



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



**Eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın basınç altında gerilme yığılma faktörünün sonlu elemanlar analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi**

*Finite element analysis and artificial neural networks modeling the stress concentration factor under pressure of a thin-walled spherical element with elliptical hole*

*Yazar (Author): İhsan TOKTAŞ<sup>1</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-4371-1836*

**To cite to this article:** Toktaş İ., “Eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın basınç altında gerilme yığılma faktörünün sonlu elemanlar analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 27(2): 819-827, (2024).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Toktaş İ., “Eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın basınç altında gerilme yığılma faktörünün sonlu elemanlar analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 27(2): 819-827, (2024).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1456567

# Eliptik Delikli İnce Cidarlı Küresel Bir Elemanın Basınç Altında Gerilme Yığılma Faktörünün Sonlu Elemanlar Analizi ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi

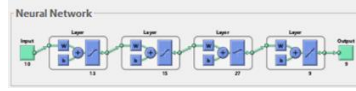
## Finite Element Analysis and Artificial Neural Networks Modeling the Stress Concentration Factor Under Pressure of a Thin-Walled Spherical Element with Elliptical Hole

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Eliptik Delikli Eleman / Elliptical Hollow Element
- ❖ İnce Cidarlı Küresel Eleman / Thin Walled Spherical Element
- ❖ Gerilme Yığılma Faktörü / Stress Concentration Factor
- ❖ Parametrik Sonlu Elemanlar Tasarımı / Parametric Finite Element Design
- ❖ Sonlu Elemanlar Analizi / Finite Element Analysis
- ❖ Yapay Sinir Ağları / Artificial Neural Networks

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Farklı YSA modelleri denemiş ve eğitim performans ve test performans değerlerine göre en başarılı olan model; 10 girdi, 4 gizli katmanlı ve 9 çıktılı Levenberg-Marquardt, Feed Forward Back Propagation modeli problem için en iyi sonuçları ürettiği belirlenmiştir. Modelden elde edilen tahmin sonuçları ana veri dosyasındaki veriler ile mukayese edilmiş ve istatistiksel olarak doğrulukları kontrol edilmiştir. / Different ANN models have been tried and the most successful model according to training performance and test performance values is; It was determined that the Levenberg-Marquardt, Feed Forward Back Propagation model with 10 inputs, 4 hidden layers and 9 outputs produced the best results for the problem. The prediction results obtained from the model were compared with the data in the main data file and their statistical accuracy was checked.



Şekil. Geliştirilen YSA modeli / Figure. Developed ANN model

### Amaç (Aim)

Eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın basınç altındaki davranışları Sonlu Elemanlar Analiz (SEA) yöntemi ile parametrik olarak analiz edilmiş ve Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenmiştir. Farklı boyut ve basınç değerleri için eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın gerilme, gerinim, deformasyon, gerilme yığılma faktörleri ve farklı teoremlere göre emniyet katsayıları belirlenmiştir. / The behavior of a thin-walled spherical element with elliptical holes under pressure was analyzed parametrically with the Finite Element Analysis (FEA) method and modeled with Artificial Neural Network (ANN). The stress, strain, deformation, stress concentration factors and safety coefficients of a thin-walled spherical element with elliptical holes were determined for different sizes and pressure values according to different theorems.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Leckie ve arkadaşları tarafından elde edilmiş olan deneysel çalışmalar yapılmış, Kt eğrilerini üretmiştir. Bu eğriler teknolojik yazılımlar kullanılarak sayısal hale dönüştürülmüş. Daha sonra değişken parametrelere göre elde edilmiş olan boyutsal ölçüler ve kuvvet değerleri ANSYS yazılımında Design Modeler modülünde parametrik modeli tasarlanmış, mesh optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Esas gerilme yığılmalarının delik etrafında olacağı ve sonucu etkileyebileceği öngörülmüştür. / Experimental studies were carried out and produced Kt curves obtained by Leckie et al. These curves were converted into digital form using technological software. Then, the dimensional measurements and force values obtained according to the variable parameters were designed in the Design Modeler module of the ANSYS software and the mesh optimization was carried out. It is predicted that the main stress concentrations will be around the hole and may affect the result.

### Özgünlük (Originality)

Leckie'nin ortaya koymuş olduğu Regresyon modelinin doğru sonuçlar üretmediği ispat edilmiştir. YSA yöntemi kullanılarak ucuz ve hızlı bir biçimde eliptik delikli ince cidarlı bir küresel elemandaki gerilme yığılma faktörünün kolayca hesap edilebileceği, bunun tasarımcılar ve imalat mühendisleri için tasarım işlemlerini kolaylaştıracağı önerilmiştir. / It has been proven that the Regression model put forward by Leckie does not produce correct results. It has been suggested that the stress concentration factor in a thin-walled spherical element with elliptical holes can be easily calculated cheaply and quickly using the ANN method, which will facilitate the design processes for designers and manufacturing engineers.

### Bulgular (Findings)

Eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanda oluşan Gerilme Yığılma Faktörü değerleri Leckie'nin deneysel çalışmaları göz önüne alınarak; SEA, Regresyon ve YSA modelleri oluşturulmuş ve her 3 metoda göre elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bu sınıflandırılan modeller SEA yöntemi kullanılarak parametrik olarak ANSYS yazılımı içinde modellenmiş ve parametrik olarak çözümler elde edilmiştir. / Stress Concentration Factor values in a thin-walled spherical element with elliptical holes are taken into consideration by Leckie's experimental studies; FEA, Regression and ANN models were created and the results obtained according to all 3 methods were discussed. These classified models were parametrically modeled in ANSYS software using the SEA method and parametric solutions were obtained. /

### Sonuç (Conclusion)

Leckie'nin verileri kullanılarak Yapay Sinir Ağı modeli geliştirilmiştir. Leckie ve arkadaşlarının önerdiği Regresyon modeli de belirlenmiş olan değerler için denklemde yerine konularak elde edilmiştir. Orijinal deneysel veriler ile SEA, YSA ve Regresyon modelleri birbirleri ile karşılaştırılmış ve en iyi sonucu üreten modelin YSA modelinin olduğu ispat edilmiştir. / An Artificial Neural Network model was developed using Leckie's data. The Regression model suggested by Leckie et al. was obtained by substituting it into the equation for the determined values. The original experimental data and FEA, ANN and Regression models were compared with each other and it was proven that the ANN model produced the best results.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Eliptik Delikli İnce Cidarlı Küresel Bir Elemanın Basınç Altında Gerilme Yığılma Faktörünün Sonlu Elemanlar Analizi Ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**İhsan TOKTAŞ\***

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mimarlık ve Güzel Sanatlar Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü Ankara, Türkiye  
(Geliş/Received : 21.03.2024 ; Kabul/Accepted : 23.03.2024 ; Erken Görünüm/Early View : 26.03.2024)

**ÖZ**

Bu çalışmada; eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın basınç altındaki davranışları Sonlu Elemanlar Analiz (SEA) yöntemi ile parametrik olarak analiz edilmiş ve Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenmiştir. Modelleme esnasında, küresel elemanın yarıçapı 500 mm. olarak alınmış ve değişken parametrelere göre küresel elemana cidar kalınlığı verilmiştir. Küresel elemanın içinden boydan boya geçen yarıçapları  $a$  ve  $b$  olan eliptik bir delik tanımlanmıştır. Küresel elemanın iç yüzeyine sabit basınç gerilmesi uygulanmış ve elemanda oluşan gerilmeler ve gerilme yığılma faktörleri optimize edilmiştir. Parametrik modelden elde edilen sonuçlar bir YSA modelinde öğretilerek farklı boyut ve basınç değerleri için eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın gerilme, gerinim, deformasyon, gerilme yığılma faktörleri ve farklı teoremlere göre emniyet katsayıları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eliptik delikli eleman, ince cidarlı küresel eleman, gerilme yığılma faktörü, sonlu elemanlar analizi (SEA), yapay sinir ağları (YSA).

## Finite Element Analysis and Artificial Neural Networks Modeling of the Stress Concentration Factor Under Pressure of a Thin-Walled Spherical Element with Elliptical Hole

**ABSTRACT**

In this study; The behavior of a thin-walled spherical element with elliptical holes under pressure was analyzed parametrically with the Finite Element Analysis (FEA) method and modeled with Artificial Neural Network (ANN). During modeling, the radius of the spherical element was 500 mm. and the wall thickness of the spherical element is has been given according to variable parameters. An elliptical hole with radii  $a$  and  $b$  passing through the spherical element is defined. Constant compressive stress was applied to the inner surface of the spherical element and the stresses and stress concentration factors in the element were optimized. The results obtained from the parametric model were taught in an ANN model and the stress, strain, deformation, stress concentration factors and safety coefficients of a thin-walled spherical element with elliptical holes were determined for different sizes and pressure values according to different theorems.

**Keywords:** Elliptical hollow Element, thin walled spherical element, stress concentration factor, finite element analysis (FEA), artificial neural networks (ANN).

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Basınçlı kapların, ısıtma sistemleri, basınçlı hava ve su sistemleri, termik ve nükleer santraller, kimya endüstrisi depolama süreçleri, havacılık, uzay ve okyanus derinliklerinde kullanılan sistemler ile endüstriyel akışkan tedarik sistemlerinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Yüksek basınç ve sıcaklık altında çalışan basınçlı kapların tasarımı, standartlara uygun/güvenli tasarım ve imalat süreçleri, kalite kontrolü, kullanımı sırasında tehlikeleri azaltma ve kapların işletme ömrünü arttırması açısından son derece kritiktir [1].

Yüksek basınç altında çalışan basınçlı kaplar genellikle çeşitli şekil, boyut ve konumlarda farklı açıklıklarla donatılmıştır. Bu açıklıklar, sağlam ve sızdırmaz bir şekilde birleştirilmiştir ve tüm basınçlı kapların bu tür açıklıklara sahip olması gerekmektedir. Kaplarda menholleri, tutacakları ve nozulları barındıracak açıklıklar bulunur. Açıklıkların boyutu, küçük drenaj nozullarından gövde flanşlı tam kap boyutundaki açıklıklara kadar değişir. Çeşitli boru tesisatı veya ölçüm göstergesi ataşmanları nedeniyle açıklıklardan kaçınılamaz. Ekipmanın montajına, enstrümantasyon yerleştirilmesine ve içeriğin giriş ve çıkışını kolaylaştıran boru bağlantısına izin verirler. Ancak aynı zamanda basınçlı kabın arızalanmasına yol açan yüksek gerilme

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author)  
e-mail : ihsantoktas@aybu.edu.tr

yığılmasına da yol açarlar. Bu geometrik süreksizlikler, süreksizlik çevresindeki gerilim dağılımını, deformasyonlar, emniyet katsayılarını değiştirir, böylece temel gerilim denklemleri artık geçerli olmaz. Bu tür süreksizliklere “gerilim yükseltici”, oluştukları bölgelere ise gerilme yığılması alanları adı verilmektedir [1].

Basıncın sürekli uygulandığı ve basınç değerinin büyük değerlerde olması, sistemi aşırı zorlamakta ve büyük kaza ve/veya sistemin arıza vermesine, can kaybına, sağlık açısından tehlikelere ve mal hasarına sebep olmaktadır.

Araştırmalarda genellikle kalın cidarlı bir elemanın basınç altındaki davranışları analiz edilmiş, az sayıda araştırmacı ince cidarlı bir elemanın basınç altındaki davranışlarını çalışmıştır. Araştırmalar, ince cidarlı basınç altındaki bir elemandaki tek eksenli/iki eksenli gerilmelerdeki deliklerin/açıklıkların *Gerilme Yığılma Faktörü* değerini önemli miktarda değiştirdiğini göstermiştir [1]. Araştırmacıların çoğu; cidar kalınlığı, silindirik/cidar çapı, farklı delik/açıklık boyutu gibi tasarım parametrelerinin etkisini incelemek için parametrik yöntem ve sonuçların doğrudan elde edildiği deneysel yöntemi kullanmışlardır [1].

Basıncı kap tasarımı için farklı yaklaşımların kullanılması, çeşitli araştırmacıların basınç altında açılma anında gerilme yığılmalarının belirlenmesine önemli katkılarda bulunmuştur. İnce cidarlı Silindir üzerinde delikli/açıklıklı; deneysel, SEA, analitik ve parametrik önemli çalışmalar yapılmıştır [2-9]. İnce cidarlı silindir üzerindeki açıklıklar etrafındaki Gerilme Yığılma Faktörlerine ilişkin, SEA ve analitik çalışmalar yapılmıştır [8,10]. M. Javed Hydera ve M. Asifb araştırma çalışmasında, ANSYS kullanarak basınçlı kap silindirindeki açıklığın (deliğin) konumunu ve boyutunu optimize etmiştir [9].

İnce cidarlı düz plaka üzerinde delikli/açıklıklı; deneysel, SEA ve analitik çalışmalar yapılmıştır [10-11]. İnce cidarlı basınçlı kaplarla ilgili yapılan SEA çalışmalarının çoğu iki veya üç boyutlu kabuk elemanlarla yapılan modellere dayanmaktadır [12-16].

Küresel kabuklar, aktif kabuklar, balistik füze perdeleri, denizaltılar, gaz, havacılık araçları, lamine dönüştürücüler, sensörlerin depolanması, sıvı ve uyarlanabilir akıllı membranlar gibi birçok yapısal mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Chekhov ve arkadaşları iki dairesel deliğe sahip izotropik ince küresel kabuğun gerilim durumu problemini analitik olarak çözmüşlerdir. İç basıncın etkisi altında kabuktaki hem eşit hem de eşit olmayan yarıçaplı deliklerin yakın konumu durumları sayısal olarak incelemiştir. Yaklaşırken delikler arasındaki bölmedeki gerilimlerde dikkate değer bir artış tespit etmişlerdir [17]. Bunun yanında küresel bir kabuk içindeki çeşitli gerilme yığılmaları ile gerilme durumlarının analizi için teorik ve pratik çalışmalar yapılmıştır [18-31].

Gerilme yığılma faktörünün belirlenmesi ile ilgili olarak gerek temel gerilmeler gerekse basınç altındaki elemanların gerilme, gerinim ve deformasyon

değişimleri farklı araştırmacılar tarafından araştırılmıştır [32-38].

Gerilmeler ve Gerilme Yığılma Faktörlerini incelemek için basınçlı kaptaki delik/açıklık boyutu, konumu ve konumundaki değişimin etkisi incelenmelidir. Araştırmaların çoğu, analize göre tasarımı tercih ederek, basınçlı kaptaki arıza modunun tam olarak simüle edilmesine yardımcı olmuşlar ve daha yüksek güvenlik faktörü elde etmeye çalışmışlardır. Araştırmacılar deneysel/analitik sonuçları karşılaştırmak ve standart olmayan şekiller/geometrik için etkiyi Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) ile simüle etmişlerdir [1].

Bu çalışmada; boydan boya delinmiş eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın üzerinde oluşan gerilme yığılma faktörü incelenmiştir. Bu amaçla boyutsal parametreler belirlenmiş;  $b/a$  oranı 1, 1.25, 1.5 ve 2 değerleri için  $R=500$  mm (sabit) alınarak boyutsal değerler belirlenmiştir. Bu değerler ışığında ANSYS yazılımında, parametrik olarak bu boyutsal değerlerin parametrik CAD modelleri elde edilmiştir. Daha sonra, CAD ortamında oluşturulan parametrik boyutlu modellere, öncelikle mesh optimizasyonu gerçekleştirilmiş, ardından sınır şartları uygulanmış ve Sonlu Elemanlar Analiz (SEA) çözümleri elde edilmiştir.  $b/a$  oranı 1, 1.25, 1.5 ve 2 değerleri için önceden elde edilmiş olan deneysel sonuçlar ve SEA çözümleri mukayese edilmiş ve kuvvet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneysel parametrik sonuçlar kullanılarak bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli geliştirilmiş ve doğruluğu test edilmiştir. Deneysel veriler ile SEA ve YSA modelinin karşılaştırılmasında yüksek doğruluk değerine sahip sonuçlar elde edilmiştir. Bölüm 2’de kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

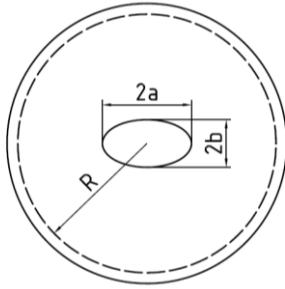
## 2. MATERYAL METOD (MATERIAL AND METHOD)

Gerilme yığılma faktörü; bir malzemedeki şekilsel sürekliliğin bozulması ile gerilmeye ani artış sebep olduğu katsayı değeridir. Bir parça üzerinde; delik, kanal, oyuk, çıkıntı vb. olduğunda bu şekilsel farklılığın olduğu yerde gerilme değerinde ani artışlar görülür. Bu sebeple, şekilsel sürekliliğin bozulduğu veya şeklin değişime uğradığı yerlerde maksimum gerilme görülür. Mühendislik olarak bu değer (Denklemler 1) biçiminde ifade edilir. Malzeme hangi tür gerilme/gerilmelere maruz kalmış ise toplam gerilme cinsinden  $\sigma_{normal}$  değeri hesap edilir.  $\sigma_{emniyet}$  değeri ise o malzemenin emniyetli dayanım değeridir.

$$K_t = \frac{\sigma_{emniyet}}{\sigma_{normal}} \quad (1)$$

Bu çalışmada; daha önceden Leckie ve arkadaşları tarafından elde edilmiş olan deneysel veriler kullanılmıştır [32,33]. Leckie çalışmasında problem ana şeklini Şekil 1’deki gibi tanımlanmıştır. Deneysel çalışmalar yapılmış, bu deneysel çalışmalar neticesinde sadece  $a/R.(R/h)^{1/2}$  değerine karşılık gelen  $K_t$  eğrilerini

üretmiştir. Bu eğriler teknolojik yazılımlar kullanılarak sayısal hale dönüştürülmüş daha sonra Çizelge 1’de gösterilen aralıklar için boyutsal ölçüler ve kuvvet değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 1.** İnce cidarlı küresel eleman üzerine boydan boyaya açılmış eliptik deliğin boyutsal parametreleri (Dimensional parameters of the elliptical hole drilled through the thin-walled spherical element) (Leckie et al. 1967).

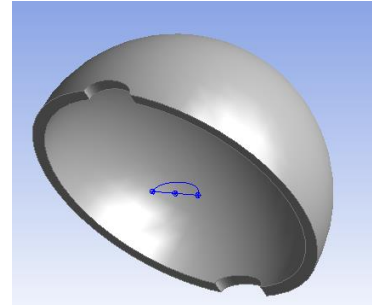
$b/a$	$\frac{a}{R} \sqrt{\frac{R}{h}}$	$\frac{R}{h}$ (sabit) (mm)	$h$ (mm)	$b$ (mm)	$K_t$
1	0.4	500	0.5- 49.83 ( $b/a=1$ )	10	2.59-7.8 ( $b/a=1$ )
	0.5				
	0.75				
1.25	1	500	0.32-31.89 ( $b/a=1.25$ )	10	3.26-9.61 ( $b/a=1.25$ )
	1.25				
1.5	1.25	500	0.91-19.02 ( $b/a=1.5$ )	10	4.0-8.0 ( $b/a=1.5$ )
	1.5				
2	1.75	500	0.77-13.28 ( $b/a=2$ )	10	4.73-9.51 ( $b/a=2$ )
	2				

**Çizelge 1.** İnce cidarlı küresel eliptik bir deliğin boyutsal parametre aralıkları ve *Gerilme Yığılma Faktörü* ( $K_t$ ) değerleri (Dimensional parameter ranges and Stress Concentration Factor ( $K_t$ ) values of a thin-walled spherical elliptical hole)

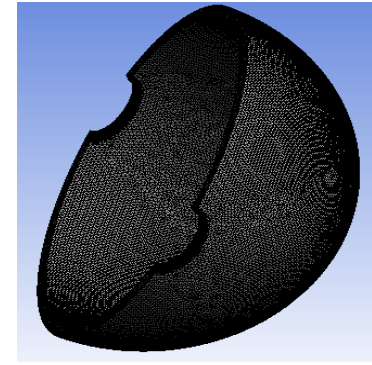
Burada;  $b$  elipsin büyük yarıçapı,  $a$  elipsin küçük yarıçapı,  $R$  ince cidarlı kürenin yarıçapı ve  $K_t$  gerilme yığılma faktörü olarak tanımlanmıştır.

### 2.1. Parametrik Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Leckie’ nin deney parametrelerine göre elde edilmiş olan boyutsal ölçüler ANSYS yazılımında *Design Modeler* modülünde parametrik olarak elde edilmiştir (Şekil 2). Daha sonra ANSYS Model kısmında parametrik model mesh yapılmış sonrasında da mesh optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Mesh optimizasyonu uygulandıktan sonra örnek bir boyut için mesh yapısı Şekil 3 de gösterilmektedir. Mesh yapısı düzenlenirken en küçük eleman boyutuna sahip model belirlenmiş ve bu model üzerinde mesh optimizasyonu uygulanmıştır. Meshler öncelikle her yerde 2 mm olarak ayarlanmış, delik olan yerler ise “refinement” değeri 3 kat daha fazla mesh yapısı ile daha da yoğunlaştırılmıştır. Esas gerilme yığılmalarının delik etrafında olacağı ve sonucu etkileyebileceği öngörülmüştür. Model boyutları değişken olduğundan dolayı (eliptik delik yarıçapları ( $a, b$ )) parametrik model için en ideal mesh yapısı belirlenmiştir. Burada tetrahedron mesh eleman yapısı kullanılmıştır.



**Şekil 2.** ANSYS Design Modeler parametrik CAD modelinin oluşturulması (Creation of ANSYS Design Modeler parametric CAD model)



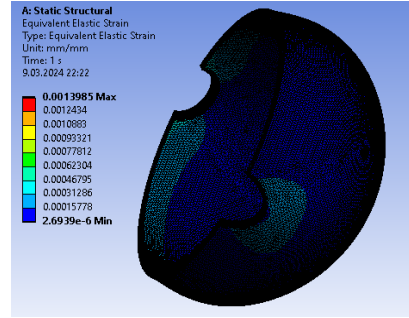
**Şekil 3.** Eliptik delikli ince cidarlı küresel bir eleman için parametrik ANSYS mesh yapısı (Parametric ANSYS mesh structure for a thin-walled spherical element with elliptical holes)

### 2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli

Yapay Sinir Ağları, yapay zekânın bir alt koludur ve mühendislik, tıp, havacılık ve uzay, malzeme vb. gibi bilimin her alanında başarı ile uygulanmaktadır. Özellikle küçük hata değerine sahip regresyon denklemi elde edilemeyen problemler için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bu amaçla, Lenkie’nin elde etmiş olduğu deneysel sonuçların grafikleri sayısal hale dönüştürülmüş ve eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanın değişken parametrelere göre boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Lenkie’nin her bir eğrisi 540 satırlık bir veri olmak üzere toplamda 4 farklı  $b/a$  oranı için yaklaşık 2160 satırlık bir veri oluşturulmuştur. Bu veriler belli aralıklarla süzdürülmüş her bir çizgi için yeterli sayıda veri satırı elde edilmiştir. Bu veri satırında  $a/R, (R/h)^{1/2}$ ,  $b/a$ ,  $b$  ve  $R$  parametrelerinin olduğu 4 sütunluk ana veriye göre;  $a/R, (R/h)^{1/2}$ ,  $b/a$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $R$ ,  $h$ ,  $R$ ,  $\sigma_{normal}$ ,  $\sigma_{ak}$ ,  $K_t$  olduğu parametre setleri oluşturulmuştur. Bu girdi (input) parametrelerine göre; Total deformasyon, Equivalent Elastic Strain, Equivalent Stress, Normal Stress, ve 4 farklı yöntemle göre emniyet katsayısı değerleri YSA modelinde çıktı (output) olarak belirlenmiştir. Farklı YSA modelleri denenmiş ve eğitim (training) performans ve test performans değerlerine göre en başarılı olan model belirlenmiştir. Modelden elde edilen tahmin (predict) sonuçları ana veri dosyasındaki veriler ile mukayese edilmiş ve istatistiksel olarak doğrulukları kontrol edilmiştir. YSA modeli oluşturulurken 10 girdi, 4 gizli katmanlı (Tansig

(13)+Tansig (15)+Logsig (27)+Purelin (9) ve 9 çıktılı istatistik değerleri de MATLAB yazılımından hazırlanmış olan kod ile sayısal değerleri ve grafikleri elde edilmiştir. Şekil 4’de geliştirilen YSA modeli ağ yapısı ve katmaları gösterilmiştir.

Levenberg-Marquardt, Feed Forward Back Propagation modelinin problem için en iyi sonuçları ürettiği belirlenmiştir. YSA modeli oluşturulurken, Verilerin %70 öğrenme ve geri kalan %30’luk kısmı eşit olarak, %15’lik kısmı test ve %15’lik kısmı validasyon (validation) için kullanılmıştır. YSA modeli MATLAB yazılımında bir kod yazılarak elde edilmiştir. Ayrıca



Şekil 6. İnce cidarlı eliptik delikli küresel elemanın *Equivalent Elastic Strain* değeri (Equivalent Elastic Strain value of thin-walled elliptical perforated spherical element)



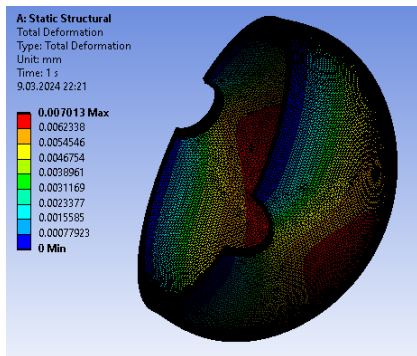
Şekil 4. Geliştirilen YSA modeli (Developed ANN model)

istatistik değerleri de MATLAB yazılımından hazırlanmış olan kod ile sayısal değerleri ve grafikleri elde edilmiştir. Şekil 4’de geliştirilen YSA modeli ağ yapısı ve katmaları gösterilmiştir.

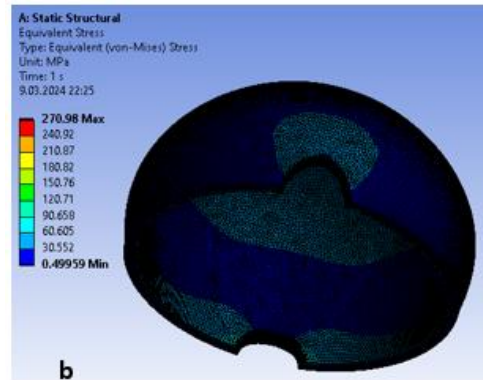
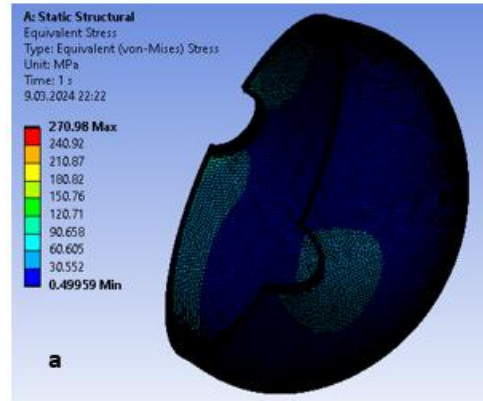
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

#### SEA Yöntemine Göre Parametrik Sonuçlar

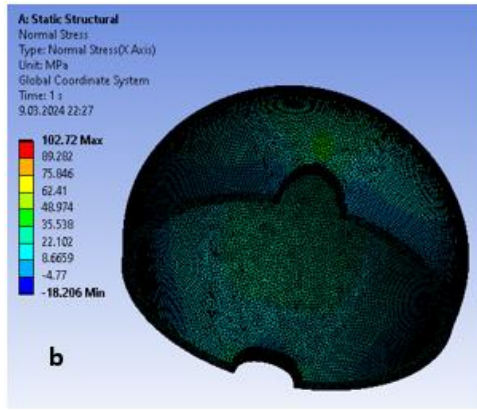
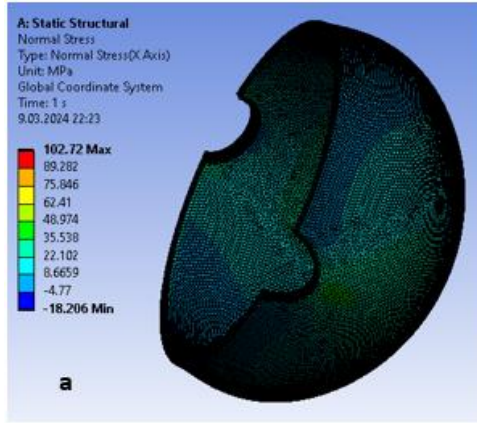
Malzeme olarak ANSYS veri tabanında bulunan “Structural Steel” malzemesi kullanılarak SEA modelleri elde edilmiştir. Malzemeye sınır şartları uygulanarak çözümler elde edilmiştir. Bu çözümlerde; Total deformasyon, Equivalent Elastic Strain, Equivalent Stress, Normal Stress değerleri Şekil 5- 8’de örnek bir boyut için verilmiştir.



Şekil 5. İnce cidarlı eliptik delikli küresel elemanın *Total Deformasyon* değeri (Total Deformation value of thin-walled elliptical perforated spherical element)



Şekil 7 a-b. İnce cidarlı eliptik delikli küresel elemanın *Equivalent Stress* değeri (Equivalent Stress value of thin-walled elliptical perforated spherical)



Şekil 8 a-b. İnce cidarlı eliptik delikli küresel elemanın *Normal Stress* değeri (Normal Stress value of thin-walled elliptical perforated spherical element)

Elde edilen sonuçlara göre 4 farklı yöntem için; Maximum Equivalent Stress Theory, Maximum Shear Stress Theory, Mohr- Columb Theory, Maximum Tensile Stress Theory için ayrı ayrı emniyet katsayıları bulunmuştur (Şekil 9-12).

Kırılma mekaniği teoremlerine göre malzeme üzerindeki bileşke gerilme ( $\sigma$ ; Asal gerilmeler,  $\tau$ ; Kayma gerilmeleri) ve emniyet katsayıları aşağıdaki denklemlerdeki gibi tanımlanır (Denklem 2-5):

- Maksimum Normal Gerilme Hipotezi:

$$\sigma_B = \frac{1}{2} (\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}) \quad (2)$$

- Maksimum Şekil Değiştirme Hipotezi:

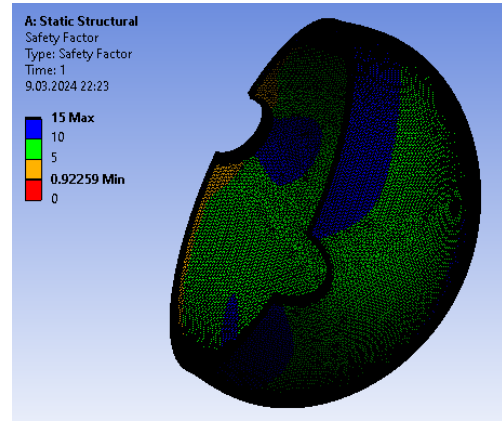
$$\sigma_B = 0,35\sigma + 0,65\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (3)$$

- Maksimum Şekil Değiştirme Hipotezi:

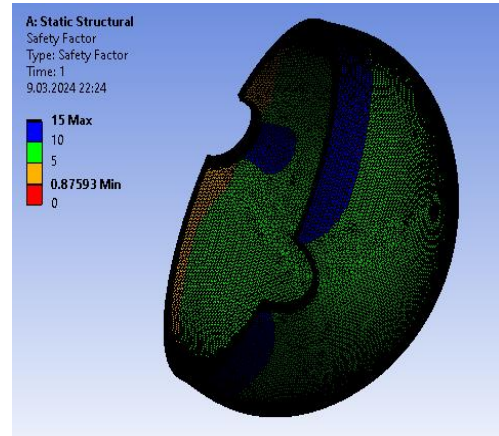
$$\sigma_B = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (4)$$

- Maksimum Kayma Gerilmesi Hipotezi:

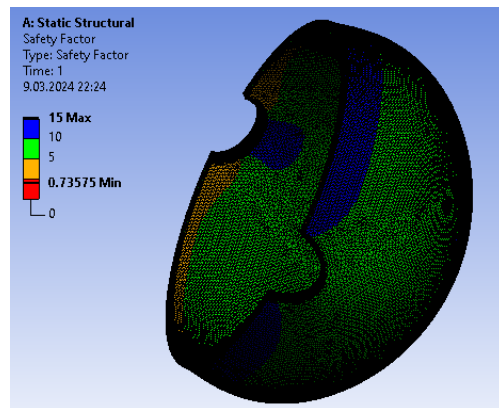
$$\sigma_B = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (5)$$



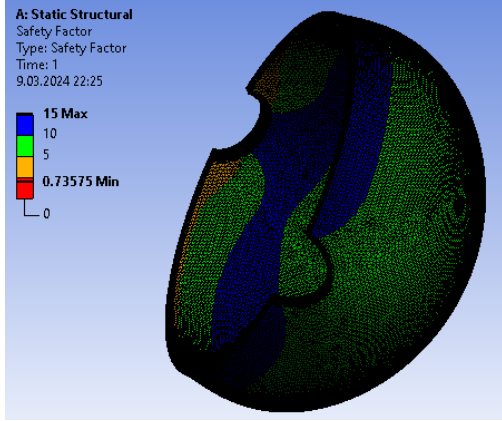
Şekil 9. Maksimum Equivalent Stress Theory'ye göre emniyet katsayısı (S) (Safety factor (S) according to Maximum Equivalent Stress Theory)



Şekil 10. Maksimum Shear Stress Theory'ye göre emniyet katsayısı (S) (Safety coefficient (S) according to Maximum Shear Stress Theory)



Şekil 11. Mohr-Coulomb Theory'ye göre emniyet katsayısı (S) (Safety factor (S) according to Mohr-Coulomb Theory)



Şekil 12. Maksimum Tensile Stress Theory'ye göre emniyet katsayısı (S) (Safety coefficient (S) according to Maximum Tensile Stress Theory)

### Yapay Sinir Ağları (YSA) Sonuçları

Gerçek YSA modelinin belirlenmesi için farklı algoritmalarla denemeler yapılmış, hem eğitim (training) hem de test performansı en yüksek değere sahip olan YSA modeli belirlenmiştir. Çizelge 2'de çeşitli öğrenme fonksiyonu, gizli katman sayıları ve nöron sayılarına sahip YSA modelleri ve model performansları verilmiştir.

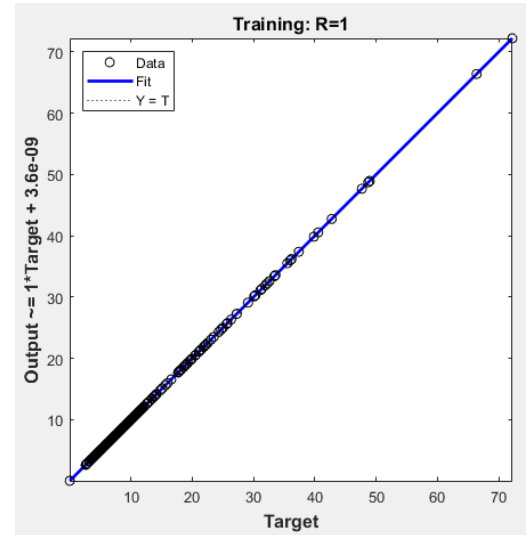
10 Girdi+Gizli Katman 1 *Tansig* (13)+Gizli Katman 2 *Tansig* (15)+Gizli Katman 3 *Logsig* (27)+Gizli Katman 4 *Purelin* (9) ve 9 Çıktılı modelde elde edilen sonuçlar aşağıda sırası ile verilmiştir. Şekil 13'de YSA modelinin Best Training performans değeri verilmiştir. Şekle göre modelin en iyi öğrenme performansı  $4.0111.E^{-10}$  olarak 929. Epoch'da elde edildiği görülmektedir. Modelin öğrenme performansı  $R \sim 1$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 14).

Çizelge 2. Farklı YSA modelleri ve performans değerleri (Different ANN models and performance values)

Test No	Net Adı	Eğitim performans	Test performans	Eğitim Hatası	Test Hatası	Eğitim Algoritması	Hata Fonk.	Gizli katman Aktivasyon Fonk.	Çıktı katman Aktivasyon Fonk.
1	RBF 6-35-1	-0.173001	0.47628	1.53E+12	1.23E+11	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
2	MLP 6-35-1	0.950973	0.970745	3.30E-03	4.80E-03	BFGS 9	SOS	Identity	Identity
3	MLP 6-35-1	0.93528	0.961201	4.40E-03	4.44E-03	BFGS 7	SOS	Identity	Tanh
4	MLP 6-35-1	0.977747	0.991454	1.58E-03	9.54E-04	BFGS 9	SOS	Identity	Logistic
5	MLP 6-35-1	0.950781	0.971731	3.32E-03	4.18E-03	BFGS 9	SOS	Identity	Sine
6	MLP 6-35-1	0.950871	0.969959	3.31E-03	4.95E-03	BFGS 35	SOS	Sine	Identity
7	MLP 6-35-1	0.934904	0.959152	4.42E-03	4.77E-03	BFGS 7	SOS	Sine	Tanh
8	MLP 6-35-1	0.972084	0.990051	2.82E-03	9.37E-04	BFGS 5	SOS	Sine	Logistic
9	MLP 6-35-1	0.993797	0.998625	4.54E-04	2.84E-04	BFGS 8	SOS	Sine	Exponential
10	MLP 6-35-1	0.95013	0.969395	3.35E-03	4.73E-03	BFGS 22	SOS	Sine	Sine



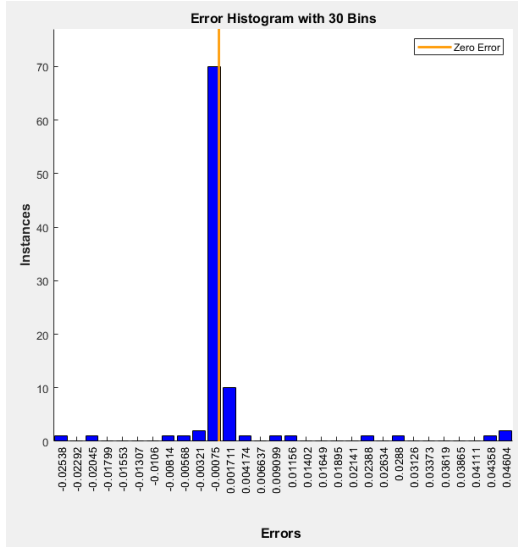
Şekil 13. En iyi öğrenme performansı (Best Training performance)



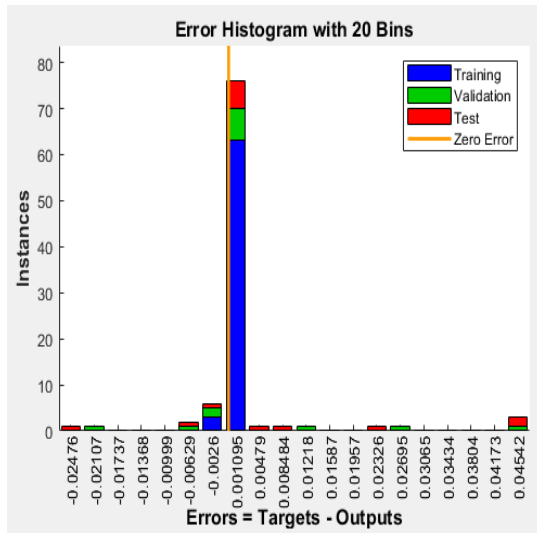
Şekil 14. Öğrenme Performansı (Learning Performance)



Şekil 15 ve 16'da YSA modelinin Hata (Error) Histogram 30 Bins ve 20 Bins'lik değeri görülmektedir. Şekil 15'e göre, %70'lik veriyi 0 hata ile, %10'luk veride 0.0017'lik hata ile ve geri kalan %20'lik verilerde ise % 0.002 ile %0.009 hata payları olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 16'da ise %80'e yakın verilerde 0 hata, geri kalan % 20'lik kısımda ise en büyüğü %0.0026 olan hata payı olduğu görülmektedir.



Şekil 15. Hata Histogram 30 Bins (Histogram 30 Bins)

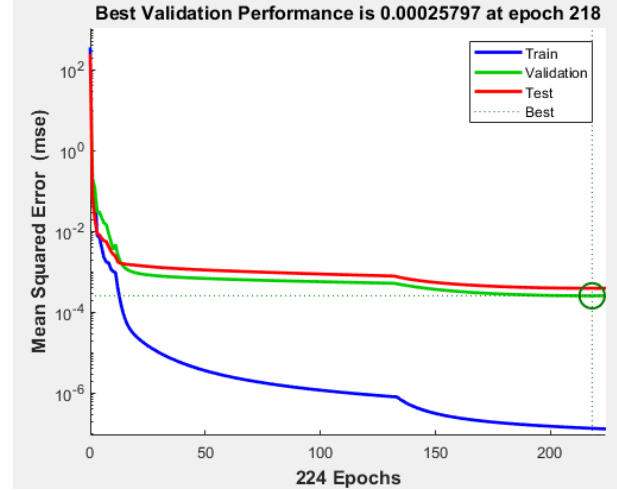


Şekil 16. Hata Histogram 20 Bins (Error Histogram 20 Bins)

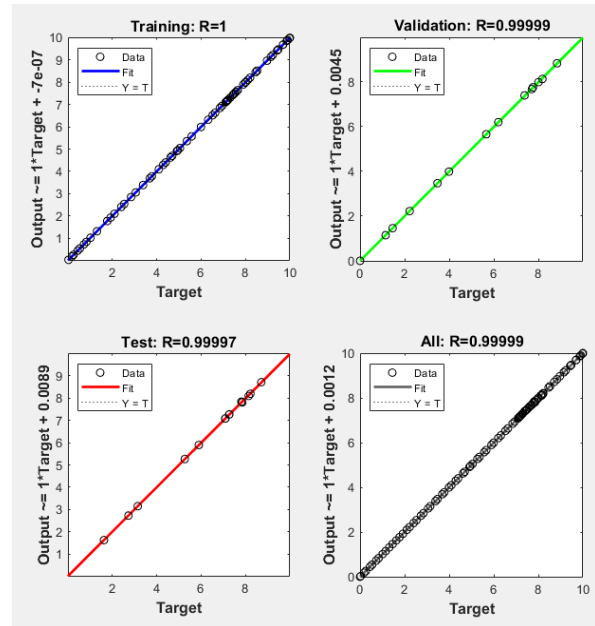
Şekil 17'de en iyi doğrulama performansı gösterilmektedir. Buna göre modelin en iyi öğrenme performansı  $10^{-6}$  dan daha az bir hata ile modelin öğrenmeyi gerçekleştirdiği görülmektedir. Modelin Test ve validasyon (validation) performanslarının ise  $10^{-3}$  den daha hassas bir hata ile sonuç ürettiği görülmektedir.

Şekil 18'de modelin Eğitim (Training), Test, validasyon (validation) ve genel (overall) Performans değerleri

verilmiştir. Bu değerlere göre; modelin öğrenme performansının 1'e çok yakın bir değer olduğu, test performansının 0.99997, validasyon (validation) performansının 0.99999 ve genel (overall) performansının ise; 0.9999 değerinde olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 17. En iyi doğrulama performansı (Best verification performance)



Şekil 18. Eğitim, Test, Validasyon ve genel Performans (Training, Testing, Validation and overall Performance)

Leckie'nin eliptik delikli ince cidarlı bir küre için  $K_1$  formülü aşağıda verilmiştir. Bu formül regresyon analizi sonucunda elde edilmiştir (Denklem 6-10).

$$C_1 = -1.9869 + 5.3403 \cdot \left(\frac{b}{a}\right) - 1.556 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (6)$$

$$C_2 = 5.4355 - 6.75 \cdot \left(\frac{b}{a}\right) + 4.993 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (7)$$

$$C_3 = -7.8057 + 13.2508 \left(\frac{b}{a}\right) - 5.8544 \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (8)$$

$$C_4 = 1.9069 - 3.3306 \left(\frac{b}{a}\right) + 1.4238 \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (9)$$

$$K_t = C_1 + C_2 \left(\frac{a}{R} \sqrt{\frac{R}{h}}\right) + C_3 \left(\frac{a}{R} \sqrt{\frac{R}{h}}\right)^2 + C_4 \left(\frac{a}{R} \sqrt{\frac{R}{h}}\right)^3 \quad (10)$$

biçiminde ifade edilmiştir.

**Çizelge 3.** Deneysel veriler ile SEA, YSA ve Regresyon Modellerinin karşılaştırılması ve istatistiksel performansları (Comparison of experimental data and FEA, ANN and Regression Models and their statistical performances)

	Ortalama Hata	RMS	R <sup>2</sup>
Deneysel-SEA	6.329317	3.225058	0.98998
Deneysel - Regresyon	2.154868	0.167916	0.999274
Deneysel - YSA	0.265426751	0.023501089	0.999931154

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada; eliptik delikli ince cidarlı küresel bir elemanda oluşan *Gerilme Yığılma Faktörü* değerleri Leckie'nin deneysel çalışmaları göz önüne alınarak; SEA, Regresyon ve YSA modelleri oluşturulmuş ve her 3 metoda göre elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Leckie ve arkadaşlarının 1967'de yapmış olduğu deneysel çalışma baz alınarak güncel bilgisayar teknolojisi ve yazılımlar kullanılarak simüle edilmiştir. Bu amaçla, Leckie'nin modeline elde edilmiş olan  $b/a$  değerlerine karşılık gelen eğriler sayısallaştırılmış ve ana veri olarak  $\left(\frac{a}{R} \sqrt{\frac{R}{h}}\right)$ ,  $b/a$  ve  $K_t$  değerlerine göre gerekli boyutsal ölçüler parametrik olarak üretilmiş ve sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırılan modeller SEA yöntemi kullanılarak parametrik olarak ANSYS yazılımı içinde modellenmiş ve parametrik olarak çözümler elde edilmiştir. Leckie'nin verileri kullanılarak Yapay Sinir Ağı modeli geliştirilmiştir. Leckie ve arkadaşlarının önerdiği Regresyon modeli de belirlenmiş olan değerler için denklemde yerine konularak elde edilmiştir. Orijinal deneysel veriler ile SEA, YSA ve Regresyon modelleri birbirleri ile karşılaştırılmış ve en iyi sonucu üreten modelin YSA modelinin olduğu ispat edilmiştir. Fakat Leckie'nin ortaya koymuş olduğu Regresyon modelinin doğru sonuçlar üretmediği ispat edilmiştir. YSA yöntemi kullanılarak ucuz ve hızlı bir biçimde eliptik delikli ince cidarlı bir küresel elemandaki gerilme yığılma faktörünün kolayca hesap edilebileceği, bunun tasarımcılar ve imalat mühendisleri için tasarım işlemlerini kolaylaştıracağı önerilmiştir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmada kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal özel bir izin gerektirmediğini beyan eder.

#### YAZARIN KATKISI (AUTHOR' CONTRIBUTION)

**İhsan TOKTAŞ:** Analiz ve modellemeyi yapmış, sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kharat Avinash, Kulkarni V. V., "Stress Concentration at Openings in Pressure Vessels-A Review", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 2, Issue 3, (2013).
- [2] Avinash K., Kulkarni V. V., "Stress Concentration at Openings in Pressure Vessels-A Review", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 2, Issue 3, P. 670-678, (2013).
- [3] Iyer M. S., "Analysis of a pressure vessel junction by the finite element method", *Texas Tech University*, 1-159, (1975).
- [4] Oterkus E. and Madenci E. "Stress analysis of composite cylindrical shells with an elliptical cutout", *Journal of mechanics of materials and structures*, Vol. 2, No. 4, 695-727, (2007).
- [5] Alashti R. A. & Rahimi G. H., "Plastic limit loads of cylinders with a circular opening under combined axial force and bending moment", *The Journal of Strain Analysis*, 55-66, (2007).
- [6] Camilleri D. and Mackenzie D., "Shakedown of a Thick Cylinder with a Radial Crosshole", *Strathprints Institutional Repository*, 1-11, (2008).
- [7] Zu L., "Design of filament-wound isotensoid pressure vessels with unequal polar openings", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 92, 2307-2313, (2009).
- [8] Liu You-Hong, "Limit pressure and design criterion of cylindrical pressure vessels with nozzles", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 81, 619-624, (2004).
- [9] Hydera J., Asif M. "ANSYS kullanılarak basınçlı kap silindirindeki açıklığın konumu ve boyutunun optimizasyonu", *Mühendislik Arıza Analizi*, cilt-5, (2007).
- [10] Snowberger D., "Stress concentration factor convergence comparison study of a flat plate under elastic loading conditions", *Rensselaer Polytechnic Institute Hartford, Connecticut*, (2008).
- [11] Folias E.S., "Silindirik basınçlı kaplar ve düz plakalar arasındaki arıza korelasyonu", *Uluslararası Basınçlı Kaplar ve Piping Dergisi*, Cilt 76, 803-811, (1999).

- [12] Eruşlu S.Ö., “İnce Cidarlı Basınçlı Tüplerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14 (2) 169-174, (2008).
- [13] Petrovic A., “Stress Analysis in Cylindrical Pressure Vessels With Loads Applied to the Free end Nozzle”, *Int Journal Press Vessel Piping*, 78, 485-493 (2001).
- [14] Yeom D. J., Robinson M., “Numerical Analysis of the elastic-plastic behaviour of pressure vessels with ellipsoidal and torispherical heads”. *Int. Journal Press. Vessel Piping*, 65, 147-156, (1996).
- [15] Sang Z. F., Xue L. P., Lin Y. J., Widera G. E. O. “Limit and burst pressures for a cylindrical shell intersection with intermediate diameter ratio”. *Int. Journal Press Vessel Piping*, 79, 341-349, (2002).
- [16] Muskat M., Mackenzie D., Hamilton R. “A work criterion for plastic collapse”. *Int. Journal Press Vessel Piping*, 80, 49-58, (2003).
- [17] Chekhov V. N., Zakora S. V., “Stress Concentration In A Spherical Shell With Two Neighboring Circular Holes”, *Journal of Mathematical Sciences*, Vol. 180, No. 2, 91-99, January, (2012).
- [18] Snowberger, D., “Stress concentration factor convergence comparison study of a flat plate under elastic loading conditions”, *Rensselaer Polytechnic Institute Hartford*, Connecticut, (2008).
- [19] Shevchenko V. P., Zakora S. V., “Stresses in A Spherical Shell Loaded Through Rigid Inclusions”, *International Applied Mechanics*, Vol. 51, No. 2, 159-167, (2015).
- [20] Velichko P. M., Shevchenko V. P. “The action of concentrated forces and moments on a shell of positive curvature,” *Izv. ANSSSR, Mekh. Tverd. Tela*, No. 2, 147-151, (1969).
- [21] Handbook of Strength, Stability, and Vibrations [in Russian], Ch. 24, Vol. 3, *Mashinostroenie*, Moscow, (1968).
- [22] Guz A. N., Chernyshenko I. S., Chekhov V. N., Chekhov V.N., Shnerenko K. I. “Theory of Thin Shells Weakened by Holes, Vol. 1 of the five-volume series Methods of Shell Design” [in Russian], *Naukova Dumka, Kyiv*, (1980).
- [23] Yahnioglu N., Babuscu Y. U. “Stress concentration in two neighboring circular holes in a composite plate,” *An. Univ. Oradea, Fasc. Mat.*, 13, 261-272, (2006).
- [24] Fuad K., Siregar R. A., Rangkuti C., Ariwahjoedi B., Firdaus M. “Stress concentration factors of various adjacent holes configurations in a spherical pressure vessel,” in: *Proc. 5th Australasian Congr. on Appl. Mech, ACAM-2007, Brisbane, Australia*, December 10-12, 68-73, (2007).
- [25] Li F., He Y., Fan C., Li H., Zhang H. “Investigation on three-dimensional stress concentration of LY12-CZ plate with two equal circular holes under tension,” *Mater. Sci. Eng., A*, 483-484, No. 1-2, 474-476, (2008).
- [26] Kubair D. V., Bhanu-Chandar B., “Stress concentration factor due to a circular hole in functionally graded panels under uniaxial tension,” *Int. J. Mech. Sci.*, 50, No. 4, 732-742 (2008).
- [27] Miyagawa M., Suzuki T., Shimura J. “Analysis of in-plane problems with singular disturbances for an isotropic elastic medium with two circular holes or rigid inclusions,” *J. Envir. Eng.*, 6, No. 4, 778-791, (2011).
- [28] Maximuk V. A., Storozhuk E. A., Chernyshenko I. S. “Variational finite-difference methods in linear and nonlinear problems of the deformation of metallic and composite shells,” *Int. Appl. Mech.*, 48, No. 6, 613-687 (2012).
- [29] Deryugin Y. Y., Lasko G. V., “Field of stresses in an isotropic plane with circular inclusion under tensile stress,” *Engineering*, 4, No. 9, 583-589 (2012).
- [30] Maximuk V. A., Storozhuk E. A., Chernyshenko I. S., “Nonlinear deformation of thin isotropic and orthotropic shells of revolution with reinforced holes and rigid inclusions,” *Int. Appl. Mech.*, 49, No. 6, 685-692 (2013).
- [31] Maximuk V. A., Storozhuk E. A., Chernyshenko I. S. “Stress state of flexible composite shells with reinforced holes,” *Int. Appl. Mech.*, 50, No. 5, 558-565 (2014).
- [32] Walter D. Pilkey, Deborah F. Pilkey, Zhuming Bi., “Peterson’s Stress Concentration Factors”, *Wiley*, (2020).
- [33] Leckie F. A., Paine D. J. and Penny R. K., “Elliptical discontinuities in spherical shells”, *J. Strain Anal.*, Vol. 2, 34, (1967).
- [34] Toktas İ., Özkan M. T., Erdemir F. and Yüksel N., “Determination of Stress Concentration Factor (Kt) for a Crankshaft Under Bending Loading: An Artificial Neural Networks Approach”, *Politeknik Dergisi*, 23(3), 813-819, (2020).
- [35] Ozkan M. T., Toktas İ. & Doganay K., “Estimations of Stress Concentration Factors (Cw/Kts) For Helical Circular/Square Cross Sectional Tension-Compression Springs And Artificial Neural Network Modelling”, *Politeknik Dergisi*, 23(3), 901-908, (2020).
- [36] Ozkan M.T., Erdemir F., “Determination of theoretical stress concentration factor for circular/elliptical holes with reinforcement using analytical, finite element method and artificial neural network techniques”, *Neural Computing & Applications*, 33, 12641–12659, (2021).
- [37] Ozkan M. T. and Erdemir F., "Determination of stress concentration factors for shafts under tension" *Materials Testing*, vol. 62, no. 4, 413-421, (2020).
- [38] Ozkan M. T. and Toktas İ., "Determination of the stress concentration factor (Kt) in a rectangular plate with a hole under tensile stress using different methods", *Materials Testing*, vol. 58, no. 10, 839-847, (2016)