

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VTC TİPİ PIŞIRME OCAKLARINDA DÜŞME
TESTİ VE ANALİZİ**



Osman UZUN

Ekim, 2019

İZMİR

VTC TİPİ PİŞİRME OCAKLARINDA DÜŞME TESTİ VE ANALİZİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı

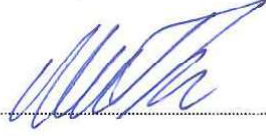
Osman UZUN

Ekim, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

OSMAN UZUN, Tarafından **PROF. DR. MEHMET ZOR** yönetiminde hazırlanan “**VTC TİPİ PİŞİRME OCAKLARINDA DÜŞME TESTİ VE ANALİZİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



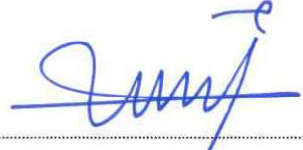
Prof. Dr. Mehmet ZOR

Yönetici



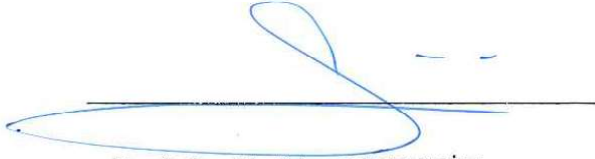
Prof. Dr. Binnur GÖREN KIRAL

Jüri Üyesi



Dr. Öğr. Üyesi Levent AYDIN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ve yüksek lisans eğitimimin ilk gününden son gününe kadar benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Tüm öğrencileri ile gönülden ilgilenen ve elinden gelen her türlü yardımı öğrencilerinden esirgemeyen sayın Prof. Dr. Mehmet ZOR' a teşekkürlerimi iletirim. Ayrıca bu çalışmada bana moral destekleri ve bilgi paylaşımları için Seftin ÖNAL ve Gaffur Gökhan ERDİM' e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Osman UZUN

VTC TİPİ PİŞİRME OCAKLARINDA DÜŞME TESTİ VE ANALİZİ

ÖZ

Bu çalışmada, ankastre ocağın düşme durumuna bağlı oluşacak mekanik hasarların sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayar ortamında modellenerek analiz edilmesi ve sonuçlar doğrultusunda yeni tasarımların yapılarak mekanik hasarın minimize edilmesi üzerine çalışılmıştır. Ankastre ocaklarda düşme testlerinin yapılması, ürünün nakliye esnasında ve sonrasında üzerine gelebilecek hasarlara karşı dayanıklı olup olmadığı konusunda bilgi sahibi olmamızı sağlar. Düşme testi öncesinde bu testin, bilgisayar ortamında simüle edilmesi ise ocak ve ilgili parça kalıp tasarımlarının doğru olup olmadığını görmemize yardımcı olur. Ayrıca, yapılan analizler sayesinde kalıp tadilatlarının en aza indirilmesi ve hurda ürün miktarlarının azaltılması sağlanır.

Düşme testi sırasında oluşabilecek mekanik hasarların incelenmesi için, ankastre ocağın karmaşık yapısı basitleştirilerek modellenmiş ve analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada, TEKA Group şirketinin Ege Serbest Bölge'sinde Ocak-Fırın fabrikasında üretilen VTC ankastre ocağa yönelik sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. TEKA İzmir Fabrikasının Ar-Ge ve Kalite laboratuvarlarında ise ürünlerin düşme testleri yapılmış, test ve analiz sonuçlarının birbirlerini desteklediği görülmüştür. Hem firma hem de pazardaki örneklerinden farklı olarak, 65cm ocak boyutlarına sahip yeni bir ürün incelenmiştir. Bu yeni üründe ocak estetiğinin değiştirilmesi istenmediğinden, analizlerde ve testlerde ortaya çıkan kırılma problemlerinin çözümü için ocak camında bir değişiklik yapılamamış, bunun yerine ambalaj tasarımları değiştirilmiştir. Yeni tasarlanan ambalaj parçalarının analizleri ve fiziksel düşme testlerinin sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Zamana bağlı düşme analizinde explicit(açık) sonlu elemanlar çözüm yöntemi kullanılmıştır. Parçanın modellenmesi için Solidworks 2019 sürümü, sonlu elemanlar analizlerinde ise ANSYS/Workbench R18.1 yazılımı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ankastre Ocak, VTC ocak, düşme testi, sonlu elemanlar analiz metodu, dinamik analiz, ANSYS Workbench

DROP TEST VE ANALYSIS IN VTC COOKER

ABSTRACT

In this study, the finite element method is used to analyze the mechanical damages due to the fall condition of the built-in furnace by means of finite element method. Conducting drop tests on built-in furnaces provides information on whether the product is resistant to damage during and after transportation. Simulation of this test in computer environment before the drop test provides information about whether the designs of the burner and related parts are correct before they are molded. In addition, mold modifications are minimized and the amount of scrap products is reduced.

In order to investigate the mechanical damages during the drop test, the complex structure of the built-in furnace was simplified and modeled and analysis studies were conducted. In this study, the finite element analysis of the VTC built-in furnace produced in the oven-furnace producing factory of the Aegean Free Zone of TEKA Group was carried out. The fall tests of the products were carried out in the R & D and Quality laboratories of the TEKA İzmir Factory and the results of the tests and analyzes supported each other. The tested product is a new product with 65cm hearth size considering both the company and the samples in the market. Since it is not desired to change the furnace aesthetics in this innovative product, no changes could be made to the furnace glass in order to solve the breakage problems in the analyzes and tests, instead the packaging designs were changed. New design packaging parts analysis and physical drop tests were performed. Analysis and test results were found to be consistent with each other.

Explicitite (finite element) solution method was used in time dependent fall analysis. Solidworks 2019 version was used for the modeling of the part and ANSYS / Workbench R18.1 software was used for finite element analysis.

Keywords: Built-in Hob, VTC hob, drop test, finite element analysis method, dynamic analysis, ANSYS Workbench

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ	x
BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
1.1 Ankastre Elektrikli Ev Tipi Ocakların Tanıtımı.....	1
1.1.1 Elektrikli Taş Kafa Ocaklar.....	2
1.1.2 Endüksiyon Ocaklar	2
1.1.3 VTC Ocaklar	3
1.2 VTC Ocakların Yapısı ve Modellenmesi.....	4
1.3 Ankastre Elektrikli Ocaqlara Uygulanan Testler	7
1.3.1 Yaylı Çekiç Darbe Testi	8
1.3.2 Termal Şok Testi	9
1.3.3 Darbe Tavası Testi	10
1.3.4 Ürün Serigrafi Dayanım Testi	11
1.3.5 Yol Şartları Testi	12
1.3.6 Düşme Testi	14
BÖLÜM İKİ – EXPLİSİT (AÇIK) ÇÖZÜM YÖNTEMİ	17
2.1 Nümerik Yaklaşım	17
2.2 Explicit Yöntem	17

BÖLÜM ÜÇ – SONLU ELEMAN ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....21

3.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Temel Prensipleri	21
3.1.1 Dinamik Sistem İçin Hareket Denklemi	22
3.1.2 Zaman Entegrasyon Yöntemleri	23
3.1.3 Merkezi Fark Metodu	23
3.1.4 Kontakt Etki Algoritması	25

BÖLÜM DÖRT – DÜŞME ANALİZİ26

4.1 Düşme Analiz İçin Yapılan Kabuller ve Test Koşulları	26
4.2 Modelde Kullanılan Parçalara Atanmış Malzeme Özellikleri	29
4.3 Düşme Test Analizi İçin Oluşturulmuş Modeller ve Analiz Sonuçları	31
4.3.1 Model Tas_1 ve Analiz Sonuçları	32
4.3.2 Model Tas_Altr_2 ve Analiz Sonuçları	36
4.3.3 Model Tas_Altr_3 ve Analiz Sonuçları	42
4.3.4 Model Tas_Altr_4 ve Analiz Sonuçları	46
4.3.5 Düşme Test Analizinin Doğrulanması	51

BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME53

5.1 Sonuçların Karşılaştırılması ve Yorumlanması	53
--	----

KAYNAKLAR55

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Elektrikli taş kafa ocaklar.....	2
Şekil 1.2 Endüksiyon ocak	2
Şekil 1.3 VTC ocak	3
Şekil 1.4 VTC ocakların yapısı	4
Şekil 1.5 VTC ocaklarda kullanılan Hi-Light ısıtıcı	6
Şekil 1.6 Yaylı çekiç darbe aparatı.....	8
Şekil 1.7 Yaylı çekiç darbe testi, darbe alanları	9
Şekil 1.8 Termal şok testi.....	10
Şekil 1.9 Darbe tava test aparatı.....	11
Şekil 1.10 Yol testi cihazı.....	14
Şekil 1.11 Ambalajın düşüş noktaları	15
Şekil 3.1 Merkezi farklar metodu grafik gösterimi.....	24
Şekil 4.1 Düşme test simülasyonu için tasarlanan VTC ocak modelleri	28
Şekil 4.2 Çerçeve-alt kapak parçanın şekil değiştirme – gerilme grafiği	30
Şekil 4.3 EPS şekil değiştirme – gerilme grafiği	30
Şekil 4.4 Proje şeması	31
Şekil 4.5 Model Tas_1 Mesh modeli	32
Şekil 4.6 Tas_1 cam üzerinde maksimum asal gerilmeler	33
Şekil 4.7 Tas_1 strafor üzerinde eşdeğer gerilme	34
Şekil 4.8 Tas_1 çerçeve-alt kapak eşdeğer gerilme	34
Şekil 4.9 Tas_1 strafor eşdeğer elastik gerinme	35
Şekil 4.10 Tas_1 çerçeve-alt kapak eşdeğer elastik gerinme	35
Şekil 4.11 Tas_1 strafor eşdeğer plastik gerinme	36
Şekil 4.12 Tas_1 çerçeve-alt kapak eşdeğer plastik gerinme	36
Şekil 4.13 Model Tas_Altr_2 için Mesh modeli	37
Şekil 4.14 Tas_1 ile Tas_Altr_2 arasındaki fark	37
Şekil 4.15 Tas_Altr_2 cam üzerinde maksimum asal gerilmeler	38
Şekil 4.16 Tas_Altr_2 strafor üzerinde en büyük eşdeğer gerilme	38
Şekil 4.17 Tas_Altr_2 çerçeve-alt kapak eşdeğer gerilme	39

Şekil 4.18 Tas_Altr_2 strafor üzerindeki eşdeğer plastik gerinme	39
Şekil 4.19 Tas_Altr_2 çerçeve-alt kapak eşdeğer gerinme	40
Şekil 4.20 Tas_Altr_2 strafor üzerindeki eşdeğer plastik gerinme	40
Şekil 4.21 Tas_Altr_2 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme.....	41
Şekil 4.22 Model Tas_Altr_3 için Mesh modeli	42
Şekil 4.23 Model Tas_2 ile Tas_Altr_3 arasındaki farklar	43
Şekil 4.24 Tas_Altr_3 cam üzerinde maksimum asal gerilmeler	43
Şekil 4.25 Tas_Altr_3 strafor üzerine gelen eşdeğer gerilme.....	44
Şekil 4.26 Tas_Altr_3 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer gerilme	44
Şekil 4.27 Tas_Altr_3 strafor üzerindeki eşdeğer elastik gerinme	45
Şekil 4.28 Tas_Altr_3 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer elastik gerinme	45
Şekil 4.29 Tas_Altr_3 strafor üzerindeki eşdeğer plastik gerinme	46
Şekil 4.30 Tas_Altr_3 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme	46
Şekil 4.31 Model Tas_Altr_4 için Mesh modeli	47
Şekil 4.32 Model Tas_1 ile Tas_Altr_4 arasındaki fark	47
Şekil 4.33 Tas_Altr_4 cam üzerinde maksimum asal gerilmeler	48
Şekil 4.34 Tas_Altr_4 strafor üzerine gelen eşdeğer gerilme	48
Şekil 4.35 Tas_Altr_4 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer gerilme	49
Şekil 4.36 Tas_Altr_4 strafor üzerine gelen eşdeğer gerilme	49
Şekil 4.37 Tas_Altr_4 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme	50
Şekil 4.38 Tas_Altr_4 strafor üzerindeki eşdeğer plastik gerinme	50
Şekil 4.39 Tas_Altr_4 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme	51
Şekil 4.40 VTC ocağın yüzey atışı sonrası gözlemlenen hasar	52

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Yol şartı test koşulları	13
Tablo 1.2 Düşme testi koşulları	14
Tablo 4.1 Malzeme mekanik özellikleri	29



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Ankastre Elektrikli Ev Tipi Ocakların Tanıtımı

Günümüz ihtiyaçları doğrultusunda evlerde yemek yapma alışkanlıkları değişmiş; teknolojiye paralel olarak gittikçe geliştirilen ev tipi ocaklar sayesinde farklı yemek pişirme geleneklerinin de karşılanmasını sağlanmıştır.

Pişirici cihazlar teknolojisi sürekli gelişen bir sektördür. Ateşin keşfi ile başlayan pişirme, günümüzde teknolojinin gelişmesine paralel olarak insanların yaşam ve düşünce tarzlarının değişmesi ile birçok yenilik ortaya çıkarmıştır. İnsanlar, yemek pişirmek için birçok farklı teknolojiyi kullanabilmekte ve farklı tasarımlar ile daha iyi, daha hızlı ve daha lezzetli yemekler yapabilmektedir. Firmalar, yaptığı pazar araştırmaları ve anketleri ile müşteri beklentilerini sürekli araştırmakta ve beklentiler doğrultusunda yeni ürünler tasarlamaktadır. Dolayısıyla hem fonksiyonel hem de estetik olarak müşterilerin ilgisini ve beğenisini çekecek ürünler piyasaya arz edilmektedir.

Tarihsel gelişimine göre, ev tipi ankastre ocakları gazlı ve elektrikli olmak üzere 2 ana başlıkta incelemek mümkündür. Bu çalışmada elektrikli ocak tipleri üzerinde çalışma yapılmıştır.

Elektrikli ocaklar kullanılan ısıtıcı tiplerine göre 3 ana sınıfa ayrılabilir:

- Elektrikli Taş Kafa,
- Endüksiyon Ocaklar,
- VTC ocaklar.

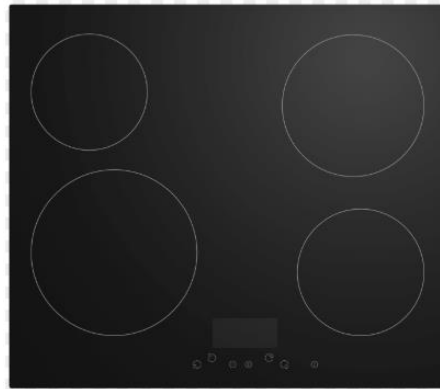
1.1.1 Elektrikli Taş Kafa Ocaklar



Şekil 1.1 Elektrikli taş kafa ocaklar (Kişisel arşiv,2019)

Elektrikli ocaklarda kullanılan ısıtıcı elemanlar endüstride “taş kafa” olarak; dolayısıyla ürün “Taş Kafa Elektrikli Ocak” olarak isimlendirilir. Taş kafa elektrikli ocaklarda, genellikle ocak üzerinde ısıtıcılar ve kullanılan yardımcı elemanlara yataklık yapabilmek için metal pleytler kullanılmaktadır. Bu tip ocaklarda cam pleytlerin kullanım örneğine henüz endüstride rastlanmamıştır.

1.1.2 Endüksiyon Ocaklar



Şekil 1.2 Endüksiyon ocak

Endüksiyonlu ocak açık bir devreye benzer. Üzerine doğru kap konulduğunda devre tamamlanır ve kap ısı üretmeye başlar. Endüksiyonlu ocağın seramik yüzeyinin hemen altında bulunan bir elektromıknatıs manyetik alan üretir. Ocağın üzerine doğru kap konulduğunda, kabın metal gövdesi bu manyetik alandan enerji alarak ısınır. Böylece ısı, ocağın yüzeyinde değil doğrudan üzerindeki kapta üretilmiş olur (Theinductionsite, 2018).

Endüksiyon ocaklar, üçüncü nesil mutfak pişirici sistemleridir. Sistemin hızlı çalışmasının sebebi, ocağın kendisinin değil üzerine konulan kabın ısı kaynağına dönüşmesidir. Yani endüksiyonlu ocağın yüzeyi ısınmaz; üzerlerindeki kap ısınır. Bu sayede ocağın kendisinin elimizi yakma riski yoktur (Bilgibrd., 2019).

1.1.3 VTC Ocaklar



Şekil 1.3 VTC ocak (Kişisel arşiv, 2019)

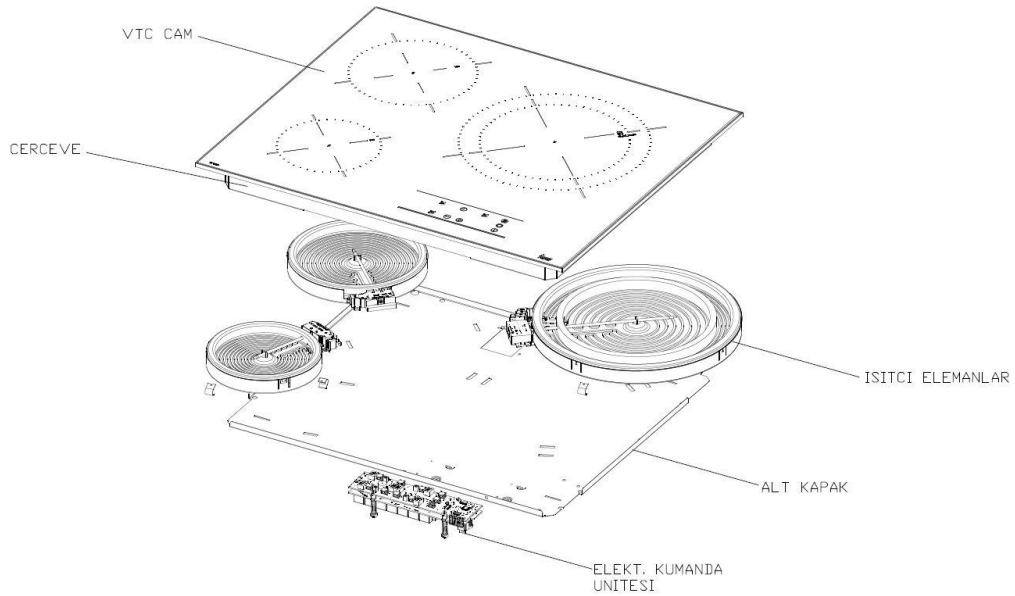
VTC Ocaklar, taş kafa elektrikli ocakların teknolojik gelişmeler sonucunda özelleştirilmiş halidir. VTC ocaklarda elektrikli taş kafa ocaklara göre yemek pişirmek daha hızlı ve ekonomiktir. Ayrıca VTC ocak ısıtıcılarında kullanılan malzemeler ve ısıtıcı elemanlarının çalışma mantığı farklıdır. VTC ocaklarda kullanılan ısıtıcılara, Hi-Light ısıtıcılar denmektedir. Hi-Light ısıtıcıların içerisindeki bakır tel üzerinden geçen elektrik ile tellerin ısınması ve bu ısının ışıyım yolu ile cama yansıtılarak yemeğin

pişirilmesi sağlanır. Şekil 1.3’ te görüleceği üzere ısıtıcı bölgeleri Hi-light içerisindeki bakır telin ısınmasından dolayı kırmızı renk almaktadır.

1.2 VTC Ocakların Yapısı ve Modellenmesi

Son zamanlarda pazarda oluşan ihtiyaç ve talepler de göz önüne alındığında satış trendinin aslında VTC ve Endüksiyon ocaklar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. VTC ocaklar kolay montajlanabilme, ucuz ve basit tasarımları ile pazarda büyük önem arz etmektedir.

VTC ocaklar, ürün dayanıklılığını arttırmak için, taşıyıcı parçalar içermektedir. VTC ocağı oluşturan, Isıtıcı düzlem, ısıtıcı elemanlar, ısıtıcı elemanlara yataklık yapacak alt tablalar Şekil 1.4’ te gösterilmektedir.



Şekil 1.4 VTC ocakların yapısı

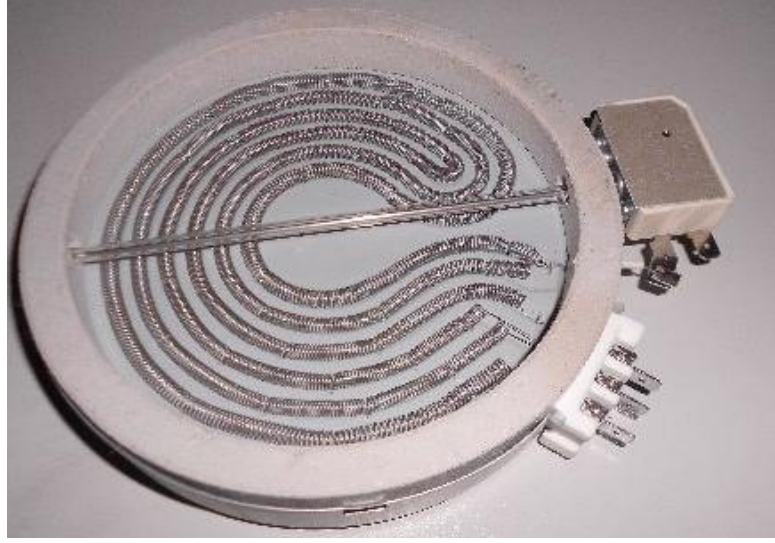
Ankastre ocaklarda ısıtıcılara ve yardımcı elemanlara kılavuzluk yapacak üst düzlem vitroseramik cam (VTC) dan oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıklara karşı

dayanımını arttırmak ve uzun süre kullanımına olanak sağlamak için normal cam seramik minareli ile karıştırılır ve elde edilen bu ürüne vitro seramik cam denir. . Vitroseramik cam, karışım ve üretiminde geçirdiği işlemler sayesinde eksenel olarak gelebilecek darbelere karşı da oldukça dayanıklı hale gelebilmektedir.

Vitroseramik camlar, ocağın üzerine gelebilecek darbelere karşı korunması gereken en öncelikli; bunun yanı sıra ocağın sağlıklı çalışması ve kullanıcı güvenliği açısından da ocaktaki en önemli parçadır.

VTC ocaklarda, vitroseramik cam ile alt kapağın birbirine montajlanmasını sağlayan bir çerçeve parça bulunmaktadır. Çerçeve parçası ile Vitroseramik camın montajlanması için yüksek sıcaklığa dayanıklı silikon kullanılmaktadır. Kullanılan silikonun pişirici cihazlar için belirlenmiş standartlara uygun olması gereklidir.

Yemeğin pişmesi için gereken ısı enerjisi ısıtıcı elemanlar ile karşılanmaktadır. VTC ocaklarda kullanılan ısıtıcılar; Hi-Light ısıtıcılar olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.5’ te gösterilen bu ısıtıcılar çaplarına ve güçlerine göre sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1.5 VTC ocaklarda kullanılan Hi-Light ısıtıcı (Kişisel arşiv, 2019)

VTC ocaklarda; ısıtıcı elemanları, ocak kontrol üniteleri ve ayrıca elektrik bağlantı kablolarına yataklık yapan bir alt kapak bulunmaktadır. Alt kapak parçası, VTC ocağın üzerine gelebilecek darbelere karşı dayanıklı olmalıdır.

Ocağın çalışmasını sağlayan parçalar bir araya geldikten sonra bu sistemin korunmasını ve doğru şartlarda sevk edilmesini sağlayan ambalaj modül grubu bulunmaktadır. Pişirici cihazlarda ambalaj modül grubu, kendi içerisinde farklı mekanik dayanım kriterlerine sahiptir. Kullanılan ambalaj parçalarının ocak üzerine gelecek yüksek darbelere, ayrıca sevkiyat esnasında karşılaşılabilecek titreşimlere ve sürekli darbelere karşı da dayanıklı olması gerekir. VTC ocaklarda, ocak üzerine gelebilecek darbelere karşı dayanabilmesi için EPS malzemeden oluşan strafor ve ocağı sarmalayan naylon ya da karton kutular kullanılmaktadır. Bu cihazların evlerde kullanım şartlarında yeterli dayanıklılığı sağlaması ve üreticiden son kullanıcıya aktarılma aşamasında korunması büyük önem arz etmektedir.

VTC ocaklarda, cam üzerinde ısıtıcı bölgeleri belirtmek için cam üzerine serigrafi uygulanmaktadır. Hi-light ısıtıcı çaplarının serigrafinin dışına çıkmaması ilgili standartta belirtilen bir kuraldır. Ayrıca, VTC ocak kontrol ünitesinde her bir

fonksiyon tuşlarının serigrafi şekilleri yine ilgili standartta tanımlanmıştır. Diğer yandan, pişirici cihazlar, fonksiyonel olarak yemek pişirilmesini sağlamalarının yanında, mutfaklarda estetik olarak tamamlayıcı bir unsurdur. Bu durumlardan dolayı standartların gereklilikleri karşılandıktan sonra, VTC cam üzerine değişik estetiklerde serigrafiler uygulanmaktadır.

Tezin bir sonraki bölümünde pişirici cihazlar üzerine gelebilecek mekanik testlerin neler olduğu belirtilecektir.

1.3 Ankastre Elektrikli Ocaklara uygulanan Testler

Günümüzde ev tipi pişirici cihazlar için zorunlu standartlar bulunmaktadır. Nihai son ürünlerin elektriksel olarak EN 60335-1, EN 60335-2-6 standartlarına uygun olması gerekmektedir. İlgili standartların dışında nihai üründe kullanılan her bir parçanın da ayrıca farklı standartları mevcuttur.

Tezin bu bölümünde VTC ürünlerin, ilgili standartları karşılaması için yapılan mekanik testlerden bahsedilecektir.

- Yaylı çekiç darbe testi
- Termal şok testi
- Darbe tavaşı testi
- Ürün serigrafi dayanım testi
- Yol şartları testi
- Düşme testi

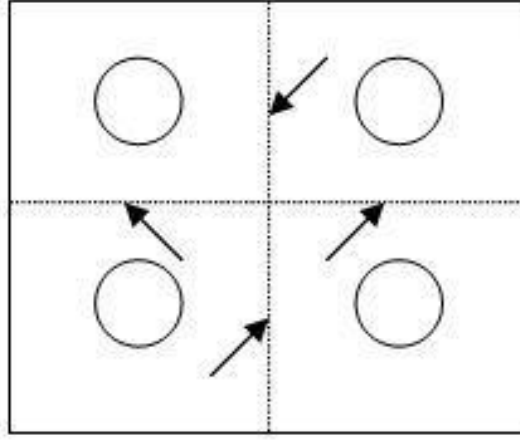
1.3.1 Yaylı Çekiç Darbe Testi

Bu testin amacı, vitroseramik cam yüzeylerinin günlük hayatta karşılaşılabileceği darbeleri simüle etmektir. Mevcut darbeler karşısında ocak camının kırılmaması beklenmektedir.

Bu testin uygulanışı aşağıdaki belirtilen yerlere yaylı çekiç aparatı ile 3 er kez vurulması şeklindedir. Kullanılan aparatın darbe enerjisi “ $0.75 \pm 0.05 \text{ Nm}$ ” dir. Bu testte cam yüzeyinde çatlak ve kırılma olmaması kabul edilebilir kriterdir. Cam yüzeyi gözle muayene edilerek, gerekli kriteri sağlayıp sağlamadığı belirlenir.



Şekil 1.6 Yaylı çekiç parçası (Kişisel arşiv,2019)



Şekil 1.7 Yaylı çekiç darbe testi, darbe alanları

1.3.2 Termal şok testi

Bu testin amacı ocağın yüksek ve düşük sıcaklıklar karşısında maruz kalacağı termal gerilmeleri simüle etmektir. Bu test ocağın günlük kullanımlarda maruz kalacağı değişken sıcaklarda, son kullanıcının güvenliğinin sağlanması için son derece önemlidir.

Ocak ilk etapta kılavuzunda gösterilen banko boşluğuna belirtilen şekilde montajlanmalıdır. Bu test süresince ocak maksimum güçte 60 dk. çalıştırılır. Hi-Light ısıtıcı ölçülerine uygun tavaların içerisindeki indüksiyon silikon yağı 160° C ye ulaşana kadar beklenir. Yağ, 160° C ye ulaştıktan sonra ocak 30 dk. boyunca çalıştırılır. İşlem sonunda ocağın fişi prizden çekilir. Ocak üzerine 15 ± 5° C de 1 lt su dökülür ve su cam yüzeyinde 15 dk. bekletilir. 15 dk. sonunda cam yüzeyi silinir, 10 dk. oda şartlarında soğuması için beklenir. VTC cam soğuduktan sonra yüksek gerilim testine alınır.

Bu testte kriter, belirtilen test koşullarından sonra VTC cam yüzeyinde kırık, çizik ve çatlak olmamasıdır. Bu testin sonucu gözle muayene yöntemi ile belirlenir.



Şekil 1.8 Termal Şok Testi (Kişisel arşiv, 2019)

1.3.3 Darbe Tavası Testi

Bu testin amacı, pişirici ocaklarda yemek pişirilmesi esnasında kullanılan araç ve gereçlerin ocak üzerindeki deformasyonlarını gözlemlemek ve simüle etmektir. VTC ocakların, yemek gereçleri ve ocağın maksimum çalışma şartları altında vitroseramik cam yüzeyinin sağlam durması kullanıcı güvenliği için son derece önemlidir.

Bu testte, ocak ısıtıcı elemanları maksimum güçte 10 dk. boyunca çalıştırılır. Her bir ısıtıcı bölgesi üzerine uygun tavalar yerleştirilir ve içerisine induksiyon silikon yağı koyulur, yağ 160° C ye ulaşana kadar ocak çalıştırılmaya devam edilir. İndüksiyon silikon yağı 160° C ye ulaşp denge konumuna geldikten sonra ısıtıcı elemanlar durdurulur, tavalar ısıtıcı bölgelerinden alınır.

Darbe aracı ısıtıcı konumuna göre ayarlanır, 150 mm yükseklikten ısıtıcı bölgesine 10 darbe uygulanır. Bu işlem her bir ısıtıcı elemanında tekrarlanır. Bu testin kabul kriteri ise, darbelerden sonra ocak camının üzerinde kırık ve çatlak olmamasıdır. Bu tetin sonunda göz ile muayene yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 1.9 Darbe Tava Test Aparatı (Kişisel arşiv, 2019)

1.3.4 Ürün Serigrafi Dayanım Testi

VTC ocakların üzerinde bulunan serigrafilerin, farklı temizleme şartlarından dolayı aşınmaya, kılcal çatlak ve silinmeye karşı dayanıklı olması beklenmektedir. Bu testin amacı son kullanıcının farklı temizleme aparatlarında ve farklı temizleme alışkanlarında, ocak camı üzerindeki serigrafinin dayanımını ölçmektir.

Bu testte, temizleme aparatı ocak ısıtıcı bölgesini tanımlayan serigrafinin üzerine getirilir. *Scotch Brite* türü bir ovma malzemesi aparata yerleştirilir. Her 10.000 çevrimde bir ovma malzemesi değiştirilir ve aparatın sayacı sıfırlanır. Vitroseramaik camlar için 3 farklı tip ovalama testi yapılır;

- Sabunlu suyla ıslatılmış, MAVİ ovucu malzeme.
- Vitro-Clean türü bir temizleyici uyguladıktan sonra sabunlu su ile ıslatılmış, MAVİ ovucu malzeme.

- Sabunlu suyla ıslatılmış, YEŞİL ovucu malzeme.

Her bir ovalama türü 10.000 çevrim uygulanır. Her bir testte 5.000 çevrimde test durdurulur, ocak camı ve ovalama süngerinin yapısı incelenir. İnceleme sonucunda testin devam etmesine, yenilenmesine ya da uygun şartların sağlanamaması durumunda durdurulmasına karar verilir.

Bu testte kontrol, normal ışık altında 1m mesafeden göz ile muayene yöntemi kullanılarak yapılır. Testin kabul kriteri için aşağıda belirtilen değerlendirme seçenekleri kullanılır.

Değerlendirme 0: Serigrafide fark edilebilir bir değişiklik yok.

Değerlendirme 1: Hafif bozulma. Serigrafi üzerinde şeklin bozulmadan aşınmasıdır.

Değerlendirme 2: Önemli bozulma. Serigrafi üzerinde şeklin ana hatlarının tamamen olmasa da belirli noktalarında bozulması ve aşınmasıdır.

Değerlendirme 3: Serigrafinin bütün kısımlarını silinmesi veya bozulma olan kısımlarının sağlam kalan kısımlarından fazla olmasıdır.

1.3.5 Yol Şartları Testi

Bu testin amacı, VTC ocakların sevkiyat esnasında maruz kalacakları sürekli darbeleri simüle etmektir. Ürünler karayolu, deniz yolu, hava yolu ile nakliye edilmesi esnasında farklı frekanslarda zorlanmalara maruz kalırlar. Bu darbeler karşısında ürünün zarar görmemesi istenmektedir. Bu test ile üründe kullanılan ambalaj grubu parçalarının tasarımı ve seçilen malzemelerin kontrolü sağlanmaktadır. Sevkiyat için istiflenen bir üründe, eğer yanlış ambalaj malzemeleri kullanılmış ise bir süre sonra ambalaj malzemeleri koruyucu özelliğini yitirmektedir. Bu durumdan dolayı sevkiyat esnasında ürün zarar görmektedir.

Ürün testinin yapıış şekli;

- Ürün belirlenen istif şartlarında 48 saat boyunca istiflenir.
- Yol şartlarını sağlamak amaçlı yapılan titreşim(yol) testi cihazına yaklaşık ürün üzerine 1 ürün (15 kg), ağırlık konulur. Test şiddeti Tablo 1.1' de belirtilen kademelerde seçilir. Test şiddeti seçimi ürünün destinasyonu, uygulanacak istif şekli ve sayısına göre yapılır.

Tablo 1.1 Yol şartı test koşulları

Test şiddet:									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test frekansı:									
0,03 hz	0,06 hz	1 hz	1,3 hz	1,6 hz	2 hz	2,3 hz	2,6 hz	3 hz	3,3 hz



Şekil 1.10 Yol Testi Cihazı (Kişisel arşiv, 2019)

1.3.6 Düşme Testi

Bu testin amacı belirlenen sınır şartlarında ürünün zayıf noktalarını tespit etmek, yapılan ürün ve ambalaj tasarımının doğruluğuna karar vermektir.

Düşme testi kriterleri ocak tipine, mekanik ve fonksiyonel özelliklerine göre değişmektedir. Ürün ağırlığına göre ürünün düşürüleceği yükseklik belirlenir. Her ürün ağırlığı için yükseklik Tablo 1.2’ de belirtilmektedir.

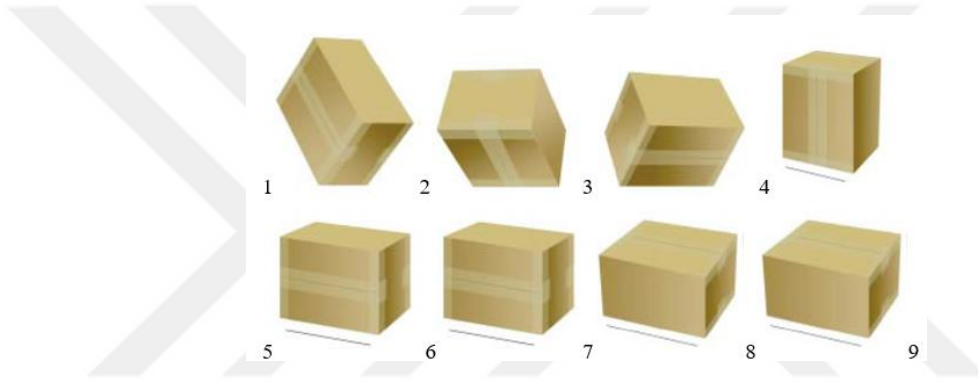
Tablo 1.2 Düşme testi koşulları

ÜRÜN AĞIRLIĞI (kg.)	:	0-10	10-19	19-28	28-45	45-68
TEST YÜKSEKLİĞİ (cm.)	:	76	61	46	31	20

Teste başlanmadan önce ürün paketlenmesinin ve ürün montajının doğru şekilde yapıldığından emin olunmalıdır. VTC ocaklar düşme testlerinde 9 farklı şekilde atılır. Her bir atış şekli Şekil 1.11’ de gösterilmektedir. Her atıştan sonra ürün ve ambalaj

grubu değerlendirilir. Bu sayede tasarımın her aşaması her noktası değerlendirilmiş olur. Ürünün gerek mutfaklarda montajları yapılırken gerekse aktif olarak kullanılırken farklı noktaları değişken darbelere maruz kalmaktadır. Bu durumdan dolayı ürünün mümkün olan her noktasının test edilmesi istenir.

Her düşürmeden sonra ürünün paketi açılır, ürün ve ambalaj grubu kontrol edilir. Böylece her bir darbenin etkisi değerlendirilir. Gerekli olan durumda düşme şekli ve ambalaj grubu parçaları değiştirilir. Her bir atış şekli 3 er kez tekrarlanır.



Şekil 1.11 Ambalaj Düşme Şekilleri (Kişisel arşiv, 2019)

1. Ambalaj kartonu birleşim kenarının alt köşe noktası
2. İlk adımdaki köşeyi oluşturan 3 kenardan en küçük kenar.
3. İlk adımdaki köşeyi oluşturan 3 kenardan orta büyüklükteki kenar.
4. İlk adımdaki köşeyi oluşturan 3 kenardan en büyük kenar.
5. En küçük yüzey.
6. En küçük bu yüzeyin simetriğindeki yüzey
7. Orta büyüklükteki yüzey
8. Orta büyüklükteki bu yüzeyin simetriğindeki yüzey.
9. En büyük yüzey.

Ürünün güvenliğini veya fonksiyonelliğini etkileyen hasarlar kabul edilemez. Estetik veya yapısal hasarlar kalite bölümü tarafından güvenlik ve fonksiyonellik açılarından değerlendirilir. Bu testin kabul kriteri, bütün atışlardan sonra ürünün

estetiğini ve fonksiyonelliğini bozacak bir hasar almamasıdır. Bu testte göz ile muayene yöntemi kullanılır.



BÖLÜM İKİ

EXPLICIT (AÇIK) ÇÖZÜM YÖNTEMİ

2.1 Nümerik Yaklaşım

Bir sonlu elemanlar problemini çözerken *implicit* (kapalı) ve *explicit* (açık) yöntemler kullanılabilir. Zamana bağımlı olmayan tipteki problemleri çözmek için (örn: yapısal statik, harmonik, modal analiz vs.) *implicit* yaklaşımı daha kullanışlı olurken; çarpışma, patlama gibi kısa zamanda yüksek deformasyonların gerçekleştiği durumlarda *explicit* yöntem kullanılmaktadır (Korkut, 2019).

Implicit ve *explicit* yöntemlerin arasındaki temel fark hız veya ivmenin tanımlanmasından doğar. Aşağıda bulunan kütle (m), sönümleme (c), rijitlik (k) ve kuvvet (F) gibi terimlerin yer aldığı denklem incelendiğinde ‘ x ’ yer değiştirmeyi gösterirken $\dot{x}$ ve $\ddot{x}$ sırasıyla x değerinin birinci ve ikinci türevini belirtmektedir. Diğer bir deyişle hız ve ivmeye karşılık gelmektedir (Korkut, 2019).

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \quad (2.1)$$

2.2 Explicit Yöntem

Explicit yöntem *implicit* yöntemden farklı olarak zamana bağlıdır. Bu sayede hız ve ivme ile birlikte kütle ve sönümleme de bu metod ile göz önüne alınabilmektedir. *Explicit* yöntemde, merkezi fark zaman entegrasyonu (Central Difference Time Integration, CDTI), ilgili düğüm noktalarında alan değişkenlerini hesaplamak için kullanılır (Skorkut, 2019).

Bir veya birden fazla değişkenin, tek bir değişkene göre adi türevlerini içeren diferansiyel denklemlerini içeren denklemlere adi diferansiyel denklem (ADD) denir. Doğrusal olmayan adi diferansiyel denklem için sadece bir sayısal çözüm mümkün

olduğundan, bu yöntem özellikle doğrusal olmayan problemler için özellikle uygundur (Gözen, 2017).

Merkezi farklar yöntemi olarak da bilinen yöntemde $t + \Delta t$ anının çözümün t anındaki denge şartlarından elde edilmesine dayanır. Bu yöntemde her adım için katılık matrisinin hesaplanmaması bu yöntemin en büyük avantajıdır. Merkezi farklar yönteminde diğer önemli düşünce kritik zaman adımıdır (Δt_{cr}). Kritik zaman adımı sonlu elemanlar modelinin tüm elemanları için katılık ve kütle özellikleri üzerinden hesaplanmaktadır. Merkezi farklar yönteminde Δt zaman aralığının çözümün kararlılığı için kritik zaman adımının Δt_{cr} 'den eşit veya küçük olması gerekir. Diğer bir deyişle geçerli bir çözüm elde edebilmek için aşağıdaki şartı sağlaması gerekir. (Gözen, 2007)

$$\Delta t \leq \Delta t_{cr} = \frac{2}{\omega_{max}} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2' de ω_{max} "n" serbestlik dereceli sonlu eleman analiz modelinde en yüksek frekanstır. Çözüm ağı içerisinde bulunan bir eleman boyunca gerilim dalgası yayılımının en küçük aktarılma zamanı olarak kararlılık limiti aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Delta t_{cr} \approx \frac{L_{min}}{C_d} \quad , \quad C_d = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.3)$$

Burada L_{min} çözüm ağında bulunan en küçük eleman boyutudur. C_d dalga yayılım hızıdır. Dalga yayılım hızı *lamé* sabitindeki (λ ve $G=2\eta$) dalga yayılım hızıdır (Gözen,2007).

Merkezi farklar yönteminde kritik zaman adımı Δt_{cr} 'den daha büyük bir Δt zamanı alınır ise entegrasyon düzensiz olacaktır. Bulunan çözümler gerçek sonuçları

yansıtmayacak yada çözüme ulaşamayacaktır. Bu yöntemde kritik zaman adımından daha küçük bir zaman adımı kullanılırsa sonuçlar “*conditionally stable*” (koşullu kararlı) olacaktır. Buradan anlaşılabildiği üzere explicit analizde toplam analiz zamanı kritik zaman adımına bağlı olarak değişecektir. Bu durum ters orantılı olarak değişir. Yani kritik zaman adımı “ m ” kadar artırılırsa analiz süresi “ m ” kadar düşer (Gözen, 2007).

Kritik zaman adımı L_{min} (sonlu elemanlar modelindeki en küçük eleman boyutu) ile doğru orantılıdır, bu durum Denklem 2.3’ te görülmektedir. Yani L_{min} iki katına çıkarılırsa kritik zaman adımı da iki katına çıkarken toplam analiz süresi de yarıya düşecektir. Denklem 2.3’ te görüleceği üzere kritik zaman adımı ile kütle yoğunluğu doğru orantılıdır. Kütle yoğunluğu artırılır ise kritik zaman aralığı da artacaktır. Buna bağlı olarak kütle yoğunluğu toplam analiz süresi ile ters orantılıdır. Sonuç olarak toplam analiz süresini etkileyen bu faktörlerin optimal şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Explicit (açık) çözüm yönteminde kinematik ve penaltı olmak üzere iki farklı temas algoritması bulunmaktadır. Kinematik algoritmada, temas etme koşulları göz önüne alınmadan analizin her noktasında kinematik modeli tahmin ettiği konfigürasyona getirir. Sonrasında arasında girişim olan düğüm noktalarını belirler. Belirlediği girişim miktarına bağlı olarak düğüm noktalarına vereceği tepki kuvvetlerini hesaplayarak, bunu düğüm noktalarına uygular. Diğer temas algoritması ise daha yumuşak bir temas yaklaşımı uygulayarak toplam analiz süresini azaltır. Düğüm noktaları girişimi önceden tahmin edilmesi yerine analiz anında hesaplanır.

Explicit yöntemde zaman adımının küçük olarak seçilmesi, iki algoritma içinde temas girişimlerinin fazla olmamasını sağlar. *Explicit* yöntemde, küçük zaman adımı ihtiyacından dolayı, kısa süreli olaylar ile sınırlanmaktadır. Bu nedenle *explicit* yöntemde temas yakınsaması hakkında sıkıntı yaşanmaz.

Explicit yöntem, algoritmaların uygulanmasının kolay olması ve kolay yönetilmesinden dolayı ticari kodlarda kullanılmaktadır. Endüstride bu yöntemi kullanan ticari sonlu elemanlar yazılımlarına örnek olarak; ANSYS, AUTODYN, ABAQUS, LS-DYNA ve RADIOSS verilebilir. İlgili yazılımlar ticari ve askeri birçok uygulamada karmaşık dinamik analizi çözmek için geliştirilmiştir.



BÖLÜM ÜÇ

SONLU ELEMAN ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Temel Prensipleri

Karmaşık mühendislik problemleri beraberinde aynı karmaşıklıkta çözümler içerir. Bu karmaşık çözüm aşamasını da hassasiyetten uzaklaştırır. Karmaşık problemlerin en kısa yoldan doğru sonuca ulaştırılması için sonlu elemanlar metodu kullanılır. Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method) ilk kez 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olup, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda da bu metod ve çözüm teknikleri hızla geliştirilmiş ve günümüzde pek çok mühendislik probleminin çözümü için kullanılan en iyi metodlardan birisi halini almıştır (Elektrikport, 2019).

Sonlu elemanlar yöntemi, differansiyel denklem ve sınır şartlarını sonlu farklar denklemleri ile değiştirir. Karmaşık bir sorunu genel geometri, sınır şartları ve yükleme şartları ile çözme kapasitesine sahiptir.

Sonlu elemanlar metodu ile karmaşık problemler daha basit hale getirilir ve sayısal olarak çözülmesine olanak verir. Bu yöntemde yapının farklı boyuttaki ve tipteki elemanlara ayrılması ile oluşan parçalara sonlu eleman denir. Elemanların ve düğümlerin montajına da sonlu elemanlar modeli denir. Ele alınan problem basitleştirilmesinden dolayı yaklaşık sonuç elde edilmektedir fakat daha ayrıntılı modeller ile kesin sonuca yaklaşım sağlanabilmektedir.

Bilgisayarların nümerik hesaplama işlemlerinde etkinliğinin artırılması ve zamanı çok iyi ölçüde kısaltmasından dolayı sonlu elemanlar yönteminin kullanımı son

zamanlarda artmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan çok sayıda denklemlerin çözümü bilgisayarlar ve bu konuda üretilen ticari yazılımlar ile kısa sürelerle inmektedir. Bu konuda kullanılan sonlu eleman tekniklerinin temel prensipleri aşağıda açıklanmıştır;

3.1.1 Dinamik Sistem İçin Hareket Denklemi

Hareket denklemi;

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

Dinamik sisteme harmonik yüklemde çözümü Collatz (1950) tarafından verilmiştir.

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

Kararlı Hal (Steady state)

Geçici Hal (Transient state)

u_0 = İlk yerdeğiştirme

$\dot{u}_0$ = ilk hız

$\frac{\rho_0}{k}$ = statik yer değıştirme

Kullanılan terimler;

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: $\beta = \frac{\bar{\omega}}{\omega}$

3.1.2 Zaman Entegrasyon Yöntemleri

Doğrusal olmayan ve hareket halindeki sonlu elemanlar sisteminde denge denklemleri için nümerik çözümler, analitik sistem çözümlerine göre daha kolay ve hızlıdır. Denge denklemlerin çözümü için kullanılan bu prosedür *direkt entegrasyon* ve *modal süperpozisyon* olarak 2 farklı metoda ayrılmaktadır.

Direkt entegrasyon yönteminde denge denklemleri nümerik adım prosedürü kullanılarak bir yaklaşım sağlar, bir sonraki adımın çözümü ise bir önceki adımın sonucundan gelir. Yöntemin içerisinde “*direkt*” teriminin kullanılmasının nedeni, denge denklemleri entegrasyon prosedürü tamamlanmadan farklı formlara dönüşümünün sağlanamamasıdır. Direkt entegrasyon yönteminde kullanılan bazı metodlar; *merkezi farklar yöntemi*, *Hot-Boult metod*, *Wilson -q metodu* ve *Newmark metodudur* (Balasubramanyam, 1999).

LS-DYNA direkt entegrasyon yöntemi içerisinde merkezi fark metodunu kullandığından dolayı devam eden kısımlarda bu metodun tanımları yapılmıştır.

3.1.3 Merkezi Fark Metodu

Sabit katsayılı adi differansiyel denklem içeren bir dinamik sistem düşünüldüğünde, merkezi fark metodu etkili bir çözüm oluşturur.

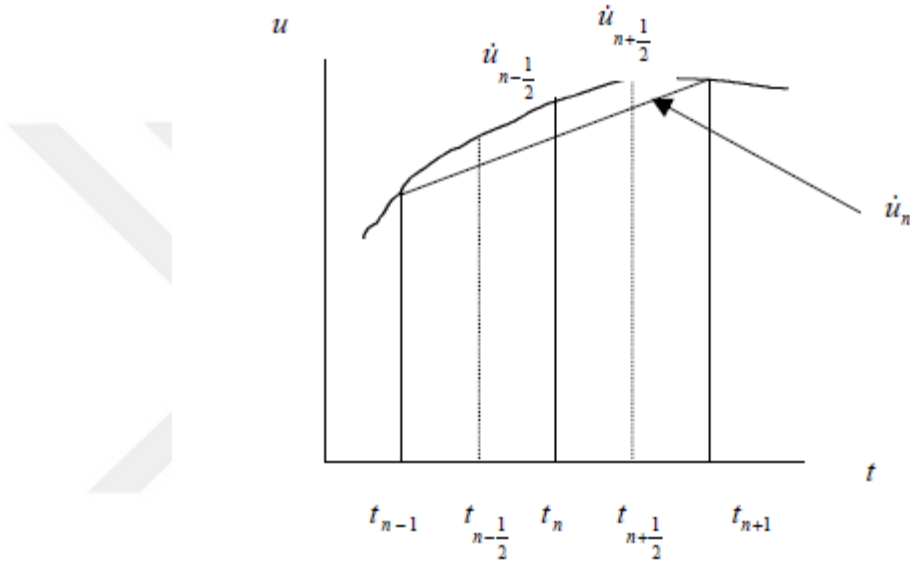
Hız ve ivme değerleri aşağıdaki gibidir. İlgili denklemler şekil 3.1’ den yaklaşım yapılır.

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

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

Merkez farklar metodundan gelen hız ve ivme denklemlerini denge denklemlerinde yerine koyduğumuzda aşağıdaki formüle ulaşabiliriz. Aşağıdaki denklemde P_n dış kütle kuvvetidir. Bu sayede u_{n+1} hesaplanabilir.

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



Şekil 3.1 Merkezi farklar metodu grafik gösterimi (Balasbramanyam, 1999)

u_{n+1} çözümü, t_{n-1} ve t_n şartlarına bağlı olduğundan, Merkezi farklar prosedürü explicit entegrasyon metodu olarak bilinir. Ayrıca bu metod, adım adım çözümünde rijitlik matrisinin de çarpanlara ayrılmasını gerektirmez. Ayrıca Houbolt, Wilson ve Newmark metolarında, t_{n+1} koşullarını da içerdiği için implicit entegrasyon metodu olarak bilinir.

3.1.4 Kontakt Etki Algoritması

Sürtünen yüzeylerdeki hareketler ve ara yüzeyler arasındaki yük etkileri simülasyon içerisinde analiz alırken, doğru yük aktarımının yapılabilmesi çok önemlidir. Temas kuvvetleri cismin ivmesini etkiler. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan kontakt algoritmaları temasta olan düğümleri *bağımlı* ve *ana* düğümler olarak ayırır. İlk bölünmeden sonra her bir düğüm *bağımlı düğüm* olarak yüzey temasında bulunduğu ana düğüm noktalarına etkileşimde bulunması için kontrol altındadır. Bu sayede bozuk sonuçlar üretmeden bağımlı düğümlerin ilgili kuvveti izleyip aktarabilen rijit bir iletişim algoritması oluşturulması oldukça önemlidir. LS-DYNA’da kontakt etki algoritmasında 3 farklı yöntem kullanılmaktadır; *kinematik kısıtlama metodu*, *ceza yöntemi* ve *dağılmış yöntem* (Balasbramanyam, 1999).

BÖLÜM DÖRT

DÜŞME ANALİZİ

4.1 Düşme Analiz İçin Yapılan Kabuller ve Test Koşulları

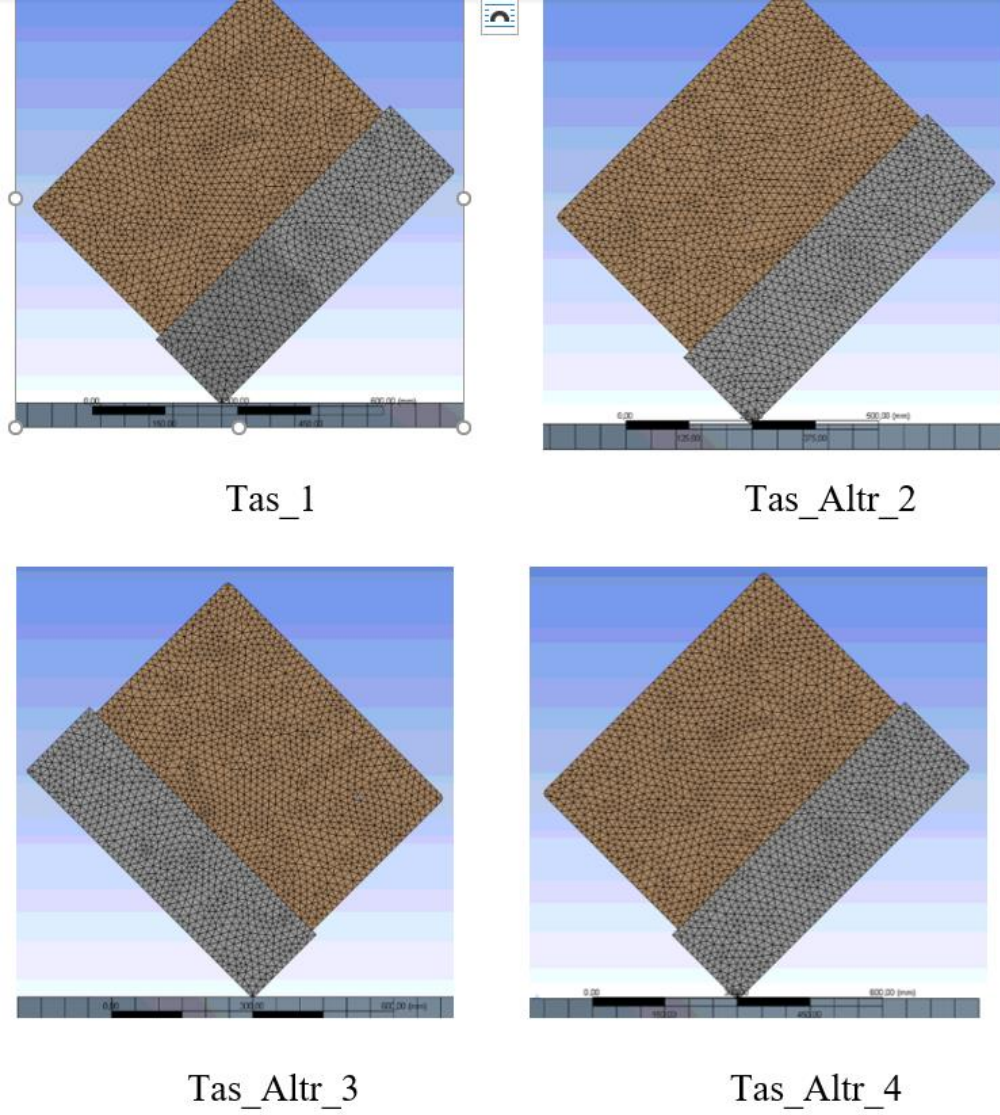
Sonlu elemanlar yönteminde analiz süresi, analiz edilecek parçanın kompleksliğine ve atanan elemanların sayısının fazlalığına göre uzamaktadır. Analiz edilen parçada atanan en küçük elemanların ve düğüm noktalarının sayısı arttıkça, kullanılan bilgisayarın özellikleri ve ekran kartı donanımı da artmaktadır. Bundan dolayı analiz edilecek parça ya da sistemi basite indirmek ve bazı kabulleri yapmak sonlu elemanlar yönteminin bir parçasıdır.

Bu projede VTC ocak modeli içerisinde; ısıtıcı elemanlar, dokunmatik kontrol ünitesi, elektriksel bağlantıyı sağlayan klemens kutusu ve iç donanım kabloları kullanılmamıştır. Bu sayede ağ örgüsü ve kontak elemanların çok kompleks olması önlenmiş ve analiz süresinin kısalması sağlanmıştır. Ayrıca üründe kullanılan çerçeve ve alt kapak parçasının vida bağlantıları ihmal edilip, yekpare olarak modellenmiştir. Çünkü belirtilen 2 parçanın malzemeleri ve üretim teknikleri aynıdır. Ayrıca her iki parçanın vida bağlantıları sağlandığında, parçalar yekpare olarak hareket etmektedir. Parçalar arasında sürtünmeden kaynaklı bir etkileşim olmamaktadır.

Ürün net olarak ambalaj elemanları olmadan 7,9 kg' dır, Ambalaj elemanları ile brüt ağırlığı 9,0 kg gelmektedir. Düşme testinde ürünün, ambalaj elemanları ile birlikte düşmesi sağlanmıştır. Düşme yüzey bölgesinin dışında etkin olmayan ambalaj elemanları ihmal edilmiştir. İhmal edilen parçaların toplam ağırlığı 4,2 kg olarak yekpare yapılan çerçeve-alt kapak parçası içerisine eklenmiştir. Bu durumda ürün VTC cam, çerçeve-alt kapak ve strafor olmak üzere modellenmiştir. Geçmişte yapılan düşme testlerinde en çok hasar gören parçaların da bu parçalar olduğu deneyimlerle sabittir.

Başlık 1.3.4 *Düşme test* konusunda belirtildiği gibi VTC ocak, ürün ağırlığı itibari ile 76 cm yükseklikten sert zemine bırakılmaktadır. VTC üründe, ürüne ismine veren vitroseramik cam kırılmaya en müsait parçadır, bu durumdan dolayı korunması en öncelikli parçadır. Ayrıca bu analizde, VTC ocak düşme testinde yapılan farklı atılma biçimlerinden en tehlikeli olanı, yani 1. sıradaki “ *Ambalaj kartonu birleşim kenarının alt köşe noktası* ” seçilmiştir. En çok sorun yaşanması sebebiyle bu test firma içerisinde ilk aşama olarak tanımlanmakta ve problem yaşanması durumunda test yarıda bırakılmaktadır.

İnceleme konusu olan ürün piyasada benzerlerinden farklı olarak pazar taleplerinden dolayı 65cm VTC ocak olarak tanımlanmıştır. Ambalaj grubu, mevcut 60 cm ocaklarda kullanılan ambalaj elemanlarına benzer, fakat 65 cm ocak geometrisine uygun olarak modellenmiştir. Pazar talepleri doğrultusunda VTC cam üzerinde köşe radyusları değiştirilememektedir. Bunun yerine strafor üzerinde çarpma yüzeyinin et kalınlığı artırılmış ve köşe çarpmasında cam köşelerine gelen kuvveti ürün kenarlarına aktaracak şekilde alternatif farklı tasarımlar yapılmıştır. Bu farklı tasarımlarda, cam üzerinde oluşan gerilmeler karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada dört farklı strafor tasarımı yapılmış ve düşme test bilgisayar ortamında simüle edilmiştir. Bu çalışma için hazırlanan farklı tasarımlar; Tas_1, Tas_Altr_2, Tas_Altr_3, Tas_Altr_4 olarak isimlendirilmiştir. Bu modellerin düşme test analizlerinde ürün camı köşelerine ve diğer parçaların üzerine gelen gerilmeler ve gerinimler incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1 Düşme test simülasyonu için tasarlanan VTC ocak modelleri

Tasarımlar arasındaki farklar, ilerleyen konularda daha net biçimde anlatılmaktadır.

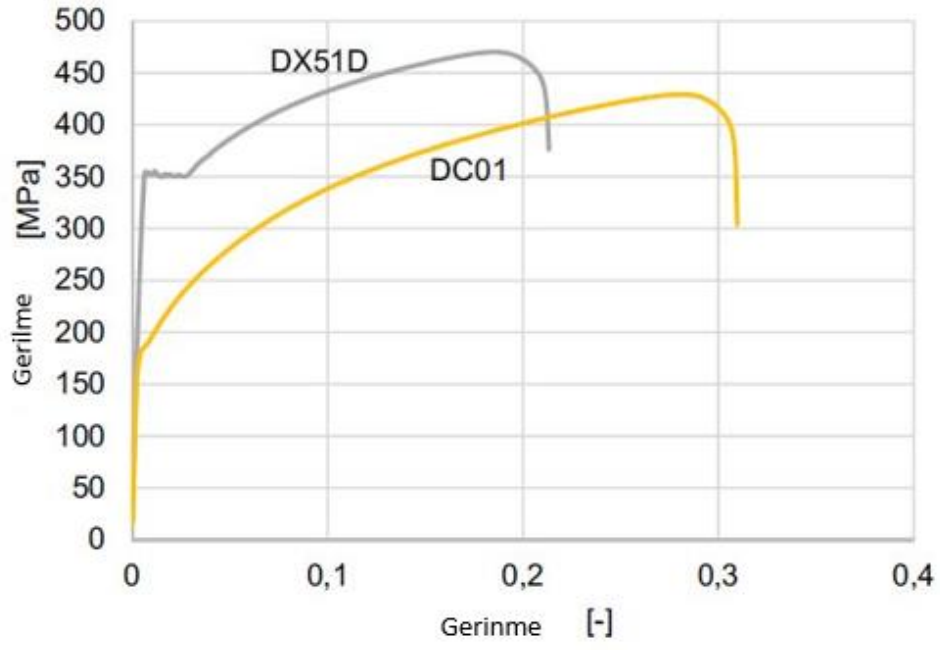
Test ortamı için belirtilen koşullar simülasyon ortamına aktarılmıştır. Yer çekimi ivmesi -Y yönündedir. Çarpma hızı *kinematik denklemlerden* belirtilen yüksekliğe göre hesaplanmış ve programa girilmiştir. Analizler 0 sn - 0,006 sn arasında yapılmıştır. Sonlu eleman ağ örgüsü (mesh) her bir parça için ayrı ayrı yapılmış ve darbe alan bölgelerde sıklaştırılmıştır.

4.2 Malzeme Özellikleri

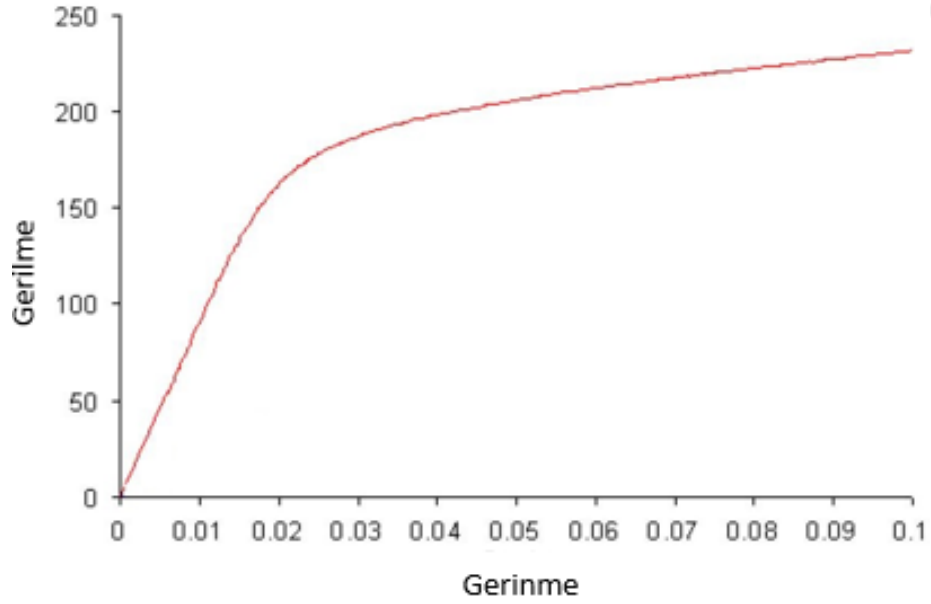
VTC ocakta kullanılan vitroseramik cam, yüksek sıcaklıklara karşı dayanması için seramik minerali içermektedir. Üründe kullanılan çerçeve-alt kapak parçası; ocakta ısıtmayı sağlayan Hi-Light ısıtıcılara ve elektrik iletimini sağlayan elektriksel elemanlara yataklık etmektedir. Parça yüksek sıcaklığa ve darbelere karşı dayanması için *DX51D* malzemesi seçilmiştir. Paketleme elemanı olarak darbe emicilik özelliği yüksek olan *EPS 22* seçilmiştir. Yukarıda bahsedilen parçaların malzeme özellikleri Tablo 4.1' de verilmektedir.

Tablo 4.1 Malzeme mekanik özellikleri

Malzeme Özellikleri	Yoğunluk " ρ " (kg/m ³)	Elastisite Modülü "E" (GPa)	Poison Oranı " ν "
Vitroseramik cam	2600	95	0,25
DX51D	7830	210	0,2
EPS 22	22	0,0055	0,125



Şekil 4.2 Çerçeve-Alt kapak parçasının gerilme – gerinme grafiği, (Vasile,2017)

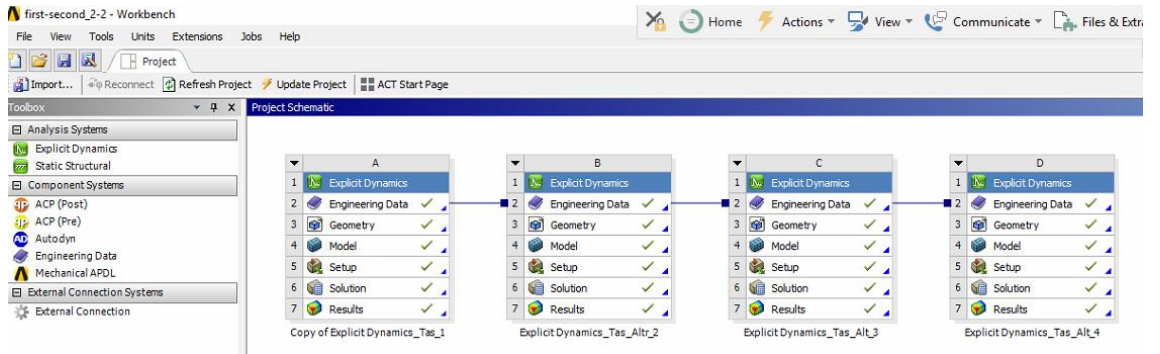


Şekil 4.3 EPS gerilme – gerinme grafiği (Ahmed Fouad Elragi, 2006)

4.3 Düşme Test Analizi için Oluşturulmuş Modeller ve Analiz Sonuçları

Bu çalışmada hazırlanan ürün dışında kullanılan parçaların tasarımları değiştirilerek 4 adet model hazırlanmıştır. Model ilk etapta Tas_1 straforu ile hazırlanmış ve ürün camı üzerine gelen gerilmeler incelenmiştir. Model Tas_1 bu çalışma için yapılmış ilk model olma özelliğini taşımaktadır. Ürün müşteri talepleri göz önüne alındığında 65 cm ocak olduğundan dolayı genel piyasa ve üretici firması için ilk olma özelliğini taşımaktadır. Daha sonrasında straforun çarpma bölgesindeki et kalınlığı artırılarak Tas_Altr_2; strafor köşe tasarımı değiştirilerek Tas_Altr_3 ve straforun hem köşe bölgesi hem de et kalınlığı artırılarak Tas_Altr_4 oluşturulmuştur. Analizlerde ürünün en zayıf bölgesi olan vitrosesamik cam köşelerine gelen gerilmeler belirlenmiş ve karşılaştırılmalar yapılmıştır.

Şekil 4.2' de ANSYS üzerinde her bir model için ayrı ayrı alınan analizler proje şemasında gösterilmektedir.



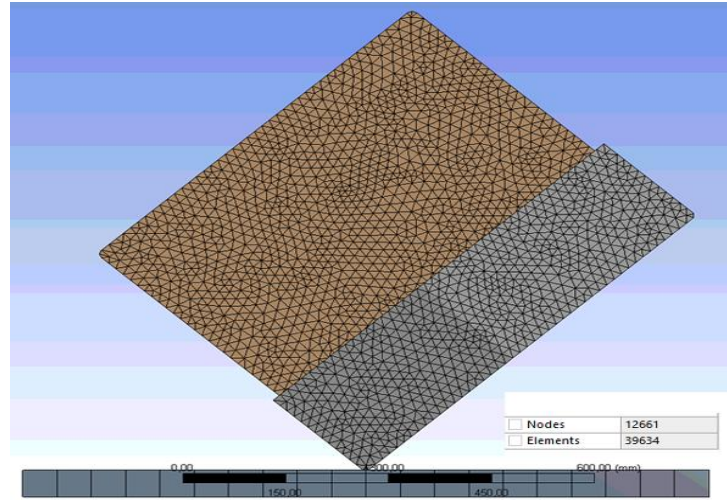
Şekil 4.4 Proje şeması

4.3.1 Model Tas_1 ve Analiz Sonuçları

Model Tas_1 bu çalışma için yapılmış ilk model olma özelliğini taşımaktadır. Bu durumdan dolayı ürün ölçülerine en yakın ölçü olan 60 cm VTC ocaklar referans alınmıştır. 60cm VTC ocakta kullanılan strafor ve ilgili diğer parçaların geometrileri değiştirilerek 65cm VTC ocak için ilk ambalaj grubu tasarımı oluşturulmuştur.

Analiz yapılacak 65cm VTC ocak modeli içerisinde yer alan parçalar; Vitroseramik cam, Çerçeve-alt kapak ve strafordur.

Model üzerinde her bir parça ayrı ayrı elemanlara ayrılmış, strafor ve cam köşe bölgelerinde ağ örgüsü sıklaştırılmıştır. Modelin elemanlara ayrılmış hali Şekil 4.3' te gösterilmektedir. Modeldeki toplam düğüm sayısı 12661, toplam eleman sayısı 39634'tür.

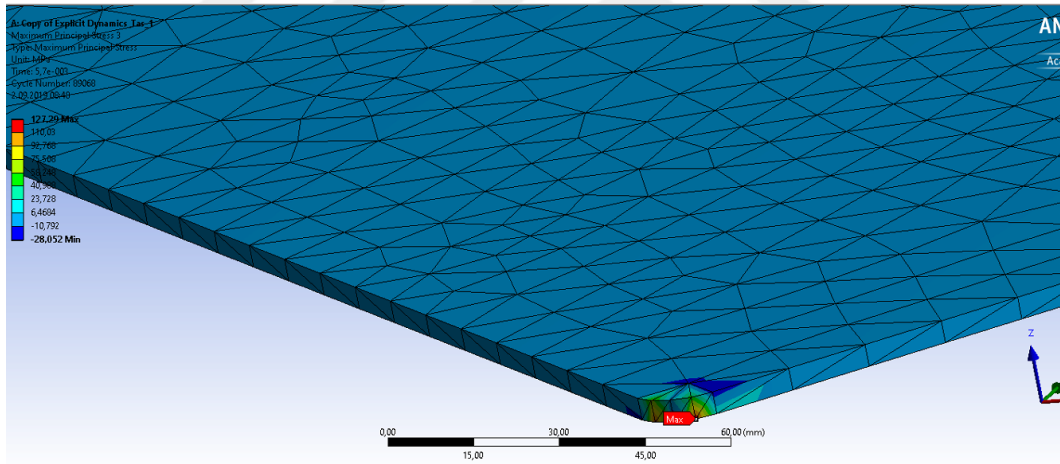


Şekil 4.5 Model Tas_1 Mesh modeli

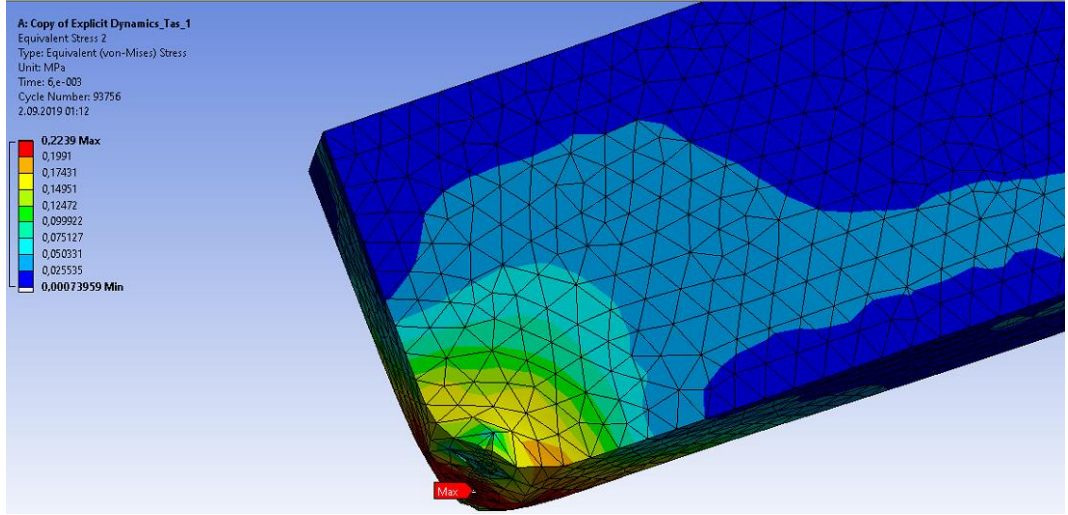
Model Tas_1 için düşme süresi 0,006 verilmiştir. Strafor ve çerçeve-alt kapak parçaları sünek malzemeler oldukları için maksimum eşdeğer gerilmeler ve

maksimum eşdeğer elastik gerilmeler incelenmiştir. Eğer parça üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme akma mukavemetini geçiyorsa ilgili bölgedeki maksimum eşdeğer plastik gerilmeler de incelenmiştir. Cam parçası gevrek malzeme olduğu için parça üzerinde maksimum asal gerilmeler göze alınmıştır.

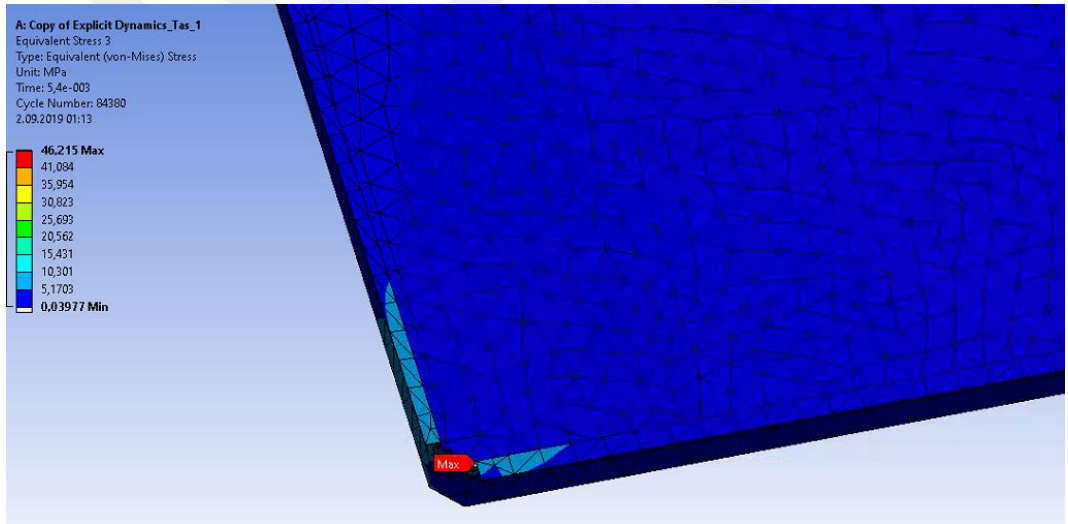
Strafor üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme 223,9 kPa, arka çerçeve-alt kapak üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme 46,215 MPa'dır. Vitroseramik cam üzerinde oluşan maksimum asal gerilme 127,29 MPa'dır. Strafor üzerinde oluşan eşdeğer elastik gerilme 0,30795, eşdeğer plastik gerilme 1,6732'dir. Çerçeve-alt kapak için oluşan eşdeğer elastik gerilme 0,00211, eşdeğer plastik gerilme 0,00 olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre çerçeve-alt kapak üzerinde plastik şekil değiştirme olmadığı görülmüştür.



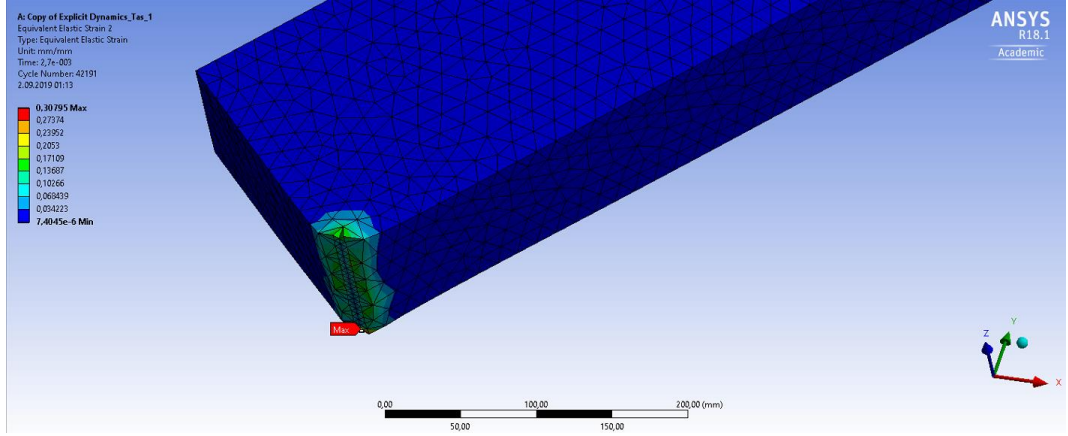
Şekil 4.6 Tas_1 cam üzerinde maksimum asal gerilmeler



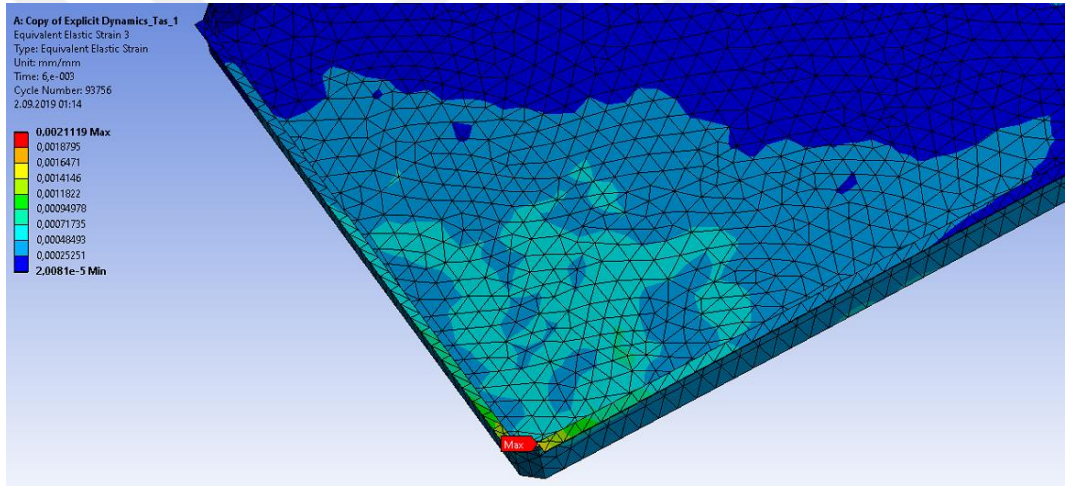
Şekil 4.7 Tas_1 strafor üzerinde eşdeğer gerilme



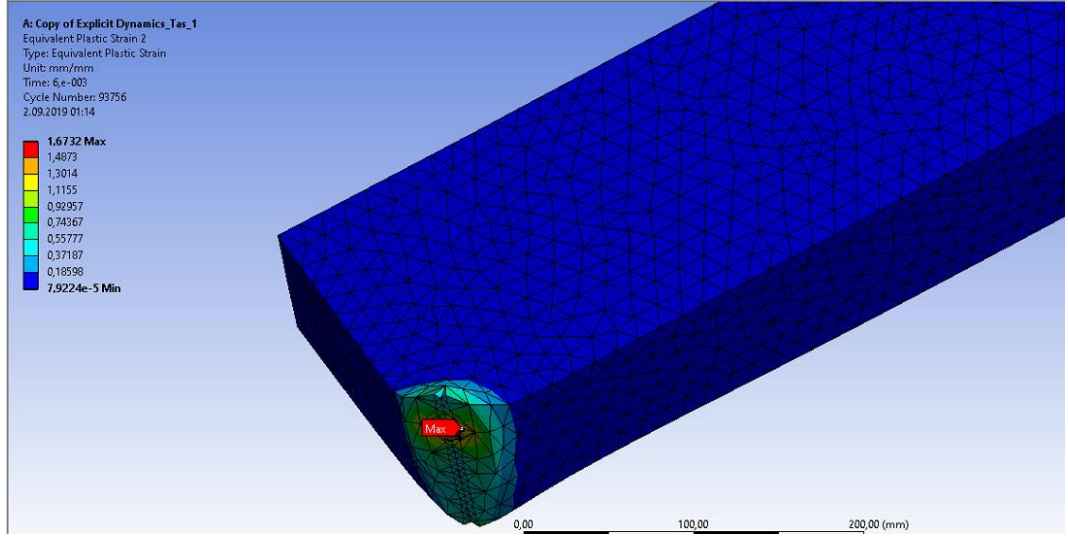
Şekil 4.8 Tas_1 çerçeve-alt kapak eşdeğer gerilme



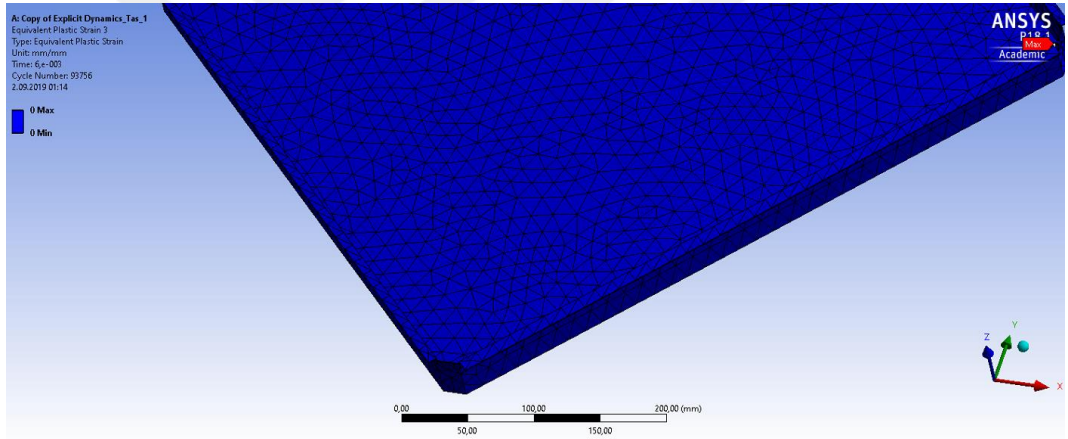
Şekil 4.9 Tas_1 strafor eşdeğer elastik gerinme



Şekil 4.10 Tas_1 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer elastik gerinme



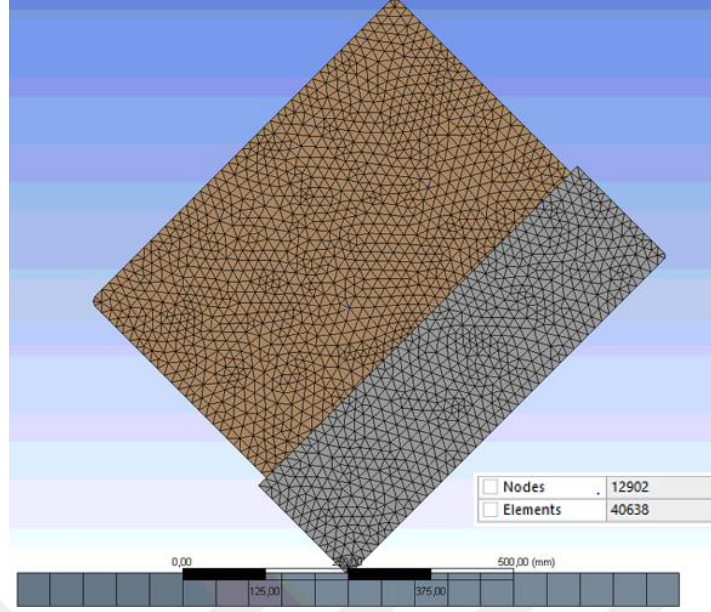
Şekil 4.11 Tas_1 strafor üzerindeki eşdeğer plastik gerinme



Şekil 4.12 Tas_1 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme

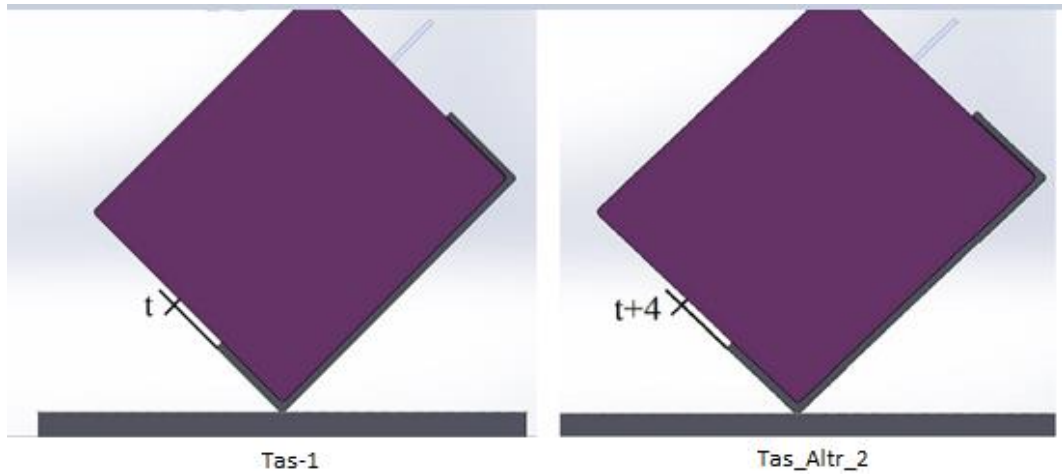
4.3.2 Model Tas_Altr_2 ve Analiz Sonuçları

Model Tas_Altr_2 üzerinde her bir parça ayrı ayrı en küçük elemanlara bölünmüştür. Modelin elemanlara ayrılmış hali Şekil 4.11' te gösterilmektedir. İncelenecek parça strafor köşe ve cam köşesi olduğu için, bu bölgelerdeki ağ örgüsü sıklaştırılmıştır. Modeldeki toplam düğüm sayısı 12902, toplam eleman sayısı 40638'dir.



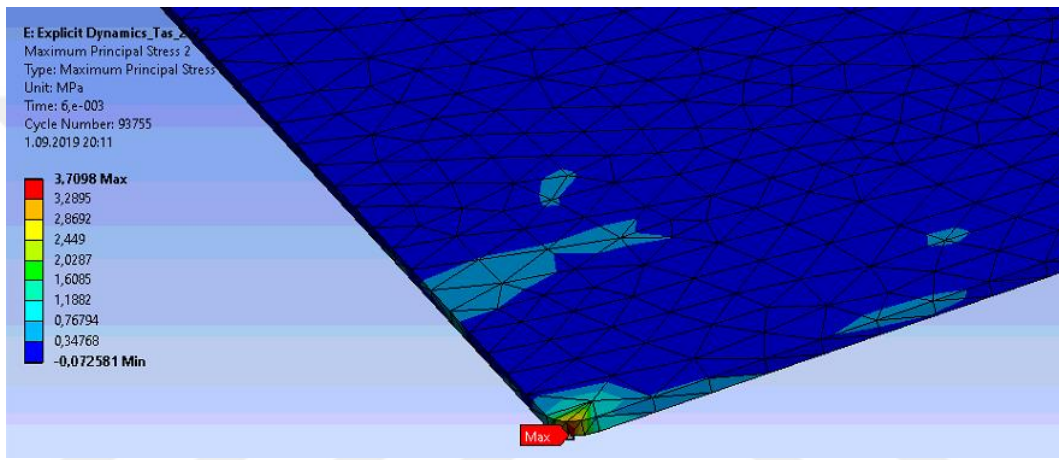
Şekil 4.13 Model Tas_Altr_2 için Mesh modeli

Bu modelde Tas_1 modeli ile VTC ocağın ambalajsız kısımları aynıdır. Bu modeldeki farklılık ürün straforunun et kalınlığı 4,00 mm arttırılmıştır. Bu modelde, Tas_1 ile aynı malzeme özellikleri atanmış ve simülasyon programında aynı sınır şartlarında analiz edilmiştir. Şekil 4.12' den et kalınlığı artırılan kısımlar görülmektedir.

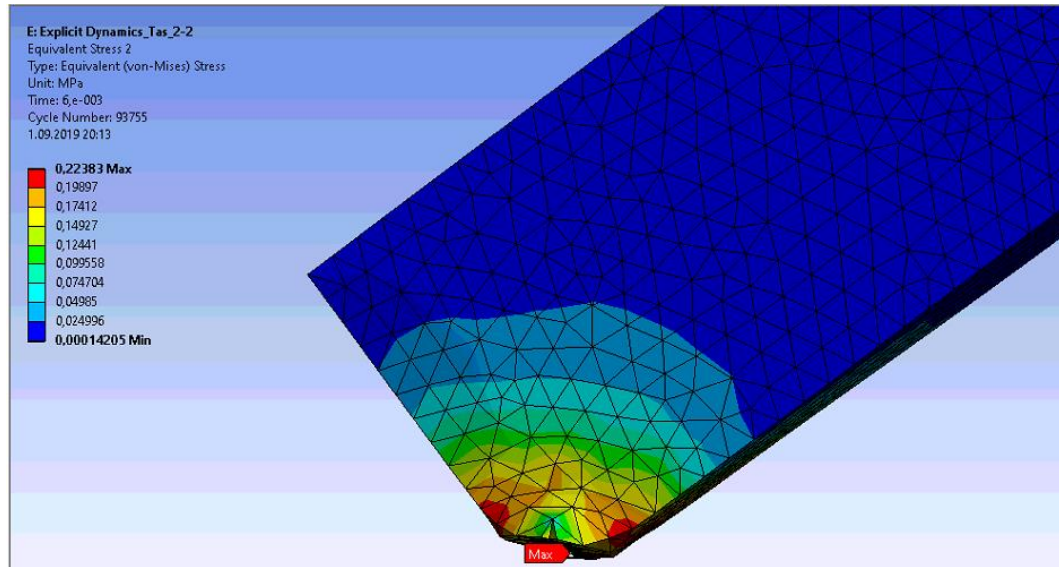


Şekil 4.14 Tas_1 ile Tas_Altr_2 arasındaki fark

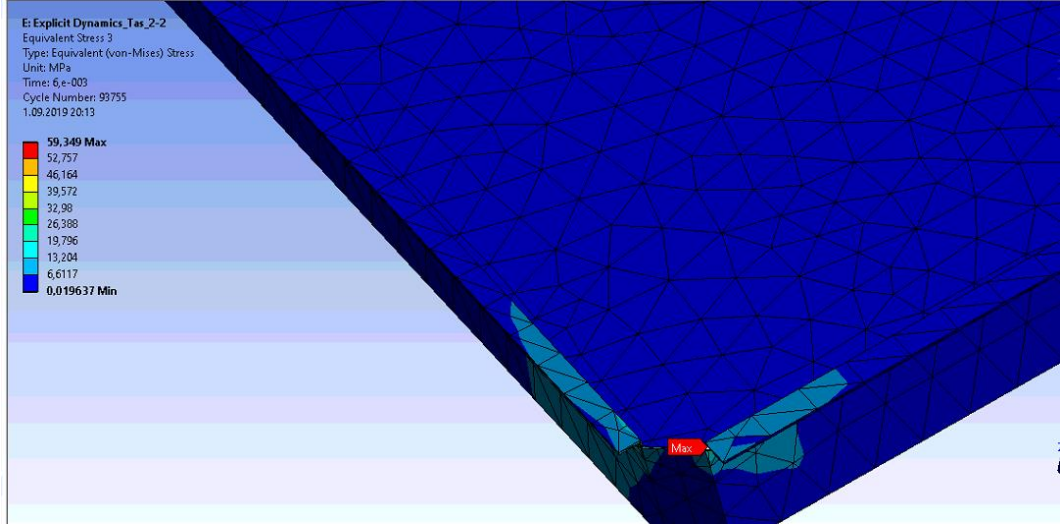
Tas_Altr_2 modeli üzerinde, Strafor üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme 223,83 kPa'dır, arka çerçeve-alt kapak üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme 59,346 MPa'dır. Cam üzerinde oluşan maksimum asal gerilmesi 3,708 MPa'dır. Strafor üzerinde oluşan eşdeğer elastik gerinme 0,30371'dir, eşdeğer plastik gerinme 1,1533'dir. Çerçeve-alt kapak için oluşan eşdeğer elastik gerinme 0,000289, eşdeğer plastik gerinme 0,00 olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre çerçeve-alt kapak üzerinde plastik şekil değiştirme olmadığı görülmüştür.



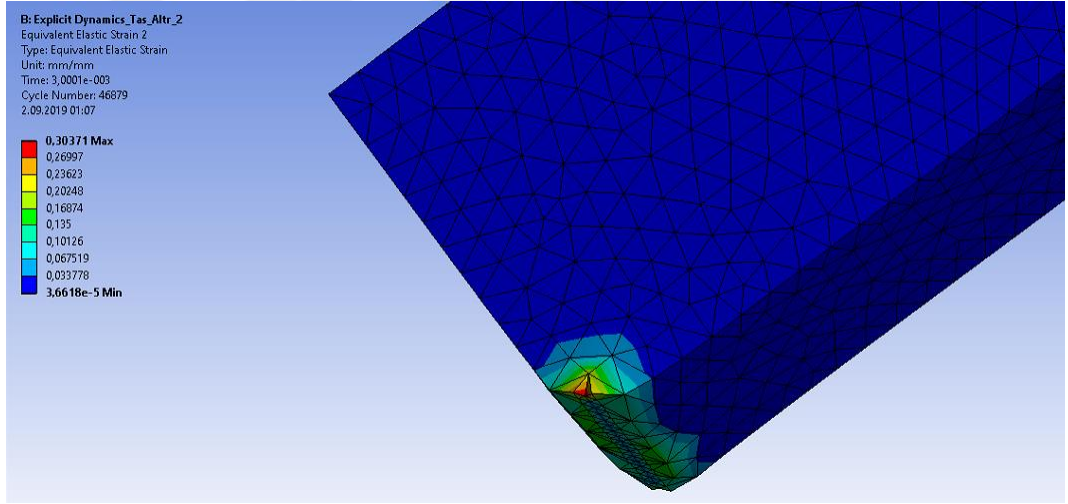
Şekil 4.15 Tas_Altr_2 cam üzerinde maksimum asal gerilmeler



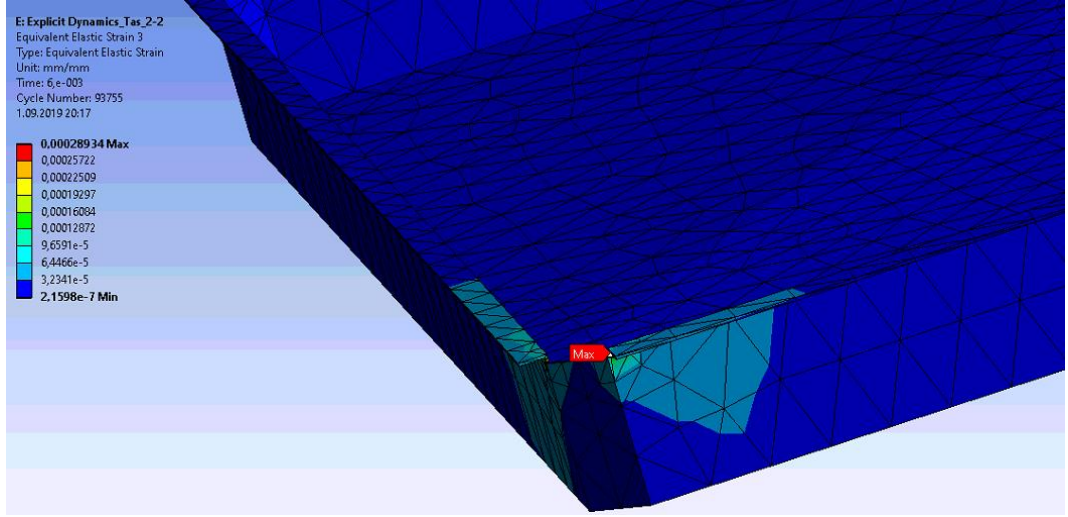
Şekil 4.16 Tas_Altr_2 strafor üzerinde eşdeğer gerilme



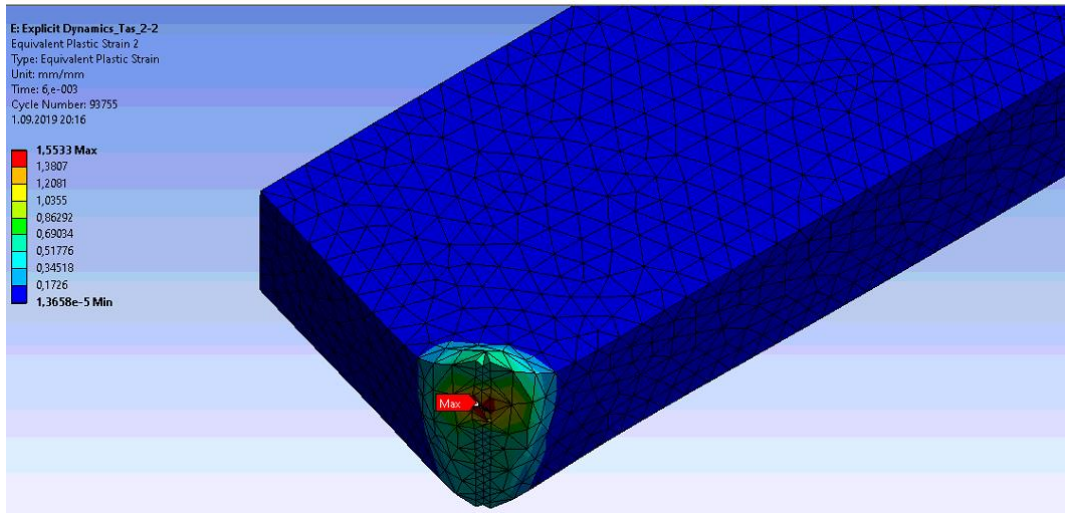
Şekil 4.17 Tas_Altr_2 çerçeve-alt kapak eşdeğer gerilme



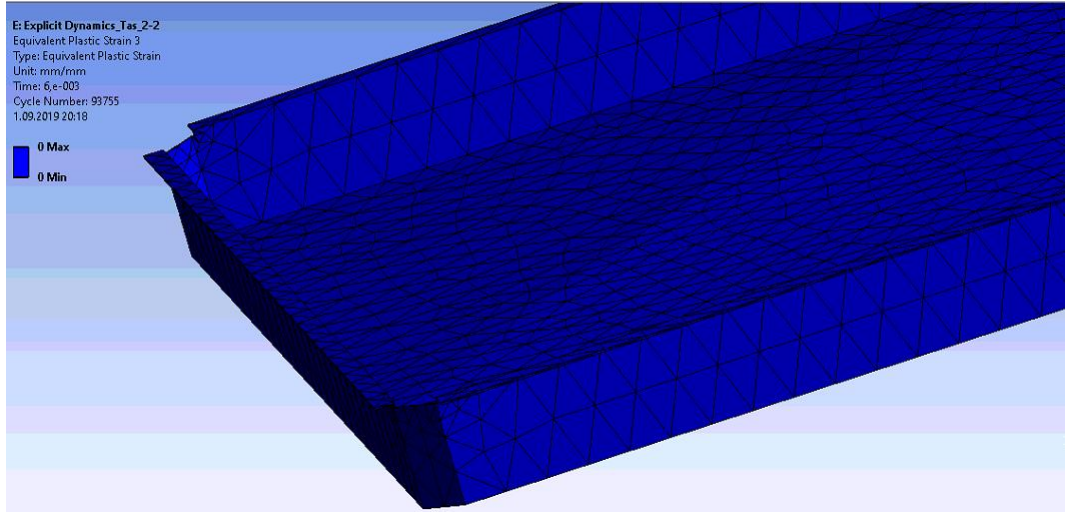
Şekil 4.18 Tas_Altr_2 strafor üzerindeki eşdeğer elastik gerinme



Şekil 4.19 Tas_Altr_2 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer elastik gerinme



Şekil 4.20 Tas_Altr_2 strafor üzerindeki eşdeğer plastik gerinme

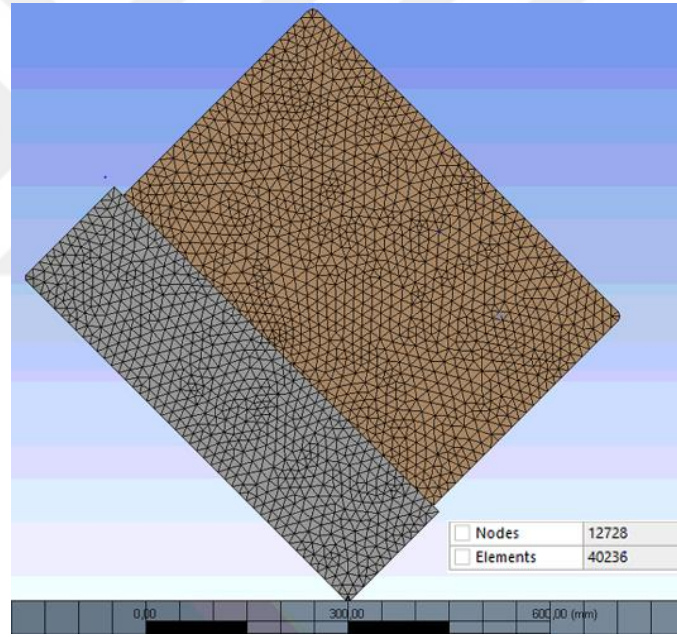


Şekil 4.21 Tas_Altr_2 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme

4.3.3 Model Tas_Altr_3 ve Analiz Sonuçları

Bu modelde, Model Tas_1' dan farklı olarak köşe kısım geometrisi değiştirilmiştir. Bu sayede vitroseramik cam köşelerine gelecek darbe azaltılmış, ilgili darbenin camın uzun kenarına aktarılması hedeflenmiştir.

Model Tas_Altr_3 üzerinde her bir parça ayrı ayrı en küçük elemanlara bölünmüştür ve şekil 4.20' de gösterilmektedir. İncelenecek parçanın strafor köşe ve cam köşe bölgelerinde ağ örgüsü sıklaştırılmıştır. Modeldeki toplam düğüm sayısı 12728, toplam eleman sayısı 40236'dır.



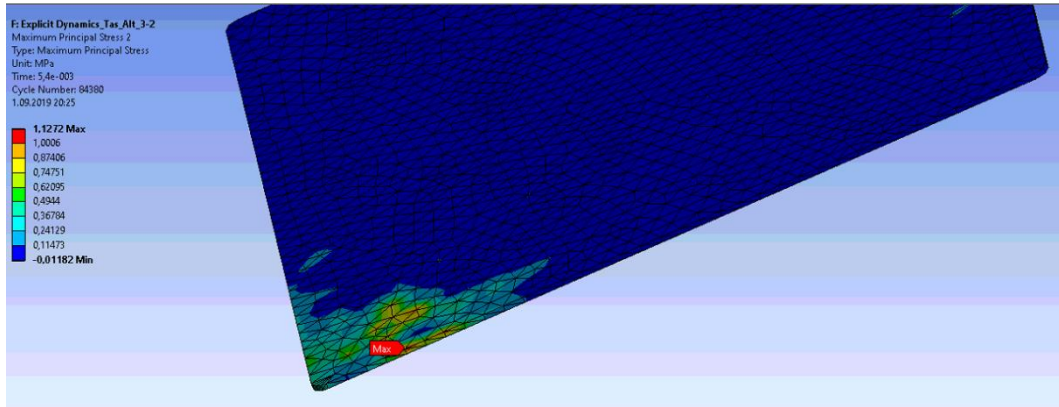
Şekil 4.22 Model Tas_Altr_3 için Mesh modeli

Tas_Altr_3 modelinin Tas_1 modelinden farklı köşe geometrisi değiştirilmiştir. Bu sayede camın en zayıf olduğu bilinen köşe kısmına gelen darbelerin azalması öngörülmüştür. Şekil 4.21' de görüleceği üzere zeminden gelen dik kuvvet cam köşesine değil, camın uzun kenarına iletilmektedir.

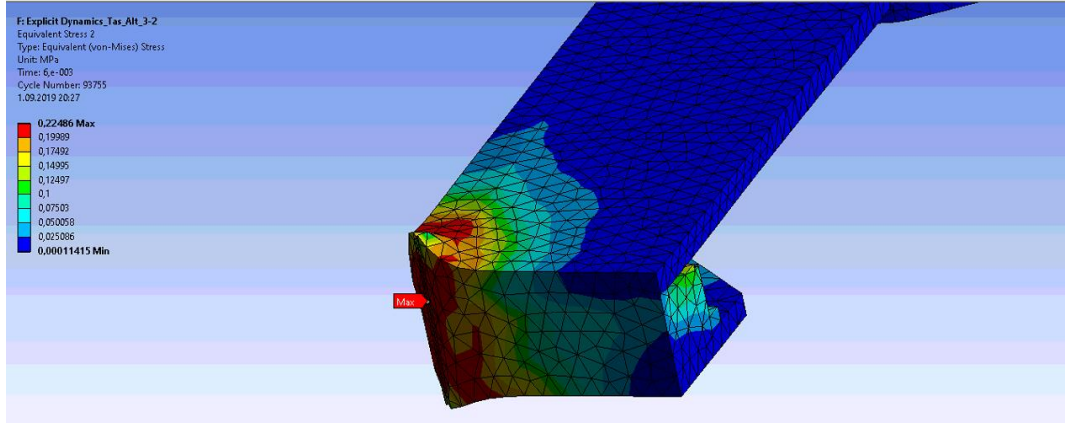


Şekil 4.23 Model Tas_1 ile Tas_Altr_3 arasındaki fark

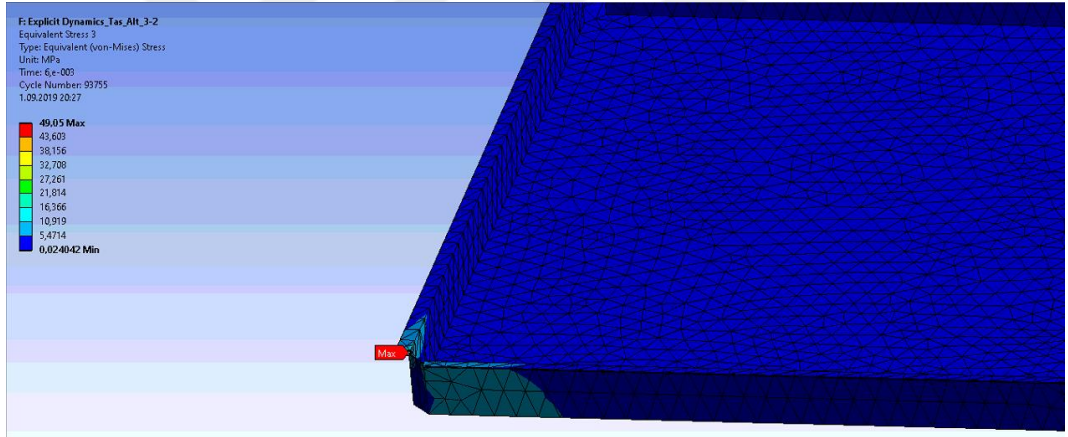
Strafor üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme 224,86 kPa, arka çerçeve-alt kapak üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme 61,064 MPa'dır. Cam üzerinde oluşan maksimum asal gerilmesi 1,1272 MPa' dir. Strafor üzerinde oluşan eşdeğer elastik gerinme 0,25052, eşdeğer plastik gerinme 0,8039'dur. Çerçeve-alt kapak için oluşan eşdeğer elastik gerinme 0,0002499, eşdeğer plastik gerinme 0,00 olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre çerçeve-alt kapak üzerinde plastik şekil değiştirme olmadığı görülmüştür.



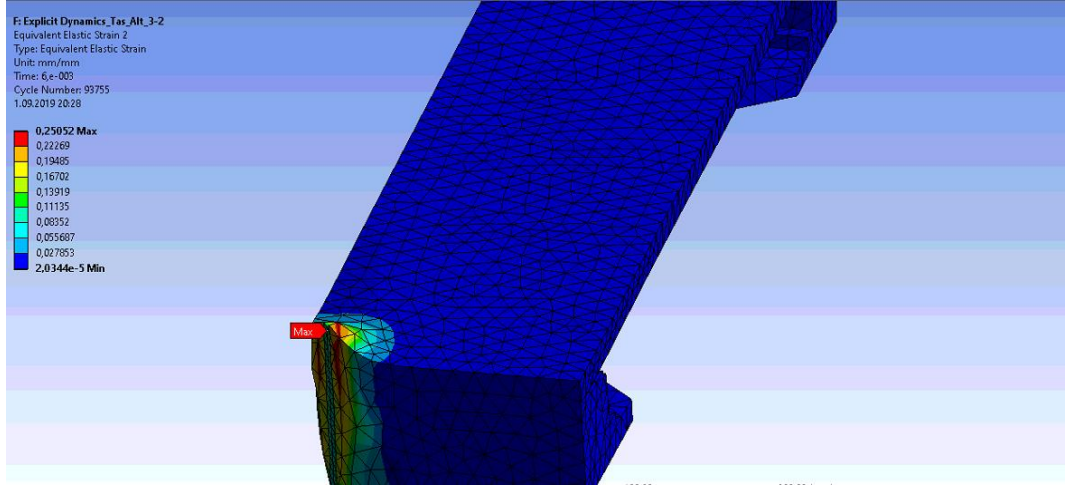
Şekil 4.24 Tas_Altr_3 cam üzerinde maksimum asal gerilmeler



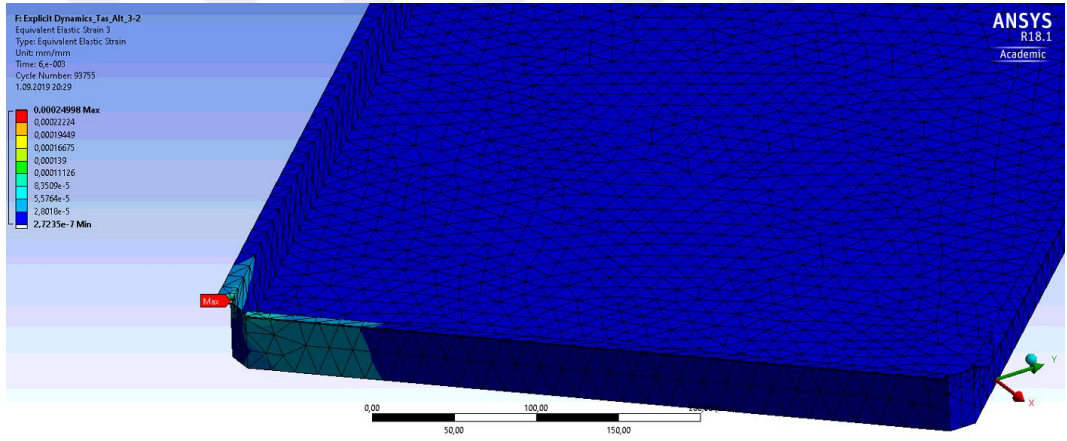
Şekil 4.25 Tas_Altr_3 strafor üzerindeki eşdeğer gerilme



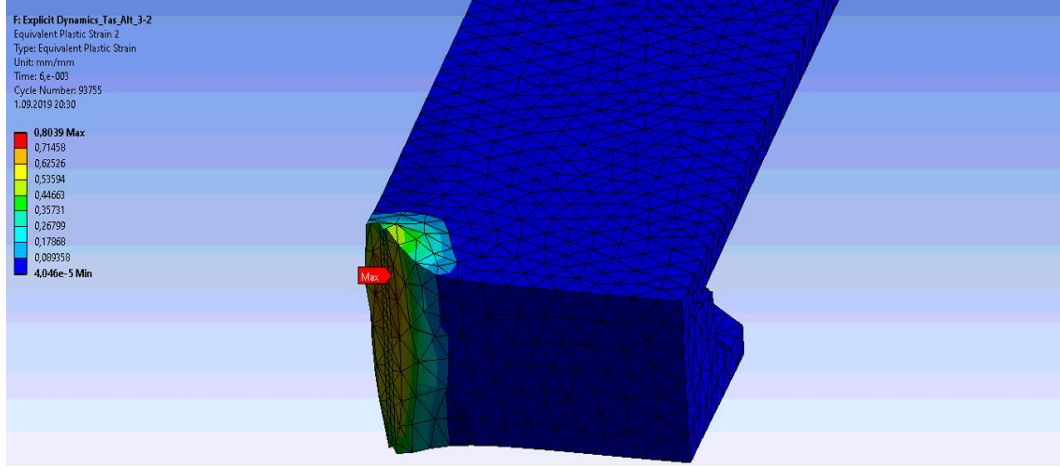
Şekil 4.26 Tas_Altr_3 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer gerilme



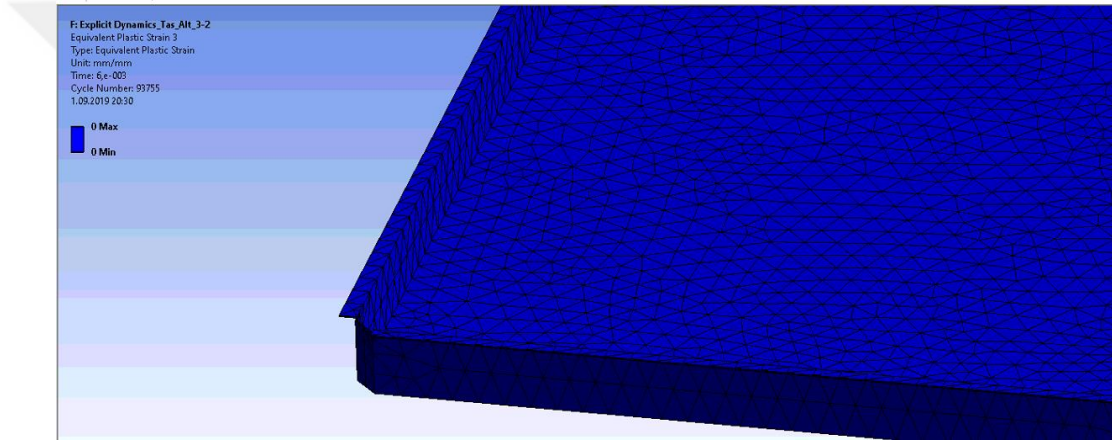
Şekil 4.27 Tas_Altr_3 strafor üzerindeki eşdeğer elastik gerinme



Şekil 4.28 Tas_Altr_3 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer elastik gerinme



Şekil 4.29 Tas_Altr_3 strafor üzerindeki eşdeğer plastik gerinme

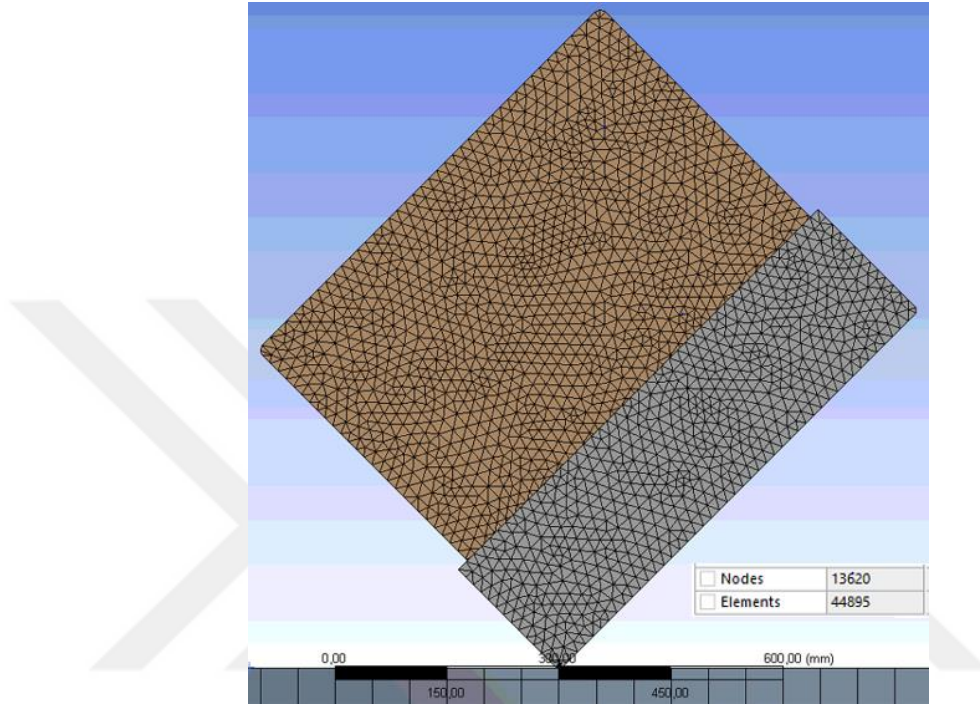


Şekil 4.30 Tas_Altr_3 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme

4.3.4 Model Tas_Altr_4 ve Analiz Sonuçları

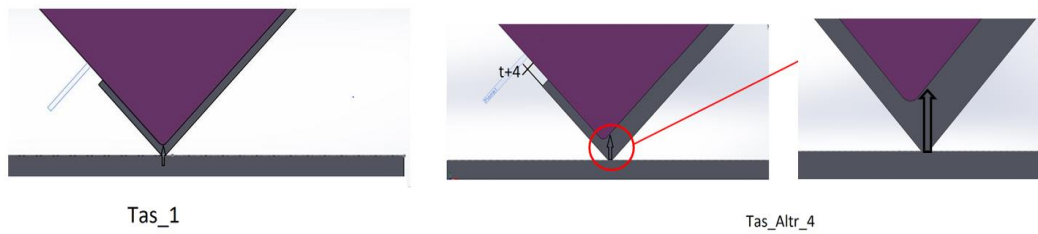
Tas_Altr_4 modeli Tas_Altr_2 ile Tas_Altr_3' ün kombinasyonu olarak tasarlanmıştır. Bu modelde strafor kenar et kalınlıkları 4 mm artırılmış ve köşe kısım geometrisi değiştirilmiştir. Bu sayede hem strafor darbe emicilik özelliği artırılması, hem de vitroseramik cam köşesine gelecek darbenin azaltılması hedeflenmiştir.

Model Tas_Altr_4 üzerinde her bir parça ayrı ayrı en küçük elemanlara bölünmüştür ve şekil 4.20’ de gösterilmektedir. İncelenecek parça strafor köşe ve cam köşesinde ağ örgüsü sıklaştırılmıştır. Modeldeki toplam düğüm sayısı 13620, toplam eleman sayısı 44895’dir.



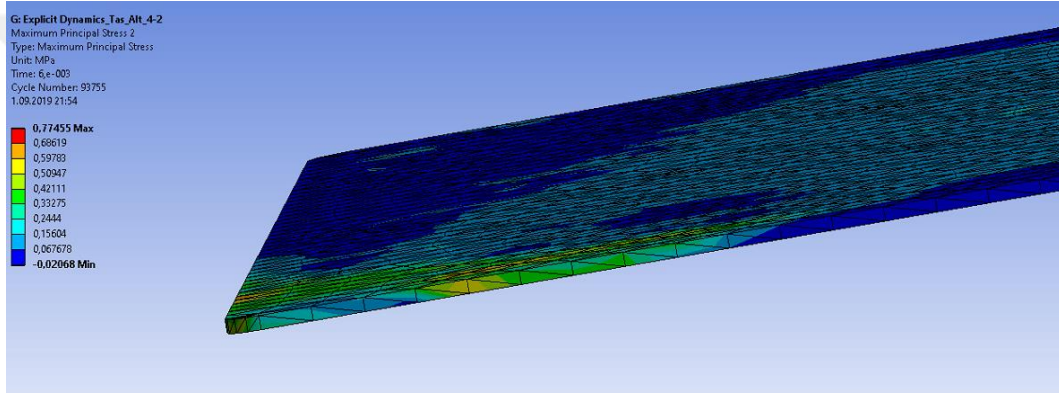
Şekil 4.31 Model Tas_Altr_4 için Mesh modeli

Tas_Altr_4 modeli ile Tas_1 arasındaki farklar Şekil 4.30’ da gösterilmektedir.

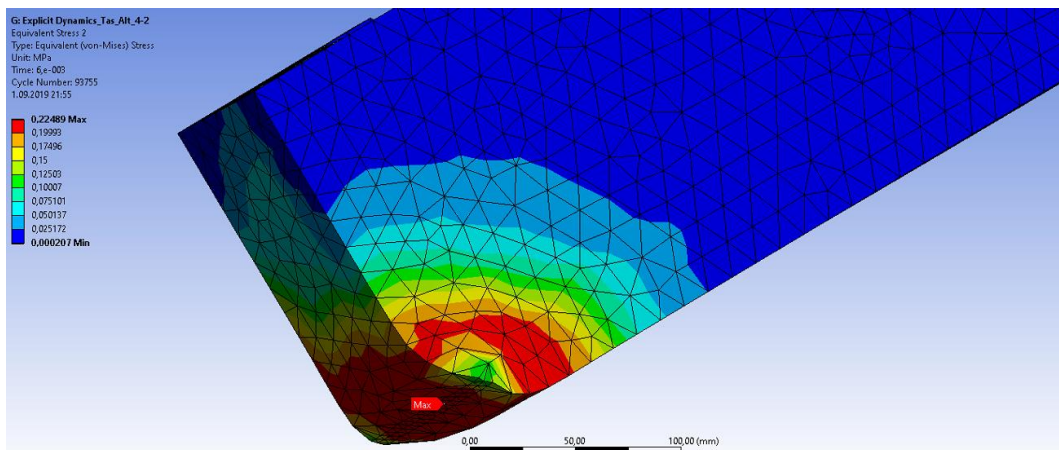


Şekil 4.32 Model Tas_1 ile Tas_Altr_4 arasındaki fark

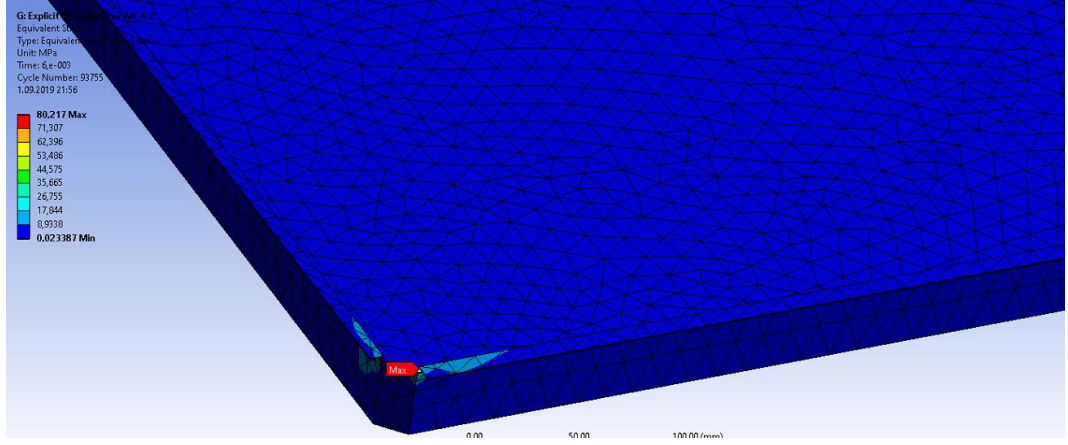
Strafor üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme 224,89 KPa arka çerçeve-alt kapak üzerinde oluşan maksimum eşdeğer gerilme 80,214 MPa' dır. Cam üzerinde oluşan maksimum asal gerilmesi 0,774 MPa' dır. Strafor üzerinde oluşan eşdeğer elastik gerinme 0,249, eşdeğer plastik gerinme 0,79189'dur. Çerçeve-alt kapak için oluşan eşdeğer elastik gerinme 0,000390, eşdeğer plastik gerinme 0,00 olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre çerçeve-alt kapak üzerinde plastik şekil değiştirme olmadığı görülmüştür.



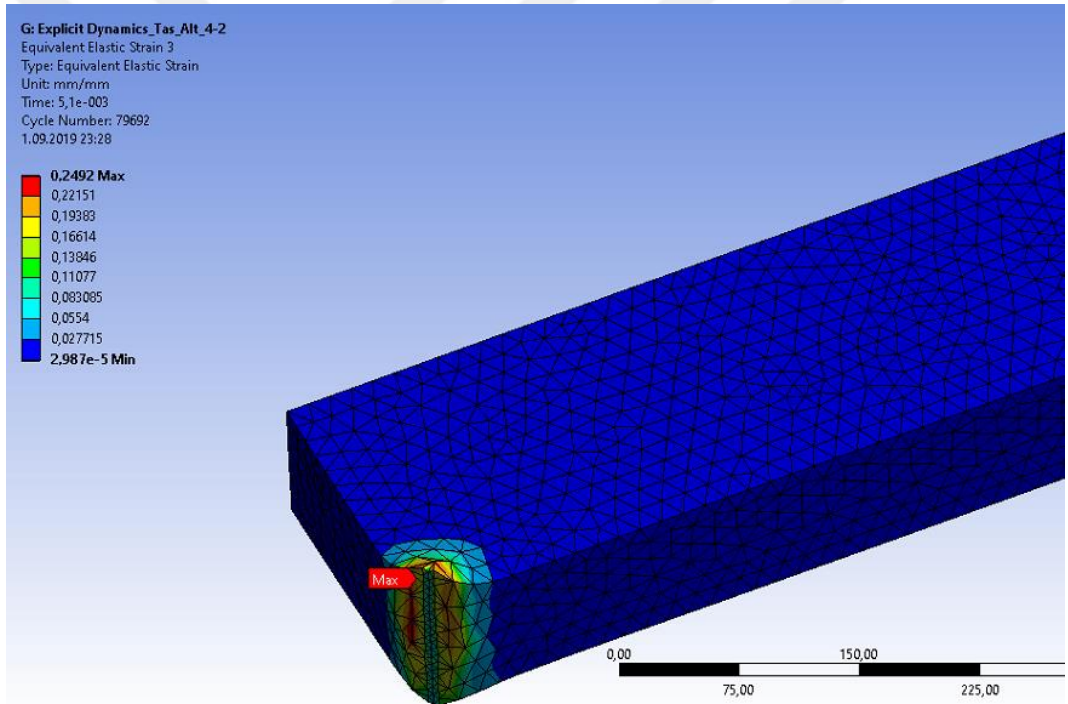
Şekil 4.33 Tas_Altr_4 cam üzerinde maksimum asal gerilmeler



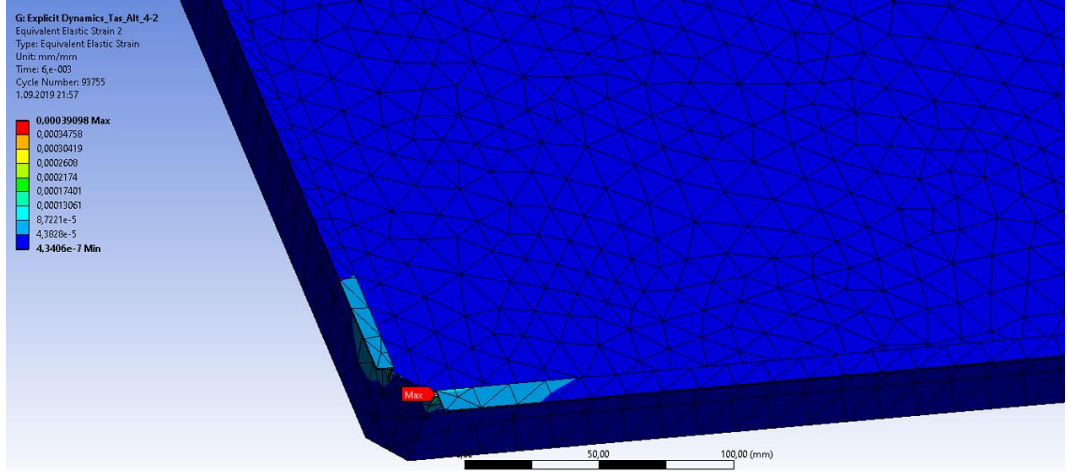
Şekil 4.34 Tas_Altr_4 strafor üzerindeki eşdeğer gerilme



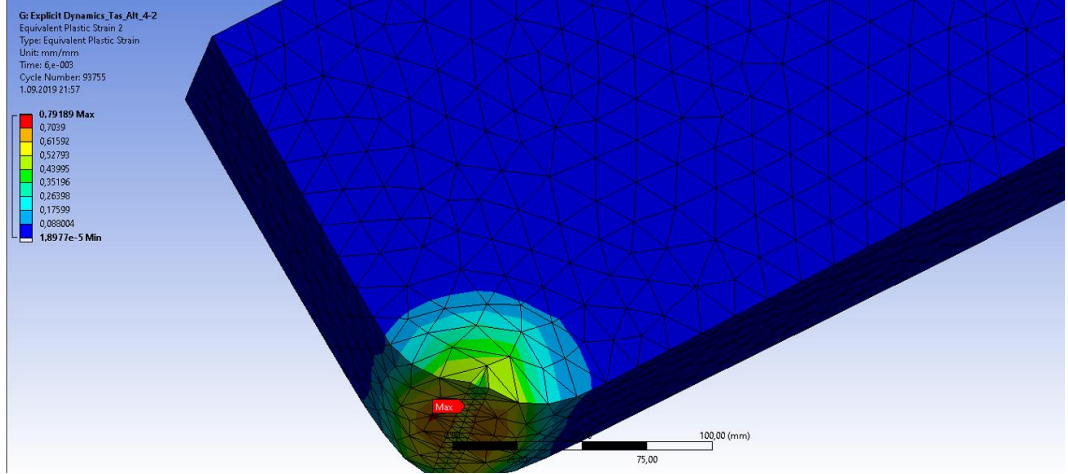
Şekil 4.35 Tas_Altr_4 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer gerilme



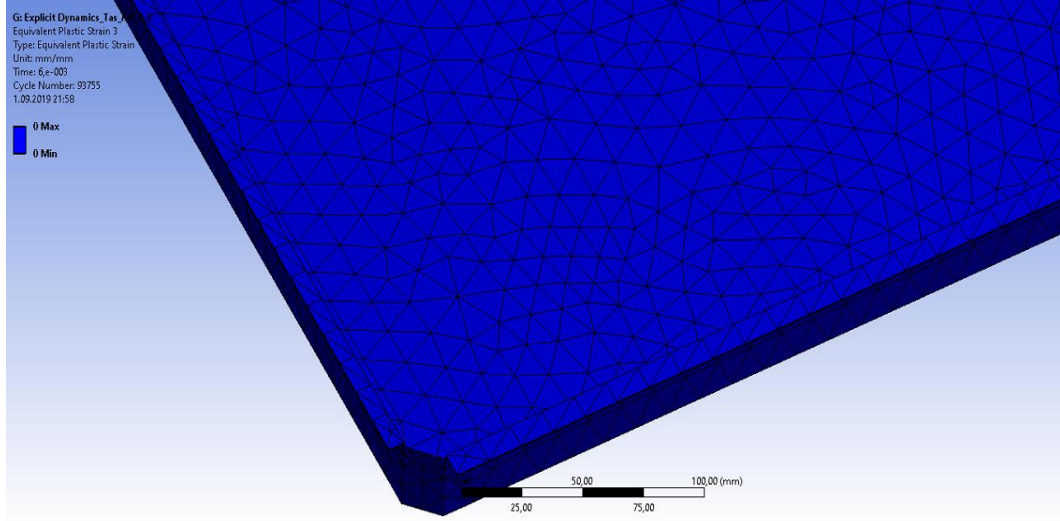
Şekil 4.36 Tas_Altr_4 strafor üzerindeki eşdeğer gerilme



Şekil 4.37 Tas_Altr_4 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme



Şekil 4.38 Tas_Altr_4 strafor üzerindeki eşdeğerplastik gerinme



Şekil 4.39 Tas_Altr_4 çerçeve-alt kapak üzerindeki eşdeğer plastik gerinme

4.3.5 Analizlerin Fiziksel Düşme Testlerle Desteklenmesi

Yapılan düşme testlerinde, ambalaj elemanlarının ve sac malzemelerin elastik ve plastik şekil değiştirmelerini ölçmek zor olacağından, VTC ürün camının kırılıp kırılmadığının belirlenmesi test için kıstas olarak kabul edilmiştir. Bu yüzden testlerde, yukarıda belirtilen ürünlerin fiziksel test sonrası camlarının kırılıp kırılmadığı gözlemlenmiş, analiz sonuçlarında da gerilmelerin sınır değerleri aşıp aşmadığı belirlenmiştir.

Düşme testleri her bir ürün için üçer defa tekrarlanmıştır. Yapılan testlerde Tas_1 modelinin düşme testlerde kaldığı ve cam parçasının kırıldığı gözlemlenmiştir. Tas_Altr_2 modelinin yapılan üç tekrarın bir tanesinden kaldığı, camın kırıldığı gözlemlenmiştir. Tas_Altr_3 modeli için yapılan ilk testte camın kırılmadığı, fakat düşme testin diğer atışlarında camın kırıldığı tespit edilmiştir. Tas_Altr_4 modelinde düşme testin tüm atışları için sorun çıkmamış, cam kırılmamış ve bu tasarımın düşme testinden başarıyla geçtiği gözlemlenmiştir. Sonlu elemanlar analizinde yukarıda her bir model için belirtilen cam üzerine gelen maksimum asal gerilme değerleri, Tas_1'den Tas_Altr_4'e doğru ilerledikçe azalmaktadır. En düşük maksimum eşdeğer

gerilmenin Tas_Altr_4' de olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden gerçek testler sonlu elemanlar analizi ile tutarlılık göstermiştir. Ayrıca straforun çarpma yüzeylerindeki maksimum eşdeğer gerilme, tüm modellerin tüm analizlerinde birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. Bu çok küçük farklılıklar, straforun tasarım değişikliğinden doğan ağırlıktan kaynaklıdır.



Şekil 4.40 VTC ocağın köşe atışı sonrası gözlemlenen hasar (Kişisel arşiv, 2019)

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Sonuçların Karşılaştırılması ve Yorumlanması

Bu projede VTC ocakların düşme testi simülasyon ortamında analiz edilerek parçalar arasındaki etkileşimleri incelenmiş olup, fiziksel testlerle de analiz sonuçları doğrulanmıştır. Ayrıca strafor parçasının, düşmeden gelen darbelere dayanımı ve ürünün korunmasına katkısı belirlenmiştir.

Fiziksel testler sonucunda Tas_Altr_4 modelinin emniyetli olduğu kanıtlanmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizlerinde de bu modelde cam üzerindeki maksimum asal gerilmenin mukavemet sınırlarını aşmadığı görülmüş ve bu şekilde testler desteklenmiştir.

Yapılan fiziksel testlerde, çerçeve-alt kapak parçasında gözle görülen kalıcı deformasyonun olmadığı gözlemlenmiştir. Sonlu elemanlar analizinde parçanın üzerindeki maksimum eşdeğer gerilmelerin akma mukavemetinin altında kaldığı, bu yüzden plastik şekil değiştirmenin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca simülasyon ortamında çerçeve-alt kapak parçasında oluşan maksimum eşdeğer gerilmelerin Tas_1' den, Tas_Altr_4' e gidildikçe arttığı görülmektedir. Bunun sebebi ürün dış ölçülerinin değiştirilememesinden dolayı, strafor parçasındaki değişikliklerinin strafor iç kısmına doğru verilmesidir. Bu yüzden strafor ile çerçeve-alt kapak arasındaki temas eden alanlar arttırılmaktadır.

Tas_1 modelindeki çarpma yüzeyinin et kalınlığı 4 mm arttırılarak Tas_Altr_2 oluşturulmuştur. Bu sayede straforun darbe emicilik özelliği yükseltilmiştir. Tas_Altr_3' de ise köşe çarpışmasında, strafor köşesinden gelen dik kuvvet camın köşesine değil uzun kenarına aktarılmaktadır. Bu durum, camın en zayıf bölgesi olan köşelerine gelen kuvveti azaltmıştır.

Tas_Altr_4 ise, Tas_Altr_2 ve Tas_Altr_3 kombine edilip oluşturulmuştur. Bu sayede hem et kalınlığı arttırılan straforun darbe emicilik özelliği arttırılmış, hem de cam köşelerine gelen kuvvet azaltılmıştır. Bu da en emniyetli durumu oluşturmaktadır. Fiziksel testlerle de doğruluğu ispatlanan bu durum, sonlu elemanlar analiz programı ile cam üzerindeki maksimum asal gerilmelerin azaltılması ve mukavemet sınırlarının aşılmaması ile kanıtlanmaktadır.

Günümüzde birçok Ar-Ge faaliyetlerinde imalat öncesi yapılan tasarım ve tasarım doğrulaması çalışmaları sayesinde, ürünlerin optimum seviyede tasarlanması ve ilk prototiplerin testlerden ilk seferde başarı ile geçmesi sağlanmaktadır. Bu durum, işletmelere gerek maliyet gerek işçilik gerekse zaman açısından çok önemli kazanımlar sağlamaktadır. Yapılan bu çalışmada bu duruma iyi bir örnek olarak gösterilebilir.

KAYNAKLAR

- Balasubramanyam, S. (1999). *Head impact characterization of generic a –pillar of an automobile*. Graduate Thesis, West Virginia University, Morgantown, West Virginia, USA
- Biğer, N. (2003). *Mutfak pişiricilerin CFD modellenmesi*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Bilgibrd. (b.t.). *İndüksiyonlu ocaklar nasıl çalışır*. 22 Mayıs 2019, <http://bilgibrd.blogspot.com/2013/03/induksiyonlu-ocak-nedir-nasıl-calır.html?cv=1>
- Elektrikport, (b.t.). *Sonlu elemanlar metodu nedir nerelerde kullanılır*. 10 Temmuz 2019, <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/sonlu-elemanlar-metodu-nedir-nerelerde-kullanılır/11661#ad-image-0>
- Elragi, A.F. (2006). *Selected Engineering Properties and Applications of EPS Geofoam*. Egypt: British University.
- Eraslan, (2015). *Bir ankastre bulaşık makinesinin düşme testinin modellenmesi ve analizi*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gözen, C. (2017). *Araba lastiklerinin üç boyutlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi*, Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- İyison, Ö. (2018). *Cep telefonlarında tasarım alternatiflerinin darbeli yüklemeler açısından incelenmesi ve geliştirilmesi*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- 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), 4, (8), 2282-2287.
- Korkut, S. (2018). *Implicit ile expicit arasındaki farklar*. 16 Temmuz 2018, <http://www.serdarkorkut.com/2017/05/11/implicit-ve-explicit-arasındaki-farklar/>
- Korkut, S. (2018). *Sonlu elemanlar analizinde yakınsama*. 10 Temmuz 2018, <https://www.serdarkorkut.com/2017/11/07/sonlu-elemanlar-analizinde-yakınsama>

Özbek, (2017). Dairesel agregali model boşluklu betonların dinamik davranışlarının sonlu eleman yöntemi ile analiz. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22, (3), 277-290.

Padade A.H. (2012). Behavior of expanded polystyrene (EPS) geofom under triaxial loading conditions. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17, 2543-2553.

Theinductionsit (b.t). *How Induction work*. 14 Mayıs 2019, <http://theinductionsit.com/how-induction-works.shtml>

Vasile, (2017). Experimental and numerical investigations of the steel sheets formability with hydroforming MATEC Web of Conferences 94, COSME'16, 94, 1-9.