

# Vakum Torbalama Yöntemi ile Kompozit Malzemededen Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması

Tahir TURGUT

Araştırma Görevlisi, ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü

Altan KAYRAN

Doç.Dr., ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü

Nafiz ALEMDAROĞLU

Prof.Dr., ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü

Murat CEYLAN

Teknisyen

## ÖZET

Bu makalede vakum torbalama yöntemi ile kompozit malzemededen yapısal elemanları üretme yöntemi tanıtılmaktadır. Öncelikle, tipik bir vakum torbalama sisteminin ana elemanları tanıtılmıştır. Vakum torbalama tekniğinin kompozit yapı üretimi açısından ve üretim sırasında uygulanan vakum nedeniyle üretilen yapısal elemanlara sağlayacağı gelişmiş mekanik özellikler açısından avantajlı yönleri belirtilmiştir. Örnek bir vakum torbalama üretim işlemi detaylı bir şekilde resimlerle destekli bir şekilde tariflenmiştir. Üretim işlemi sırasında pratik uygulama tecrübesi gereken hususlar vurgulanmıştır. Bu sayede, vakum torbalama yöntemini kullanmak isteyenlere yol gösterici bir kılavuz doküman hazırlanması amaçlanmıştır. Makalenin son kısmında ise bir hava aracı üretimi uygulanmasından örnekler verilmiştir. Bu amaçla, bütünü ile kompozit malzemededen üretilmiş olan bir insansız hava aracının kanadının kabuk yapısının vakum torbalama yöntemi ile üretimi resimlerle destekli bir şekilde anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit yapılar, vakum torbalama yöntemi, üretim, hava aracı

## GİRİŞ

Metalik malzemelerle karşılaştırıldığında kompozit malzemeler, yüksek mukavemet-ağırlık, katılık-ağırlık oranları nedeniyle bugün birçok endüstride tercih edilmektedir. Kompozit malzemededen üretilmiş olan basınçlı kaplar, roket gövdeleri, hava aracı harici yükleri, anten koruma radomları, uçak gövdeleri, köprüler gibi yapısal sistemler birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Metal malzemelere göre yüksek mukavemet-ağırlık, katılık-ağırlık oranları dışında korozyon problemi de olmayan kompozit malzemeler, bu yönleri ile de yapısal

## ABSTRACT

In this paper, manufacturing of structural members from composite material by vacuum bagging process is introduced. Initially, the main components of a typical vacuum bagging system are introduced. Advantages of the vacuum bagging process, with regard to the manufacturing of composite structures and the improved mechanical properties of the produced structural parts due to the vacuuming action, are stated. A test case application of the vacuum bagging process has been explained in detail with the supporting pictures. Special issues, which need practical experience in the process, have been emphasized. Thus, it is aimed at preparing a guide document, which can be used by those who are interested in using the vacuum bagging process. At the end of the paper, examples are given from the manufacturing application of an air vehicle. For this purpose, manufacturing of the skin of the wing of a full composite unmanned air vehicle, by the vacuum bagging process has been explained with the supporting pictures taken during the process.

**Keywords:** Composite structures, vacuum bagging method, manufacturing, air vehicle

sistemlerde ana yapı ya da ikincil yapıların üretilmelerinde tercih edilmektedir.

Kompozit malzemelerin ticari hava araçlarında kullanılmaları 1960'lı yıllarda başlamıştır. Kompozit malzemelerin hava araçlarındaki uygulamaları genellikle ikincil yapı elemanlarının üretimlerinde kendilerini göstermektedir. 1984 tarihinde NASA destekli bir program neticesinde üretilen 737 uçaklarının kuyrukları, ticari bir uçakta ilk sertifikaya olmuş kompozit ana yapı elemanı olarak tarihe geçmiştir. Kompozit malzemelerin hava araçlarında daha sık olarak kullanılması ileride giderek artacaktır. Ağırlık

avantajlarının dışında yorulma mukavemeti açısından da metalik malzemelere oranla çok daha elverişli olan kompozit malzemeler, özellikle ticari hava araçlarının bakım periyotlarının daha uzun aralıklarla yapılmasını sağlayacağından çok önemli bir maddi tasarrufun da yapılmasını mümkün kılacaklardır. Bunun dışında çok değişik hava ve uzay aracı uygulamaları olan kompozit malzemeler, günümüzde yoğun olarak insansız hava araçlarının üretilmelerinde kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeden yapısal sistemlerin üretilmesi için çok çeşitli üretim metotları mevcuttur. Bu üretim metotlarından bazıları ciddi alt yapı yatırımı gerektirmektedir. Örneğin lif sargılama yöntemi ile kompozit yapı üretimi, otoklav kullanılarak kompozit malzemeden yapısal sistem üretimi, ya da pultrüzyon uygulaması ile üretim alt yapı gerektiren ve teknik olarak da uygulanmaları daha zor olan üretim yöntemleridir. Ancak, bazı kompozit üretim metotları ise, az bir alt yapı maliyeti ile kolaylıkla uygulanabilir hale getirilebilmektedir. Örneğin, vakum torbalama yöntemi ile kompozit malzemeden yapısal sistemlerin üretilmesi çok sık uygulanan ve maliyet etkin bir üretim metodudur. Vakum torbalama yöntemi düşük maliyetli bir uygulama olmasının yanında, teknik olarak da uygulanması basit olan bir yöntemdir. Vakum torbalama yöntemi ile basit bir laboratuvar ortamında kolaylıkla kompozit malzemeden yapısal elemanların üretilmesi mümkündür.

Bu makalede ana amaç vakum torbalama üretim tekniğinin detaylı olarak tanıtılması ve bu tekniğin ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilen insansız hava aracı üretimindeki uygulamalarından bazı örnekler vermektir. Makalede vakum torbalama üretim tekniğinin pratik uygulaması resimlerle destekli olarak verilerek, üretim tekniğindeki her ana adımın ve her adımda kullanılan yardımcı üretim malzemelerinin tanıtılması da amaçlanmıştır.

## VAKUM TORBALAMA ÜRETİM TEKNIĞİ

Vakum torbalama üretim tekniği esas itibarı ile lifli kompozit kumaş malzemesinin bir kalıp içine elle yatırılması

ve reçinenin elle kalıp içine dağıtılması sürecinden sonra devreye alınan bir uygulamadır. Vakum torbalama üretim metodu, klasik olarak uygulanan elle yatırma yöntemi ile kompozit yapı üretimi metodunun dezavantajlarını ortadan kaldırarak daha sağlam ve daha hafif kompozit yapılarının üretilmelerini mümkün kılmaktadır.

Kompozit malzeme üretiminde en önemli iki işlem parametresi basınç ve sıcaklıktır. Sıcaklık uygulaması kullanılan üretim metoduna göre üretim sırasında ya da üretim sonunda yapılmaktadır. Aslında, oda sıcaklığında herhangi bir ısı kaynağı kullanılmadan üretimin yapılması bile sıcaklık uygulaması yapıyor anlamına gelmektedir. Sıcaklık, reçinenin sertleşmesini ve sertleşen kompozit malzemenin yumuşak hale geçiş derecesinin (glass transition temperature) artmasına neden olmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde basınç uygulaması iki farklı şekilde yapılmaktadır. Pozitif basınç uygulaması ile kompozit katmanlı yapının katmanlarının birbirleri ile daha iyi yapışması sağlanabilmektedir. Pozitif basınç uygulaması genellikle otoklav gibi sistemler yardımı ile yapılmaktadır. Negatif basınç uygulaması ise, kompozit kumaş ve reçine arasındaki havanın dışarı çekilmesini sağlamakta ve bu sayede hava kabarcıklarından arınmış bir katmanlı yapı imalatı mümkün olmaktadır. Vakum uygulamasıyla fazla reçinenin dışarı çekilerek kompozit yapı içindeki lif-reçine oranının daha yüksek olması sağlanmaktadır. Ayrıca, vakum uygulaması sayesinde reçinenin bütün katmanlar içine tam olarak nüfuz etmesi sağlanabilmekte ve bu sayede bütün bölgelerin reçineyle ıslatılmış olması garanti edilebilmektedir. Vakum uygulamasının klasik elle yatırma ve reçine sıvama yöntemine göre sahip olduğu ana avantajlar ve nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

- Üretilen katmanlı kompozit yapı içinde hava kabarcıklarının neden olduğu boşluklar en aza indirilmekte ve bu sayede çatlak oluşma kaynakları yok edilerek, yapının mukavemeti önemli ölçüde artmaktadır.
- Vakum uygulaması neticesinde katmanlı yapı içinde kalan fazla reçine emilerek, yapının lif-reçine oranının artması sağlanmaktadır. Kompozit yapılarda yüksek lif-

reçine oranı tercih edilmektedir. Kompozit yapılarda ana güç taşıma elemanı liflerdir. Bu yüzden lif-reçine oranının yüksek olması istenir. Reçinenin ana görevi liflerin birbirleri ile olan yük iletim mekanizmasını oluşturmaktır. Kompozit yapının sağlam bir şekilde işlevini sürdürebilmesi için liflerin reçineyle iyice kaplanmış olması gerekir. Ancak, reçine kırılğan bir malzeme olduğu için kompozit yapı içinde reçine oranının yüksek olması bütün yapının daha kırılğan olmasına neden olacaktır. Dolayısıyla, lif-reçine oranının yüksek olması sayesinde bütün kompozit yapının kırılğanlığı azalacaktır.

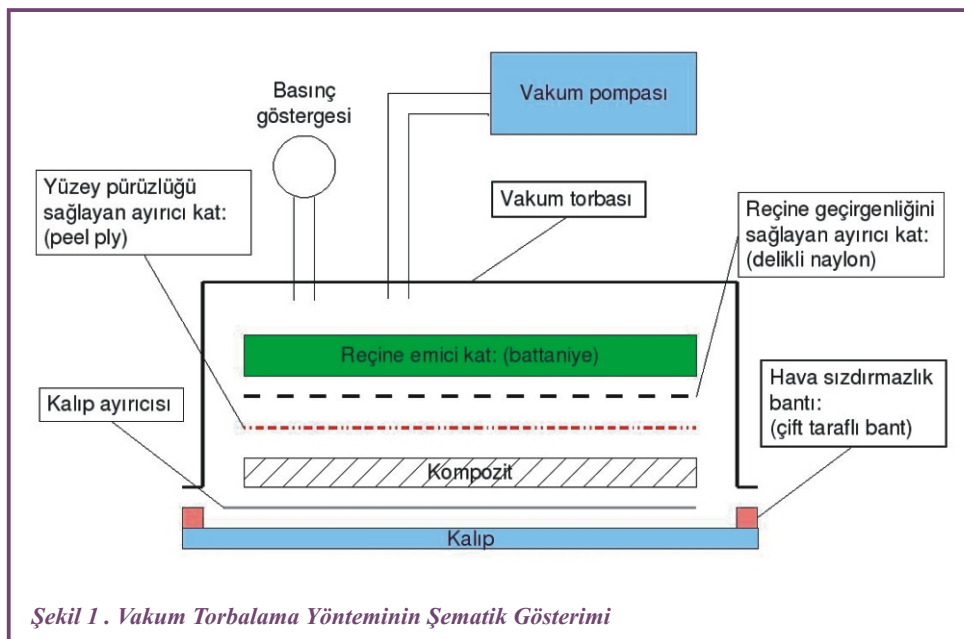
- Vakum uygulaması sayesinde reçinenin bütün katmanlar arasında daha iyi yayılması sağlanmakta ve bu sayede daha homojen bir reçine dağılımı elde edilmektedir. Homojen reçine dağılımı ise, yapının mukavemetinin hesaplanabilir olmasını sağlamaktadır. Bu sayede sayısal veya analitik yöntemler yolu ile kompozit yapının mukavemeti daha doğru olarak hesaplanabilir.
- Vakum uygulaması sırasında katmanlar birbirleri üzerine basacaklarından, katmanların birbirleri ile olan birleşim mukavemeti daha güçlü olacaktır. Bir başka deyişle katmanlar arası kesme mukavemeti artacaktır.

Şekil 1'de vakum torbalama yönteminin şematik

gösterimi verilmekte ve bu sistemde kullanılan ana birimler tanıtılmaktadır.

#### Vakum Torbalama Sistemi Ana Elemanları

- **Kalıp ayırıcısı:** Kompozit malzemenin kalıp yüzeyine yapışmasını önler. Kimyasal bir sıvıdır.
- **Yüzey pürüzlüğü sağlayan ayırıcı kat:** Kompozit malzemenin yüzeyinin pürüzlü olmasını sağlar. Reçine geçirgenliğini sağlayan ayırıcı kat olarak da kullanılabilir. Genellikle naylon veya polyesterden üretilmektedir.
- **Reçine geçirgenliğini sağlayan ayırıcı kat:** Fazla reçinenin katmanlı kompozit malzemenin arasından sızarak reçine emici kata geçmesini sağlar. Genellikle naylon veya polyesterden üretilmektedir.
- **Reçine emici kat:** Fazla reçineyi emer. Genellikle polyesterden üretilmektedir.
- **Hava sızdırmazlık elemanı:** Vakum torbasını kalıbın yan yüzeylerine yapıştırarak kenarlardaki yapışma yüzeyinden meydana gelebilecek olan hava kaçaklarını önler.
- **Vakum torbası:** Bütün kalıbı içine alacak şekilde, kalıp üzerine yerleştirilerek vakum uygulamasının gerçekleşmesini sağlar. Genellikle naylondan üretilmektedir.
- **Vakum pompası:** Gerekli vakum basıncını sağlamaktadır.



Şekil 1. Vakum Torbalama Yönteminin Şematik Gösterimi

## VAKUM TORBALAMA YÖNTEMİYLE KOMPOZİT PLAKA ÜRETİMİ

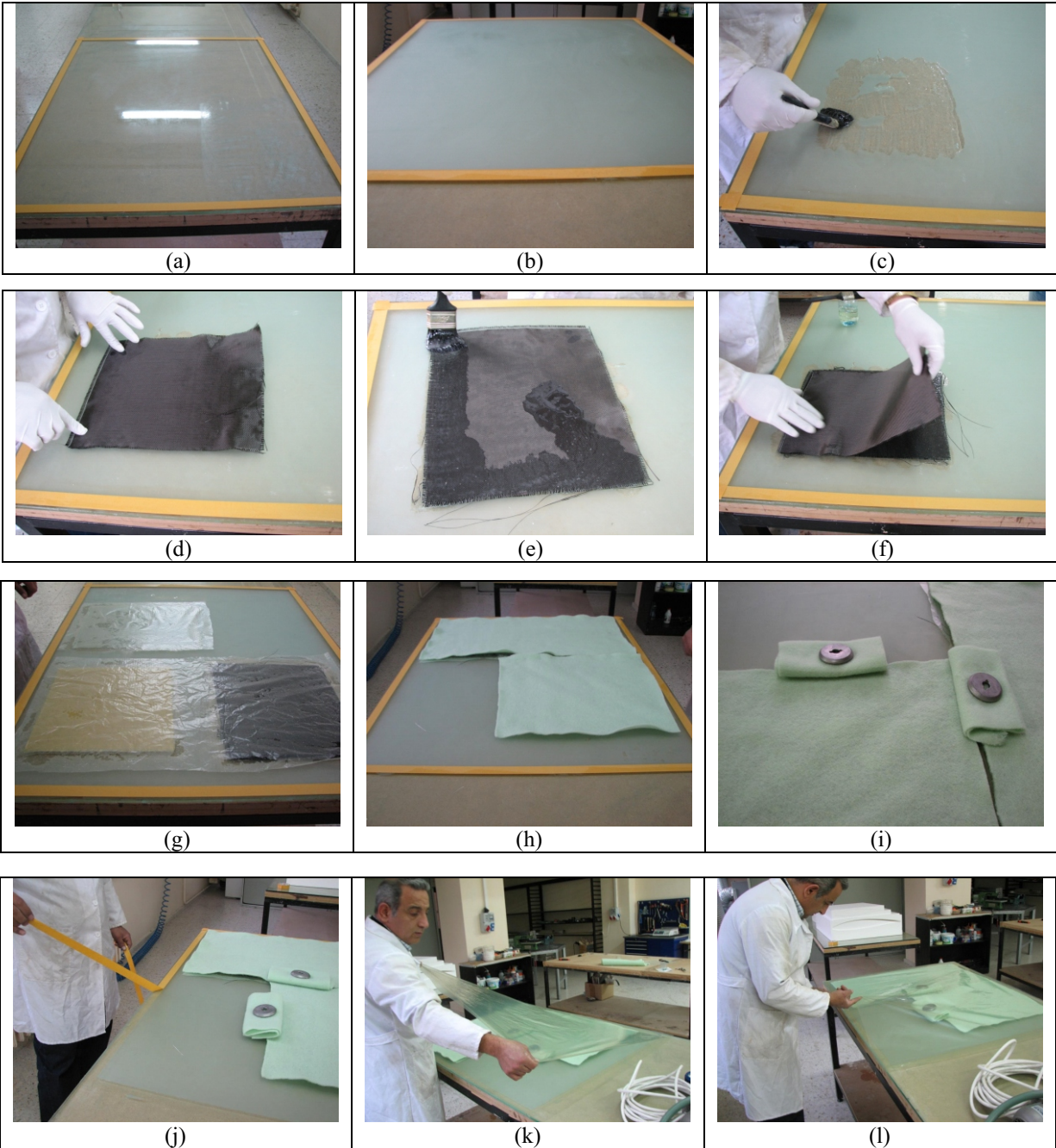
Şekil 1'de görüldüğü gibi vakum torbalama uygulaması fazla karmaşık bir işlem değildir. Ancak, başarılı bir üretim gerçekleştirmek için pratik yapılması her işte olduğu gibi gereklidir. Bu nedenle, bu kısımda vakum torbalama yöntemi ile gerçek bir üretimin resimlerle destekli olarak nasıl yapıldığı detaylarla ele alınarak anlatılacaktır. Bu amaçla, cam elyafi, aramid ve karbon örgülü lifli kumaş malzemesinden çekme testi deneylerinde kullanılmak üzere numune üretilmesine yönelik olarak plaka üretimi yapılmış ve bu üretim süreci detaylı bir şekilde resimlendirilerek tariflendirilmiştir.

Şekil 2 örnek bir vakum torbalama işlemini adım adım tarifleyen resimleri göstermektedir. Öncelikle, vakum torbalama ile kompozit üretimine başlamadan önce üretimin yapılacağı kalıp yüzeyi iyice temizlenmelidir. Bu uygulamada düz plaka üretimi gerçekleştirileceğinden kalıp yerine cam masa kullanılmıştır. Bu nedenle cam masa iyice temizlenir. Örgülü lifli kumaş malzemesinin serileceği yerin etrafına hava sızdırmazlığını sağlayan sızdırmazlık bantı yapıştırılır. Bu uygulamada çift taraflı bant kullanılmıştır (Resim a). Bantla çevrili alana kalıp ayırıcı ince bir tabaka halinde sürülür. Bu sayede, üretilecek olan kompozit malzemenin ve vakum torbalama sisteminin elemanlarının, reçine sertleştikten sonra cama yapışmaması sağlanmış olur. Kalıp ayırıcısının iki kat olarak sürülmesi önerilmektedir. Bu sayede ilk seferde düzgün ayırıcı gelmeyen bölgelerinde kalıp ayırıcı ile kaplanması sağlanabilecektir (Resim b). Kalıp yüzeyi ayarlandıktan sonra kumaş malzemesinin serileceği bölgeye hazırlanan reçine karışımından fırça ile bir miktar sürülür. Bu sayede kumaşa fırça ile reçine sürerken kumaşın yerinden kaymaması sağlanır (Resim c). Bu bölgenin üzerine kumaş malzemesi düzgünce yerleştirilir (Resim d). İlk katı oluşturan kumaş malzemesinin her tarafına reçine fırça yardımıyla sürülür (Resim e). İlk kat kumaşın üzerine diğer katlar istenilen sırayla ve açıyla yerleştirilir ve her tabakanın reçineyle ıslatıldığından emin oluncaya kadar fırça ile reçine yayma işlemine devam edilir (Resim f). Kumaş serme ve reçineyle ıslatma işlemi bittikten sonra kompozit malzemenin üzeri reçine geçirgenliğini sağlayan ayırıcı kat ile kaplanır. Reçine geçirgenliğini sağlayan

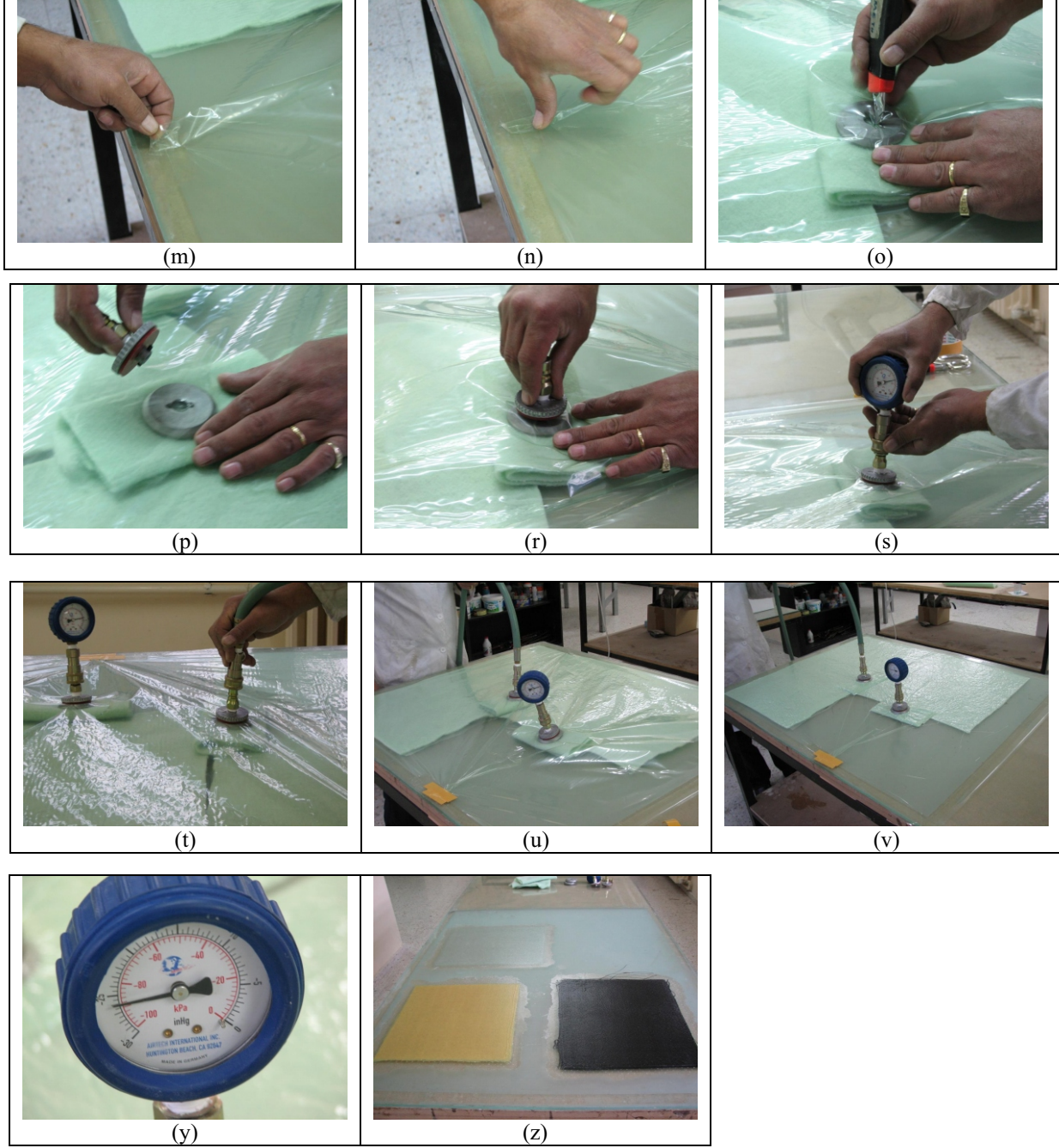
ayırıcı katın işlevi, geçirgen yapısı sayesinde kumaş malzemesine sürülen fazla reçinenin vakum yardımıyla dışarı alınmasını sağlamaktır (Resim g). Reçine geçirgenliğini sağlayan ayırıcı katın üzerine, bu naylondan geçen fazla reçineyi emmesi için, reçine emici kat yerleştirilir (Resim h). Bu işlemden sonra, vakum ayaklarının alt plakalarının yerleştirileceği bölgelere reçine emici kat daha kalın bir tabaka olarak konulur. Bu sayede, reçine emici katta biriken fazla reçinenin vakum ayaklarının içine girmesi engellenir. Ayrıca, vakum ayaklarının vakum uygulaması sırasında kompozit malzemeyi ezmeside önlenmiş olur. Reçine emici kat ile kalın bir tabaka oluşturulan bölgelere vakum ayaklarının alt plakaları yerleştirilir (Resim i). Uygun boyutlarda hazırlanan hava geçirmeyen vakum torbası, sızdırmazlık bantı üzerine bandın yerleştirildiği hat boyunca yapıştırılır. Bu örnek uygulamada çift taraflı bant kullanılmıştır. Ancak, vakum torbalama sistemi tedarik eden firmalardan hava sızdırmazlığına karşı çok daha etkili olan bantlar da temin edilebilmektedir. Bu bantların üst yüzeylerinin, vakum torbasının yapıştırılma sırası gelene kadar sökülmemesi önerilmektedir. (Resim j ve k). Bantlardan olası hava kaçığını önlemek için vakum torbasının kenarları bir anda her tarafından yapıştırılmaz. Bunun yerine yapıştırma işlemine bir kenardan başlanır ve kalıp çevresindeki bütün kenarlar sırasıyla yapıştırılır (Resim l). Her iki taraftan yapışarak gelen vakum torbasının en son birleşme noktasında bir kat oluşması söz konusudur. Bu noktada sızdırmazlığı sağlamak için vakum torbasının kenarında iç tarafına birkaç santimetre kadarlık bir kısma çift taraflı bant yapıştırılır. Daha sonra her iki tarafta oluşan katlar birbirleri üzerine katlanarak yapıştırılırlar ve bu sayede sızdırmazlık sağlanır (Resim m ve n). Vakum torbasını yapıştırdıktan sonra, vakum ayaklarının alt plakalarındaki deliklere karşılık gelen yerlerde maket bıçağıyla veya bir makas ile küçük bir yarık açılır (Resim o). Bu yarığa vakum ayaklarının üst kısımları yerleştirilir ve üst ayaklar sıkma yönünde çevrilerek, tabanlarında bulunan plastik conta yüzeylerinin vakum torbası ile vakum ayaklarının alt kısımlarını sıkması sağlanır. Bu sayede sızdırmazlık sağlanmış olur. (Resim p ve r). Daha sonra, bu vakum ayaklarından birisine vakum basınç göstergesi (Resim s), diğerine ise vakum pompasının hortumu takılır (Resim t ve u). Vakum pompası hortumu dik bir şekilde tutularak vakum pompası çalıştırılır ve vakum, torba içinde her bölgede etkili oluncaya kadar bekletilir (Resim v). Vakum torbasının vakum

ayakları ile olan bağlantı bölgelerinden ve vakum torbasının çift taraflı bantlar ile olan yapışma yüzeylerinden hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Kaçak tespiti için vakum pompasından gelen hortum, ucundaki rekor ile birlikte, vakum ayağından çıkarılır. Vakum hortumu ucunda yer alan rekor çıkartıldığında, vakum üst ayağı üzerindeki rekordan hava kaçışının imkanı yoktur. Çünkü her iki rekor birbirlerine takıldıkları takdirde vakum torbasından vakum pompasına doğru hava emilimi sağlanmaktadır. Hava kaçağlarının tespit

edilmesi durumunda bu bölgelerin izolasyonu bant veya özel sızdırmazlık hamurları vasıtası ile sağlanır. Reçinenin sertleşme süresi boyunca, hava kaçağı olmasada, vakum pompasının sürekli olarak çalışması önerilir. Kullanılan reçineye bağlı olmakla beraber, kalıptaki kompozit malzemenin vakum altında yaklaşık olarak 12 saat tutulması önerilmektedir. Vakum pompasının kapasitesine bağlı olarak, -1 atmosfer basınca yakın bir değerde vakum uygulaması gerçekleştirilir (Resim y). Vakum altında sertleşen plakalar (Resim z), vakum işlemi



Şekil 2 . Resimlerle Destekli Vakum Torbalama Sistemi ile Üretim İşleminin Detaylı Tarifi



Şekil 2 . Devamı

sonlandırılıp, vakum torbası ve diğer ara katların sökülmesinden sonra kalıp üzerinden çıkarılır. Bu işlem sırasında kompozit malzemenin kalıptan kolay ayrılabilmesi için maket bıçağı veya spatula benzeri bir alet yardımıyla, kompozit plakasının altına kenarlardan girilir ve bütün kalıp kenarı boyunca kompozit malzeme kalıp yüzeyinden ayrılır. Kalıp yüzeyinden çıkarılan kompozit plakaların kenarları düzeltilir ve istenilen boyutlarda kesilerek kullanıma hazırlanır.

## HAVA ARACI UYGULAMASI

Günümüzde havacılık ve uzay hava araçları tasarımlarında kompozit malzeme uygulamaları hızla artmaktadır. Buna neden olarak kompozit malzemelerle üretilen ürünlerin metal malzemelere göre daha hafif olması ve üretimi zahmetli olan çok karmaşık yapıların kolaylıkla ve kısa sürede üretilmelerine olanak sağlaması gösterilebilir. Havacılık sanayisinde hızla

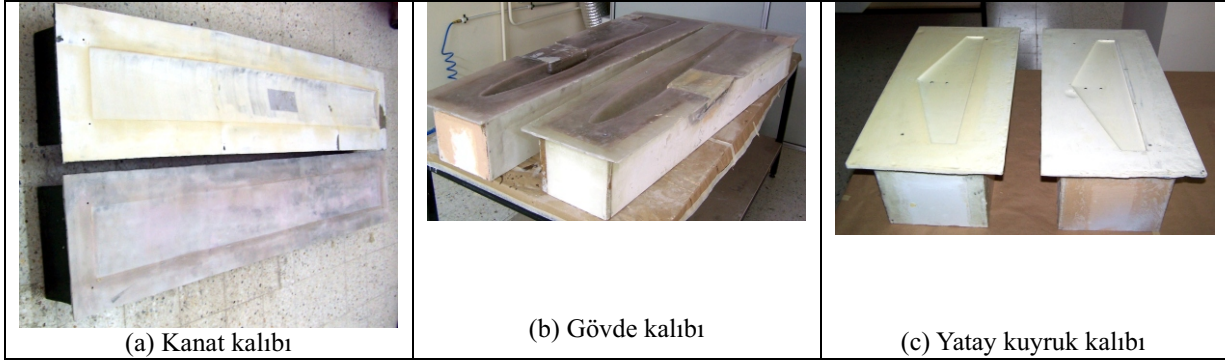
artan ürünlerin başında insansız hava araçları (İHA) gelmektedir. ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği bölümünde de bu konuda çalışmalarda bulunmak için bir İHA grubu kurulmuştur. Bu grup bir mini İHA tasarımını ve üretimini gerçekleştirmiştir. Keşif ve gözetleme görevlerini yerine getirmek için üretilen mini İHA, tamamen kompozit malzemelerden üretilmiştir. Maruz kalacağı yükler göz önüne alınarak hava aracının değişik bölgelerinde cam elyafı, karbon ve aramid örgülü kumaşlar kullanılmıştır. Hava aracının ana yapısal elemanlarının kabuk yüzeylerinin üretiminde kompozit malzeme arasında strofor köpük kullanılmış ve bu sayede sandviç bir yapı elde edilmiştir.

Şekil 3'de mini insansız hava aracının üretiminde kullanılan temel dişi kalıplar gösterilmektedir. Dişi kalıplar polysterden üretilmiştir. Uçağın kanat, gövde ve yatay kuyruk kalıpları iki parçalı olarak altlı ve üstlü, sağlı ve sollu olarak üretilmiştir. Hava aracının kanadının alt ve üst kabukları; gövdesinin orta dik düzlemine göre simetrik olan sağ ve sol ana kabuk yapıları

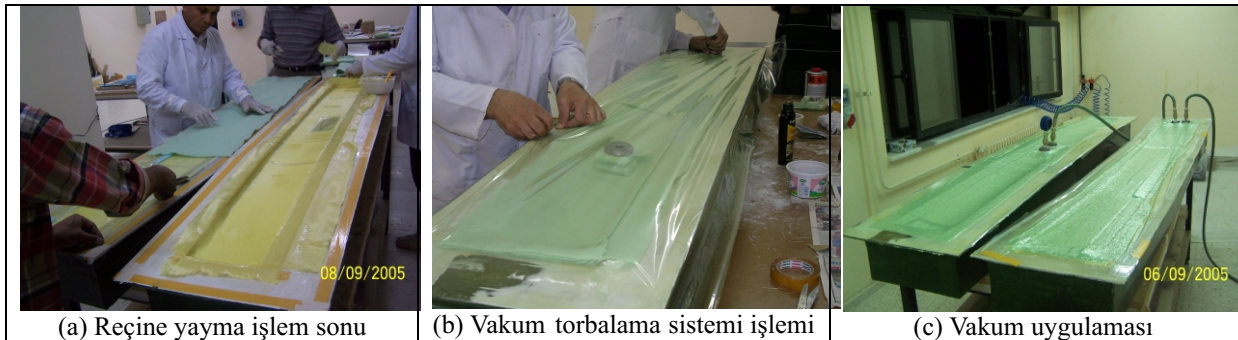
ile yatay kuyruğun alt ve üst kabukları Şekil 3'de gösterilmiş olan kalıplar kullanılarak, vakum torbalama yöntemi ile üretilmişlerdir. Kalıp kenarlarında boş bırakılan yüzeyler sızdırmazlık bandının bütün kalıp çevresi boyunca konulması için kullanılmakta ve vakum torbası sızdırmazlık bandına bu kenar yüzeylerde yapıştırılmaktadır.

Şekil 4'te, Şekil 3a'da gösterilen kanat kalıplarının kullanılarak vakum torbalama yöntemi ile gerçekleştirilen kanat kabuk üretimi gösterilmektedir. Bir önceki kısımda detaylı olarak verilmiş olan üretim işlem sırası takip edilerek kanadın üst ve alt kabuk yapıları üretilmiştir. Kanat üretiminde kompozit katlar arasında strofor köpük kullanılarak sandviç bir yapı elde edilmiştir. Bu sayede kanat eksenini boyunda daha az sayıda sinir kullanılarak kanat üretiminin gerçekleşmesi mümkün olmuştur.

Gövde ve yatay kuyruk da kanattaki sürece benzer bir şekilde iki parçalı kalıplar kullanılarak vakum torbalama yöntemiyle üretilmiştir. Bütünü ile kompozit malzemeden



Şekil 3. Resimlerle Destekli Vakum Torbalama Sistemi İle Üretim İşleminin Tarifi



Şekil 4. Mini İnsansız Hava Aracı Kanadının Alt ve Üst Kabuklarının Vakum Torbalama Yöntemi İle Üretimi

üretilmiş olan mini insansız hava aracının uçuş testleri sırasında çekilmiş olan resmi Şekil 5'te verilmiştir. Bu makalede sadece vakum torbalama yöntemi kullanılarak, mini insansız hava aracının ana yapısal elemanlarının kabuklarının nasıl üretildiği anlatılmıştır. Şekil 5'de görülen hava aracının kanat, gövde ve kuyruk elemanlarının üretimi ise, bu yapıların kabuklarının vakum torbalama yöntemi ile üretilmesinden sonra, kabukların karşılıklı olarak bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, kabuk yapılarının iç yapısal detayları tamamlanmış ve daha sonra güçlendirilmiş kabuk yapıları birleşme yüzeyleri boyunca yapıştırma ve şerit kompozit kumaş takviyesi yolu ile bir araya getirilmiştir. Bir araya getirilen ana yapısal elemanlar, bir üst montajda Şekil 5'te verilmiş olan hava aracını meydana getirmektedir.



Şekil 5. Mini İnsansız Hava Aracı

## SONUÇ

Bu makalede vakum torbalama yöntemi ile kompozit malzeme üretimi detaylı bir şekilde tariflenmiş ve vakum torbalama yönteminin avantajları belirtilmiştir. Vakum torbalama yöntemi birçok diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerine kıyasla çok daha düşük bir ilk yatırım maliyeti ile uygulanabilecek olan bir üretim yöntemidir. Bunun dışında, üretim yöntemi karmaşık bir yöntem olmayıp çok çeşitli yapısal elemanların üretilmesinde kolaylıkla uygulanabilmektedir. Makalede esas olarak vakum torbalama sisteminin ana elemanlarının tanıtılması ve vakum torbalama yönteminin, üretim adımlarının resimlerle destekli bir şekilde detaylı olarak tariflenmesi hedeflenmiştir. Vakum torbalama yönteminin uygulama adımlarında pratik tecrübe gerektiren

detay konuları vurgulanarak, bu yöntemi kullanmak isteyenlere yol gösterici bir kılavuz olması amaçlanmıştır. Bu uygulamalara örnek olarak, tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen bir mini insansız hava aracının kanat, gövde ve kuyruk kabuk yapılarının, vakum torbalama yöntemi ile üretimi verilmiştir.

Kompozit malzemeler ile üretim, kalıp gerektiren eğri yüzeylere sahip yapısal elemanların üretilmesinde metal malzemelere göre çok büyük avantajlara sahiptir. Özellikle seri üretim gerektirmeyen işlerde kompozit malzeme kullanımı büyük avantajlar sağlamaktadır. Basit bir laboratuvar ortamında ve daha düşük bir ilk yatırım maliyeti ile üretimin yapılabilmesi mümkün olabilmektedir. Metal kalıp, polyester veya özel kalıp reçineleri kullanılarak üretilmiş olan kalıpların hepsi kompozit malzemeden yapısal elemanların üretilmesinde kullanılabilir. Eğri yüzeylere sahip yapısal sistemlerin üretilmesinde ise metal şekillendirme gerekmekte ve bu amaçla pahallı pres ve benzeri makinalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, ana yapı metal olacağı için metal kalıp kullanılması gerekmekte ve bu kalıpların sayısal kontrollü tezgahlarda üretilmeleri gerektiğinden ilk yatırım maliyeti doğal olarak artmaktadır. Bu nedenle prototip üretimlerde kompozit malzeme kullanımı önemli avantajlar sağlamaktadır. Vakum torbalama tekniği ise, klasik elle yatırma tekniğinin dezavantajlı yönlerini ortadan kaldırması, kolay uygulanabilir ve maliyet etkin bir üretim yöntemi olması itibarıyla, prototip kompozit yapı üretimlerinde sık olarak kullanılan bir yöntem olarak göze çarpmaktadır.

## KAYNAKÇA

1. **J.R. Vinson, R.L. Sierakowski**, The Behaviour of Structures Composed of Composite Materials, 2nd Baskı, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Hollanda, 2002.
2. **Keith B. Armstrong, Richard T. Barrett**, Care and Repair of Advanced Composites, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, ABD, 1998.
3. Vacuum Bagging and Composite Tooling Materials, Ürün Kataloğu, Airtech, Lüksemburg, 2006.
4. **Jack Lambie**, Composite Construction for Homebuilt Aircraft, 2. Baskı, Aviation Publishers, Hummelstown, PA, ABD, 1998.