

DÜZLEMSEL GERİLMELER ETKİSİNDEKİ ARALL VE GLARE KOMPOZİT PLAKALARIN RİJİTLİK ANALİZLERİ

Müge ARMATLI KAYRAK

Yrd.Doç.Dr., Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu

ÖZET

Yeni bir kompozit malzeme konsepti olarak, Arall ve Glare uçak yapısında 1980 yılından beri kullanılmaktadır. Sünek alüminyum alaşımı ve lineer elastik rijit fiber kompozit tabakalar, aynı malzeme içinde bulunmaktadır. Bu nedenle, Arall ve Glare pek çok avantajlara sahiptir. Tabakalı kompozit yapılarda mekanik özellikler, temel eksenler doğrultusunda farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada, Arall ve Glare plakaların anizotrop davranışları, düzlemsel gerilmeler etkisindeki simetrik ve asimetrik plakalar için, tabakalı kompozit teorisi kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen rijitlik değerleri sunulmaktadır. Ayrıca, simetrik Arall ve Glare plakaların mühendislik sabitleri, bu yapıların içindeki farklı tabaka dizilişleri için incelenmektedir. Çekme elastik modülü ve kayma modülü değerleri verilmektedir ve elde edilen veriler sonuç bölümünde irdelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arall, glare, tabakalı kompozit teorisi, düzlemsel gerilmeler.

ABSTRACT

As a new composite concept Arall and Glare have been used in aircraft structure since 1980. Ductile aluminium alloy and linear elastic and rigid fiber composite plies are used in the same material. Thus Arall and Glare have many advantages. In the laminated composites mechanical properties are different in the principal material directions.

In this study, anisotropic behaviours of Arall and Glare laminates for symmetric and antisymmetric laminates under the plane stresses are analysed by using laminated composite theory. Obtained stiffness term results of Arall and Glare are given. Moreover, engineering constants of symmetric Arall and Glare laminates are analysed for different ply stacking in these structures. Tensile elastic modulus and shear modulus are given and the obtained results are discussed in the conclusion

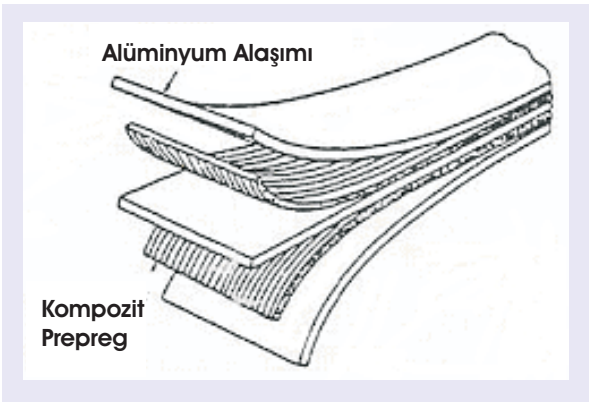
Keywords: Arall, glare, laminated composite theory, plane stresses.

Giriş

Arall ve Glare kompozit malzemeler, tabakalı metal kompozitler grubunda yer almaktadır. Şekil 1'de verildiği gibi, hibrid yapılarında epoksi matrisli fiber prepregler ile ince alüminyum folyolar kullanılmaktadır. Bu yeni tabakalı plaka konsepti 1980'lerin başlarında geliştirilmiştir [1]. Arall aramid/epoksi prepregler ile alüminyum folyo

tabakaların bir bileşimidir. Benzer olarak, Glare ise cam/epoksi prepregler ile alüminyum folyolardan oluşmuştur.

Söz konusu tabakalı metal malzemeler, özellikle havacılık uygulamaları için geliştirilmiş olan yapısal kompozitlerdir [2]. Genellikle, 2000 serisi Alüminyum alaşımları bu hibrid kompozitlerde tercih edilmektedir. Özellikle uçak kanat ve gövde yapılarının dış yüzey kaplamalarında kullanılmışlardır. Örneğin Glare, Airbus A340 yolcu uçağının ön üst panelinde ve ayrıca Amerika Birleşik Devletler Hava Kuvvetlerinin yeni tasarımı olan C-17 uçaklarının bagaj kapaklarında kullanılmıştır [3]. Glare'in bir diğer uygulaması ise, Airbus A380 yolcu uçağının gövde yapısının üst kısmında kaplama malzemesi olarak kullanılmasıdır [4]. Arall ve Glare yüksek yorulma mukavemeti, yüksek darbe direnci ve yanmaz bir yapıda olmaları gibi avantajlarının yanı sıra, düşük yoğunluklu olma avantajınada sahiptirler. Diğer



Şekil 1. Tabakalı Metal Kompozit Yapısı

tarafından, yapılarında bulunan prepreg levhaların birim maliyetleri yüksektir. Ayrıca, tabakaların birleştirilerek yapıların üretilmesindeki güçlükler ileri teknoloji yöntemlerini ve donanımlarını gerektirdiğinden, birim maliyetleri oldukça yüksektir.

Arall ve Glare plakalar, izotrop uçak metal alaşımlarından farklı olarak, anizotrop yapıdadır. Mekanik özellikleri incelenirken bu önemli fark dikkate alınmalıdır. Bu makalede, bu malzemelerin anizotropi veya ortotropi özellikleri incelenmektedir. Bu amaçla, seçilen simetrik ve asimetrik Arall ve Glare plakaların rijitlik terimleri hesaplanarak sonuçlar grafiklerde ve tablolarda sunulmuştur.

Arall ve Glare plaka yapısındaki tabakaların, temel eksellere göre simetrik olarak tasarlanmaları ile, özel bir anizotropi durumu olan ortotrop malzeme elde edilecektir.

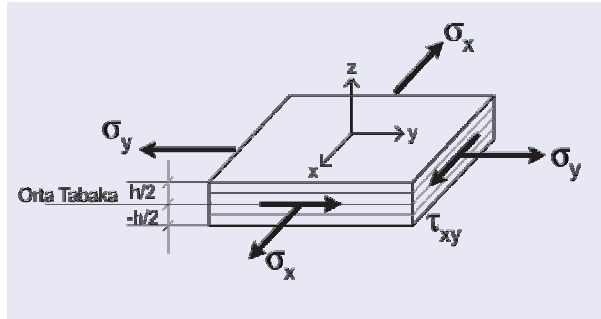
SIMETRİK VE ASİMETRİK PLAKA ANALİZLERİ

Arall ve Glare yapılarda, alüminyum alaşımı tabakalar izotrop malzemelerdir. Kevlar/epoksi ve Cam/epoksi tabakalar ise fiber takviyeli kompozit malzemeler oldukları için, anizotropi özelliğine sahiptirler. Bir orta tabakaya göre, kompozit yapının her bir tabakasının simetrik veya asimetrik dizilişte olması, düzlemsel gerilmeler altındaki davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Tabakalı bir kompozit plakada denge denklemi aşağıdaki gibi verilebilir [5].

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \int_{-h/2}^{h/2} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} dz \quad (1)$$

Burada "h" kompozit plakanın toplam kalınlığıdır ve "z" yapıyı oluşturan her bir tabakanın orta tabakadan olan uzaklığıdır.

Düzlemsel gerilmeler altında tabakalı bir kompozit plaka Şekil 2'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2. Düzlemsel Gerilmelerin Etkisindeki Tabakalı Plaka

Denklem 1 şekil değişimleri ve rijitlikler cinsinden şu şekilde verilebilir [6].

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^n \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}_k \left(\int_{z_{k-1}}^{z_k} \begin{bmatrix} \epsilon_{x0} \\ \epsilon_{y0} \\ \gamma_{xy0} \end{bmatrix} dz + \int_{z_{k-1}}^{z_k} \begin{bmatrix} k_{x0} \\ k_{y0} \\ k_{xy0} \end{bmatrix} z dz \right) \quad (2)$$

Burada "n" toplam tabaka sayısını göstermektedir. " \bar{Q}_{ij} " terimleri ise rijitlik terimleridir ve her bir tabakanın fiber açıları olan " θ " açılarının bir fonksiyonudur.

" \bar{Q}_{ij} " rijitlik terimleri aşağıdaki gibi "U" terimlerinin bir fonksiyonu olarak verilebilirler [7].

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= U_1 + U_2 \cos 2\theta + U_3 \cos 4\theta \\ \bar{Q}_{12} &= U_4 - U_3 \cos 4\theta \\ \bar{Q}_{22} &= U_1 - U_2 \cos 2\theta + U_3 \cos 4\theta \\ \bar{Q}_{16} &= -\frac{1}{2} U_2 \sin 2\theta - U_3 \sin 4\theta \\ \bar{Q}_{26} &= -\frac{1}{2} U_2 \sin 2\theta + U_3 \sin 4\theta \\ \bar{Q}_{66} &= U_5 - U_3 \cos 4\theta \end{aligned} \quad (3)$$

Burada, "U" terimleri ise şöyle tanımlanırlar [7].

$$\begin{aligned} U_1 &= (3Q_{11} + 3Q_{22} + 2Q_{12} + 4Q_{66})/8 \\ U_2 &= (Q_{11} - Q_{22})/2 \\ U_3 &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 4Q_{66})/8 \\ U_4 &= (Q_{11} + Q_{22} + 6Q_{12} - 4Q_{66})/8 \\ U_5 &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} + 4Q_{66})/8 \end{aligned} \quad (4)$$

4 bağıntısında verilen " Q_i " terimleri tek yönlü (0°) bir kompozit plaka için tanımlanmış rijitlik terimleridir. Bu terimler, bir tabakanın mühendislik sabitlerinin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki denklemle açıklanabilir.

$$Q_{11} = \frac{E_{11}}{(1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})}$$

$$Q_{22} = \frac{E_{22}}{(1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})} \quad (5)$$

$$Q_{12} = \frac{E_{22} \cdot \nu_{12}}{(1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})}$$

$$Q_{66} = G_{12}$$

Tek yönlü fiberli bir kompozit tabakada, birbirinden bağımsız dört elastik sabit mevcuttur. Bunlar E_{11} , E_{22} , ν_{12} and G_{12} terimleridir [8].

2 denklemleri, aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{x0} \\ \epsilon_{y0} \\ \gamma_{xy0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{x0} \\ k_{y0} \\ k_{xy0} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada, "A_{ij}" terimleri uzama rijitliği terimleri, "B_{ij}" terimleri ise uzama-eğilme bağlantı rijitliği terimleri olarak, aşağıdaki gibi verilebilirler [10].

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k \cdot (Z_k - Z_{k-1})$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k \cdot (Z_k^2 - Z_{k-1}^2) \quad (7)$$

Burada, "ε" ve "k" terimleri sırasıyla, plakanın orta tabakasının şekil değişim ve eğrilik değerleridir ve bu değerler plaka kalınlığı "h" dan bağımsızdır [11].

Diğer taraftan, alüminyum alaşımı tabakalar izotropik malzemeler olduğundan birbirinden bağımsız iki elastik sabit vardır. Bunlar "E" elastik modül ve "ν" Poisson oranıdır. İzotropik tabakalar için rijitlik terimleri ise aşağıdaki gibidir [9].

$$A_{11} = A_{22} = \frac{E \cdot h}{1 - \nu^2}$$

$$A_{12} = \nu \cdot A_{11} \quad (8)$$

$$A_{66} = \frac{E \cdot h}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

Tablo 1. Alüminyum Alaşımı ve Kompozit Levhaların Mekanik Özellikleri

MALZEME	Kevlar 49 / Epoksi	Cam / Epoksi	Alüminyum Alaşımı (2024 T4)
Fiberler Yönünde Elastik Modül E₁₁ (GPa)	86.2	54	73
Fiberlere Dik Yönde Elastik Modül E₂₂ (GPa)	5.52	18	73
Kayma Modülü G₁₂ (GPa)	2.07	9	28
Poisson Oranı ν₁₂	0.3	0.25	0.3
Fiber Hacim Oranı V_f (%)	65	65	-
Yoğunluk ρ (gr/cm³)	1.35	2.2	2.8

Bu çalışmada incelenen Arall ve Glare plakalarda kullanılan Kevlar49/epoksi, Cam/epoksi ve Alüminyum alaşımı (2024-T4) tabakaların mekanik özellikleri ve yoğunluk değerleri, Tablo 1'de verilmektedir [10,12,13].

Simetrik ve asimetrik olarak tasarlanmış olan Arall ve Glare plakalar çalışmada, 1-2-3 ve 4 sayıları ile gösterilmişlerdir. Her bir plaka için "A_{ij}" ve "B_{ij}" terimleri belirlenerek, elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'de verilen plakaların her bir tabakası eşit kalınlıklı olarak seçilmiştir. 1 nolu plaka, simetrik olarak tasarlanmıştır ve "s" indisi bu özelliği gösterir. Dağılımı (AL₂/0°₂/+45°/-45°)_s olarak verilmektedir. 2 nolu plaka (AL₂/0°₂/+45°/-45°/AL₂/0°₂/+45°/-45°) tabakalarından oluşur ve asimetrik, 3 nolu plaka (AL₂/0°₂/+45°)_s olarak simetrik yapıdadır ve 4 nolu plaka (AL₂/0°₂/+45°/-45°/+45°/-45°/0°₂/AL₂) dağılımı ile asimetrik.

"B_{ij}" terimleri, uzama-eğilme bağlantı rijitliği terimleri olarak, 1 ve 3 nolu simetrik plakalar için sıfır değerini almışlardır. İzotrop yapılar için bu terimler daima sıfır değerindedirler. Ancak kevlar/epoksi ve cam/epoksi tabakalar için bu tabakaların kompozit yapı içinde hem kalınlık hemde fiber açığı dağılımı bakımından simetrik olarak tasarlanmaları gerekmektedir. Bu

Tablo 2. Simetrik ve Asimetrik Plakaların Rijitlik Değerleri

RİJİTLİK TERİMLERİ	PLAKALAR							
	"1" Simetrik		"2" Asimetrik		"3" Simetrik		"4" Asimetrik	
A_{ij} (kN/mm)	Arall	Glare	Arall	Glare	Arall	Glare	Arall	Glare
A_{11}	96.45	82.6	96.45	82.6	96.45	82.6	96.45	82.6
A_{22}	55.89	64.3	55.89	64.3	55.89	64.3	55.89	64.3
A_{12}	23.85	20.5	23.85	20.5	23.85	20.5	23.85	20.5
A_{66}	26.1	26.5	26.1	26.5	26.1	26.5	26.1	26.5
A_{16}	0	0	0	0	10.2	4.6	0	0
A_{26}	0	0	0	0	10.2	4.6	0	0
B_{ij} (kN)								
B_{11}	0	0	-6.8	-6.3	0	0	0	0
B_{22}	0	0	-6.8	-6.3	0	0	0	0
B_{12}	0	0	-0.26	-1.51	0	0	0	0
B_{66}	0	0	-0.75	-1.5	0	0	0	0
B_{16}	0	0	0.63	0.29	0	0	0.64	0.29
B_{26}	0	0	0.63	0.29	0	0	0.64	0.29

"1": $(AL_2/0^\circ_2/+45^\circ/-45^\circ)_s$

"3": $(AL_2/0^\circ_2/+45^\circ)_s$

"2": $(AL_2/0^\circ_2/+45^\circ/-45^\circ/AL_2/0^\circ_2/+45^\circ/-45^\circ)$

"4": $(AL_2/0^\circ_2/+45^\circ/-45^\circ/+45^\circ/-45^\circ/0^\circ_2/AL_2)$

durumda " B_{ij} " terimleri sıfır olacaktır ve aksel kuvvetlerin etkisinde plakada burulma ve eğilme deformasyonu görülmecektir.

" A_{16} " ve " A_{26} " terimleri uzama-kayma bağlantısını gösteren terimlerdir. Bu terimler izotrop yapılar için daima sıfır değerini alırlar. Fiber kompozit plakalar için yapı simetrik olmasına rağmen, 3 nolu plakada olduğu gibi, bu terimler sıfırdan farklı değerler alabilirler. 0° ve 90° açılı tabakalar için " A_{16} " ve " A_{26} " terimleri sıfırdır. " $+ \theta^\circ$ " açılı her tabaka için, hemen ardında " $- \theta^\circ$ " açılı bir diğer tabakanın varlığı gerekmektedir ($0^\circ < \theta < 90^\circ$ için). Bu şekilde dengelenmiş simetrik yapılarda " A_{16} " ve " A_{26} " terimleri sıfır değerini alırlar, 1 nolu plakada bu sağlanmıştır.

2 nolu plakada simetrik tabaka dizilişi sağlanmadığı için " B_{ij} " terimleri, bu formdaki hem Arall hemde Glare için sıfırdan farklı değerler almışlardır. Bu

terimlerin negatif işaretleri şekil değişiminin yönünü göstermektedir. 4 nolu plaka asimetrik yapıdadır dolayısıyla " B_{16} " ve " B_{26} " terimleri sıfırdan farklı değerler almıştır.

4 nolu plaka için 6 nolu denklem aşağıdaki gibi yazılacaktır.

$$N_x = A_{11} \cdot \epsilon_{x0} + A_{12} \cdot \epsilon_{y0} + B_{16} \cdot k_{xy0} \quad (9)$$

Burada, aksel bir " N_x " yükünün etkisi ile orta tabakanın, burulma deformasyonuna da sahip olduğu görülmektedir.

SİMETRİK VE DENGELENMİŞ PLAKALARIN ANALİZLERİ

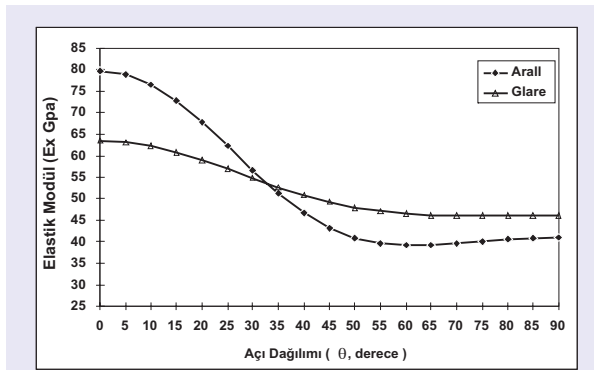
Bu bölümde, simetrik ve dengelenmiş plakaların farklı açı dağılımında olmaları durumu incelenmektedir. Dengelenmiş plaka ifadesi ile " $+ \theta^\circ$ " açılı her tabakanın

ardına " $-\theta^{\circ}$ " açılı bir başka tabakanın yerleştirildiği belirtilmektedir. Bu inceleme plakaların hem Arall, hemde Glare olmaları durumu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Plakaların elastik sabitleri rijitlik terimlerinin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır [14].

$$\begin{aligned} E_x &= A_{11} \cdot A_{22} - A_{12}^2 / h \cdot A_{22} \\ E_y &= A_{11} \cdot A_{22} - A_{12}^2 / h \cdot A_{11} \\ v_{xy} &= A_{12} / A_{22} \\ G_{xy} &= h \cdot A_{66} \end{aligned} \quad (10)$$

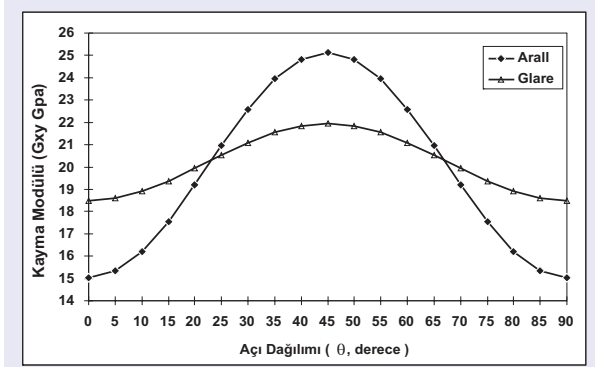
Elde edilen sonuçlar, Şekil 3 ve Şekil 4'deki grafiklerde verilmiştir. Grafiklerde Arall ve Glare plakalar için, yatay eksen üzerinde, orijin (0°) noktasında, (AL/ 0°)s dağılımı, (90°) noktasında (AL/ 90°)s dağılımı ve aradaki tüm (θ°) noktalarında ise (AL/ $+\theta^{\circ}$ / $-\theta^{\circ}$)s ($0 \leq \theta \leq 90^{\circ}$) dağılımı için değerler hesaplanmıştır. Tüm plakalarda Alüminyum alaşımı ve fiber takviyeli Kevlar49/epoksi, Cam/epoksi tabakaların kalınlıkları eşit olarak alınmıştır. Elastik modül (E_x) değerleri Şekil 3'de, kayma modülü (G_{xy}) değerleri ise Şekil 4'de sunulmaktadır.

Şekil 3'de verilen grafiklerde (AL/ 0°)s dağılımlı, hem Arall hemde Glare plakalar için en büyük elastik modül değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Kayma modülü ise Şekil 4'de verilen grafiklerde, her iki malzeme içinde



Şekil 3. Elastik Modül Değerlerinin Tabaka Açılımları ile Değişimi

(AL / $+45^{\circ}$ / -45°)s dağılımına sahip yapılarda en büyük değerini almıştır.



Şekil 4. Kayma Modülü Değerlerinin Tabaka Açılımları ile Değişimi

Özgül Elastik Sabitler

Uçak malzemeleri için mekanik özelliklerin yüksek olması yeterli olmayıp, mekanik özelliğin malzeme yoğunluğuna oranı olarak tanımlanan, birim hacimdeki "Özgül mekanik özellikler" büyük önem taşımaktadır. Malzemeler bu kriter bakımından birbirleri ile karşılaştırılmalıdır. Bu çalışmada, konvansiyonel bir uçak malzemesi olan Alüminyum alaşımı (2024-T4) ile Arall ve Glare kompozit plakaların Özgül elastik sabitleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu kısımda incelenen Arall ve Glare plakaların yapısındaki tabakaların %50'si Alüminyum alaşımı, %50'si ise fiber takviyeli Kevlar49/epoksi ve Cam/epoksi kompozit olarak seçilmiştir. Tablo 3'de verilen, Arall ve Glare malzemelerdeki fiber takviyeli tabakalarda, en çok kullanılan ve elastik sabitlerin (E_x , E_y , G_{xy}) maksimum değerlere ulaştığı açılar 0° , 90° ve $\pm 45^{\circ}$ kullanılmıştır.

Arall ve Glare olarak seçilen (AL/ 0°)s, (AL/ 90°)s, (AL / $+45^{\circ}$ / -45°)s dizilişleri ve birde (AL / 0° / 90°)s durumu için, eşit tabaka kalınlığına sahip yapıların "Özgül elastik modülleri" hesaplanmıştır. Burada 10 nolu denklem kullanılmıştır, elde edilen veriler sonuç bölümünde tartışılmıştır.

Tablo 3. Arall ve Glare Plakaların Özgül Mühendislik Sabitleri

MALZEME ÖZELLİK	Alüminyum Alaşıımı (2024 T4)	(AL/0°) _s		(AL/90°) _s		(AL/0°/90°) _s		(AL/+45°/-45°) _s	
		Arall	Glare	Arall	Glare	Arall	Glare	Arall	Glare
Özgül Elastik Modül (Fiberler Yönünde) E _x (GPa.cm ³ /gr)	26.07	38.4	25.4	19.7	18.47	29.2	21.95	20.78	19.68
Özgül Elastik Modül (Fiberlere Dik Yönde) E _y (GPa.cm ³ /gr)	26.07	19.7	18.47	38.4	25.4	29.2	21.95	20.78	19.68
Özgül Kayma Modülü G _{xy} (GPa.cm ³ /gr)	10	7.25	7.4	7.25	7.4	7.25	7.4	12.1	8.8
Poisson Oranı ν _{xy}	0.3	0.3	0.29	0.15	0.22	0.2	0.25	0.43	0.33

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Arall ve Glare malzemelerin mühendislik sabitleri, yapılarını oluşturan alüminyum alaşıminin ve fiber takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ile ilgilidir. Bu makalede Tablo 1'de verilen malzemeler dikkate alınmıştır. Yapı içinde metal ve fiber kompozit tabakaların oran dağılımlarında mekanik özellikleri etkilemektedir. Çalışmada, %50 metal %50 fiber kompozit tabaka oranları seçilmiştir.

Metalik izotrop malzemelerin davranışlarına benzer özellikler elde etmek için, Tablo 2'de verilen simetrik ve asimetric yapılar incelenmiştir. Simetrik yapılar için "B_i" bağlantı rijitliği terimleri sıfır değerini almaktadır. Ayrıca, dengelenmiş tabaka dağılımları için plakanın A₁₆ ve A₂₆ terimlerinde sıfır olmaktadır. Simetrik yapılarda (+θ/-θ) tabaka dağılımı ile izotrop davranışlara yaklaşılmaktadır. Plaka içindeki alüminyum alaşıımı tabakaların dağılımında ise simetri koşulu sağlandığı sürece özellikler etkilenmeyecektir. Ancak, fiber kompozit tabakalar için Şekil 3 ve 4'de verilen değişimler dikkate alınmalıdır. Bu grafiklerden Arall ve Glare plakalar için, maksimum özelliklerin sağlandığı tabaka açısı dağılımları seçilebilir. Şekil 3'de hem Arall hemde Glare için, (AL/0°)_s açılı plakada Elastik modül maksimum değerini aldığı için,

tek eksenli gerilme etkisindeki yapılarda bu dağılım optimum olacaktır. Şekil 4'de ise her iki malzeme için (AL/+45°/-45°)_s dizilişinde Kayma modülü değeri maksimum olmaktadır. (AL/0°)_s ve (AL/90°)_s plakaları için kayma modülü eşit büyüklükte ve minimum değerdedir.

Plakaların yükleme durumları tabaka dağılımı seçiminde dikkate alınmalıdır. Kayma yüklerinin etkisi altında olan bir plakada, (+45°/-45°) açılı tabakalar ard arda yerleştirilmelidir. Benzer olarak iki eksenli yükleme durumunda, (0°/90°) açılı veya (+θ/-θ) açılı yapıda yer almalıdır. Söz konusu θ açısı değerleri, Şekil 3'de verilen grafik yardımı ile belirlenebilir. Özgül mühendislik sabitleri Tablo 3'den incelenecek olursa, Arall plakaların Glare ve Alüminyum alaşıımı malzemelerden daha yüksek değerlere sahip oldukları görülmektedir. Tek yönlü tabakalara sahip Glare ise Alüminyum alaşıımı ile karşılaştırılabilecek kadar yüksek özellikler göstermektedir ve düşük yoğunluk avantajına sahip olması önemlidir.

KAYNAKÇA

1. Khatibi, A. A., Lawcock, G., LiYe and Wing Mai, L., "On the Fracture Mechanical Behaviour of Fibre Reinforced Metal Laminates". Computer Methods in

- Applied Mechanics and Engineering, Vol 185, 2000, pp. 173-190.
2. **Castrodeza, E. M., Batian, F. L. and Perezpina, J.E.**, "Critical Fracture Toughness of Unidirectional Fibre- Metal Laminates". Thin-Walled Structures, Vol 41, 2003, pp. 1089-1101.
 3. <http://www.lr.tudelft.nl/highlights/glare.asp>
 4. [Http://www.tu-harburg.de/kvweb/kvsh/kvsh_research.html](http://www.tu-harburg.de/kvweb/kvsh/kvsh_research.html)
 5. **Carlson, L. A. and Gillspie, J. W.**, "Composites Design Studies". Technomic Publishing Company, Lancaster, 1977.
 6. **Jones, B.**, "Design Fabrication and Mechanics of Composite Structures", Technomic Publishing Company Inc., 1985.
 7. **Miki, M. and Sugiyama, Y.**, "Optimum Design of Laminated Composite Plates Using Lamination Parameters". American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., Vol 31, No 5, May, 1993, pp.931-932.
 8. **Armatlı Kayrak, M.**, "Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri". Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 1999.
 9. **Sih, G. C. and Skudra A. M.**, "Failure Mechanics of Composites". Elsevier Science Publishing Company, 1987.
 10. **Jones, R. M.**, "Mechanics of Composite Materials". Publishing Corporation, New York, 1975.
 11. **Pipes, R. B.**, "Introduction to thin laminate theory". Agard LS-124, Technical Editing and Reproduction Ltd., London, 1982, Paper 5, pp1-11.
 12. **Armatlı Kayrak, M.**, "Ortotrop Fiber Kompozitlerin Elastik Özelliklerinin İncelenmesi". Kayseri III Havacılık Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 10-11 Mayıs 2000, s. 536-540.
 13. **Schwartz, M. M.**, "Composite Materials Handbook.", McGraw-Hill Company, 1983.
 14. **Tsai, S.W. and Patterson, J. M.**, "Integrated Micro-Macro Mechanics of Composite Materials". Technomic Publishing Co.Inc., 1987.

ODA DERGİLERİ 2006 YILI ABONE KOŞULLARI

Adı-Soyadı :

Meslek :

İşyeri Adı :

Adres ve Posta Kodu :

Telefon :

e-posta :

Kayıtlı Olduğunuz ODA :

Oda Sicil No :

İSTENİLEN DERGİ

Dergi	Yıllık Abone Bedeli
[] Mühendis ve Makina.....	30 YTL
[] Endüstri Mühendisliği.....	15 YTL
[] Tesisat Mühendisliği.....	18 YTL

Tek Dergi Bedelsiz Mühendis ve Makina Endüstri Mühendisliği Tesisat Mühendisliği

Ödenen Miktar :

Ödeme Şekli :

Gereğini bilgilerinize sunarım.

Tarih / / 2006 İmza

- 96954 No.lu Posta Çeki hesabına, fotokopisiyle beraber bir dilekçe
- İş Bankası Yenişehir/ANK. Şb. 4218 89872 Hs. Banka dekontu ile beraber bir dilekçe



Not: Üyelere tek dergi ücretsiz olup, tercih edilecek diğer dergiler için yukarıdaki abonelik koşulları geçerlidir.