

HAVACILIK UYGULAMALARINDA PERÇİN OPTİMİZASYONU

Abdullah KALKAN¹
Necmettin Erbakan Üniversitesi/Konya

Faruk Esat GÖÇMEN²
Necmettin Erbakan Üniversitesi/Konya

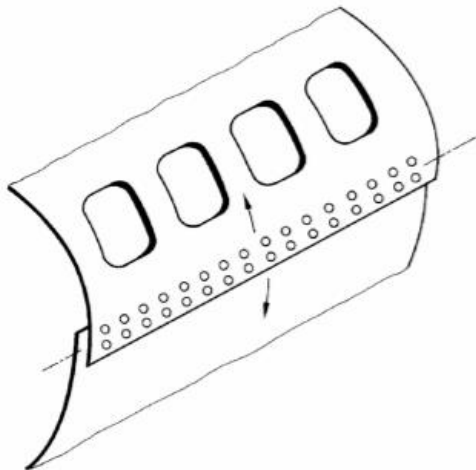
ÖZET

Çalışma kapsamında, hava-uzay araçlarında önemli role sahip bağlantı elemanlarından perçinlerin belirli koşullar altındaki gerilmeleri hesaplanacaktır. Yapılan hesaplamalar kullanılarak perçin üzerinde oluşacak deformasyonlara karşı bir optimizasyon çalışması yapılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında havacılıkta bağlantı elemanları analizi için kullanılan Huth-Schwarmann metodu kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada teorik hesaplamalar mühendislikte sıklıkla kullanılan EXCEL programında yapılmış, deformasyonlar simüle edilmiş bir şekilde ABAQUS FEA yazılım paket programında yapılarak elde edilen sonuçlara göre perçinlerin belirli şartlar altında daha güvenilir bir sistem haline getirilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla kullanılan perçinlerin sayısı, perçinlerin geometrik özellikleri ve perçinlerin malzemesi değiştirilerek optimizasyon çalışması yapılmış ve önceki değerlerle karşılaştırılarak çalışma sonuçları elde edilmiştir.

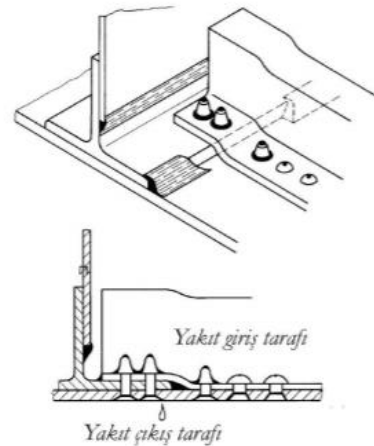
GİRİŞ

Perçinler iki ya da daha fazla malzemeyi birleştirmek için kullanılan bağlantı araçlarıdır. Birleştirilecek parçaların dışlerinin olması gerekmediğinden oldukça küçük parçalar bile perçinler aracılığıyla kolaylıkla montajlanabilir.

Perçinlerin sıklıkla kullanıldığı alanlardan biri havacılık endüstrisidir. Yolcu uçakları, savaş uçakları, helikopter ve uydu gibi pek çok üründe kullanılmaktadır. Bu sektörde kullanılma sebebi olarak farklı malzemelerden parçaların birbirine montajlanması, montaj sürecinin kolay olması ve sarsıntılara dayanıklı ve emniyetli olması gibi avantajlar gösterilebilir.



Şekil-1: AİRBUS A300 Gövde Konstrüksiyonunda Boyuna Perçin Bağlantıları-Titanyum Perçinler



Şekil-2: Yakıt Tankı Sızdırmazlığı İçin Tipik Uygulama

¹UçakMüh.Böl.Öğr.,E-posta:abdullahkalkan01@gmail.com

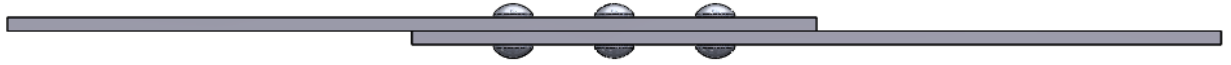
² Uçak Müh. Böl. Öğr., E-posta: farukesatg@gmail.com

Perçinler kullanılarak pek çok havacılık parçaları birbirine montajlanır. Fakat kullanılan bu perçinlerin sayısı ve malzemesine bağlı olarak değişkenlik gösteren gerilim değerleri hakkında bilgi eksikliği tasarımcılar ve üreticiler için büyük dezavantajdır. Bu özelliklerin belirlenmesi ile perçinlerin kullanımı doğru ve işlevsel hale gelecektir. Bu nedenle bu çalışmada perçinlerin sayısı, perçinlerin geometrik özellikleri ve perçinlerin malzemesine bağlı olarak değişik problem çözümleri sunulmalıdır. Ortaya çıkarılan çözümlerle kullanımın bu koşullar altında daha iyi optimize hale gelmesi sağlanacaktır.

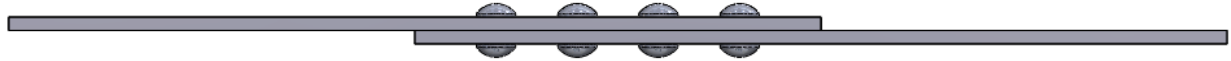
Bu çalışmada;

1. Aynı durum üzerinde 3 perçinli, 4 perçinli ve 5 perçinli bağlantı sistemi üzerinde karşılanan gerilmeler
2. Aynı durum üzerinde aynı sayıda (4 adet) perçinin çapları 5 mm ile 10 mm olarak kullanılarak karşılanan gerilmeler
3. Havacılıkta perçin malzemesi olarak sıklıkla kullanılan Alüminyum ve Çelik alaşımı perçinlerin karşıladığı gerilmeler

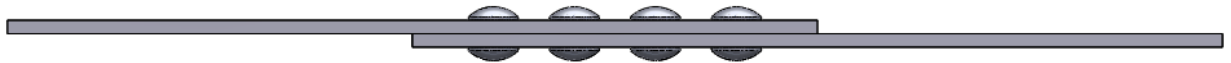
karşılaştırılarak perçin sistemleri için bir optimizasyon çalışması yapılacaktır. Yukarıda bahsi geçen 1. ve 2. karşılaştırmalar için mühendislikte sıklıkla kullanılan program olan EXCEL programı üzerinden bir analiz ortamı oluşturularak teorik çalışmalar pratikleştirilecektir. Simülasyon ortamı oluşturabilmek için ABAQUS FEA yazılım paket programından yüksek gerilim değerleri ve parçaların deforme olma durumları gözlemlenecektir. 3. karşılaştırma için ABAQUS FEA yazılım paket programında malzeme mekanik özelliklerine göre değiştirilerek gerilme ve deforme durumları karşılaştırılacaktır. Karşılaştırmaları yapılacak durumların SOLIDWORKS programı kullanılarak yapılan CAD çizimleri aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



Şekil-3: 5 mm Çaplı 3 Adet Perçinden Oluşan Bağlantı Sistemi



Şekil-4: 5 mm Çaplı 4 Adet Perçinden Oluşan Bağlantı Sistemi



Şekil-5: 10 mm Çaplı 4 Adet Perçinden Oluşan Bağlantı Sistemi



Şekil-6: 5 mm Çaplı 5 Adet Perçinden Oluşan Bağlantı Sistemi

Perçinlerin bağlandığı plaka malzemesi çelik olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılacak malzemelerden Çelik için $E=200000$ MPa Alüminyum için $E=69000$ MPa değerleri kabul edilmiştir.

TEORİ

Perçin optimizasyonu yapılırken bu çalışmada perçinlerin stiffness (k) ve flexibility (f) değerleri belirlenip buradan optimizasyon çalışması yapılması amaçlanmıştır. Bağlantı elemanlarının flexibility değerlerine yaklaşım olarak birçok formül bulunmaktadır. Huth-Schwarman metodu bağlantı elemanlarının flexibility yaklaşımına daha geniş yaklaşımda bulunduğu için Huth-Schwarman metodu seçilmiştir. Huth-Schwarman metodu civata, perçin ve yapııştırma bağlantıları için ayrı ayrı formüle edilmiştir.

Metot Tanımı

Huth-Schwarman metodu havacılık – uzay sektöründe bağlantı elemanlarının performans incelemesi hususunda sıklıkla başvurulmuş bir metottur. Bu metot; bağlantı elemanının elastisite modülü (E_f) değeri ve bağlantı elemanının bağladığı plakaların elastisite modülü (E_1, E_2) değerleri, geometrik özellikler ve bazı parametrelerden oluşmaktadır. Ayrıca bu metotta bağlantı elemanları çeşidine göre ayrı ayrı değerler elde edilebilmektedir.

$$flexibility = f = \left(\frac{(t_1 + t_2)}{2d} \right)^a \frac{b}{n} \left(\frac{1}{t_1 E_1} + \frac{1}{nt_2 E_2} + \frac{1}{2t_1 E_f} + \frac{1}{2nt_2 E_f} \right) \quad (1)$$

$n=1$ (single shear) , $n=2$ (double shear)

Tablo-1: Bağlantı Sistemine Göre Parametre Değerleri

Türler	A	b
Metal Civata	2/3	3.0
Metal Perçin	2/5	2.2
Epoksi	2/3	4.2

Tablo-2: Denklemdaki Parametrelerin Karşılığı

d	Delik çapı
t	Kalınlık
E_1, E_2	Plaka Elastisite Modülü
E_f	Bağlantı elemanı Elastisite modülü

Stiffness, uygulanan kuvvete tepki olarak deformasyona karşı koyma direncidir. Flexibility değeri üzerinden stiffness değeri kolaylıkla yorumlanabilir.

$$flexibility = f = \frac{1}{stiffness (k)} = \frac{\Delta l}{F} \quad (2)$$

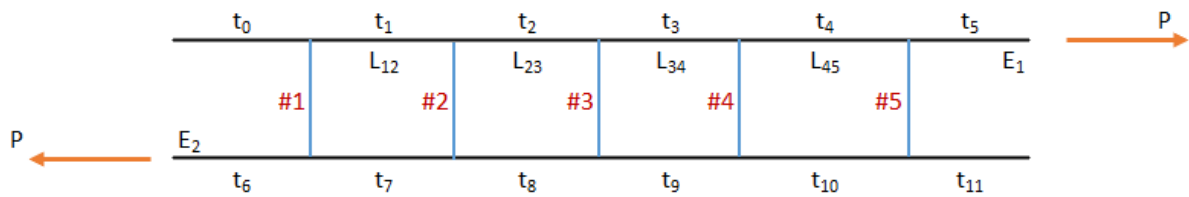
Flexibility SI birim: $\frac{m}{N}$ Stiffness SI birim: $\frac{N}{m}$

Excel Arayüz Tanımı

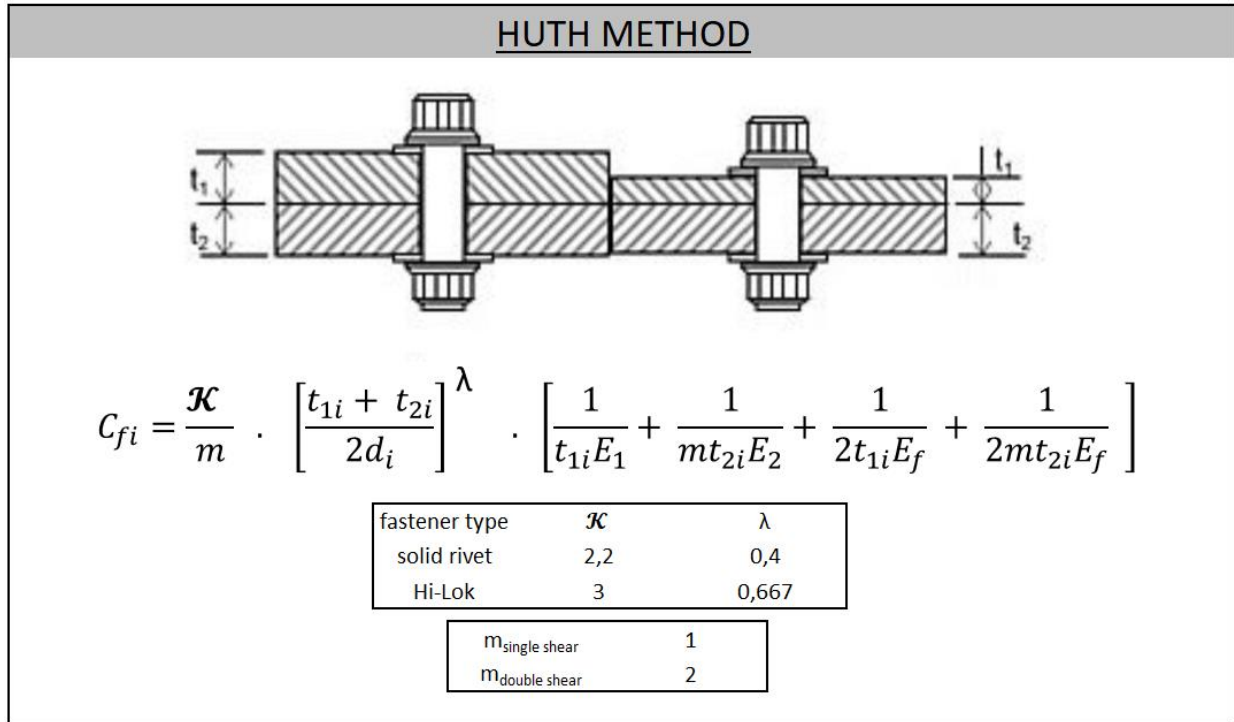
Çalışma kapsamında belirlenen problemler Excel programında görselleştirilerek çalışma kapsamında kullanılan Huth-Schwarmann metodu ile problem değerleri Excel ortamında oluşturulan arayüz ile gösterilmiştir.

Definitions :	
E_f :	Elastic Modulus of Fastener
E :	Elastic Modulus of Plate Elements
D :	Diameter of Fastener
t :	Thicknesses of plate elements
L :	Distance between fasteners
P :	Applied Axial Forces
x :	Coordinates of each fasteners
C_f :	Flexibility of the fasteners
K_f :	Stiffness of the fasteners
C :	Flexibility of the plate elements
K :	Stiffness of the plate elements
m :	identification number ; single shear : $m=1$, double shear : $m=2$
$\mathcal{K}$:	factor
λ :	exponent
V :	Shear force carried by fastener
w :	Depth of the plate elements

Şekil-7: Excel Arayüzünde Kullanılan Parametrelerin Karşılığı



Şekil-8: Excel Arayüzünde Bağlantı Sistemi Görselleştirilmesi



Şekil-9: Huth – Schwarman Metodu

Verilen değerler girdi değeri olarak Excel’e girilmekte ve belirlenen durumlar için elde edilen sonuçlar çıktı değeri olarak gösterilmektedir. Girilen geometrik değerlere göre Excel geometriyi oluşturmakta ve değerler gösterilmektedir.

Tablo-3: Excel Arayüzünde Girdi Parametreleri

P	E ₁	E ₂	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄
[N]	[Mpa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
10000	200000	200000	2	2	2	2	2

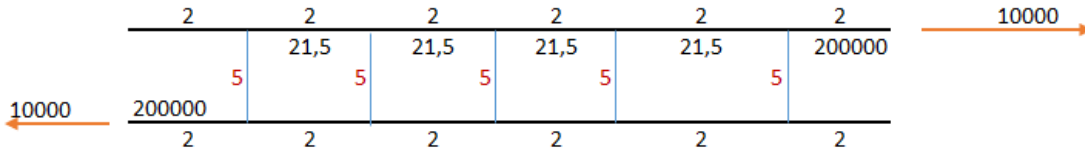
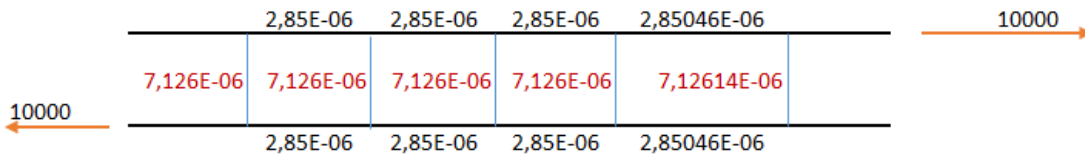
t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	w
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
2	2	2	2	2	2	2	12,5

Rivet #	D [mm]	E _r [Mpa]	x [mm]	Allowable	Single Or Double	Fast. Type
1	5	200000	0	11884	S	SR
2	5	200000	21,5	11884	S	SR
3	5	200000	43	11884	S	SR
4	5	200000	64,5	11884	S	SR
5	5	200000	86	11884	S	SR

Girdi değerleri milimetre cinsinden girilip teorik hesaplamada birim denkliği için metre cinsinden hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo-4: Excel Arayüzünde Çıktı Parametreleri

m	$\mathcal{K}$	λ	C_r	for 5 Rivet Load Factor	for 4 Rivet Load Factor	for 3 Rivet Load Factor	for 5 Rivet Load	for 4 Rivet Load	for 3 Rivet Load	for 5 Rivet Location	for 4 Rivet Location	for 3 Rivet Location
1	2,2	0,4	7,12614E-06	0,3	0,32	0,37	3000	3200	3700	0	0	0
1	2,2	0,4	7,12614E-06	0,15	0,18	0,26	1500	1800	2600	0,25	0,33	0,5
1	2,2	0,4	7,12614E-06	0,1	0,18	0,37	1000	1800	3700	0,5	0,67	1
1	2,2	0,4	7,12614E-06	0,15	0,32		1500	3200		0,75	1	
1	2,2	0,4	7,12614E-06	0,3			3000			1		

General Definition**Calculated Flexibilities**

Şekil-10: Excel Arayüzünde Girdi Parametrelerine Göre Görselleştirilmiş Hesaplamalar

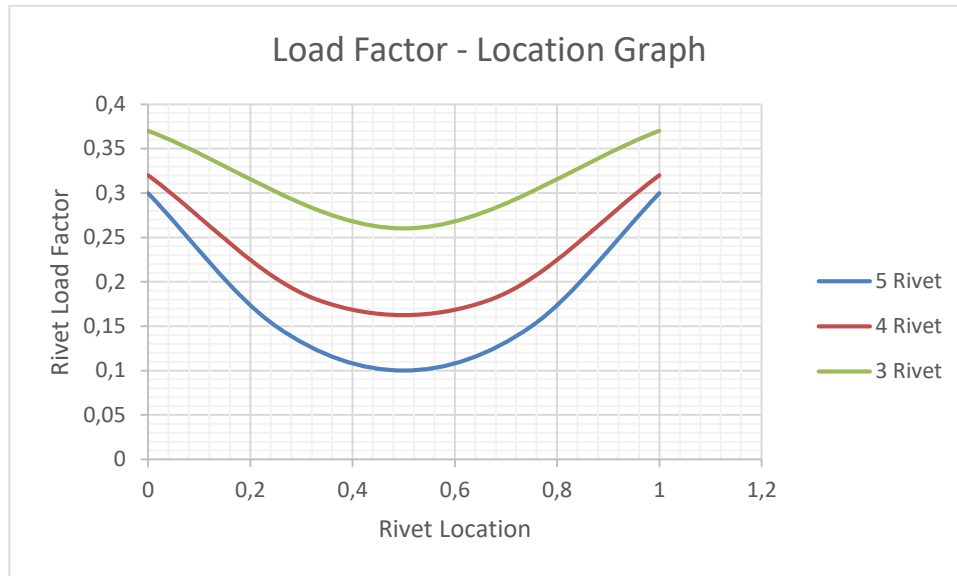
Şekilde gösterildiği gibi girdi değeri olan 10000 N kuvvet değeri şekil üzerinde gösterilmekte ve girilen geometrik özelliklere (çap, kalınlık vb.) göre şekil güncellenmektedir.

Bu arayüz ile teorik hesaplamalar ve grafiklerle yorumlamalar kolaylaştırılmış ayrıca hesaplamaların güvenilirliği artırılmıştır.

Problem İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında 3 farklı problem üzerinden hava-uzay araçlarında sıklıkla kullanılan bağlantı elemanlarından biri olan perçinlerin optimizasyon çalışması yapılmıştır. Burada incelenecek problemler perçin sayısı değişkenliğinde elde edilecek değerler, perçin çapı değiştirildiğinde elde edilecek değerler ve perçin malzemesi değişkenliğine göre elde edilecek değerlerdir.

Problem 1 : Bu problemin amacı perçin sayısı değiştirildiğinde perçin performansındaki değişimin gözlemlenmek istenmesidir. Bu problemde aynı sistem üzerinde 3 – 4 – 5 perçinli sistemler incelenmiştir. Belirlenen koşullar altında Sonlu Elemanlar Metodu kullanılarak perçinlerin yük faktörleri belirlenmiştir.

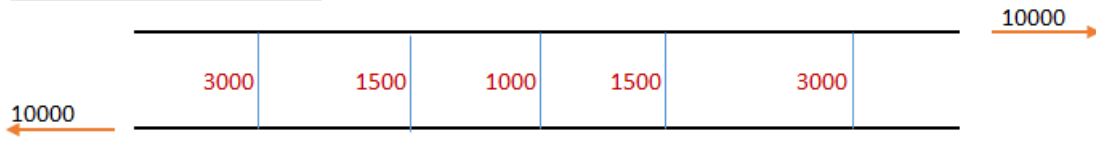
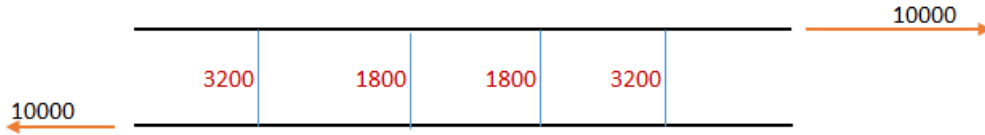
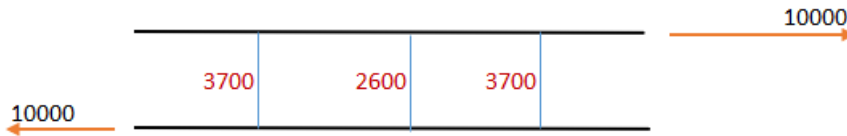


Şekil-11: 3 – 4 – 5 Perçinli Sistemlerde Yük Faktörü ve Perçin Konum Grafiği

Tablo-5: SEM Metoduna Göre Perçinlerin Yük Faktörleri Tablosu

RİVET	for 5 Rivet Load Factor	for 4 Rivet Load Factor	for 3 Rivet Load Factor
#1	0.3	0.32	0.37
#2	0.15	0.18	0.26
#3	0.1	0.18	0.37
#4	0.15	0.32	
#5	0.3		

Yük faktörü; başlangıçta girdi değeri olarak verilen kuvvetin yüzde olarak perçinler üzerine dağılışı anlamına gelmektedir. Belirlediğimiz koşullar altında aynı sistem için girdi kuvveti 10000 N olarak verilmiştir. Yük faktörüne göre perçinlerin üzerlerine düşen kuvvetler Excel arayüzünde belirlenip Tablo-5’te gösterilmiştir.

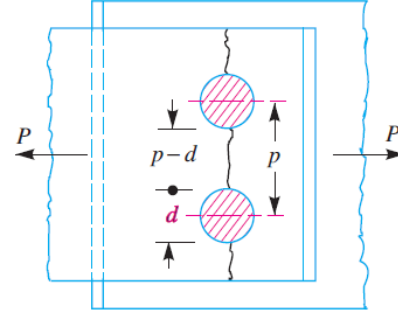
Distributed forces for 5 rivet**Distributed forces for 4 rivet****Distributed forces for 3 rivet**

Şekil-12: 3 – 4 – 5 Perçinli Sistemlerde Girilen Kuvvet Değerine Perçinlerin Her Birinin Karşıladığı Kuvvetler

Perçinlerin karşıladığı kuvvet incelemesinin yanı sıra plakaların perçin sayısı ile dayanımı incelenmelidir. Burada plakanın dayanımı için incelenecek durum yırtılma gerilmesidir.

Yırtılma gerilmesi;

$$\sigma_T = \frac{F}{(p - d) t} \quad (3)$$

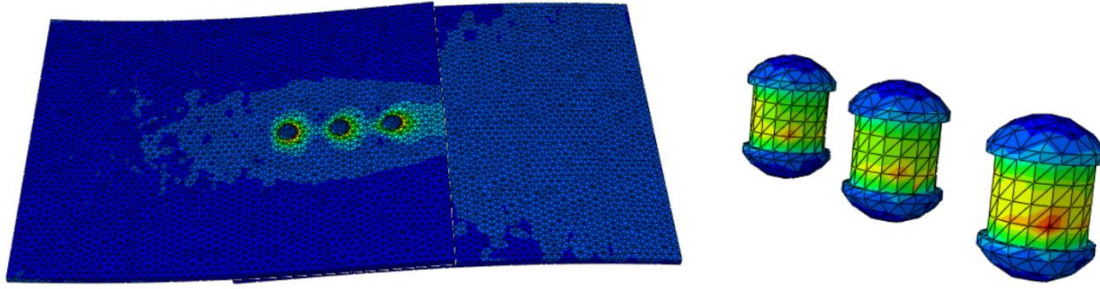


Şekil-13: Perçin Bağlantı Sistemi

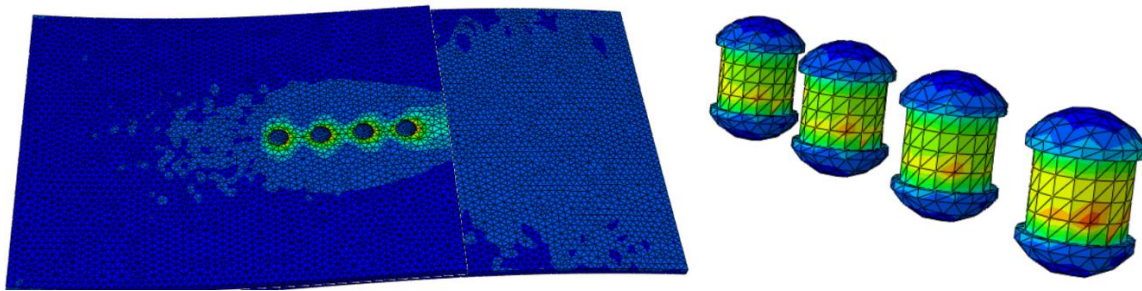
denklemleri ile bulunabilir. Burada p perçin merkezleri arası mesafe, t kalınlık ve d perçin çapıdır.

Buna göre;

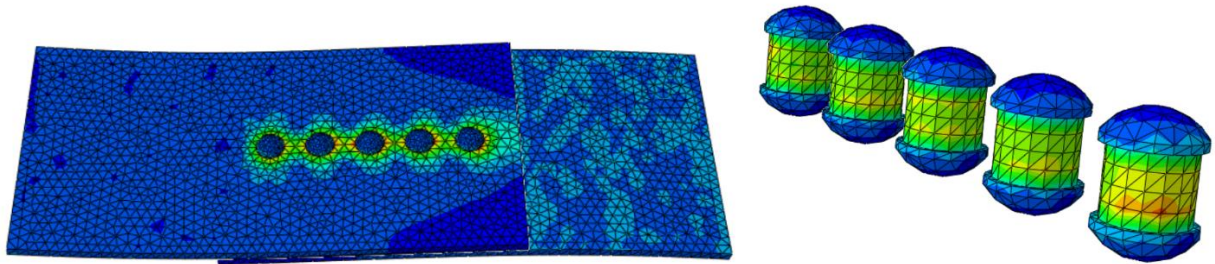
Aynı geometrik özelliklere sahip perçin plaka bağlantı sisteminde 3 perçin, 4 perçin ve 5 perçin sisteminde, Şekil-13'e bakılırsa perçinler arası mesafe perçin sayısı arttıkça azalmaktadır. Aynı çaplı perçin sistemlerinde $(p-d)$ perçin sayısı arttıkça azalmaktadır. $(p-d)$ azaldıkça yırtılma gerilmesi artmaktadır. Özetle, belirli koşullar altında perçin sayısı arttıkça plakanın yırtılma gerilmesi artmaktadır.



Şekil-14: 3 Perçinli Sistemde Elde Edilen Analiz Görseli



Şekil-15: 4 Perçinli Sistemde Elde Edilen Analiz Görseli



Şekil-16: 5 Perçinli Sistemde Elde Edilen Analiz Görseli

Teorik hesaplamaların yanı sıra ABAQUS FEA paket yazılım programı ile yapılan analizde elde edilen sonuçlar teorik hesaplamaları doğrulamaktadır. Elde edilen analiz sonucunda perçin sayısı arttıkça perçin üzerine düşen kuvvet azalacağından kritik bölge gözlemi azalmaktadır. Özetle, Şekil -16'da gösterilen 5 perçinli sistemde kritik bölge gözlemi Şekil-14'te gösterilen 3 perçinli sisteme göre daha az gözlemlenmiştir. Ayrıca perçin sayısı arttıkça plaka üzerinde gerilme yığılması ve yırtılma gerilmesi gibi faktörler artmaktadır. Elde edilen analiz sonucunda Şekil -16'da gösterilen 5 perçinli sistemde plaka üzerinde kritik bölge tespiti daha çok gözlemlenmiş ve Şekil-14'te 3 perçinli sisteme göre plaka üzerinde daha fazla gerilme meydana gelmiştir.

Problem 2 : Bu problemin amacı perçin çapı değiştirildiğinde perçin performansındaki değişimin gözlemlenmek istenmesidir. Bu problemde aynı sistem üzerinde 5 mm çaplı ve 10 mm çaplı perçin incelenmiştir.

Perçin çapı değişikçe Huth-Schwarman metodu göre bağlantı elemanının flexibility ve stiffness değerleri değişmektedir. Bu değerlere göre bağlantı elemanlarının performansı değişkenlik göstermektedir. Denklem - 1 'e bakılırsa perçin çapı arttırılırsa flexibility değeri azalmakta ve buna bağlı olarak stiffness değeri artmaktadır.

Tablo-6: 5 mm Çaplı Çelik Perçinli Sistemde Elde Edilen Flexibility – Stiffness Değerleri

Rivet #	D [mm]	Ef [Mpa]	C _f	K
1	5	200000	0.0000071261	140328.43
2	5	200000	0.0000071261	140328.43
3	5	200000	0.0000071261	140328.43
4	5	200000	0.0000071261	140328.43

Tablo-6'ya bakılırsa 5 mm çaplı sistemin flexibility değeri 0.0000071261, stiffness değeri 140328.43 olarak okunmaktadır.

Tablo-7: 10 mm Çaplı Çelik Perçinli Sistemde Elde Edilen Flexibility – Stiffness Değerleri

Rivet #	D [mm]	Ef [Mpa]	C _f	K
1	10	200000	0.0000054006	185164.47
2	10	200000	0.0000054006	185164.47
3	10	200000	0.0000054006	185164.47
4	10	200000	0.0000054006	185164.47

Tablo-7'ye bakılırsa 10 mm çaplı sistemin flexibility değeri 0.0000054006, stiffness değeri 185164.47 olarak okunmaktadır. Perçin-plaka bağlantı sisteminde bağlantı elemanı çapı arttırıldığında bağlantı elemanının stiffness değeri yani uygulanan kuvvete tepki olarak deformasyona karşı koyma direnci artmaktadır.

Perçinlerin flexibility ve stiffness değerlerinin incelenmesinin yanı sıra plakaların perçin çapıyla dayanımı incelenmelidir. Burada plakanın dayanımı için incelenecek durumlar;

Yırtılma gerilmesi;

Aynı perçin sistemi üzerinde inceleme yapıldığı için perçin merkezi arası mesafe (p) değişmemektedir. (p-d) için çap arttığında (p-d) azalmaktadır. (p-d) azaldığında yırtılma gerilmesi artış eğilimi gösterecektir. Özetle, bağlantı elemanı çapı arttığında plaka üzerinde meydana gelecek yırtılma gerilmesi artmaktadır.

Bağlantı elemanı üzerinde kayma gerilmesi;

$$\tau_s = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (4)$$

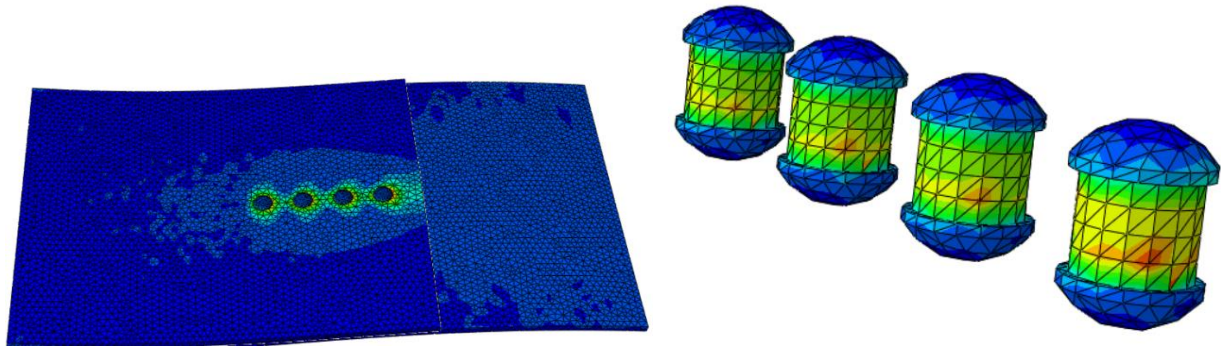
Denklemine bakıldığında çap arttığında bağlantı elemanı üzerine gelen kayma kuvveti azalmaktadır.

Ezilme gerilmesi;

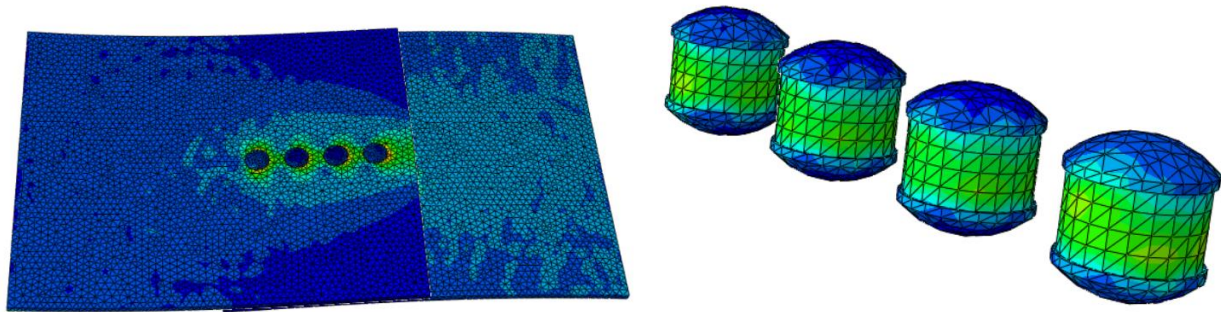
$$\sigma_c = \frac{F}{dt} \quad (5)$$

F : kuvvet d : bağlantı elemanı çapı t : plaka kalınlığı

Denklemine bakıldığında bağlantı elemanı çapı arttığında bağlantı elemanının ezilme gerilmesi azalmaktadır.



Şekil-17: 5 mm Çaplı 4 Adet Çelik Perçinli Sistemde Elde Edilen Analiz



Şekil-18: 10 mm Çaplı 4 Adet Çelik Perçinli Sistemde Elde Edilen Analiz

Teorik hesaplamaların yanı sıra ABAQUS FEA paket yazılım programı ile yapılan analizde elde edilen sonuçlar teorik hesaplamaları doğrulamaktadır. Elde edilen analiz sonucunda perçin çapı arttıkça kritik bölge gözlemi azalmaktadır. Özetle, Şekil -18’de gösterilen 10 mm çaplı perçin bağlantı sisteminde kritik bölge gözlemi Şekil-17’de gösterilen 5 mm çaplı perçin bağlantı sistemine göre daha az gözlemlenmiştir. Ayrıca perçin çapı arttıkça plaka üzerinde gerilme yığılması ve yırtılma gerilmesi gibi faktörler artmaktadır. Elde edilen analiz sonucunda Şekil -18’de gösterilen 10 mm perçin bağlantı sisteminde plaka üzerinde kritik bölge tespiti daha çok gözlemlenmiş ve Şekil-17’de 5 mm perçin bağlantı sistemine göre plaka üzerinde daha fazla gerilme meydana gelmiştir.

Problem 3 : Bu problemin amacı perçin malzemesi değiştirildiğinde perçin performansındaki değişimin gözlemlenmek istenmesidir. Bu problemde aynı sistem üzerinde alüminyum alaşımlı perçin ve çelik perçin incelenmiştir. Alüminyum alaşımlı perçin elastisite modülü 69000 MPa, Çelik alaşımlı perçin elastisite modülü 200000 MPa olarak kabul edilmiştir.

Denklem-1’de verilen Huth-Schwarman metoduna göre;

Elastisite modülü arttığında flexibility değeri azalır buna bağlı olarak stiffness yani uygulanan kuvvete tepki olarak deformasyona karşı koyma direnci artmaktadır.

10 mm çaplı 4 perçinden oluşan perçin plaka sisteminde alüminyum perçinli sistemin flexibility değeri 0.0000116359 stiffness değeri 85940.78 olarak okunmaktadır.

Tablo-8: Alüminyum Perçinli Sistemde Elde Edilen Flexibility – Stiffness değerleri

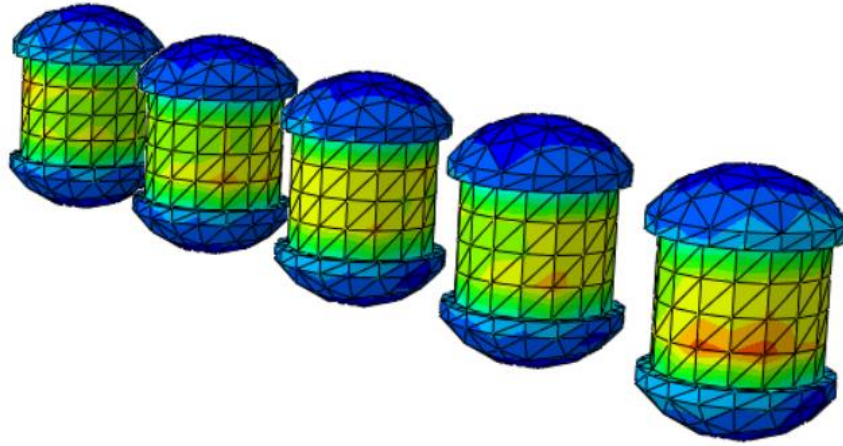
Rivet #	D [mm]	Ef [Mpa]	C _f	K
1	5	69000	0.0000116359	85940.78
2	5	69000	0.0000116359	85940.78
3	5	69000	0.0000116359	85940.78
4	5	69000	0.0000116359	85940.78
5	5	69000	0.0000116359	85940.78

10 mm çaplı 4 perçinden oluşan perçin plaka sisteminde çelik perçinli sistemin flexibility değeri 0.0000071261 stiffness değeri 140328.43 olarak okunmaktadır.

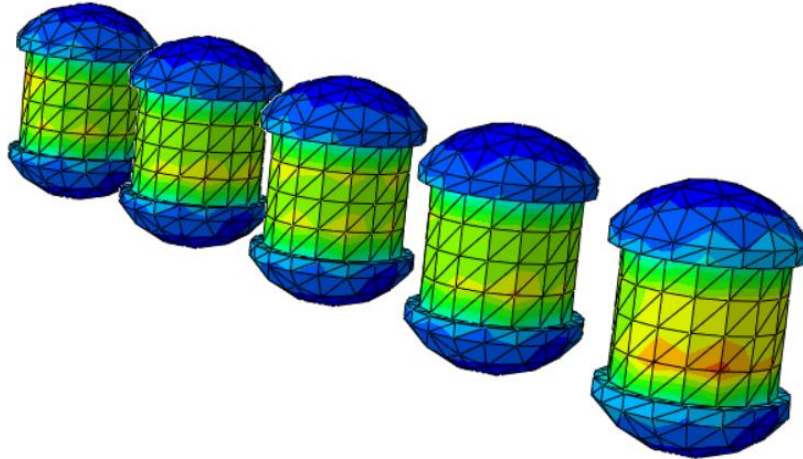
Tablo-9: Çelik Perçinli Sistemde Elde Edilen Flexibility – Stiffness Değerleri

Rivet #	D [mm]	Ef [Mpa]	C _f	K
1	5	200000	0.0000071261	140328.43
2	5	200000	0.0000071261	140328.43
3	5	200000	0.0000071261	140328.43
4	5	200000	0.0000071261	140328.43
5	5	200000	0.0000071261	140328.43

Perçin-plaka bağlantı sisteminde bağlantı elemanı elastisite modülü (E) yüksek malzeme ile değiştirildiğinde bağlantı elemanının stiffness değeri yani uygulanan kuvvete tepki olarak deformasyona karşı koyma direnci artmaktadır.



Şekil-19: Alüminyum Perçinli Sistemde Elde Edilen Analiz



Şekil- 20: Çelik Perçinli Sistemde Elde Edilen Analiz

Teorik hesaplamaların yanı sıra ABAQUS FEA paket yazılım programı ile yapılan analizde elde edilen sonuçlar teorik hesaplamaları doğrulamaktadır. Elde edilen analiz sonucunda perçin malzemesi elastisite modülü yüksek bir malzeme ile değiştiğinde kritik bölge gözlemi azalmaktadır. Özetle, Şekil -20’de gösterilen çelik perçin bağlantı sisteminde kritik bölge gözlemi Şekil-19’da gösterilen alüminyum perçin bağlantı sistemine göre daha az gözlemlenmiştir.

SONUÇ

Çalışmamızda belirlenen problemlerde çeşitli teorik sonuçlar elde edilmiştir. Teorik sonuçlar analiz ortamında simüle edilerek çalışma görselleştirilmiştir. Bu problemlere ve teorik sonuçlara göre belirlenen perçin plaka bağlantı sisteminde;

Perçin sayısı artmasına bağlı olarak perçin üzerine düşen kuvvetler azalmakta fakat plaka dayanımı azalmaktadır.

Perçin çapı arttıkça perçin plaka bağlantı sisteminde bağlantı elemanı olan perçinlerin stiffness değeri artmakta, perçinlerin karşıladığı kayma gerilmesi ve ezilme gerilmesi azalmaktadır. Plaka incelendiğinde perçin çapı arttığında plakaların yırtılma gerilmesi artmaktadır.

Perçin malzemesi elastisite modülü yüksek bir malzeme ile değiştirildiğinde perçin plaka bağlantı sisteminde bağlantı elemanı olan perçinlerin stiffness değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Yani alüminyum ve çelik perçinli sistemlerde çelik perçinli sistemden daha güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Bu sonuçlara bakılarak perçin plaka bağlantı sistemlerinde perçin sayısı değişimi, perçin çapı değişimi ve perçin malzemesi değişmesine bağlı olarak sistemin performansı değişmekte ve hem perçin hem plaka elemanlarının dayanımı göz önünde bulundurularak tasarım kriterleri belirlenmelidir.

ÖNERİLER

Bu optimizasyon çalışması hava uzay araçlarında sıklıkla tercih edilen bağlantı elemanı olan perçinlerin kullanımlarının daha doğru ve güvenilir olmasına ışık tutacak ve bu elemanların kullanımı konusunda sektörde bir farkındalık oluşturulacaktır. Ayrıca yapılmış bu çalışma geliştirilmeye açık bir çalışma konusudur. Bu çalışma konusu perçinlerin bağlandığı plakaların kalınlığına bağlı olarak optimizasyon karşılaştırılması, plaka malzemesi değişmesine bağlı olarak optimizasyon karşılaştırılması gibi problemler ile genişletilebilir.

Kaynaklar

- Charles E. Harris, A Practical Engineering App. To Predicting Fatigue Crack Growth in Riveted Lap Joints
- Evren Nur Fatma, 2017, Uçak Yapılarında Perçin Optimizasyonu, İTÜ Yüksek Lisans Tezi
- Flabel Claude J. , Practical Stress Analysis Connection Analysis (3.Kısım)
- Hibbeler R.C., 2011 Mechanics of Materials
- Khurmi R.S. , J.K. Gupta 2005 A Textbook of Machine Design
- Sarfin Thomas P., 1995 Spacecraft Structures and Mechanisms - From Concept to Launch
- Suyogkumar W Balbudhe, 2013, STRESS ANALYSIS OF RIVETED LAP JOINT
- Temiz Vedat , İTÜ Makine Elemanları Perçin Bağlantıları Ders Notları
- <https://celikaero.blogspot.com/> (Sayfa Ziyareti, 17.07.2020)