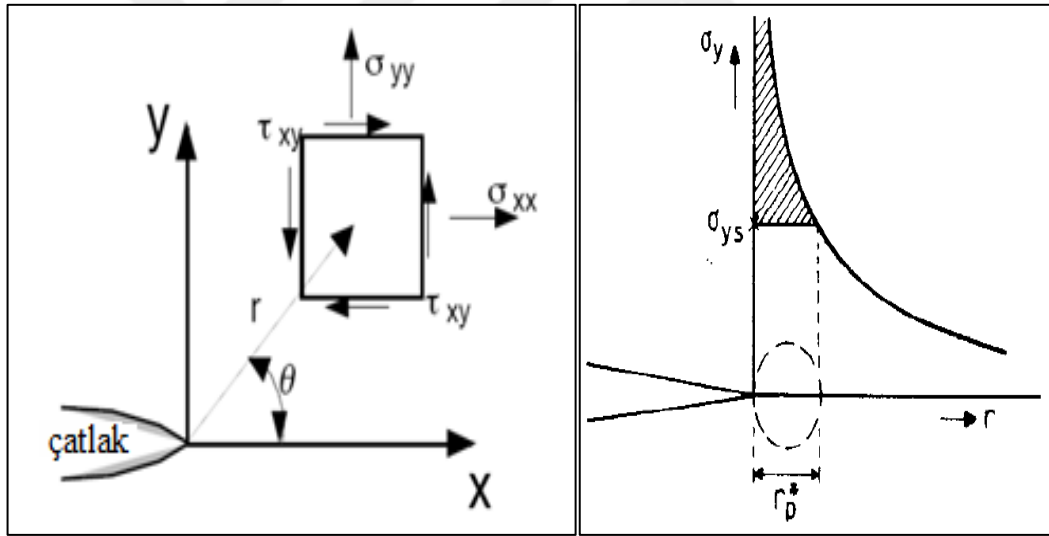
Gerilme şiddeti faktörü elde edilirken kullanılan denklemler aşağıdaki (4.19) (4.20) ve (4.21) de gösterilmiştir.

$$Q = 1 + 1,464 \left(\frac{a}{c} \right)^{1,65} \quad (4.19)$$

$$\alpha_s = \left[1,13 - 0,09 \left(\frac{a}{c} \right) \right] [1 + 0,1(1 - \sin \phi)^2] \quad (4.20)$$

$$f(\phi) = \left[\sin^2(\phi) + \left(\frac{a}{c} \right)^2 \cos^2(\phi) \right]^{1/4} \quad (4.21)$$

4.7 Çatlak Ucundaki Plastik Bölge



Şekil 4.12 Çatlak ucu koordinat sistemi gösterimi ve çatlak ucu plastik bölge (Meydanlık, 2012)

Şekil 4.12’de çatlak ucu bölgesinin x-y koordinat sisteminde gösterimi ve çatlak ucu plastik bölgesi gösterilmiştir. (4.22) numaralı denklemde gerilmenin gerilme şiddeti faktörüne bağlı bağıntısı verilmiştir. Bu bağıntı için çatlak ucundaki gerilmeler $r=0$ için K' ’nin değeri ne olursa olsun sonsuz olmaktadır. Bu çatlak ucu yarıçapının ($r=0$) çok küçük kabul edilmesinin bir sonucudur (Meydanlık, 2012). Ancak yapısal malzemeler bir akma gerilmesine (σ_{AKMA}) sahip olup çatlak ucu yakınlarında sonlu gerilmelere yani malzemelerin akma gerilmelerinin üzerine

çıkarlar. Bu da gerçek malzemelerin akma gerilmelerinin üzerinde plastik olarak deforme olmaları nedeniyle çatlak ucunu çevreleyen bir plastik bölgenin var olması demektir. Kırılma veya kopma olayı plastik deformasyonun yoğunlaştığı yerlerde meydana gelir.

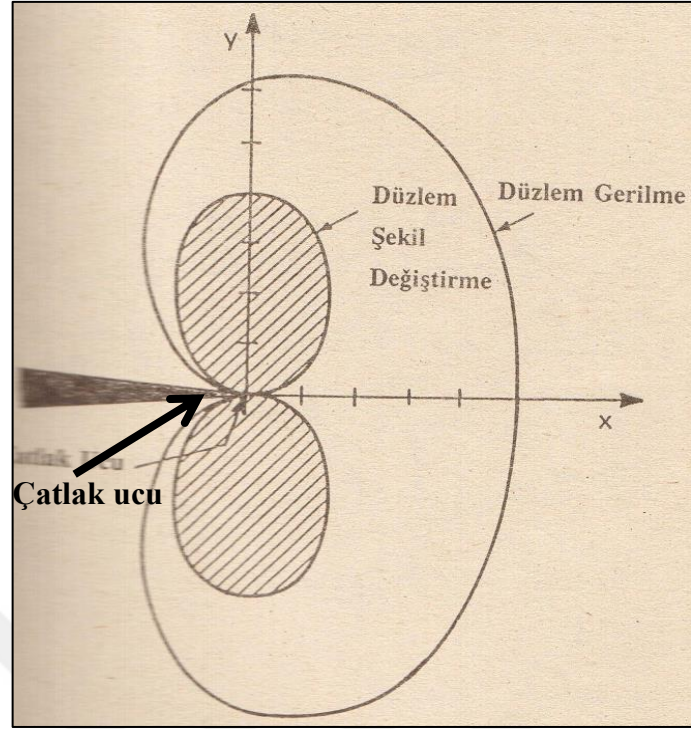
$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} ; \tau_{xy} = 0 \quad (4.22)$$

Irwin düzlem gerilme halindeki bir levhada Tresca akma kriterini kullanarak $\theta = 0$ düzleminde plastik deformasyonun meydana geldiği en uzak noktanın çatlak ucuna mesafesini yani; çatlak ucundaki dairesel plastik bölge boyutunun yarıçapını (r_p) aşağıdaki gibi hesaplamıştır (Meydanlık, 2012).

$$r_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_{AKMA}} \right)^2 \quad (4.23)$$

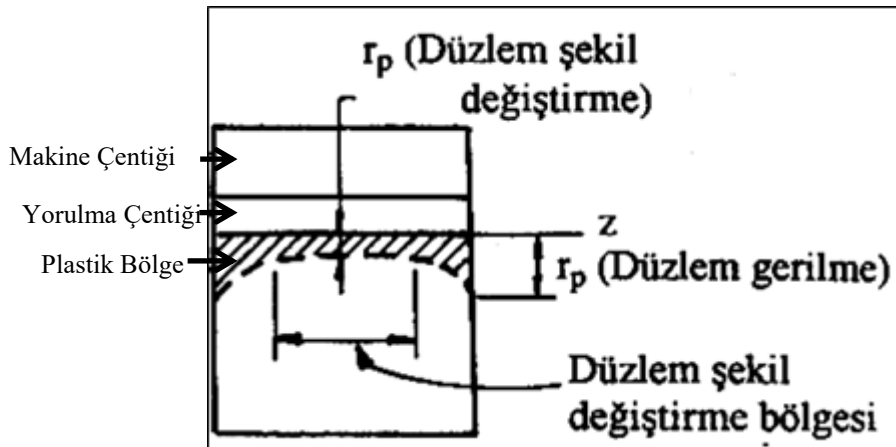
Ayrıca düzlem şekil değiştirme için ise plastik akma için gerilmenin $\sqrt{3}$ katı kadar arttığını öne sürmüştür. Buna göre düzlem şekil değiştirme için; $r_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{\sqrt{3} \sigma_{AKMA}} \right)^2$ denklemi olacaktır. Denklemden gerekli düzenlemeler yapıldığında düzlem şekil değiştirme için çatlak ucundaki plastik bölge yarıçapı (4.24) numaralı aşağıdaki denklemdeki gibi olacaktır.

$$r_p = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_{AKMA}} \right)^2 \quad (4.24)$$



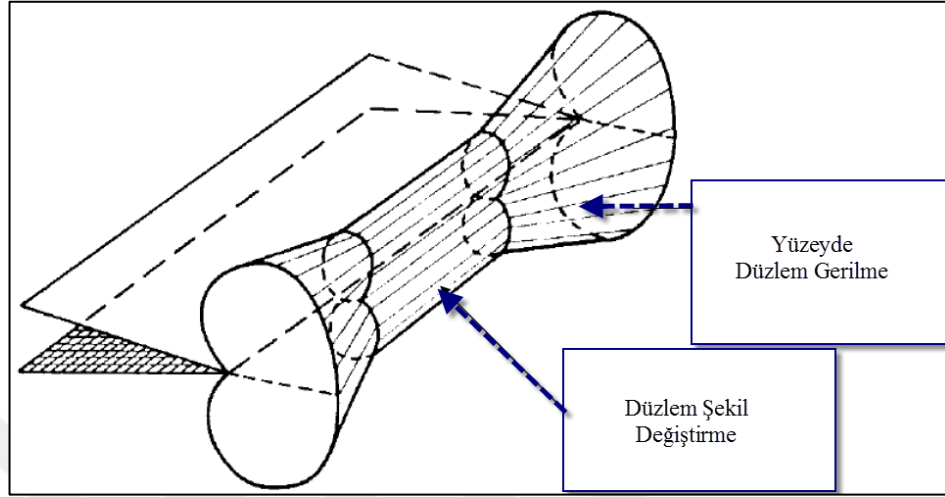
Şekil 4.13 Çatlak ucunda düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme için plastik bölge şekilleri (Meydanlık, 2012)

Şekil 4.13’ de çatlak ucundaki plastik bölge şekilleri düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme durumları için gösterilmektedir. Düzlem gerilme durumu plastik bölgesinin şeklinin düzlem şekil değiştirme durumu plastik bölgesinin şeklini kapsadığı görülmektedir (Meydanlık, 2012).



Şekil 4.14 Çatlak ucundaki plastik bölgenin görüntüsü (Meydanlık, 2012)

Şekil 4.14’ de çatlak ucundaki plastik bölgenin görüntüsü aynı numune kesitinde düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme durumları için gösterilmiştir (Meydanlık, 2012).



Şekil 4.15 Üç boyutlu çatlak ucu plastik bölge görüntüsü (Meydanlık, 2012)

Şekil 4.15’de ise çatlak ucundaki plastik bölgenin üç boyutlu görüntüsü düzlem şekil değiştirme durumu için ve yüzeydeki düzlem gerilme durumu için gösterilmiştir (Meydanlık, 2012).

BÖLÜM BEŞ

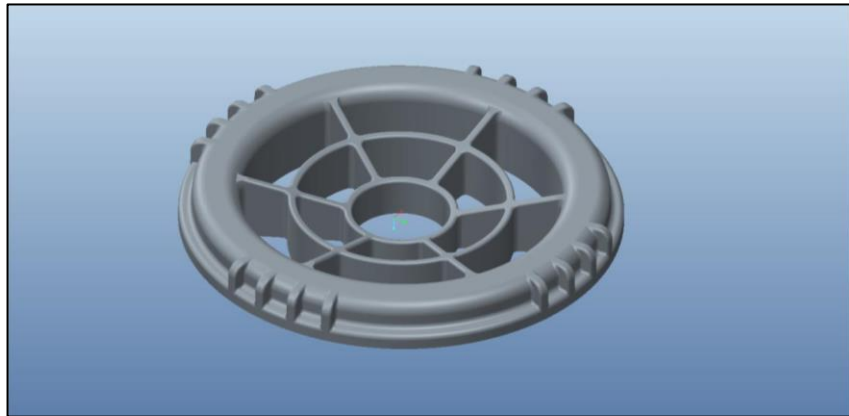
GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME VE KIRILMA ANALİZLERİ

5.1 Gerilme-Şekil Değişirme Analizi

Çalışmanın bu bölümünde, air break somununun PTC Creo 2.0 programı ile üç boyutlu modeli hazırlanmıştır. Katı model Ansys Workbench programına aktarılarak burada parçaya malzeme tanımlaması yapılmıştır. Sonlu elemanlar metoduyla parçanın sınır şartları, uygulanan moment ve kuvvet tanımlaması yapılmıştır.

Air break somununun seri üretimde kullanılan geometrisinin yanı sıra yapılan farklı tasarımları için de statik analizler gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca parçanın farklı kuvvetler altındaki davranışı incelenmiştir.

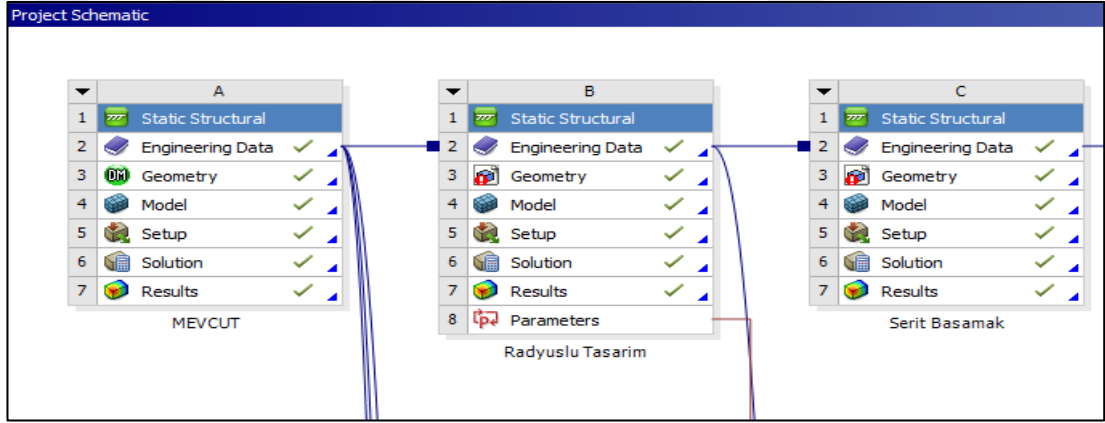
Kırılma analizleri yapılarak parçanın malzemesinin kırılmaya karşı dayanımı incelenmiştir. Farklı çatlak boylarına karşı elde edilen gerilme şiddeti faktörleri karşılaştırılmıştır. Farklı kuvvetler altında parçanın kritik çatlak boyu incelenmiştir. Parçaya seri üretimde sıklıkla kullanılan PPK40, PP, PPT20, PA6GF30 gibi plastik malzemeler tanımlanarak malzeme seçiminin kırılma davranışına etkileri incelenmiştir.



Şekil 5.1 Air break somunu mevcut tasarımı

Şekil 5.1’ de bulaşık makinasındaki air break somununun üç boyutlu tasarımı görülmektedir. Statik analiz için PTC Creo 2.0 programında modellemesi yapılan parça ‘stp’ formatında kaydedilerek Ansys ortamında gerçeğe yakın analiz sonuçları elde etmek için parçada analizi etkilemeyecek olan radyusların silinmesi ‘geometri’ kısmında yapılarak ve ‘yapısal analiz’ kısmında sınır koşulları tanımlanarak, parçada belirli yüklemeler altında oluşan gerilme ve yer değiştirme, birim uzama bileşenleri gibi yapısal analiz verileri elde edilmektedir.

Yapısal statik analiz için Ansys Workbench ortamında “static structural” çözüm sekmesini kullanarak öncelikli olarak geometri ‘stp’ formatında programa tanımlanır.



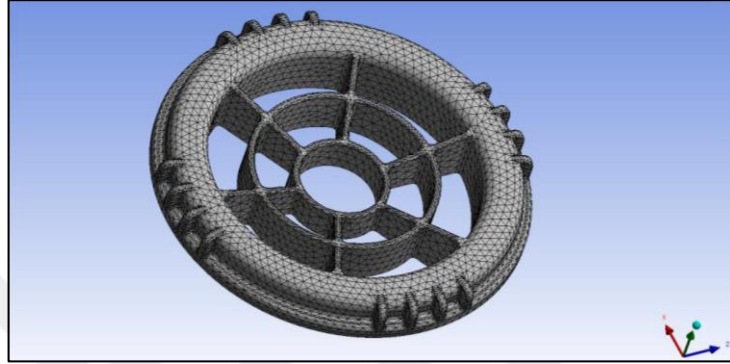
Şekil 5.2 Ansys workbench ortamında statik yapısal analize giriş

Şekil 5.2’ de Ansys Workbench ara yüzü ile gösterilen kısımda statik yapısal analiz için “engineering data” kısmında air break somunu için malzeme tanımlaması yapılmıştır.

Tablo 5.1 PP T40 malzeme özellikleri

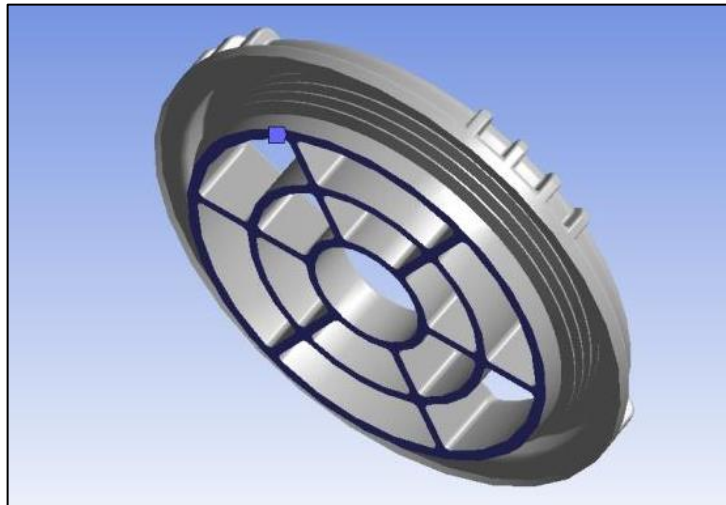
Tipik ve mekanik özellikler	Değer	Birim
Yoğunluk	1,26	g/cm ³
Erime Akış Hızı	11	g/10min
Katkı Oranı	40	%
Kalıp Çekme Oranı	0,35-0,70	%
Maksimum Çekme Dayanımı	>= 25	MPa
Kopmadaki uzaması	>= 3	%
Elastisite Modülü	>= 3250	Mpa
İzod Çentikli Darbe Dayanımı	>= 3	KJ/m ²
Sertlik	70-77	Shore-D

Tablo 5.1’de air break somununun malzemesi olan %40 oranında sertleştirilmiş polipropilen (PPT40) malzemesinin malzeme özellikleri verilmiştir. Malzeme bilgilerinin doğru tanımlanması analiz sonuçlarının doğruluğu ve hassasiyeti açısından önemlidir. Bu yüzden seri üretimde kullanılan parçanın malzeme bilgileri gerçeğe yakın yapısal ve kırılma analizleri için gereklidir.



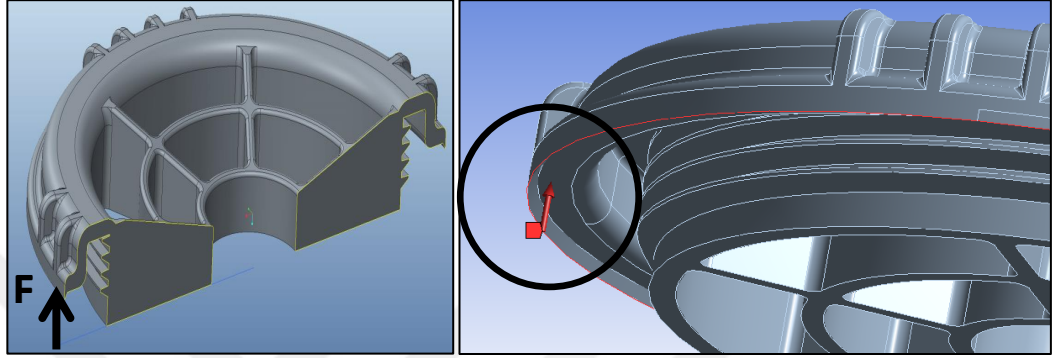
Şekil 5.3 Air break somununun sonlu elemanlar modeli

Şekil 5.3’ de Ansys Workbench yapısal analiz kısmında parçanın sonlu elemanlara ayrılmış hali (mesh modelling) görülmektedir. Gerçeğe yakın analiz sonuçları için modelin sonlu elemanlara ayrılması, sonlu elemanların ölçüsel olarak optimum boyutlarda olması ve radyuslu kısımlarda sonlu eleman miktarının artırılarak daha doğru analiz sonuçları elde edilmesi sağlanmalıdır.



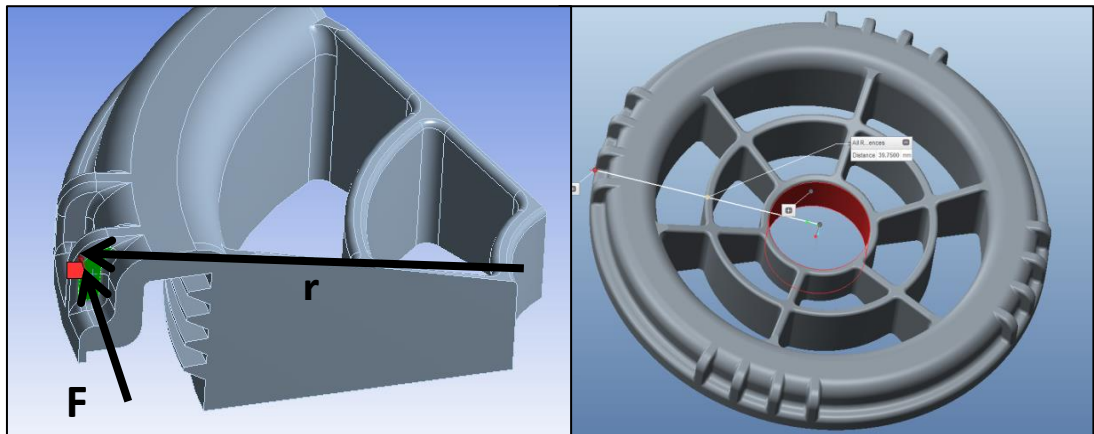
Şekil 5.4 Air break somununun sınır şartlarının belirlenmesi

Şekil 5.4’de air break somunun mavi ile işaretlenen alt kısmından sabitleme yapıldığı gösterilmiştir. Kuvvetin etkisinin görülebilmesi için somunun en arka yüzeyinden sabitleme yapılmıştır. Somundaki kırılma yüzeyinin görülebilmesi için parçadaki sivri yüzeyden ters yöne doğru kuvvet uygulanarak gerçek sistem simülasyonu elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.5 Air break somununun kesit görüntüsü ve kuvvet uygulaması

Şekil 5.5’de air break somununun kesit hali ve sivri köşeden uygulanan kuvvet gösterilmektedir. Somun montajından sonra parçanın dışarıya doğru açıldığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden parçanın alt yüzeyine sabitleme yapıldıktan sonra montaj sırasında aparat yardımıyla yaklaşık 16 N’m tork ve operatörün kuvvete doğru uyguladığı el kuvveti ölçüm sonucunda 100 N olarak alınmıştır.



Şekil 5.6 Air break somununa uygulanan torkun kuvvete indirgenmesi

Şekil 5.6' da air break somununa aparat ile uygulanan 16 N.m tork kuvvete indirgenerek uygulanmıştır. Ayrıca indirgeme kullanılan yarıçap 39,75 mm olarak gösterilmiştir. T (Tork), r (kuvvetin indirgendiği yarıçap), F (Torkun indirgendiği kuvvet), θ (kuvvetin kuvvetin indirgendiği yarıçap ile olan açısı) olarak ifade edilmektedir.

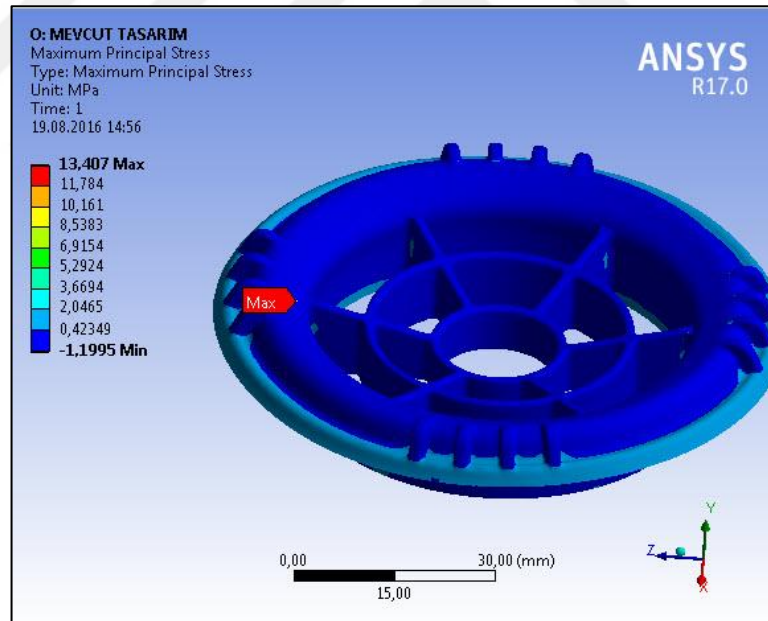
$$T = rxF$$

$$T = rxF \sin \theta$$

$$16 \text{ N.m} = 16000 \text{ N.mm}$$

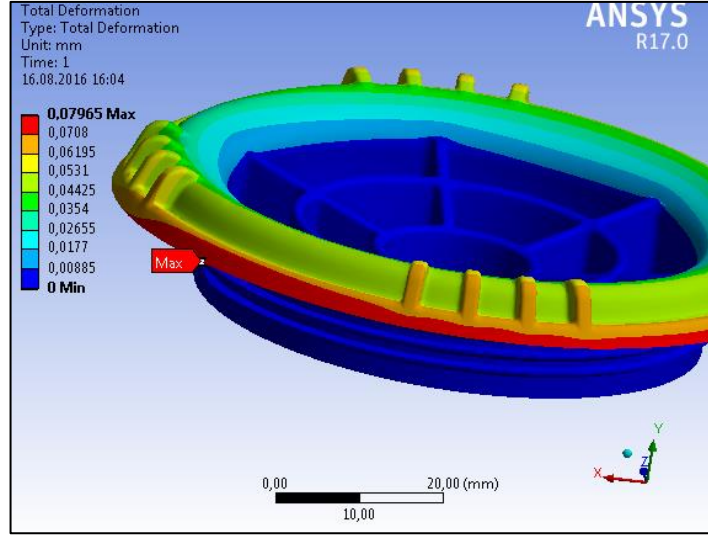
$$16000 = 39,75 F \sin 90$$

$F = 402,5 \text{ N}$ olarak hesaplanıp analizlerde aparattan uygulanan tork değerinin kuvvete indirgenen değeri olarak uygulanmıştır.



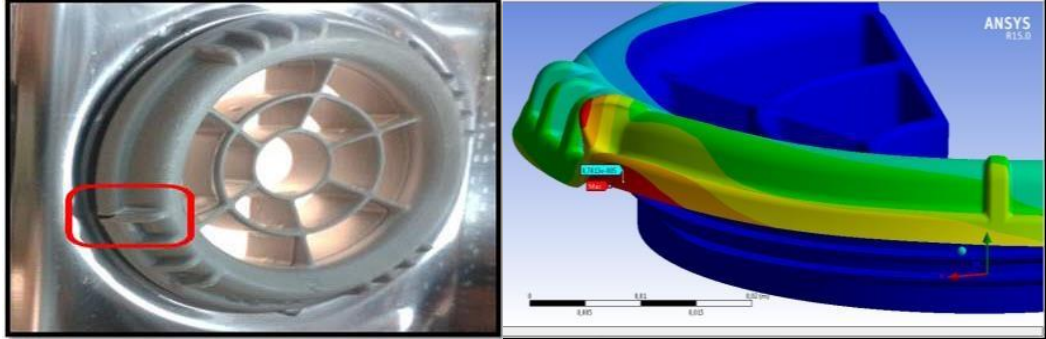
Şekil 5.7 Mevcut tasarımda air break somununun gerilme analizi sonucu

Şekil 5.7' de uygulanan sınır şartlarına karşılık air break somunundaki oluşan maksimum asal gerilme dağılımı gösterilmiştir. 13,4 MPa maksimum asal gerilme görülmüştür. Ayrıca maksimum Von Mises gerilmesi de maksimum 7,32 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.8 Mevcut tasarımda air break somunundaki yer değiştirme dağılımı

Şekil 5.8’ de uygulanan yükleme durumuna karşılık air break somunundaki oluşan toplam yer değiştirme dağılımı gösterilmiştir. Parçada 0,079 mm maksimum toplam yer değiştirme oluşmaktadır.



Şekil 5.9 Mevcut tasarım air break somununun gerilme analizi sonucu ile karşılaştırması

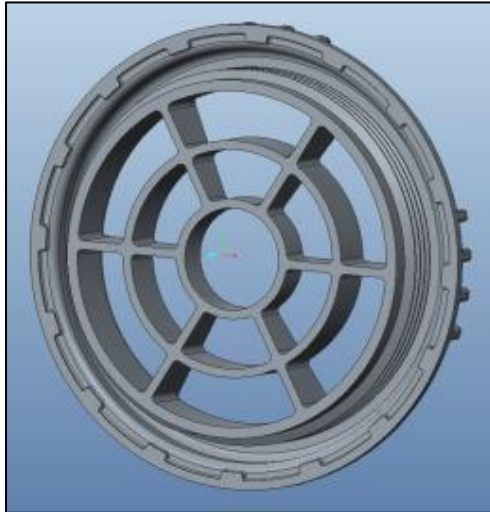
Şekil 5.9’ da uygulanan sınır şartlarına karşılık air break somunundaki üretimde meydana gelen deformasyona karşılık analiz sonucunun karşılaştırması mevcuttur. Çatlamanın somunun sivri köşesinden başladığı gözlemlenmiştir.

5.2 Farklı Air Break Somunu Tasarımları



Şekil 5.10 Mevcut tasarım

Şekil 5.10’ da seri üretimde kullanılan sivri köşeli air break somunu görülmektedir. Daha önceki yıllarda sivri köşe olmadan üretim yapılmış ve sivri köşesiz tasarımda somunun montajlandığı küvette paslanmalar gözlemlenmiştir. Bu yüzden paslanan kısmı engellemek için somun düz yüzeyine sivri köşe eklenerek paslanma sorunu çözülmüştür.



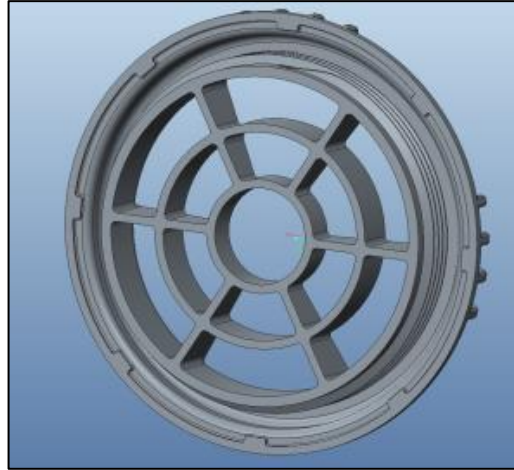
Şekil 5.11 16’lı Şerit basamak tasarımı

Şekil 5.11’ de seri üretimde kullanılan sivri köşeli tasarım yerine sivri köşenin olduğu yüzeyde 16 adet şerit halinde kademe eklenerek iyileştirme olabileceği düşünülerek mevcut tasarıma alternatif tasarım çalışması yapılmıştır.



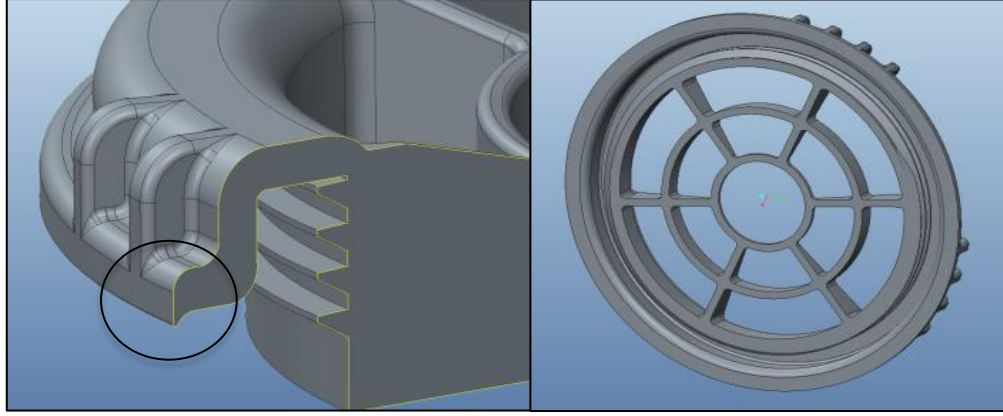
Şekil 5.12 Şerit kademe tasarımı

Şekil 5.12’ de seri üretimde kullanılan sivri köşeli tasarım yerine sivri köşenin olduğu yüzeyde 0,2 mm’lik dairesel kademe oluşturulmuştur.



Şekil 5.13 8’li Şerit basamak tasarımı

Şekil 5.13’ de seri üretimde kullanılan sivri köşeli tasarım yerine sivri köşenin olduğu yüzeyde parçanın kırılmaya zorlanacağı bölgelere 8 adet şerit basamak yapılarak güçlendirme sağlanmıştır.



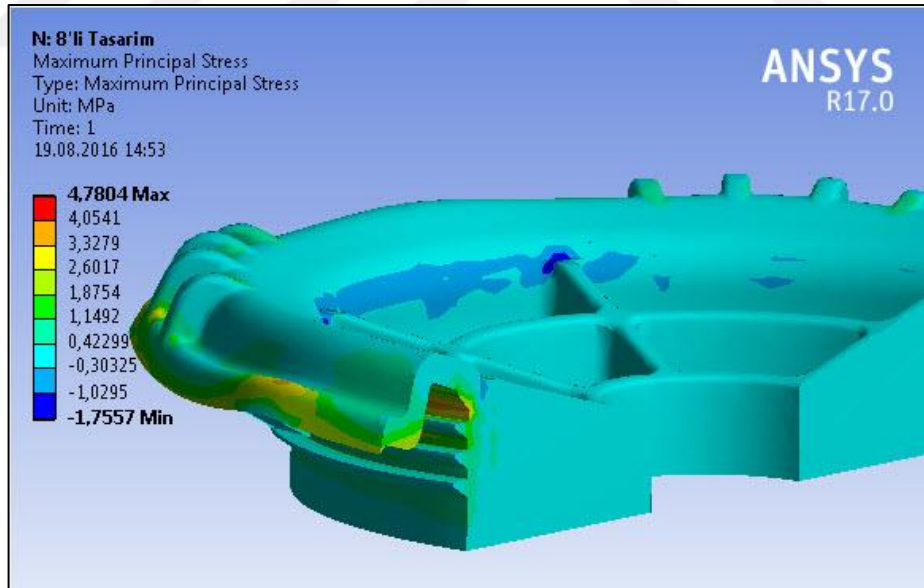
(a)

(b)

Şekil 5.14 (a) Sivri köşe yerine radyus tasarımı (b) Sivri köşesiz tasarım

Şekil 5.14 (a) da seri üretimde kullanılan sivri köşeli tasarım yerine sivri köşeye 0,4 mm radyus verilmiştir. Şekil 5.14 (b) de ise sivri köşe tamamen kaldırılarak farklı bir tasarım yapılmıştır.

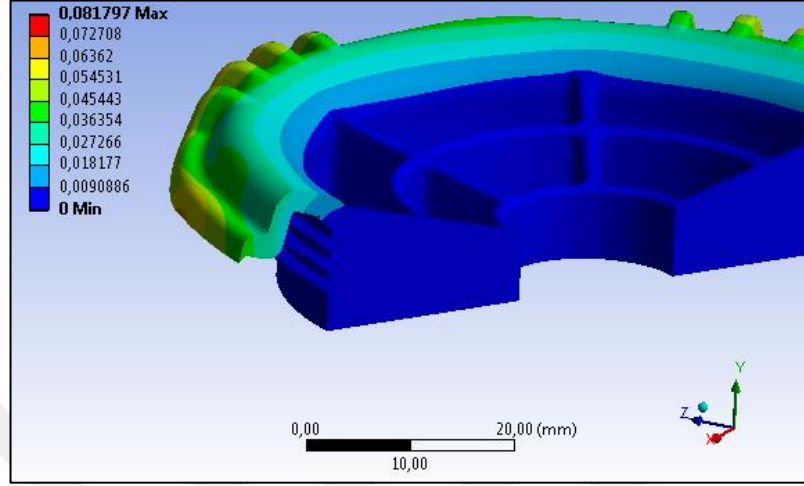
5.3 Farklı Air Break Somunu Tasarımlarının Analiz Sonuçları



Şekil 5.15 8' li Şerit kademe toplam gerilme dağılımı

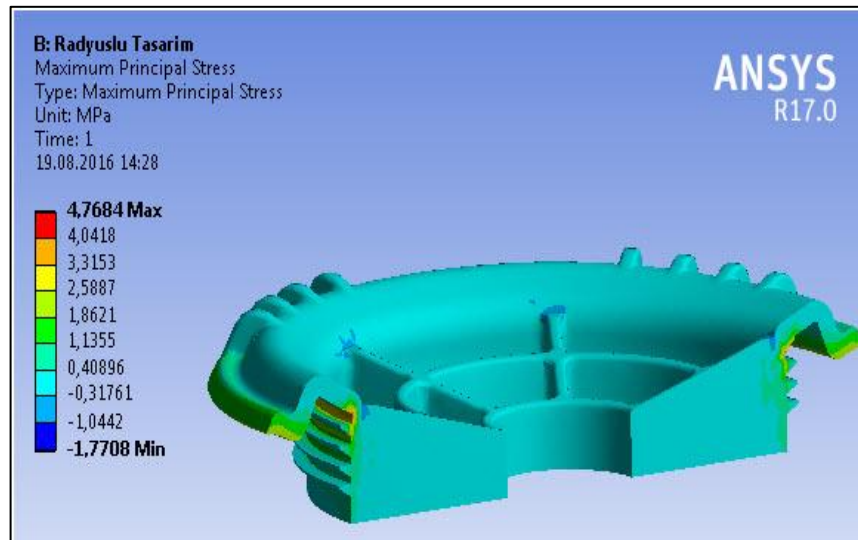
Şekil 5.15'de 8'li şerit kademe tasarımında elde edilen asal gerilme dağılımı gösterilmektedir. Kademenin olduğu kısımlarda sivri köşenin olduğu kısımlara göre gerilme değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. 8'li şerit kademe için elde

edilen maksimum asal gerilme değeri 4,78 MPa'dır. Ayrıca maksimum Von Mises gerilme değeri 6,43 MPa'dır.



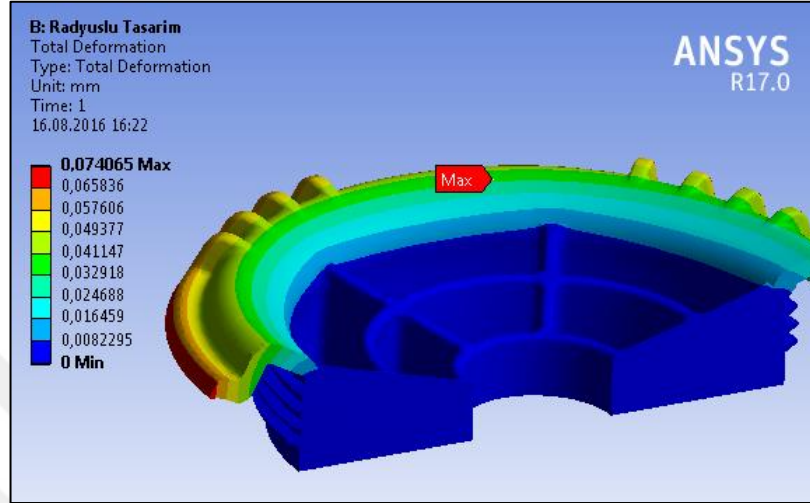
Şekil 5.16 8' li Şerit kademe toplam yer değiştirme sonucu

Şekil 5.16'da 8'li şerit kademe tasarımında elde edilen toplam yer değiştirme gösterilmektedir. Kademenin olduğu kısımlarda sivri köşenin olduğu kısımlara göre toplam yer değiştirme değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. 8'li şerit kademe için elde edilen maksimum toplam yer değiştirme 0,081 mm'dir.



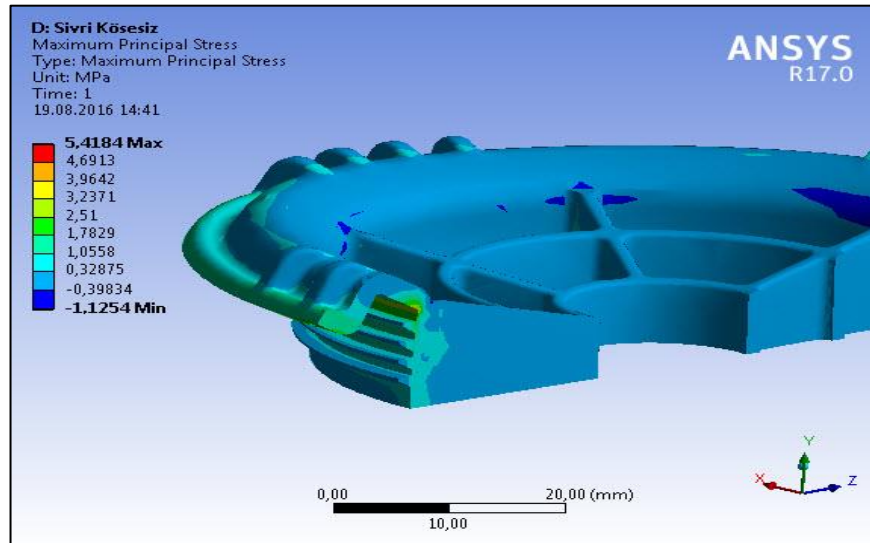
Şekil 5.17 Sivri kenar yerine radyuslu toplam gerilme dağılımı

Sivri köşe yerine 0,5 mm radyus eklenerek tasarım değiştirilmiş ve toplam gerilme sonucu Şekil 5.17’de gösterilmiştir. Maksimum asal gerilme 4,76 MPa’dır. Ayrıca maksimum Von Mises gerilmesi 7,09 MPa’dır.



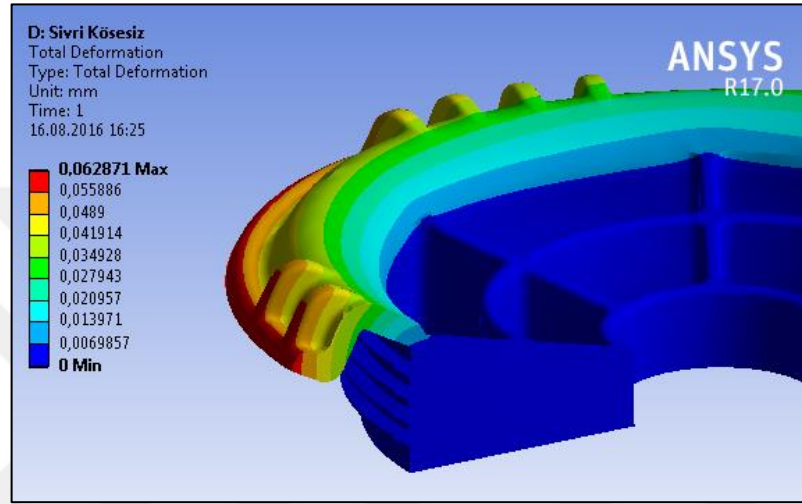
Şekil 5.18 Sivri kenar yerine radyuslu toplam yer değiştirme sonucu

Sivri köşe yerine 0,5 mm radyus eklenerek tasarım değiştirilmiş ve toplam yer değiştirme Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Radyuslu kısımdaki görülen kırmızı renk yoğunluğu radyuslu kısımda yer değiştirmenin maksimum olduğunu göstermektedir. Burada maksimum toplam yer değiştirme 0,074 mm olarak hesaplanmıştır.



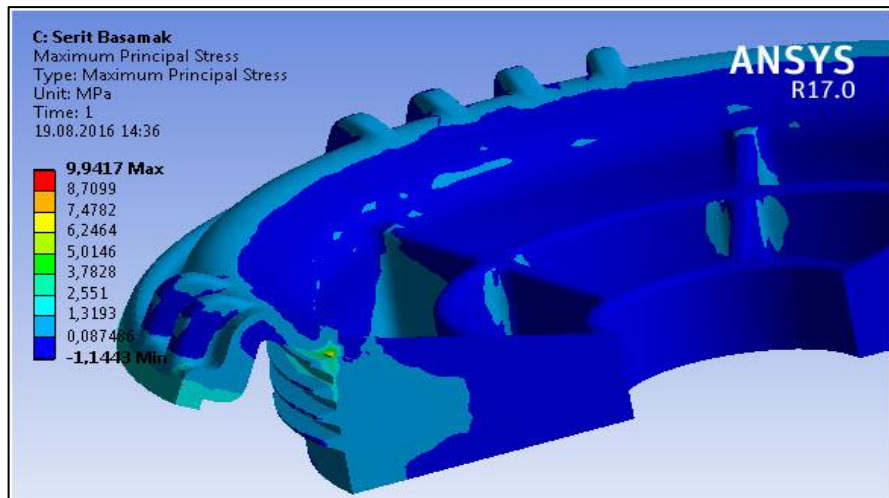
Şekil 5.19 Sivri köşesiz tasarım toplam gerilme dağılımı

Gerilme dağılımının görüldüğü Şekil 5.19'daki modelde sivri köşe bulunmamaktadır. Şekilden görüldüğü gibi sivri köşenin bulunmadığı bölgede gerilmenin azaldığı gözlemlenmiştir. Maksimum asal gerilme 5,41 MPa'dır. Ayrıca maksimum Von Mises gerilmesi 6,02 MPa olarak elde edilmiştir. Bu tasarım kuvvette paslanmaya sebep olduğu için tasarımlar arasında minimum gerilme durumu elde etmesine rağmen seri üretime geçilmemiştir.



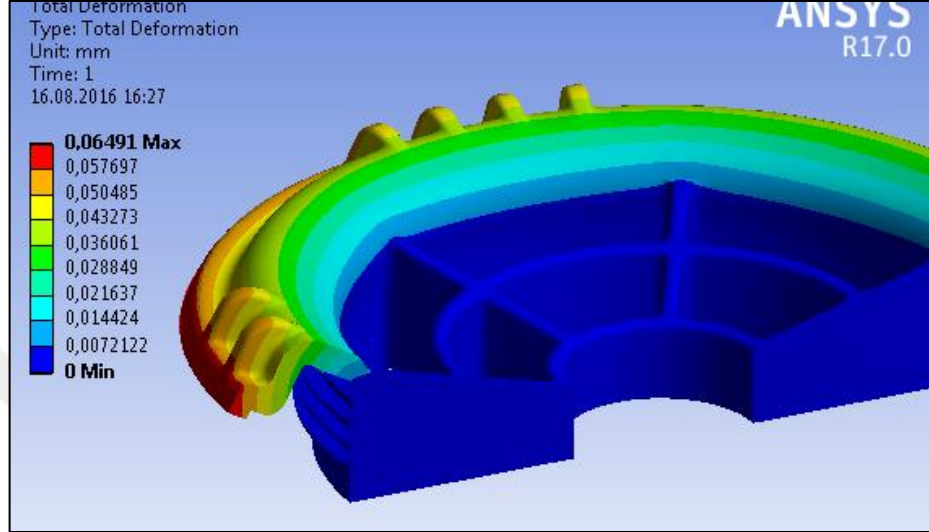
Şekil 5.20 Sivri köşesiz tasarım toplam yer değiştirme sonucu

Şekil 5.20'de ise toplam yer değiştirme dağılımı gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi sivri köşesiz kısımda yer değiştirmenin arttığı gözlemlenmiştir. Maksimum toplam yer değiştirme 0,062 mm olarak hesaplanmıştır.



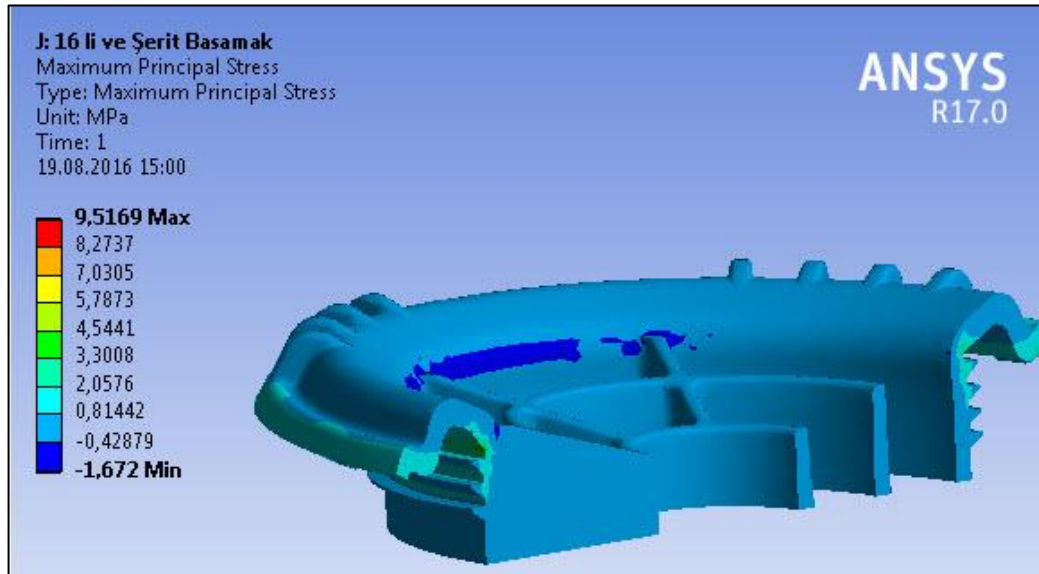
Şekil 5.21 Sivri köşe yerine şerit kademe tasarımı toplam gerilme dağılımı

Şekil 5.21’de görülen modelde ise sivri köşe kaldırılmış ve çevresel olarak şerit kademe eklenmiştir. Paslanma sorununun ortadan kalkması hedeflenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, air break somunu için maksimum asal gerilme değeri 9,94 MPa olarak belirlenmiştir. Ayrıca maksimum Von Mises gerilmesi 6,23 MPa’dır.



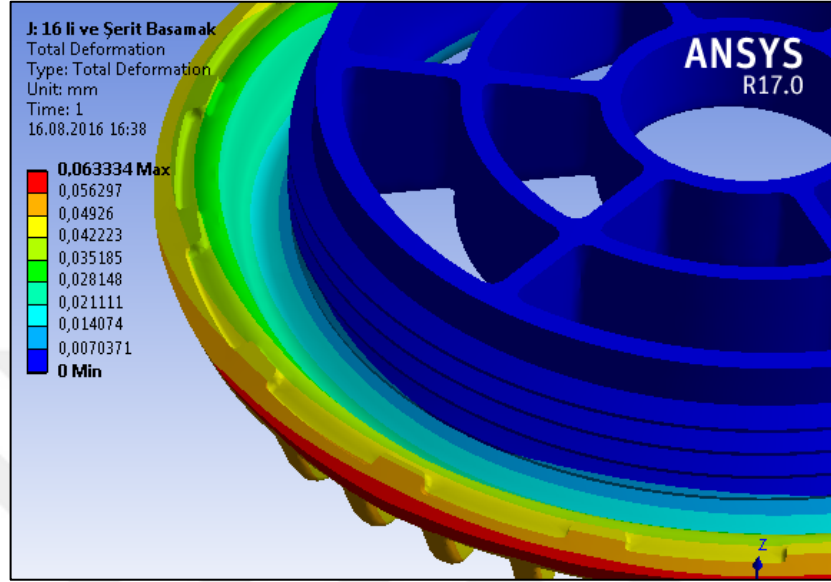
Şekil 5.22 Sivri köşe yerine şerit kademe tasarımı toplam yer değiştirme sonucu

Şekil 5.22’de sivri köşe kaldırılmış ve çevresel olarak şerit kademe eklenmiştir. Şekilde maksimum toplam yer değiştirme miktarı 0,064 mm olarak hesaplanmıştır.



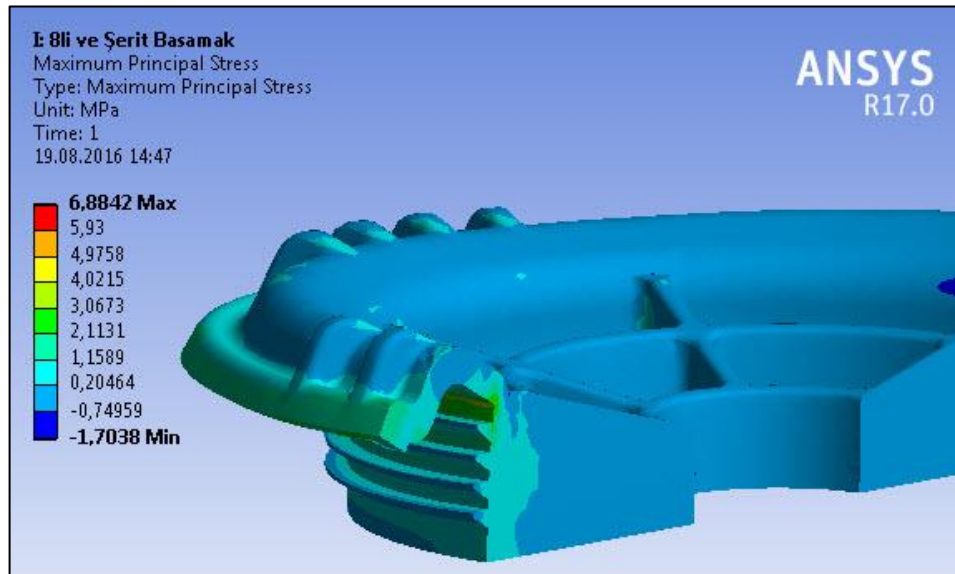
Şekil 5.23 16’lı Şerit basamak tasarımı toplam gerilme dağılımı

Şekil 5.23’de sivri köşe kaldırılmış ve çevresel olarak 16 adet şerit kademe eklenmiştir. Şekilde maksimum asal gerilme miktarı 9,51 MPa olarak hesaplanmıştır. Ayrıca maksimum Von Mises gerilmesi 6,06 MPa’dır.



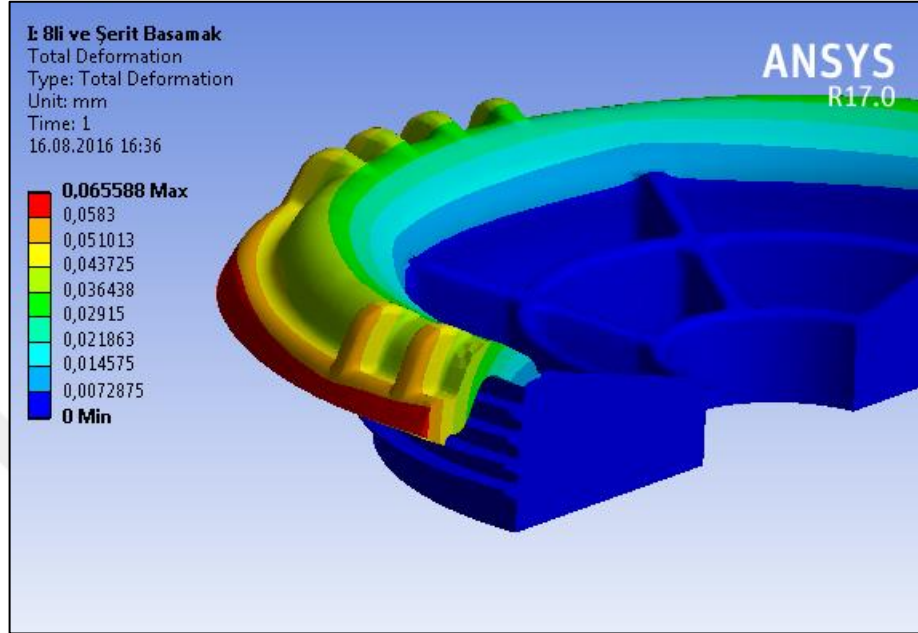
Şekil 5.24 16’lı Şerit basamak tasarımı toplam yer değiştirme sonucu

Şekil 5.24’de sivri köşe kaldırılmış ve çevresel olarak 16 adet şerit kademe eklenmiştir. Şekilde maksimum toplam yer değiştirme miktarı 0,063 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.25 8’li Şerit basamak tasarımı toplam gerilme dağılımı

Şekil 5.25’de sivri köşe kaldırılmış ve çevresel olarak 8 adet şerit kademe eklenmiştir. Şekilde maksimum asal gerilme 6,88 MPa olarak hesaplanmıştır. Ayrıca maksimum Von Mises gerilmesi 6,11 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.26 8’li Şerit basamak tasarımı toplam yer değiştirme sonucu

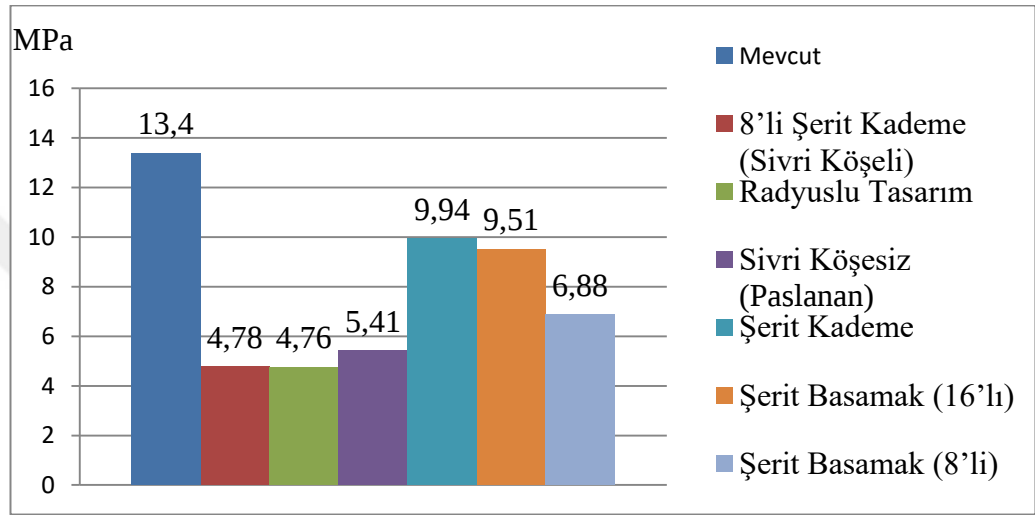
Şekil 5.26’da sivri köşe kaldırılmış ve çevresel olarak 8 adet şerit kademe eklenmiştir. Şekilde bu tasarım için maksimum toplam yer değiştirme miktarı 0,065 mm olarak hesaplanmıştır.

5.3.1 Tasarımların Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 5.2 Farklı tasarımlara ait analiz sonuçları

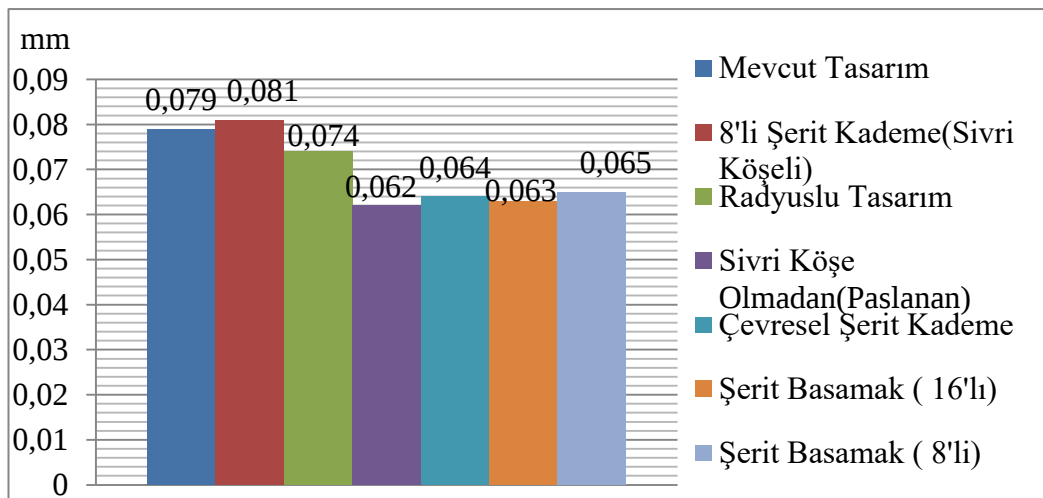
İncelenen Tasarımlar	Maksimum Asal Gerilme (MPa)	Maksimum Von Mises Gerilmesi (MPa)	Maksimum Toplam Yer Değiştirme (mm)
Mevcut	13,4	7,32	0,079
8’li Şerit Kademe (Sivri Köşeli)	4,78	6,43	0,081
Radyuslu Tasarım	4,76	7,09	0,074
Sivri Köşesiz (Paslanan)	5,41	6,02	0,062
Şerit Kademe	9,94	6,23	0,064
Şerit Basamak (16’lı)	9,51	6,06	0,063
Şerit Basamak (8’li)	6,88	6,11	0,065

Tablo 5.2’ de verilen karşılaştırma tablosuna göre mevcut duruma karşılık şerit kademe ya da şerit basamak tadilatlarından herhangi biri yapıldığı zaman parça üzerine düşen gerilme yaklaşık %25 oranında azaltılarak çatlama ve kırılma problemlerine karşılık parçada ciddi iyileştirme sağlanmış olacaktır. Altıncı bölümde mevcut tasarım ile şerit kademe tasarımı kırılma analizleri yapılarak karşılaştırma yapılacaktır.



Şekil 5.27 Farklı tasarımların maksimum asal gerilme değerlerinin karşılaştırması

Şekil 5.27’de farklı yeni tasarımlar ile mevcut tasarımın kırılma bölgelerinde elde edilen maksimum gerilme değerleri karşılaştırması bulunmaktadır. Mevcut tasarıma göre farklı diğer tasarımlar sayesinde gerilme değerinin azaldığı görülmektedir.

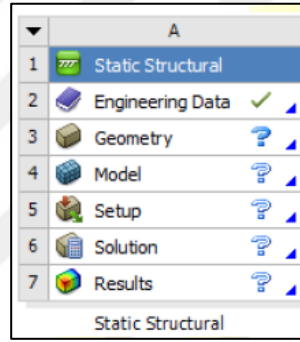


Şekil 5.28 Farklı tasarımların maksimum yer değiştirme değerlerinin karşılaştırması

Şekil 5.28’de farklı yeni tasarımlar ile mevcut tasarımın kırılma bölgelerinde elde edilen maksimum toplam yer değiştirme değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Mevcut tasarıma göre farklı diğer tasarımlar sayesinde yer değiştirme değerinin azaldığı görülmektedir.

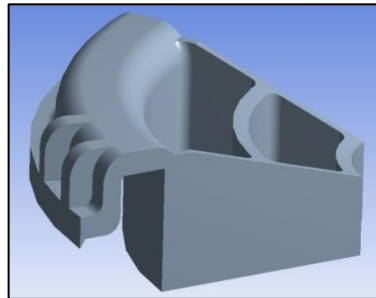
5.4 Kırılma Analizi

Statik analizde olduğu gibi kırılma analizi için de Ansys Workbench 17.0 programında Şekil 5.29’da gösterilen “Static Structural” tıklanarak çalışma ortamına sürüklenir ve “Engineering Data” kısmından air break somunu malzemesi olan PP T40 malzemesinin özellikleri programa atanır.

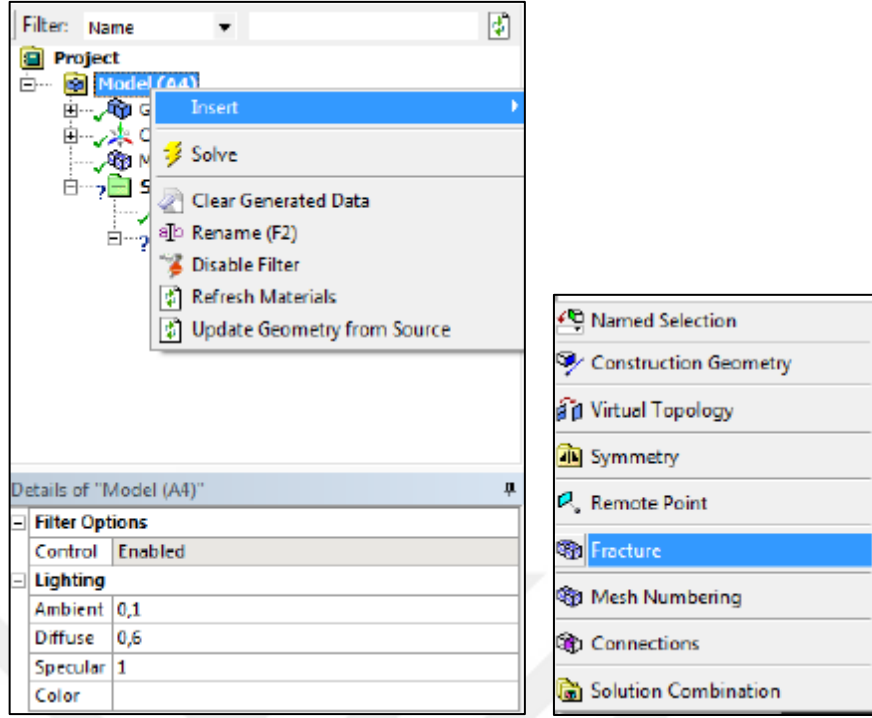


Şekil 5.29 Kırılma analizi için malzeme atama

Kırılma analizine başlamadan önce parça simetrik olduğu için parçanın $\frac{1}{4}$ modeli alınarak (Şekil 5.30) sonlu elemanlar modeli hazırlanmış ve bu haline sınır koşulları uygulanarak analiz çalışmasına başlanmıştır. Şekil 5.31’de görüldüğü gibi “Model” sekmesinin altındaki “Insert” tıklanarak “Fracture” sekmesine girilir.



Şekil 5.30 Kırılma analizi için model oluşturma

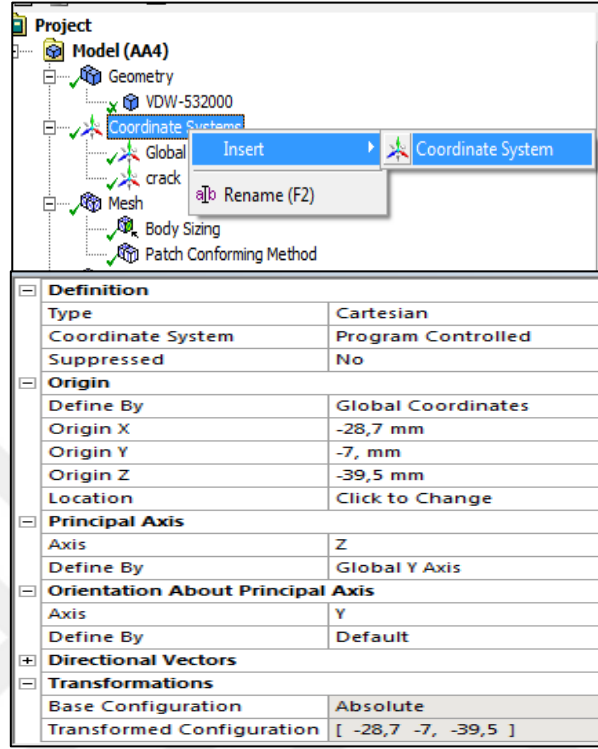


Şekil 5.31 Kırılma analizi için ‘Fracture’ sekmesi atama

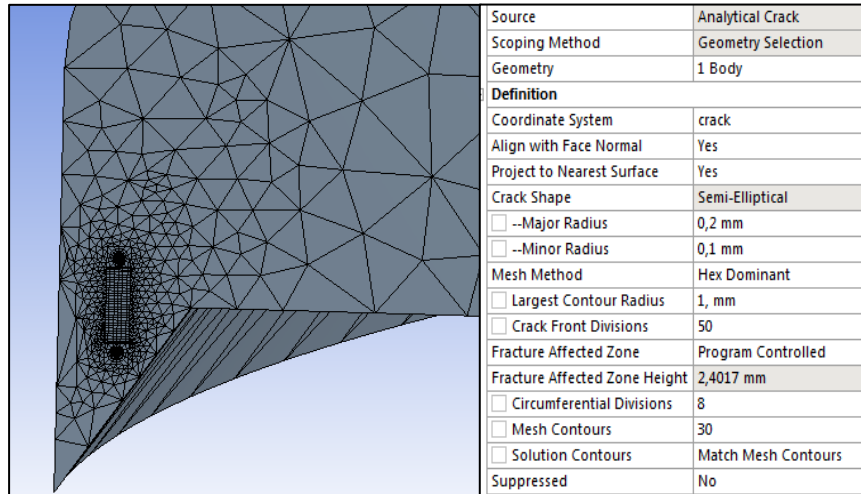
Ayrıca çatlak malzeme üzerindeki yerinin daha kolay belirlenebilmesi ve değişikliklerin daha kolay yapılabilmesi amacıyla parça üzerinde yeni bir yerel koordinat sistemi oluşturulur. Bunun için “Model” sekmesinden “Coordinate Systems” “Insert” ve “Coordinate System” seçilir. (Şekil 5.32)

Burada oluşturulacak olan koordinat sisteminin parça üzerindeki yerleşimi çok önemlidir. Lokal koordinat sistemi parça yüzeyinde orta noktada tanımlı olmalı ve x ekseninin yönü parçanın içine doğru yönlenmeli ve y eksenini de yüzey üzerinde, yukarı doğru yönlendirilmelidir. Bu aşama, çatlak parça üzerindeki konumunun belirlenmesi ve modellemesinin gerçekleştirilmesi için gereklidir, (x eksenini parça içerisine doğru, yani çatlak minör eksenine paralel, y eksenini de yukarı doğru yani, çatlak majör eksenine paralel olacak şekilde düşünülmüştür). Koordinat sisteminin orijine olan uzaklığı Şekil 5.32’de görüldüğü gibi girilmiştir. X eksenine 28,7 mm, Y eksenine 7 mm, Z eksenine 39,5 mm uzaklıkta çatlak koordinat sistemi tanımlanmıştır. Çatlak başladığı sivri köşeye yakın olduğu için bu koordinatlar

seçilmiştir. “Location” ise yüzey filtresi seçilerek air break somununda sivri kenara yakın kısım seçilmiştir. (Şekil 5.33)



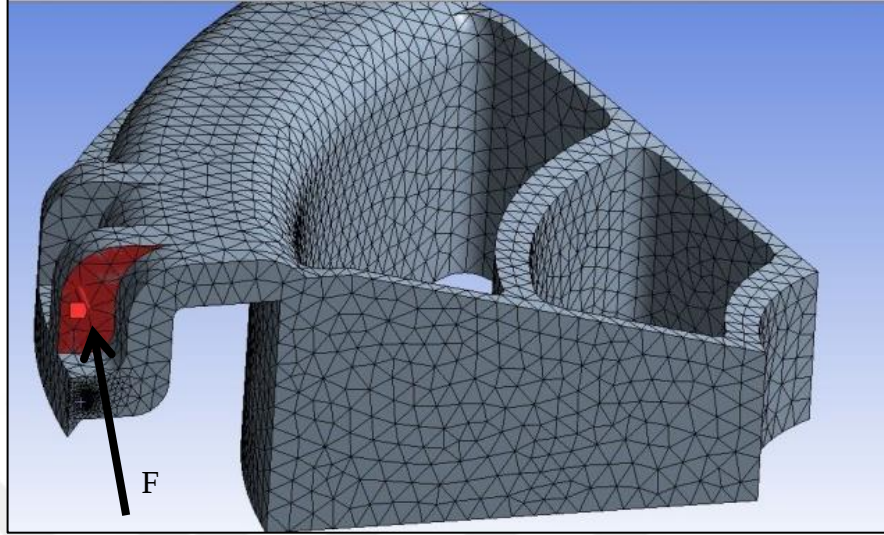
Şekil 5.32 Kırılma analizi için koordinat sistemi atama



Şekil 5.33 Kırılma yüzeyinin sonlu elemanlara ayrılması

Şekil 5.33’de tanımlanan çatlak ve sonlu elemanlara ayrılmış hali görülmektedir. Modelde yarı eliptik çatlak şekli tanımlanmıştır. Çatlak majör boyu 0,2 mm ve çatlak

minör boyu 0,1 mm olarak tanımlanmıştır. Sonlu elemanlara ayırma metodu olarak ‘hex dominant’ seçilmiştir.



Şekil 5.34 Sonlu elemanlara ayrılan modele kuvvet uygulanması

Şekil 5.34’ de 16 N·m torkun uygulandığı sonlu elemanlar modeli görülmektedir. (Torktan kuvvete geçiş Şekil 5.6 ve Sayfa 36’da anlatılmıştır).

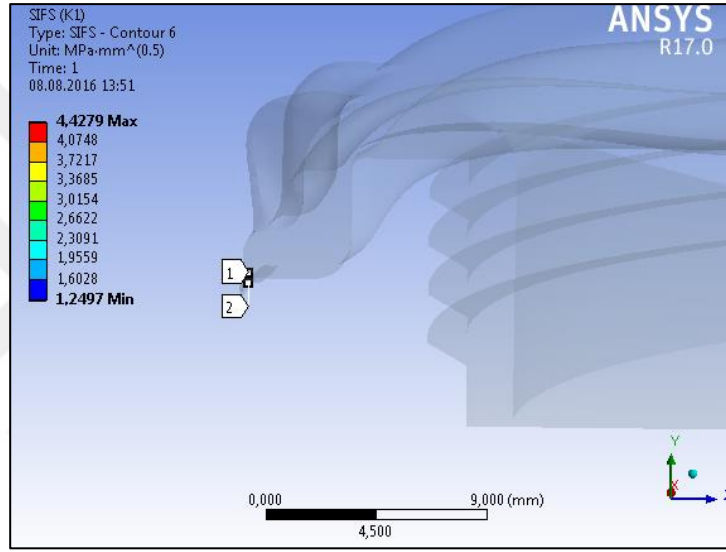
Analizi gerçekleştirdikten sonra elde edilecek sonuçlar ise ‘Fracture Tool’ altında ‘Insert’ ve ‘SIFS Results’ ile K_I , K_{II} , ve K_{III} gerilme şiddeti faktörleri ve J integral değişimidir. Oluşturulan çatlak yapısı ile ‘Static Structural’ üzerinde ‘Solve’ tıklanarak istenilen değerler elde edilmiştir.

BÖLÜM ALTI

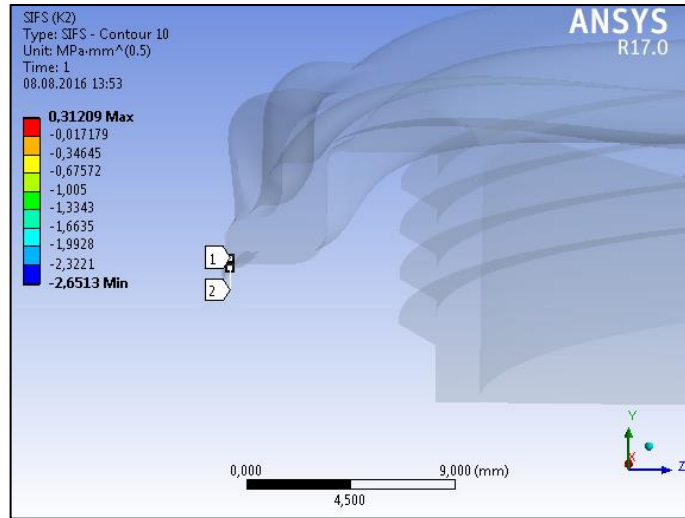
KIRILMA ANALİZİ SONUÇLARI

6.1 Mevcut Air Break Somunu Tasarımı Kırılma Analizi Sonuçları

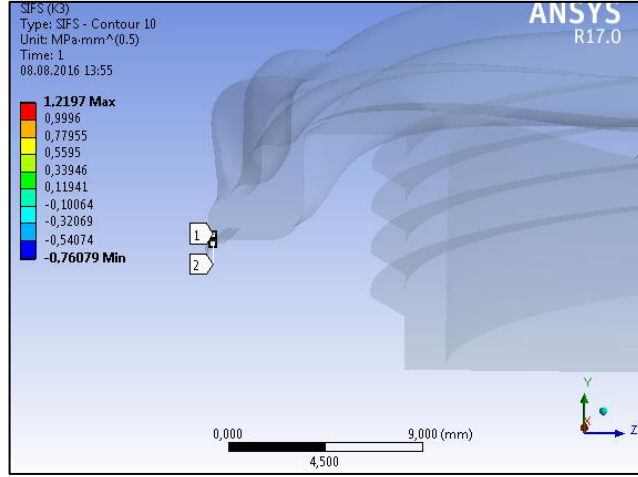
Bu bölümde air break somunu için yapılan kırılma analizlerinin sonuçları verilmektedir. Şekil 6.1’ de K_I , Şekil 6.2’ de K_{II} , Şekil 6.3’ de K_{III} gerilme şiddeti faktörleri sonuçları gösterilmiştir. Ayrıca J integral değeri ise Şekil 6.4’ de gösterilmiştir.



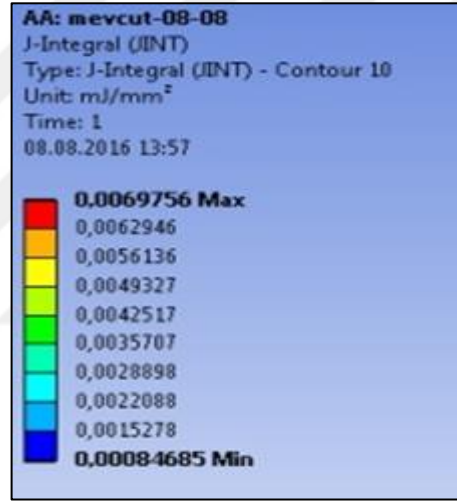
Şekil 6.1 Mevcut tasarım K_I gerilme şiddeti faktörü



Şekil 6.2 Mevcut tasarım K_{II} gerilme şiddeti faktörü



Şekil 6.3 Mevcut tasarım K_{III} gerilme şiddeti faktörü



Şekil 6.4 Mevcut tasarım J integral değişimi

Yarı eliptik çatlak tanımlanan mevcut tasarım için majör çatlak boyu 0,2 mm ve minör çatlak boyu 0,1 mm olarak programa tanımlanmıştır. Malzeme PP T40 olarak tanımlanmış ve malzemenin yaklaşık K_{IC} değeri $3 \text{ MPa}\sqrt{m}$ olarak alınmıştır (Tablo 4.3).

Parçaya sıkma aparatının torkundan dolayı uygulanan kuvvet 402,5 N olarak belirlenmişti (Sayfa 36). Operatörün montaj için küvete doğru uyguladığı baskı kuvveti ise 100 N olarak sabit alınmıştır.

Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3 de gerilme şiddeti faktörü sonuçları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$K_I = 4,42 \text{ MPa}\sqrt{m} \text{ (Maksimum gerilme şiddeti faktörü)}$$

$$K_{II} = 0,31 \text{ MPa}\sqrt{m} \text{ (Maksimum gerilme şiddeti faktörü)}$$

$$K_{III} = 1,21 \text{ MPa}\sqrt{m} \text{ (Maksimum gerilme şiddeti faktörü)}$$

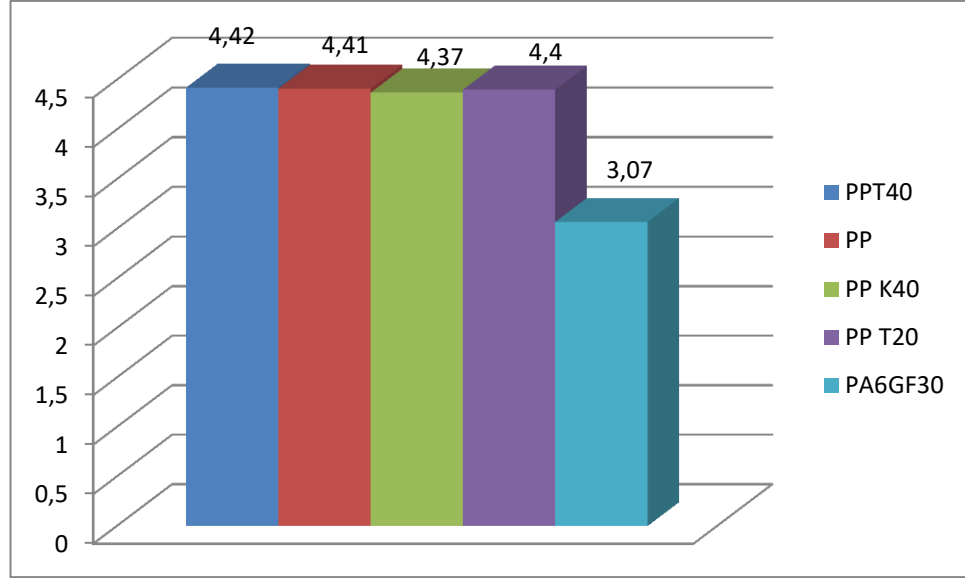
Mevcut tasarım için elde edilen gerilme şiddeti faktörü sonuçlarına göre maksimum gerilme şiddeti faktörü malzemenin $K_{IC} = 3 \text{ MPa}\sqrt{m}$ değerinden büyük olduğu için malzemede ani gevrek kırılma görülebilir.

Mevcut durum için farklı malzeme ataması yapılarak, farklı kuvvet uygulaması yapılarak ve çatlak boyları değiştirilerek kırılma analizleri yapılmış ve mevcut durum ile karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 6.1’de mevcut tasarım için yapılan karşılaştırmalı sonuçlar mevcuttur.

Tablo 6.1 Farklı malzemeler için mevcut air break somunu kırılma analizi sonuçları

Malzeme	a_{major} (mm)	$a_{minör}$ (mm)	F (N)	K_I $\text{MPa}\sqrt{m}$	K_{II} $\text{MPa}\sqrt{m}$	K_{III} $\text{MPa}\sqrt{m}$
PP T40	0,2	0,1	402,5	4,42	0,31	1,21
PP	0,2	0,1	402,5	4,41	0,32	1,22
PP K40	0,2	0,1	402,5	4,37	0,3	1,2
PP T20	0,2	0,1	402,5	4,4	0,31	1,23
PA6GF30	0,2	0,1	402,5	3,07	0,179	1,05

Seri üretimde genellikle kullanılan plastik malzemeler için kırılma analizi sonuçları Tablo 6.1’de gösterilmektedir. PA6GF30 malzemesi cam elyaf katkılı ve elastisite modülü diğer plastik malzemelere oranla yüksek olduğu için (>8500 MPa) bu malzeme ile elde edilen analiz sonucuna göre gerilme şiddeti faktörü $3,07 \text{ MPa}\sqrt{m}$ olarak elde edilmiş olup malzemenin kırılma tokluğuna çok yakın bir değer elde edilmiştir. Bu malzemenin diğer malzemelere göre gevrek kırılmaya sebep olmayacağı öngörülmektedir.



Şekil 6.5 Farklı malzemeler için gerilme şiddeti faktörü sonuçları

Mevcut air break somun için farklı malzemeler için kırılma analizi yapılmıştır. Gerilme şiddeti faktörü değerlerinin malzemelere bağlı olarak değişimi Şekil 6.5’ de verilmiştir.

Ayrıca PPT40 için uygulanan kuvvet değiştirilerek parça üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Tablo 6.2 Mevcut tasarım için farklı kuvvet değerlerine karşı kırılma analizi sonuçları

Mevcut Air Break Somunu Uygulanan Kuvvet (N)	Malzeme	a _{major} (mm)	a _{minör} (mm)	K _I MPa√m	K _{II} MPa√m	K _{III} MPa√m
100	PP T40	0,2	0,1	2,43	0,18	0,69
200	PP T40	0,2	0,1	3,06	0,22	0,86
300	PP T40	0,2	0,1	3,71	0,26	1,04
402,5	PP T40	0,2	0,1	4,42	0,31	1,21
450	PP T40	0,2	0,1	4,76	0,33	1,3
600	PP T40	0,2	0,1	5,83	0,39	1,56

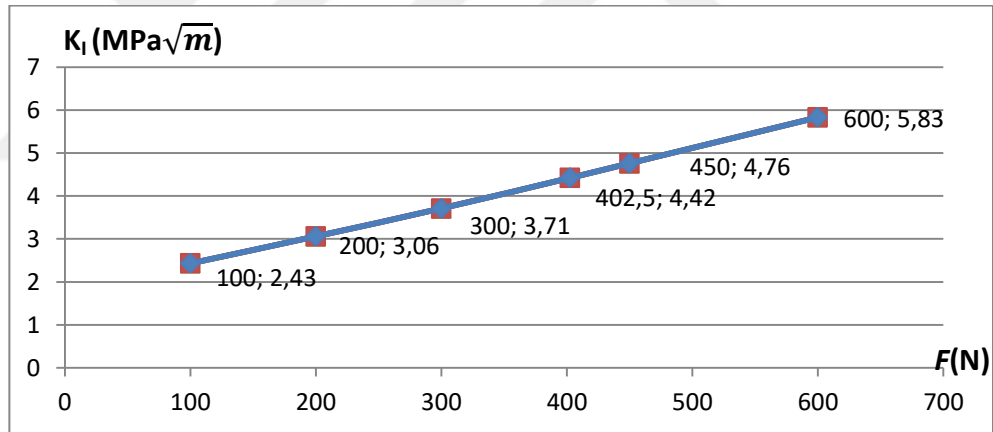
Mevcut air break somunu için farklı kuvvetler için elde edilen analiz sonuçları Tablo 6.2’de gösterilmektedir. 100 N ve 200 N uygulandığında elde edilen gerilme şiddeti faktörü malzeme kırılma tokluğu değerinin altında olduğundan bu kuvvetler uygulandığında gevrek kırılma görülmeyecektir.

Tablo 6.3 Mevcut tasarımın farklı çatlak boylarına karşı kırılma analizi sonuçları

Çatlak Boyu (mm)	Malzeme	F (N)	K_I $MPa\sqrt{m}$	K_{II} $MPa\sqrt{m}$	K_{III} $MPa\sqrt{m}$
0,05	PP T40	402,5	2,63	0,13	0,53
0,1	PP T40	402,5	3,47	0,2	0,79
0,15	PP T40	402,5	4,08	0,29	1,29
0,2	PP T40	402,5	4,42	0,31	1,21

Mevcut tasarım için kritik çatlak boyu $a_{cr}=0,05$ mm'dir. (Mevcut koşullarda $F=402,5$ N, malzeme PP T40 ve $K_I = 2,63 MPa\sqrt{m} < K_{IC}= 3 MPa\sqrt{m}$) şartı olduğundan gevrek kırılma görülmez. Tablo 6.3'de farklı çatlak boylarına karşılık gelen gerilme şiddeti faktörü değerleri bulunmaktadır.

Bu tasarım için çatlak boyu değeri kritik çatlak boyunu aşarsa gevrek kırılma görülür.

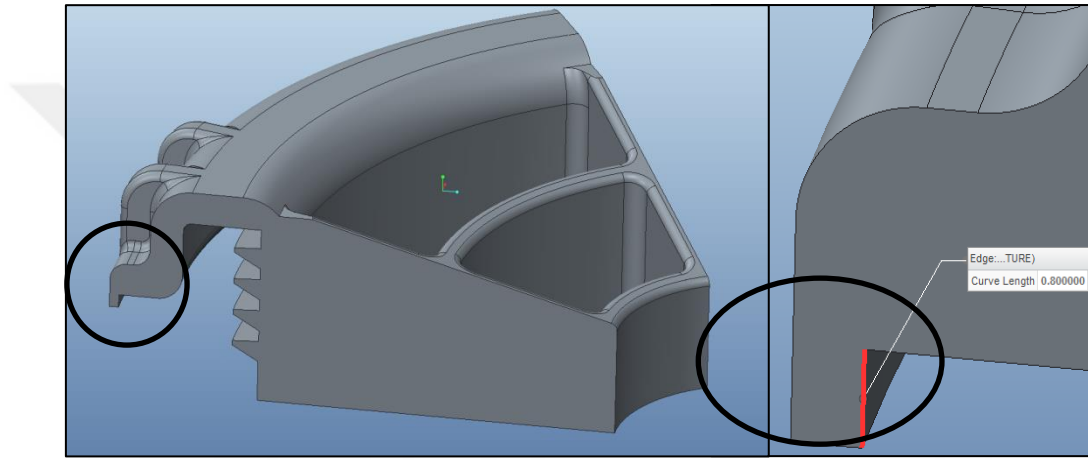


Şekil 6.6 Mevcut tasarımda F- K_I (kuvvet-gerilme şiddeti faktörü) değişimi

Mevcut air break somunu için değişen kuvvet değerlerine karşılık kırılma analizlerinden elde edilen gerilme şiddeti faktörü değerlerinin değişimi Şekil 6.6'da gösterilmiştir. 100 N ile başlayan analizde 200 N, 300 N, 402,5 N, 450 N ve 600 N kuvvetlerine karşılık gerilme şiddeti faktörü değerlerinin doğrusal şekilde arttığı şekilde görülmektedir.

6.2 Şerit Kademe Tasarımı ile Mevcut Air Break Somununun Kırılma Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölüme kadar olan kısımda mevcut air break tasarımı için kırılma analizleri yapılarak mevcut tasarımı değiştirmeden yapılabilecek uygulanan kuvvet, çatlak boyu ve malzeme değişiminin etkileri incelenmiştir. Bu bölümde ise mevcut haline şerit kademe eklenerek kırılma analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut parça tasarımı sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.7 Şerit kademe tasarımın üç boyutlu modeli

Şekil 6.7’de gösterilen şerit kademe tasarımıdır. Mevcut sivri köşeli tasarımdan farkı sivri olan köşeye şekilde gösterildiği gibi 0,8 mm’ lik kademe eklenmiştir.

Tablo 6.4 Şerit kademe tasarımı farklı malzemeler için kırılma analizi sonuçları

Malzeme	a_{major} (mm)	$a_{minör}$ (mm)	F (N)	K_I $MPa\sqrt{m}$	K_{II} $MPa\sqrt{m}$	K_{III} $MPa\sqrt{m}$
PP T40	0,2	0,1	402,5	3,07	0,22	0,87
PP	0,2	0,1	402,5	3,05	0,2	0,85
PP K40	0,2	0,1	402,5	3,06	0,21	0,86
PP T20	0,2	0,1	402,5	3,07	0,21	0,87
PA6GF30	0,2	0,1	402,5	2,18	0,11	0,67

Tablo 6.4’de farklı malzeme kullanılarak için elde edilen gerilme şiddeti faktörü değerleri verilmektedir. Mevcut tasarımda da görüldüğü gibi farklı malzemeler için yakın gerilme şiddeti faktörleri elde edilmiş olup sadece elastisite modülü yüksek

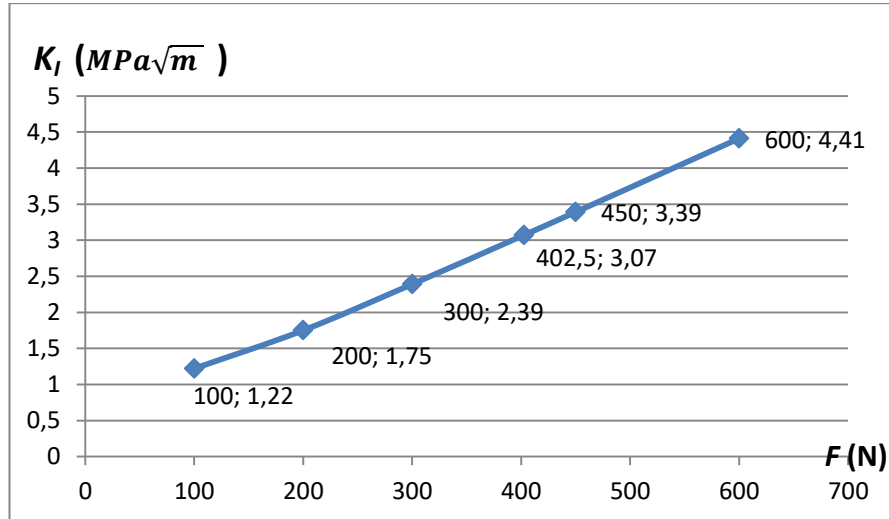
olan (>8500 MPa) PA6GF30 malzemesi için gerilme şiddeti faktörü $3,07 \text{ MPa}\sqrt{m}$ değerinden $2,18 \text{ MPa}\sqrt{m}$ değerine düşmüştür. Bu malzemenin kullanılması ile aynı koşullarda diğer malzeme kullanımına göre kırılma görülmeyecektir.

Tablo 6.5 Şerit kademe tasarımı farklı kuvvet değerlerine karşı kırılma analizi sonuçları

Mevcut Air Break Somunu Uygulanan Kuvvet (N)	Malzeme	a_{major} (mm)	a_{minor} (mm)	K_I $\text{MPa}\sqrt{m}$	K_{II} $\text{MPa}\sqrt{m}$	K_{III} $\text{MPa}\sqrt{m}$
100	PP T40	0,2	0,1	1,22	0,98	0,35
200	PP T40	0,2	0,1	1,75	0,14	0,52
300	PP T40	0,2	0,1	2,39	0,69	0,75
402,5	PP T40	0,2	0,1	3,07	0,22	0,87
450	PP T40	0,2	0,1	3,39	0,24	0,95
600	PP T40	0,2	0,1	4,41	0,3	1,2

Tablo 6.5’ de şerit kademe tasarımına değişken kuvvet uygulanarak yapılan kırılma analizi sonuçları mevcuttur.

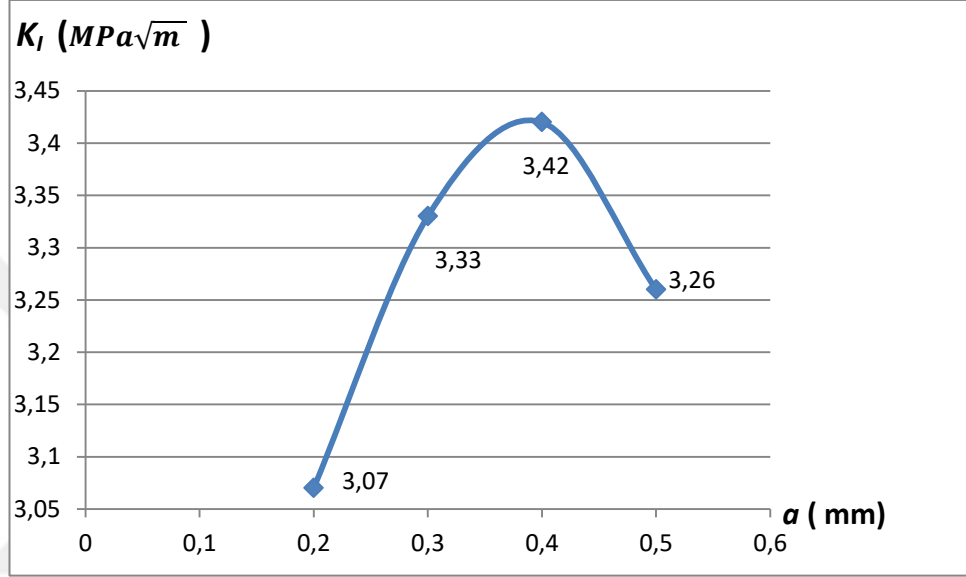
Şekil 6.8’ de ise değişen bu kuvvetlere karşı hesaplanan gerilme şiddeti faktörleri grafiği verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi artan kuvvet değerlerine karşılık gerilme şiddeti faktörü doğrusal olarak artmaktadır.



Şekil 6.8 Şerit kademe tasarımının F- K_I (kuvvet- gerilme şiddeti faktörü) değişimi

Tablo 6.6 Şerit kademe tasarımı farklı çatlak boylarına karşı kırılma analizi sonuçları

Çatlak boyu (mm)	Malzeme	F (N)	K_I $MPa\sqrt{m}$	K_{II} $MPa\sqrt{m}$	K_{III} $MPa\sqrt{m}$
0,2	PP T40	402,5	3,07	0,22	0,87
0,3	PP T40	402,5	3,33	0,32	1,41
0,4	PP T40	402,5	3,42	0,34	1,34
0,5	PP T40	402,5	3,26	0,32	1,32



Şekil 6.9 Şerit kademe tasarımının a - K_I (çatlak boyu- gerilme şiddeti faktörü) değişimi

Şerit kademe tasarımı için farklı çatlak boylarına karşılık gelen gerilme şiddeti faktörü değerleri için kırılma analizi yapılmıştır. Tablo 6.6 ve Şekil 6.9' da bu analizin sonuçları görülmektedir. 0,2 mm çatlak boyundan başlayarak 0,5 mm çatlak boyuna kadar kırılma analizi yapılmıştır. Çatlak boyu büyüdükçe gerilme şiddeti faktörünün arttığı gözlemlenmiştir.

Şerit kademe tasarımı için kritik çatlak boyu bu sonuçlara göre $a_{cr}=0,2$ mm olup kritik çatlak boyu büyüdüğünde parçada gevrek kırılma gözlemlenecektir.

Tablo 6.7 Mevcut tasarım ile şerit kademe tasarım sonuçlarının karşılaştırılması

Hesaplanan değer	Birim	Mevcut tasarım	Şerit kademe tasarım
$\sigma_{\max}$ (Von Mises)	MPa	7,32	6,23
$\sigma_{\max}$ (Asal Gerilme)	MPa	13,4	9,94
$\delta_{\max}$	mm	0,079	0,064
K_I	MPa $\sqrt{m}$	4,42	3,07
a_{cr}	mm	0,05	0,2
F_{kr}	N	200	402,5
T_{kr}	Nm	8	16

Tablo 6.7’ de mevcut tasarım ve şerit kademe tasarımı için yapılan gerilme-şekil değiştirme analizi sonucu maksimum gerilme Von Mises, maksimum asal gerilme ve maksimum toplam yer değiştirme değerleri bulunmaktadır. Ayrıca yapılacak değişikliklere karşılık mevcut tasarım için ve yeni yapılan şerit kademe tasarımı için elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Mevcut tasarım için gevrek kırılmanın olmaması için yapılabilecek optimum değişiklikler tabloda mevcuttur. Yeni yapılan şerit kademe tasarımı için de elde edilen değerler mevcuttur. Her iki tasarım için de gevrek kırılma olmaması için tablodaki kritik değerlerin aşılması gerekmektedir.

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda bulaşık makinası montaj hattında aparat yardımıyla montajlanan air break somunu parçasının montajlanma esnasında kırılması, çatlaması gibi problemlerin aşağıdaki sebeplerden dolayı olabileceği düşünülmüştür.

Montaj aparatını kullanan operatörün parçayı hatalı montajlaması (Diş sıyırması, fazla kuvvet uygulaması gibi).

Parçanın tasarımsal olarak kırılma davranışı gösterebileceği (Parçadaki sivri köşeden çatlağın başladığı öngörülmektedir).

Parça için kullanılan malzemenin kırılgan olması yani kırılma tokluğu değerinin düşük olması.

Parça kalıbı ve enjeksiyon makinasındaki sorunlar (Yeteri kadar malzeme beslenememesi, enjeksiyon makine tonajının yeterli gelmemesi, parçanın enjeksiyon makinasında basılma çevrim süresinin yetersiz olması).

Parçadaki kırılma, çatlama problemlerini azaltmak ya da en az seviyeye indirmek için parçayı montajlayan operatörlere eğitim verilebilir. Bunun yanında 16 Nm' lik tork cihazı tork değeri 8 N'm' yi aşmayacak şekilde ayarlanarak mevcut tasarım kullanımına devam edilebilir.

Tez kapsamında tasarlanan farklı tasarımlar için yeni kalıp yapımı ya da mevcut kalıba tadilat yapılabilir.

Mevcut tasarım için polipropilen bazlı kırılgan malzeme kullanımı yerine kırılmaya karşı dirençli kırılma tokluğu yüksek malzemeler kullanılabilir. Tez

alışması kapsamında PA6GF30 cam elyaf katkılı malzeme, PP malzemesiyle karşılaştırılmıştır.

Parça kalıbı ile ilgili malzeme besleme noktaları değiştirilerek parçanın kalıptan daha mukavim çıkması sağlanabilir. Bunun için yeni kalıp maliyeti ya da mevcut kalıba tadilat maliyeti gelecektir.

Bu tez çalışması sonucunda parça tasarım değişikliği yeni kalıp maliyeti oluşturacağı için mevcut tasarımda değişiklik yapmadan uygulanan 16 N·m ‘lik tork değeri 8 N·m kritik değerini aşmayacak şekilde tork cihazında ayarlama yapıp seri üretime 8 N·m’yi aşmayacak şekilde devam etme kararı alınmıştır. 8 Nm denemeleri yapılacaktır bu denemeden olumlu sonuç alınamazsa kırılma analizinde olumlu sonuç alınan PA6GF30 malzemesinin denemesi yapılacaktır. Bu alışmalar olumlu sonuçlanmazsa yeni tasarım kalıbı ya da kalıba tadilat yapılarak tasarım değişikliği yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- Aliabadi, M. H. ve Lopez, M. H. (1996). *Database of stress intensity factors*. Computational Mechanics Publications.
- Alsaran, A. (2014). *Hasar analizi*. 20 Temmuz 2016,
http://muhserv.atauni.edu.tr/makine/akgun/Docs/hasar/hasar_analizi_02.pdf
- Batchelor, G. K. (1977). The effect of Brownian motion on the bulk stress in a suspension of spherical particles. *Journal of Fluid Mechanics*, 83, 97-117.
- Broek, D. (1986). *Elementary engineering fracture mechanics*. Academic Publishers, Dordrecht
- Cherepanov, G. P. (1979). *Mechanics of brittle fracture*. New York: MacGraw-Hill
- Dikicioğlu, A. (2011). *Malzemelerin mekanik özellikleri*. İstanbul, 20 Ağustos 2016,
<http://akademi.itu.edu.tr/dikicioglu/DosyaGetir/99774/Metallerin%20Mekanik%20%C3%96zellikleri.pdf>.
- Freund, L. B. (1990). *Dynamic fracture mechanics*. Cambridge University Press.
- Griffith, A. A. (1921). The phenomena of rupture and flows in solids. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, A221, 163-197.
- Hegen, D. (1997). *An element-free galerkin method for crack propagation in brittle materials*. Doktora Tezi, Eindhoven Teknoloji Üniversitesi, Hollanda
- Irwin, G. R. (1948). Fracture dynamics fracturing of metals, *Proceedings of the ASM Symposium on Fracturing of Metals*, Cleveland, 147- 166.
- Irwin, G. R. (1958). *Fracture encyclopedia of physics*. Vol IV, Berlin, Springer.

Meydanlık, N. (2012). *Kırılma mekaniği*. Edirne, 15 Haziran 2016, <http://slideplayer.biz.tr/slide/2588497/>

Mohammadi, S. (2012). *Fracture analysis for composites*. Tehran: Wiley Press.

Owen, D. R. ve Fawkes, A. J. (1983). *Engineering fracture mechanics: Numerical methods and applications*. Swansea: Pineridge Press Ltd.

Tada, H. , Paris, P. C. ve Irwin, G. R. (2000). *The stress analysis of cracks handbook*. New York: ASME Press.

Timoshenko, S. P. (1953). *History of the strength of materials*. New York: MacGraw-Hill.

Vroonhoven, J. C. (1996). *Dynamic crack propagation in brittle materials: analyses bases on fracture and damage mechanics*. Doktora Tezi, Eindhoven Teknoloji Üniversitesi, Hollanda.

Yayla, P. (2007). *Kırılma mekaniği kitabı*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi