Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:3 (2017) 821-829

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Tsai-wu kriteri kullanarak kompozit plakaların optimizasyonu için geliştirilen algoritma

Mehmet Hanifi Doğru*
Gaziantep Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Pilotaj Bölümü, 27310, Gaziantep, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Kompozit plaka tasarımı
- Tasarım için topoloji optimizasyon yöntemi kullanılması
- Optimizasyon için Tsai-Wu kriteri kullanılarak algoritma geliştirilmesi

Makale Bilgileri
Geliş: 22.09.2016
Kabul: 20.03.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.337630

Anahtar Kelimeler:
Elyaf takviyeli kompozitler, tasarım optimizasyonu, sonlu elemanlar analizi, tsai-wu kriteri, kırılma analizi

ÖZET

Bu çalışmada Tsai-Wu kriteri kullanarak kompozit plakaların topoloji optimizasyonu için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Gerilme tabanlı topoloji optimizasyon problemleri için Von-Mises gerilmesi tasarım değişkeni olarak kullanılmaktadır. Von-Mises gerilmesi izotropik malzemelerde bileşik gerilmenin toplam etkisini görebilmek için kullanılmaktadır. Ortotropik özelliğe sahip kompozit malzemeler için Von-Mises gerilmesi kullanımı sağlıklı sonuç vermemektedir. Kompozit malzemelerin dayanım sınırlarını belirlemek için maksimum gerilme, maksimum gerinim, Azzi Tasi Hill, Tsai-Wu gibi kriterler kullanılmaktadır. Bu çalışmada optimizasyon algoritmasında tasarım değişkeni olarak kırılma indis değeri ve bu değeri hesaplamak için de Tsai-Wu kriteri kullanılmıştır. Topoloji optimizasyonu, malzemenin kütlesel ve şekilsel tasarımı için kullanılan tasarım araçlarından birisidir. Bu çalışmada kompozit malzemelerin optimizasyonu için yeni bir topoloji optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmada, yaygın kullanılan temel geometrik modellerde, farklı elyaf açılarına göre topoloji optimizasyonu yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın kullanımı ile malzeme kırılma indis değerleri aşılmadan %50 ye varan kütlesel iyileştirme elde edilmiştir.

An improved algorithm for optimization of composite plates using tsai-wu criteria

HIGHLIGHTS

- Design of composite plate
- Using of topology optimization method for the design
- Improving of an algorithm using Tsai-Wu criteria for the optimization

Article Info
Received: 22.09.2016
Accepted: 20.03.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.337630

Keywords:
Fiber reinforcement composites, design optimization, finite element analysis, tsai-wu criteria, failure analysis

ABSTRACT

In this study, a new algorithm has been developed for Design Optimization of composite plates using Tsai-Wu criteria. Von-Mises stress criteria is used as design variable for the stress based Design Optimization problems. It is used to understand the effect of combined stresses on the isotropic materials. However, Von-Mises stress analysis is not appropriate for anisotropic composite materials. To define the strength of composite materials, maximum stress, maximum strain, Azzi Tasi Hill and Tsai-Wu criterias are used. In this study, failure index was used as design criteria and Tsai-Wu criteria was used to calculate this value in the optimization algorithm. Topology optimization, which is used for mass and shape optimization on structures, is a design tool. In this study, a new algorithm has been developed for topology optimization of composite materials. By using this algorithm, common geometric models and different fiber angles have been investigated. Nearly 50% mass reduction have been obtained by using the developed algorithm.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mhdogru@gantep.edu.tr / Tel: +90 342 360 12 00

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstriyel uygulamalarda, elyaf takviyeli kompozitler (ETK), metal matris kompozitler (MMK) ve seramik matris kompozitler (SMK) olmak üzere yaygın olarak üç tür kompozit malzeme kullanılmaktadır. Malzeme teknolojilerinin gelişmesi ile yaygın kullanılan izotropik malzemelerin (Çelik, Alüminyum vs.) yanı sıra kompozit malzemelerin kullanımı da artış göstermektedir. Malzeme ağırlığında ve şeklinde iyileştirmeler sağlayan topoloji optimizasyon uygulamaları izotropik malzemelerde kolaylıkla gerçekleştirilebilirken, izotropik olmayan malzemeler için halen çözülmesi gereken problemler mevcuttur. Bu güçlüklerin aşılabilmesi için izotropik olmayan malzemelerin topoloji optimizasyonunda yeni algoritmaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Optimum ağırlık-mukavemet oranı elde etmek için kullanılan topoloji optimizasyonu, seviye ayar metodu, malzeme bulut metodu, genetik algoritma, evrimsel metot ve eleman silme metodu gibi metotlar kullanılarak uygulanmaktadır. Bu çalışmada izotropik olmayan malzeme özelliğine sahip elyaf takviyeli kompozitler için yeni bir topoloji optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Çalışmada optimizasyon metotlarından eleman silme metodu kullanılmıştır.

Literatürde kompozit malzemelerin optimizasyonu için farklı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda, kalınlık, elyaf açısı ve katman sayısı gibi farklı parametreler optimize edilmiştir. Geometrik olarak doğrusal olmayan kompozit yapılarda kırılma açısından güvenlik optimizasyon problemi Johansen vd. [1] tarafından çalışılmıştır. Çalışmada tek tabakadan oluşan katı kabuk elemanları için üç boyutlu sonlu eleman modeli kullanılarak elyaf açısı optimize edilmiştir. Sørensen ve Lund [2] tek parça katmanlı kompozitlerin kalınlık ve topoloji optimizasyonu için yeni bir optimizasyon yöntemi üzerinde çalışmışlardır. Bu yöntemde endüstriyel uygulamalar için imalat kısıtlamaları uygulanabilmektedir. Kalınlık ve elyaf oryantasyonu eş zamanlı olarak optimize edilmiştir. İzotropik olmayan kompozit yapıların topoloji optimizasyonu için Sun vd. [3] tarafından çift yönlü evrimsel yapısal optimizasyon metodu kullanılmıştır. Bu çalışma ile kompozit malzemelerde gerilme konsantrasyonu indirgenmiştir. Bruggi ve Taliercio [4] tarafından yapılan çalışmada ise mevcut yapı elemanlarının yapısal performansını artırmak için tek yönlü elyaf takviyeli optimal tasarımlar açısından bir sayısal yaklaşım sunularak, topoloji optimizasyon problemi formülize edilmiştir. Aynı zamanda güçlendirilmiş bölgeler ve takviyenin optimal noktasal eğimi araştırılmıştır. Göv [5] tarafından kompozitlerin katman sayısı ve elyaf açısı optimizasyonu için yeni yaklaşım geliştirilmiştir. Kullanılan gerilme değeri ve maksimum gerilme kırılma teorisi ile elyaf açısı ve katman sayısı belirlenmiştir. Duysinx ve Bendsøe [6]'nin yapmış oldukları çalışmada yerel gerilme kriterleri iyileştirilmesinde kullanılan sürekli yapıların topoloji optimizasyonu için bir araştırma yapılmıştır. Delikli kompozit malzemelerin gerilme kriterleri göz önünde bulundurularak, teorik çalışmanın temelinde, rijitlik modelini açıklayan deneysel modeller önerilmiştir. Numerik optimizasyon problemlerini çözmek ve örnek uygulama sonuçlarını göstermek için matematiksel programlama yöntemi uygulanmıştır. Wang vd.'nin [7] yapmış oldukları çalışmada topoloji optimizasyonu için yeni yaklaşım önerilmiştir. Daha yüksek ölçülü skalar fonksiyonlarda gömülü olan seviye ayar metodu kullanılarak, yapısal sınırlar belirlenmiştir. Kompleks topolojik değişikliklerin ele alınmasında ve yapıların şeklinin belirlenmesinde seviye ayar modellerinin kullanılması önerilmiştir. Suziki ve Kikuchi [8] tarafından doğrusal elastik yapıların topoloji optimizasyonu ve şekli, homojenleştirme metodunun modifikasyonları kullanılarak araştırılmıştır. Düzlemsel yapılar için mevcut yaklaşımın geçerliliği ve gücü birçok örnekle test edilmiştir. Baran vd. [9] tarafından yapılan çalışmada, radar anteni için doğal frekansın anten yüzeyine göre optimizasyonu çalışılmıştır. Yıldız [10] tarafından yapılan çalışmada otomobillerin ön süspansiyon sisteminde kullanılan salıncak kolunun, sırasıyla topoloji ve şekil optimizasyonu yapılarak optimum boyutları bulunmuştur. Yapay arı koloni algoritması şekil optimizasyonu için kullanılmıştır.

Öztürk ve Şendeniz [11] tarafından yapılan çalışmada yolcu koltuğu öncelikle ECE-R14 çekme testi simülasyonlarına tabi tutulmuştur. Ardından ayaklara topoloji optimizasyonu uygulanarak ağırlık anlamında kazanımlar elde edilmiştir. Özkal ve Uysal [12] tarafından yapılan çalışma kapsamında boyut ve şekil optimizasyonu yöntemlerine kıyasla kullanım alanı daha geniş olan topoloji optimizasyonu temelindeki evrimsel yapı optimizasyonu (EYO) yöntemi ile üç boyutlu konsol kirişler üzerinde çeşitli uygulamalar yapılmış ve elde edilen tasarımların çubuk analojisi yöntemine uyarlana bilirliği irdelenmiştir. Borrvall ve Petersson [13] tarafından yapılan çalışmada stokes akışında akışkanların topoloji optimizasyonu irdelenmiştir. Çalışmanın amacı akışkanların içindeki kuvvetlerin eksikliğinde sabit hacim de güç fonksiyonlarını minimize edilmesidir. Tasarım parametrelerinin temelinde genelleştirilmiş stokes problemleri türetilmiştir. Yıldız vd. [14] tarafından otomotiv endüstrisinde, topoloji optimizasyonu ile taşıt elemanlarının nasıl optimum şekilde tasarlanabileceği konusu araştırılmıştır. Bu çalışma ön süspansiyon sistemlerinde kullanılan salıncak kolu ve motor bağlantı elemanı örneklerine uygulanarak verilmiştir. Yavuzcan vd. [15] tarafından yapılan çalışmada, imalatta kullanılan tezgâhların ağırlık optimizasyonlarının önemini ortaya koymak amacıyla jant üretiminde kullanılan bir tezgâhın yapısal analizine yönelik ağırlık optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve tezgâh hafifletilmiştir. Mukavemet analizi ve hafifletilmiş model karşılaştırılmış ve tezgâh üzerindeki yük dağılımlarının kabul edilebilir seviyede olduğu sunulmuştur. Yang ve Chen [16] klemplenmiş sabit kiriş, klemplenmiş kabuk kiriş ve basitleştirilmiş taşıt gövde yapısına gerilim tabanlı topoloji optimizasyonu yöntemini uygulamış ve minimum gerilim tasarımına bu yöntemle ulaşmanın mümkün olduğu gösterilmiştir. Topoloji optimizasyon problemlerinin öz kütle metoduyla çözüldüğü bu çalışmada,

minimum gerilim tasarımından elde edilen sonucun maksimum sağlamlık tasarımından elde edilen sonuçla aynı olma zorunluluğunun olmadığı belirtilmiştir. Nishiwaki vd. [17] tarafından esneklik içeren yapılarda optimum topolojiyi belirleme metodolojisi çalışılmıştır. Çalışmada esnekliğin formülizasyonu ve homojenizasyon yöntemi için karşılıklı enerji yöntemi temel alınmıştır. Uyumlu mekanizma tasarımı uygulaması olarak çok amaçlı optimizasyon problemi formülize edilmiştir. Yılmaz ve Bekiroğlu [18] tarafından yapılan çalışmada monotonik yükleme altında sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilen alın levhalı bulonlu birleşimlerde, alın levhası kalınlığı değişimi ile panel bölgesi güçlendirmesinin etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemelere göre, panel bölgesinin güçlendirilmesi, kolondaki panel bölgesinin şekil değiştirmesinin azalmasına, kiriş başlıklarının ve gövdesinin daha erken burkulmasına ve dönme kapasitelerinin azalmasına sebep olmuştur. Apalak vd. [19] tarafından yapılan çalışmada, tabakalı kompozit levhaların maksimum frekansı için klasik üç kenarlı durumların kombinasyonları altında, tabaka optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tabakalı kompozit plakaların optimum dizilim sırası genetik algoritma kullanılarak araştırılmıştır.

Literatür taraması sonucunda, havacılık sektöründen makina tasarım sektörüne kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılan kompozit malzemelerin topoloji optimizasyonu ile ilgili yeteri kadar çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada topoloji optimizasyonu izotropik olmayan malzeme özelliklerine sahip elyaf takviyeli kompozit malzemelere uygulanmıştır. Topoloji optimizasyonunda izin verilen kırılma indis değerleri içerisinde eleman silme metodu kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma ile kullanım alanı gittikçe yaygınlaşan kompozit malzemelerin optimizasyonu mümkün hale gelmektedir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER İÇİN ELEMAN SİLME YÖNTEMİ
(ELEMENT REMOVAL METHOD FOR COMPOSITE MATERIALS)

Bu çalışmada Eleman Silme Yöntemi (ESY) [20] topoloji optimizasyon yöntemi olarak kullanılmıştır. Eleman silme yönteminde çözüm süresi diğer topoloji optimizasyon yöntemlerine kıyasla daha kısa olduğu [20] için tercih edilmiştir. Eleman Silme Yönteminin ana prensibi, sistematik olarak daha az etkili (nispeten daha az gerilimli) elemanların sonlu elemanlar modelinden silinmesidir [21]. İzotropik malzemelerde birleşik gerilim hesaplaması için Von-Mises gerilimi kullanılmaktadır. Optimizasyon sırasında en düşük Von-Misses gerilimine sahip olan elemanlar silinmekte ve sonuç olarak optimize edilmiş model elde edilmektedir. Von-Mises gerilimi izotropik malzemelerin kullanımına uygun olmasına rağmen izotropik olmayan kompozit malzemeler için uygun olmamaktadır. Bu nedenle kompozit tasarım kümesinden daha az etkili elemanları seçmek için Tsai-Wu kırılma koşulu optimizasyon işlemine uyarlanmıştır. Tsai-Wu teorisi deneysel çalışmalara en yakın sonuçlar verdiği [22] için bu çalışmada tercih edilmiştir.

Şekil 1'de ESY'nin bir akış şeması yer almaktadır. Bu yöntemde, kompozit tasarım kümesi ve kısıtlamalar (kırılma indisi ve hacim azaltma) tanımlanarak, optimizasyon döngüsü başlatılmaktadır. Döngüde, sonlu elemanlar analizi uygulanmaktadır. Tsai-Wu eşitlikleri (Eş. 1, Eş. 2, Eş. 3, Eş. 4, Eş. 5, Eş. 6, Eş. 7, Eş. 8) kullanılarak her elemanın kırılma indisi hesaplanmakta ve daha az etkili elemanlar belirlenmektedir. Sonrasında, düzgün malzeme dağılımı elde etmek için bir seçim iyileştirme algoritması uygulanmaktadır. Sonlu elemanlar modelinden daha az etkili elemanlar silinmekte ve bir sonraki döngüde kullanılmamaktadır. Döngünün bütün adımlarında kısıtlamalar (kırılma indisi ya da hacim azaltma oranı) kontrol edilmektedir. Herhangi bir kısıt değeri aşıldığında optimizasyon işlemi durdurulmakta ve optimize edilmiş şekil elde edilmektedir. Kısıt değerlerinin aşılmadığı durumlarda ise işlem döngüsü kullanıcı tarafından belirlenen maksimum döngü sayısına kadar devam ettirilmektedir.

$$KI = F_1\sigma_{11} + F_2\sigma_{22} + F_6\tau_{12} + F_{11}\sigma_{11}^2 + F_{22}\sigma_{22}^2 + F_{66}\tau_{12}^2 + 2F_{12}\sigma_{11}\sigma_{22} \quad (1)$$

KI kırılma indisi değeri, F_1, F_2, F_6, F_{11}, F_{22}, F_{66} ve F_{12} mukavemet katsayıları [22]

$$F_1 = \frac{1}{S_{Lt}} - \frac{1}{S_{Lc}} \quad (2)$$

$$F_2 = \frac{1}{S_{Tt}} - \frac{1}{S_{Tc}} \quad (3)$$

$$F_6 = 0 \quad (4)$$

$$F_{11} = \frac{1}{S_{Lt}S_{Lc}} \quad (5)$$

$$F_{22} = \frac{1}{S_{Tt}S_{Tc}} \quad (6)$$

$$F_{66} = \frac{1}{S_{LTs}^2} \quad (7)$$

S_{Tt}, S_{Tc}, S_{Lt}, S_{Lc}, S_{LTs} sırasıyla; enine çekme mukavemeti, enine basma mukavemeti, boyuna çekme mukavemeti, boyuna basma mukavemeti ve kesme mukavemeti [22].

$$-\frac{1}{2}(F_{11}F_{22})^{1/2} \leq F_{12} \leq 0 \quad (8)$$

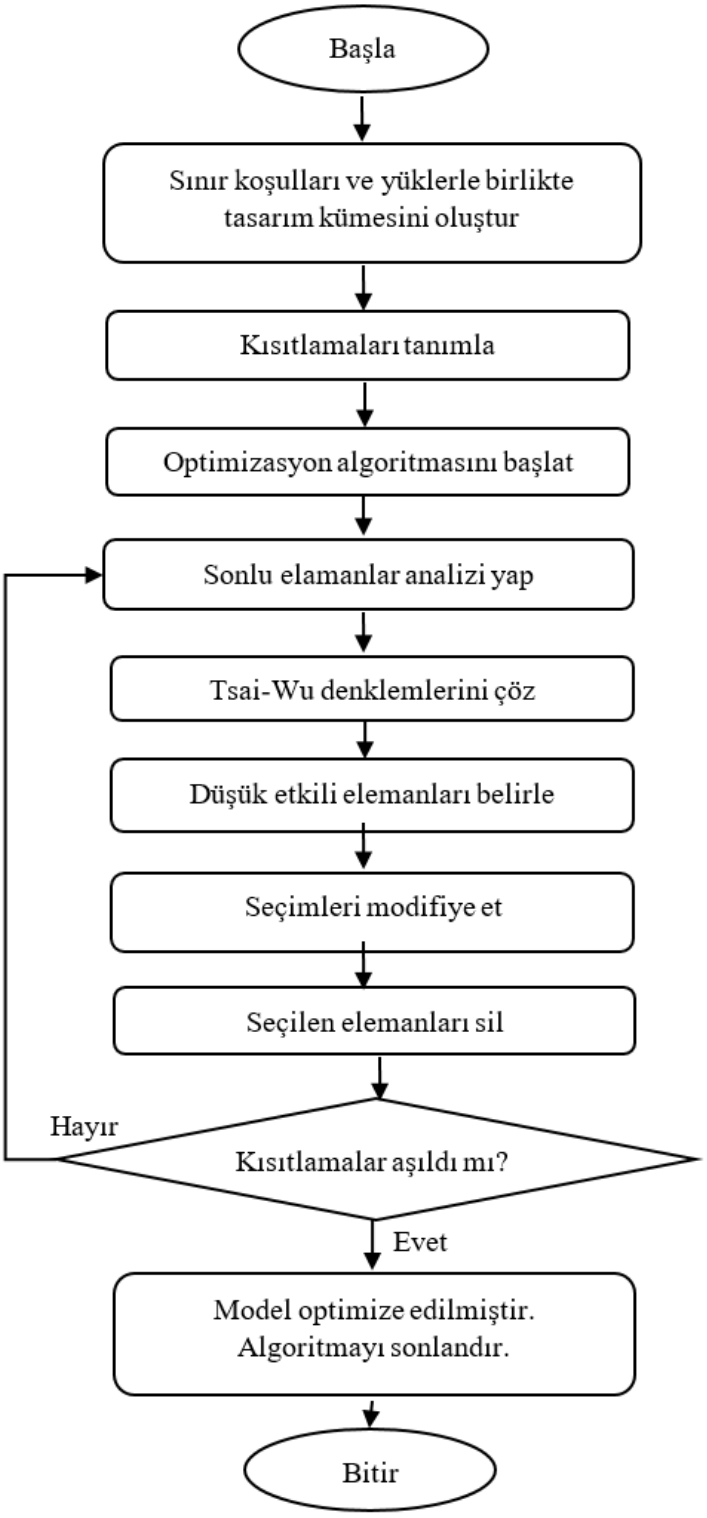
Deneysel veri olmadığı durumlarda, yukarıdaki denklemin (Eş. 8) alt limiti olarak genellikle F_{12} kullanılmaktadır [22].

2.1. Eleman Silme Yönteminin Adımları
(Element Removal Method Steps)

Şekil 1'de verilen algoritmanın işleyişi aşağıda adımlar halinde verilmiştir.

1. Yükler ve sınır koşullarıyla sonlu elemanlar modeli oluşturulmakta ve aşağıdaki değişkenler tanımlanmaktadır.

Hacim kısıtlaması, Kırılma indisi kısıtlaması.

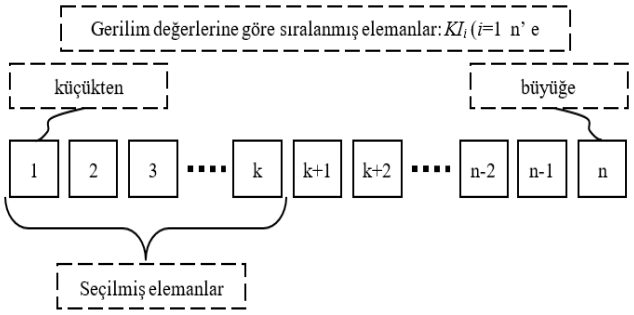


Şekil 1. Eleman silme yöntemi işleyişi (Element Removal Method Process)

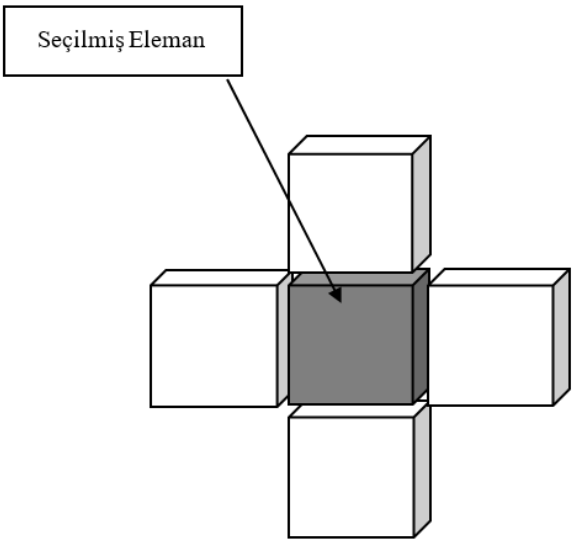
2. Değişkenler tanımlandıktan sonra optimizasyon döngüsü başlatılmaktadır. Optimizasyon döngüsünde her elemanın kırılma indeksi (KI) sonlu elemanlar analiz uygulanarak hesaplanmaktadır.

KI_i i elemanının kırılma indisi değeri ve n toplam eleman sayısı $KI_i,\ \ i = 1'den\ n'e\ kadar$ Elemanlar kırılma indisi değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır (Şekil 2). k silmek için seçilmiş eleman sayısı. Seçim iyileştirme algoritması: Tasarım alanındaki seçilen elemanın etrafındaki elemanlar seçim iyileştirme algoritmasıyla kontrol edilerek daha pürüzsüz bir dış hat elde edilmektedir (Şekil 3). Seçilen elemanın silinip silinmeyeceğine algoritma tarafından karar verilmektedir. Seçilen elemanlar tasarım

alanında çıkarılmaktadır. Kısıtlamalar kontrol edilmektedir. Herhangi bir kısıt değeri aşıldığında döngü durmaktadır, aksi halde devam etmektedir.



Şekil 2. Eleman Seçme İşlemi (Element Selection Process)



Şekil 3. Seçilmiş eleman ve etrafındaki elemanlar
(Selected element and its neighbours)

3. Son olarak optimize edilmiş tasarım elde edilmektedir. Optimizasyon algoritması geliştirildikten sonra, algoritmanın performansını denemek için farklı tasarım alanlarına uygulanmaktadır.

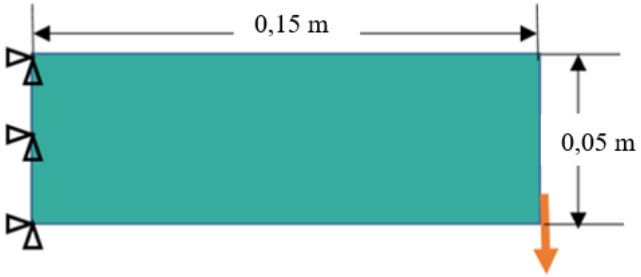
3. ÖRNEK ÇALIŞMALAR (CASE STUDIES)

Geliştirilen algoritma, literatürde verilen temel tasarım alanları ve farklı elyaf açılarının numerik analizleri ile kıyaslanmıştır [23]. 4 farklı elyaf açısı için uygulanan optimizasyon algoritması ile her durum için kırılma indis değerleri çıkarılmıştır. Her bir durum için hacim kısıtlaması ve kırılma indisi kısıtlaması sırasıyla 0,5 ve 1 olarak belirlenmiştir. Kırılma indis değeri 1'e ulaştığında Tsai-Wu kriterine göre kırılmanın gerçekleştiği kabul edilip ilgili eleman silinerek hesaplamadan çıkarılmakladır. Numerik çalışmada geliştirilen algoritmanın doğrulanmasında 4 düğüm noktalı, her tabakası 0,17647 mm kalınlığında 17 tabakalı ANSYS SHELL181 elemanı kullanılmıştır. Elyaf takviyeli kompozit malzemenin mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir [22].

Cam elyafı için çekme dayanımı	: S_{Lt} = 1103e6 Pa
Elyaf yönündeki basma dayanımı	: S_{Lc} = 620e6 Pa
Enine çekme dayanımı	: S_{Tt} = 96,5e6 Pa
Enine basma dayanımı	: S_{Tc} = 130e6 Pa
Kesme dayanımı	: S_{LTs} = 83e6 Pa
Elastiklik modülü	: Ex = 39e9 Pa, Ey = 4,8e9 Pa, Ez = 4,0e9 Pa
Kayma elastiklik modülü	: 4,8e9 Pa
Poisson oranı	: 0,3

3.1. Örnek 1 (Case 1)

Yapılan numerik çalışmada Şekil 4'de ölçüleri verilen, 3 mm kalınlığında numune ankastre kiriş tipinde sabitlenerek analizler yapılmıştır. (Şekil 5, 6, 7, 8)

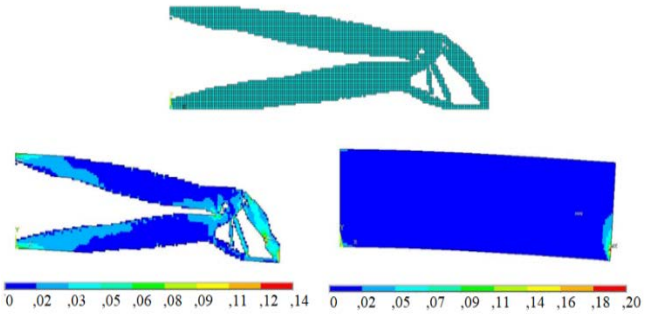


Şekil 4. Örnek 1 Tasarım alanı (Design Domain)

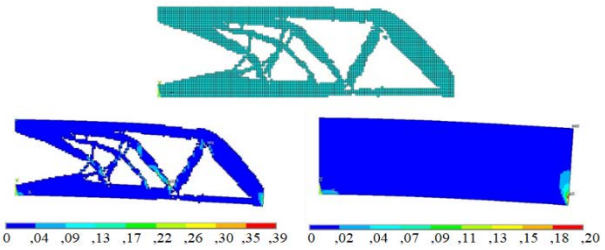
Tablo 1. Örnek 1 KI sonuçları (FI results)

Elyaf Açısı	Orijinal model	Optimize edilmiş model
$0^0 - 90^0$	0,20447	0,23712
$15^0 - 105^0$	0,19805	0,38874
$30^0 - 120^0$	0,15513	0,29636
$45^0 - 135^0$	0,11785	0,15214

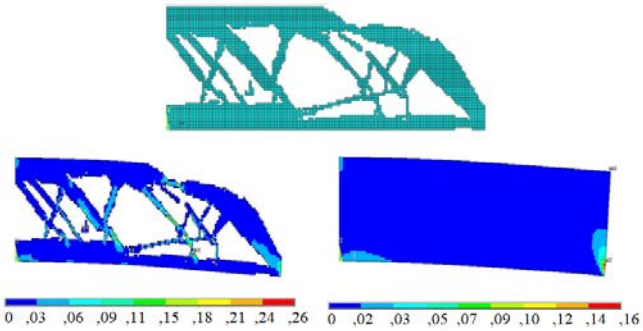
Tablo 1'de kırılma indis değerleri kıyaslandığında KI' nın en fazla değeri $15^0 - 105^0$ elyaf açısı için 0,38874 $30^0 - 120^0$ elyaf açısı için 0,29636 olduğu tespit edilmiştir. 0,23712 değeri ile en düşük KI değeri $0^0 - 90^0$ elyaf açısında tespit edilmiştir.



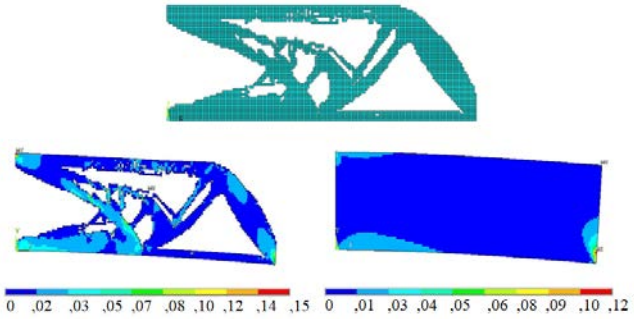
Şekil 5. Örnek 1 0^0–90^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(0^0–90^0 optimization and FI results)



Şekil 6. Örnek 1 15^0–105^0 Optimizasyon ve KI sonuçları (15^0–105^0 optimization and FI results)



Şekil 7. Örnek 1 30^0–120^0 Optimizasyon ve KI sonuçları (30^0–120^0 optimization and FI results)

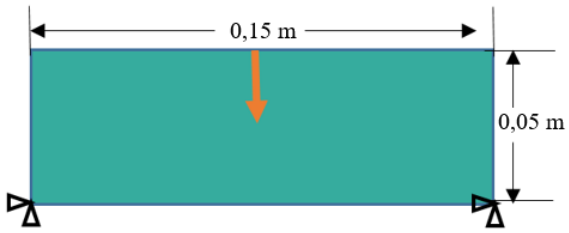


Şekil 8. Örnek 1 45^0–135^0 Optimizasyon ve KI sonuçları (45^0–135^0 optimization and FI results)

Bu ankastre kiriş tipindeki sabitleme sonucunda uygulanan model ile kırılma indis değerinde yaklaşık 2 kat artış gözlemlenmiştir.

3.2. Örnek 2 (Case 2)

Yapılan numerik çalışmada Şekil 9'da ölçüleri verilen, 3 mm kalınlığında numune basit mesnetli kiriş tipinde sabitlenerek analizler yapılmıştır. (Şekil 10, 11, 12, 13)

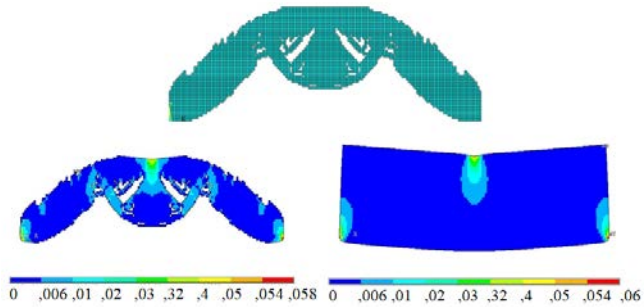


Şekil 9. Örnek 2 Tasarım alanı (Design Domain)

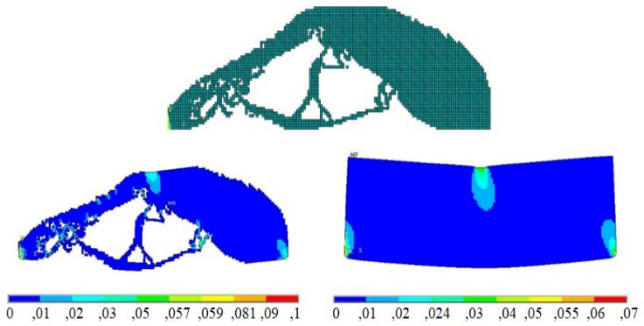
Tablo 2. Örnek 2 KI sonuçları (FI results)

Elyaf Açısı	Orijinal model	Optimize edilmiş model
0^0 – 90^0	0,06049	0,06893
15^0 – 105^0	0,07134	0,10363
30^0 – 120^0	0,08055	0,24372
45^0 – 135^0	0,09723	0,14400

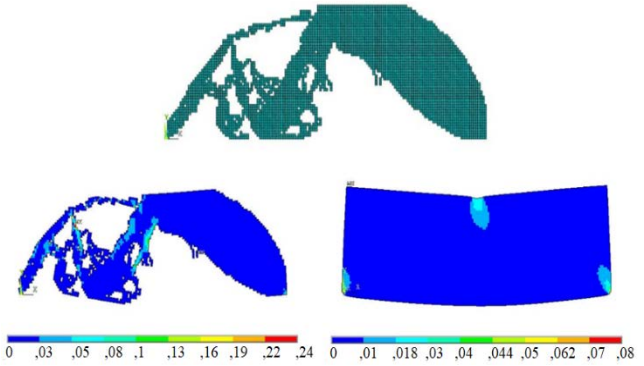
Tablo 2'de kırılma indis değerleri kıyaslandığında KI nın en fazla değeri 300 – 1200 elyaf açısı için 0,24372 olduğu tespit edilmiştir. 0,06893 değeri ile en düşük KI değeri 00 – 900 elyaf açısında tespit edilmiştir. Bu basit mesnetli kiriş tipindeki sabitleme sonucunda uygulanan model ile kırılma indis değerinde yaklaşık 3 kat artış gözlemlenmiştir.



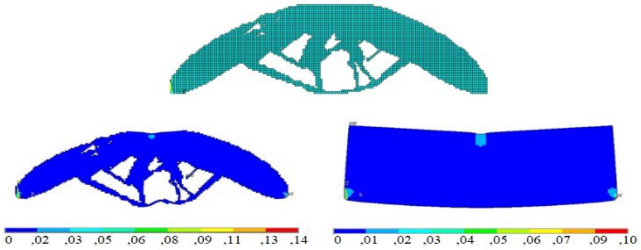
Şekil 10. Örnek 2 0^0–90^0 Optimizasyon ve KI sonuçları (0^0–90^0 optimization and FI results)



Şekil 11. Örnek 2 15^0–105^0 Optimizasyon ve KI sonuçları (15^0–105^0 optimization and FI results)



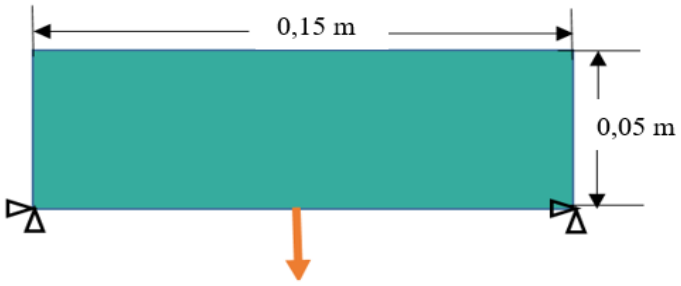
Şekil 12. Örnek 2 30^0–120^0 Optimizasyon ve KI sonuçları (30^0–120^0 optimization and FI results)



Şekil 13. Örnek 2 45^0–135^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(45^0–135^0 optimization and FI results)

3.3. Örnek 3 (Case 3)

Örnek 3'de numerik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan basit mesnetli kiriş kullanılmıştır. Bir önceki örnekten farklı olarak yük alttan uygulanmıştır. Kullanılan geometrinin ölçüleri Şekil 14 üzerinde gösterilmiştir. Kalınlık 3mm olarak kabul edilmiştir. (Şekil 15, 16, 17, 18)

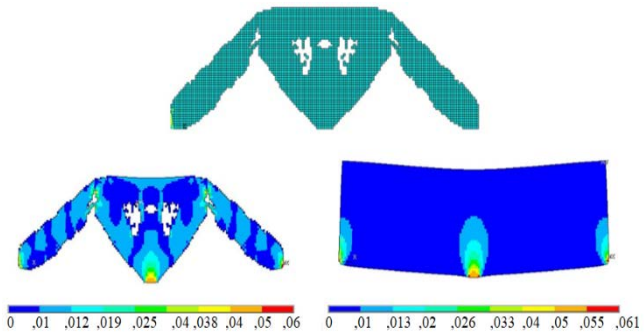


Şekil 14. Örnek 3 Tasarım alanı (Design Domain)

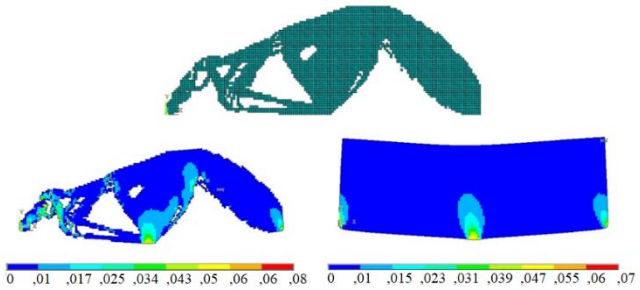
Tablo 3. Örnek 3 KI sonuçları (FI results)

Elyaf Açısı	Orijinal model	Optimize edilmiş model
0^0 – 90^0	0,06051	0,06731
15^0 – 105^0	0,07075	0,07842
30^0 – 120^0	0,07829	0,17862
45^0 – 135^0	0,09221	0,12566

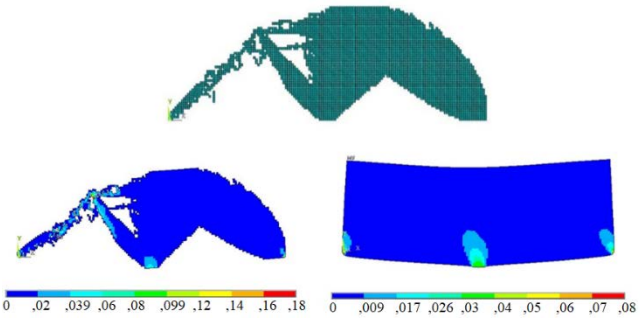
Tablo 3'de kırılma indis değerleri kıyaslandığında KI nın en fazla değeri 30^0 – 120^0 elyaf açısı için 0,17862 olduğu tespit edilmiştir. 0,06731 değeri ile en düşük KI değeri 0^0 – 90^0 elyaf açısında tespit edilmiştir. Bu basit mesnetli kiriş tipindeki sabitleme sonucunda uygulanan model ile kırılma indis değerinde yaklaşık 2,5 kat artış gözlemlenmiştir.



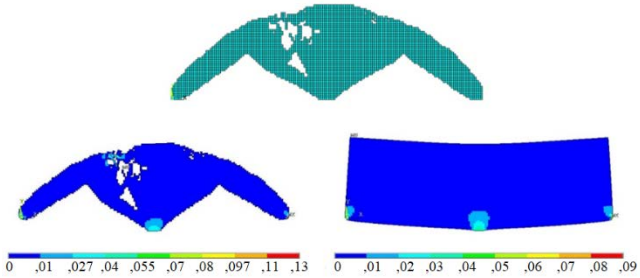
Şekil 15. Örnek 3 0^0–90^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(0^0 – 90^0 optimization and FI results)



Şekil 16. Örnek 3 15^0–105^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(15^0–105^0 optimization and FI results)



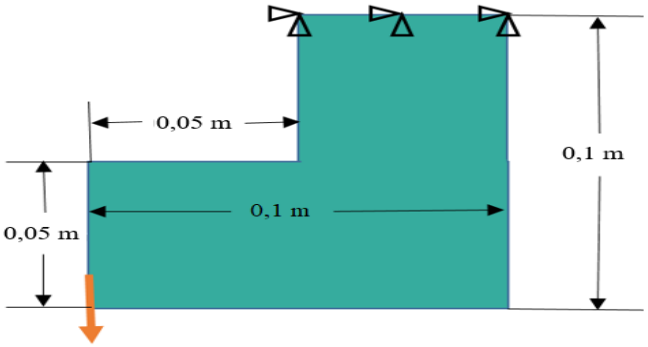
Şekil 17. Örnek 3 30^0–120^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(3 0^0–120^0 optimization and FI results)



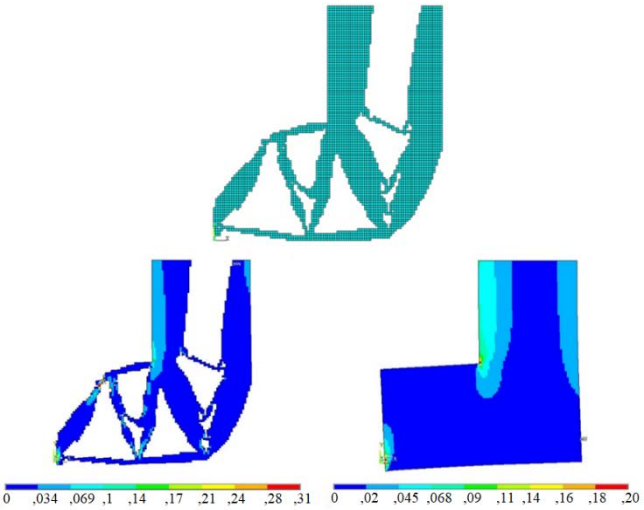
Şekil 18. Örnek 3 45^0–135^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(45^0–135^0 optimization and FI results)

3.4. Örnek 4 (Case 4)

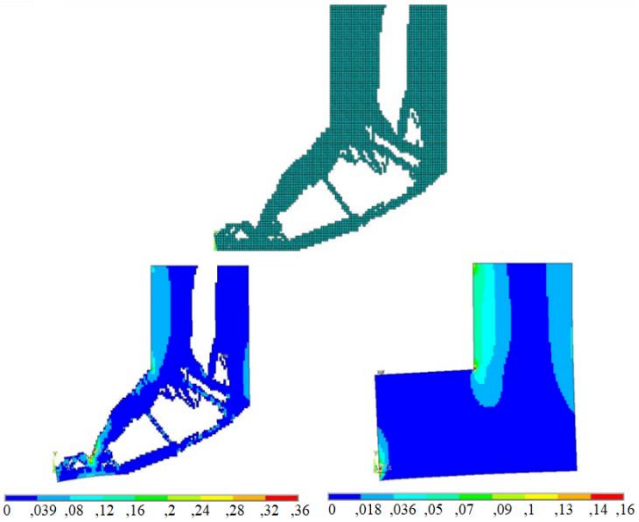
Örnek 4'de numerik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan L şekilli kiriş kullanılmıştır. Yük L şeklinin alt ucundan uygulanmıştır. Kullanılan geometrinin ölçüleri Şekil 19 üzerinde gösterilmiştir. Kalınlık 3mm olarak kabul edilmiştir. (Şekil 20, 21, 22, 23)



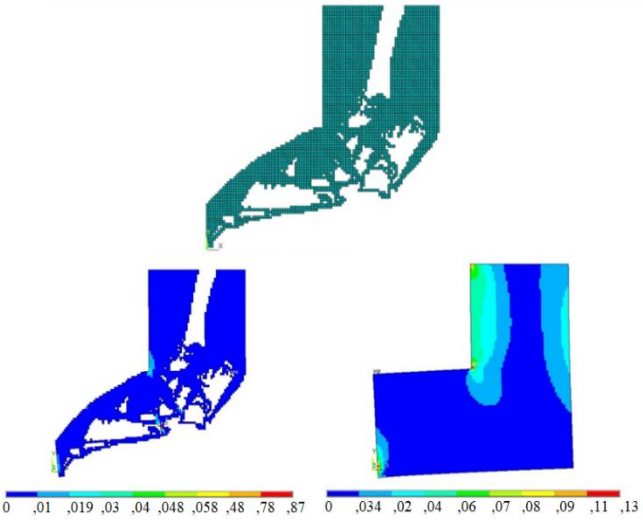
Şekil 19. Örnek 4 Tasarım alanı (Design Domain)



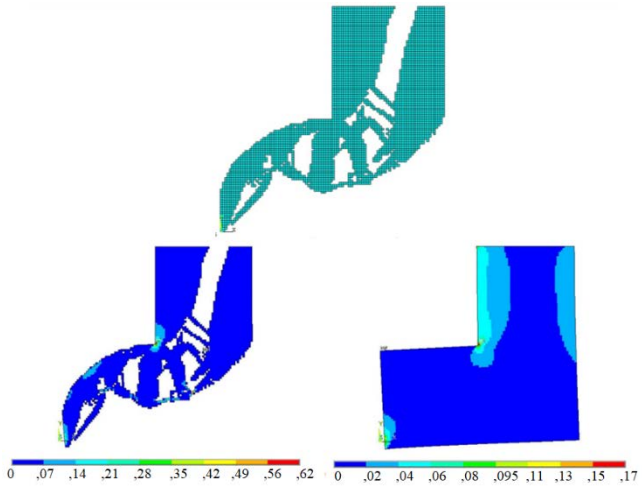
Şekil 20. Örnek 4 0^0–90^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(0^0–90^0 optimization and FI results)



Şekil 21. Örnek 4 15^0–105^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(15^0–105^0 optimization and FI results)



Şekil 22. Örnek 4 30^0–120^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(30^0–120^0 optimization and FI results)



Şekil 23. Örnek 4 45^0–135^0 Optimizasyon ve KI sonuçları
(45^0–135^0 optimization and FI results)

Tablo 4. Örnek 4 KI sonuçları (FI results)

Elyaf Açısı	Orijinal model	Optimize edilmiş model
0^0 – 90^0	0,20435	0,31279
15^0 – 105^0	0,16290	0,35370
30^0 – 120^0	0,12654	0,87322
45^0 – 135^0	0,17038	0,62833

Tablo 4'de kırılma indis değerleri kıyaslandığında KI nın en fazla değeri 30^0 – 120^0 elyaf açısı için 0,87322 olduğu tespit edilmiştir. 0,31279 değeri ile en düşük KI değeri 0^0 – 90^0 elyaf açısında tespit edilmiştir. Bu L kiriş tipindeki sabitleme sonucunda uygulanan model ile kırılma indis değerinde yaklaşık 7 kat artış gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR
(RESULTS AND DISCUSSIONS)

Delikli yapıların tercih edilmediği kompozit plakalarda ağırlık hacim oranın düşürülmesi için topoloji optimizasyonu kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu çalışmada elyaf takviyeli kompozit plakalara mesnet, yük uygulama ve geometri tiplerine göre topoloji optimizasyonu uygulanarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

Elyaf takviyeli kompozitlerin topoloji optimizasyonu için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Ankastre kiriş tipindeki yüklemede kırılma indis değeri artışı en fazla 15^0-105^0 elyaf açısında yaklaşık 2 kat olarak bulunmuştur. Basit mesnet kiriş tipindeki yüklemede kırılma indis değeri artışı en fazla 30^0-120^0 elyaf açısında yaklaşık 3 kat artışla 0,24372 olarak bulunmuştur. L geometrik şeklindeki yükleme tipinde kırılma indis değeri artışı en fazla 30^0-120^0 elyaf açısında yaklaşık 7 kat artışla 0,8732 olarak bulunmuştur.

Optimizasyon sırasında parçalardan malzeme boşaltıldığı zaman parçanın mukavemet değerinde bir düşüş olmaktadır. Mukavemet değerindeki düşüş kırılma indis değerinin artmasına sebep olmaktadır. Kırılma indis değerindeki artış en fazla örnek 4'te görülmüş ve bu değer yaklaşık 7 katı

olarak tespit edilmiştir. Fakat kırılma indis değeri kritik değer olan 1 değerini aşmadığı için malzemede herhangi bir kırılma olmamaktadır. Bu çalışmada ki örneklerde, geliştirilen algoritma kullanılarak kabul edilen kırılma indisi değeri aşılmadan yaklaşık %50 malzeme tasarrufu sağlanmıştır.

5. SİMGELER (SYMBOLS)

Ex	X yönündeki elastiklik modülü
Ey	Y yönündeki elastiklik modülü
Ez	Z yönündeki elastiklik modülü
S_{LTs}	Kesme dayanımı
S_{Tc}	Enine basma dayanımı
S_{Tt}	Enine çekme dayanımı
S_{Lc}	Elyaf yönündeki basma dayanımı
S_{Lt}	Cam elyafı için çekme dayanımı
KI	Kırılma indeksi
k	Silmek için seçilmiş eleman sayısı
F_i	Mukavemet katsayı değeri (i=1, 2, 6, 11, 12, 22, 66)
σ_{11}	Elyaf yönündeki gerilme değeri
σ_{22}	Elyaf yönüne dik gerilme değeri
τ_{12}	Kayma gerilme değeri

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Johansen L.S., Lund E., Kleist J., Failure optimization of geometrically linear/nonlinear laminated composite structures using a two-step hierarchical model adaptivity, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 198, 2421–2438, 2009.

2. Sørensen S.N., Lund E., Topology and thickness optimization of laminated composites including manufacturing constraints, Struct. Multidisc Optimization, 48, 249, 2013.

3. Sun X.F., Yang J., Xie Y.M., Huang X. ve Zuo ZH., Topology optimization of composite structure using bi-directional evolutionary structural optimization method, Procedia Eng., 14, 2980, 2011.

4. Bruggi M., Taliercio A., Optimal design of the fiber-reinforcement to strengthen existing structures, Int. J. Solids Struct., 50, 121, 2013.

5. Göv İ., A novel approach for design of fiber angle and layer number of composite plates, Polymer Composite, doi: 10.1002/pc.23584, 2015.

6. Duysinx P., M. Bendsøe P., Topology optimization of continuum structures with local stress constraints, Int. J. Numer. Meth. Engng, 43, 1453-1478, 1998.

7. Wang M.Y., Wang X., Guo D., A level set method for structural topology optimization, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg, 192 227–246, 2003.

8. Suziki K., Kikuchi N., A homogenization method for shape and topology optimization, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 93 291-318, 1991.

9. Baran İ., Özgen G.O., Ciğeroğlu E., Bir radar anten yapısının titreşim özelliklerinin topolojik optimizasyon tekniği ve destek elemanları kullanılarak iyileştirilmesi, In Proceedings of the 15th Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Niğde-Türkiye, 9-19, 2011.

10. Yıldız A.R., Yapay arı koloni algoritması ile taşıt salıncak kolunun optimum boyutlarının bulunması, 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir-Türkiye, 46-53, 2012.

11. Öztürk F., Sendeniz G., Yolcu koltuklarında sac pres ayakta topoloji optimizasyonu çalışması, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa-Türkiye, 12-18, 2014.

12. Özkal F.M., Uysal H., Üç boyutlu konsol kirişlerde topoloji optimizasyonu uygulamaları, Int. J. Eng. Research & Development, 2 (1)1, 2010.

13. Borrvall T. ve Petersson J., Topology optimization of fluids in Stokes flow, Int. J. Numer. Meth. Fluids, 41, 77–107, 2003.

14. Yıldız A.R., Kaya N., Öztürk F., Taşıt elemanlarının optimum topoloji yaklaşımı ile tasarımı, Mühendis ve Makina, 44, 516, 2003.

15. Yavuzcan H.G., Önder M., Keçel S., Akkurt A., Korkmaz M. S., Yatık ağız açma ve kalibre etme makinasının yapısal analizi ve ağırlık optimizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji, 3 (3):555-564, 2015.

16. Yang R.J., Chen C.J., Stress-based topology optimization, Structural Optimization, 12, 98-105, 1996.

17. Nishiwaki S., Frecker M.I., Min S. ve Kikuchi N., Topology optimization of compliant mechanisms using the homogenization method, Int. J. Numer. Meth. Engng., 42, 535-559, 1998.

18. Yılmaz O., Bekiroğlu S., The effect of reinforcing panel zone of bolted end plate column beam connections, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (2), 241-253, 2016.

19. Apalak, K., Yıldırım. M. ve Ekici. R., Layer optimisation for maximum fundamental frequency of laminated composite plates for different edge conditions, Composites Science and Technology, 68, (2), 537–550, 2008.

20. Kütük M.A., Göv İ., A Finite Element Removal Method for 3D Topology Optimization, Advances in Mechanical Engineering, DOI: 10.1155/2013/413463, 2013.

21. Bruns T.E., Tortorelli D.A., An element removal and reintroduction strategy for the topology optimization of structures and compliant mechanisms, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 57, 1413–1430, 2003.

22. Mallick P.K., Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, CRC Press Taylor & Francis Group., ISBN-13: 978-0-8493-4205-9, New York, A.B.D., 2007.

23. Kato J., Ramm E., Multiphase layout optimization for fiber reinforced composites considering a damage model, Engineering Structures, 49, 202-220, 2013.