

RÜZGÂR TÜRBİNİ KANADI İMALATI

Serhat KARABAĞ¹

ÖZET

Bilindiği gibi Rüzgâr Türbinleri, rüzgârda bulunan kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Kanatların bağlı olduğu milin devir hareketi, hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır.

Bu çalışmanın amacı; Rüzgâr Türbinlerinin ana öğelerinden olan ve türbinlerin enerji üretme performanslarını bire bir olarak etkileyen kanatların üretimi hakkında aydınlatıcı bilgiler sunmaktır. Rüzgâr Türbini Kanatlarının, Kompozit Teknolojisi kullanılarak ileri mühendislik ürünleri olduğu gerçeğini düşünerek, öncelikle bu teknolojiye biraz bahsederek temel bazı bilgileri aktarmanın uygun olacağı düşünülmüştür. Sonrasında ise türbin kanatlarının kesitleri, kullanılan malzemelerin tanıtımı ve geçmişteki üretim yöntemleri ile günümüzde yaygın olarak kullanılan üretim yöntemlerinin tarif edilip, karşılaştırılması ile teknolojik gelişim sayesinde geline noktanın aktarılması amaçlanmıştır.

1. GİRİŞ

Rüzgârın gücünden yararlanılmaya başlanması çok eski dönemlere dayanır. Rüzgâr gücünden ilk yararlanma şekli olarak yelkenli gemiler ve yel değirmenleri gösterilebilir. Daha sonra tahıl öğütme, su pompalama işleri için de rüzgâr gücünden yararlanılmıştır. Son 15 yıl içerisinde de teknolojik gelişmeye paralel olarak özellikle elektrik enerjisi üretiminde rüzgârın gücünden yararlanılmaya başlanmış ve bu süreç günümüze kadar artarak devam etmiştir. Bunda en büyük etken, fosil yakıtların çevreye verdiği zararların gün ışığına çıkması ve yeryüzünde yavaş yavaş tükenmeye başladıklarının farkına varılmasıdır.

Günümüzde ülkelerin elektrik enerjisi üretimlerinde katkı sağlayan büyük ölçekli Rüzgâr Türbinleri kullanılmaktadır. Bunlar, betonarme temellerini saymazsak 3 ana öğeden oluşan makinalardır. Modeline ve rüzgârın verimli olduğu yüksekliğe göre uzunluğu ve şekli belirlenen **Kule**, jeneratör ve diğer ekipmanları koruyan muhafaza kutusu gibi işlem gören **Naselle** ve rüzgârın etkisi ile döner jeneratörün rotor kısmını çalıştıran **Kanatlar** olarak adlandırılır.

Rüzgâr Türbinleri yaygın olarak, yatay ekseninde dönen 3 adet kanat ile rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler. Düşey ekseninde 2 kanat ile ya da yatay ekseninde çoklu kanat ile çalışan modeller olsa da verimlilik açısından genel olarak tercih edilmemektedir.

Rüzgâr Türbinlerinin modellerine ve kapasitelerine göre kanat boylarında ve dizaynlarında farklılıklar olmaktadır. Ancak hemen hemen her model için üretilen kanatlar benzer yöntemler kullanılarak kompozit teknoloji ile üretilmektedir.

¹ AERO Rüzgâr Endüstri A.Ş.

2. KOMPOZİT TEKNOLOJİSİ

Kompozit malzeme denilince genel olarak, birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip birden çok malzemenin bir araya gelmesi ile ortaya bambaşka özelliklere sahip olan yeni bir malzemenin çıkması anlaşılmaktadır. Her kompozit malzemede genellikle iki tip madde bulunur; matris ve takviye malzemesi olarak adlandırılan bu malzemelerde takviye malzemesi (reinforcement) taşıyıcı görev üstlenir ve etrafında bulunan matris faz ise onu bir arada tutmaya ve desteklemeye yarar.

Günümüzde kompozit malzemeye en bilinen ve en çok kullanılan örnek olarak betonarme verilebilir. Çimento, kum ve agregadan(kırmataş) meydana gelen malzeme (matris), çelik çubuklar (takviye) ile desteklenir. Bir diğer tanınmış kompozit malzeme ise kerpiçtir. Çamur ve samanın karıştırılması ile oluşturulan bu malzeme oldukça eskiden beri bilinen belki de insanlık tarihinin en eski yapı malzemesidir ve halen Türkiye'de de kırsal kesimlerde kullanılmaktadır.

Teknolojinin gelişimiyle birlikte, oldukça dinamik bir yapıya sahip olan kompozit malzemeler, maliyetlerin düşürülmesi, verimliliğin artırılması veya ürüne ilişkin sorunlara çözüm getirilmesine imkan tanınması sayesinde çok çeşitli iş alanlarında artan bir kullanıma sahip olmaktadır. Kompozit malzemeler sağladıkları avantajlarla taşımacılık, tüketim malları, inşaat, iş aletleri ve malzemeleri, uzay/savunma gibi sektörlerdeki gelişmeler açısından yaratıcı bir fırsat oluşturmaktadır.



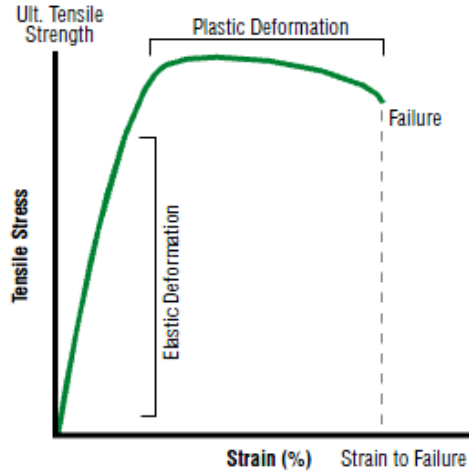
Resim 1. Kompozit Ürünlere Bazı Örnekler

Kompozit malzemeler plastik malzeme sınıfından ürünlerdir. Ancak bütün plastikler kompozit değildir. Günümüzde plastik malzemelerin büyük çoğunluğu saf plastik reçineler kullanılarak kalıplanmaktadır. Oyuncaklar, dekoratif amaçlı ürünler, ev eşyaları ve benzeri birçok plastik son ürün uygulamasında ürünlerin işlevselliği için saf haldeki plastik reçinenin mukavemeti yeterli olmaktadır.

Mühendislik termoplastikleri, maliyetleri saf reçinelere göre daha fazla olmakla beraber daha yüksek "Yük Altında Deformasyon" sıcaklığı (HDT) gibi üstün performans değerlerini sağlayabilirler. İlave bir mukavemet değerine gerek duyulduğunda, plastikler genel olarak lif haline getirilmiş takviye malzemeleriyle istenilen mukavemet değerini karşılayacak şekilde takviye edilirler.

Herhangi bir termoset veya termoplastik reçine takviye edildiği zaman KOMPOZİT olarak adlandırılmaktadır. Plastiklerin büyük bir çoğunluğu ve hemen hemen takviyesiz plastiklerin tamamı termoplastiktir. Termoplastik malzemeler ısıtıldığında yumuşar ve yarı akışkan haldeyken yeniden şekillendirilebilir. Daha sonra yeniden farklı bir ürün elde edilmek istenirse, termoplastik malzemenin yeniden ısıtılması ve kalıplanması mümkündür.

Takviyeli Plastiklerin büyük çoğunluğu termoset yapıdadır. Termoset reçineler genellikle sıvı haldedirler. Kalıplama sırasında meydana gelen kimyasal ve egzotermik (ısıveren) reaksiyonlar sonucunda termoset reçineler sertleşmektedir. Genellikle termoset reaksiyonlar geri dönüşümlü değildir. Termoplastiklerin aksine bir kez şekillendiklerinde bir daha yeniden şekillendirilemezler. Termoset reçineler uygun malzemeler ile takviye edildiğinde (cam, karbon, aramid liflerinden oluşan elyaflar veya dokunmuş kumaşlar bunlara örnek olarak verilebilir) ağırlıklarına oranla teknolojinin geliştirdiği en dayanıklı malzemeler arasında yer almaktadır. Kompozit sektöründe kullanılan en yaygın termoset reçineler; doymamış polysterler, epoksiler, vinilesterler, poliüretanlar ve fenoliklerdir.



Şekil 3. Epoksi Reçinelerde Görülen Çekme Gerilmesi/Dayanım Eğrisi

Epoksi reçineler, herhangi bir kompozit elemanı oluşturmak için takviye malzemeleri ile birleşmeden önce, üreticiler tarafından belirtilen oranlarda ve uygun yapıda bir sertleştirici ile karıştırılmalıdır. Bunlar da seri üretim tesislerinde genel olarak dozajlama makinaları ile elde edilirler (Resim 2).



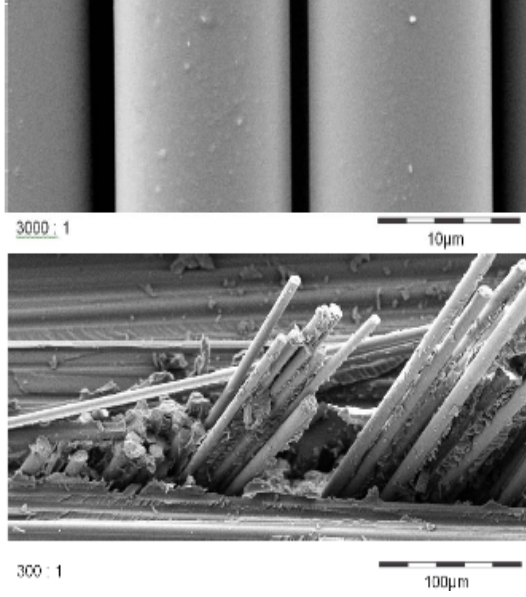
Resim 2. Reçine Karıştırma(dozajlama) Makinası

Cam ve Karbon Kumaşları

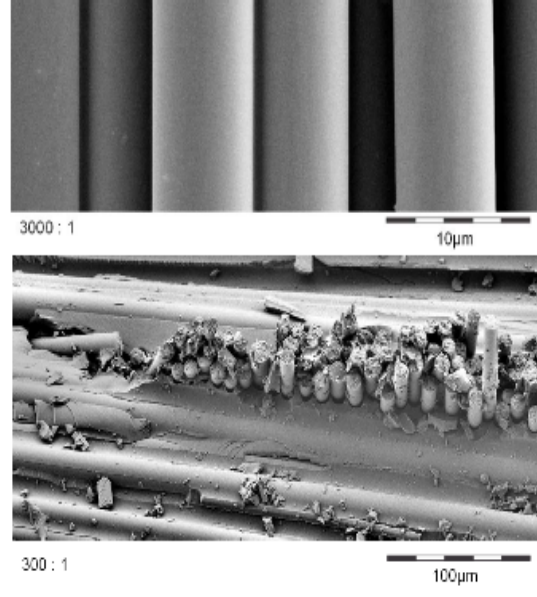
Takviye olarak genelde çok yönlü bir şekilde Cam veya Karbon liflerinden oluşan ipliklerin dokunması ile elde edilen kumaşlardan yararlanır.

Cam kumaşları ile karbon kumaşların arasındaki en belirgin farklar arasında; karbon liflerinin hafifliği ve yüksek mukavemeti, cam kumaşlarının daha ucuz ve yaygın olarak bulunması, karbonun elektriksel iletkenliğinin fazla olması, cam kumaşlarının infüzyon ve el yatırma uygulamalarında daha kolay izlenebilirliği sayılabilir.

Glass Fibre



Carbon Fibre



Resim 3. Cam ve Karbon Liflerinin Serbest ve Kompozit Yapı İçindeki Büyütülmüş Görüntüleri

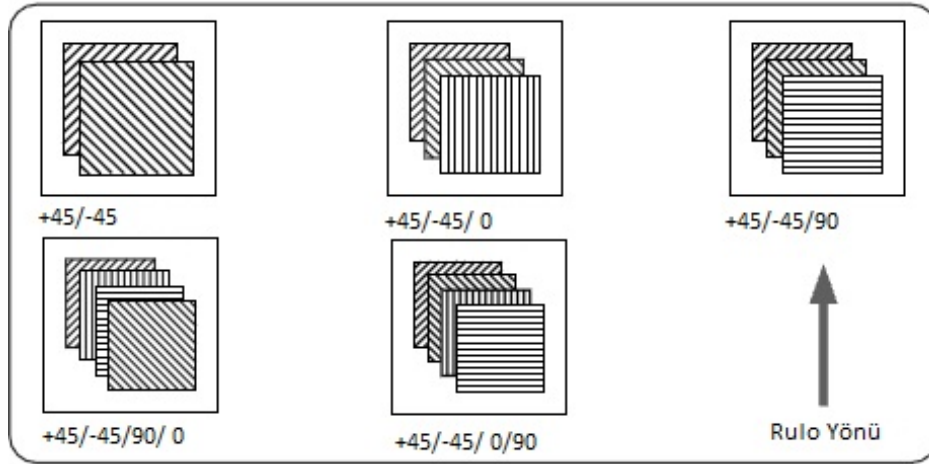
Kullanımda cam veya karbon ipliklerinden oluşma dokunmuş kumaşlar kullanılması işleme bakımından oldukça avantaj getirmiştir. Bununla birlikte dokuma makinalarının teknolojik ilerlemesi ile ipliklerin tek eksenli dokunmasından, çok eksenli dokunulabilmesine geçiş yapılmıştır. Bu da özellikle kanat tasarımcılarının hareket alanlarını genişletmiş ve kanada gelen yük dağılımlarının hesabına göre farklı kumaşların kullanılması doğmuştur.



Resim 4. Cam ve Karbon Liflerinden Elde Edilmiş İplik Bobinleri

Genel olarak kanatların üretiminde kullanılan cam kumaşları E sınıfı camdan imal edilmiştir. Çok yönlü kumaşların dokunması esnasında genel olarak en fazla dört yön kullanılmaktadır.

Aşağıdaki şekilde en yaygın halde kullanılan bazı dokunmuş kumaşların şematik örnekleri verilmektedir. Kanat tasarımındaki yüklerin dağılımına göre, hangi tip dokunmuş kumaşların, hangi bölgelerde kullanılacağı belirtilmektedir. Dört yöne kadar ipliklerin dokunması mümkün olabilmektedir. Her yön için de birim alana düşen iplik ağırlıkları farklı olacak şekilde dokuma yapılabilmektedir.



Şekil 4. Çok Yönlü Dokunmuş Cam Kumaşlarının İplik Açılarında Örnekler

Ara (Core) Malzemeler

Ara malzemeler, sandviç yapıdaki kompozit ürünlerde kullanılan dolgu malzemeleridir. Özellikle eğilme dayanımını arttırmaları, kompozit ürünlerin kullanım yerlerinin artmalarına sebep olmuştur. Ara malzeme kullanımı nedeniyle, yaklaşık %3 oranında bir ağırlık artışı ile, eğilme dayanımının 3,5 kat, rijitliğin ise 7 kat dolaylarında artırılması mümkündür.

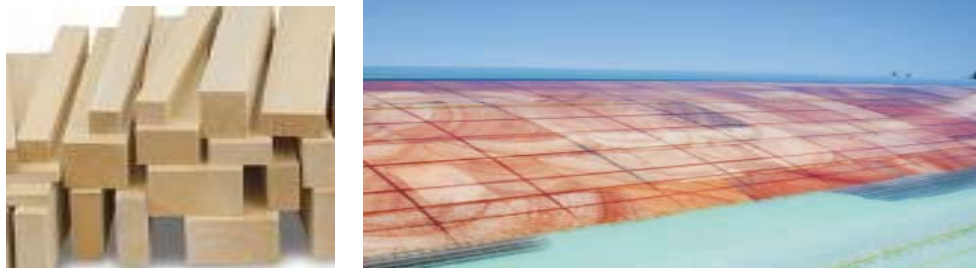
Kompozit malzemelerin üretiminde ara malzeme olarak genel olarak şu ürünler kullanılmaktadır:

Köpükler: Polyvinyl chloride (PVC), Polietilen tereftalat (PET), Polyuretan (PU), Polystyrene (PS), Polyetherimide (PEI), Styreneacrylonitrile (SAN). vb. içeriği olan malzemeler,



Resim 5. Köpük Örneği

Ağaç Malzeme: Genelde Balsa Ağacı, nadiren sunta ve kontrplak gibi ağaç malzemeler,



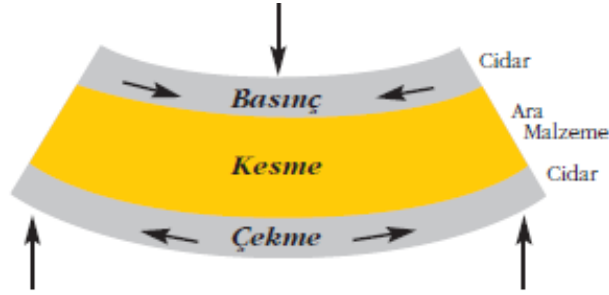
Resim 6. Balsa Kütükleri ve Kanat İçinde Balsa Görünümü

Bal Peteği Görünümlü Malzemeler: Kraft kağıdı, alüminyum, çelik, aramid, karbon, poliüretan, polyester, polietilen, polipropilen ve seramik gibi hammaddelerden üretilen malzemeler,



Resim 7. Bal Peteği Görünümlü Malzeme Örnekleri

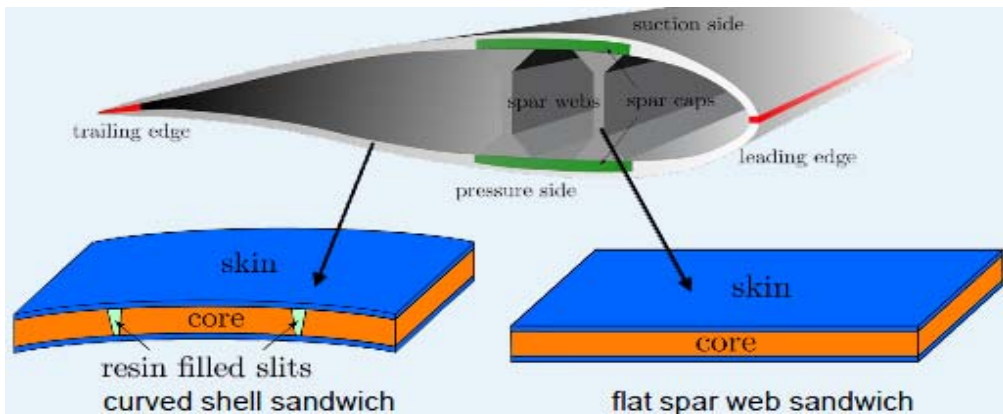
Rüzgâr Türbini Kanatlarında, ara malzeme olarak yaygın şekilde PVC, PET köpük ve balsa ağacından yapıma çeşitli kalınlıklardaki (5-50 mm arasında) levhalar kullanılmaktadır.



Şekil 5. Bir Sandviç Yapı Uygulamasında Eğilmeye Karşı Oluşan Kuvvetler

Yukarıda resimde şematik olarak gösterildiği gibi bir sandviç yapıyı I kirişlere benzetebiliriz. I kirişi yapısındaki sandviç ürünlerde, cidarlardan birine yük uygulandığında, yük I kirişini oluşturan ara malzeme içinden kesme gerilmesi aracılığıyla geçerek, üst ve alt cidarlar arasında bağlantı oluşturmaktadır. Tasarım esnasında, kesme yükünün ara malzeme ve yapıştırıcının dayanım değerini aşmadığından emin olmak gerekmektedir.

Rüzgâr Türbini Kanatları da sandviç yapıda imal edilen kompozit ürünlerdendir. Hem her iki yüzeyde (Emme ve Basınç Yüzeyleri), hem de perde kesitinde (Omurga) sandviç yapı kullanılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Kanat Kesitinde Sandviç Yapıların Görüntüsü

3.3 Rüzgâr Türbini Kanatlarının Üretim Metodolojisi

Rüzgâr Türbini Kanatları kompozit yapıda ürünler olduğuna göre, üretim yöntemlerinde de büyük kompozit üretimlerin yapıldığı yöntemlerden biri ile yapılır. Yakın geçmişte “El Yatırması Yöntemi”, daha sonra geliştirilerek “Vakum Torbalama ile El Yatırması Yöntemi” ve günümüzde yaygın olarak “İnfüzyon Yöntemi” olarak adlandırılan yöntemlerle kanatların üretimi yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

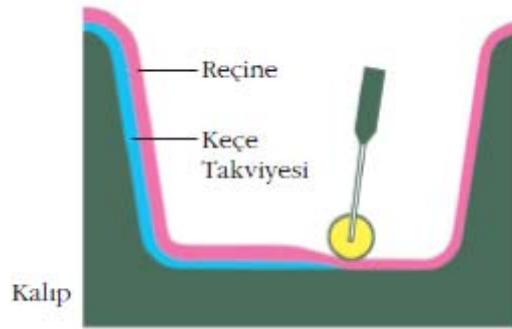
3.3.1 El Yatırması Yöntemi

El yatırması yöntemi genel olarak takviye malzemelerinin kalıplara yatırılıp, açık kalıp üzerinde sıvı reçine uygulanması temel esasına dayanır. Düşük üretim düzeylerinde yaygın kullanımı olan bu kalıplama yöntemi, ilk zamanlardan beri endüstride sürekli gelişime açık olan ve üzerinde çalışılan üretim yöntemlerinden biri olmuştur.

Bir çok uygulama alanı vardır. Ancak rüzgâr türbini kanadı ve tekne gövdesi gibi yüksek mukavemet gerektiren büyük parçaların üretiminde rahatlıkla kullanılabilir.

Kompozit endüstrisi kalıplama yöntemleri arasında temel ve evrensel olarak en uygulanabilir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu proseste sıvı reçine, takviye malzemesi ile (genellikle cam elyafı veya kumaşı) beraberce açık kalıba uygulanır. Reçinede meydana gelen kimyasal reaksiyonlar malzemeyi yüksek dayanımlı ve hafif ürünler elde edilebilecek şekilde sertleştirir. Beton matris içinde çelik çubukların takviye malzemesi görevi görmesi gibi, reçine, elyaf takviyeleri için matris görevindedir.

Üretimin başlangıç aşamasında, pigment katkılı jelkotlar kalıp yüzeyine sprey tabancası, fırça ya da rulo ile uygulanır. Jelkot yeterli derecede sertleştiğinde, takviye malzemesi tabakaları jelkot'un üzerine yerleştirilir ve reçine rulo ile üzeri uygulanır. Takviye malzemesi üzerine tatbik edilen reçine sertleşene kadar rulolama işleminin yapılması faydalıdır. Rulolama sayesinde laminat tabakaları arasında kalan hava kabarcıkları mümkün olduğunca giderilmeye çalışılır. Bu rulolama işlemi, aralıklı olarak her kat takviye malzemesi uygulamasının ardından tekrarlanmaktadır. Takviye malzemesinin kalınlığı ve çeşidi için tasarımda belirlenen değerler kullanılır.

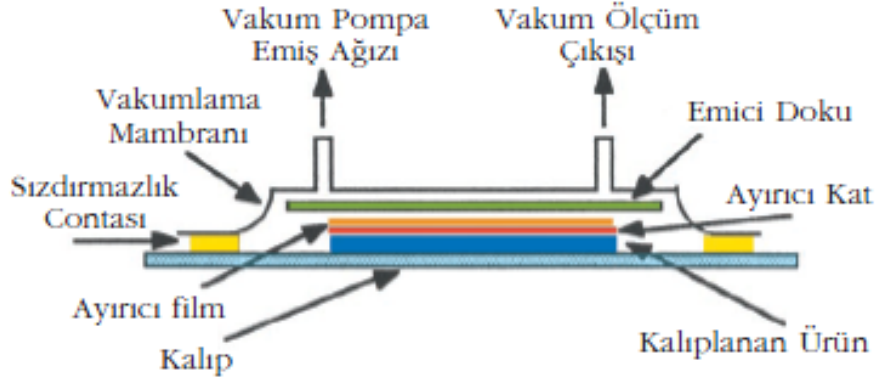


Şekil 7. El Yatırması Yöntemi

3.3.2 Vakum Torbalama ile El Yatırması Yöntemi

Bu yöntemin el yatırması yönteminden farkı; ürün yukarıda bahsedildiği şekilde el yatırması yöntemi ile yapıldıktan sonra reçine reaksiyonu hızlanıp jelleşme kıvamına gelmeden önce tüm kalıp içine sıcaklığa ve basınca dayanıklı plastik folyo ile kapatılıp, sızdırmazlığın sağlanmasından sonra sisteme vakum uygulanmasıdır.

Vakum uygulanmasının en önemli sebebi, mamulün içinde rulolama ile alınamayan hava kabarcıklarının vakum sayesinde ürünün içinden uzaklaştırılması ve bu alanların da reçine ile dolmasının sağlanmasıdır. Bu şekilde üretilen ürünlerin yapılan çekme, basınç ve buirkulma testlerinde serbest şekilde yapılan el yatırmasına göre çok daha iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.



Şekil 8. Vakum Torbalama ile El Yatırması Yöntemi

Yukarıdaki şekilde de görüleceği gibi bu yöntemde, ayrıca yardımcı malzemelerin de kullanımına ihtiyaç vardır. El Yatırma Yöntemi ile bitirilen ürünün üzerine ayırıcı delikli film katmanı koyulur. Burdaki amaç, üzerine koyulacak olan fazla reçineleri emme görevindeki emme kumaşının ürünün üzerine yapışmasını engellemektir. Aksi takdirde emme kumaşının ürünün üzerinden sökülmesi çok zor hale gelir.

Vakum uygulaması için mutlaka ısı ve basınca dayanıklı bir vakum folyosu (membran) kullanılmalıdır. Bu folyo el yatırması ile yapılan ürünün tamamını kaplayacak şekilde ve kalıp kenarlarına uygulanacak sızdırmazlık sağlayan conta ya da bandlara yapıştırılarak yerleştirilir. Kalıp içindeki ürün tamamen sertleşene kadar vakum kesilmemelidir. Dışarıdan ısı verilerek reaksiyon hızlanması sağlanabilir.

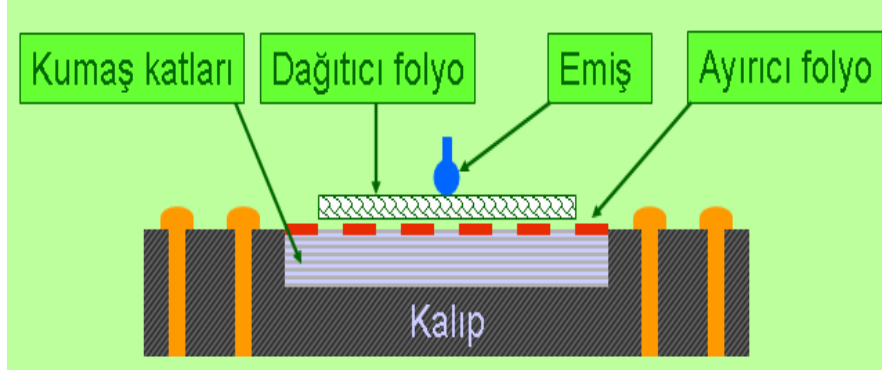
3.3.3 Vakum İnfüzyon Yöntemi:

Bu yöntemin temel prensibi, vakum altına alınmış kuru takviye ve dolgu malzemelerinin basınç farkından yararlanılarak reçinenin ilerlemesi ile tamamen doyurulmasıdır.

Büyük ölçekli ürünlerde en iyi cam/reçine oranı bu yöntem ile sağlanabilmektedir ki bu da dayanımı çok daha yüksek ve daha hafif ürünler elde edilmesini sağlamaktadır. Reçine kendi başına oldukça kırılgan bir yapıdadır ve bu yöntem çoğunlukla serbest reçinenin üründe kalmasına engel teşkil eder.

Diğer yöntemlere göre maliyetleri daha fazla olmasına rağmen iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından riskleri daha azdır.

Bu yöntemin rüzgâr türbini kanatlarında kullanılmaya başlanması ile birlikte özellikle kalıp yapım teknolojileri de oldukça gelişmiş, kendinden ısıtmalı (su ya da elektrik ile), vakum girişleri hazır, izolasyonları yapılarak ısı kayıplarının en aza indirildiği kalıplar üretilerek ürün kalitesinin daha da artması sağlanmıştır.



Şekil 9. Vakum İnfüzyon Yönteminin Şematik Gösterimi

4. RÜZGÂR TÜRBİN KANATLARININ ÜRETİM SÜRECİ

Rüzgâr Türbin Kanatlarının üretiminden önce tasarım ile ilgili tüm detayların önceden çözülmüş olması ve yazılı hale getirilmesi ile süreç başlamış olur. Bundan sonra uygun büyüklükte kapalı alan, tüm alt yapısı ile birlikte üretime hazır hale getirildikten sonra ana hatları ile aşağıda belirtilen aşamalar sırasıyla yerine getirilir.

4.1 Malzeme ve Ekipman Tedariği ile Bunların Yerleşimi ve Depolanması

Üretim sürecinin her aşamasında kullanılacak ham ve sarf malzemelerin, kullanılacak el aleti ve ekipmanlar ile ürünlerin yapılacağı kalıpların önceden planlanarak temin edilmesi gerekmektedir.

Bunlar için ayrılacak yerlerin özenle belirlenmesi, sonradan doğacak ihtiyaçların önceden tespiti ve tüm ekipmanların yerleşimi, oldukça önemle düşünülüp planlanması gereken kısımlardır. Başlangıç kısmındaki iyi planlama, sonrasında çok daha verimli ve hızlı bir üretimin anahtarıdır.



Resim 8. Bir Rüzgâr Türbini Kanat Kalıbı Görünümü

4.2 Hammadde Hazırlığı

Rüzgâr türbini kanatlarının üretiminde kullanılacak takviye malzemeleri (cam ve/veya karbon kumaşları) ve ara malzemeler (köpük ve balsa levhaları) genel olarak tedarikçilerden belli ambalajlarda ve ölçülerde gelmektedir.

Bunların önceden kullanılacak kalıplara göre uygun hale getirilmesi, hazırlanması gerekir. Aksi takdirde üretim süreci ciddi olarak uzar ve işin tamamlanması oldukça fazla zaman alır.

Cam ve/veya karbon kumaşları ya otomatik kumaş kesme makinaları ile, ya da el makasları ile kalıplara uygun halde kesilerek hazırlanması en önemli ön hazırlık safhasıdır. Otomatik kesme makinaları, seri üretimde çok hızlı üretim yapılmasını sağlamanın yanı sıra, uygun çizim programları ile çalıştırılarak kumaşların en az fire ile kullanılmasını sağlarlar.

Benzer şekilde hazır halde tedarik edilemiyorsa, planlara göre önceden hazırlanmış köpük ve balsa levhaları da yine sürecin hızlı yürütülebilmesi için gerekli hazırlıklardır.

Reçine ve sertleştiricilerin uygun dozajlama makinaları kullanılarak elde edilmesi de yine malzeme hazırlıkları içinde olması gereken unsurdur.

4.3 Kanat İçinde Kullanılan Önceden Üretilen Parçaların Hazırlanması

Rüzgâr türbini kanatlarında, yapıları gereği bazı parçalarının önceden hazırlanması gerekir. Bu parçaların en önemlileri kabaca şu şekilde sıralayabiliriz;

- Son derece rijit ve dayanıklı bir ürün olan, her iki yüzeyin orta bölgesine yerleştirilen ve omurga dediğimiz parçaların yüzeylere yapıştığı yere denk gelen Ana Kuşak diye tabir edebileceğimiz bir parça (Spar cap, main belt),
- İki yüzey arasında kuvvet aktarımına yarayan ve Omurga adı verilen parçalar,
- İki yüzeyin birleşimi/yapıştırılmasında kullanılan ve 10 bölgelerin güçlendirilmesini de sağlayan Birleşim Kepleri denilen parçalardır.

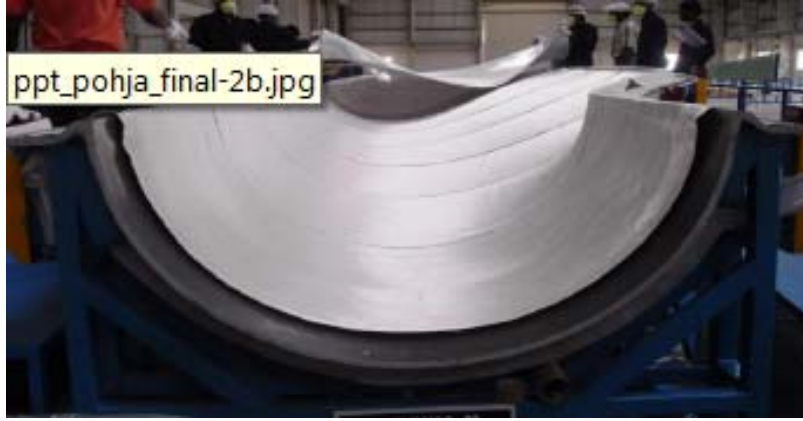
Bu parçalar ve tasarıma göre değişebilen daha farklı parçalar önceden üretilip, kullanıma hazır hale getirilir.

4.4 Kanadın Oluşturulması (Kalıplama)

Kanadın iki yüzeyden (kabuk) oluştuğundan bahsetmiştik. Bu sebeple, her iki yüzey için iki farklı kalıp bulunmaktadır. Bu kalıplarda ayrı ayrı yüzeylerin kompozit imalatı yapıldıktan sonra ara perde şeklinde "Omurgalar" yapıştırılır ve bu iki kabuk yukarıda belirtilen "Yapıştırma Kepleri" de kullanılarak hamur kıvamındaki epoksi reçine karışımı ile bir araya getirilerek dışarıdan ısı verilerek kürlenir.

Kanadın hem Emme, hem de Basınç Yüzeyleri üretilmeye başlanmadan önce kalıpların yüzeylerine, "Kalıp Ayırıcı" denilen kimyasallar uygulanır. Bu uygulamanın amacı; yüzeyler birleşip kanat haline geldikten sonra kalıbın sökülmesi sırasında yapışmayı engellemektir. Bu bütün üretilen parçaların kalıp yüzeylerine uygulanır.

Sonrasında önceden set halinde hazırlanmış cam kumaşları (kullanılıyorsa karbon kumaşları), kuru halde planlarına göre sırasıyla serilir, Ana Kuşak parçası yerleştirilir ve sonrasında dolgunluk ve eğilme rijitliği veren köpük ve/veya balsa plakları yerleştirilir. Tekrar üzerleri plandaki kumaşların uygulanması ile kumaş serme işlemi bitirilir.

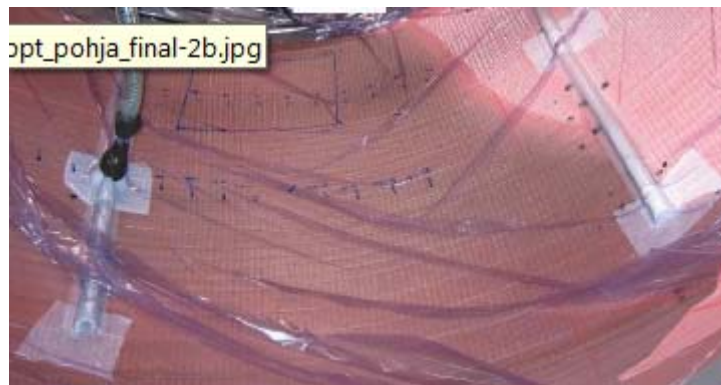


Resim 9. Cam Kumaşlarının Kalıba Serilmesi



Resim 10. Kanadın Bir Yüzeyinde Köpük Yerleştirme İşlemi

Bundan sonrasında, infüzyon ile üretilen kanatlarda, reçinenin akışını sağlayan yardımcı malzemeler, vakumun homojen yayılması için gerekli malzemeler yerleştirildikten sonra vakum folyosu çekilerek vakum altına alınma işlemi gerçekleştirilir. Gerekli testlerin olumlu olması ile infüzyon işlemi reçine hortumlarının açılması ile başlar.



Resim 11. Infüzyon İşlemi Öncesi Vakumlanmış Parça

Kabuklar tamamen reçine ile ıslanıp, doyurulana kadar reçine takviyesi yapılır ve işlem kesilmez. Ardından kalıbın ısıtma sistemi çalıştırılarak ürünün sertleşmesi beklenir.

Sertleşmiş ürün, üzerindeki yardımcı malzemeler sökülüp temizlendikten sonra Omurga dediğimiz parçalar yüzeylerden birine yapıştırılır ve yine kullanılan reçinenin kurlenmesi beklenir. Bu sırada diğer yüzeyde işlemler tamamlanmaya çalışılır ve iki yüzeyin birbirine yapıştırılması için gerekli hazırlıklar yapılır.



Resim 12. İnfüzyonu Bitirilmiş Bir Kanat Yüzeyinden Görüntü

Yapıştırma Keplerinin de hazırlanması ile iki yüzey hamur kıvamındaki epoksi reçine ile bir araya getirilir. Bu bir araya getirilme sırasında ya hidrolik kalıp sistemi ile bir yüzey kalıbı diğerinin üzerine kapatılır ya da bu işlem için köprülü vinçler kullanılarak bir yüzey kalıbı ters çevrilerek üst üste getirilir. Ardından yine ısıtma sistemleri ile reçinenin reaksiyonu hızlandırılıp kalıbın uygun zamanda sökülmesi sağlanır.



Resim 13. Kanat Kalıbının Sökülmesi



Resim 14. Kanadın Kalıptan Kaldırılması

4.5 Taşlama İşlemi

Kanadın kalıptan çıkartılmasından sonra, kanadın yüzeylerinin birleşim noktalarında oluşan reçine artıklarının temizlenmesi gerekir (Resim 13'de kanadın kenarlarındaki reçine taşmaları görünmektedir). Bu işlem genelde kesme taşları kullanılan el aletleri ile yapılırken ortama yüksek miktarda toz ve gaz çıkışı olur. Başlama işlemi bu işi için yapılmış çoğunlukla emiş sistemi olan kabinlerde yapılmaktadır.

Burada çalışan kişiler vücutlarını tozdan koruyan giysilerle birlikte tam yüz maskeleri kullanarak çıkan gaz ve tozların zararlarından korunmalıdırlar. Kanat üretiminde, işçi sağlığının en çok etkilendiği kısım olarak bu bölgenin söylenmesi yanlış olmaz.

Taşlama kabininde benzer şekilde kanadın içinde kullanılan tüm kompozit parçaların kesilmesi işlemleri de yapılır. Bunun yanında, parçalarda ya da kanat yüzeylerinde yapılan kontrollerde görülen herhangi bir infüzyon ya da yapışma hatası burada taşlama işlemi yapılarak tamir yapılmaya hazır hale getirilir.

4.6 Delme-Kesme İşlemi

Rüzgâr türbini kanatları taşlama kabinindeki işleri bitirdikten sonra kök bölgesinin flanş yüzeyinin ölçüsüne göre kesilmesi ve buraya bağlanacak civata ve somunlar için deliklerinin açılması işlerini yapan özel makinalara yerleştirilir. Otomatik program vasıtasıyla çalışan büyük kesme taşları ve matkap uçları ile sırasıyla kesim ve delim işleri tamamlanır.

Sonrasında mutlaka ölçüm kriterlerine uyup uymadığı kontrol edilmelidir. Sorun olmadığının tespiti ile kullanılıyorsa flanş parçası ve somun civata bağlantıları yapılır.

4.7 Montaj İşlemleri

Kanadın flanş ve civata-somun bağlantılarından sonra özellikle bazı ilave el yatırma ile yapılacak kumaş serimleri, eğer varsa arızalı bölgelerin tamir edilmesi ve en önemlisi olarak da yıldırımsavar bağlantılarının montajı yapılmaktadır.

Yıldırımsavar bağlantıları ve montajı kanadın üretiminde en önemli ve kritik işlerden biridir. Teknik verilere ve tasarım kriterlerine uygun olmadan yapılan yıldırımsavar bağlantıları telafisi imkansız sonuçlara neden olabilmektedir (Resim 15).

Bazı kanat üreticileri soğuk iklimlere dikilecek türbin kanatlarına, buzlanmayı önleyici, ısıtma sistemleri monte etmektedirler. Eğer kanat ısıtma sistemi ile üretilecekse bu aşamada o işlemler de tamamlanabilir.



Resim 15. Yıldırım Çarpmış Bir Rüzgâr Türbini

4.8 Finish işlemleri

Kanadın üzerine eklenecek parçalar ve kompozit üretimlerin tamamı bitirildikten sonra kanadın dış etkenlerden korunmasını sağlayan kaplama sistemlerinin ve yüzey pürüzlülüğünü azaltan boya sistemlerinin uygulaması yapılmaktadır. Bu işlemler kanadın üzerine yapılacak son işlemlerdir.

Kaplama sistemi dendiğinde; Kanadı güneşin zararlı ışınlarından (UV), rüzgârın, yağmurun ve karın yıpratmasından etkilerinden, havadaki toz, gaz ve asitlerin aşındırıcı etkilerden kullanım süresi boyunca koruyan kaplama malzemelerinin uygulanması anlaşılmaktadır. Bu malzemeler genel olarak Jelkot adı ile anılan Polyüretan esaslı kimyasal malzemelerdir.

Kanadın yüzeyine uygulanacak jelkot malzemesinin iyi tutunması ve aderansın kuvvetli olması için mutlaka yüzey aşındırıcılar ile zımpara işlemi yapılmaktadır.

En son olarak da kanadın verimliliğine de etki eden yüzey kalitesini yakalamak için yine genelde polyüretan esaslı olan boya uygulaması yapılmaktadır. Önceleri rulo ile yapılan uygulamalar, daha sonra yerini spreyci uygulamalarına ve son olarak günümüzde özel tasarlanan robot kollar ile yapılmaktadır. Bu gelişme, boyanın kanadın her her bölgesinde homojen bir kalınlık ile uygulanmasını ve yüzey pürüzlülüğünün en alt seviyeye indirilmesini sağlamıştır. Bu da türbinin enerji üretme verimliliğine etki eden bir faktördür.



Resim 16. Robot Kollar İle Kanat Yüzeyine Boya Uygulanması

4.9 Balans İşlemleri

Yaygın olarak rüzgâr türbini kanatları, her türbine üç adet bağlanarak çalışan sistemlerdir. Yukarıda bahsedilen süreçte üretimi gerçekleştirilen kanatlar, üçerli gruplar halinde set yapılarak son aşaması tamamlanmaktadır. Bu da kanatların kendi içinde yaklaşık eşit ağırlığa getirilmesi ile gerçekleşir ki bu işleme "Balans İşlemi" adı verilir.

Bu işlemde büyük ölçekli tartılar ile her bir kanadın ağırlıkları tespit edilir ve ağır olan kanada göre diğer kanatların hali hazırda montajı üretim aşamasında yapılmış boş kutusuna kurşun bilye ve reçine karışımı ilave edilerek ağırlıkları artırılmaya çalışılır.

Bu işlemden sonra kanatların aynı türbine takılması gerektiğini gösteren etiketleme ve numaralandırma sistemi uygulanarak stok sahasına gönderilir ve oradan da büyük dorseli taşıma araçları ile sevkiyatı yapılır.



Resim 17. Kanadın Yüklenmesi



Resim 18. Kanadın Taşınması

SONUÇ

Rüzgâr Türbinleri, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretilmesinde başı çeken sistemlerdir. Teknolojik gelişmeler ve maliyetlerin düşürülmesi ile birçok ülkenin önem verdiği bir sektör haline gelmiştir.

Kompozit teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, rüzgâr türbini kanatlarının da gerek tasarım, gerekse üretim olarak gelişimi devam etmektedir. Son gelinen noktada, gerek bahsedilen hammaddelerin yapısal özelliklerindeki iyileşmeler, gerekse üretim yöntemlerindeki gelişmeler ile kanat yapısının dayanımının ve yüzey kalitesinin artırılması, türbin kanatlarının uzun yıllar hizmet vermesini sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] CAM ELYAF San.A.Ş., Cam Elyaf Sanayii Yayınları, CTP Teknolojisi, www.camelyaf.com
- [2] RAVI, G., Winwind Power Energy PVT Ltd, Vice President Assistant, www.winwind.com
- [3] POLİYA Poliester San. Ve Tic. A.Ş., Reçine İnfüzyon Uygulaması, www.poliya.com.tr
- [4] TANGLER, J.L., The Evolution of Rotor and Blade Design, American Wind Energy Assosiation, July 2000
- [5] IMMERKJAER, N, Optimising of Reliability Large Wind Turbine Blades, LM Wind Power, October 2003
- [6] GURIT, Blade Manufacturing Process, www.gurit.com