



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Dikdörtgen delikli izotropik levhalarda gerilme yığılması faktörünün (GYF) parametrik analizi ve yapay sinir ağı yaklaşımı

Parametric analysis of stress concentration factor in rectangular holed isotropic plates and artificial neural network approach

Yazar(lar) (Author(s)): Oğuzhan NAZLIM¹

ORCID¹: 0000-0002-7557-6333

To cite to this article: Nazlım O. “Dikdörtgen Delikli İzotropik Levhalarda Gerilme Yığılması Faktörünün (GYF) Parametrik Analizi ve Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı”, *Journal of Polytechnic*, *(*) : *, (*).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Nazlım O. “Dikdörtgen Delikli İzotropik Levhalarda Gerilme Yığılması Faktörünün (GYF) Parametrik Analizi ve Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı”, *Journal of Polytechnic*, *(*) : *, (*).

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

DOI: 10.2339/politeknik.1653795

Dikdörtgen Delikli İzotropik Levhalarda Gerilme Yığılması Faktörünün (GYF) Parametrik Analizi ve Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı

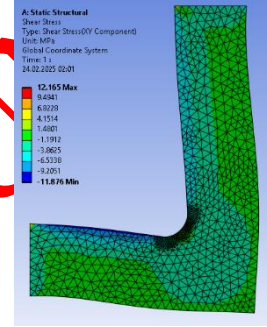
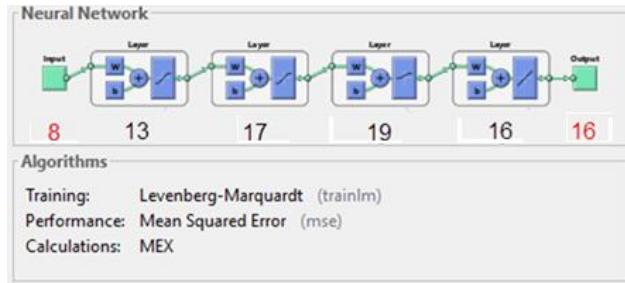
Parametric Analysis of Stress Concentration Factor in Rectangular Holed Isotropic Plates and Artificial Neural Network Approach

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Gerilme Yığılma Faktörü (GYF) / Stress Concentration Factor (SCF)
- ❖ Parametrik Sonlu Elan Tasarımı/ Parametric Finite Element Design
- ❖ Yapay Sinir Ağları(YSA) / Artificial Neural Networks(ANN)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, kayma gerilmesi altındaki ince dikdörtgen delikli levhalar için GYF bulunması yer almaktadır. Deneysel, sonlu eleman analizi (SEA) verileri alınarak bir YSA modeli geliştirildi. This study involves finding the stress concentration factor for thin rectangular perforated plates under shear stress. An ANN model was developed by taking experimental, Finite Element Analysis (FEA) data.



Şekil. Grafik Özet/ Figure. Graphical Abstract

Amaç (Aim)

Dikdörtgen delikli ince levhanın kayma gerilmesi etkisindeki davranışları, Sonlu Eleman Analizi (SEA) ile YSA ile modellenerek doğrulanması

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Deneysel sonuçlar sayısallaştırılarak SEA analizi yapılmış ve bir YSA modeli oluşturulmuştur./ Experimental results were digitized, SEA analysis was performed and an ANN model was created.

Özgünlük (Originality)

Çalışmada, daha önce deneysel çalışmalarla elde edilen dikdörtgen delikli ince plağın, grafik okuma tekniği ile belirlenen gerilme yığılma faktörünün doğrudan belirlenmesi için bir yeni yöntem sunulmuştur./ In this study, a new technique is presented for the direct determination of the SCF of a thin plate with rectangular holes, which was determined by the graphic reading technique, which was previously obtained by experimental studies.

Bulgular (Findings)

Dikdörtgen delikli ince levhada GYF' nin YSA ile pratik olarak belirlenmesi sağlanmıştır./ The SCF in a thin plate with rectangular holes was practically determined using ANN.

Sonuç (Conclusion)

Dikdörtgen delikli ince plağın kayma gerilmesi altındaki gerilme yığılma faktörü (Kt), herhangi bir tabloya veya denkleme bağlı olmaksızın kolay ve hızlı bir şekilde tanımlanabilmektedir./ The stress concentration factor (Kt) of a thin plate with rectangular holes under shear stress can be defined easily and quickly without relying on any table or equation.

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.

Dikdörtgen Delikli İzotropik Levhalarda Gerilme Yığılması Faktörünün (GYF) Parametrik Analizi ve Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Oğuzhan NAZLIM¹

¹Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 08.03.2025 ; Kabul/Accepted : 23.03.2025 ; Erken Görünüm/Early View : 09.04.2025)

ÖZ

Bu çalışmada, dikdörtgen delikli ince bir plağın kayma gerilmesi altındaki davranışları parametrik olarak Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) yöntemi ile incelenmiş ve Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenmiştir. İncelenen levha üzerindeki dikdörtgen delik nedeniyle oluşan gerilme yığılması detaylı olarak analiz edilmiştir. Parametrik modelde, levhadaki geometrik parametreler değiştirilerek farklı gerilme dağılımları elde edilmiştir. Deneysel sonuçların doğruluğu Sonlu eleman analizi ile test edilmiş ve deneyel çalışma verileri kullanılarak YSA yöntemi ile yeni bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni model ile gerilme, deformasyon, gerilme yoğunluğu gibi parametreler için güvenilir tahminler yapılmıştır. Bu çalışma, mühendislerin ve tasarımcıların dikdörtgen delikli levhalar üzerindeki gerilme analizlerini hızlı ve verimli bir şekilde yapabilmelerini sağlayacak bir yöntem sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dikdörtgen delikli levha, kayma gerilmesi, gerilme yığılma faktörü (GYF), sonlu elemanlar analizi (SEA), yapay sinir ağları (YSA).

Parametric Analysis of Stress Concentration Factor in Rectangular Holed Isotropic Plates and Artificial Neural Network Approach

ABSTRACT

In this study, the behavior of a thin plate with rectangular holes under shear stress was investigated parametrically using the Finite Element Analysis (FEA) method and modeled using Artificial Neural Networks (ANN). The stress intensity caused by the rectangular hole on the examined plate was analyzed in detail. In the parametric model, different stress distributions were obtained by changing the geometric parameters on the plate. The accuracy of the experimental results was tested using the Finite Element Analysis and a new model was created using the experimental study data using the ANN method. With the new model created, reliable estimates were made for parameters such as stress, deformation, and stress intensity. This study offers a method that will enable engineers and designers to perform stress analyses on plates with rectangular holes quickly and efficiently.

Keywords: Rectangular perforated plate, shear stress, stress concentration factor (SCF), finite element analysis (FEA), artificial neural networks (ANN).

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makine elemanları çalışma esnasında çeşitli gerilmelere maruz kalırlar. Bu elemanların şekillerindeki süreksizlikler (delik, kanal, oyuk, çıkıntı vd.) gerilmelerin eleman üzerinde düzensiz dağılmasına sebep olur. Düzensiz olarak dağılan bu gerilmeler nedeniyle süreksizlik olan bölgelerde gerilme yığılması oluşur. Mukavemet hesaplamalarında bu gerilmeleri normalize edebilmek için gerilme yığılma faktörü kullanılır. Bu faktör, özellikle kritik tasarım noktalarında makine elemanı dayanımını belirleyen bir parametredir. Bu çalışmada, gerilme yığılması ve delikli levhalar üzerine yapılan araştırmalar sistematik bir şekilde incelenmiştir. Literatür, ağırlıklı olarak yöntem bazlı olarak incelenmeye başlanmış ve geometri bazlı devam etmiştir. Bu sınıflandırma, literatürdeki çalışmaların

odaklandığı temel yaklaşımları, kullanılan analiz tekniklerini ve incelenen geometrik parametreleri net bir şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Yöntem bazlı çalışmalar, gerilme yığılması problemlerinin çözümünde analitik, sayısal ve yapay zeka tabanlı yöntemlere odaklanmaktadır. Geometri bazlı çalışmalar ise farklı delik şekillerinin (dairesel, eliptik, çokgen, dikdörtgen vb.) gerilme yığılması üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı incelemektedir.

Ozkan ve Kaygısız çalışmalarında, elips delik içeren ince levhada ortaya çıkan gerilmelerin Yapay Sinir Ağları (YSA) ile tahmin edilmesini ele almaktadır. Plağın çekme kuvveti etkisindeki maksimum gerilme değerleri hesaplanmış ve yapay sinir ağlarıyla modelleme yapılmıştır. Ayrıca ANSYS Sonlu Eleman Analiz (SEA) yazılımı kullanılarak gerilme analizleri gerçekleştirilmiş

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : oguzhannazlim@gmail.com

ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma, malzemelere ait elastisite modülleri ve uygulanan kuvvetler üzerinde parametrik olarak yapılmıştır. Farklı elips en ve boy oranlarına göre sonuçlar incelenmiştir. Levhalardaki gerilme değerleri grafikler ve tablolarla gösterilmiştir. Teorik, SEA ve YSA sonuçları ele alındığında sonuçların tutarlı olarak ortaya çıkmıştır [1].

Ozkan ve Erdemir, sonsuz levhalarda tek ve çift eksenli gerilme altında takviyeli eliptik ve dairesel deliklerin gerilme yığılma faktörlerini incelemişler ve Analitik yöntemler, SEA ve YSA kullanarak Peterson'ın verilerini dijitalleştirip doğrulamışlardır. YSA modeli, GYF tahmininde yüksek doğruluk ve hız sağlayarak geleneksel yöntemlere üstünlük göstermiştir. Çalışma, YSA'nın mühendislikte pratik bir araç olduğunu ve yapay zekânın potansiyelini vurgulayan bir çalışma olarak öne çıkmıştır [2].

Ozkan ve Erdemir, dairesel ve eliptik deliklerin güçlendirilmesi ile GYF' nin değişimini incelemişlerdir. Analitik yöntemler, sonlu elemanlar analizi ve YSA tekniklerinin kullanıldığı çalışmada, bu deliklerin tek eksenli ve çift eksenli gerilim altındaki GYF' lermodeellenmiştir. ANSYS ile elde edilen sonuçlar, Peterson'un deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. YSA modeli oluşturularak, Kt değerinin doğrudan tahmin edilme yeteneği ortaya konmuştur [3].

Ozkan, Eren ve Toktaş karşılıklı olarak simetrik v-şekilli çentik içeren levhalardaki gerilme yığılma faktörünü yapay sinir ağları (ANN) kullanarak modellemeyi amaçlamamışlardır. Araştırmada, ANN tekniği ve sayısal yöntemler kullanılmıştır. Yeni bir metodoloji geliştirilerek V-şekilli kanallı levhalardaki gerilme yığılma faktörü parametrik ölçümlere göre hassasiyeti $R^2=0,99999$ olan bir şekilde belirlenmiştir. Çalışma, yapılan parametrik ölçümlere dayanarak V-şekilli çentik içeren levhalardaki gerilme yığılma faktörünü hesaplamak için bir model sunmaktadır. Yapılan analizler sonucunda ANN modelinin yüksek doğruluk sağladığı görülmüştür [4].

Toktaş, Ozkan, vd., çalışmalarında, bir krank milinin eğilme yükü altındaki gerilme yığılma faktörünün (Kt) belirlenmesinde Peterson'ın Gerilme Yığılma Faktörü grafiklerinin ve Yapay Sinir Ağı modellemesinin kullanılmasını kullanmıştır. Peterson'ın grafikleri bilimsel olarak geçerli kabul edilmiş olup, henüz matematiksel bir denklemle dönüştürülmemiştir. Bu çalışmada, bu grafikler sayısal değerlere dönüştürülmüş ve Yapay Sinir Ağı veritabanı oluşturularak yeni bir YSA modeli geliştirilmiştir. Farklı eğilme yükleme durumlarına göre krank milindeki gerilme konsantrasyon faktörünün belirlenmesi incelenmiştir. YSA modeli, Kt'nin tahmininde yüksek doğruluk sağlamıştır ($R^2=0.999869$, $MEP\%=0.610405$ ve $RMS=0.139119$). Bu yöntem, grafik verileri ile uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu yeni teknik ile sayısal değerler elde edilerek, grafiksel verilere daha güvenilir bir şekilde ulaşılmıştır [5].

Ozkan ve Erdemir, çıkıntılı miller için gerilme yığılma faktörlerini ANSYS kullanarak modellemiş ve yapay

sinir ağları oluşturmuşlardır. Yüksek doğruluklu FEA sonuçları ($R^2 = 0.9969$, 0.9649) YSA modelleriyle (doğruluk > 0.9999) daha da geliştirilmiştir. İstatistiksel analizler, YSA'nın güvenilirliğini doğrulamıştır. Bu çalışma, GYF hesaplamaları için geleneksel yöntemlere alternatif sunarak makine tasarımı ve gerilme analizlerine katkı sağlamıştır [6].

Patel makalesinde, levha üzerindeki çeşitli süreksizliklerin (farklı geometrik özelliklerde delikler) gerilme konsantrasyonuna etkisini ele almaktadır. Çalışma, levhadaki çokgen, dairesel, eğimli dairesel, eliptik delikler içeren sonlu levhalar üzerinde yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, delik tipleri, yükleme tipleri, malzeme/takviye tipleri ve deliklerin konumları gibi parametreler incelenmiştir. Çalışmaların sonuçları, delik tipleri ve geometrilerine göre farklılık göstermiştir. Farklı optimizasyon algoritmalarının kullanılmasıyla gerilme dağılımının iyileştirilmesi üzerine çeşitli sonuçlar elde edilmiştir [7].

Patel'in bir diğer çalışmasında, farklı çokgen şekilli deliklere sahip sonlu bir levhada basınç altındaki gerilim yığılma faktörünün belirlenmesi ve analizi ele alınmıştır. ANSYS sonlu eleman analiz programı kullanılarak yapılan çalışmada, malzeme özellikleri, ağ oluşturma teknikleri, sınır koşulları ve deliklerin yönlendirilmesinin gerilme yoğunluğu faktörü üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, deliklerin yönlendirilmesinin gerilme yoğunluğu faktörü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle kare deliklerin, yük yönüne paralel olduğunda gerilme yoğunluğu faktörünü %50 oranında azalttığı belirlenmiştir [8].

Akour ve diğerleri, kesme yükü altında bulunan bir levha için dairesel deliklerin neden olduğu gerilme konsantrasyonlarını, yardımcı eliptik delikler kullanarak azaltmayı hedeflemişlerdir. Ana gerilme yönlerine paralel yerleştirilen eliptik yardımcı deliklerin, gerilme konsantrasyonunu %13,5 oranında azalttığı görülmüştür. Delikler, ana yuvarlak deliğe yakın düşük gerilim alanlarında yerleştirilmiş ve esas gerilim yollarını düzleştirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu optimizasyon çalışmasında SEA ve RGB fotoelastisite yöntemleri kullanılarak sonuçlar doğrulanmıştır [9].

Guan ve Li, farklı şekillere sahip deliklerin levhada oluşturduğu gerilme yığılmaları ve bunun optimizasyonu üzerine bir analiz yapmışlardır. Fonksiyonel derecelendirilmiş bir levha ve homojen bir levhada kesme yükleri altında gerilme konsantrasyonları incelenmiştir. Delik geometrileri etrafındaki kesme gerilimlerinin, Young modülündeki değişimlere göre nasıl değiştiği gösterilmiş ve MATLAB kullanılarak sayısal çözümler elde edilmiştir. Üçgen delik etrafında en büyük gerilme yığılması gözlemlenmiştir [10].

Zhu ve diğerleri, farklı tip deliklere (dairese, kare ve yuvarlatılmış köşeli kare) sahip levhaların kritik kesme burkulma gerilmesini belirlemek amacıyla sonlu eleman analizleri ve deneyler yapmışlardır. Çalışmada, delik boyutu ve levha kalınlığının, delikli kare levhanın kesme

kararlılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Delik boyutu sabitken, kritik kesme gerilmesinin, levha kalınlığı arttıkça arttığı; delik boyutu küçüldükçe bu etkinin daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir [11].

Kambale ve Gulhane, ince bir dikdörtgen levhanın GYF' sini azaltmak için yardımcı deliklerin kullanımını incelemişlerdir. Merkezinde dairesel bir delik bulunan levha, yük altında analiz edilmiştir ve ana deliğin etrafına eklenen yardımcı deliklerin GYF' sini azalttığı belirlenmiştir. Analizler, Sonlu Elemanlar Metodu ve HYPERMESH yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Stresin azaltılabileceği uygun bölgeler belirlenmiş ve en uygun sonuçların D/A oranı 0.1 ve 5 mm mesafe ile elde edildiği görülmüştür [12].

Yang ve diğerleri, dikdörtgen delikli levhaların gerilme yığılması problemini incelemişlerdir. Sonlu eleman yöntemi (FEM) kullanılarak, dikdörtgen deliklerin gerilme yığılması ile ilgili çözümler türetilmiştir. Çalışma, dikdörtgen delikli levhaların biaxial gerilme altında incelenmesini içermektedir. Delik yüksekliği ve genişliği oranlarına göre GYF' lerde edilmiştir [13].

Chauhan ve Sharma, dikdörtgen delikli anizotropik bir levhadaki stres bileşenlerini hesaplamışlardır. Stres fonksiyonları, karmaşık değişken yaklaşımı ve en küçük kare sınır koşulu metodu ile türetilmiş ve levha boyutu, malzeme özellikleri, katman sıralaması, delik geometrisi ve yük koşullarının etkileri incelenmiştir. Delik boyutu sabitken, levha boyutunun artmasıyla gerilme yığılmasının azaldığı belirlenmiştir [14].

Dave ve Sharma, fonksiyonel derecelendirilmiş bir levhadaki dikdörtgen delik etrafındaki gerilme yığılmasını incelemişlerdir. Delik geometrisi, malzeme özelliklerinin değişimi ve yüklenme açısının gerilmeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yük açısı ve malzeme özelliklerinin gradyanının stres dağılımına etkisi vurgulanmıştır [15].

Jafari ve diğerleri karmaşık değişken yöntemine dayalı analitik bir teknik kullanarak, eksenel gerilme yükü altındaki sonsuz fonksiyonel dereceli levhalardaki gerilme yığılmalarını incelemişlerdir. Fonksiyonel dereceli levhanın mekanik özelliklerinin üstel olarak değiştiği varsayılmaktadır. Delik açısı, oranı ve köşe eğriliklerinin gerilme ve momentler üzerindeki etkisi araştırılmış, sunulan analitik yöntem ABAQUS ile elde edilen sayısal sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sonuçlar, delik geometrisinin ve yöneliminin gerilme dağılımı üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Lekhnitskii'nin karmaşık değişken yöntemine dayanan analizde, deliklerin yüklenme yönünde farklı gerilmelere neden olduğu belirlenmiştir. Delik köşesinin eğrilik yarıçapı ve yönelim açısının gerilme dağılımı üzerindeki etkisi vurgulanmış, belirli ayarlamalarla gerilmenin azaltılabileceği gösterilmiştir [16].

Louhghalam ve diğerleri, dikdörtgen delikli levhalardaki gerilme yığılmalarını karmaşık değişken yöntemini ve sonlu eleman yöntemi ile analiz etmişlerdir. Levhaların köşelerindeki gerilme yığılmalarının doğru belirlenmesi için bu yöntemlerin birleşimi kullanılmaktadır. Sonlu

eleman analizi, delik köşelerindeki gerilmeleri elde etmekte ve yeni bir yaklaşım sunmuştur [17].

Rao vd. çalışmalarında, kare ve dikdörtgen deliklerin simetrik kompozit levhalardaki gerilme yığılmalarını incelemişlerdir. Deliklerin etrafındaki stres dağılımını ve laminatın yorulma dayanımını Tsai-Hill, Hashin-Rotem ve Tsai-Wu kriterlerine göre belirlenmiştir. Kesme kuvveti altında en yüksek gerilmelerin elde edildiği, kare deliklerde en yüksek gerilme noktalarının köşelerde, dikdörtgen deliklerde ise köşelerden uzaklaşarak uzun kenarlara kaydığı ifade edilmektedir [18].

Pan ve diğerleri, dikdörtgen delik içeren bir levhanın eksenel gerilme altındaki analizini yapmışlardır. Muskhelishvili'nin kompleks değişken yöntemiyle dikdörtgen delik etrafındaki gerilme dağılımı incelemişlerdir. Delik boyutları, yönlendirmeleri ve levhanın boyut oranlarının etkileri incelenmiştir. Delik boyutunun artması durumunda maksimum gerilme yığılma faktörünün arttığı tespit edilmiştir [19].

Rahman makalesinde bir çelik levhanın üzerindeki dikdörtgen bir deliğin tek eksenli stres altında bulunduğu durumda stres analizi incelenmiştir. Farklı delik köşe yarıçapları ve açıklık oranlarına sahip bir dikdörtgen levhanın delik kısmına yapılan takviyenin gerilme yığılmasını ne ölçüde değiştirdiği grafikler ile gösterilmiştir [20].

Gunwant araştırmasında, dikdörtgen delikli düz levhaların GYF üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonlu Elemanlar Yöntemi ve ANSYS yazılımı kullanılarak tek eksenli ve çift eksenli yükleme senaryoları analiz edilmiştir. Dikdörtgen köşelerinin yarıçapının artırılması gerilme yığılmasını azaltmıştır. Deliklerin en-boy oranı GYF üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuş, a ve b delik ebatları olmak üzere b/a oranı 0.4 olan kesitlerde en yüksek gerilme yığılması tespit edilmiştir. Tek eksenli yükleme altında r/b oranı arttıkça GYF azalmış, çift eksenli yükleme altında da benzer bir düşüş gözlemlenmiştir. Sonuçlar analitik denklemlerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır [21].

Bharambe ve Kolhe, farklı deliklerin bulunduğu levhaların gerilme yığılmalarını incelemişlerdir. ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan analizlerde, deliklerin etrafındaki gerilme yığılması belirlenmiştir. Von-Mises gerilmeleri, stres ve yer değiştirme değerleri analiz edilmiştir. Delik şeklinin değişmesiyle stres ve yer değiştirme değerlerinin farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir [22].

Toktaş'ın çalışmasında, eliptik deliğe sahip ince cidarlı küresel bir yapının basınç etkisi altındaki davranışları, SEA kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu davranışlar YSA ile modellenmiştir. Çalışmada, küresel elemanın yarıçapı 500 mm olarak belirlenmiş ve eliptik delikli yapı üzerinde oluşan gerilme, gerinim, deformasyon ve gerilme yığılma faktörleri analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, YSA modeline entegre edilerek farklı geometrik boyutlar ve basınç değerleri için emniyet katsayıları hesaplanmış ve yapının performansı optimize edilmiştir. Bu yaklaşım, küresel elemanların

tasarımında kullanılabilecek pratik ve etkili bir yöntem sunmaktadır.[23].

Literatür incelendiğinde çeşitli parametrelerin (levha kalınlığı, delik geometrisi ve eğimi gibi) GYF hesaplamasında kullanıldığı görülmüştür. Bu farklı süreksizlikler sebebi ile oluşan gerilme yoğunluklarının hesaplanmasında farklı çözüm yöntemleri (analitik ve sonlu eleman analizi gibi) kullanılmıştır.

Kenarları yuvarlatılmış dikdörtgen delikli, izotropik bir levhanın kesme kuvveti altındaki karakteristik özelliklerine ilişkin literatürde yalnızca deneysel sonuçların grafiksel verileri bulunmaktadır. Bu çalışmada, mevcut deneysel veriler kullanılarak SEA gerçekleştirilmiş ve daha pratik bir hesaplama yöntemi önerilmiştir. GYF'ler, hem önceki çalışmalarda grafiklerden hem de ANSYS ile yapılan sayısal analizlerle belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ile SEA sonuçları karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma, EXCEL elektronik tablolarında işlenerek kolaylaştırılmıştır.

Problemin deneysel sonuçlarının doğrulanması için kullanılan SEA yeterli bulunmamış ve YSA yöntemi de kullanılmıştır. Farklı YSA modelleri test edilmiş ve bu modellerin performansı istatistiksel yöntemler (ortalama hata, MPE% ve R²) kullanılarak hesaplanmıştır.

Analitik ve SEA gibi geleneksel çözüm yöntemlerinin bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Bu yöntemler zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. Ayrıca, karmaşık geometrilerde yüksek doğruluk elde etmek zorlaşmaktadır. Bu noktada, YSA modelleri, hızlı, ekonomik ve yüksek doğruluklu sonuçlar sunarak geleneksel yöntemlere önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, YSA modeli kullanılarak, kenarları yuvarlatılmış dikdörtgen delikli izotropik bir levhanın kesme kuvveti altındaki gerilme yığılma faktörleri incelenmiştir. Bu sayede, literatürdeki boşluk doldurulmuş ve tasarımcılar için daha pratik bir çözüm sunulmuştur. Çalışmanın amacı, YSA modelinin geleneksel yöntemlere kıyasla sağladığı avantajları ortaya koymaktır. Bu sayede, tasarımcılar karmaşık geometrilerde bile gerilme yığılma faktörlerini hızlı ve güvenilir bir şekilde hesaplayabilirler.

2. MATERİYAL METOD (MATERIAL AND METHOD)

Makine tasarımı sırasında, boyutlandırma işlemleri makine parçasının maruz kalacağı gerilmelere göre yapılmaktadır. Makine parçasındaki geometrik şekil değişiklikleri ve süreksizlikler, parça üzerindeki stres dağılımlarını değiştirmektedir. Tasarlanan parça üzerindeki girinti, çıkıntı, delik, kanal gibi süreksizlikler olması durumunda bu bölgelerde gerilme yığılmaları oluşmaktadır. Bu gerilme yığılma değerlerinin mühendislik hesaplamalarında kullanılabilmesi için GYF belirlenmektedir. GYF, belirli bir konumdaki maksimum gerilmenin nominal (uygulanan) gerilmeye oranı olarak

tanımlanmaktadır. Bu durum Denklem 1 ile ifade edilmektedir [24].

$$K_{tg} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (1)$$

σ_{max} : Akma Dayanımı (N/mm²)

σ_{nom} : Nominal Gerilme (N/mm²)

K_{tg} : Gerilme Yığılması Faktörü

Makine elemanlarının montaj sürecinde, bağlantı elemanları olarak sıklıkla civatalı bağlantılar kullanılırken, merkezleme işlemleri için pimler ya da dikdörtgen şekilli kamalar tercih edilmektedir. Birleştirilen makine elemanı gerilmeye maruz kalıyorsa, civata veya kama deliklerinin konumları, deliklerin boyutları ve bu deliklerin levha kenarlarına olan mesafeleri gerilme dağılımını değiştirmektedir. Dikdörtgen delikli bir levha için gerilme yığılma katsayısı (K_t) değeri matematiksel olarak hesaplanabilir ve Denklem 2'de gösterilmiştir

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\tau} \quad (2)$$

σ_{max} : Akma Dayanımı (N/mm²)

τ : Kayma gerilmesi (N/mm²)

K_t : Gerilme Yığılması Faktörü

Levha üzerindeki bir dikdörtgen deliğin eleman üzerinde oluşturduğu GYF, gerilmenin değişim oranını belirler. Temel olarak, delikli bir levhadaki maksimum gerilme değerinin deliksiz bir levhadaki gerilme değerine oranını gösterir. Levhadaki delik merkezi konumda veya herhangi bir noktada olabilir. Deneysel çalışmalar ışığında, bu tür durumlar için boyutsuz bir genelleme yapılmıştır [24].

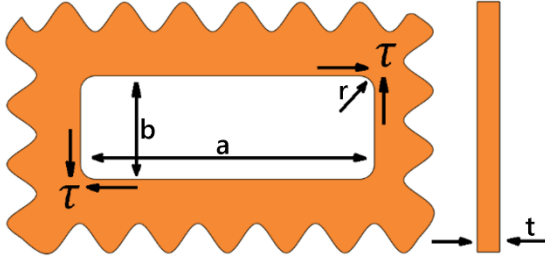
Bu çalışmada, dikdörtgen delik içeren ince kirişlerin kesme kuvveti altında davranışı incelenerek GYF hesaplanmıştır. Araştırmada SEA ve YSA Modellemesi kullanılmıştır. Üç adım izlenmiştir:

- Dikdörtgen delikli ince plağı modelleme ve Kesme kuvvetlerini delik içerisinden uygulamak
- Delik boyutu (a ve b), köşe yuvarlaması (r) ve kalınlığı (h) gibi değişkenler için farklı konfigürasyonlarda GYF değerlerinin sonlu eleman simülasyonlarını gerçekleştirmek.
- GYF tahminlerini verimli ve doğru şekilde elde etmek için parametre girişlerine dayalı YSA modellemesi yapmak.

Bu yöntem, ince kirişlerde kesme kuvveti sırasında dikdörtgen delik etrafındaki gerilme dağılımlarını açıklamayı amaçlamaktadır.

Tek ve dikdörtgen bir deliğe sahip ince levhaya uygulanan kuvvetin neden olduğu stres konsantrasyonu, Peterson'un kitabındaki [24] veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Bu koşulları gösteren grafik, Optik Karakter Tanıma (OCR) yöntemiyle sayısallaştırılmış ve her eğriye karşılık gelen veriler titizlikle çıkarılmıştır. Elde edilen bilgiler sayısal olarak işlenerek, deliğin levhadaki boyutuna bağlı olarak değişen GYF değerleri

belirlenmiştir. Bu verilerin güvenilirliği, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır.



Şekil 1. Dikdörtgen delikli sonsuz uzunlukta ince levhanın gösterimi (Illustration of infinitely long thin plate with rectangular holes)

Dikdörtgen bir deliğe sahip ince levhanın kayma gerilmelerine bağlı olarak tepki vermesini modelleyebilmek için belirli parametrelerin tanımlanması gerekmektedir. İlgili değişkenler, tanımlamalar Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Dikdörtgen deliğe sahip ince bir kirişin simetrik moment yüklemesi altındaki eğilme analizi için boyutsuz parametreler.

r/a	a/b	Kt	a (mm)	b (mm)	r (mm)	t (mm)
0~1	1, 1.5, 2, 4	4~7	5.05~61.108	4.66~19.74	5	0.38~2.13

Değişkenler:

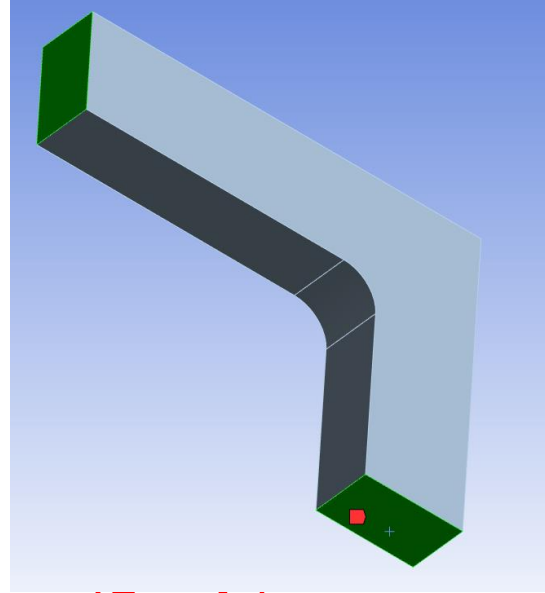
- a: Deliğin yatay uzunluğu (mm)
- b: Deliğin dikey uzunluğu (mm)
- r: Dikdörtgen delik yarıçapı değeri (mm)
- t: Levha kalınlığı (mm)
- Kt: Gerilme yığılması faktörü

2.1. Parametrik Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Şekil 1'de görülen Peterson deney parametrelerinden sağlanmış boyutlar ile ANSYS sonlu eleman analiz programı içerisindeki çizim modülü olan Design Modeler ile katı model oluşturulmuş, parametreler atanmıştır. (Şekil 2).

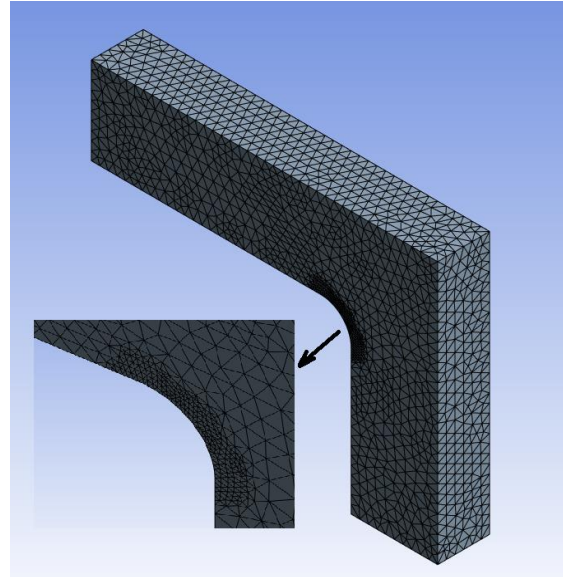
Malzeme özellikleri olarak çelik kullanılmış olup, elastisite modülü 200 GPa ve Poisson oranı 0.3 olarak ANSYS malzeme kütüphanesinden erişilmiştir. Modelleme sürecinde, sonsuz uzunluklara sahip plağın modellenmesi ve analiz süresini kısaltmak amacıyla simetri koşullarından yararlanılmıştır. Dikdörtgen delik, levhanın tam merkezinde yer aldığından, deliğin geometrisi ve yük dağılımı hem x hem de y eksenlerine göre simetriktir. Bu nedenle, modelleme sırasında deliğin yalnızca dörtte biri (1/4'ü) alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, hem hesaplama kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamış hem de sonuçların doğruluğunu korumuştur. Simetri düzlemleri

boyunca kesilen yüzeylere simetri sınır şartları uygulanmıştır. Bu sınır şartları, simetri düzlemlerindeki yüzeylerin normal yönde yer değiştirmesini engelleyecek şekilde tanımlanmıştır. (Şekil 2)



Şekil 2. Design Modeler Modülü ile katı modelleme ve simetrik sınır şartları (Yeşil) (Solid modeling and symmetric boundary conditions with Design Modeler Module (Green))

ANSYS Structural Analysis modülüne aktarılan katı modelin mesh yapısı oluşturulmuştur. Mesh, modelin geometrisine ve özellikle gerilme yığılmalarının beklendiği bölgelere göre yapılmıştır. Mesh kalitesi değerlendirilirken, eleman kalitesi (element quality), en-boy oranı (aspect ratio), Jacobian oranı (Jacobian ratio) ve çarpıklık (skewness) gibi parametreler dikkate alınmıştır. Mesh yapısı oluşturulan model Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Mesh yapısı gösterimi (Mesh structure representation)

Katı modelin mesh yapısının düzenlenmesi için üçgen elemanlar (triangular elements) seçilmiştir. Bu seçim, özellikle köşe ve yuvarlatılmış bölgelerdeki geometrik

karmaşıklığı daha iyi yakalayabilmesi ve bu bölgelerdeki gerilme dağılımlarını daha hassas bir şekilde hesaplayabilmesi nedeniyle yapılmıştır. Radius olan bölgede Mesh refinement özelliği kullanılarak, eleman boyutu küçültülmüş ve bölgedeki çözüm hassasiyeti artırılmıştır. Bu teknik, özellikle gerilme yığılmalarının yoğun olduğu bölgelerde daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla uygulanmıştır.

Çizelge 2. Mesh kalite verileri (Mesh quality data)

	Eleman kalitesi	En-Boy Oranı	Jacobian oranı	Çarpıklık
Ortalama	0.162	2.99	0.913	0.827

2.2. Yapay Sinir Ağları Modeli

Deneysel ve SEA sonuçlarının yanı sıra Yapay sinir ağı modeli de MATLAB yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

SEA ve YSA yöntemleri arasındaki temel farklar şu şekildedir:

- SEA, fiziksel problemlerin matematiksel modellemesinde yüksek doğruluk sağlar, ancak hesaplama süresi ve kaynak gereksinimi yüksektir.
- YSA, özellikle büyük veri setleri ve karmaşık problemlerde hızlı ve etkili sonuçlar sunar. Bu nedenle, mühendislik uygulamalarında YSA özellikle tasarım optimizasyonu ve tahmin modellerinde tercih edilmektedir.

YSA'nın mühendislikte tercih edilme nedenleri şunlardır:

- Hızlı tahmin yeteneği: YSA, büyük veri setlerinde hızlı sonuçlar üretir.
- Esneklik: Farklı aktivasyon fonksiyonları ve katman yapıları ile çeşitli problemlere uyarlanabilir.

Pratik faydalar: Özellikle tasarım optimizasyonu ve gerilme analizi gibi alanlarda, YSA'nın sunduğu pratik çözümler mühendislik uygulamalarını kolaylaştırmaktadır.

Bu sebeple oluşturulan YSA dört gizli katmandan oluşmakta olup, birinci katmanda 13 nöron, ikinci katmanda 17 nöron, üçüncü katmanda 19 nöron ve dördüncü katmanda 16 nöron bulunmaktadır. Optimum YSA modeli, birinci ve ikinci gizli katmanlarda tansig, üçüncü gizli katmanda logsig ve son gizli katmanda purelin aktivasyon fonksiyonları kullanılarak elde edilmiştir.

Ağın eğitim sürecinde öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt (trainlm) algoritması tercih edilmiştir. Bunun nedeni, Levenberg-Marquardt (trainlm) algoritmasının doğrusal olmayan problemlerde en hızlı ve en doğru sonuçları veren algoritma olmasıdır [25-33].

Girdi verilerine bağlı olarak her katmanda bir değer üretilmekte ve bu değer bir sonraki katmana giriş değeri olarak aktarılmaktadır. Bu işlem, her gizli katmanda

Gerilme yığılmalarının dikdörtgen delik köşesinde olacağı öngörülerek yapılan bu işlem sayesinde, kayma gerilmesi kaynaklı ortaya çıkan gerilme yoğunluklarının köşe etrafındaki dağılımı daha doğru şekilde hesaplanmıştır.

Mesh yapısı kalite verileri aşağıdaki gibidir. 56702 node 36640 element ile oluşturulan mesh yapısının kalite verileri Çizelge 2'de verilmiştir.

tekrarlanarak sonuç fonksiyonuna ulaşana kadar devam etmektedir. Hedef sonuç ile YSA çıktısı arasındaki fark en aza indirilinceye kadar süreç yinelenmektedir [25-33].

Önerilen YSA modeli, tansig, logsig ve purelin aktivasyon fonksiyonlarını içermekte olup, bu fonksiyonlar (3) ile (7) numaralı denklemlerde gösterildiği gibi tanımlanmaktadır [25-33].

$$Net\ O = (\sum w_{i,j} \cdot x_j) + b_m \cdot v_{m,n} = (\sum [w_{i,j}] [x_k]) + b_m \cdot v_{m,n} \quad (3)$$

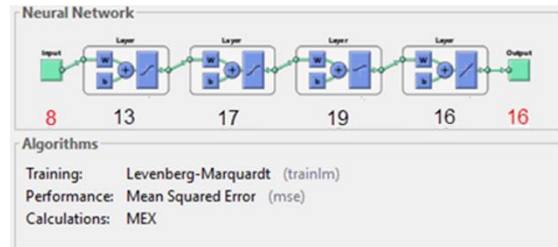
$$x_1 = tansig\ x_1 = \frac{2}{(1 + e^{-2 \sum (w_{i,j} \cdot x_1) + b_1 \cdot v_{1,n}})} - 1 \quad (4)$$

$$x_2 = tansig\ x_2 = \frac{2}{(1 + e^{-2 \sum (w_{i,j} \cdot x_2) + b_2 \cdot v_{2,n}})} - 1 \quad (5)$$

$$x_3 = tansig\ x_3 = \frac{2}{(1 + e^{-2 \sum (w_{i,j} \cdot x_3) + b_3 \cdot v_{3,n}})} - 1 \quad (6)$$

$$x_4 = purelin\ (x_4) \quad (7)$$

Bu çalışmada, ince dikdörtgen levha üzerindeki dikdörtgen deliklerin kayma gerilmesi altındaki gerilme yoğunluğunu tahmin etmek amacıyla trainlm (Levenberg-Marquardt) yöntemi kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritması, hızlı tahmin yeteneği sağlaması nedeniyle Şekil 4' de gösterildiği gibi tercih edilmiştir. Bununla birlikte, tansig, logsig ve purelin aktivasyon fonksiyonları da modelde kullanılmıştır.



Şekil 4. Yapay sinir ağı modelinin eğitim durumunu göstermektedir. Model, 8 giriş ve 16 çıkış parametresi içermektedir. (It shows the training status of the artificial neural network model. The model contains 8 input and 16 output parameters.)

Peterson [1] grafikleri, kayma gerilmesine maruz kalan ince bir levha üzerindeki dikdörtgen deliğe ilişkin verileri içermektedir. Yapay sinir ağı oluşturmak amacıyla, veri seti 22 sütun ve 60 satır olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu verilerin 8 sütunu giriş parametresi, 14 sütunu ise çıkış parametresi olarak kullanılmıştır. Verilerden bir kesit Çizelge 3'de gösterimiştir. Eğitim sürecinde, verilerin %70'i eğitim, kalan %30'u ise doğrulama ve test için eşit olarak bölünerek kullanılmıştır.

Çizelge 3. 22 sütun 60 satır ile YSA için kullanılan verilerin kısaltılmış gösterimi (Abbreviated representation of the data used for ANN with 22 columns and 60 rows.)

	P1-r	P2 - a	P3 - x	-	-	-	-	P22 Safety Factor
	mm	mm	mm	-	-	-	-	
1	5	19.74	29.6	-	-	-	-	1.6943
2	5	14.26	21.39	-	-	-	-	1.7253
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	5	11.084	16.626	-	-	-	-	1.3663
61	5	10.361	15.541	-	-	-	-	1.3225
62	5	10.014	15.021	-	-	-	-	1.0814

Tüm hesaplamalar regresyon analizi ile karşılaştırılmıştır. DeneySEL, SEA ve YSA modeli sonuçları, istatistiksel bir yaklaşımla birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Regresyon analizinde, 8 ile 10 numaralı denklemler kullanılmıştır [34-36].

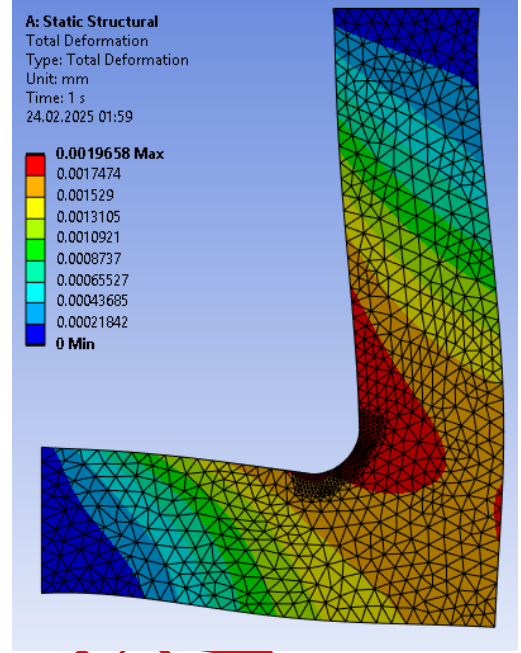
$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right] \quad (8)$$

$$MEP \% = \frac{\sum_j \left(\frac{t_j - o_j}{t_j} \cdot 100 \right)}{p} \quad (9)$$

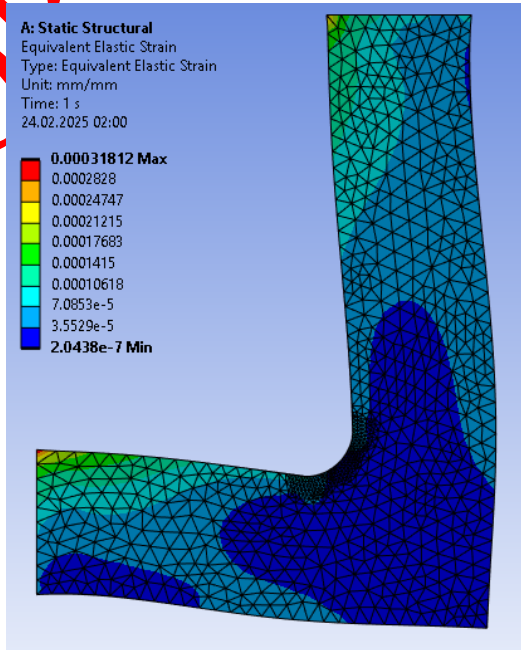
$$RMS = \left[\frac{1}{p} \sum_j |t_j - o_j|^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

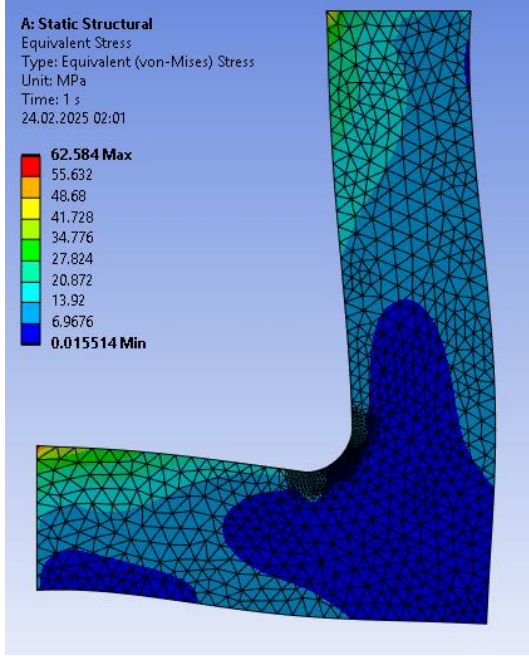
Paslanmaz çelik malzeme ile ANSYS Design Modeler vasıtasıyla tasarlanmış levha, sabitlenebilmesi amacıyla dörtte birlik şekilde simetri tanımı yapılarak hazırlanmış ve kesme kuvvetleri tanımlanmıştır. Bu kuvvetler etkisi ile kayma gerilmesi oluşmuştur. Ortaya çıkan defomasyon, tepki gerilmeleri, gerinim ve güvenlik faktörü sonuçları Şekil 5-10' da gösterilmiştir. Simetrik olarak tanımlanan ¼ (Çeyrek) modelin doğrulanması deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılmış ve Çizelge 4' de gösterilmiştir.



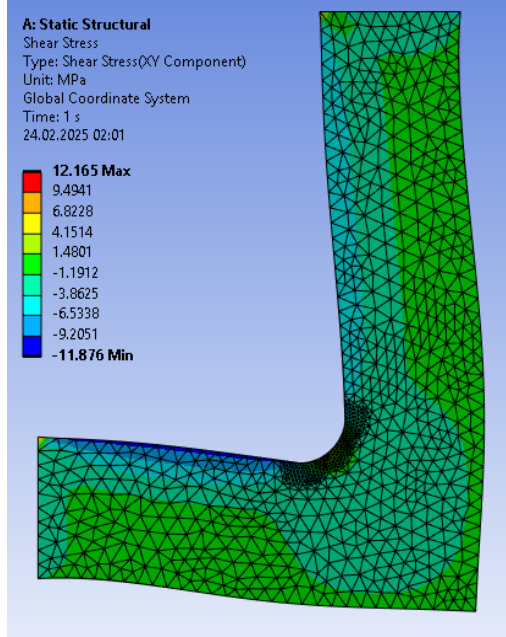
Şekil 5. Dikdörtgen delikli ince plağın sonlu eleman analizi ile bulunan *Total Deformation* sonucu (Total deformation result of the thin plate with rectangular holes found by finite element analysis)



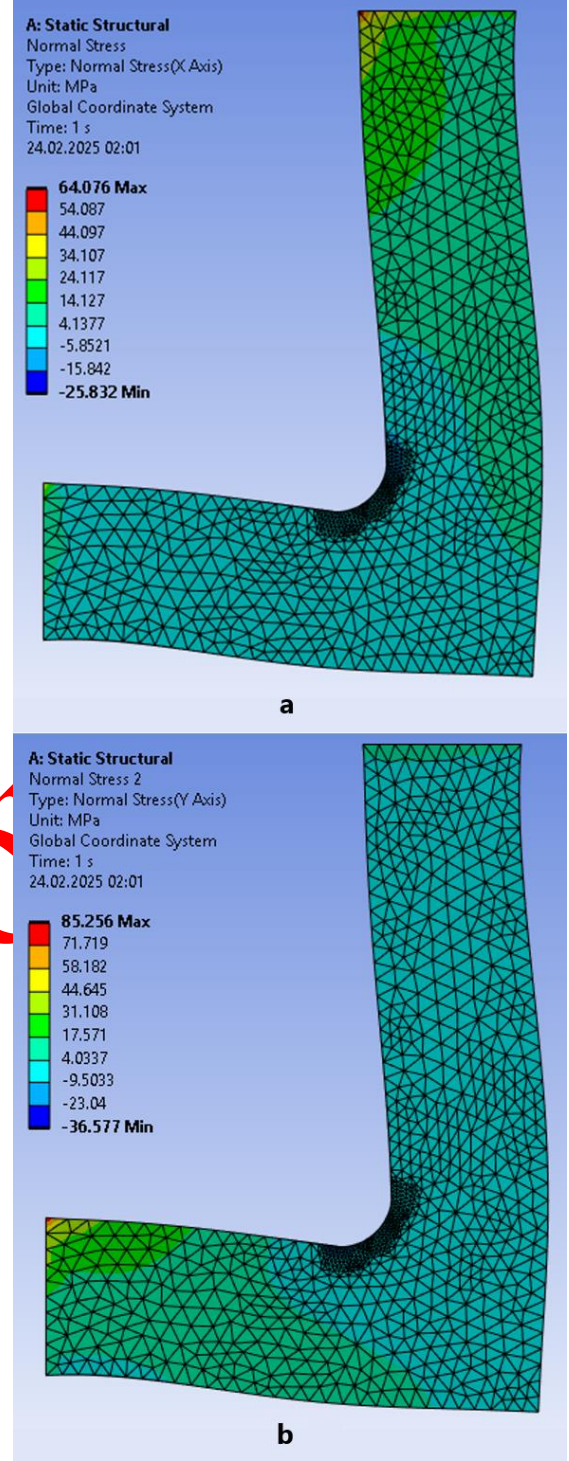
Şekil 6. Dikdörtgen delikli ince plağın sonlu eleman analizi ile bulunan *Equivalent Elastic Strain* sonucu (Equivalent Elastic Strain result of the thin plate with rectangular holes found by finite element analysis)



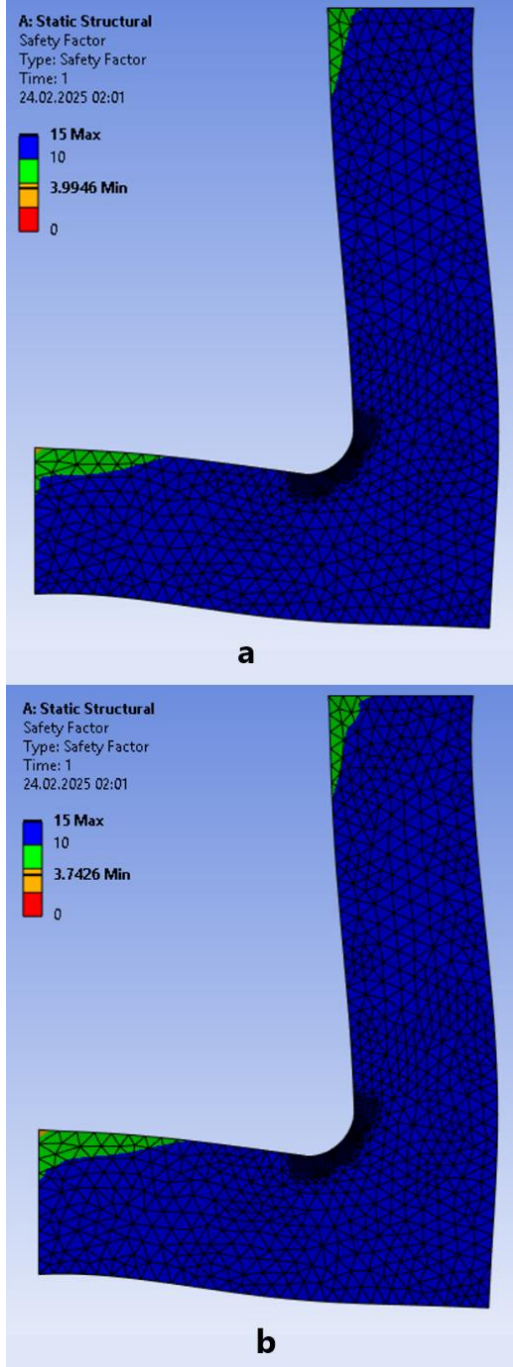
Şekil 7. Dikdörtgen delikli ince plağın sonlu eleman analizi ile bulunan *Equivalent Stress* sonucu (*Equivalent stress result of the thin plate with rectangular holes found by finite element analysis*)



Şekil 8. Dikdörtgen delikli ince plağın sonlu eleman analizi ile bulunan *Shear Stress* sonucu (*Shear Stress result of the thin plate with rectangular holes found by finite element analysis*)



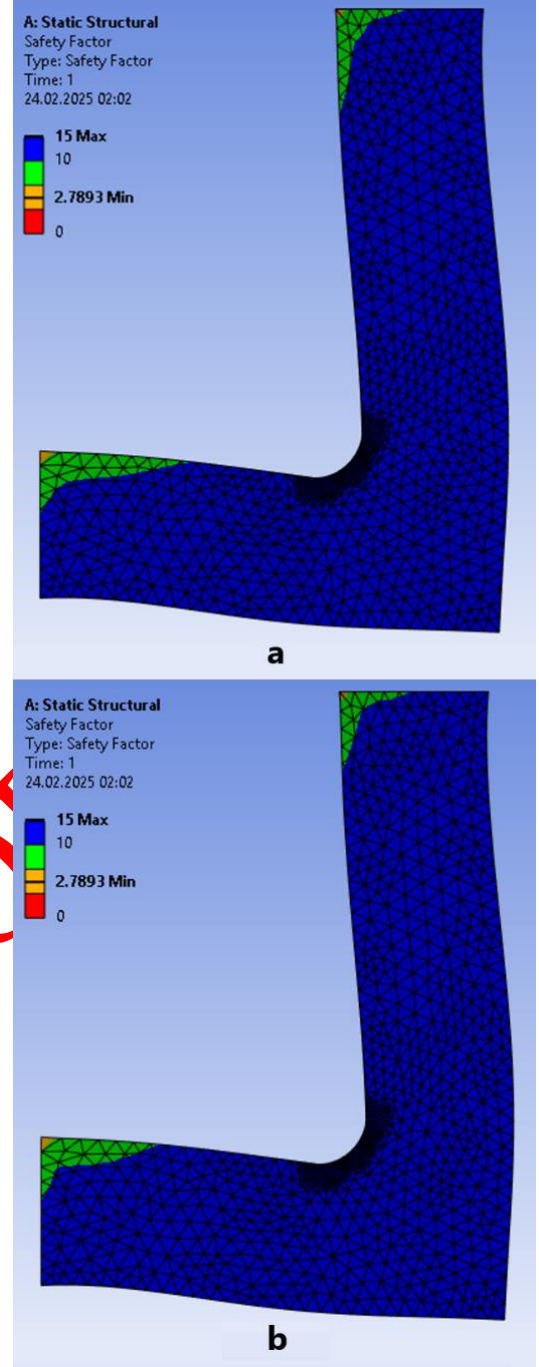
Şekil 9 a-b. Dikdörtgen delikli ince plağın sonlu eleman analizi ile bulunan sırası ile a)x ve b)y eksenlerindeki *Normal Stress* sonucu (*Normal Stress result in a)x and b)y axes respectively found by finite element analysis of thin plate with rectangular holes*)



Şekil 10 a-b. Dikdörtgen delikli ince plağın sonlu eleman analizi ile bulunan sırası ile a)Max Equivalent Stress ve b)Max Shear Stress Safety Factor sonucu (Safety Factor result in a)Max Equivalent Stress and b)Max Shear Stress respectively found by finite element analysis of thin plate with rectangular holes)

3.1. Yapay Sinir Ağları Sonuçları

YSA modelinin oluşturulabilmesi için farklı eğitim algoritmaları ve aktivasyon fonksiyonları test edilmiş, en iyi eğitim ve test performansına sahip model seçilmiştir.



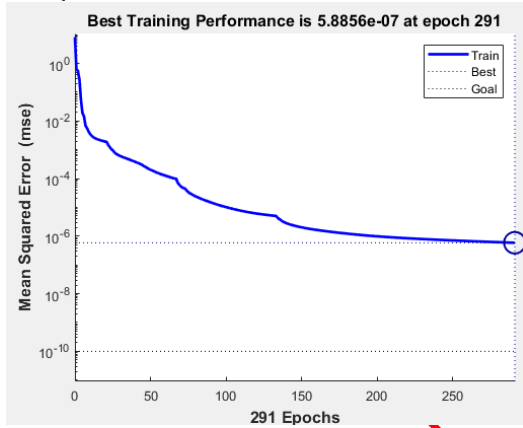
Şekil 11 a-b. Dikdörtgen delikli ince plağın sonlu eleman analizi ile bulunan sırası ile a) Mohr-Coulomb Stress ve b) Max Tensile Stress Safety Factor sonucu (Safety Factor result in a) Mohr-Coulomb Stress and b) Max Tensile Stress respectively found by finite element analysis of thin plate with rectangular holes)

Çizelge 4'te farklı YSA modelleri ve bunların performans değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler, YSA modelinin SEA'ya kıyasla daha düşük hata payı ve daha yüksek doğruluk sunduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. Farklı YSA modelleri ve performans değerleri (Different ANN models and performance values)

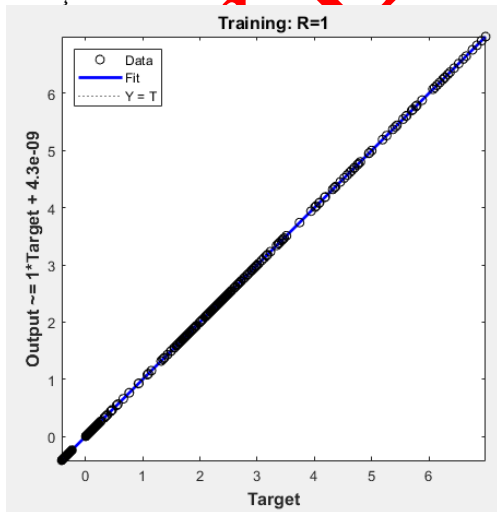
Test No	Net Adı	Eğitim Performans	Test Performans	Eğitim Hatası	Test Hatası	Eğitim Algoritması	Hata Fonksiyonu	Gizli katman Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı katman Aktivasyon Fonksiyonu
1	MLP 7-48-16	-0.026313	-0.129308	1.172011	1.016640	BFGS 22	SOS	Exponential	Softmax
2	MLP 7-48-16	0.115703	0.099995	1.171640	1.016317	BFGS 32	SOS	Logistic	Softmax
3	MLP 7-48-16	0.309876	0.148420	1.142750	0.998711	BFGS 27	SOS	Identity	Softmax
4	MLP 7-41-16	0.816960	0.741181	0.074711	0.022857	BFGS 56	SOS	Logistic	Identity
5	MLP 7-48-16	0.846390	0.540531	0.059933	0.044101	BFGS 55	SOS	Tanh	Exponential
6	MLP 7-48-16	0.875640	0.685486	0.057916	0.030667	BFGS 80	SOS	Logistic	Tanh
7	MLP 7-48-16	0.893884	0.599510	0.040613	0.032830	BFGS 94	SOS	Logistic	Logistic
8	MLP 7-41-16	0.949403	0.728048	0.030309	0.025847	BFGS 109	SOS	Exponential	Exponential
9	MLP 7-48-16	0.956245	0.713887	0.031162	0.031615	BFGS 55	SOS	Tanh	Logistic
10	MLP 7-48-16	0.982114	0.852369	0.012299	0.015053	BFGS 157	SOS	Exponential	Exponential
11	LM 13-17-19-16	0.99999	0.999993	0.999999	0.00429	LM	SOS	[Tansig + tansig + logsig + purelin]	Purelin

Şekil 12’de YSA modelinin en iyi öğrenme performans grafiği verilmiştir. Buna göre model en iyi öğrenme performansı değerini $5.8856.E^{-16}$ olarak 291. Epoch’da göstermiştir.



Şekil 12. En iyi öğrenme performansı (Best Training performance)

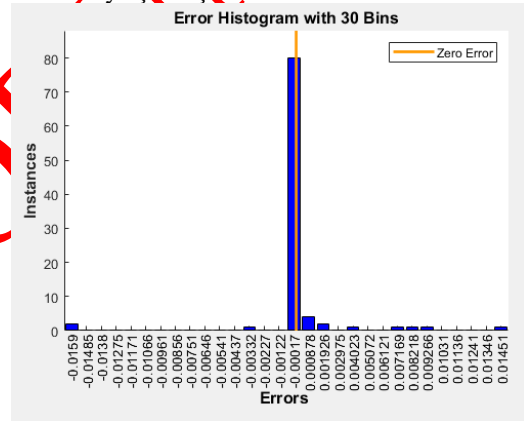
Şekil 13’de Modelin öğrenme performansı R=1 olarak gösterilmiştir.



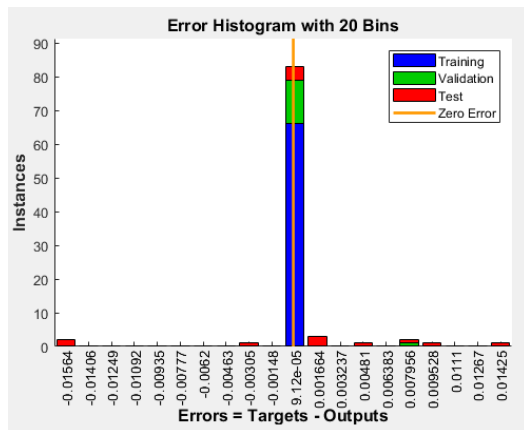
Şekil 13. Öğrenme Performansı (Learning Performance)

Sırası ile Şekil 14 ve 15’de YSA modelinden elde edilen Hata (Error) Histogram 30 Bins ve 20 Bins’lik grafikleri

gösterilmiştir. Buna göre Şekil 13’de %80’lik veriyi 0 hata ile, %5’lik veriyi 0.000878’lik hata ile ve geri kalan %15’lik verilerde ise % 0.0019 ile %0.015 hata payları olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 14’de ise yaklaşık %85’inde hata sıfıra çok yakın olmakla birlikte geriye kalan %15’lik bölümde ise hata payları 0.0015 ile 0.015 arasında ortaya çıkmıştır.

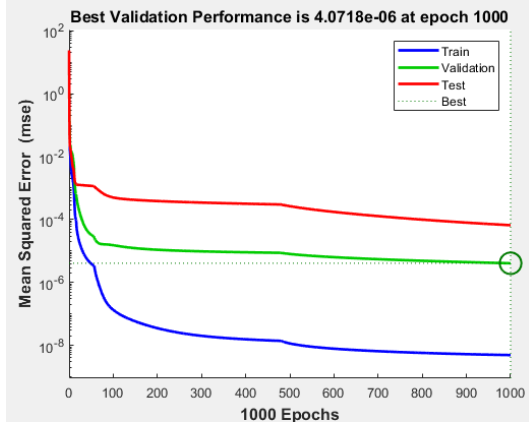


Şekil 14. Hata Histogram 30 Bins (Histogram 30 Bins)



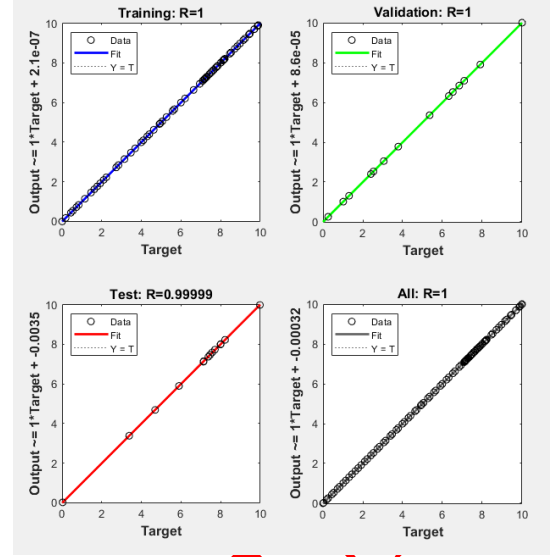
Şekil 15. Hata Histogram 20 Bins (Error Histogram 20 Bins)

Şekil 16’da En iyi Doğrulama performansı grafiğinde test, doğrulama (Validation) ve öğrenme (Train) verileri gösterilmiştir. Test verilerindeki hata seviyesi 10^{-4} , doğrulama (Validation) 10^{-5} ’den az ve öğrenme (Train) 10^{-8} ’den az hata gerçekleşmiştir.



Şekil 16. En iyi doğrulama performansı (Best verification performance)

Şekil 17’de ise modelin Eğitim (Training), Test, doğrulama (validation) verilerinin yanı sıra genel (overall) Performans değerleri de gösterilmiştir.



Şekil 17. Eğitim, Test, Validasyon ve genel Performans (Training, Testing, Validation and overall Performance)

Çizelge 5. Deneyisel 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)

	YSA Model	MEP %	RMS	R ²
Deneyisel veri-SEA veri	-	0.00736335	0.00109659	1
Deneyisel veri-YSA model	L-M [13-17-19-16]	0.047939739	0.002938372	~1
SEA veri - YSA model	L-M [13-17-19-16]	0.049298734	0.003241006	~1

Buna göre; modelin öğrenme (training), doğrulama (validation) ve genel (overall) performansı 1 olarak ortaya çıkarken, test performansı 0.99999 olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlar, modelin yüksek doğrulukta ve tutarlılıkta çalıştığını göstermektedir. Performans değerinin 1 olması, modelin eğitim ve doğrulama veri setlerindeki tahminlerinin hedef değerlerle tamamen örtüştüğünü ifade eder. Test performansının 0.99999 olması ise, modelin eğitim sırasında görmediği yeni verilere (test verilerine) karşı da neredeyse mükemmel yakın bir tahmin yeteneği sergilediğini göstermektedir.

SEA, mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan ve fiziksel süreçleri detaylı olarak modelleyebilen güçlü bir yöntemdir. Ancak, yüksek hesaplama maliyeti, karmaşık geometrilere uzun çözüm süreleri ve parametre duyarlılığı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Buna karşılık, YSA modelleri, veriye dayalı öğrenme süreci sayesinde çok daha hızlı sonuçlar üretebilmekte ve büyük veri setlerinden elde edilen bilgileri işleyerek karmaşık mühendislik problemlerinde etkin bir alternatif sunmaktadır.

Bu çalışmada, YSA modeli ile elde edilen tahmin sonuçları, SEA ve deneyisel verilerle karşılaştırılmıştır. Çizelge 5’de, deneyisel veriler ile SEA ve YSA’nın performans karşılaştırması verilmiştir. Burada, YSA modelinin R² değerinin ~1’e çok yakın olduğu ve hata oranlarının (MEP ve RMS) SEA modeline göre daha düşük seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, YSA’nın mühendislik uygulamalarında, özellikle karmaşık malzeme davranışlarını modelleme açısından SEA’ya kıyasla daha verimli bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, literatürde benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında YSA modelinin mühendislik uygulamalarında yüksek doğruluk oranları ile kullanılabilir olduğunu ve karmaşık yapısal analizlerde etkili bir alternatif sunduğunu göstermektedir. Önceki çalışmaların çoğunda, SEA yönteminin doğruluğuna vurgu yapılmakla birlikte, YSA’nın sağladığı hız, düşük hesaplama maliyeti ve veri odaklı tahmin yetenekleri sayesinde birçok mühendislik probleminin çözümünde SEA’ya kıyasla avantaj sunduğu belirtilmiştir [2, 4, 6].

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, dikdörtgen delikli ince levhalarda kayma gerilmesinden kaynaklanan gerilme yığılma faktörü (Kt) değerleri, Peterson’un deneyisel verileri ışığında incelenmiştir. Bu amaçla, SEA, Regresyon ve YSA modelleri oluşturulmuş ve bu üç yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen a/b oranlarına karşılık gelen veriler sayısal hale getirilmiş, ardından r/a, a/b ve Kt değerleri temel alınarak parametreler hesaplanmış ve sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan bu modeller, SEA yöntemiyle ANSYS yazılımı kullanılarak parametrik bir şekilde modellenmiş ve çözüm sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca, SEA ve YSA modeli geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. YSA yöntemi ile dikdörtgen delikli

ince levhadaki gerilme yığılma faktörünün hızlı ve düşük maliyetle hesaplanabileceği, bu durumun tasarımcılar ve imalat mühendisleri için tasarım süreçlerini kolaylaştıracağı vurgulanmıştır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Oğuzhan NAZLIM: Literatürdeki deney sonuçlarını sayısalılaştırmış ve sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmiştir. Yapay sinir ağı modelini oluşturmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Özkan, M. and M. Kaygisiz, "Elipsel Delikli Plakalarda Oluşan Gerilmelerin Tanımlanması ve Yapay Sinir Ağları ile Tahmini". *Gazi University Journal of Science Part C*, 4: p. 135-145, (2016).
- [2] Ozkan, M.T. and F. Erdemir, "Determination of theoretical stress concentration factor for circular/elliptical holes with reinforcement using analytical, finite element method and artificial neural network techniques". *Neural Computing and Applications*, 33(19): p. 12641-12659, (2021).
- [3] Özkan, M. and F. Erdemir, "Determination of theoretical stress concentration factor for circular/elliptical holes with reinforcement using analytical, finite element method and artificial neural network techniques". *Neural Computing and Applications*, 33, (2021).
- [4] Özkan, M.T., M. Eren, and I. Toktaş, "Modeling of Stress Concentration Factor Using Artificial Neural Networks for a Flat Tension Bar with Opposite V-Shaped Notches". *Politeknik Dergisi*, 26(3): p. 1199-1205, (2023).
- [5] Erdemir, F., et al., "Determination of Stress Concentration Factor (Kt) for a Crankshaft Under Bending Loading: An Artificial Neural Networks Approach". *Politeknik Dergisi*, 23(3): p. 813-819, (2020).
- [6] Ozkan, M.T. and F. Erdemir, "Determination of stress concentration factors for shafts under tension". 62(4): p. 413-421, (2020).
- [7] Pandey, M., et al., "Investigation of Variation in Stress Concentration Factor with the Change in Orientation of Central Hole on a Rectangular Plate". in *Recent Advances in Mechanical Engineering*, Singapore: Springer Singapore. (2021).
- [8] Patel, B.P. and R.H. Patel, "Determination and Analysis of Stress Concentration Factor in Finite Plate With Different Polygonal Discontinuities Under Uniaxial Compression Using Finite Element Analysis (FEA)". *Engineering Research Express*, 6(2): p. 025552, (2024).
- [9] Akour, S. and D. Nicholson, "Defense Hole Design for a Shear Dominant Loaded Plate". *International Journal of Applied Mechanics*, 2: p. 381-398, (2010).
- [10] Guan, Y. and Y. Li, "Stress Concentration and Optimized Analysis of an Arbitrarily Shaped Hole with a Graded Layer under Anti-Plane Shear". *Applied Sciences*, 8: p. 2619, (2018).
- [11] Zhu, Z., et al., "Shear Buckling of Ship Plates With Different Holes". *Mechanics & Industry*, 23: p. 4, (2022).
- [12] Kambale, S.R. and U.D. Gulhane, "Relief holes for the mitigation of stress concentration factor of a thin rectangular plate under in-plane loading". *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 1: p. 166-174, (2015).
- [13] Yang, Z., et al., "The Concentration of Stress and Strain in Finite Thickness Elastic Plate Containing a Circular Hole". *International Journal of Solids and Structures*, 45(3-4): p. 713-731, (2008).
- [14] Chauhan, M.M. and D.S. Sharma, "Stresses in finite anisotropic plate weakened by rectangular hole". *International Journal of Mechanical Sciences*, 101-102: p. 272-279, (2015).
- [15] Daye, J.M. and D.S. Sharma, "Stress field around rectangular hole in functionally graded plate". *International Journal of Mechanical Sciences*, 136: p. 360-370, (2018).
- [16] Jafari, M., M.H. Bayati Chaleshtari, and H. Abdolalian, "General solution of stress field in exponential functionally graded material plates containing a quasi-rectangular cutout". *Journal of Composite Materials*, 53(3): p. 405-421, (2019).
- [17] Louhghalam, A., et al., "Analysis of stress concentrations in plates with rectangular openings by a combined conformal mapping – Finite element approach". *International Journal of Solids and Structures*, 48(13): p. 1991-2004, (2011).
- [18] Nageswara Rao, D.K., et al., "Stress around square and rectangular cutouts in symmetric laminates". *Composite Structures*, 92(12): p. 2845-2859, (2010).
- [19] Pan, Z., Y. Cheng, and J. Liu, "Stress analysis of a finite plate with a rectangular hole subjected to uniaxial tension using modified stress functions". *International Journal of Mechanical Sciences*, 75: p. 265-277, (2013).
- [20] Rahman, S., "Stress Analysis of Finite Steel Plate with a Rectangular Hole Subjected to Uniaxial Stress Using Finite Element Method". *Journal of Marine Science: Research & Development*, 08, (2018).
- [21] Gunwant, D., "Stress Concentration Studies in Flat Plates with Rectangular Cut-Outs Using Finite Element Method". *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 4: p. 66-76, (2019).
- [22] L.Bharambe, S.I.K., "Stress Concentration of plate with rectangular cutout". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(4): p. 3671-3675, (2019).
- [23] Toktaş, İ., "Eliptik Delikli İnce Cıdarlı Küresel Bir Elemanın Basınç Altında Gerilme Yığılma Faktörünün Sonlu Elemanlar Analizi Ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi". *Politeknik Dergisi*, 27(2): p. 819-827, (2024).

- [24] Pilkey, W. and D. Pilkey," *Peterson's Stress Concentration Factors, Third Edition*". **Peterson's Stress Concentration Factors, Third Edition**: p. 1-522, (2008).
- [25] Beale, M.H. and H.B. Demuth," *Neural network toolbox for MATLAB*". **MathWorks**, 2, (2002).
- [26] Beale, M.H., M.T. Hagan, and H.B. Demuth," *Neural network toolbox Getting Started Guide*". **MathWorks**, 2, (2016).
- [27] Beale, M.H., M.T. Hagan, and H.B. Demuth," *Neural network toolbox 1User's Guide*". **MathWorks**, 2, (2018).
- [28] Domany, E., J.L. van Hemmen, and K. Schulten," **Models of neural networks II**". Springer Science & Business Media, (1995).
- [29] Hagan, M.T., H.B. Demuth, and M.H. Beale," **Neural Network Design**". PWS Pub. (1996).
- [30] Hagan, M.T. and M.B. Menhaj," *Training feedforward networks with the Marquardt algorithm*". **IEEE transactions on Neural Networks**, 5(6): p. 989-993, (1994).
- [31] Haykin, S.S.," **Neural Networks: A Comprehensive Foundation**". Prentice Hall PTR, (1998).
- [32] Haykin, S.S.," **Neural Networks and Learning Machines**"., (2008).
- [33] Smith, J.," **Neural Network Architectures. Examples Using MATLAB**". CreateSpace Independent Publishing Platform, (2017).
- [34] Werbos, P.," **Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Science. Thesis (Ph. D.)**. Appl. Math. Harvard University", (1974).
- [35] Rosenblatt, J.," **Basic Statistical Methods and Models for the Sciences (1st ed.)**". Oxford University Press (2002).
- [36] Perez, C.," **Cluster Analysis and Applications (Statistics And Data Analysis with Matlab)**". CESAR PEREZ (2019).

ERKEN GÖRÜNÜMÜ