

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CEP TELEFONLARINDA TASARIM
ALTERNATİFLERİNİN DARBELİ
YÜKLEMELER AÇISINDAN İNCELENMESİ VE
GELİŞTİRİLMESİ**

Özgür İYİSON

Haziran, 2018

İZMİR

**CEP TELEFONLARINDA TASARIM
ALTERNATİFLERİNİN DARBELİ
YÜKLEMELER AÇISINDAN İNCELENMESİ VE
GELİŞTİRİLMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı

Özgür İYİSON

Haziran, 2018

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖZGÜR İYİSON, tarafından PROF. DR. MEHMET ZOR yönetiminde hazırlanan
"CEP TELEFONLARINDA TASARIM ALTERNATİFLERİNİN DARBELİ
YÜKLEMELER AÇISINDAN İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ"
başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans
tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Prof. Dr. Mehmet ZOR

Yönetici

.....
Prof. Dr. Binnur GÖREN KIRAL

Jüri Üyesi

.....
Dr. Öğr. Üyesi Levent AYDIN

Jüri Üyesi

.....

Prof. Dr. Latif SALUM

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bugüne kadar benden hiç bir zaman desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim. Ailem kadar bana ve tüm öğrencileri ile gönülden ilgilenen ve elinden gelen her türlü yardımı öğrencilerinden esirgemeyen tez danışmanın Sayın Prof. Dr. Mehmet Zor'a sonsuz teşekkürlerimi iletirim. Ayrıca bu çalışmada bana sağladıkları teknik bilgi ve moral desteklerini benden esirgemeyen Figes A.Ş firması çalışanı Sayın Alper Akış 'a teşekkürlerimi iletirim.

Özgür İYİSON

CEP TELEFONLARINDA TASARIM ALTERNATİFLERİNİN DARBELİ YÜKLEMELER AÇISINDAN İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, cep telefonlarında düşme durumuna bağlı olarak oluşabilecek mekanik hasarın sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek bilgisayar ortamında simüle edilmesi üzerine çalışılmıştır. Mekanik, elektronik ve elektronik haberleşme mühendislerinin koordineli çalışması sonucu üretilen cep telefonunun tasarım aşamasındaki düşme testlerinin simüle edilmesi, kalıp çıktıları öncesi yol göstermesi ve kalıp tadilatlarını önlemesi açısından son derece önemlidir. Drop test sırasında oluşabilecek cam kırılması ve mekanik deformasyonları incelemek amacıyla cep telefonun karmaşık yapısı biraz basitleştirilerek modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada Vestel firmasının ürettiği cep telefonunun sonlu elemanlar analizi ile Vestel firmasında test laboratuvarlarında yapılan final ürününün düşme testi incelenmiş ve sonuçların birbirlerini desteklediği görülmüştür. Tasarımlar üzerinde yapılan revizyonlarla, üç farklı tasarım elde edilerek analizler tekrarlanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca yaygın olarak kullanılan kılıfın kullanımı ile yaşanabilecek düşme senaryosu ve kılıfsız düşme senaryosu sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek incelenmiştir. Zamana bağlı düşme analizinde explicit (açık) sonlu elemanlar çözüm yöntemi kullanılmıştır. Parçanın modellenmesi için Creo parametrik v3.0, sonlu eleman çözümünde ise explicit çözücü olarak da Ansys/LSDYNA yazılımı kullanılmıştır. Sonuçlar köşe radyusu en büyük olan tasarımın dayanım açısından daha emniyetli olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Cep telefonu, düşme testi, dinamik analiz, explicit yöntem

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF DESIGN ALTERNATIVES ON MOBILEPHONES WITH REGARD TO IMPACT LOADING

ABSTRACT

In this study, we have worked on simulation of potential mechanical damage in the computer environment that may occur depending on falling status of our mobile phone with finite elements method. It is highly important that simulating the drop test at the design stage for mobile phone that is produced as a result of working coordinately the mechanical, electronic and electronic communication engineers together in terms of prevent the potential mold modification and guide before mold output. Mobile phone, which has complicated structure, is an electronical communication tool nowadays used by almost everybody. This complex structure has been modelled in order to analyze mechanical deformation and fracturing of glass that may occur at the drop test simulation and this simulation has been simplified in order that be in the analysis period. In this study, whether the accuracy of finite element analysis is observed by comparing the mobile phone produced by Vestel Company with the drop test of final product which has been in progress in its own test laboratory and it was observed that the results supported each other. With the revisions on the designs, three different designs were obtained and also compared to each other. Besides, the potential phone falling scenarios without case and with case recently used very common have been compared with each other by modelling them with finite element method. The explicit finite element solution method has been used in the time-dependent drop test. Creo parametric v.3.0 is used for modelling of parts and the Ansys/LSDYNA software is used as the explicit solver for the finite element solution. The results show that the design with the largest corner radius is safer than others in terms of strength.

Keywords: Mobile phone, drop test, dynamic analysis, explicit method

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii

BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....1

1.1 Cep Telefonlarının Tarihçesi.....	1
1.2 Cep Telefonlarının Yapısı ve Modellenmesi.....	3
1.3 Cep Telefonlarına Uygulanan Mekanik Testler.....	4
1.3.1 Micro Drop Test (Kısa Mesafeden Düşme Testi).....	4
1.3.2 Bending Test (Eğilme Testi).....	5
1.3.3 Twisting Test (Burulma Testi).....	6
1.3.4 Soft Compressing Test (Üzerine Oturma Testi)	7
1.3.5 Tumble Test (Merdivenden Düşme Testi)	8
1.3.6 Ball Drop Test (Bilye Düşürme Testi).....	9
1.3.7 TP Pull Test (Dokunmatik Ekran Çekme Testi).....	10
1.3.8 Drop Test (Düşme Testi).....	11
1.4 Drop Test Simülasyonu.....	12
1.5 Drop Test Sümülasyonunda Yakınsama.....	13

BÖLÜM İKİ - EXPLİSİT (AÇIK) ÇÖZÜM YÖNTEMİ.....14

2.1 Explicit Yöntem.....14

BÖLÜM ÜÇ – BİLGİSAYAR MODELİNİN TANIMI.....17

3.1 Sayısal Simülasyon Teorisi.....17

3.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin Temel Prensipleri.....17

3.2.1 Dinamik Sistem İçin Hareket Denklemi.....18

3.2.2 Zaman Entegrasyon Yöntemleri.....19

3.2.3 Merkezi Fark Metodu.....19

3.2.3.1 Merkezi Fark Yönteminin Avantajları.....20

3.2.3.2 Merkezi Fark Metodunun Dezavantajları.....21

3.2.4 Kontak Etki Algoritması.....22

BÖLÜM DÖRT – DROP ANALİZİ.....23

4.1 Drop Analiz İçin Yapılan Kabuller ve Test Koşulları.....23

4.2 Modele Atanmış Malzeme Özellikleri.....24

4.2.1 PC/ABS (Polikarbonat/Akrilonitril Bütadien Stiren).....26

4.2.2 Elyaf Katkılı Polikarbonatlar (PC+%20GF).....27

4.2.3 Gorilla Glass.....28

4.3 Drop Analiz İçin Oluşturulan Modeller ve Drop Test Analiz Sonuçları.....28

4.3.1 Model-s ve Analiz Sonuçları.....29

4.3.2 Model-R7 ve Analiz Sonuçları.....33

4.3.3 Model-R15 ve Analiz Sonuçları.....36

4.3.4 Model-r ve Analiz Sonuçları.....	38
4.4 Drop Test Analizinin Doğrulanması.....	40
BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	43
5.1 Sonuçların Karşılaştırılması ve Yorumlanması.....	43
KAYNAKLAR.....	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 İlk cep telefonu 1983'te Motorola Dyna-TAC.....	1
Şekil 1.2 İlk akıllı cep telefonu.....	2
Şekil 1.3 Mikro drop test cihazı.....	5
Şekil 1.4 Bending test cihazı.....	6
Şekil 1.5 Twisting test cihazı (Kişisel, 2018).....	7
Şekil 1.6 Soft compressing test cihazı.....	8
Şekil 1.7 Tumble test cihazı.....	9
Şekil 1.8 Ball drop test cihazı ve uygulanan noktalar.....	10
Şekil 1.9 Akıllı telefon ekranı çekme cihazı.....	11
Şekil 1.10 Drop test cihazı ve tutucu kısmının gösterimi.....	12
Şekil 3.1 Mühendislik çözümleme yöntemleri.....	17
Şekil 3.2 Merkezi farklar metodu gösterimi.....	20
Şekil 4.1 Drop test simülasyonu için modellenen akıllı telefonlar.....	24
Şekil 4.2 Taşıyıcı malzeme için tanımlanan PC+%20GF malzemesi için şekil değiştirme-gerilme eğrisi.....	25
Şekil 4.3 Ara parça ve arka kasa parçaları için tanımlanan PC/ABS malzemesi için şekil değiştirme-gerilme eğrisi	26
Şekil 4.4 PC/ABS harman yapısı.....	27
Şekil 4.5 Proje şeması.....	29
Şekil 4.6 Model-s genel mesh görünümü.....	30
Şekil 4.7 Model-s taşıyıcı parça üzerindeki en büyük gerilme.....	31
Şekil 4.8 Model-s taşıyıcı parça üzerindeki en büyük elastik birim şekil değiştirme....	31
Şekil 4.9 Model-s taşıyıcı parça üzerindeki en büyük plastik birim şekil değiştirme....	31

Şekil 4.10 Model-s arka kapak üzerindeki en büyük gerilme.....	32
Şekil 4.11 Model-s arka kapak üzerindeki en büyük elastik birim şekil değiştirme....	32
Şekil 4.12 Model-s cam üzerindeki en büyük asal gerilme.....	32
Şekil 4.13 Model-R7 genel mesh görünümü.....	33
Şekil 4.14 Model-R7 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük gerilme.....	34
Şekil 4.15 Model-R7 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük elastik birim şekil değiştirme.....	34
Şekil 4.16 Model-R7 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük plastik birim şekil değiştirme.....	34
Şekil 4.17 Model-R7 arka kapak üzerindeki en büyük gerilme.....	35
Şekil 4.18 Model-R7 arka kapak üzerindeki en büyük elastik birim şekil değiştirme..	35
Şekil 4.19 Model-R7 cam üzerindeki en büyük asal gerilme.....	35
Şekil 4.20 Model-R15 genel mesh görünümü.....	36
Şekil 4.21 Model-R15 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük gerilme.....	37
Şekil 4.22 Model-R15 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük elastik birim şekil değiştirme.....	37
Şekil 4.23 Model-R15 arka kapak üzerindeki en büyük gerilme.....	37
Şekil 4.24 Model-R15 arka kapak üzerindeki en büyük elastik birim şekil değiştirme.....	38
Şekil 4.25 Model-R15 cam üzerindeki en büyük asal gerilme.....	38
Şekil 4.26 Model-r genel mesh görünümü.....	39
Şekil 4.27 Model-r taşıyıcı parça üzerindeki en büyük gerilme.....	39
Şekil 4.28 Model-r arka kapak üzerindeki en büyük gerilme.....	40
Şekil 4.29 Model-r cam üzerindeki en büyük asal gerilme.....	40
Şekil 4.30 Cam üzerindeki en büyük asal gerilme.....	41

Şekil 4.31 Cep telefonunun 2250 mm’den yüzey atışı sonrası camdaki hasar.....	42
Şekil 5.1 Farklı köşe radyuslu akıllı cep telefonlarına uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki en büyük gerilme dağılımı.....	44
Şekil 5.2 Farklı köşe radyuslu akıllı cep telefonlarına uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki en büyük birim-şekil değiştirme dağılımı.....	44
Şekil 5.3 Kılıflı ve kılıfsız olarak akıllı cep telefonuna uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki en büyük gerilme dağılımı.....	45
Şekil 5.4 Gerçek ortamda düşme testi yapılan akıllı cep telefon ile sonlu elemanlar modelinde oluşan kalıcı plastik şekil değiştirme noktasının karşılaştırılması.....	46

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1 Modelde kullanılan mekanik malzeme özellikleri.....	25
Tablo 4.2 Modeldeki parçalara atanan malzemeler.....	29
Tablo 5.1 Farklı köşe radyuslu akıllı cep telefonlarına uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki kritik gerilme ve birim-şekil değiştirmeler.....	43
Tablo 5.2 Kılıflı ve kılıfsız olarak akıllı cep telefonuna uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki kritik gerilmeler.....	45

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Cep Telefonlarının Tarihçesi

Cep telefonlarının geçmişi oldukça eskiye dayanmaktadır. 1921 yılında Detroid Emniyet Müdürlüğünde, tek yönlü iletişim kurulabilen bir verici ile denemelerin başladığı bu teknoloji, 1993 yılına kadar geliştirilerek, klasik cep telefonu olarak süre geldi (Ertuğrul, 2018). 1983 yılında Motorola firmasının tanıttığı ilk cep telefonu olarak tarihteki yerini almaktadır. Ayrıca bu cihazın bir başka özelliği de kuşkusuz ilk cep telefonu icadı olmasıdır ve mucidi ise Martin Cooper olmuştur (Farley, 2005).



Şekil 1.1 İlk cep telefonu 1983'te Motorola Dyna-TAC (Motorola, b.t)

Klasik cep telefonu ile dokunmatik ekran ve bilgisayar dünyasının özelliklerinin birleştiği ilk cihaz ve tarihin ilk akıllı telefonu olarak da bilinen IBM'in Simon telefonudur (Ertuğrul, 2018).



Şekil 1.2 İlk akıllı cep telefonu (Thetechport, 2014)

Ülkemizde cep telefonuyla ilk görüşme günümüzden yaklaşık 25 sene önce yapılmıştır. 25 sene önce tamamen lükse yönelik bir ihtiyaçmış gibi görünen cep telefonları kısa sürede hayatımızın vazgeçilmezi haline gelmiştir (Ertuğrul, 2018). Çok uzun sayılmayacak bir süre içerisinde inanılmaz ilerleme kaydeden cep telefonları, günlük yaşamda kullandığımız birçok envanteri ufak bir kutuda bizlere sunmayı başardı. Bu kutu özellikle dokunmatik ekran teknolojinin gelişmesiyle ve taşınabilir teknolojik ürünlerdeki boyutsal küçültme ile birlikte değişime uğradı. Yeni nesil akıllı telefonlarla artık günümüzdeki teknoloji ile birlikte telefonda bulunan kritik komponentlerden panelin korunması da bir o kadar önemli hale gelmektedir. Çünkü panel kırılması problemleri son kullanıcı da çokça rastlanan bir hadisedir. Bu yüzden müşteri şikâyetleri ile birlikte garanti kapsamında tamir için üretici firmalara en çok bu konuda dönüş olmaktadır. Bu konuda eskiye oranla ekran boyutunun büyümesi ile telefonun camında görülen kırılma problemleri de sürekli artmaktadır. Üretici firmalar bu konuda bakım onarım maliyetlerinin artmasıyla birlikte son kullanıcıyı kılıf kullanmaya yönlendirmiştir. Hatta bazı firmalar telefon kutusuna kılıf koyarak son kullanıcılara mesaj vermişlerdir.

1.2 Cep Telefonlarının Yapısı ve Modellenmesi

Cep telefonları günümüz teknolojisi ile adım adım gelişmektedir. Akıllı telefonlarla birlikte küçük bilgisayarların görevlerini kısmen yerine getirirler (Bal, 2013). Akıllı cep telefonları içerisinde sahip olduğu panel, kamera, batarya, speaker, anakart ve üzerindeki binlerce komponenti ile çok karmaşık bir yapıyı oluşturmaktadır. Çok küçük boyutlarda yüzlerce parçanın belirli bir düzen içerisinde sorunsuz bir şekilde çalışması ve korunması gerekmektedir. İçerisindeki yapıyı koruyan ve görselliğini kazandıran mekanik parçalarda günümüz teknolojisine ayak uydurarak edindiği yeni üretim teknolojileriyle birlikte farklı sınıflara ayrılmışlardır. Plastikten başlayan mekanik parçalar yarı metal, ful metal, cam ürünlerle birlikte son kullanıcının beğenisine sunulmaktadır. Bu tezde, günümüze kadar ki süreçte piyasaya en çok sunulan plastik ürünler ele alınmıştır. Akıllı cep telefonumuz 3 ana plastik parçanın yanında panel ve pil modellenerek basitleştirilmiştir. Burada anakart ve üzerindeki binlerce komponent ile diğer parçalar pile ağırlığı verilerek düşme testinde ihmal edilmemiş olup çözüm süresini azaltmada ve ağ örgüsünde kolaylık sağlamaktadır. Bu durumda, akıllı telefonların yapısı mümkün olan tüm ayrıntıları ile kapsayan bir bilgisayar modelin zorluğunun yanı sıra prototip masrafı en aza indirmek adına önemli bir araç olacaktır. Böyle bir bilgisayar modeli ayrıca akıllı telefonlar içinde zamanında öngörülerek doğru tasarım yapılması ve kritik yerlerdeki parametrelerin değişiminin gözlenmesinde de faydalı olacaktır. Gerçeğe uygun veya en azından gerçeğe yakın sonuçların alınabileceği bir bilgisayar modeli, tasarımcılara daha iyi akıllı telefonların geliştirilmesi sürecinde zaman kazandıracaktır. Drop test için harcanan zaman, tasarımcılara daha iyi ve daha sağlam akıllı telefonların geliştirilmesi sürecinde yardımcı olacaktır.

Vestel’de üretilen plastik bir ürün basitleştirerek modellenecek, yapılacak düşme analizi sonuçları test laboratuvarlarında doğrulanacaktır. Test laboratuvarlarında düşme testi senaryosu ile birlikte, merdivenden düşme, arka cebinizdeyken üzerine oturma gibi varsayımları temel edinmiş test prosesleri de mevcuttur. Ayrıca IEC 60068 standartlarına göre son kullanıcıdan önce yapılan mekanik testlerde uygulanmakta

olup gelişen teknolojiye test birimleri de ayak uydurmaktadır. Tezin bu bölümünde ise akıllı cep telefonlarına uygulanan mekanik testlerden bahsedilecektir.

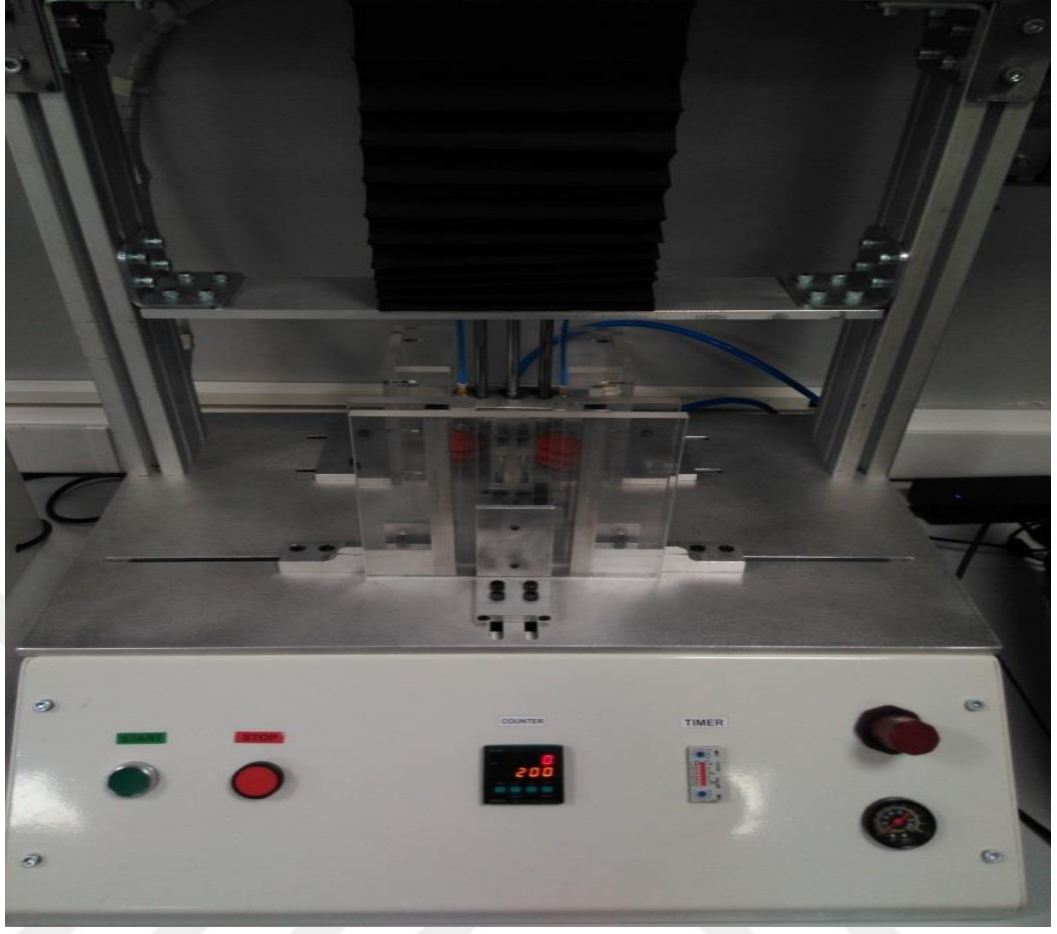
1.3 Cep Telefonlarına Uygulanan Mekanik Testler

Günümüzde üretici firmalar tarafından uygulanan mekanik testleri şu şekilde sıralanabilir;

- Micro Drop Test (Kısa mesafede düşme testi)
- Bending Test (Eğilme testi)
- Twisting Test (Burulma testi)
- Soft Compressing Test (Üzerine oturma testi)
- Tumble Test (Merdivenden düşme testi)
- Ball Drop Test (Metal bilye atış testi)
- Touch Panel Pull Test (Ekran çekme testi)
- Drop Test (Düşme testi)

1.3.1 Mikro Drop Test (Kısa Mesafeden Düşme Testi)

Mikro Drop Testin amacı telefonun günlük hayatta karşılaşacağı ve alabileceği darbeleri simüle etmektir. Kullanılan bu testin test metodu ise 6 yüzeye 200'er kez toplamda 1200 kez uygulanması ve 10 cm yükseklikten serbest düşme yapılmasıdır. Uygulanan test metodu sonucunda telefonda çizikler oluşması veya batarya kapağında açılma olması kabul edilebilir kriterlerdir. Ancak LCD çatlakları, çalışmayan komponent, plastikte oluşan çatlama, telefonda bulunan hafıza veya sim kartının çıkması, bataryanın veya batarya kapağının çıkması, boya çatlaması ve telefon tırnaklarının kırılması kabul edilemeyen kriterlerdir. Ortaobalı, M. (Kişisel iletişim, 22 Eylül 2017)

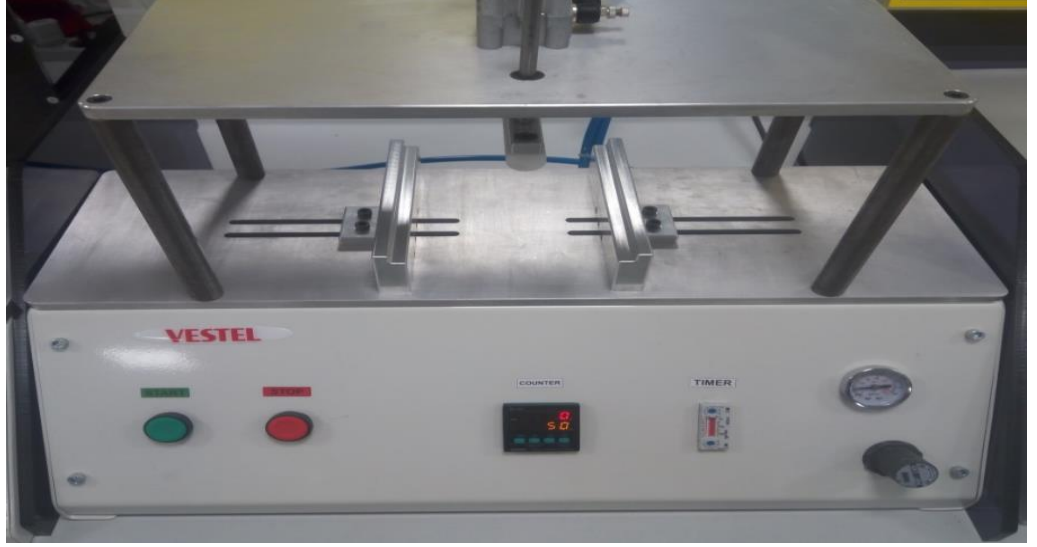


Şekil 1.3 Mikro drop test cihazı (Kişisel arşiv, 2018)

1.3.2 Bending Test (Eğilme Testi)

Cihazların eğme zorlanmasına karşı oluşan problemlerin gözlenmesi bu testin amacını oluşturmaktadır. Eğilme testine girecek olan ürünler öncelikle mekanik ve fonksiyonel olarak kontrol edilmelidir. Ürünler kontrol edildikten sonra eğme test cihazında her bir ürüne ilk seferde 10N uygulanıp her defasında 10'ar N arttırılarak 10 kez uygulanmaktadır. Ortaobalı, M. (Kişisel iletişim, 22 Eylül 2017)

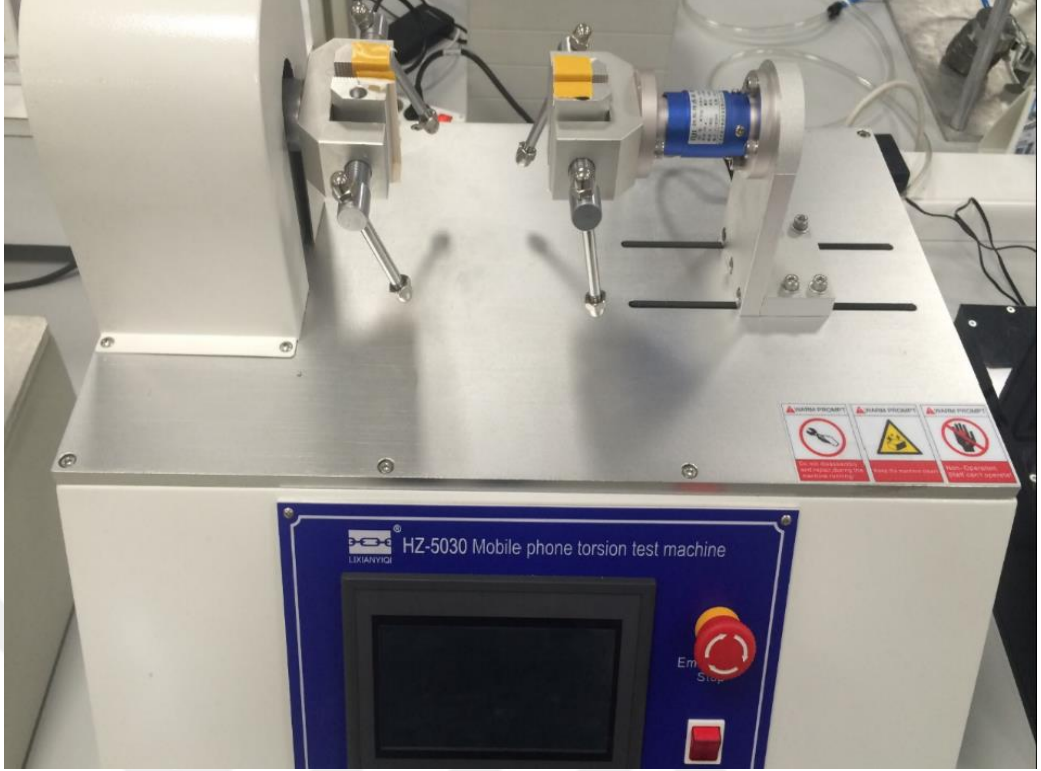
Uygulanan eğilme testi sonucunda telefonda oluşan kırılma, çatlama ve benzeri deformasyonlar veya panelde oluşan leke, dalgalanma ve noktasal izler kabul edilmeyen kriterler arasındadır.



Şekil 1.4 Bending test cihazı (Kişisel arşiv, 2018)

1.3.3 Twisting Test (Burulma Testi)

Burulma testinin amacı, cihazların burulma zorlanmalarına karşı dayanımını gözlemlemektir. Bu teste girecek olan ürünler öncelikle mekanik ve fonksiyonel olarak kontrol edilmelidir. Ürünler kontrol edildikten sonra, iki cihazın her iki kısa kenarından saat yönüne doğru 2 Nm tork ve 3° açı ile 1000 tekrar uygulanmaktadır. Test sonucunda dış görünümde baskı ve darbe izleri kabul edilebilir kriterlerdendir. Fakat LCD kırık ve çatlakları, dokunmatik ekran üzerinde mura izleri veya plastik çatlaklar ve kırıklar kabul edilemeyen kriterler arasındadır. Ortaobalı, M. (Kişisel iletişim, 22 Eylül 2017)



Şekil 1.5 Twisting test cihazı (Kişisel arşiv, 2018)

1.3.4 Soft Compressing Test (Üzerine Oturma Testi)

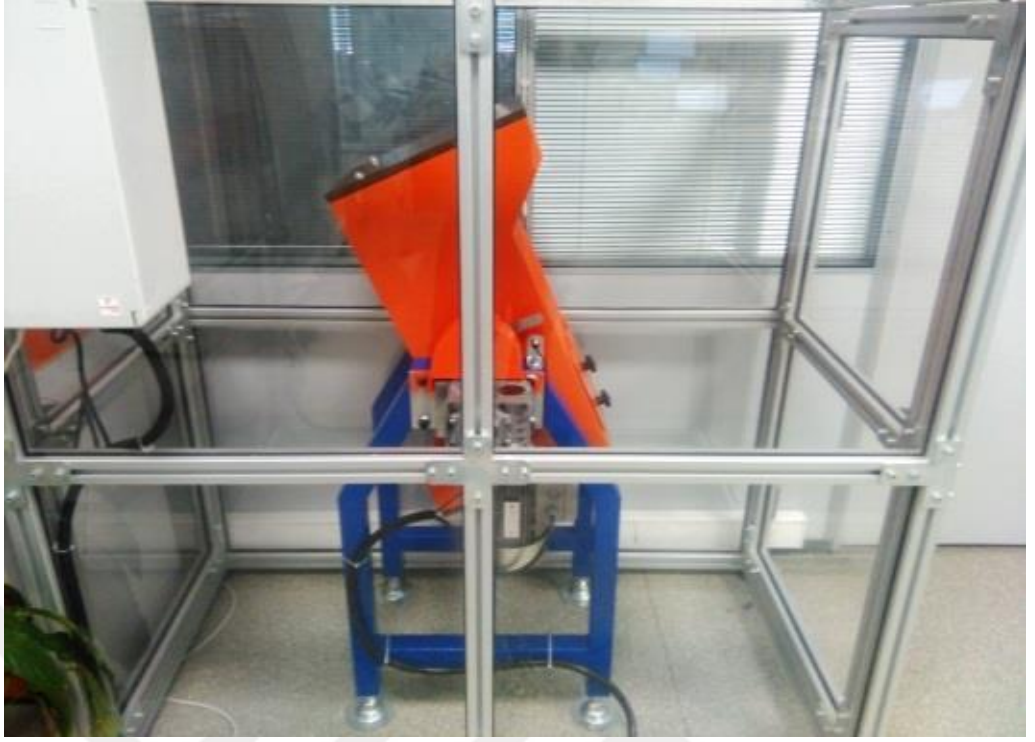
Cihazların pantolon ceplerinde bükülmesini kontrol etmek soft compressing testin amacıdır. Soft compressing teste girecek olan ürünler öncelikle mekanik ve fonksiyonel olarak kontrol edilmelidir. Kontrol sağlandıktan sonra bu test, iki ürüne de 40 kg yük ve 30 kez/dk (dakikada 30 kez) olacak şekilde 1000'er tekrar yapılarak uygulanmaktadır. Mutlaka cihaz ile uygulanacak yük arasında kumaş olmalıdır. Dış görünümde baskı ve darbe izleri soft compressing test için kabul edilebilir kriterlerdendir. Ancak LCD kırık ve çatlakları, dokunmatik ekran üzerinde oluşan dalgalanma, plastik çatlaklar ve kırıklar veya orta kısımda yapılan ölçümler sonucunda 0,1 mm'den fazla açıklar kabul edilemeyen kriterler arasındadır. Ortaobalı, M. (Kişisel iletişim, 22 Eylül 2017)



Şekil 1.6 Soft compressing test cihazı (Kişisel arşiv, 2018)

1.3.5 Tumble Test (Merdivenden Düşme Testi)

Tumble test tüketicinin kullanımı sırasında oluşabilecek düşmelerin etkilerini gözlemlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu teste girecek olan ürünler öncelikle mekanik ve fonksiyonel olarak kontrol edilmelidir. Kontrol edildikten sonra tumble testte iki ürüne, 10 düşme/dk (dakikada 10 düşme) olacak şekilde 50 cm'den 100 kez tekrarlanmaktadır. Dış görünümde baskı ve darbe izleri tumble test için kabul edilebilir kriterlerdendir. Fakat LCD kırık ve çatlakları, plastik çatlaklar ve kırıklar veya çalışmayan komponent kabul edilemeyen kriterler arasındadır. Ortaobalı, M. (Kişisel iletişim, 22 Eylül 2017)



Şekil 1.7 Tumble test cihazı (Kişisel arşiv, 2018)

1.3.6 Ball Drop Test (Bilye Düşürme Testi)

Cihaz yüzeylerinin günlük hayatta karşılaşılabileceği darbelere karşı direncini belirlemek ball drop testin amacıdır. Ball drop teste girecek olan ürünler öncelikle mekanik ve fonksiyonel olarak kontrol edilmelidir. Çelik bilye ağırlığı cihazın orta noktasına ve dört köşesine uygulanmaktadır. Ortaobalı, M. (Kişisel iletişim, 22 Eylül 2017)

Ball drop testten sonra dokunmatik ekranın fonksiyonları kontrol edilir. Kontrol sonucunda panelde çatlak olmamalıdır ve dokunmatik ekran sorunsuz bir şekilde çalışmalıdır. Yine ball drop test sonucunda cihazda boya-kaplama bulunan yüzey de kontrol edilir. Yapılan bu kontrolün sonucunda da boyalı yüzeyde kabarma, soyulma ve kabarcık olmamalı veya boyanan malzeme deformasyona uğramamış olmalıdır. Ortaobalı, M. (Kişisel iletişim, 22 Eylül 2017)



Şekil 1.8 Ball drop test cihazı ve uygulanan noktalar (Kişisel arşiv, 2018)

1.3.7 TP Pull Test (Dokunmatik Ekran Çekme Testi)

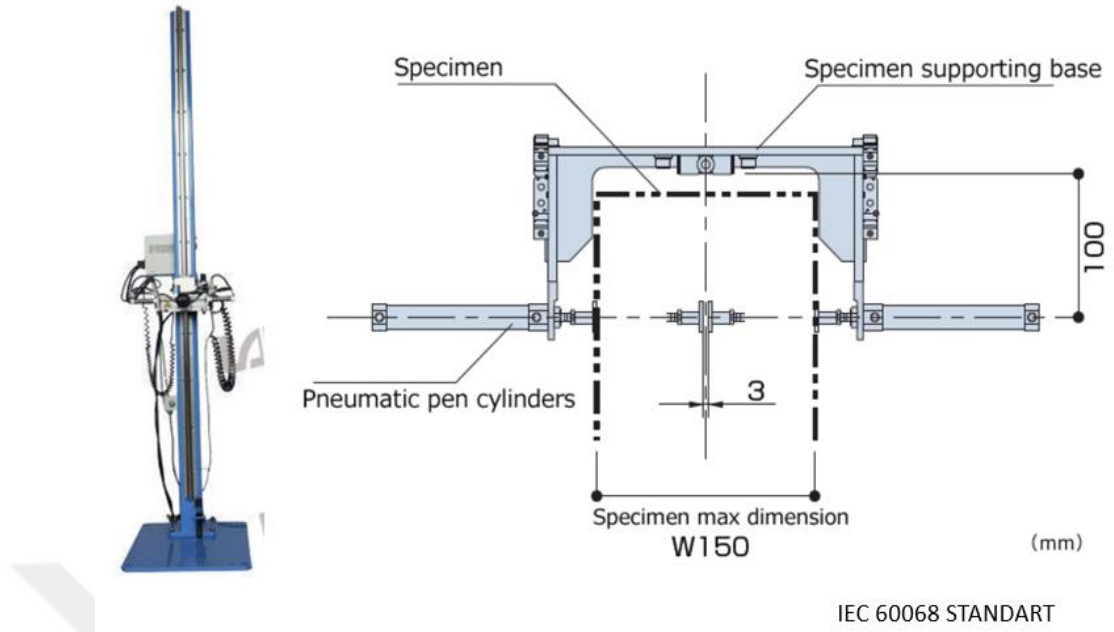
Touch panel pull testin amacı cihaz ekranının altında bulunan yapışkan maddenin kuvvet kontrolünü sağlamaktır. Bu teste girecek olan ürünler öncelikle mekanik ve fonksiyonel olarak kontrol edilmelidir. Kontrol sağlandıktan sonra cihazın 6 noktasına 7’şer dakikadan 22 N’luk yükler uygulanır. Her bir noktaya yük uygulandıktan sonra touch panel kontrol edilmelidir. Touch panel pull testte, dokunmatik ekranda herhangi bir kırık-çatlak olması kabul edilmeyecek kriterlerdendir. Ayrıca cihazın panelinde oluşabilecek olan partiküller, lekeler; ekranda oluşabilecek dalgalanma ve ışık sızması vb. sorunlar ürünün spekleri dâhilinde olmalıdır. Ortaobalı, M. (Kişisel iletişim, 22 Eylül 2017)



Şekil 1.9 Akıllı telefon ekranı çekme cihazı (Kişisel arşiv, 2018)

1.3.8 Drop Test (Düşme Testi)

Cihazda olası düşmelerin etkisini gözlemlemek drop testin amacıdır. Drop teste girecek olan cihazlar öncelikle mekanik ve fonksiyonel olarak kontrol edilmelidir. Bu test iki ürüne ikişer tekrar uygulanacak şekilde sert zemin üzerinde yapılmalıdır. Test iki cihazda uygulanır. Çizilme veya ezilme, ayrılabilen parçaların yerinden çıkması veya ayrılması kabul edilebilir kriterlerdir. Ancak drop testte, dokunmatik ekranın işlevini yerine getirememesi, camda çatlak veya kırık olması, herhangi bir fonksiyonel hata veya bozukluk olması ve plastik parçalarda çatlama veya kırılma olması kabul edilemeyen kriterler arasındadır (IEC 60068-2-32, 2010).



Şekil 1.10 Drop test cihazı ve tutucu kısmının gösterimi (IEC 60068-2, 2010)

1.4 Drop Test Simülasyonu

Akıllı telefonlarda düşme testi simülasyonu, telefonun içinde bulunan küçük parçalar ve montajlar nedeniyle karmaşık olmaktadır. Bu küçük parçalar geometri, mesh ve basitleştirmeyi zorlaştırmaktadır. Bunlara ek olarak çok sayıda kontak tanımlanması ve sınır koşulları atanması gerekmektedir. Bu sayılan işlemlerin tamamlanması günler hatta haftalar sürebilmektedir. Az önce sayılan tüm bu nedenler dolayısıyla çoğu firma drop testleri yapabilmek için analiz firmalarıyla anlaşmaktadır. Örneğin LG firması Altair firması ile anlaşmıştır. Altair firması LG ile yaptığı bu anlaşmayı 2013 yılında kendi internet sitesinden ‘Altair ve LG elektronik ortaklığıyla düşme testi simülasyon süresi 1 haftadan 24 saatin altına düştü’ başlığı ile duyurmuştur (Altair, 2013).

Altair firması drop test simülasyonunu bir saatten az bir sürede bulduğu özel bir mesh metodu ile yapmakta ve yüzlerce parçayı birleştirebilmektedir. Bu sayede LG firması ürünlerini daha fazla yineleme imkânı elde etmekte ve daha kısa sürede daha sağlam projeler sürdürmeyi amaçlamaktadır. LG firmasında çalışan mühendisler drop test simülasyonu için ayırdıkları iş gücünü daha yenilikçi tasarımlar üzerinde

yoğunlaşarak kullanabilmektedir. LG firması Altair firması ile yaptığı anlaşma ile pazara giriş süresini kısaltmayı, ürün geliştirme süresini arttırmayı, yenilikçi çalışmalara yoğunlaşmayı, tasarım için daha fazla zaman bırakmayı ve ürün garanti maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamakta ve bunu yanında da piyasaya daha güçlü ürünlerle girmeyi hedeflemektedir.

1.5 Drop Test Simülasyonunda Yakınsama

Drop testin sonlu elemanlar modeline aktarılmasının en zor yanı basitleştirme ve basitleştirilen modelin örülmesinden geçer. Bu yüzden ağ örgüsünün doğruluğu ve bunu yakınsayarak modele aktarmak, simülasyon süresini ve verilerin doğruluğunda önemli yere sahiptir.

Örülen ağın doğruluğu için analiz işlemine mümkün olduğunca kaba örerek başlamak daha doğru olacaktır. Analiz işleminin kabaca örülmesi daha az hesaplama kaynağı yaratacakken daha az sürede çözmeyi sağlamaktadır. Hata oranı yüksek bir sonuç verse bile uygulanan yükler ve sınır şartları hakkında kabaca doğrulama ve kontrol imkânı sağlamaktadır.

Ağ örgüsü kabaca örülüp ilk sonuçlar aldıktan sonra, ağ örgüsünü sıklaştırma süreci başlar. Yakınsama çalışması, modelin ağ örgüsünü sıklaştırarak ve bu çalışmaları defalarca çözerek, çıkacak analiz sonuçlarını karşılaştıran işlemlerin bütününe denir. Bu karşılaştırma kritik noktadaki sonuçların yakınsaması ile son bulur.

Bu sayısal değerleri kıyaslayarak, ağ örgüsünün sıklığı ile ilgili çıkarımda bulunmak mümkündür. En az üç ardışık çözüm karşılaştırıldıktan sonra, çözümün asimptotik bir davranışı ortaya çıkmaya başlar. Ağ örgüsü daha sıkısa, farklı çözümlemeler arası sonuç farkları daha az olacaktır. Sonunda, bu değişiklikler çok küçük olacaktır. Kullanıcı ise yeterli gördüğü seviyede durdurarak, analiz sonuçlarının doğruya yaklaştığına inandığı eleman boyutunu ve analiz süresinin uzunluğunu optimal seviyede tutarak seçer. Sonuç olarak örülen ağın kalitesi, sonlu elemanlar analizleri için son derece önemlidir ve bir tasarımın başarılı ya da başarısız olacağını tahmin etmek adına kritiktir (Korkut, 2018).

BÖLÜM İKİ

EXPLİSİT (AÇIK) ÇÖZÜM YÖNTEMİ

2.1 Explicit Yöntem

Explicit yöntem(Merkezi farklar yöntemi) implicit yöntemlerden farklı olarak zamana bağlı olduğu için hız, ivme, kütle ve sönümlleme bu yöntem ile değerlendirilir. Explicit çözüm yönteminde $t+\Delta t$ anında çözümün t anındaki denge şartlarından elde edilmesine dayanır (Korkut, 2017). Merkezi fark entegrasyonunun (Central Difference time Integration, CDIT) kullanılma nedeni belirlenen düğüm noktalarındaki alan değişkenlerini hesaplamaktır. Bir veya birden fazla değişkenin tek bir değişkene göre adi türevlerini içeren diferansiyel denklemlere adi diferansiyel denklem (ADD) denir. Doğrusal olmayan bir ADD için tek sayısal çözüm olduğundan özellikle doğrusal olmayan problemlerin çözümü için bu yöntem uygundur (Gözen, 2017).

Bu yöntemin avantajı her bir adımda katılık matrisinin hesaplanmamasıdır. Bu yöntemde kritik zaman adımı (Δt_{cr}) sonlu elemanlar modelindeki elemanlar için katılık ve kütle değerlerinden hesaplanır. Yöntemde çözümün istikrarı için zaman aralığı (Δt), kritik zamanı adımına eşit veya kritik zaman adımından küçük olmalıdır. Yani çözüme ulaşabilmek için aşağıdaki denklem şartını sağlamalıdır (Gözen, 2007).

$$\Delta t \leq \Delta t_{cr} = \frac{2}{\omega_{\max}} \quad (2.1)$$

Bu denklemde $\omega_{\max}$ “n” serbestlik dereceli sonlu elemanlar modelindeki en yüksek frekanstır. Çözüm kümesinde kararlılık limiti şu şekilde ifade edilebilir.

$$\Delta t_{cr} \simeq \frac{L_{\min}}{c_d}, \quad c_d = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.2)$$

Burada L_{min} çözüm kümesindeki elemanların en küçük boyutu olarak alınırken Cd dalga yayılım hızıdır. Bu dalga yayılım hızı lame sabitlerindeki (λ ve $G=2\eta$) dalga yayılım hızıdır (Gözen, 2007).

Explicit çözüm yönteminde zaman aralığı kritik zaman adımından daha büyük alınırsa entegrasyon istikrarsız olacaktır. Yani çözüme ulaşamayacak ya da sağlıklı sonuçlar elde edilemeyecektir. Yine bu yöntemde kritik zaman adımından daha küçük bir zaman adımı kullanılırsa sonuçlar ‘‘koşullu kararlı’’ olacaktır. Bu durumlara bakarak explicit yöntem için toplam analiz süresi hakkında kritik zaman adımına bağlı olarak değişecektir yorumu yapılabilir. Bu değişim ters orantılıdır. Yani kritik zaman adımı 2 katına çıkarılırsa analiz süresi yarıya düşecektir. Kritik zaman adımı L_{min} (sonlu elemanlar modelindeki en küçük eleman boyutu) ile doğru orantılı olduğundan L_{min} küçüldükçe kritik zaman adımı da küçülecektir. Yani L_{min} yarıya düşürülürse kritik zaman adımı da yarıya düşerken toplam analiz süresi iki katına çıkacaktır. Denklem 2.2’den de anlaşılabacağı üzere kritik zaman adımı kütle yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla toplam analiz süresi de kütle yoğunluğu ile ters orantılıdır. Sonuç olarak analizdeki toplam analiz süresini etkileyen tüm bu değerlerin en elverişli şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Explicit (açık) çözüm yönteminde iki farklı temas algoritması bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan kinematik algoritmada temas etme koşulları göz önüne alınmadan analizin her noktasında kinematik model tahmin edilir. Daha sonra arasında girişim bulunan düğüm noktaları ve bunların sayısı belirlenir. Girişim miktarına bağlı olarak düğüm noktalarına vereceği tepki kuvvetini hesaplayarak bu düğüm noktalarına uygular. İkinci algoritma olan penaltı algoritması daha yumuşak bir temas yaklaşımı kullanarak toplam analiz süresini azaltıcı bir fonksiyondur. Düğüm noktaları girişimi önceden tahmin edilmek yerine analiz anında hesaplanır. Fonksiyon ile hesaplanan kuvvet, düğüm noktalarına ters yönde uygulanmaktadır (Gözen, 2007).

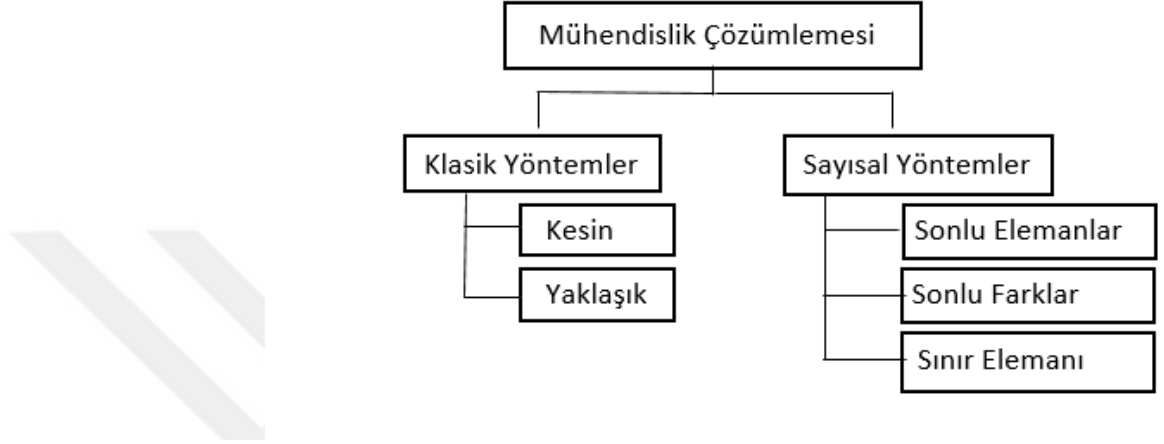
Explicit analizde zaman adımının çok küçük olmasından dolayı temas girişimlerinin her iki algoritma içinde çok fazla olmamasını sağlar. Ayrıca küçük zaman adımı gereksiniminden dolayı, explicit yöntem genelde milisaniyede gerçekleşen kısa süreli olaylar ile sınırlamaktadır. Bu nedenle explicit yöntemde temas yakınsaması ile ilgili genelde sıkıntı yaşanmaz.

Explicit yöntem ve algoritmaları, sağladığı uygulama ve yönetim kolaylığı gibi avantajları nedeniyle ticari kodlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemi kullanan ticari sonlu elemanlar yazılımlarına örnek olarak LS-DYNA, ANSYS, AUTODYN, ABAQUS ve RADIOSS verilebilir. Bu yazılımlar, çok çeşitli ticari ve askeri uygulamalarının oldukça karışık dinamik analizlerini çözmek için geliştirilmişlerdir.

BÖLÜM ÜÇ

BİLGİSAYAR MODELİNİN TANIMI

3.1 Sayısal Simülasyon Teorisi



Şekil 3.1 Mühendislik çözümleme yöntemleri (Kishan ve Basha, 2017)

Şekilde de görüldüğü gibi sonlu elemanlar yöntemi mühendislik analiz yöntemlerinden sayısal yöntemler başlığı altında bulunur.

3.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin Temel Prensipleri

Sonlu elemanlar yöntemi, temel diferansiyel denklemleri ve sınır koşullarını ilgili cebirsel sonlu farklar denklemleriyle değiştirir. Büyük ve karmaşık bir sorunu; genel geometri, yükleme ve sınır şartları ile çözme kapasitesine sahiptir.

Sonlu elemanlar yöntemi, yapıları ve sürekliliği analiz etmek için sayısal bir yaklaşım yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi, diferansiyel denklemleri eşzamanlı cebirsel denklemlere ayırmayı içerir. Sonlu elemanlar yöntemi eşzamanlı denklem sistemini çözmek için matris cebir kullandığından, literatürde yapısal analizin matris metodu olarak bilinir. Karmaşık yapıların davranışlarını onları daha küçük ve basit parçalara ayırarak incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Yapının bu daha küçük

parçalarına (sonlu) elemanlar denir. Elemanların ve düğümlerin montajı da sonlu eleman modeli olarak adlandırılır (Kishan ve Basha, 2017).

Bilgisayarların nümerik hesaplama verimliliğinde yapılan ilerlemeler ve sonlu elemanlar yöntemiyle üretilen çok sayıda denklemin çok verimli bir şekilde çözülebilmesiyle birlikte sonlu elemanlar yönteminin kullanımı artmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde yapılan ilk geliştirmeler, yapısal mekanik ile ilgili problemlerin analizini içermektedir. Bu daha sonra ısı transferi, akışkan akışı, yağlama, elektrik ve manyetik alanlar gibi çeşitli alanlara uygulanmıştır (Balasubramanyam, 1999). Bu araştırmada kullanılan analiz aracı LSDYNA [Hallquist (1998)] 'dir. Bu kodda kullanılan sonlu elemanlar tekniklerinin temel prensipleri aşağıda açıklanmıştır:

3.2.1 Dinamik Sistem İçin Hareket Denklemi

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (3.1)$$

Harmonik bir yüklemeye tabi tutulan dinamik sistemin kapalı form çözümü [Collatz (1950)] tarafından verilmiştir:

$$u(t) = \underbrace{u_0 \cos \omega t}_{\text{Homojen çözüm}} + \underbrace{\frac{u_0}{\omega} \sin \omega t + \frac{\rho_0}{k(1-\beta^2)} (\sin \bar{\omega} t - \beta \sin \omega t)}_{\text{özel çözüm}} \quad (3.2)$$

Kararlı hal (steady state) geçici hal (transient state)

u_0 = ilk yerdeğiştirme

$\dot{u}_0$ = ilk hız

$\frac{\rho_0}{k}$ =statik yerdeğiştirme

Terimlerin bazıları şu şekilde tanımlanır:

Harmonik yükleme: $u(t) = \rho_0 \sin \bar{\omega} t$

Doğal frekans: $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Sönüm oranı: $\xi = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2m\omega}$

Uygulanan yük frekansı: $\beta = \frac{\bar{\omega}}{\omega}$

3.2.2 Zaman Entegrasyon Yöntemleri

Hareketli doğrusal olmayan bir sonlu elemanlar sistemi için denge denklemi, sayısal çözümlerin genel olarak analitik çözümlerden çok daha kolay elde edilebildiği doğrusal olmayan adi diferansiyel denklemdir. Denge denklemleri iki metoda ayrılabilir: doğrusal entegrasyon ve mod birleştirme metodu. Doğrudan entegrasyonda denge denklemleri, nümerik adım adım prosedürü kullanarak bütünleştirilir. 'Doğrudan' terimi kullanılır; çünkü denge denklemleri, entegrasyon işlemi gerçekleştirilmeden önce başka herhangi bir biçime dönüşmez. Yaygın olarak kullanılan direkt entegrasyon yöntemlerinden bazıları, merkezi farklılık yöntemi, Houbolt yöntemi, Wilson -q yöntemi ve Newmark yöntemi'dir. LS-DYNA, doğrudan entegrasyonun merkezi fark yöntemine dayanmaktadır. Dolayısıyla direkt entegrasyon yönteminin tanımı yalnızca merkezi farklılık yöntemiyle sınırlıdır (Balasubramanyam, 1999).

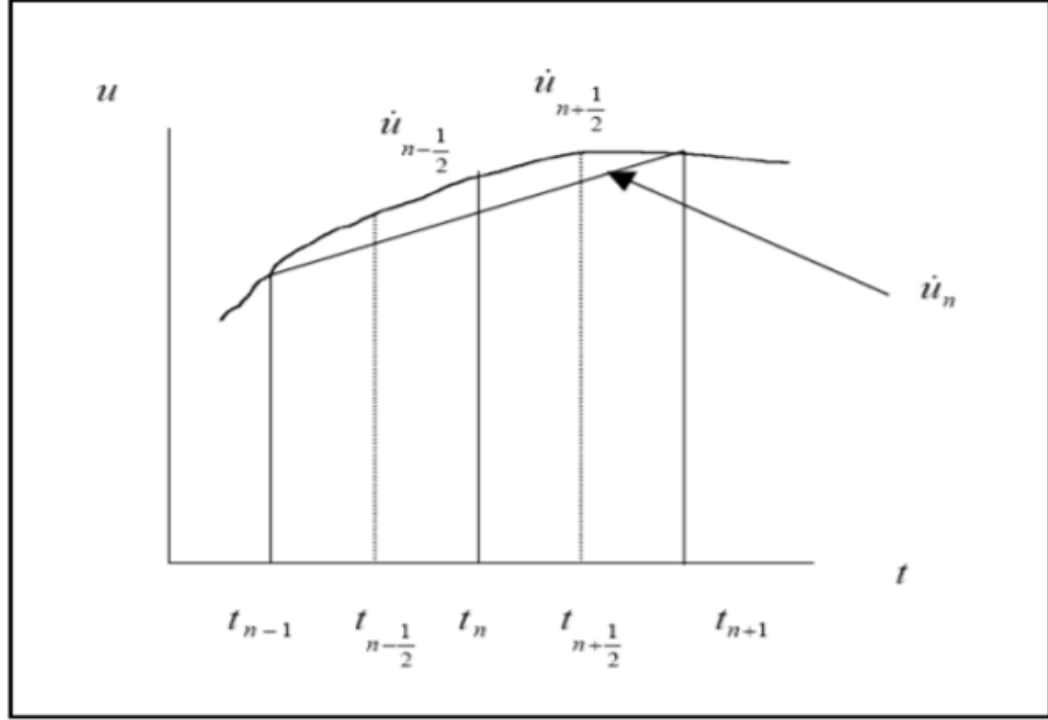
3.2.3 Merkezi Fark Metodu

Sabit katsayılı sıradan diferansiyel denklem sistemi ile matematiksel olarak temsil edilen dinamik bir sistemi düşünüldüğünde merkezi fark metodu, böyle bir denklem sistemi için etkili bir çözüm şemasıdır.

$$\dot{u}_n = \frac{1}{2\Delta t} (u_{n+1} - u_{n-1}) \quad (3.3)$$

$$\ddot{u}_n = \frac{1}{(\Delta t)^2} (u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}) \quad (3.4)$$

Denge denklemindeki merkezi fark şemasından gelen hız ve ivme için yaklaşık denklemlerin yerini alırsak,



Şekil 3.2 Merkezi farklar metodu gösterimi (Balasubramanyam, 1999)

$$(m + \Delta t c)u_{n+1} = \Delta t^2 P_n - (\Delta t^2 k - 2m)u_n - \left(m - \frac{\Delta t}{2} c\right)u_{n-1} \quad (3.5)$$

3.2.3.1 Merkezi Fark Yönteminin Avantajları

Merkezi farklılık yönteminin en önemli avantajı, bütün eleman montajındaki katılık ve kütle matrislerinin hesaplanmamasıdır (Bathe ve Wilson, 1976). Çözüm temel olarak bir eleman seviyesinde yürütülebilir ve nispeten çok az depolama gerektirir. Yöntem, sonraki elemanların eleman sertliği ve kütle matrisleri aynı olduğunda daha etkili olur dolayısıyla yalnızca yedek depolama biriminden seri içindeki ilk elemana karşılık gelen matrisleri hesaplamak veya okumak gerekir. Bu nedenle, çok büyük sistemler, merkezi fark şemasını kullanarak çok etkili bir şekilde çözülebilir. Merkezi farklılık yönteminin etkinliği, köşegen (diyagonal) bir kütle matrisinin kullanılması ve

genel hız bağımlı sönümlleme kuvvetlerinin ihmaline bağlıdır (Balasubramanyam, 1999).

3.2.3.2 Merkezi Fark Metodunun Dezavantajları

Merkezi farklılık yöntemleri ve diğer explicit yöntemler koşullu olarak karardlıdır. Zaman basamağı Δt , belirli bir eleman boyutu L için çok büyükse, yöntem başarısız olur ve eğer Δt olması gerekenden küçükse, çözüm süresiyle birlikte metodun etkinliğini kaybetmesi maliyeti arttırır. Bu nedenle, verilen problem için kritik zaman adımı belirlemek gerekli ve önemlidir. Merkezi fark metodu için kritik Δt aşağıdaki denklemlle yönetilmektedir:

$$\Delta t = \frac{L}{c} \quad (3.6)$$

$c = \text{dalga hızı} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, E=Malzemenin young modülü, ρ =Malzemenin yoğunluğu

Courant, Friedrichs ve Lewy'nin ardından [Bathe ve Wilson (1976)] yukarıdaki denkleme CFL şartı denir. Durumun fiziksel olarak yorumlanması, zaman basamağının " Δt ", zaman adımında birden fazla elemana yayılmayacak kadar küçük olması gerektiğidir. Bazı yapısal analizlerde, malzeme özelliklerinde ve geometrinin boyutlarında, gereken zaman adımı çok küçük olabilir, bu da daha uzun bir hesaplama süresine neden olur (Balasubramanyam, 1999).

3.2.4 Kontak Etki Algoritması

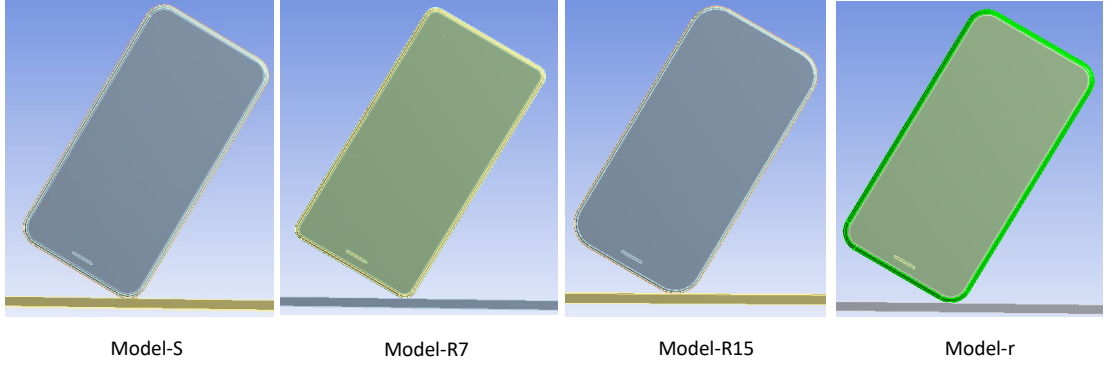
Sürtünme ve yüzeyler arasındaki etkileşimlerin yaklaşımı ve bileşenler arasındaki doğru yük aktarımını bir analizdeki simülasyonda çok önemlidir. Oluşan temas kuvvetleri bir cismin ivmesini etkiler. Sonlu elemanlar kodlarında kullanılan temas algoritmaları, temasta bulunan bölgelerin düğümlerini bağımlı ve ana düğümlere böler. İlk bölünmeden sonra, her bir bağımlı düğüm, bir element yüzü için olan ana düğümlere nüfuz etmeye yönelik kontrol edilir. Dolayısıyla, yapay sonuçlar üretmeksizin yardımcı düğümlerin uygun kuvveti etkili bir şekilde izleyip üretebilen sağlam bir iletişim algoritması kullanması çok önemlidir. Belirtilen üç farklı yöntem kinematik kısıtlama yöntemi, ceza yöntemi ve dağıtılmış yöntem LSDYNA'da uygulanmaktadır (Balasubramanyam, 1999).

BÖLÜM DÖRT

DROP ANALİZİ

4.1 Drop Analiz İçin Yapılan Kabuller ve Test Koşulları

Yapılan analizi basite indirmek sonlu eleman yöntemleri için olmazsa olmaz bir gerekliliktir. Bu projede tasarlanan karmaşık yapıya sahip akıllı cep telefonu modelindeki anakart ile üzerindeki yüzlerce komponent ve aksesuar parçaları modelde kullanılmamıştır. Bunu yaparak ağ örgüsü ve kontaklar aza indirilerek analiz süresi kısaltılmıştır. Telefondaki ana parçalar front cover (taşıyıcı parça), rear cover (ara parça), battery cover (arka kapak), cam ve batarya düşme testi için projede kullanılan modeli oluşturmaktadır. Kılıflı yapılacak drop test için ise standart modelin üzerine kılıf modellenmiştir. Telefonun toplam ağırlığı olan 162 gram, ihmal edilen parçaların ağırlıkları ihmal edilmeyerek, bataryaya atanan malzeme yoğunluğuyla modele yansıtılmıştır. Burada teze konu olan parçalarımız drop test sonrası en çok hasar gören taşıyıcı parça, arka kasa ve cam olmuştur. Analiz için bir son ürün testi olan drop test referans olarak simüle edilmiştir. Test değerlerine göre son ürün 70 cm yukarıdan sert bir zemine bırakılmaktadır. Drop test özelinde plastik parçalar için en çok problemle karşılaşılan köşe atışı referans alınmıştır. Yapılan analizin doğruluğu ise yüzey atışı yapılarak camın kırılıp kırılmadığı, analiz ve test ortamlarında aldığımız sonuçlar kıyaslanarak yapılmıştır. Yapılan köşe atışı analizinde taşıyıcı parça ve arka kapak üzerindeki gerilmeler ve birim şekli değiştirmeler incelenmiştir. İnceleme konusu olarak köşe atışlarda oluşabilen kalıcı deformasyonun köşe radyuslarına etkisi araştırılmıştır. Kullanılan standart modelimizin köşe radyusları 11 mm iken köşe radyusları 7 ve 15 mm olan tasarımlar modele aynı test koşullarında aktarılmış olup plastik parçalarda ve camda oluşan gerilmeler karşılaştırılmıştır. Ayrıca standart model kılıflı olarak atılarak, drop test özelinde kılıfla telefon kullanmanın telefonu kalıcı şekli değiştirmelere karşı etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.1 Drop test simülasyonu için modellenen akıllı telefonlar

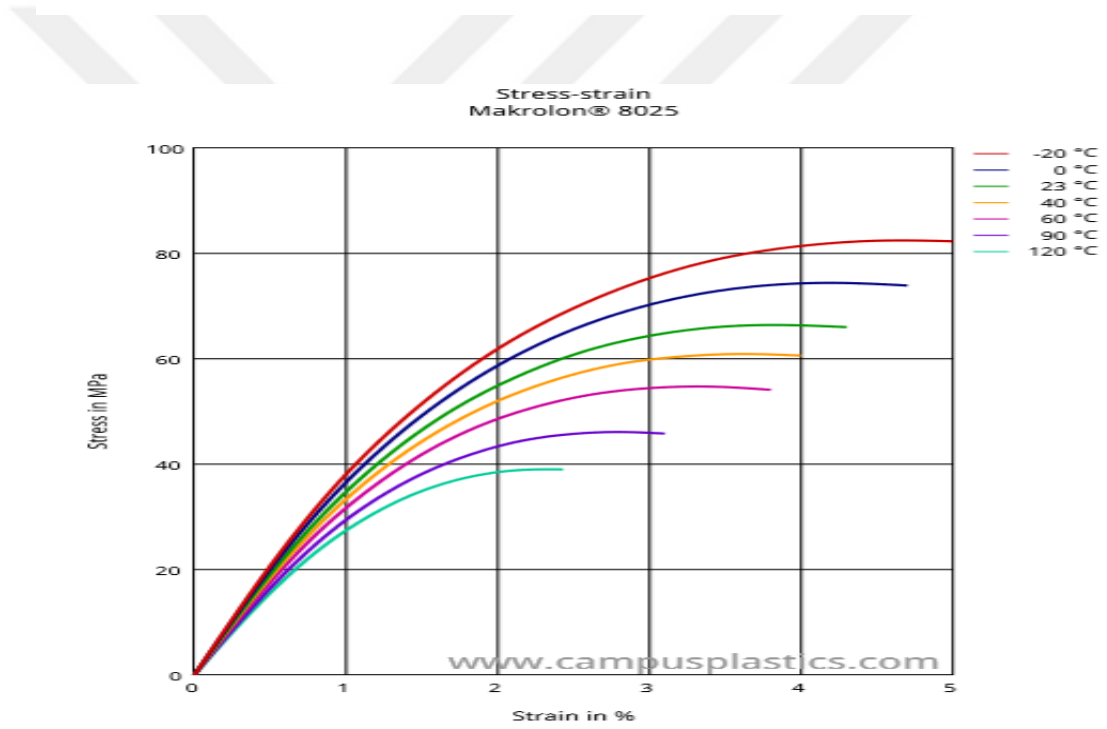
Test ortamındaki koşullar drop test simülasyonuna yansıtılmıştır. Yer çekimi ivmesi verilen koordinat sistemine göre $-Z$ yönündedir. Çarpma anındaki hız ise serbest düşme denkleminden yükseklik verilerek otomatik olarak hesaplanmaktadır. Düşme yüzeyi rijit olarak atanmış olup alt yüzeyi modelde sabitlenmiştir. End time (çarpma anından sonra incelenecek süre) 0.001 saniye verilerek analiz sonuçları incelenmiştir. Ağ örgüsü her bir parça için ayrı ayrı yapılarak incelenecek parçalar için tetrahedral olarak atanmıştır. Telefonun yere çarptığı bölgeler, bölgesel olarak sıklaştırılmıştır.

4.2 Modele Atanmış Malzeme Özellikleri

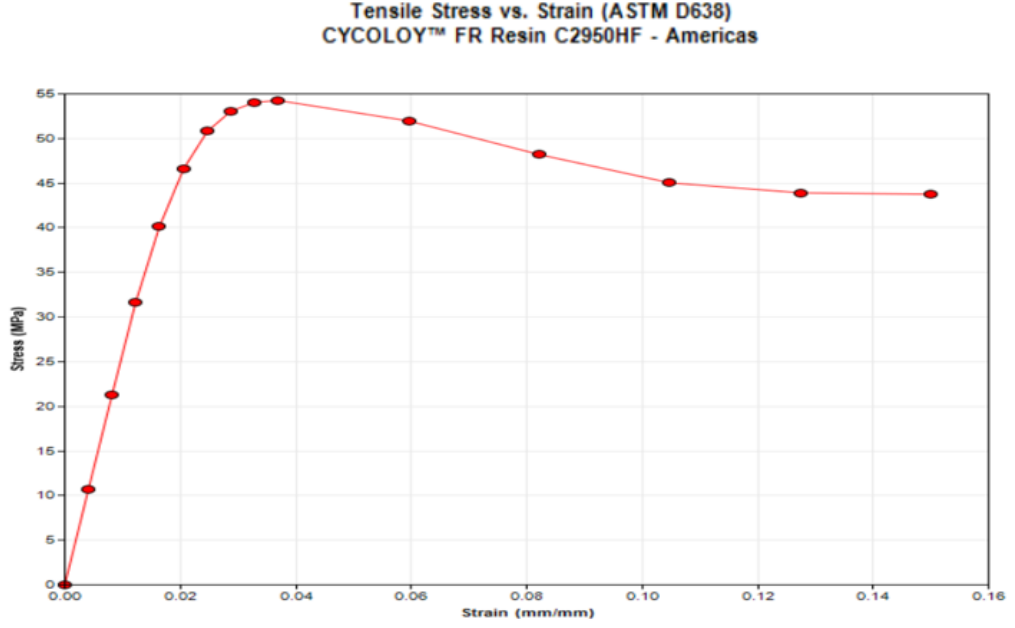
Kullanılan cep telefonu modelinde yapıyı plastik parçalar ve cam oluşturmaktadır. Taşıyıcı parça %20 elyafı ile kuvvetlendirilmiş polikarbonattır (PC+%20GF). Ara parça ve arka kapak parçası ise polikarbonat/akrilonitril bütadien stirendir (PC/ABS). Cam parçası ise kimyasal işlemlerden geçirilen özel bir cam olup, akıllı cep telefonlarında sıkça kullanılan gorilla glass referans alınmıştır.

Tablo 4.1 Modelde kullanılan mekanik malzeme özellikleri

MALZEME / ÖZELLİKLER	Yoğunluk " ρ " (kg/m ³)	Elastisite modülü " E " (GPa)	Poison oranı " ν "
PC ABS (CYCOLOY C2950HF)	1180	2,18	0,3897
GORİLLA GLASS	2450	73,3	0,21
PC+%20GF (Makrolon 8025)	1340	2,57	0,38



Şekil 4.2 Taşıyıcı parça için tanımlanan PC+%20GF malzemesi için şekil değiştirme-gerilme eğrisi (Materials.ulprospector, 2018)



Şekil 4.3 Ara parça ve arka kasa parçaları için tanımlanan PC/ABS malzemesi için şekil değiştirme-gerilme eğrisi (Campusplastics, 2018)

Yukarıda belirtilen malzemelerden PC/ABS malzemesinin akma sınırı 48 MPa iken PC+%20GF malzemesinin 58 MPa'dır. Malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirme grafiğinden alınan noktalar excell tablosuna dökülmüştür. Akma sınırı hangi iki gerilme değerinin arasına karşılık geliyorsa onlara karşılık gelen birim şekil-değiştirmeler interpolasyon yapılarak akma sınırına karşılık gelen birim şekil değiştirme bulunur. Denklem 4.1 kullanılarak ise elastisite modülleri bulunmuştur.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (4.1)$$

4.2.1 PC/ABS (Polikarbonat/Akrilonitril Bütadien Stiren)

PC/ABS özelliğinin dengesi, PC ve ABS'nin oranı ile kontrol edilmektedir. Her iki malzemenin de arzu edilen özellikleri birleştirilir (Resinex, 2018). Polikarbonatın ısı direncini alırken ABS'yi oluşturan bileşenlerden akrilonitrilin, kimyasal direnç, ısı dayanımı ve açık hava koşullarına karşı direncini, bir başka bileşeni butadien tarafından düşük sıcaklıkta sağlamlığı ve darbe dayanımını, rijitlik, yüzey parlaklığını

ise strien tarafından sağlanmaktadır. PC/ABS düşük sıcaklıkta, kendini oluşturan malzemelerin darbe direncinden daha iyi bir darbe direnci göstermektedir. Elektronik ve otomotiv sektöründe kullanımı oldukça yaygındır. Otomotiv sektörü için orta konsol, torpido gözü vb. iken elektronik sektör için ise mobil telefon gövdeleri, TV çerçeveleri, klavye vb. örnekler verilebilir.



Şekil 4.4 PC/ABS harman yapısı (Resinex, 2018)

4.2.2 Elyaf Katkı Polikarbonatlar (PC+%20GF)

Polikarbonata cam elyaf dolgu malzemesi takviyesiyle oluşturulmuştur. Plastik parçaların mekanik özelliklerini artırmak amacıyla kullanılan en etkili yollardan biri prosese farklı oranlarda cam elyaf katkısı ilave etmektir (Gemapolimer, 2012). Cam elyaf takviyesi sayesinde eşsiz mekanik değerler sağlamaktadırlar. %5 ile %50 arası cam elyaf takviyeli olarak üretilebilmektedirler. Elyaf katkı polikarbonatlar çok yüksek mukavemet, yüksek darbe direnci, mükemmel boyutsal kararlılık gibi mekanik özelliklerinin yanında alev geciktiricili, yüksek şeffaflık, minimum nem emilimi ve iyi yapıştırıcı özelliklerine sahip olurlar. Genelde telefonların taşıyıcı parçasındaki kritik kesitinden dolayı mukavemet arttırmak adına tercih edilir.

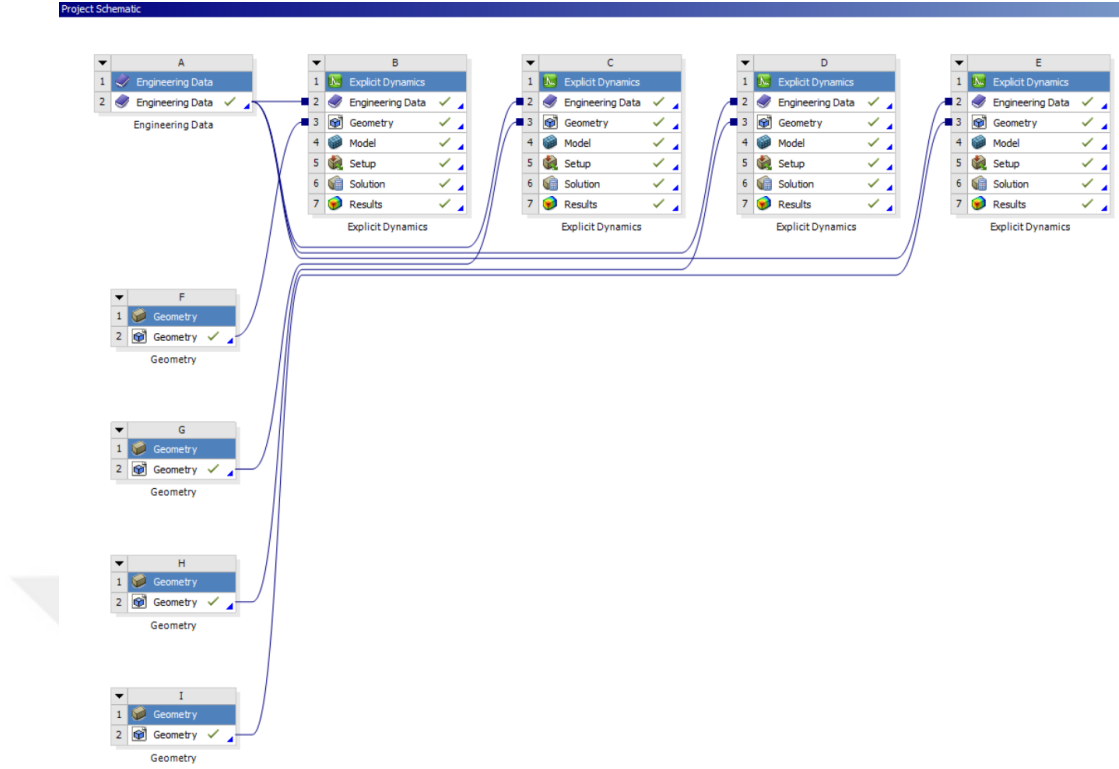
4.2.3 Gorilla Glass

Günümüzde cam teknolojisinin ulaştığı en önemli noktalardan birisi olarak gorilla glass gösterilmektedir. Gorilla glass camlarının büyük bir çoğunluğu cep telefonları ve tabletlerde kullanılıyor olup insanların tanışması da ilk olarak cep telefonları ile birlikte olmuştur. Cep telefonlarımız cebe konulduktan sonra cebimizdeki anahtar veya metal paralar ile çok çabuk çizilebiliyor ve en ufak düşmede çok çabuk kırılıbiliyordu. Yeni teknoloji sayesinde telefonlarımızın üst yüzünü kapsayan bu camlar kolay kolay çizilmez hale geldi. Ayrıca telefonun düşme sonrasında kırılma ihtimalini diğer camlara göre oldukça azaltmıştır.

Gorilla glass camlarının üretimi ise şu şekildedir. Cam öncelikle sıcak bir banyodan geçirilmektedir. Yaklaşık olarak 400 °C’de eritilen potasyum tuzu ile birbirine çok iyi karıştırılarak birleştirmektedir. Uygulanan işlemler ile cam içindeki küçük sodyum iyonları uzaklaştırılıp gorilla glassın kimyasal içeriği ile büyük sodyum iyonlarının cam yüzeyine yerleştirilerek cama çok sıkı tutunması sağlanmaktadır. Bu sayede bu iyonların cam yüzeyinde camın iç kısımlarını etkileyen çok yüksek bir gerginlik oluşturması sağlanmaktadır. Bu katman ile birlikte cam dayanıklılığı ve dış kuvvetlere karşı yüksek bir direnç oluşturulmaktadır (Corning, 2018).

4.3 Drop Analiz İçin Oluşturulan Modeller ve Drop Test Analiz Sonuçları

Bu çalışmada referans alınan ana model ve bu modelde yapılan geometri değişiklikleriyle oluşturulmuş iki model daha vardır. Ayrıca referans modelde ayrı bir parça montajlanarak kullanılacak modelle birlikte toplam 4 farklı model kullanılmıştır. Modeller hem sonuçların karşılaştırılmasında hem de anlatım kolaylığı bakımından isimlendirilmiştir. Oluşturulan modelin ansys üzerindeki proje şemasının gösterimi Şekil 4,5’deki gibidir. Modellerin isimleri Model-s, Model-R7, Model-R15 ve Model-r’dir. Sırasıyla modellerin özellikleri ve analiz sonuçları aşağıda sıralanmıştır.



Şekil 4.5 Proje şeması

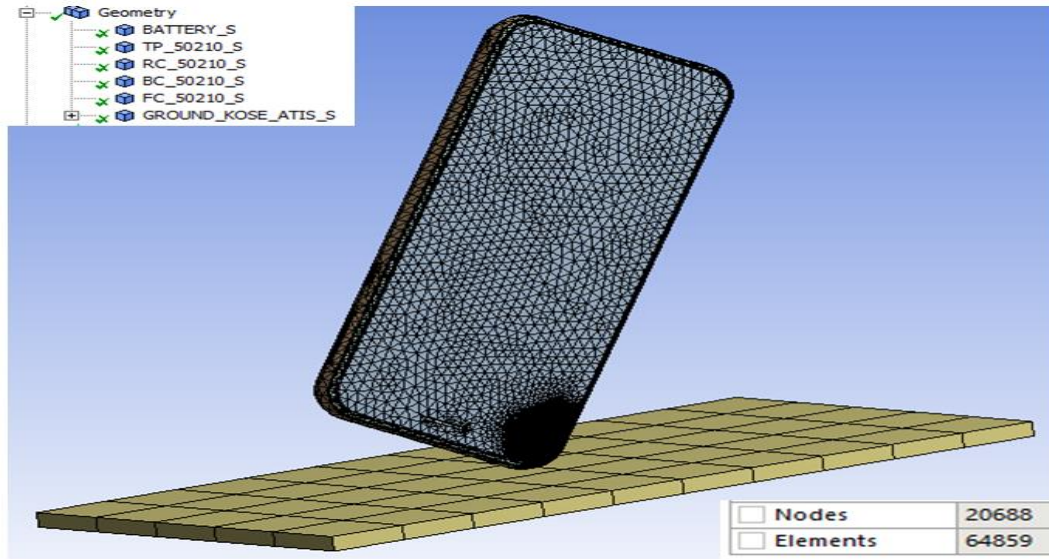
4.3.1 Model-s ve Analiz Sonuçları

İlk model Model-s olarak isimlendirilmiş olup referans modeldir. Vestel’de üretilen bu ürünün köşe radyusları 11 mm’dir. Model cam, taşıyıcı parça, ara parça, arka kapak ve pilden oluşmaktadır. Modelde parçalara atanan malzemeler Tablo 4,2’deki gibidir.

Tablo 4.2 Modeldeki parçalara atanan malzemeler

MODELİ OLUŞTURAN PARÇALAR	ATANAN MALZEMELER
Taşıyıcı Parça	PC+%20GF
Ara Parça	PC/ABS
Arka Kapak	PC/ABS

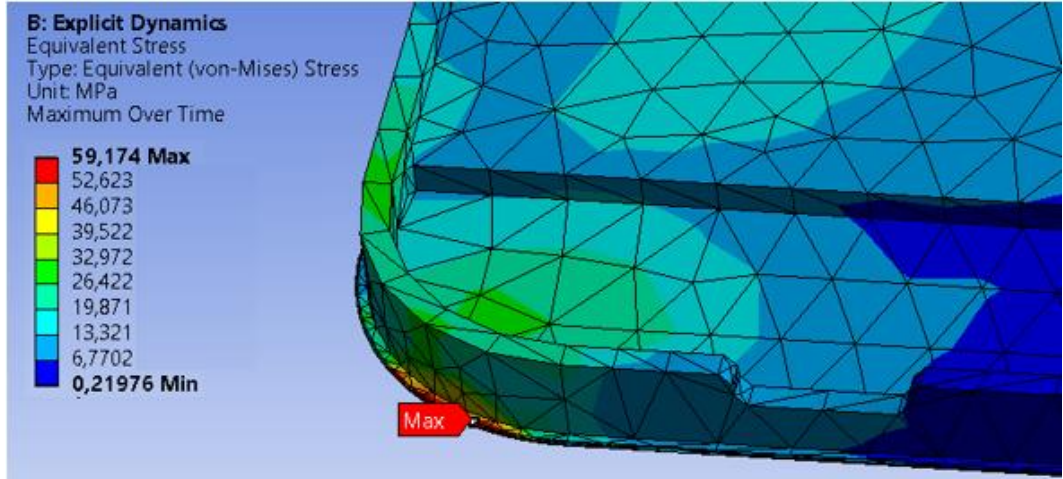
Model üzerinde her bir parça ayrı ayrı örülmüş olup çarpma yüzeyleri bölgesel olarak ağ örgü sıklığı arttırılmıştır. İncelencek parçalardan arka kasa, taşıyıcı parça ve cam diğer parçalara göre sık ve tetrahedral elemanlarla örülmüştür. Modelin genel mesh görünümü Şekil 4,6'da gösterilmiştir. Toplam düğüm noktası sayısı 20688, toplam eleman sayısı 64859'dur.



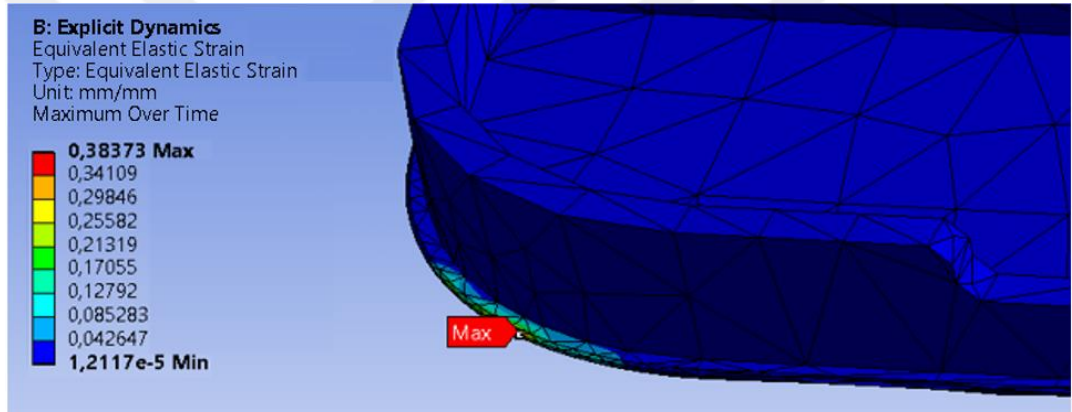
Şekil 4.6 Model-s genel mesh görünümü

Model-s için yapılan düşme analizi sonucunda arka kapak, taşıyıcı parça için 0,001 saniye(end time) içinde malzemeler sünek malzeme olduğundan malzemede oluşan maksimum gerilme değerleri ve maksimum birim şekil değiştirmeler incelenmiş olup cam gevrek malzeme olduğundan maksimum asal atalet gerilmesi incelenmiştir. Eğer plastik parçalarda oluşan maksimum gerilme akma mukavemetini geçiyorsa plastik bölgede ki birim şekil değiştirmeleri de incelenmiştir.

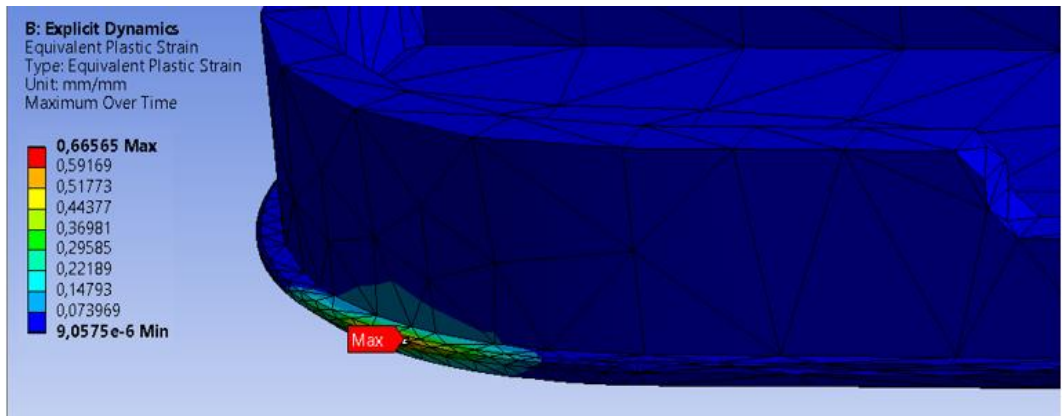
Taşıyıcı parça üzerindeki maksimum gerilme 59,174 MPa iken arka kapak üzerindeki maksimum gerilme 45,34 MPa'dır. Taşıyıcı parça üzerinde oluşan maksimum elastik birim şekil değiştirme 0,383 iken akma sınırı 58 MPa olan taşıyıcı parçada plastik birim şekil değiştirme ise 0,665 olduğu görülmektedir. Arka kapak üzerinde ki elastik birim şekil değiştirme ise 0,046 olduğu görülmektedir. Cam üzerinde oluşan maksimum asal gerilmenin ise 105,83 MPa olduğu görülmüştür.



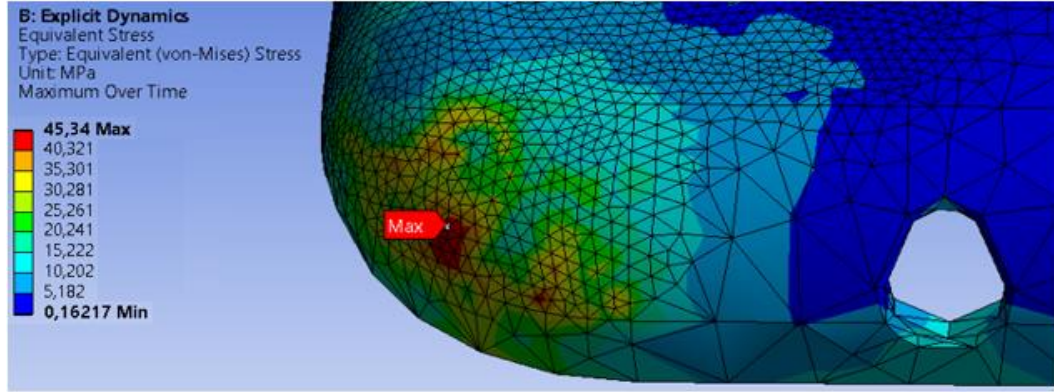
Şekil 4.7 Model-s taşıyıcı parça üzerindeki en büyük gerilme



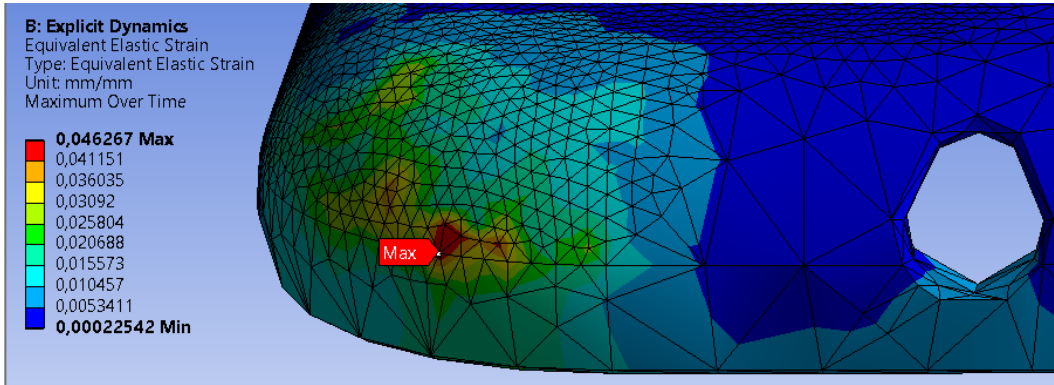
Şekil 4.8 Model-s taşıyıcı parça üzerindeki en büyük elastik birim şekil değiştirme



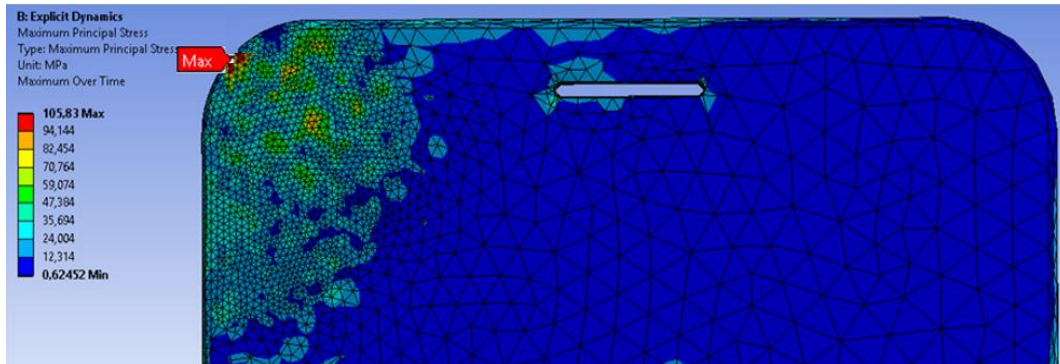
Şekil 4.9 Model-s taşıyıcı parça üzerindeki en büyük plastik birim şekil değiştirme



Şekil 4.10 Model-s arka kapak üzerindeki en büyük. gerilme



Şekil 4.11 Model-s arka kapak üzerindeki en büyük. elastik birim şekil değiştirme

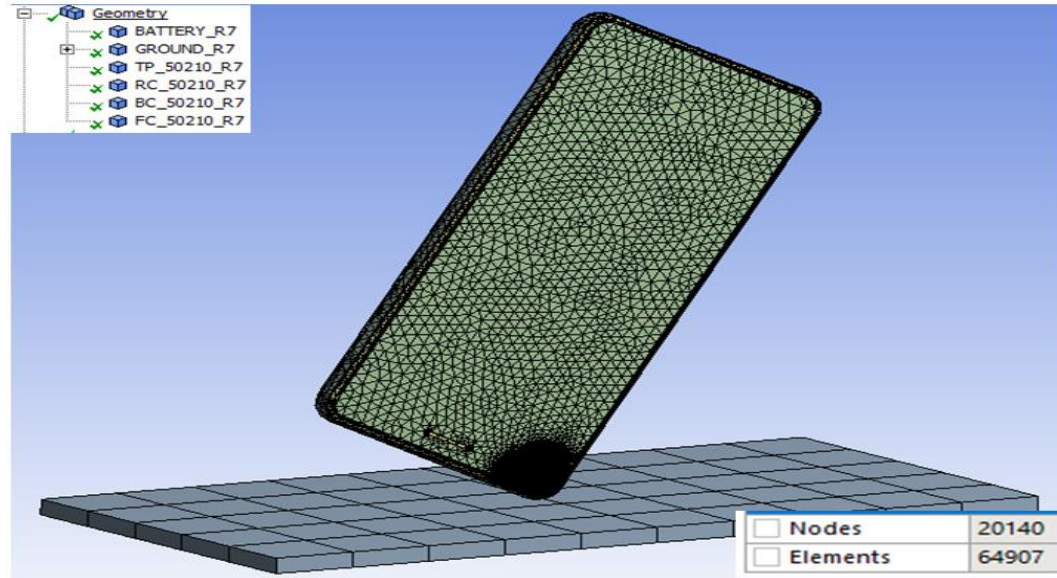


Şekil 4.12 Model-s cam üzerindeki en büyük asal gerilme

4.3.2 Model-R7 ve Analiz Sonuçları

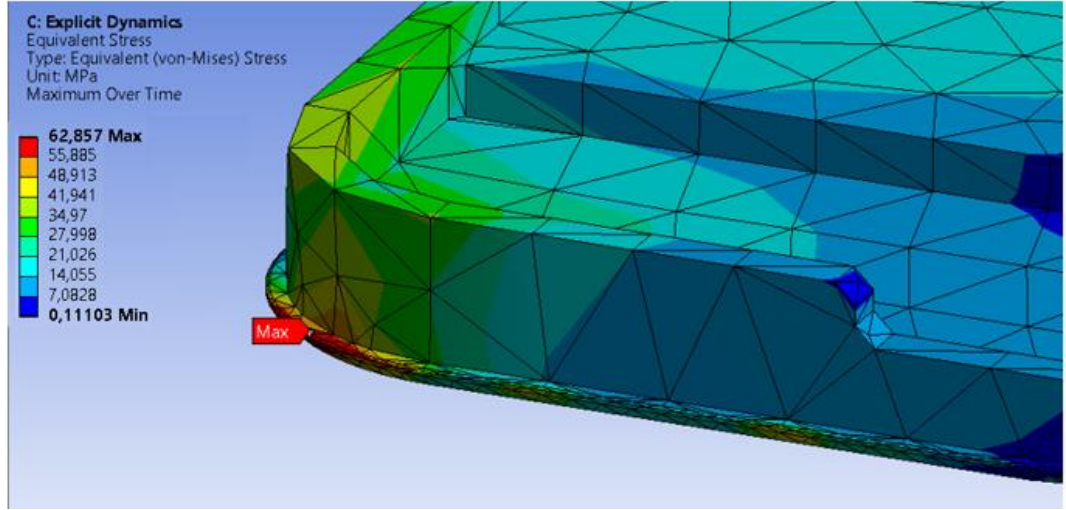
Diğer model Model-R7 olarak isimlendirilmiş olup referans modelden farklı olarak köşe radyusları 7 mm olarak tasarlanmıştır. Model-R7 parçaları referans model ile aynı olup malzeme özellikleri Tablo 4,2'deki gibi atanmıştır.

Model üzerinde her bir parça ayrı ayrı örülmüş olup çarpma yüzeyleri bölgesel olarak ağ örgü sıklığı referans modelde olduğu gibi arttırılmıştır. İncelencek parçalar referans modeldeki parçalarla aynı olup genel mesh görünümü Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Toplam düğüm noktası sayısı 20140, toplam eleman sayısı 64907'dir.

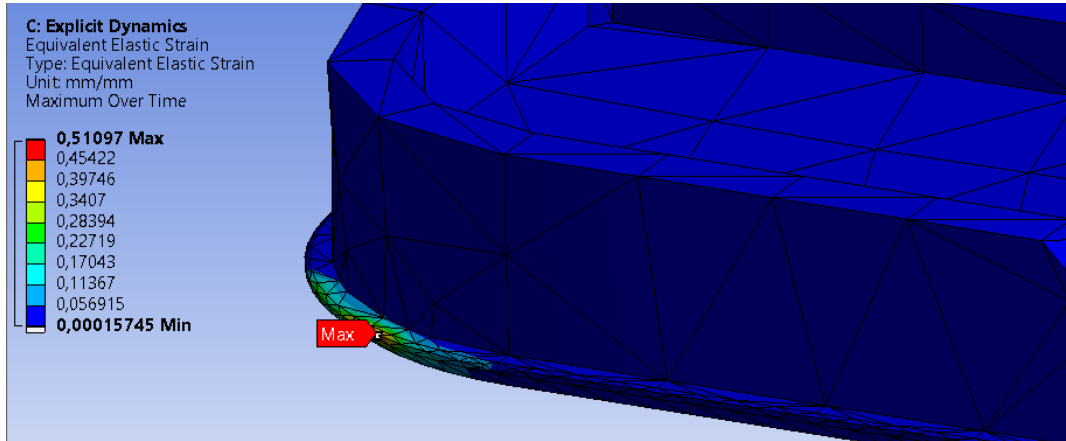


Şekil 4.13 Model-R7 genel mesh görünümü

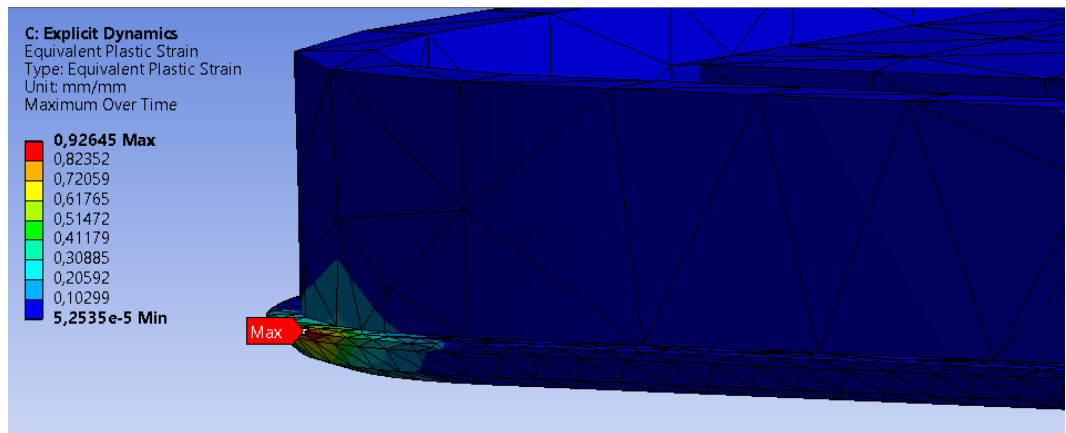
Model-R7 test düzeneği ve sınır şartları model-s ile aynıdır. Taşıyıcı parça üzerindeki maksimum gerilme 62,857 MPa iken arka kapak üzerindeki maksimum gerilme 46,457 MPa'dır. Taşıyıcı parça üzerinde oluşan maksimum elastik birim şekil değiştirme 0,511 iken akma sınırı 58 MPa olan taşıyıcı parçada plastik birim şekil değiştirme ise 0,926 olduğu görülmektedir. Arka kapak üzerinde ki elastik birim şekil değiştirme ise 0,053 olduğu görülmektedir. Cam üzerinde oluşan maksimum asal gerilme ise 121,16 MPa olduğu görülmüştür.



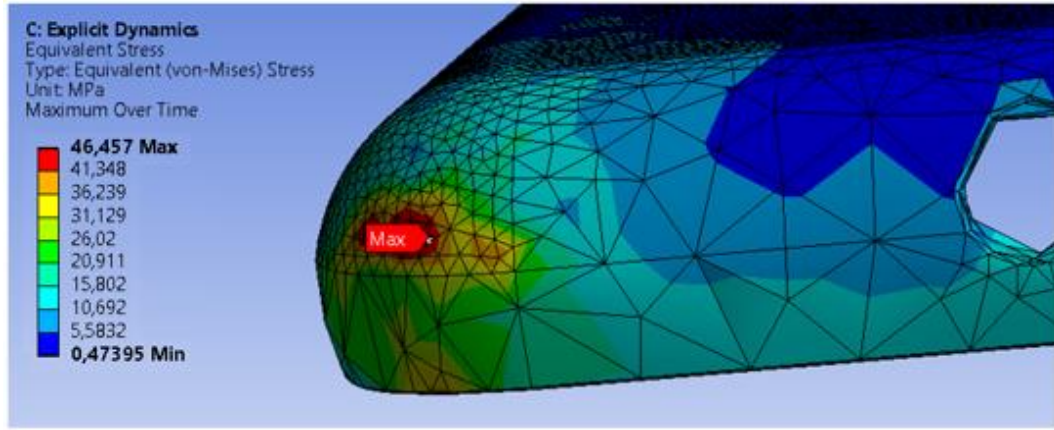
Şekil 4.14 Model-R7 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük gerilme



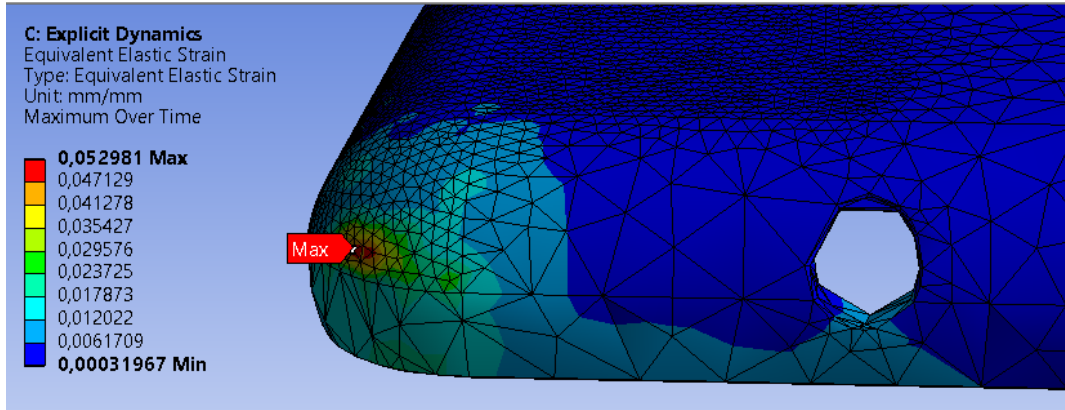
Şekil 4.15 Model-R7 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük. elastik birim şekil değiştirme



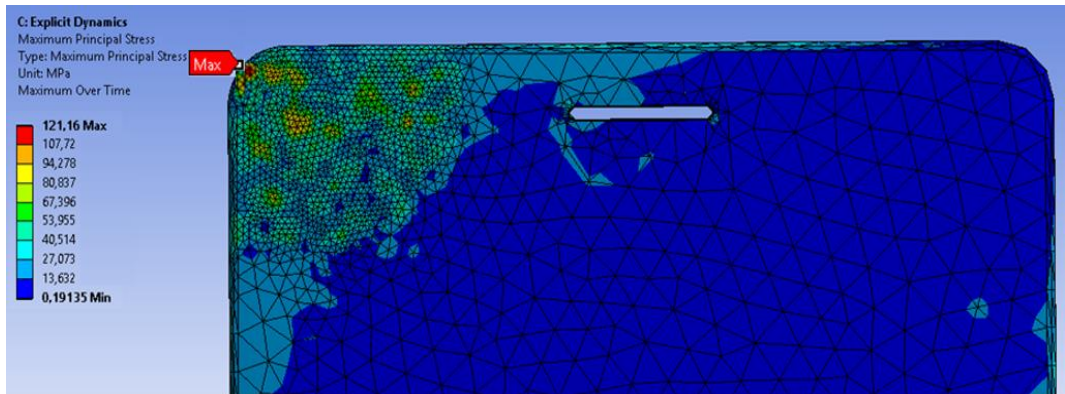
Şekil 4.16 Model-R7 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük plastik birim şekil değiştirme



Şekil 4.17 Model-R7 arka kapak üzerindeki en büyük gerilme



Şekil 4.18 Model-R7 arka kapak üzerindeki en büyük elastik birim şekil değiştirme

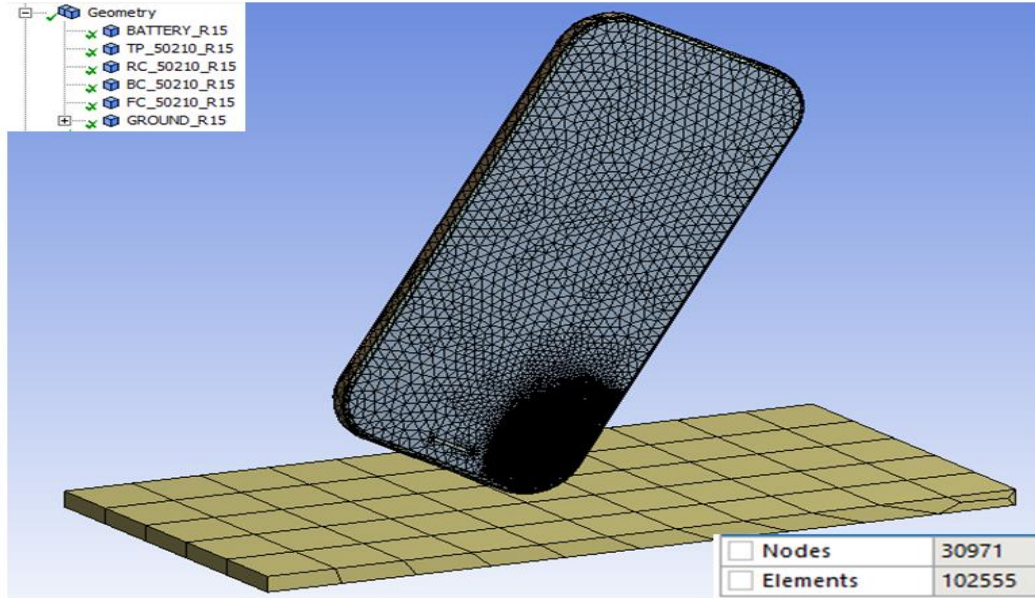


Şekil 4.19 Model-R7 cam üzerindeki en büyük asal gerilme

4.3.3 Model-R15 ve Analiz Sonuçları

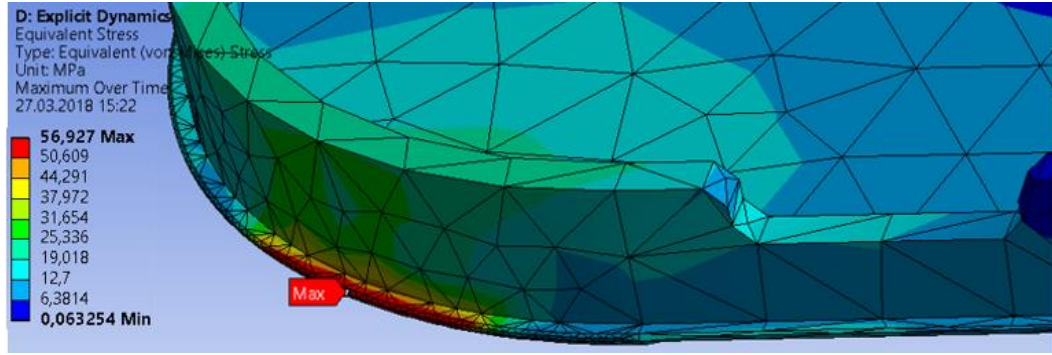
Diğer bir model Model-R15 olarak isimlendirilmiş olup referans modelimizden farklı olarak köşe radyusları 15 mm olarak tasarlanmıştır. Modeldeki parçalar referans modelle aynı olup malzeme özellikleri Tablo 4.2'deki gibi atanmıştır.

Model üzerinde her bir parça ayrı ayrı örülmüş olup çarpma yüzeyleri bölgesel olarak ağ örgü sıklığı referans modelinde olduğu gibi arttırılmıştır. İncelenecek parçalar referans modeldeki parçalarla aynı olup genel mesh görünümü Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Toplam düğüm noktası sayısı 30971 toplam eleman sayısı 102555'dir.

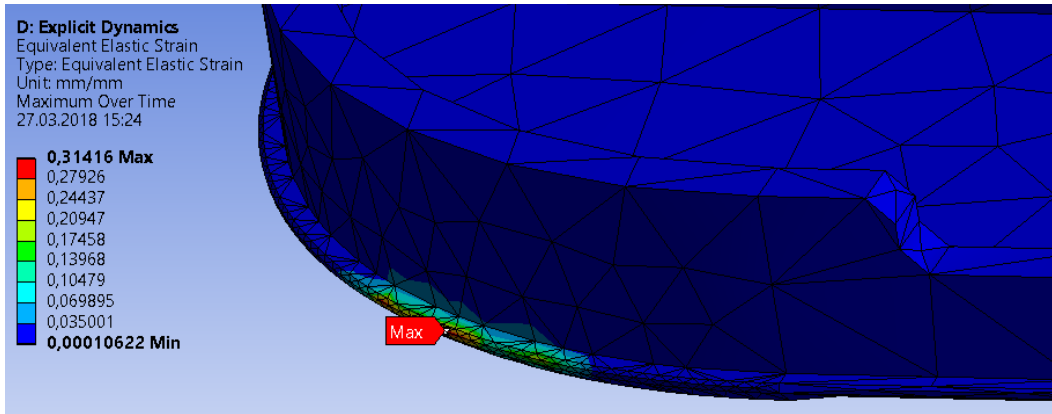


Şekil 4.20 Model-R15 genel mesh görünümü

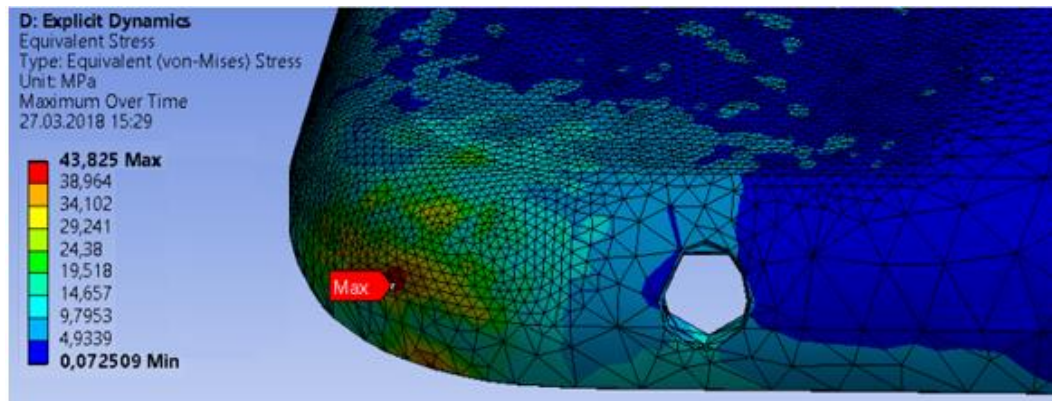
Model-R15 test düzeneği ve sınır şartları model-s ile aynıdır. Taşıyıcı parça üzerindeki maksimum gerilme 56,927 MPa iken arka kapak üzerinde ki maksimum gerilme 43,825 MPa'dır. Taşıyıcı parça üzerinde oluşan maksimum elastik birim şekil değiştirme 0,314 olduğu görülmektedir. Arka kapak üzerindeki elastik birim şekil değiştirme ise 0,031 olduğu görülmektedir. Cam üzerinde oluşan maksimum asal gerilme ise 90,112 MPa olduğu görülmüştür.



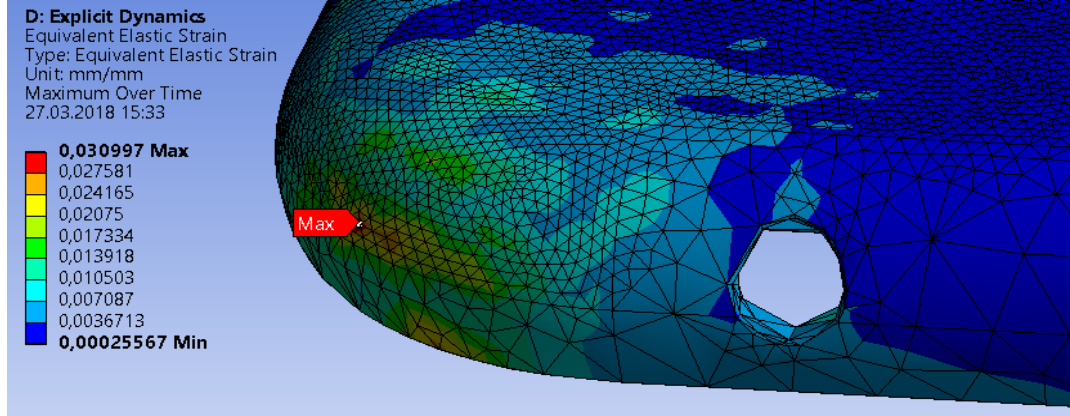
Şekil 4.21 Model-R15 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük gerilme



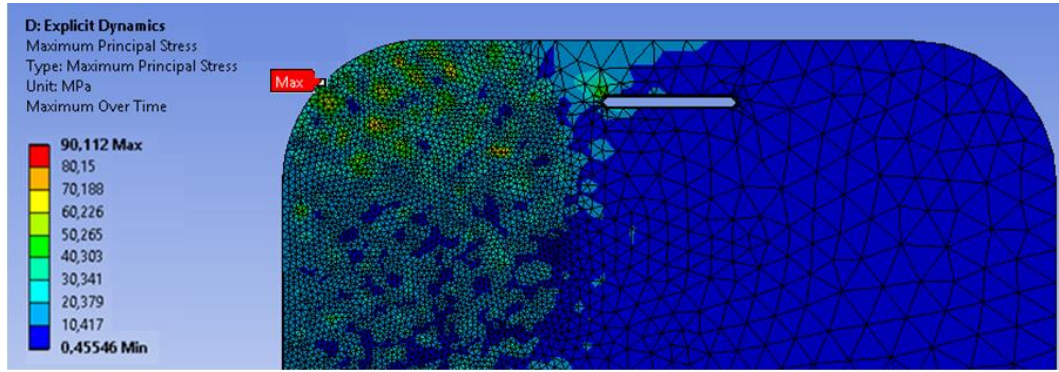
Şekil 4.22 Model-R15 taşıyıcı parça üzerindeki en büyük. elastik birim şekil değiştirme



Şekil 4.23 Model-R15 arka kapak üzerindeki en büyük gerilme



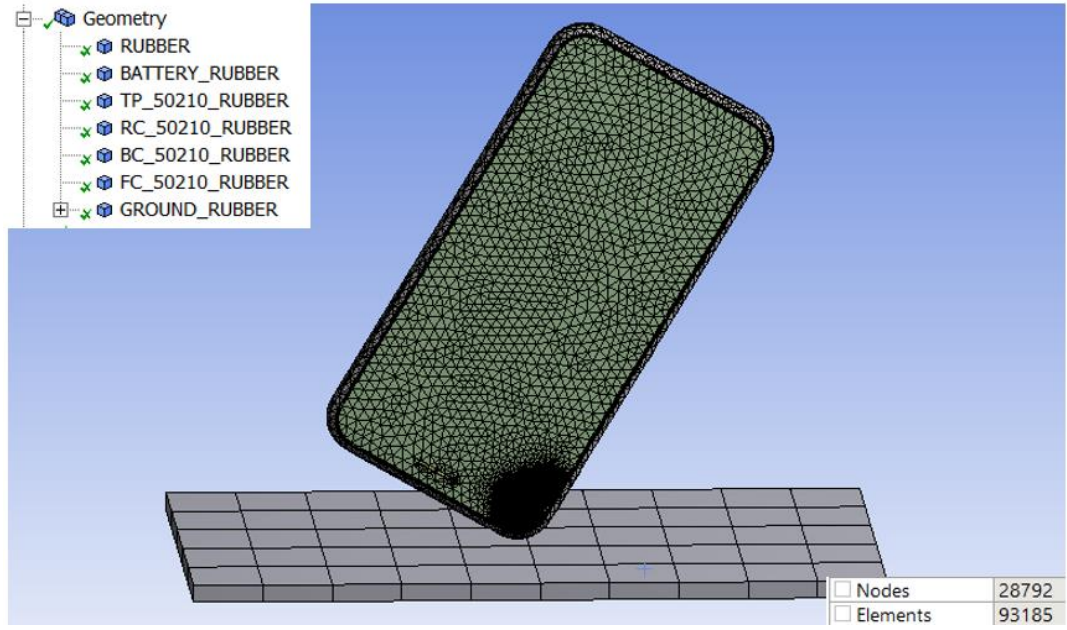
Şekil 4.24 Model-R15 arka kapak üzerindeki en büyük, elastik birim şekil değiştirme



Şekil 4.25 Model-R15 cam üzerindeki en büyük asal gerilme

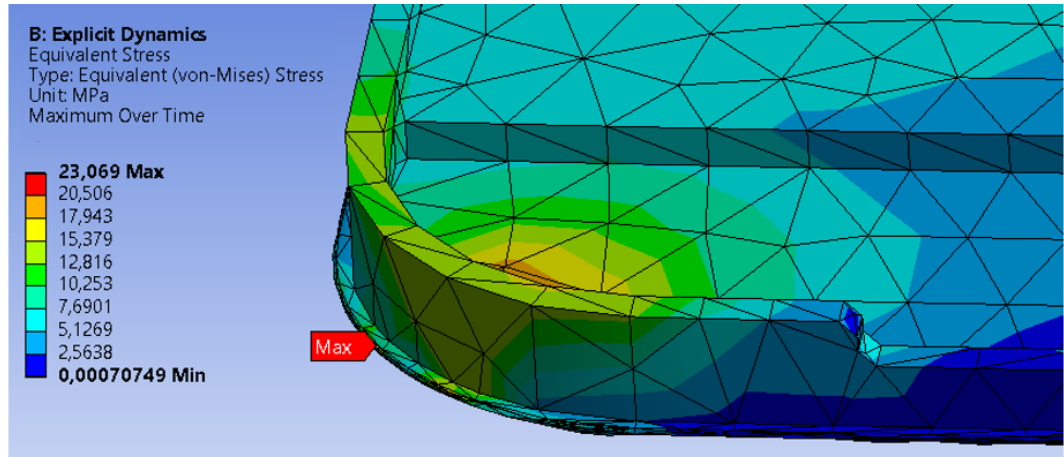
4.3.4 Model-r ve Analiz Sonuçları

Bu model Model-s referans modelinin kılıfla birlikte montajlanması sonucu oluşturulmuştur. Bu modelde parçalara atanan malzemeler Tablo 4,2'deki gibidir. Ek olarak kılıf için ansys malzeme kütüphanesinde tanımlı olan hiperelastik malzemelerden neopren kauçuk malzemesi atanmıştır. Modelin genel mesh görünümü Şekil 4.26'deki gibidir. Toplam düğüm noktası sayısı 28792 toplam eleman sayısı 93185'dir.

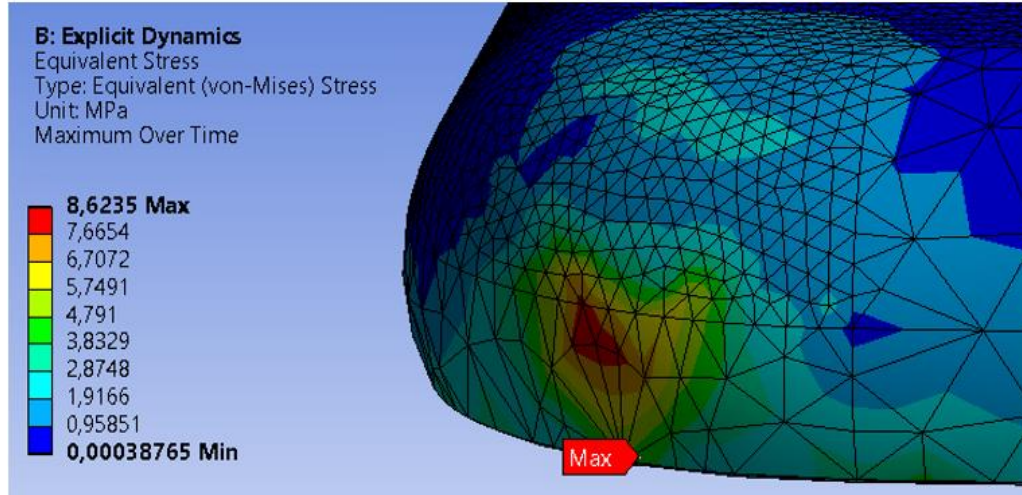


Şekil 4.26 Model-r genel mesh görünümü

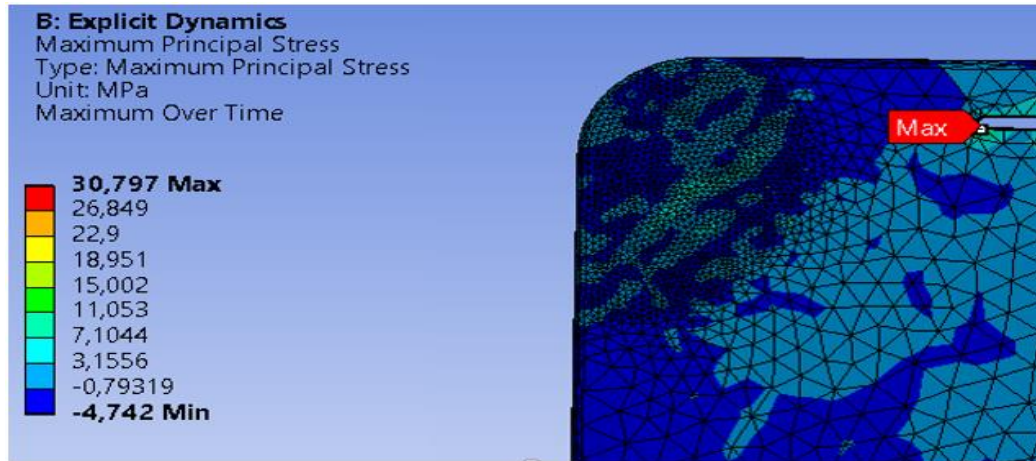
Analiz sonucunda analiz edilen parçaların gerilme sonuçları incelenmiş olup kılıfın etkisi araştırılmıştır. Yapılan düşme analizi sonucunda taşıyıcı parçadaki maksimum gerilme 23,069 MPa iken arka kapaktaki maksimum gerilme 8,6 MPa olduğu görülmektedir. Cam parçasında çıkan maksimum asal gerilme ise 30,79 MPa'dır.



Şekil 4.27 Model-r taşıyıcı parça üzerindeki en büyük gerilme



Şekil 4.28 Model-r arka kapak üzerindeki en büyük gerilme

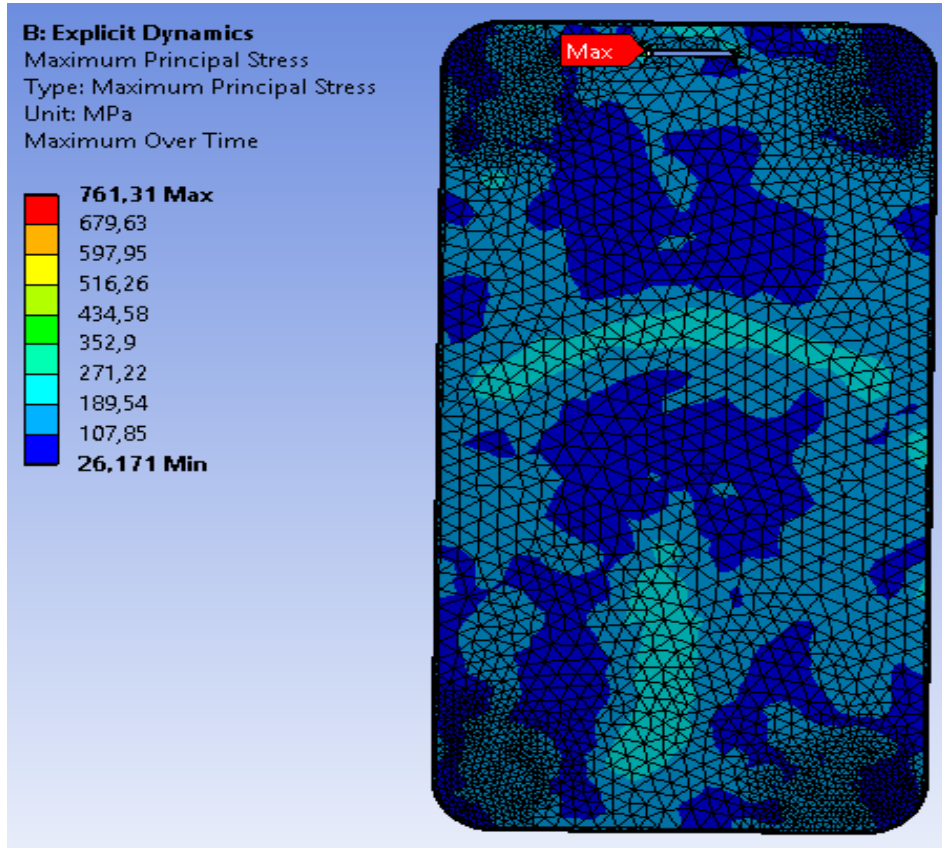


Şekil 4.29 Model-r cam üzerindeki en büyük asal gerilme

4.4 Drop Test Analizinin Doğrulanması

Bu projede sonlu elemanlar modelinin doğrulanması için plastik malzeme üzerindeki gerilmeleri veya ufak miktarda ki yer değiştirmeleri gerçek test koşulları sonrasında ölçmek zor olacağından gevrek malzeme olan camın kırılması kıstas olarak belirlenmiştir. Gerçek test ortamında, son ürünler sırasıyla 1500 mm, 1750 mm, 2000 mm, 2250 mm'den olmak üzere yüzey atış uygulanmıştır. Her yükseklik için 2'şer ürün atılmış olup sadece 2250 mm'de iki üründe de cam kırılmıştır. Dolayısıyla sonlu elemanlar modelinde 2250 mm'den yüzey atış yapacak şekilde analizi başlatılmıştır.

Birçok gevrek malzemeye uygulanabilen kriter, hasarı asal gerilmelere göre öngörmektedir. Yükleme durumunda oluşan maksimum asal gerilme değeri tek eksenli çekme dayanımı veya basma dayanımına ulaştığında hasar oluşmaktadır (Rankie, Lama). Bu analize kullanılan ölçü ve kalınlıktaki cam için ise firma kontaklarından Zeng J. (kişisel iletişim, 2018) tarafından belirtilen tek eksenli basma dayanımı 700 MPa'dır. Yapılan modelin genel mesh görünümü şekil 4.30'da ki gibidir. Yapılan analiz sonucunda camda oluşan maksimum asal gerilme değeri 761,31 MPa olduğu görülmüştür. Rankie kırılma kriteri göz önüne alındığında $761,31 > 700$ olduğundan camın kırılacağı söylenebilir. Dolayısıyla gerçek test ile sonlu elemanlar modelinin tutarlılığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.30 Cam üzerindeki maksimum asal gerilme



Şekil 4.31 Cep telefonunun 2250 mm'den yüzey atışı sonrası camdaki hasar (Kişisel arşiv, 2018)

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

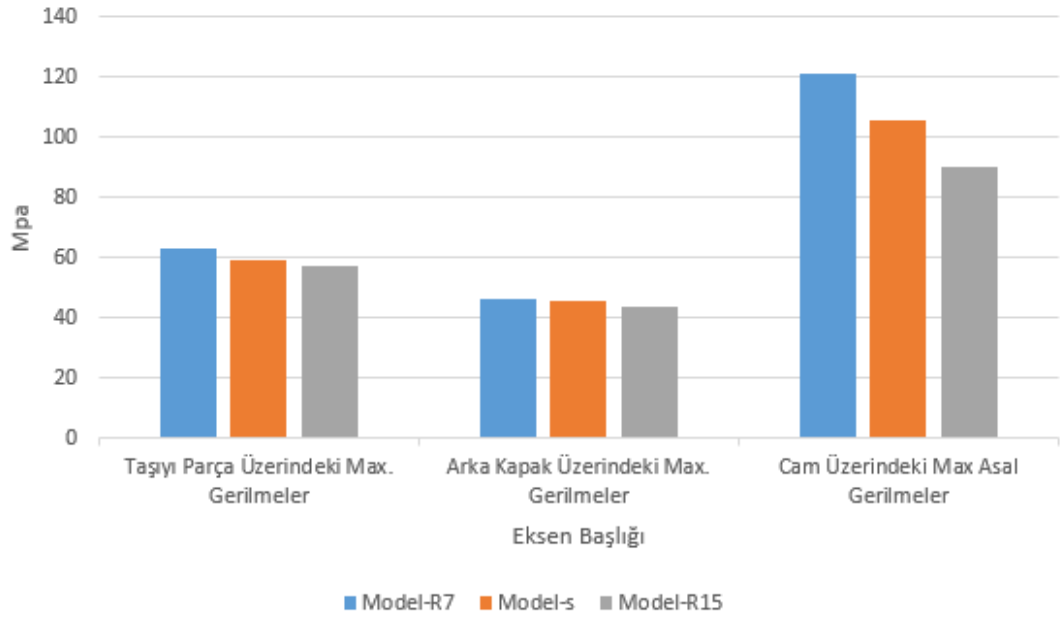
5.1 Sonuçların Karşılaştırılması ve Yorumlanması

Bu çalışmada, akıllı telefonların düşme testi sonrasındaki mekanik dayanımı, simülasyon ortamında incelenerek köşe radyuslarının etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma için görsel ve koruyucu plastik parçalar ile ekranı oluşturan özel cam parça ele alınmıştır. Testi doğrulamak adına yüzey atışı atılarak gevrek malzeme sınıfına giren camın kırılıp kırılmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca standart modelimiz kılıflı ve kılıfsız olarak köşe atışına tabi tutulmuş ve telefonların köşe atışlarındaki düşme senaryolarında kılıfın etkisi gözlemlenmiştir.

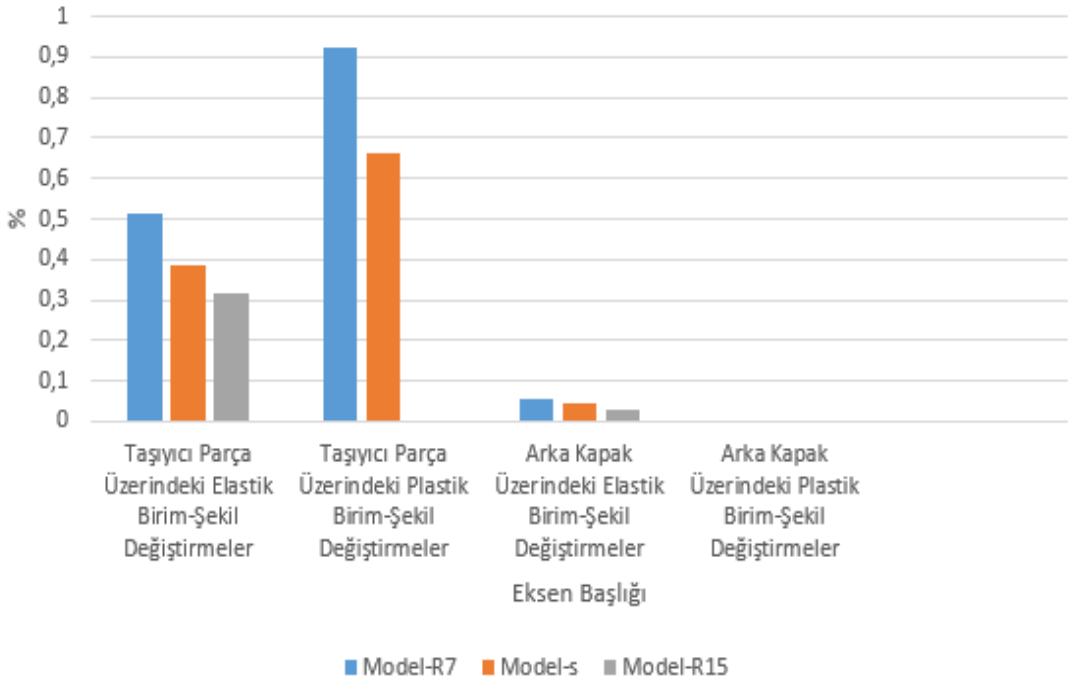
Tablo 5.1’de görüldüğü üzere köşe atışlarında drop test sonrası arka kapak ve taşıyıcı parçadaki gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler köşe rayduslarının artmasıyla azalmaktadır. Taşıyıcı parça için köşe radyuslarının arttırılmasıyla parça akma sınırını geçmeyerek plastik şekil değiştirmeye uğramadığı gözlemlenmiştir. Arka kapaklarda ise gerilmeler akma sınırını geçmese de azalmalar gözlemlenmiştir. Cam parçasında ise rankie akma kriterine göre oluşan maksimum asal gerilmeler, camda oluşabilecek hasar kriterine ulaşmadığından, camda kırılma olmamaktadır. Radyuslerin artmasıyla camda oluşan maksimum asal gerilmelerde de azalma gözlemlenmiştir.

Tablo 5.1 Farklı köşe radyuslu akıllı cep telefonlarına uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki kritik gerilme ve birim-şekil değiştirmeler

PARÇALAR/GERİLME TÜRÜ	Max Gerilme (Von Mises)	Max Asal Gerilme (Max Principal Stress)	Max Elastik Birim-Şekil Değiştirme (Elastic Strain)	Max Elastik Birim-Şekil Değiştirme (Plastic Strain)
Taşıyıcı Parça Model-R7	62,857	-	0,511	0,926
Taşıyıcı Parça Model-s(R11)	59,174	-	0,383	0,665
Taşıyıcı Parça Model-R15	56,927	-	0,314	0
Arka Kapak Model-R7	46,457	-	0,053	0
Arka Kapak Model-s(R11)	45,34	-	0,046	0
Arka Kapak Model-R15	43,825	-	0,031	0
Cam Model-R7	-	121,16	-	-
Cam Model-s(R11)	-	105,83	-	-
Cam Model-15	-	90,112	-	-



Şekil 5.1 Farklı köşe radyuslu akıllı cep telefonlarına uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki en büyük gerilme dağılımı

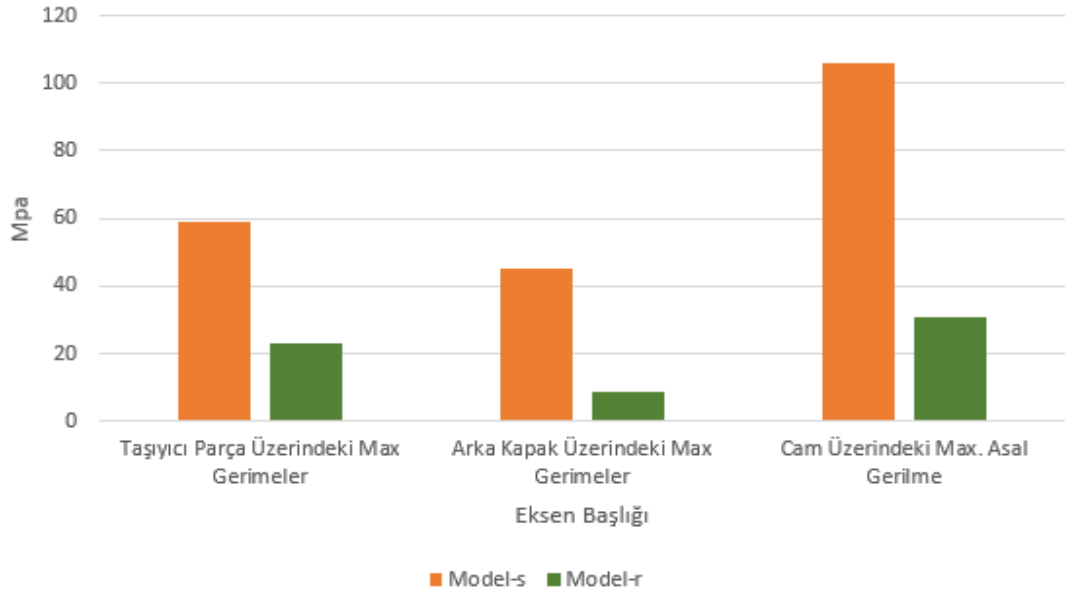


Şekil 5.2 Farklı köşe radyuslu akıllı cep telefonlarına uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki en büyük birim-şekil değişime dağılımı

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere ise telefonun düşme senaryosuna karşılık kılıf kullanımının model-s olarak adlandırılan standart model üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Burada standart model ile kılıflı standart modeldeki ana parçalar arasındaki gerilmeler düşme analizi sonrası karşılaştırılmış ve kılıf kullanımının etkisi gözlemlenmiştir. Ana parçalarda kılıf ile birlikte düşmesi sonucu ana parçalarda oluşan maksimum gerilmelerde bariz şekilde azalma gözlemlenmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kılıfın ana parçaları koruma üzerindeki pozitif etkisi gözlemlenmiştir.

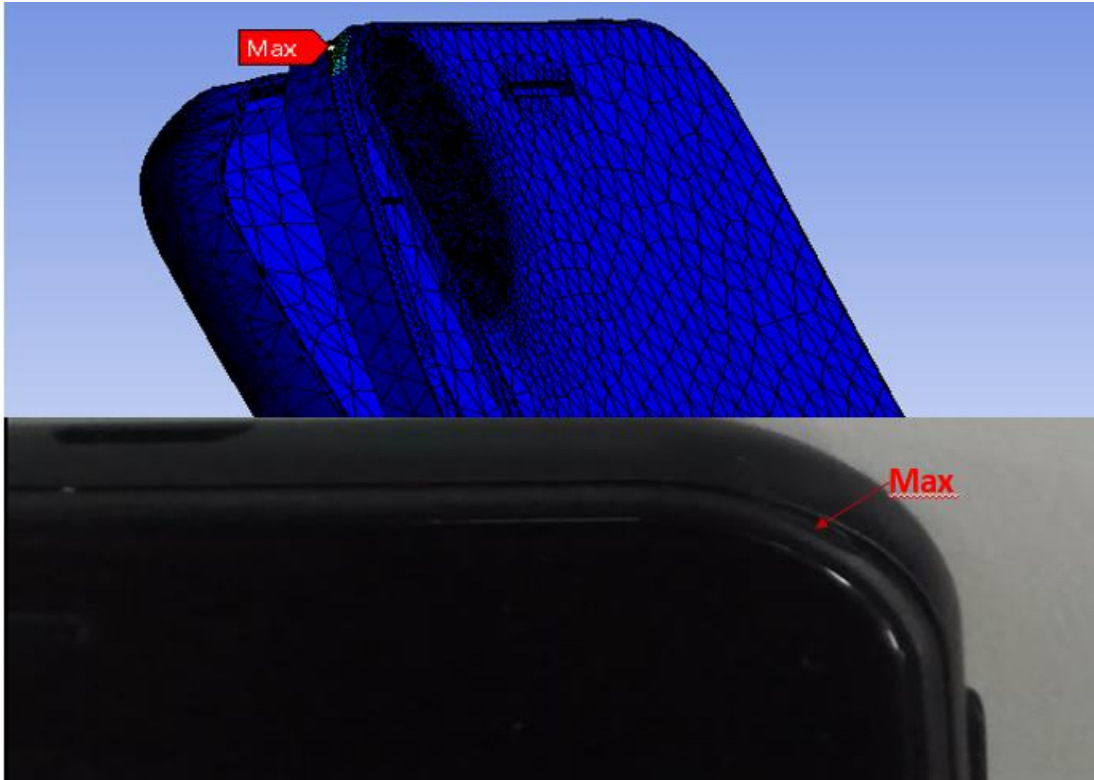
Tablo 5.2 Kılıflı (model-r) ve kılıfsız (model-s) olarak akıllı cep telefonuna uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki kritik gerilmeler

PARÇALAR/GERİLME TÜRÜ	Max Gerilme (Von Mises)	Max Asal Gerilme (Max Principal Stress)
Taşıyıcı Parça Model-s	59,174	-
Taşıyıcı Parça Model-r	23,069	-
Arka Kapak Model-s	45,34	-
Arka Kapak Model-r	8,623	-
Cam Model-s	-	105,83
Cam Model-r	-	30,797



Şekil 5.3 Kılıflı (model-r) ve kılıfsız (model-s) olarak akıllı cep telefonuna uygulanan düşme testi simülasyonu sonucunda ana parçalar üzerindeki en büyük gerilme dağılımı

Şekil 5.4’de ise model-s sonlu elemanlar modelinde oluşan kalıcı şekil değiştirmenin, analiz sonuçları ile aynı bölgede olup, kritik kesitte oluştuğu gözlemlenmiştir. Burada taşıyıcı parçanın camı koruduğu plastik bölge gerilmelerin en çok görüldüğü ve plastik şekil değişiminin olduğu bölgedir. Bu tezimizde, buranın ölçüsünün değiştirilerek düşme senaryolarının kıyaslanmasının yapılmamasının nedeni bu kesit için belirlenen ölçülerin sabit olmasıdır. Bunun nedeni ise sürekli elimizde taşıdığımız cep telefonlarının görselliğinden taviz verilmek istenmemesidir. Bu yüzden kritik kesit yerine köşe radyuslarının düşme testine olan etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.4 Gerçek ortamda düşme testi yapılan akıllı cep telefon ile sonlu elemanlar modelinde oluşan kalıcı plastik şekil değiştirme noktasının karşılaştırılması (Kişisel arşiv, 2018)

Aynı test düzeneği ve hammadde kullanımı ile akıllı cep telefonlarına uygulanan köşe radyuslarında ki artışın etkisi, köşe atışları için düşme analizindeki veriler göz önüne alındığında pozitiftir. Yani köşe atışlarının artmasıyla telefonumuzun köşe üzerine düşmesi sonucunda darbeye karşı daha dayanıklı olduğu analiz sonuçlarında görülmektedir. Dolayısıyla ürün tasarımları yapılırken daha güvenli ürünler için köşe

rayduslarının, daha büyük yapılması değeriendirilebilir. Ayrıca en kritik düşme senaryosu olan köşe atışlarını baz aldığımızda son derece yaygın olan kılıfın koruyucu etkisi analiz sonuçları ve gerçek test ortamında yapılan köşe atışlarıyla görülmektedir. Kılıf kullanımının cep telefonlarının düşürölmesi sırasında önemli bir emniyet görevi sağladığını göstermektedir. Zira kılıf, düşme olayı sırasında ortaya çıkan maksimum gerilmeleri en az %50 oranında azaltmaktadır. Bu durum son kullanıcı açısından önemli bir fayda oluşturacağı için, üretici firmalar akıllı cep telefonunu son kullanıncaya kılıf ile birlikte vererek, oluşabilecek garanti kapsamındaki servis maliyetlerini en aza seviyeye indirgeyebilir.

KAYNAKLAR

Altair, (2013). *Altair ve LG elektronik ortaklığıyla düşme testi simülasyon süresi 1 Haftadan 24 saatin altına düştü (Altair and LG electronics slash smartpone drop-test simulation time from weeks to less than 24 hours)*. 10 Şubat 2018, https://www.altair.com/NewsDetail.aspx?news_id=10919.

Balasubramanyam S. (1999). *Head impact characterization of generic a-pillar of an automobile*, ms thesis, West Virginia University, Morgantown, West Virginia, USA.

Bal, E. (2013). *Teknoloji çağında cep telefonu kullanım alışkanlıkları ve motivasyonlar: Selçuk üniversitesi öğrencileri üzerine bir inceleme*, yayımlanmış doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.

Campusplastics, (2018). *Makrolon 8025*. 3 Mart 2018, <https://www.campusplastics.com/material/pdf/66967/Makrolon8025?sLg=en>.

Corning, (2018). *Nasıl yapılır (How it's made)*. 3 Mart 2018, <http://www.corning.com/gorillaglass/worldwide/en/technology/how-it-s-made.html>.

Ertuğrul, S. (2018). *Akıllı telefon tarihi*, 22 Mart 2018, <https://mediatrend.mediamarkt.com.tr/akilli-telefon-tarihi>.

Farley, T. (2005). *Mobile telephone history*, Telecom, 29-30. 14 Şubat 2018, http://www.privateline.com/wp-content/uploads/2016/01/TelenorPage_022-034.pdf.

Gemapolimer, (2012). *Cam elyaf takviyeli bileşimler*. 3 Mart 2018, <http://www.gemapolimer.com/kategori/cam-elyaf-takviyeli-bilesimler.html>.

Gözen, C. (2017). *Araba lastiklerinin üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi*, yayımlanmış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

IEC 60068-2-32, 2010. *Environmental testing method*, international standart.

Kishan R. ve Basha M. (2017). *Design and analysis of lug joint in an airframe structure usign finite element method*, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).

Korkut, S. (2017). *Implicit ile explisit arasındaki farklar*, 10 Şubat 2018, <http://www.serdarkorkut.com/2017/05/11/implicit-ve-explicit-arasindaki-farklar>.

Korkut, S. (2018). *Sonlu elemanlar analizinde yakınsama*, 10 Şubat 2018, <http://www.serdarkorkut.com/2017/11/07/sonlu-elemanlar-analizinde-yakinsama>.

Materials.ulprospector, (2018). *CYCOLOY C2950HF*. 3 Mart 2018, <https://materials.ulprospector.com/en/profile/default?e=10955>.

Motorola, (b.t). *Motorola Dyna-TAC*. 2 Şubat 2018, <http://www.motorola.com/mediacenter/graphics>.

Resinex, (2018). *PC/ABS*. 3 Mart 2018, <http://www.resinex.com.tr/polimer-turleri/pc-abs.html>.

Thetechport, (2014). *Dünyanın ilk akıllı telefonu (World's first smartphone)*. 2 Şubat 2018, http://thetechport.blogspot.com.tr/2014/10/worlds-first-smartphone-ibm-simon-1994_13.html.