

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE 3 BOYUTLU DOKUMA KUMAŞ KULLANARAK POLİMER MATRİKSLİ KOMPOZİT PARÇA ÜRETİMİ VE MUHTEMEL UYGULAMALARI: EĞİTİM UÇAĞI BASAMAK UYGULAMASI

Eren Can Kiceci
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. , Ankara

ÖZET

Havacılık sektöründe fiber takviyeli kompozit malzeme kullanımı yıllar geçtikçe artmakta ve beraberinde yeni üretim metotları da yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, havacılık sektöründe üç boyutlu (3D) kumaş malzeme kullanarak, kompozit parça üretimi ve muhtemel uygulamaları eğitim uçağı basamak parçası üzerinden açıklanmıştır. 3D kumaşların örgü tipleri ve iki boyutlu (2D) konvansiyonel kumaşlara göre iyi ve kötü yanları anlatılmıştır. Sonuç kısmında 3D kumaş teknolojisi kullanımı sonucu kazanımları ve havacılık sektöründeki muhtemel kullanım alanlarından bahsedilmiştir.

GİRİŞ

3D dokuma kumaş kompozitler isimlerinden de anlaşılacağı üzere, üç boyutta dokunmuş yapılarıdır. 3D dokuma kumaşlar, her dokuma kumaşta var olan uzunluk (X) ve genişlik (Y) boyutlarına ek olarak kalınlık (Z) yönünde de örgü bulundurmaktadır. Bu özellikleri karmaşık, tek parça yapıların oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

3D dokuma kumaşlar; yüksek hasar toleransı, yüksek darbe dayanımı ve düşük üretim maliyetleri açısından konvansiyonel düzlemsel kumaşlara göre daha avantajlıdır. Bu nedenle, havacılık, otomobil, denizcilik ve savunma endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [Guangming, 2007].

Üretimi ve tasarımı devam eden bir eğitim uçağının, metal olan basamak parçasında, hafifletme ve teknoloji kazanımı elde etme amacıyla 3D dokuma kumaşa uygun alternatif parça tasarlanmıştır ve üretilmiştir.

3D DOKUMA KUMAŞLAR

3 boyutlu dokuma kumaşlar, üretilecek parçanın son şekline yakın formlara biçimlendirilebilmektedir. Parçaları oluştururken katmanlı bir yapı kullanmaya gerek yoktur; çünkü tek parça kumaş üç boyutta da takviye sağlamaktadır. 3D dokuma kumaşlar, 2D dokumanın bir varyantıdır ve 10cm kalınlığa kadar kumaşlar üretilebilmektedir [Schwartz, 2008].

3D kumaşlar kullanılarak, 3D birim hücrede ve 3D ortogonal yapıda yaklaşık %50 fiber/hacim oranında kompozit parçalar oluşturabilmektedir [Bilisik, 2009].

Açı-kenetli 3D dokuma kumaşları kullanılarak, daha kalın son şekle yakın formlar oluşturmak da yaygın bir yöntemdir. Katmanlar arası ayrışmalara (delaminasyon) karşı olan yüksek dirençlerinden dolayı, bu yapıların lamine malzemelere göre çok büyük avantajları vardır [Boisse, De Luycker, Fabrice ve Marsal, 2008].

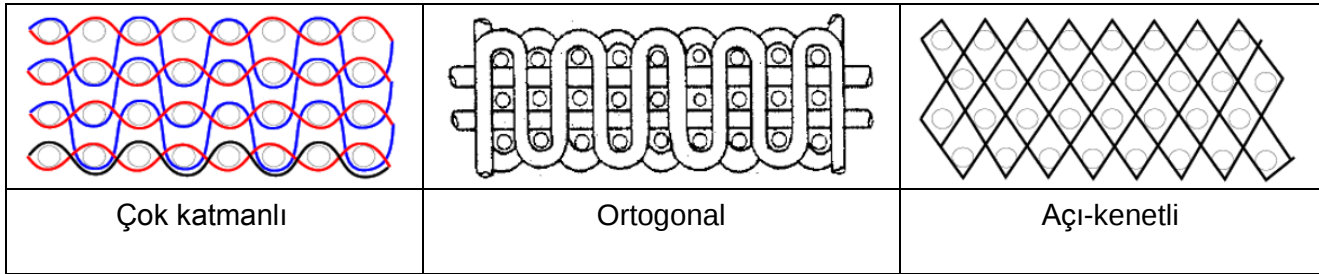
3D dokuma kumaşlarda çok çeşitli fiber malzemeleri kullanılabilir. Bunlara aramid, seramik, cam elyaf, grafit, naylon, polyester, quartz vb. malzemeler örnek verilebilir. [Bally Ribbon Mills, 2012].

3D DOKUMA KUMAŞLARIN ÇEŞİTLERİ

Ticari olarak 3D dokuma kumaşların birçok çeşidi mevcuttur. Ancak dokuma yapısına göre, 3 ana başlık altında toplayabiliriz. Bunlar Şekil 1’de görüldüğü üzere,

- Çok katmanlı
- Ortogonal
- Açı-kenetli

olarak sınıflandırılabilir [Behera, 2008; Bally Ribbon Mills, 2012].



Şekil 1: 3D Dokuma Tipleri [Bally Ribbon Mills, 2012]

Çok katmanlı ve açı-kenetli kumaşlar benzer yapılara sahiptir. Çok katmanlıda kalınlık yönündeki iplik iki katman arasında gidip gelirken, açı-kenetli yapıda tüm kalınlık boyunca devam etmektedir.

Ortogonal dokuma kumaşlar özel dokuma tezgâhlarında üretilmektedir. Diğer 3D kumaşlarda olduğu gibi genişlik ve uzaklık yönündeki fiberlere ek olarak kalınlık yönünde fiberler içerir. Ancak kalınlık yönündeki fiberler, diğer yöndeki fiberlerle iç içe geçmek yerine onlara dik ve düz biçimde ilerler. Sadece kumaşın en üst ve en alt katmanında, düzlüğünü ve dikliğini bozar, diğer yöndeki fiberlerin etrafından dolaşarak ters yöne devam eder [Khokar, 2002;Khokar, 2009].

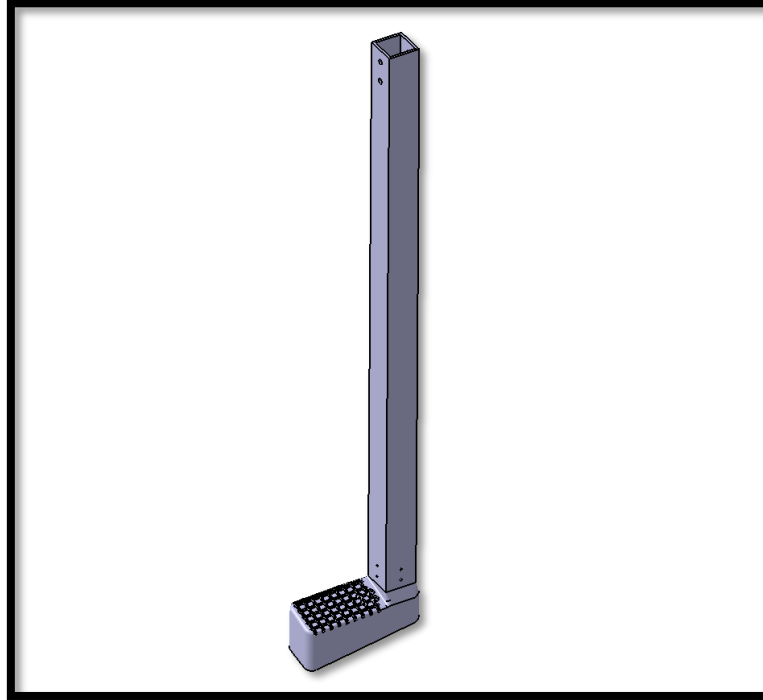
3D DOKUMA KUMAŞLARIN ÖZELLİKLERİ

- 2D lamine kompozitlerin maruz kaldığı en önemli hasar tiplerinden biri, katmanlar arası açılma yani delaminasyondur. Delaminasyon kompozit yapının dayanımını ve güvenilirliğini düşürmektedir. 3D dokuma kumaş kompozit yapılarda ise, kalınlık yönündeki fiberlerin sağladığı dayanım sayesinde, düzlem dışı yükler sonucu oluşan delaminasyonlara karşı yüksek dayanımı vardır [Campbell, 2004].
- 3D dokuma kumaşlar yüksek şekillendirilebilme kabiliyetine sahiptir. Kolaylıkla karışık geometriye sahip kompozit tasarımlar yapılabilir [Kyle ve Mansour, 2006].
- 3D dokuma kumaşların boşluklu yapıları, reçine emme hızını düşürmektedir [Kyle ve Mansour, 2006].
- 3D ortogonal dokuma kumaşların sahip olduğu kıvrımsız fiber örgü yapısı, genişlik ve uzunluk yönünde yer alan fiberlerin mekanik özelliklerini neredeyse tam randımanda kalmasını sağlar. Yüksek performanslı fiberlerin, yük taşıma kapasitesi açısından oldukça yararlı bir özelliktir [Kyle ve Mansour, 2006].

- 3D dokuma kumaşların ağırlık yönünden de kazanımları vardır. Ağırlığın çok önemli bir girdi olduğu uçak sektöründe %30 a kadar hafifleme sağlanabilir [Campbell, 2004].
- 3D dokuma kumaşlardan son şekle yakın formların oluşturulması, konvansiyonel 2D kumaşlarını kullanarak üretim yapan elle serim yöntemine göre maliyet ve üretim hızı avantajlarına sahiptir. 2D kumaşların serimi için harcanan işçilik ve yine bu kumaşların kesimi sonucu ortaya çıkan artık kumaş parçaları hem maliyeti artırmakta hem üretim hızını düşürmektedir. 3D kumaş kullanarak hazırlanan formlarda ise katman serimi olmaz ve artık kumaş ortaya çıkmaz. Otomasyona uygun bir kompozit yapı üretim tekniğidir. Üretim işçiliğinin az olması insan kaynaklı hataları azaltmakta ve aynı kumaş formundan üretilen her parçanın birbiriyle aynı olma ihtimalini artırmaktadır [Hearle ve Chen, 2009; McClain ve Goering, 2013].

EĞİTİM UÇAĞI İÇİN TASARLANAN VE ÜRETİLEN 3D DOKUMA KUMAŞ BASAMAK PARÇASI

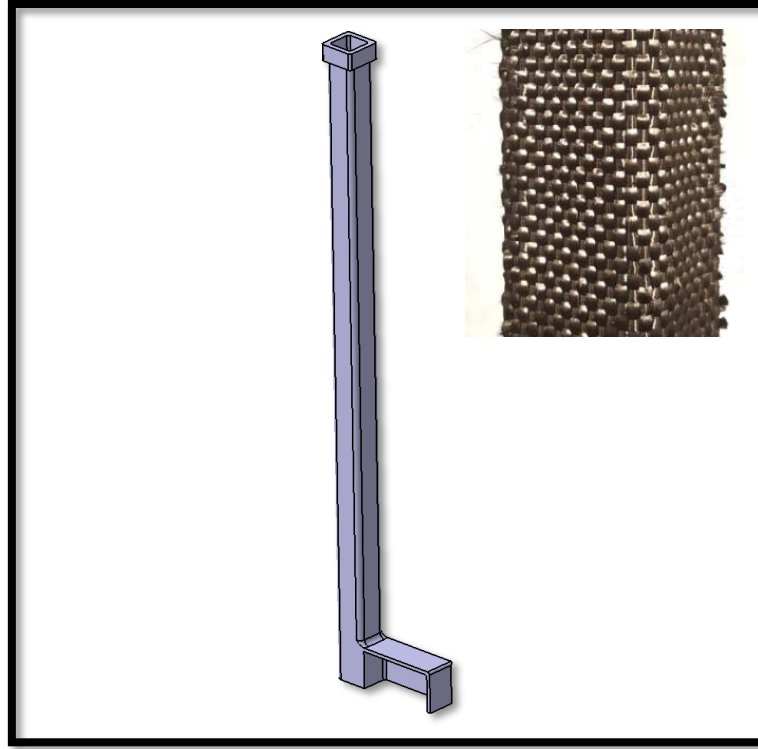
Eğitim uçağı için tasarlanan ve üretilen metal basamak parçası, alüminyum 6061-T6 malzemesinden üretilen kare bar ve alüminyum 7050-T7451 malzemesinden üretilen ayak basma parçasının, 8 noktadan birbirlerine perçinlenmesiyle oluşur. Şekil 2’de metal basamak parçası görülmektedir.



Şekil 2: Metal Basamak

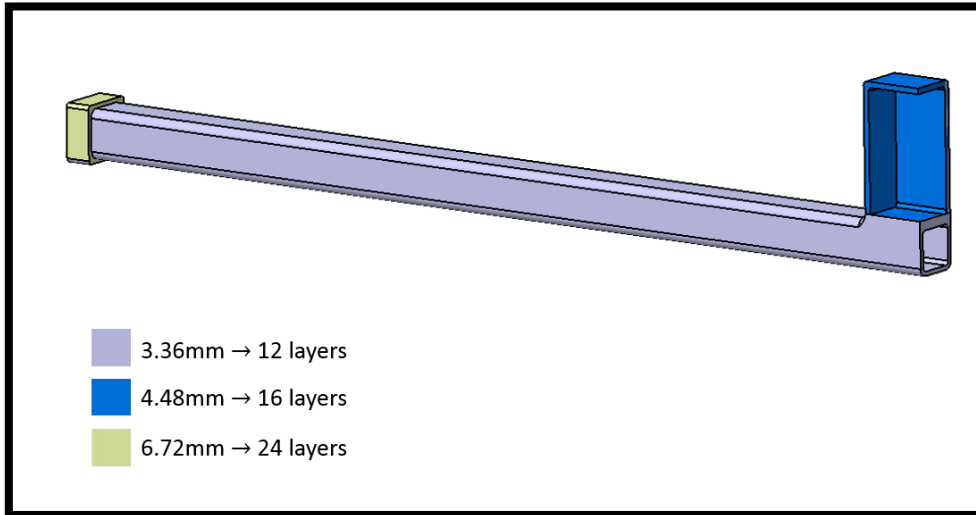
Metal çözümü yukarda anlatılan parçanın, teknoloji kazanımı elde etmek ve teknoloji gösterimi yapmak adına, ortogonal 3D dokuma kumaş kullanarak kompozit çözümünü yapmaya karar verilmiştir. Metal çözümünde kullanılan 2 parça yerine, Şekil 3’te de gösterildiği gibi yekpare ve bağlayıcısız bir kompozit yapı hedeflenmiştir.

Basamak parçasının bağlı olduğu mekanik sistemde değişiklik yapmamak adına yeni oluşturulan kompozit yapıda dış geometri korunmaya çalışılmıştır.



Şekil 3: 3D dokuma kumaş basamak modeli

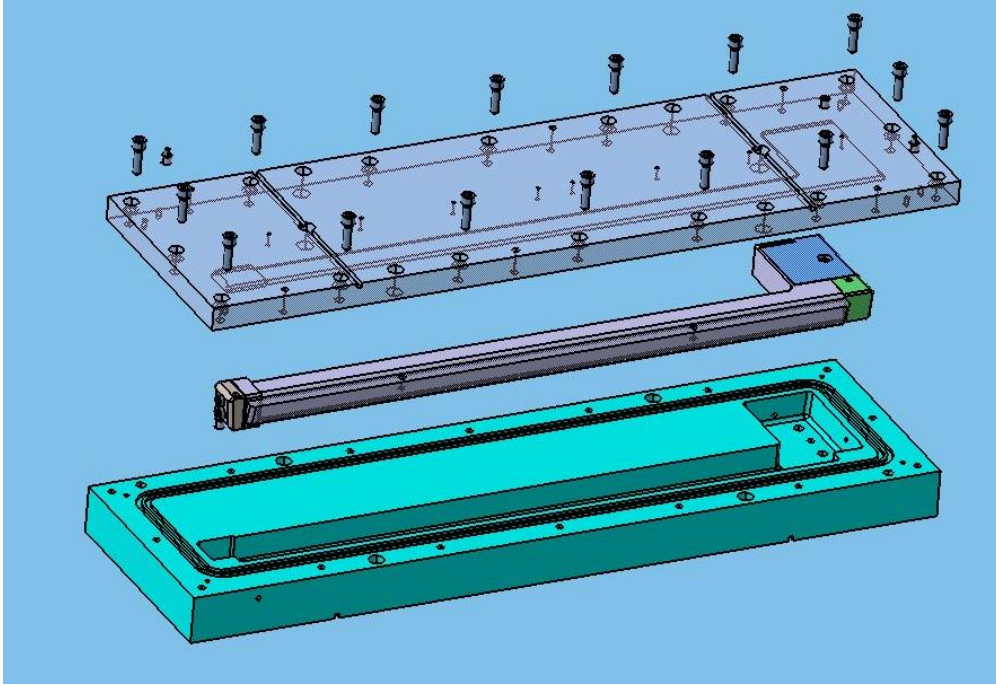
Gerekli yapısal dayanımı sağlamak amacıyla oluşturulan katman dağılımı Şekil 4'te gösterilmiştir. 0,28 mm kalınlığa sahip [0/90] yönündeki katmanlar kullanılmıştır. Parçanın kalıptan zarar görmeden çıkarılmasını sağlamak adına, başlangıç bölgesinde ekstra kalınlık sağlanmış ve bu bölgenin sonradan kesimi için pay bırakılmıştır.



Şekil 4: Kompozit model katman dağılımı

Kuru kumaşlardan oluşan kompozit form için, Şekil 5'te gösterilen parçalı RTM (Resin Transfer Infusion) kalıbı hazırlanmıştır. RTM kalıbında alt ve üst kapatıcı kalıpların haricinde parçanın

boşluklu yapılarının oluşması ve korunması için 2 adet mandrel kullanılmıştır. Epoxy reçine kullanarak ıslatılan kumaşlar RTM yöntemi ile 180°C'de kürlenmiştir.



Şekil 5: RTM Kalıbı

Üretilen parça çapaklarından temizlenmiştir ve mekanik sisteme yerleştirilmeden önce durdurucu parçaları üzerine takmak için delikler açılmıştır. Konvansiyonel kumaş kullanılarak üretilen kompozit parçalarda delme işlemi sırasında oluşan delaminasyon sorunu 3D kumaş kullanılarak üretilen kompozit yapıda daha az risk oluşturduğundan, parçaya zarar vermeden delikler açılabilmiştir. Açılan deliklerden cıvata ve somun kullanılarak durdurucu parçalar bağlanmıştır. Uçak üzerinde bulunan metal parça sökölerek yerine takılmıştır.



Şekil 6: Kompozit parça ve parçanın uçak üzerine takılması

Uçak üzerine takılan parça denenmiştir ve herhangi bir sorunla karşılaşılmasıdır. Mekanik düzeneğin sorunsuz çalışması için gerekli olan parça toleransları, RTM metodunun sağladığı hassas tolerans değerleri ve yüzey kalitesi sayesinde başarılı şekilde elde edilmiştir.

SONUÇ

Yüksek dayanım/ağırlık oranlarına sahip kompozit malzemelerin havacılık sektöründe kullanımı önemli yer kaplamakta ve giderek artmaktadır. Konvansiyonel yani fiberlerin iki boyutta örüldüğü kumaşlara kalınlık yönünde fiberlerin eklenmesiyle oluşan 3 boyutlu dokuma kumaşların kullanımı da, sahip oldukları artı özellikleri sebebiyle artmaya başlamıştır. Bu özellikler; yüksek hasar toleransı, yüksek darbe dayanımı, seri üretime bağlı düşük maliyetler, üretim iş gücünün az olması ve karmaşık yapıların tek parça üretilmesi şeklinde örneklendirilebilir.

Bu çalışmada, 3 boyutlu dokuma kumaşların çeşitleri, yapısı ve avantajları incelenmiştir. Bu bilgiler ışığında, eğitim uçağında hem ağırlık azaltma ve teknoloji kazanımı amacıyla, metal olan basamak parçası, yerli kompozit malzemesi üreticisi Erginer firmasının ürettiği ve şekil verdiği 3 boyutlu dokuma kumaş kullanarak yeniden tasarlanmış ve RTM yöntemiyle üretilmiştir. Hali hazırda 2 parçadan oluşan karmaşık basamak yapısını elle serim yöntemiyle üretilmesi olanaksız gibi görünürken, 3 boyutlu kumaş kullanımı parçanın üretimini mümkün kılmıştır. Toplam ağırlığı 1590 gram olan metal basamak parçalarının görevini yerine getiren, 496 gram ağırlığında kompozit yekpare yapı elde edilmiştir. Yaklaşık olarak 3 kata kadar bir ağırlık kazanımı elde edilmiştir. RTM kalıplarının sağladığı hassas tolerans ve pürüzsüz yüzey yapısı mekanik sisteme uyumluluğu sağlamıştır.

Doğruluğu kanıtlanmış bir analiz metodu kullanılamaması, parçanın uçan uçak üzerinde kullanımını engellemektedir. Parçanın üzerinde gerekli dayanım ve ömür testlerinin yapılması parçanın kullanımını mümkün kılabilir. RTM kalıplarının maliyetinin yüksek olması bir dezavantaj olsa da, çok sayıda üretimi düşünülen parçalarda 3 boyutlu kumaş seçimi yapılması maliyetleri önemli ölçüde düşürecektir.

Kaynaklar

Bally Ribbon Mills, 2012. *Corporate, Capability, and 3-D Carbon Fiber Woven and Braided Structures*

Bally Ribbon Mills, *The Benefits of 3-D Woven Composites*.

Behera, B.K., Mishra, R., 2008. *3-Dimensional Weaving*. Indian Journal of Fibre & Textile Research. 33. 274-287.

Bilisik, K., 2009. *Multiaxis 3D Woven Preform and Properties of Multiaxis 3D Woven and 3D Orthogonal Woven Carbon/Epoxy Composites*. Article in Journal of Reinforced Plastics and Composites, DOI: 10.1177/0731684409103153

Boisse, Philippe & De Luycker, Emmanuel & Morestin, Fabrice & Marsal, David., 2008. *Numerical Analysis of 3D Interlock Composite Preforming*. International Journal of Material Forming. 1. 843-846. 10.1007/s12289-008-0267-x.

Campbell, F. C., 2004. *Manufacturing Processes For Advanced Composites*, Oxford, UK: Elsevier

Guangming, Zhou, & Wang, F. X. & Wang, W. X. & Zhou, W. C. (2007). *Multi-scale Analyses of 3D Woven Composite Based On Periodicity Boundary Conditions*. Journal of Composite Materials - J COMPOS MATER. 41. 1773-1788. 10.1177/0021998306069891

Hearle, J.W.S. & Chen, Xiaogang. (2009). *3D woven preforms and properties for textile composites*. ICCM International Conferences on Composite Materials.

Khokar, N., 2009. *3D-Weaving: Theory and Practice*, The Journal of The Textile Institute, 92:2, 193-207, DOI: 10.1080/00405000108659570

Khokar, N. 2002. *Noobing: A Nonwoven 3D Fabric-forming Process Explained*. Journal of the Textile Institute. 93. 52-74. 10.1080/00405000208630552.

Kyle, K. Wetzel, Mansour, H. Mohamed, 2006. *3D Woven Carbon/Glass Hybrid Spar Cap for Wind Turbine Rotor Blade*. Journal of Solar Energy Engineering-transactions of The Asme - J SOL ENERGY ENG. 128. 10.1115/1.2349543.

McClain M, Goering J, 2013. *Rapid Assembly of Fiber Preforms Using 3D Woven Components*. SAMPE J. 49:6, 24-28.

Schwartz, P., 2008. *Structure and Mechanics of Textile Fibre Assemblies*.