



Miğfer Yapıları İçin Oluşturulan Tabakalı Hibrit Kompozit Plakanın Mekanik Analizi

Burhan TEPEHAN*^{ID}, İsmail Yasin SÜLÜ^{ID}

İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya/Türkiye

Anahtar Kelimeler:

*Kompozit malzemeler,
Sonlu elemanlar analizi,
Çarpışma analizi,
A17075,
Karbon fiber,
Cam fiber*

Özet

Bu çalışmada, mukavemeti arttırılmış hibrit tabakalı bir kompozit plaka arasına eklenmiş alüminyum alaşımının yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu katmanlı plaka için kompozit malzeme türlerinden karbon fiber ve cam fiber seçilmiştir. Bu malzemelerin arasına eklenecek bağlayıcı olarak epoksi reçine belirlenmiştir. Çalışmalar nümerik analiz olarak sonlu elemanlar temelli ANSYS paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu sonlu elemanlar yönteminden faydalanarak çarpışma analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucundan sac levhanın ve yapılan kompozit diziliminin etkileri araştırılmış olup ideal dizilimler tespit edilmeye çalışılmıştır.

*e-posta: brhntphn@gmail.com

Bu makaleye atıf yapmak için:

Burhan TEPEHAN; İsmail Yasin SÜLÜ , " Balistik Yapılar İçin Tabakalı Hibrit Kompozit Plakanın Mekanik Analizi", Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, C. 5, s 1, ss. 69-80

How to cite this article:

Burhan TEPEHAN; İsmail Yasin SÜLÜ , "Mechanical Analysis of a Layered Hybrid Composite Plate Created for Helmet Structures", Bayburt University Journal of Science, vol. 5, no 1, pp. 69-80

Mechanical Analysis of a Layered Hybrid Composite Plate Created for Helmet Structures

Keywords:

Composite materials,
Finite element analysis,
Collision analysis,
Al7075,
Carbon fiber,
Glass fiber

Abstract

In this study, the effects of aluminum alloy added between a hybrid decked composite plate with increased strength on the structure were investigated. Of the types of composite materials for this layered plate, carbon fiber and glass fiber were selected. Epoxy resin has been deciphered as the binder to be added between these materials. The studies were carried out using the finite element based ANSYS package program as numerical analysis. Collision analysis was applied using the three-dimensional finite element method. As a result of this analysis, the effects of sheet metal and the composite sequence were investigated and ideal sequences were tried to be determined.

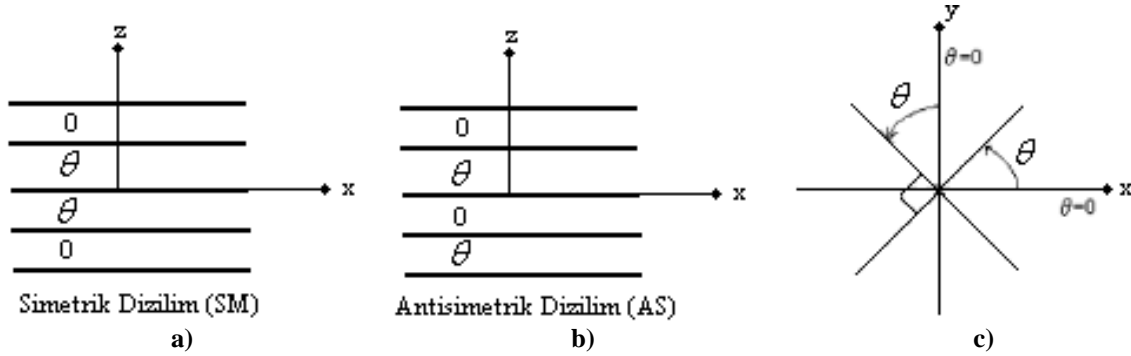
1 GİRİŞ

Kompozit malzemeler, iki veya daha çok öğeden oluşan bir malzemedir. Kompozit malzeme özetle ‘iki veya daha fazla öğenin ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan yapılar şeklinde ifade edilebilir. Kompozit yapılar meydana getirilirken öğeleri genellikle barındırdıkları mukavemet özelliklerini korurlar[1]. Kompozit malzemeler birçok alanda sıklıkla kullanılmakta ve savunma sanayisinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Teknolojinin gelişmesi doğrultusunda kompozitlerde kayda değer gelişmeler ve yenilikler ortaya çıkmaktadır. Gün geçtikçe uzay, havacılık, savunma, otomotiv vb. sanayilerinin en önemli parçalarından biri haline gelmiştir. Bünyesinde barındırdığı özelliklerinden dolayı özellikle savunma sanayi ve diğer sanayi dallarında da sıklıkla görülmektedir. Kompozitler, matris bakımından metal, polimer ve seramik esaslı olmak üzere 3’e ayrılmıştır. Kompozitler takviye elemanı bakımından partikül, fiber ve whisker, yapının şekli bakımından ise film-folyo, bal peteği, tabakalı, kaplamalı, ve filaman sarılmış olmak üzere sınıflara ayrılmaktadır[2].Savunma sanayinde ve diğer uygulama alanlarında kompozitlerden istenen mukavemet özellikleri, kolay şekillendirilebilirlik yüksek dayanım/yoğunluk oranı, elektriksel özellik, korozyona ve kimyasallara dayanım, renklendirilme ve titreşimlere karşı sönümleme gibi özellikleri üzerinde barındırmasıdır. Bu özelliklerin hepsinin bir malzeme üzerinde toplamak son derece zor olsa da istenilenler doğrultusunda iki veya daha fazlasını içermesi beklenmektedir. Kompozit malzemeler hemen hemen her sektörde sıklıkla görülmektedir. Askeri hava araçları (uçak, helikopter vb.) kanat kuyruk kısmında, egzoz flabinde, kara araçlarının zırhlandırılmasında (tank ,panzer vb.) , askeri nakliyatlarında kullanılan ağır vasıtalarda , vücut koruyucu kişisel donanımlarda , yeleklerde, silah şase kısmında , insansız hava aracının gövde,kanat ve kuyruk kısmında , araç koltuklarında ve yanmaz askeri çadırlarda kullanılmaktadır [3]. Kompozit malzemelerle sıklıkla karşılaştığımız bir diğer özel alan ise askeri kasklardır.Kasklar askeri alanda kullanılmakta ve ölümcül darbelere karşı önemli derecede koruma sağlayabilmektedir. İlk kompozit kasklar 1960'larda balistik naylon kullanılarak oluşturulmuştur [4]. Bir süre sonra aramid takviyeli kompozitler tanıtılmış ve askeri kasklarda kullanılan en yaygın malzeme olmuştur. Yaygın olarak kullanılan aramid türleri Nomex (Dupont), Conex (Teijin) ve Conex HT (Teijin)'dir. Balistik uygulamalarda kullanılan aramid kumaş türleri ise para aramid fiberlerdir [5]. Kevlar balistik alanında kişisel donanımların üretiminde yoğun bir şekilde kullanılmakta ve yüksek mekanik özellikleri ile bilinmektedir [6]. Aramidin ardından ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilenler (UHMWPE) balistik alanlar için aramidin yerini alması beklenmiştir. UHMWPE uzun yıllar balistik çalışmalarda etkisini kanıtlamış. Fakat kask üretiminde aramidin yerini almaya yeni yeni başlamıştır. Son yıllarda, üretim aşamalarının iyileşmesi ve özelliklerinin belirlenmesi şartlarının daha da zorlaşmasıyla, UHMWPE malzemesi, yüksek performans gösteren, hafif ve gelişmiş balistik kasklarda kullanılan en yaygın malzeme haline gelmiştir [7]. Tablo 1’de aramid ve UHMWPE malzemelerinin balistik açıdan değerlendirilmesi verilmiştir.

Tablo 1. Temel Kask İşlevleri için Malzeme Uygunluğu [4]

Temel İşlev	Aramid	UHMWPE
Parçalanma koruması	Orta	İyi
Balistik koruması	Orta	İyi
Azaltılmış arka yüz işareti	Orta	Düşük
Yapısal performans	Orta	Düşük
Çarpma performansı	Orta	Düşük
Düşük yancılık	İyi	Orta
Çevresel performans	Orta	Orta

Kask yapılarında kullanılan malzemeler, bu özellikler açısından birine veya daha fazlasına uyan, ancak diğer özellikler açısından çatışan özelliklere sahiptir. Örneğin, UHMWPE balistik ve parçalanma açısından mükemmel olması, ancak diğer malzemeye kıyasla daha fazla deforme olması bir endişe haline gelmiştir. Bu nedenler ışığında en etkili kask üretimi, tüm gereksinimleri etkili bir şekilde karşılamak için yalnızca tek bir malzemeden oluşmamaktadır[7]. Bu çalışmalar ışığında, kask yapıları, müşteri ihtiyacını karşılamak ve performansı ideal hale getirmek için birden fazla farklı malzemeyi hibrit yapılarda birleştirmek anlamına gelmektedir. Literatürdeki çalışmalardan biri olan Baybora ve arkadaşları çalışmalarında hibrit yapıyı, ultra yüksek moleküler yoğunluklu polietilen (UHMWPE), aramid, cam ve karbon elyaflarından oluşan kumaşları, PE film katmanları ile basınç ve sıcaklık kontrolü yapabilen bir pres cihazı yardımıyla tabakalı yapı formunda bir araya getirmiştir. Bu meydana gelen çok katmanlı kompozit levhalar ile balistik testler yapmışlardır[8]. Kask üretiminde hangi malzemelerin tercih edileceği, üretim tekniği ve hangi formlarda birleştirileceği her zaman müşteri ihtiyaçlarına göre şekillenen bir proses olmuştur. Tabakalı bir kask oluşumunda mukavemet ve diğer özellikler açısından malzemelerin etkisi tartışılmazdır. Ancak tabakalı kask üretiminde mukavemet özelliklerini ve diğer özellikleri etkileyecek bir diğer parametre oryantasyon açıdır. M.Yavuz ve arkadaşları oryantasyon açıları ile ilgili çalışmasında farklı oryantasyon açılarına sahip tabakalı kompozit yapının eksenel çekme yükü altındaki davranışlarını deneysel olarak çekme cihazına bağladığı numunelerini çekme yükü altında çeki gerilmeleri tespit etmiştir. Deney sonucunda kompozit malzemelerin aynı takviye malzemesi ve takviye malzemesinin kesitine sahip katmanlı kompozitlerden antisimetrik (AS) dizilimden elde edilen gerilme değerleri, simetrik (SM) diziliminde ki tabakalı kompozitler için edinilen gerilme değerlerinden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Oryantasyon açısı arttıkça sadece antisimetrik (AS) değil aynı zamanda simetrik (SM) dizilimdeki katmanlı kompozitlerin gerilme değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir. Aynı dizilim ve oryantasyon açısına sahip olan katmanlı kompozitlerde takviye malzeme kısmının artmasıyla gerilme değerlerinde artış yaşanmıştır [9]. Bu bilgilerden referansla bu çalışmada antisimetrik açı dizilimi kullanılacaktır.



Şekil 1. 4 Katmanlı levha dizilimi a) Simetrik (SM) b) Antisimetrik (AS) c) Gösterim Şekli [9]

Literatürde yapılan çalışmalarda da değinildiği üzere kompozit miğfer üretmek için sadece bir malzeme ve bir metot yeterli olmamaktadır. Bu hususlar dikkate alındığında, kompozit miğferin hem ağırlık hem de mukavemet açısından avantajlı bir yapı olması için katmanlı hibrit kompozit olması düşünülmüştür. Hibrit kompozit yapı için tabaka diziliminin merkezinde metal malzeme yer alacak olup, cam fiber kumaşın ve karbon fiber kumaşın ise metali kaplayacak şekilde farklı oryantasyon dizilimleri dikkate alınarak yerleştirilecektir. Oluşturulan hibrit kompozit yapının sonlu elemanlar analizi sonucunda deformasyon ve gerilme değerleri incelenecektir. Ağırlığın önemli bir faktör olduğu dikkate alındığında eklenecek sac metalin katmanlar arasında mukavemeti artırıcı bir etki oluşturacağı düşünülmüştür. Ayrıca hibrit yapıdaki katman sayısının değiştirme imkanı olduğundan ağırlığında bu şekilde kontrol edilmesi mümkün olacaktır. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran bir çok parametre bulunmaktadır. Özellikle kompozit malzemelerin koruma teçhizatı olarak kullanımını içeren çalışmalar incelendiğinde böyle bir hibrit bileşene rastlanmamıştır. Genellikle diğer çalışmalarda farklı kompozit tipleri kullanılmaya çalışılarak mukavemet değerleri iyileştirilmeye çalışırken benim çalışmam da oryantasyon açısı, alüminyum alaşımı ve oryantasyon dizilimlerini değiştirerek en ideal dizilime ulaşmaya çalışmak bu çalışmayı diğerlerinden ayıran fark olmuştur.

2 MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, Karbon Fiber (KF), Cam Fiber (CF) ve Al7075-T6 alaşımının birlikte kullanılarak tabakalı bir yapıda bir araya getirilmiştir. Bu malzemeler savunma sanayisinin havacılık alanında sıklıkla kullanılan malzemelerdir. Bu malzemelerin sahip oldukları özgül dayanım, özgül sertlik, yorulma ömrü ve korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı askeri ve sivil uygulamalarda sıklıkla görülmektedir[10]. Eurocopter Tiger projelerinde karbon fiber takviyeli kompozitler kullanılmıştır. Kompozitler, JSF, EFA vb. askeri uçaklarda, bünyesel kütlede %40, aracın yüzey alanında ise %70'e varan oranlarda kullanılmaktadır [11]. Bu malzemeler aynı zamanda

balistik alanda da sıklıkla görülmektedir. Cam elyaflar yüksek çekme dayanımı, iyi kimyasal direnç, elektriksel yalıtıcılık ve daha ekonomik olması sebebiyle polimer matrisli kompozit yapılarda ideal takviye elemanı sıfatıyla kullanılmaktadır[12]. Tablo 2’de Karbon Fiber (KF) ve Cam Fiber (CF)’e ait mukavemet ve teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. KF ve CF’nin teknik özellikleri [13]

	KF	CF
Kumaş kalınlığı (mm)	0.4	0.35
Alansal ağırlık (gr /m ²)	245	296
Reçine tüketimi (gr /m ²)	281	294
Yoğunluk (gr /cm ³)	1.8	2.54
Young modülü (GPa)	220-240	70
Germe dayanımı (MPa)	3450 – 4850	2200

Yüksek dayanımlı çelikler koruyucu donanım olarak seçilmemesinde ki en büyük sebep yüksek yoğunluğa sahip olmasıdır. Al7075-T6 alüminyum alaşımı mükemmel dayanımının yanında düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı bir zırh malzemesi adayı olarak görülmektedir[14]. Al7075 –T6’nın teknik özellikleri Tablo 3’de ki gibidir.

Tablo 3.Al7075 –T6 malzemesinin teknik özellikleri [15]

Isıl işlem	Akma değeri (MPa)	Çekme değeri (Mpa)	Elastikiyet (%)	Sertlik değeri (Brinel)
T6	460-505	530-570	10	140-160

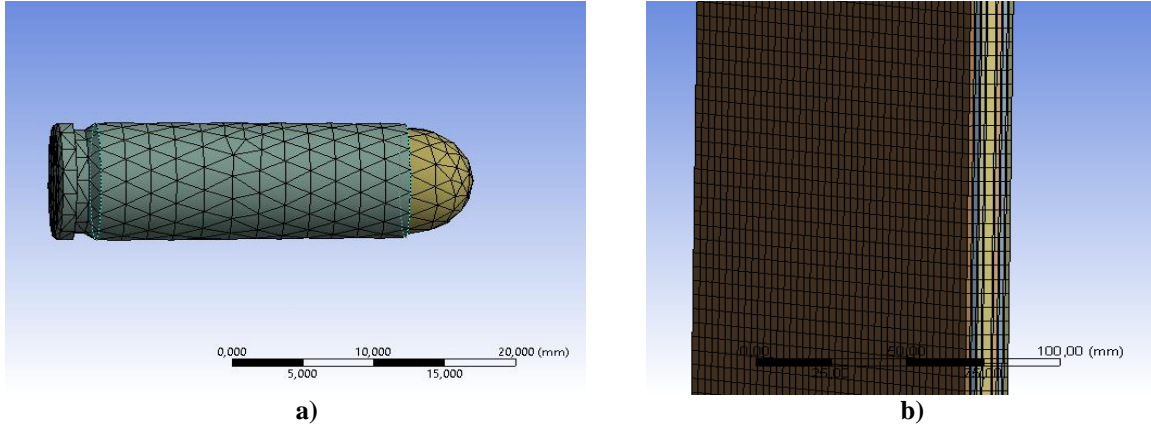
Hibrit katmanlı miğfer tasarımını oluştururken miğfer yapısının karmaşıklığından dolayı modellemesi ve balistik testlerinin yapılması oldukça zordur. Bu sebeple nümerik analizlerde kolay veriler oluşturmak için aynı özelliklerine sahip levha şeklide incelenmiştir. Karbon fiber ve cam fiberkumaşlardan oluşan bir hibrit tabakalı kompozit yapının arasına eklenen Al7075-T6 malzemesinin nümerik olarak çarpışma analizi sonrasında deformasyon ve gerilme değerlerinde değişimi incelenmiştir. Levha üretimi için seçilecek ebatlar 250x250x15 mm boyutlarında seçilmiştir. Belirlenen bu tabaka boyutları Bitlisli ve arkadaşı çalışmasında karesel formda 200x200 mm boyutlarında ve farklı tabaka kalınları belirleyerek bir çalışma yapmıştır[8]. Tasarlanan hibrit tabaka ve mermi modeli sonlu elemanlar programı olan ANSYS ortamında analiz edilmiştir. Bu çalışmada, 4 farklı dizilim, kompozit malzemelerin tabaka kalınlıkları 1 mm ve 1.5 mm olacak şekilde 2 farklı tabaka kalınlığı ve 4 farklı dizilim oluşturulmuştur.Tabaka kalınlıklarının belirlenmesinde tabaka sayısı, alüminyum alaşımının ve reçinenin miğferin kalınlığına yakın olmasını sağlayacak değerler aralığında seçilmiştir. Bu çalışma için toplamda 8 adet Ansys programında çarpışma analizi yapılmıştır. Vasconcellos wownen’in çalışmasında fiber epoksi kompozit malzemenin çekme ve yorulma davranışını incelemiştir. Bu çalışmada en ideal oryantasyon açısını 0°/90°olarak belirlemiştir[16]. Bu çalışmadaki tabaka diziliminde de 0°/90° oryantasyon açısı referans alınmıştır. Tablo 4’te oryantasyon dizilimleri, oryantasyon açıları ve tabaka kalınlıkları detaylıca verilmiştir.

Tablo 4. Al7076-T6 3 mm kalınlıkta olduğu durumda kompozit tabaka dizilimleri, açıları ve tabaka kalınlıkları

Tabakalar	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Hibrit kompozit yapıların varyasyonları							
1.Varyasyon Oryantasyon açısı	KF 90°	CF 0°	KF 90°	Al7076-T6	KF 90°	CF 0°	KF 90°
2.Varyasyon Oryantasyon açısı	CF 90°	KF 0°	CF 90°	Al7076-T6	CF 90°	KF 0°	CF 90°
3.Varyasyon Oryantasyon açısı	CF 90°	KF 0°	KF 90°	Al7076-T6	KF 90°	KF 0°	CF 90°
4. Varyasyon Oryantasyon açısı	KF 90°	CF 0°	CF 90°	Al7076-T6	CF 90°	CF 0°	KF 90°

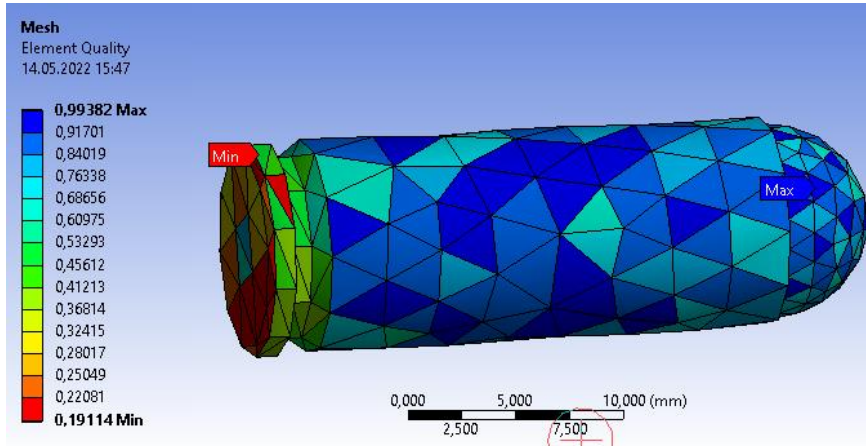
Bu çalışma, nümerik analizlerden oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) , bir çok probleme karşı kabul edilebilir bir yolla çözüm oluşturan nümerik bir yöntemdir [17]. SEY ile analiz gerçekleştiren çok sayıda programlar da vardır. Bu programlardan biri olan ANSYS program, modellerin tasarlanması ve önemli parametrelerin değerlendirilmesinde maliyetsiz bir araştırma olanağı tanınmasıdır.Oluşturulan katmanlı kompozit

levhanın nümerik analiz olarak değerlendirileceğinden dolayı ağ yapısı dikdörtgensel form kullanılmıştır. Şekil 2’de kompozit levhaya ve mermiye uygulanan ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 2. Ağ yapısının görünümü, a) Merminin, b) Hibrit kompozit plaka

Yukarıda verilen mermi için tetrahedron ağ tipi Ansys programı tarafından otomatik olarak atanmıştır. Bu tetrahedron ağ yapısı genel olarak silindirik malzemelerde sıklıkla kullanılan bir ağ yapısı türüdür. Mermi boyutlarının plaka boyutlarına oranla daha küçük kalmasından dolayı dikdörtgensel ağ yapısı tetrahedron ağ yapısına kıyasla daha düşük kalite değerleri ortaya çıkmıştır. Ansys programının içerisinde barındırdığı otomatik ağ atama tipi içerisinde tetrahedronu belirlemiş ve ağ kalitesinin kontrolü yapıldığında diğer ağ tipine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir.



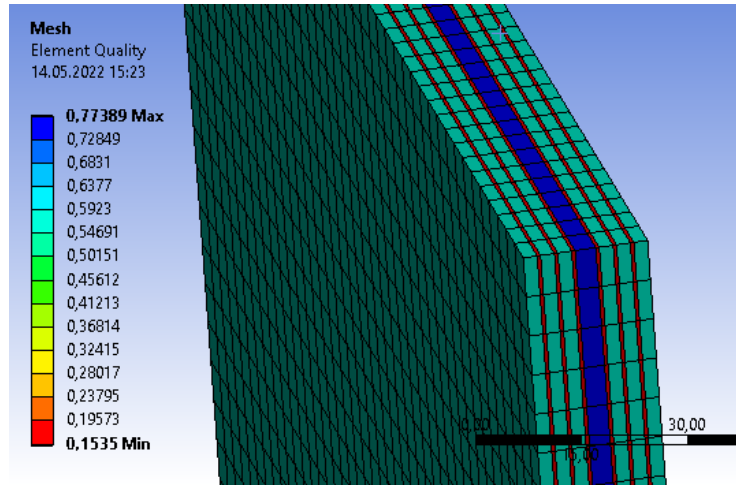
Şekil 2. Mermi ağ yapısının kalitesinin görünümü

Yukarıda verilen Şekil 3’de merminin ağ yapısının kalitesinin bölgelere göre dağılımı ve kalitesi renklerle detaylıca gösterilmiştir. Mermi için ağ parametreleri de yine aşağıda ki Tablo 5’de detaylı şekilde belirtilmiştir.

Tablo 5. Mermi ağ yapısının özellikleri

Merminin ağ yapısının parametreleri	
Element tipi	Lineer
Element boyutu	3 mm
Düğüm sayısı	5341
Element sayısı	2746

Levhaya uygulanan dikdörtgensel ağ yapısı ve ağ kalitesinin bölgelere göre dağılımı kalitesi renklerle detaylı bir Şekil 3’de gösterilmiştir. Levha için kritik noktalar genellikle reçinenin bulunduğu kısım olmuştur. Bu da reçinenin boyutlarından kaynaklanmaktadır. Uygulanan ağ yapısının boyutlarının biraz daha küçülmesi durumunda ortalama analiz süresi 12 saatten 16-18 saat aralığına ulaşmaktadır. Sonuç kısımlarında meydana gelen değişim ise virgülden sonra üç basamaktan sonrasında değişmektedir. Bundan kaynaklı olarak aşağıda verilen ağ yapısı ideal olarak belirlenmiştir. Plakanın ağ parametreleri de aşağıda ki Tablo 6’da detaylı şekilde belirtilmiştir.

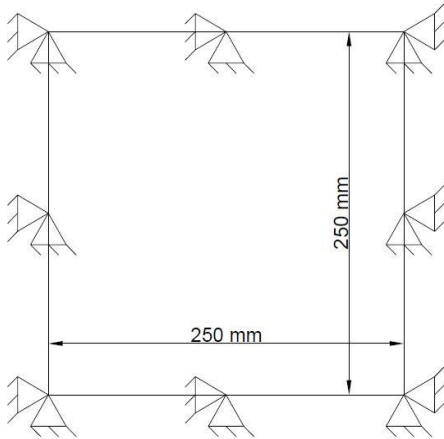


Şekil 3. Ağ yapısında ki element kalitesinin görünümü

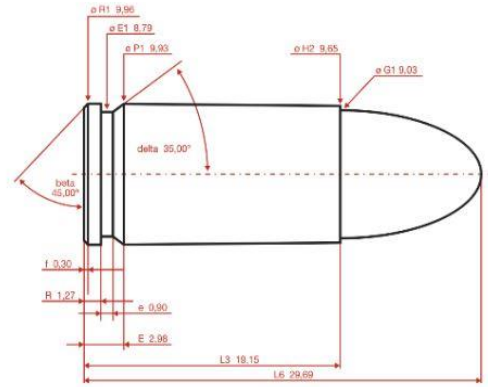
Tablo 6. Plaka ağ yapısının özellikleri

Plakanın ağ yapısının parametreleri	
Element tipi	Lineer
Element boyutu	6 mm
Düğüm sayısı	43412
Element sayısı	22316

Mesh element kalitesine bakıldığında 0,99846 değeriyle max değer mermiye uygulanan mesh elementleri üzerinde bulunmaktadır. Levha üzerine bakıldığında ise mesh element kalitesi ağırlıklı olarak mavi ve yeşil renklerden yani oluşmaktadır. Bu levha x, y, z yönlerinde hareket edebilmektedir. Malzemenin bütünlüğüne bakılırsa oluşturulan levhanın dört köşe yüzeylerinin tüm yönlerde sabitlenmesi gerekmektedir. Bu sabitlenme teknik resim Şekil 4'te verilmiştir. Her köşesinden sabitlenen levhaya ANSYS' de tabanca mermisi ile atış yapılmıştır. Mermi Ansys ortamında levhanın ortasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Merminin her defasında levhanın ortasına çarpması bu oluşturulan bu bağlantı durumundan kaynaklanmaktadır. Bu mermilerin çapı 9 mm olup hızları 370 m/sn'dir. Mermi kovanının malzemesi pirinç seçilirken mermi çekirdeği ise kurşun alınmıştır [18]. Yapılan deneylerde, balistik standartlar dikkate alınarak 5 m mesafeden 8 gram ağırlığına sahip 9x19 Parabellum mermileri ile atışlar gerçekleştirilmiştir [19]. Şekil 5'de mermiye ait özellikler verilmiştir.



Şekil 4. Plakanın dört kenardan sabitlenmiş görüntüsü



Şekil 5. Tabanca mermisine ait teknik resim[18]

3 BULGULAR

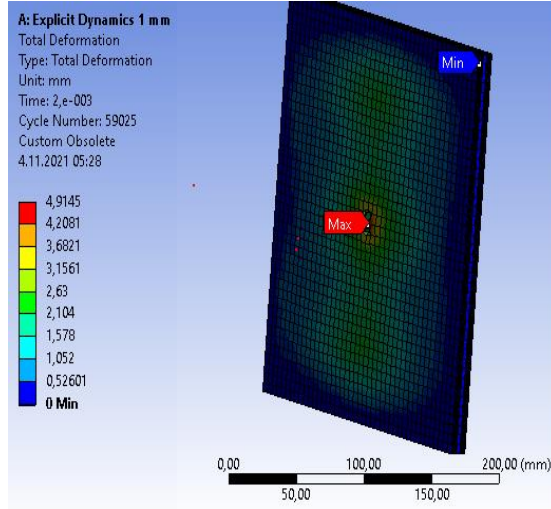
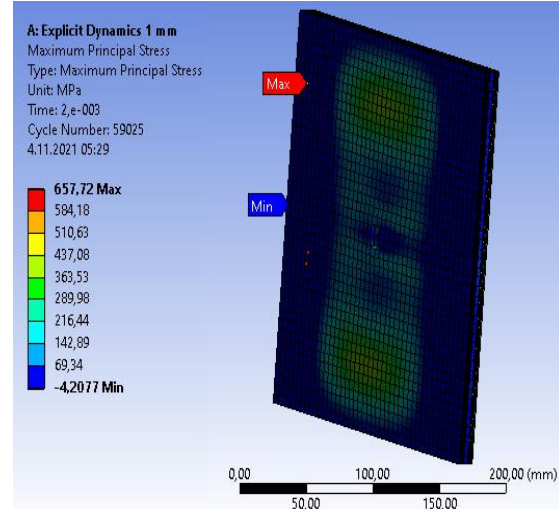
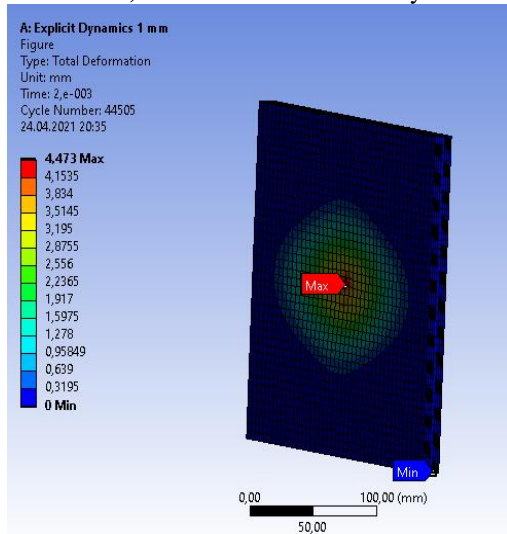
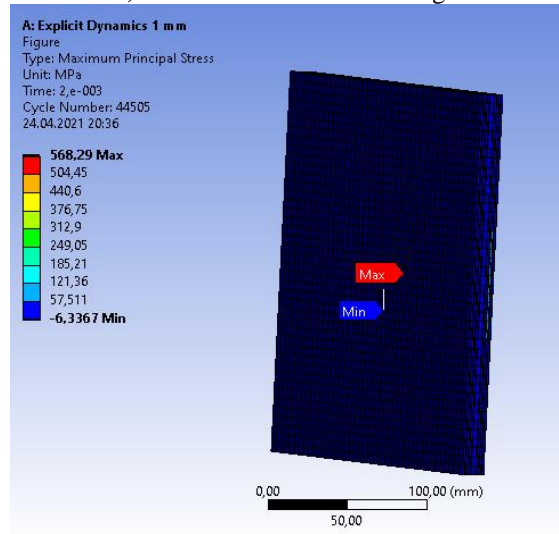
3.1. Birinci varyasyon

Aşağıdaki Tablo 7'de birinci tabaka dizilimi verilmiştir. Bu dizilim için sırasıyla 1 mm ve 1.5 mm kalınlıklarında tabakalar ve araya eklenen alüminyum levha kalınlığı 3 mm sabit tutularak 2 analiz yapılmıştır. Bu analizde mermi hızı 370 m/sn'dir. Mermi bu varyasyonda ilk olarak karbon fibere çarpmaktadır. Karbon fiber mukavemet değerleri

diğer malzemelerden daha yüksek olduğundan mermiye en büyük direnç bu tabakada meydana gelmiştir. Merminin çarptığı yüzeyde oluşan maksimum gerilme değeri 1 mm kalınlığında ki tabakada 657,72 MPa iken 1.5 mm kalınlığında ki tabakada 568,29 MPa'dır. Mermi tabakayı her iki tabaka kalınlığında (TK) delememiştir.

Tablo 7. Birinci varyasyon dizilimi

Tabakalar	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Malzeme türü	KF	CF	KF	Al7076-T6	KF	CF	KF

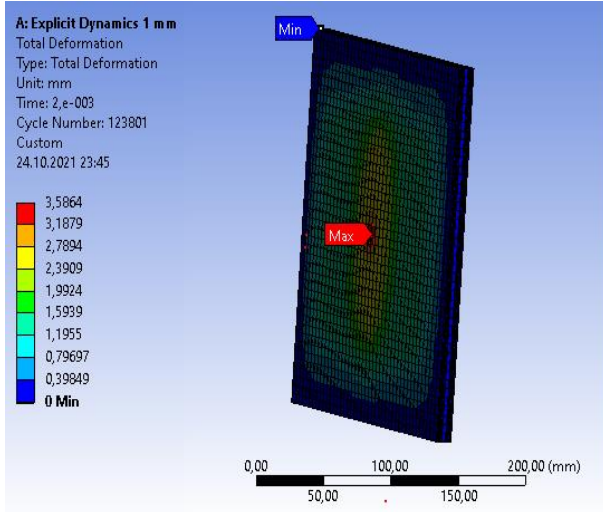
**a) 1 mm TK' ki deformasyon****b) 1 mm TK' ki maksimum gerilme****a) 1,5 mm TK' ki deformasyon****b) 1,5 mm TK' ki maksimum gerilme****Şekil 6.** 1. varyasyon için sırasıyla **a)** Deformasyon sonuçları **b)** Maksimum gerilme sonuçları

3.2. İkinci varyasyon

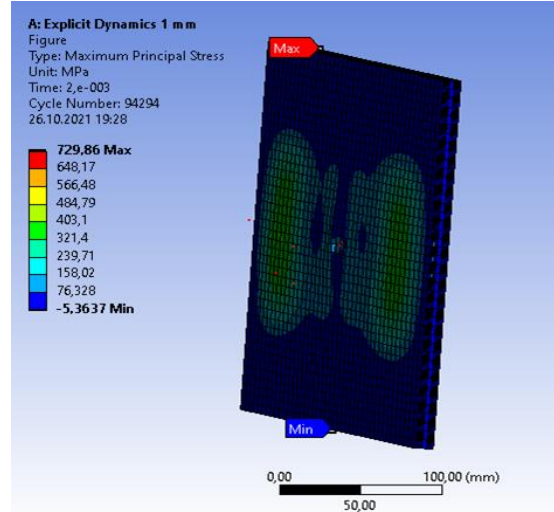
Aşağıdaki Tablo 8'de ikinci tabaka dizilimi verilmiştir. Bu dizilim için sırasıyla 1 mm ve 1.5 mm kalınlıklarında tabakalar ve araya eklenen alüminyum levha kalınlığı 3 mm sabit tutularak 2 analiz yapılmıştır. Bu analizde mermi hızı 370 m/sn'dir. Mermi bu varyasyondada ilk olarak cam fibere çarpmaktadır. Merminin çarptığı yüzeyde oluşan maksimum gerilme değeri 1 mm kalınlığında ki tabakada 729,86MPa iken 1.5 mm kalınlığında ki tabakada 453,99 MPa'dır. Mermi tabakayı her iki tabaka kalınlığında da delememiştir.

Tablo 8. İkinci varyasyon dizilimi

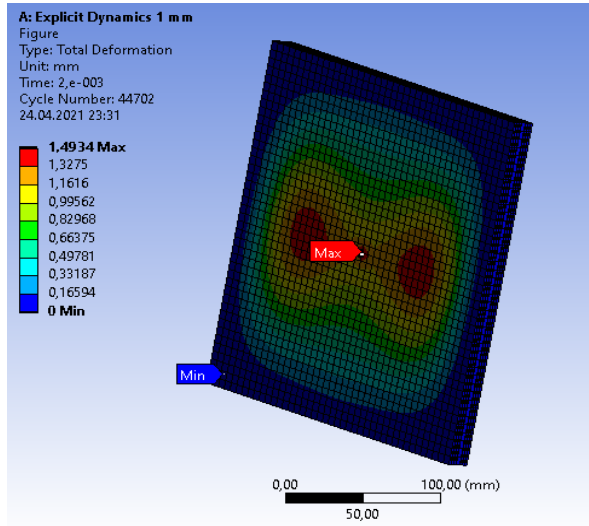
Tabakalar	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Malzeme türü	CF	KF	CF	Al7076-T6	CF	KF	CF



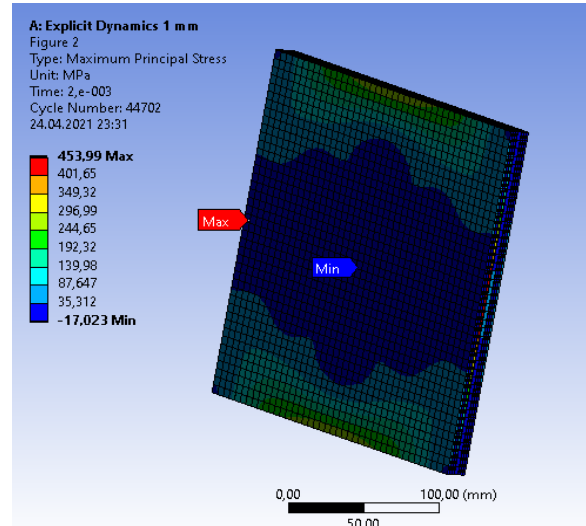
a) 1 mm TK' ki deformasyon



b) 1 mm TK' ki maksimum gerilme



a) 1,5 mm TK' ki deformasyon



b) 1,5 mm TK' ki maksimum gerilme

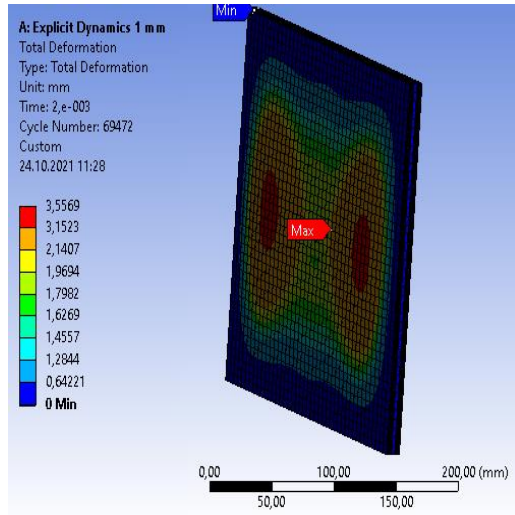
Şekil 7. 2. varyasyon için sırasıyla a) Deformasyon sonuçları b) Maksimum gerilme sonuçları

3.3. Üçüncü varyasyon

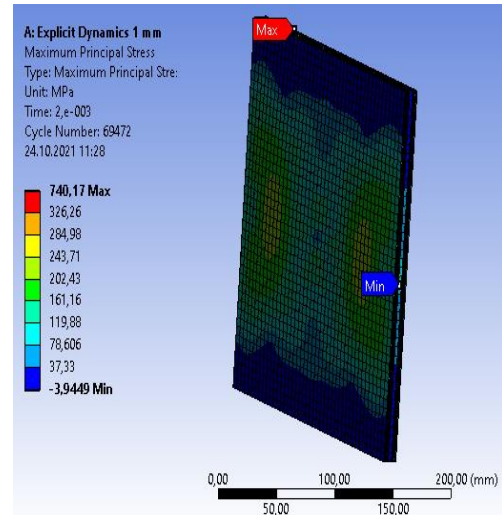
Aşağıdaki Tablo 9' da üçüncü tabaka dizilimi verilmiştir. Bu dizilim için sırasıyla 1 mm ve 1.5 mm kalınlıklarında tabakalar ve araya eklenen alüminyum levha kalınlığı 3 mm sabit tutularak 2 analiz yapılmıştır. Bu analizde mermi hızı 370 m/sn'dir. Mermi bu varyasyonda ilk olarak cam fibere çarpmaktadır. Merminin çarptığı yüzeyde oluşan maksimum gerilme değeri 1 mm kalınlığında ki tabakada 740.17MPa iken 1.5 mm kalınlığında ki tabakada 340.83 MPa'dır. Mermi tabakayı her iki tabaka kalınlığında da delememiştir.

Tablo 9. Üçüncü varyasyon dizilimi

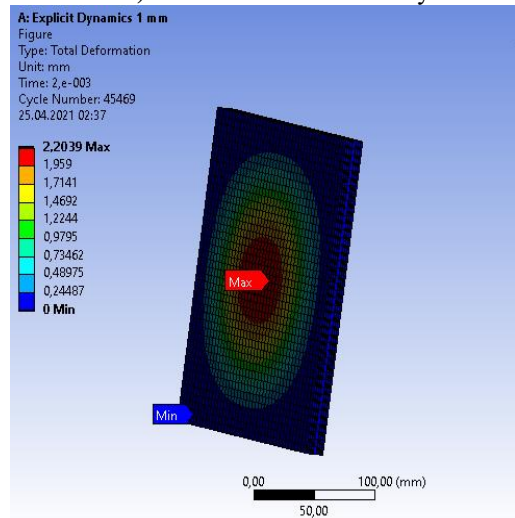
Tabakalar	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Malzeme türü	CF	KF	KF	Al7076-T6	KF	KF	CF



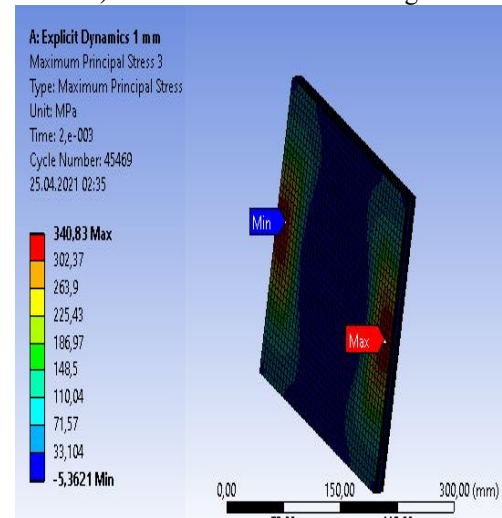
a) 1 mm TK' ki deformasyon



b) 1 mm TK' ki maksimum gerilme



a) 1,5 mm TK' ki deformasyon



b) 1,5 mm TK' ki maksimum gerilme

Şekil 8. 3. varyasyon için sırasıyla a) Deformasyon sonuçları b) Maksimum gerilme sonuçları

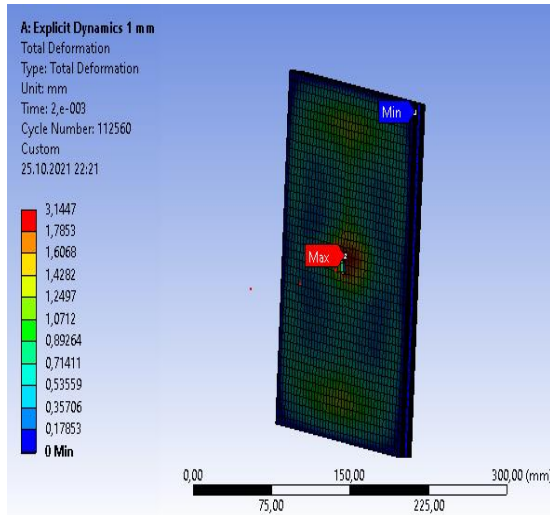
3.4. Dördüncü varyasyon

Aşağıdaki Tablo 10'da dördüncü tabaka dizilimi verilmiştir. Bu dizilim için sırasıyla 1 mm ve 1.5 mm kalınlıklarında tabakalar ve araya eklenen alüminyum levha kalınlığı 3 mm sabit tutularak 2 analiz yapılmıştır. Bu analizde mermi hızı 370 m/sn'dir. Mermi bu varyasyonda

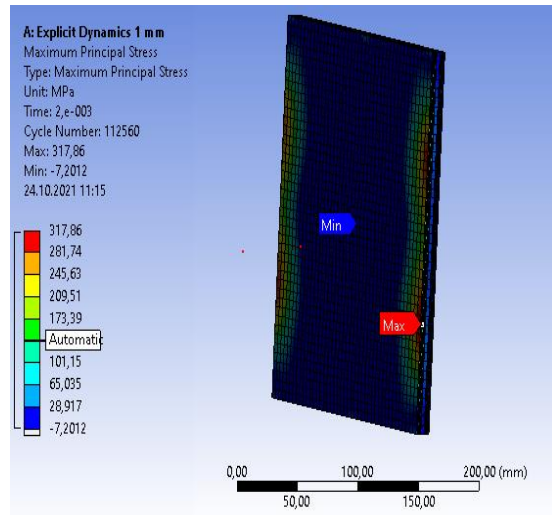
ilk olarak karbon fibere çarpmaktadır. Merminin çarptığı yüzeyde oluşan maksimum gerilme değeri 1 mm kalınlığında ki tabakada 317.86MPa iken 1.5 mm kalınlığında ki tabakada 521.31 MPa'dır. Mermi tabakayı her iki tabaka kalınlığında da delememiştir.

Tablo 10. Dördüncü varyasyon dizilimi

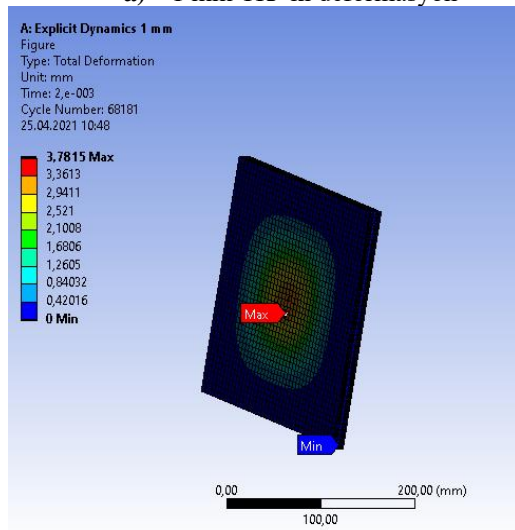
Tabakalar	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Malzeme türü	KF	CF	CF	Al7076-T6	CF	CF	KF



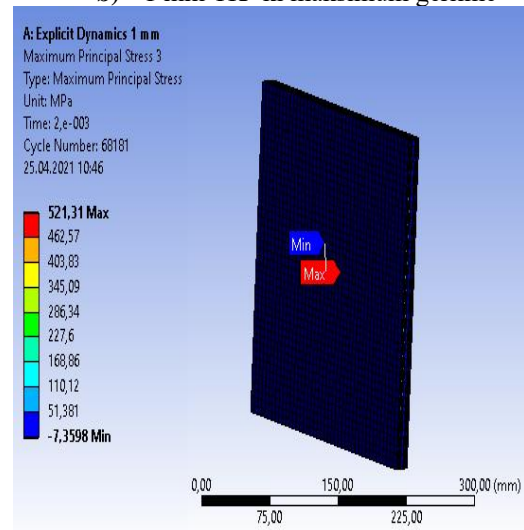
a) 1 mm TK' ki deformasyon



b) 1 mm TK' ki maksimum gerilme



a) 1,5 mm TK' ki deformasyon



b) 1,5 mm TK' ki maksimum gerilme

Şekil 9. 4.varyasyon için sırasıyla a) Deformasyon sonuçları b) Maksimum gerilme sonuçları

Toplamda 8 adet analiz nümerik analiz programı ANSYS aracılığıyla her biri ortalama 12 saat olmak üzere toplamda 96 saat sürmüştür. Bu nümerik analiz bulguları Tablo 11' de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 11. Tabakada meydana gelen deformasyon ve delinme durumları

	Hasar (mm)	Delinme
1.Varyasyon (1 mm)	4,9145	Delinme oluşmamıştır
1.Varyasyon (1.5 mm)	4,473	Delinme oluşmamıştır
2. Varyasyon (1 mm)	3,5864	Delinme oluşmamıştır
2. Varyasyon (1.5 mm)	1,4934	Delinme oluşmamıştır
3.Varyasyon (1 mm)	3,5569	Delinme oluşmamıştır
3.Varyasyon (1.5 mm)	2,2039	Delinme oluşmamıştır
4.Varyasyon (1 mm)	3,1447	Delinme oluşmamıştır
4.Varyasyon (1.5 mm)	3,7815	Delinme oluşmamıştır

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada toplam 4 varyasyon 2 adet tabaka kalınlığı olmak üzere 8 adet sonlu elemanlar programı(ANSYS) aracılığıyla analiz yapılmıştır.

- Yapılan analizlerden 2. Varyasyonda 1,4934 ile en az hasar meydana gelmiştir.
- Yapılan analizlerden 1. Varyasyonda 4,9145 ile en fazla hasar meydana gelmiştir.
- Maksimum gerilme değeri 740,10 MPa ile 3. Varyasyonda meydana gelmiştir.
- 2. Varyasyon dizilimi yapılan analizler sonucunda kullanıma uygun sonuçlar vermiştir.

Elde edilen bulgular ışığında Al7075-T6 malzemesinin kompozit yapıya ilave edilmesiyle hibrid yapının balistik dayanımının iyi olduğunu analizler sonucunda ortaya çıkarmıştır. Al7075-T6 malzemesi hali hazırda savunma sanayisinin pek çok kolunda sıklıkla kullanılmaktadır. Bizim bu malzemeyi kullanmak istediğimiz taraf diğerlerinden farklı olarak kişisel teçhizat kısmının bir parçası olan miğfere uyarlamaktır. Hali hazırda pek çok miğfer bulunmaktadır. Literatür kısmında detaylıca anlatıldığı gibi miğferler sadece bir malzeme veya bir üretim türü değil birden fazla malzemenin bir araya gelmesi ile daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada karbon fiber ve cam fibere ilave edilen Al7075-T6 alaşımı da balistik dayanım açısından olumlu etkiler vererek çalışmanın ayrılmaz bir parçası olmuştur. Diğer taraftan malzemenin yanı sıra üretim şekli ve varyasyonlar da bu miğfer üretimi için son derece önemli bir hal almıştır. Bu hibrid tabakaya uygulanan 4 farklı varyasyondan ideal olarak seçilmesi gereken kompozit plaka, ideal tabaka kalınlığı ve ağırlık olmalıdır. Toplam deformasyon değerlerine bakıldığında minimum toplam deformasyon 2. Varyasyon'da meydana gelmiştir. 2. Varyasyon ve 1,5 mm tabaka kalınlığı ideal bir dizilim olarak görülmektedir. Bu dizilimin balistik alanlarda kullanılan çelik yelek, polis barikatları ve askeri teçhizatlar olmak üzere farklı alanlara da uyarlanabilir.

Teşekkür

Bu çalışmaya İnönü Bilimsel Araştırma Koordinasyon biriminin (İNÖNÜ-BAP, Proje Kodu: FYL-2021-2656) vermiş olduğu destekten dolayı teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Burhan TEPEHAN: Kavramlaştırma, Metodoloji, Yazılım, Doğrulama, Veri analizi, Araştırma, Veri İyileştirme, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme, Proje yönetimi
İsmail Yasin SÜLÜ: Kavramlaştırma, Doğrulama, Materyaller / Kaynaklar, Veri İyileştirme, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme, Süpervizyon, Finansman temini
 Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- [1] B. Hamamcı, "Yeşil Kompozitlerde Biyopolimerlerin Kullanımının Önemi", Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 8 (1), 12-24, 2018.
- [2] B. Yalçın, B. Ergene, "Farklı malzemelere sahip hibridkompozitlerde çatlağın mekanik davranışlara etkisinin analizi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24 (4), 616-625, 2018.
- [3] E. Eryıldız, A. Akdoğan Eker, "Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları", International Journal of Engineering Research and Development, 7(4), 8-12, 2015.
- [4] R. Shephard, M. Helliker, "The Development of UK Body Armour and Helmets from WWII to the end of the 20th Century", Personal Armour Systems Symposium, 2014.
- [5] P. V. Cavarallo, Soft body armor: an overview of materials, manufacturing, testing, and ballistic impact dynamics. 2011..
- [6] A. Mathur, A. N. Netravali. "Modification of mechanical properties of Kevlar fibre by polymer infiltration." Journal of materials science 31 (5), 1265-1274, 1996.

- [7] M. Giray, S. Bailey. "Developments in Lightweight Composite Ballistic Helmet Manufacture." *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 79-94, 2019.
- [8] B. Bitlisli, M. Yazıcı, "Araç Zırhlamada Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının İncelenmesi." *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 24 (1), 25-34, 2019.
- [9] M. Y. Solmaz, M. Gür, "Tabakalı Kompozit Plakalarda Takviye Malzemesi Ve Oryantasyon Açısının Gerilme Analizine Etkisi", *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 16-25, 2007.
- [10] J. Lo'pez-Puente, R. Zaera, C. Navarro, "Experimental and Numerical Analysis of Normal and Oblique Ballistic Impacts on Thin Carbon/Epoxy Woven Laminates", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 39 (2), 374-387, 2008.
- [11] C. Soutis, "Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction", *Materials Science and Engineering*, 412, 171-176, 2005.
- [12] R. İlhan, E. Feyzullahoğlu, "Cam elyaf takviyeli polyester (ctp) kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaflar ve dolgu maddeleri." *El-Cezeri* 6 (2), 355-381, 2019.
- [13] URL: <https://dostkimya.com/> adresinden alındı. (Erişim tarihi: 01.09.2021).
- [14] E. Camcı, "Metal Esaslı Sandviç Kompozitlerin Balistik Performansının İncelenmesi." *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 8 (2), 1454-1469, 2020.
- [15] URL: <https://www.seykoc.com.tr/icerik/7075?dil=tr> (Erişim tarihi: 09.09.2021).
- [16] D.S. de Vasconcellos, F. Tauchard, L. Choconski-Arnault, "Tension-Tension Fatigue Behaviour of Woven Hemp Fibre Reinforced Epoxy Composite: A Multi-Instrumented Damage Analysis", *International Journal of Fatigue*, 59, 159-169, 2014.
- [17] H. Kibar, T. Öztürk, "ANSYS Sonlu Eleman Yazılımının Tarımdaki Uygulamaları", *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2(2) 65-74, 2012.
- [18] URL: <http://www.millisavunma.com/mkek-hafif-ve-agir-muhimmat-ailesi/> adresinden alındı
- [19] Mukasey, "Ballistic Resistance of Body Armor. U.S. Department of Justice", Office of Justice Programs, 2008.