

Güneş Enerjisi İle Çalışan Araç İçin Monokok Kompozit Gövde Tasarımı ve İmalatı

Aytaç GÖREN, Özgün BA ER
Ar. Gör., DEÜ Makina Mühendisli i Bölümü

Cuma POLAT
Mak. Müh., ODTÜ Havac l k ve Uzay Mühendisli i Bölümü

ÖZET

Çağımızda, kullanılan enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve çevreye verdikleri zararların gittikçe tehlikeli boyutlara ulaşması, tüm dünyada yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmaların hız kazanmasına neden olmuştur. Bu kaynaklardan en bol ve neredeyse sınırsız miktarda olan güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin kullanımı, petrol bazlı enerji kaynaklarına büyük bir alternatif olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan bir araç için monokok gövde tasarımı ve imalatı ele alınmaktadır. Tasarımda, güneş panellerinden elde edilen kısıtlı enerjinin en verimli şekilde kullanılabilmesi için aracın mümkün olduğunca hafif imal edilmesi planlanmıştır. Bu amaçla ilk etapta aracın fiberglastan alt ve üst kabuk olarak modeli yapılmış ve daha sonra bu model üzerinde yapılan değişiklikler ve iyileştirmeler ile karbon kompozit gövde imalatına geçilmiştir. Elde edilen gövde TÜBİTAK'ın düzenlediği 2005 Formula G Yarışlarında Solaris takımının Erke isimli güneş arabasında kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Monokok gövde, fiberglas model, karbon kompozit, güneş enerjisi

GİRİŞ

Günümüzde petrole dayalı enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve çevreye verdiği zararların artık iyiden

iyiye görünür olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının otomotiv sektöründe ne kadar kullanılabilir olduğu sorusunu ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla otomobil üreticisi firmalar hibrid araç tasarımlarına başlamışlardır. Hibrid araçlar, düşük hızlarda benzin motoru yerine elektrik motorunu kullanmakta ve bu sayede emisyon salınımını azaltmaktadır. Elektrik motorunun çalışması için gerekli enerji, içten yanmalı motoru çalıştırıldığı zamanlarda ya da frenleme sırasında akülere şarj edilmektedir. Sadece elektrik motoru ile bir motorun ihtiyaç duyduğu enerjinin güneş hücrelerinden sağlanması fikri, gelişen teknoloji ile daha da destek bulmaya başlamıştır. Günümüzde düşük verimli güneş hücrelerinin veriminin yükseltilmesi için çalışmalara hız verilmiştir. Halen yakın gelecekte güneş hücrelerinden enerjisi sağlanacak ve bir taşıtı hareket ettirecek bir elektrik motorunun içten yanmalı motorların güçleri ile kıyaslanması mümkün değildir. Bu yüzden tasarımı yapılacak olan güneş arabalarının günümüz otomobillerine göre çok daha hafif ve aerodinamik açıdan çok daha gelişmiş olmaları

gerekmektedir.[1] Güneş enerjisinin her an aynı değerlerde kullanılabilmesi ise doğal olarak imkansızdır. Daha uygun ve güç/ağırlık oranları daha yüksek akü gruplarının geliştirilmesi bu alanda bulunan başka bir araştırma konusudur [2,3]. Sonuçta, az olan enerjinin daha verimli kullanımı amaçlanan güneş araçlarında, üretilecek gövdenin tasarımı büyük önem taşımaktadır. Kullanılacak olan enerjinin kısıtlı olması ve verimli kullanılması gerekliliği bu konuda sadece verimli enerji kullanımına dayalı yarış stratejisi araştırmalarının yapılmasının bile yolunu açmıştır. [4]

Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan bir araç için monokok gövde tasarımı ele alınmıştır. Aracın üç boyutlu modellemesi I-DEAS katı modelleme programı ile yapılmış ve kalıplar bu modelden yararlanarak elde edilmiştir. Gövde malzemesi olarak yüksek mukavemete ve düşük yoğunluğa sahip karbon kompozit kullanılmıştır. Üretilen gövde TÜBİTAK'ın düzenlediği 2005 Formula G Yarışlarında Solaris takımının Erke isimli güneş arabasında kullanılmıştır.

MONOKOK GÖVDE TASARIMI

Monokok terimi Fransızca'da "tek" (mono) ve "kabuk" (coque) kelimelerinin birleşmesi ile oluşur. Bu terim, bir yapının (tekne, uçak, araba şasisi vs.) dış yüzeyini kullanarak yapısal yükün desteklenmesine olanak sağlayan bir üretim tekniğini ifade etmektedir. Geleneksel imalat tekniklerinde ilk etapta yükü taşıyacak olan iskeletin (şasinin) üretimi yapılır ve daha sonra bu yapı yük taşımayan bir kabuk ile kaplanır. Monokok gövde imalatında ise bu iskelet yapının kabuğu ile birlikte üretilerek yapıya etkiyen yükün tüm yapıya dağılmasına olanak verir. Güneş arabalarında hafifliğin ön planda olması, gövde konstrüksiyonunun daha ince olmasını gerektirmektedir. Özellikle monokok gövdeye alt ve üst salıncaklardan etki eden kuvvetlerin şasi ile birlikte tüm gövdeye yayılması, ağır ve hantal bir şasi yerine, göreceli olarak daha ince destekler kullanılmasını mümkün kılarak tasarımda istenilen hafifliğin elde edilmesine olanak sağlar. Monokok gövde tasarım aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

1. Gövdenin Üç Boyutlu

Modellenmesi :

Tasarımın ilk aşamasında gövdenin üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Modelin oluşturulmasında I-DEAS katı modelleme programından yararlanılmıştır. Modellemeye başlarken ilk adım gövde dizaynında önemli olan parametrelerin belirlenmesidir. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir:

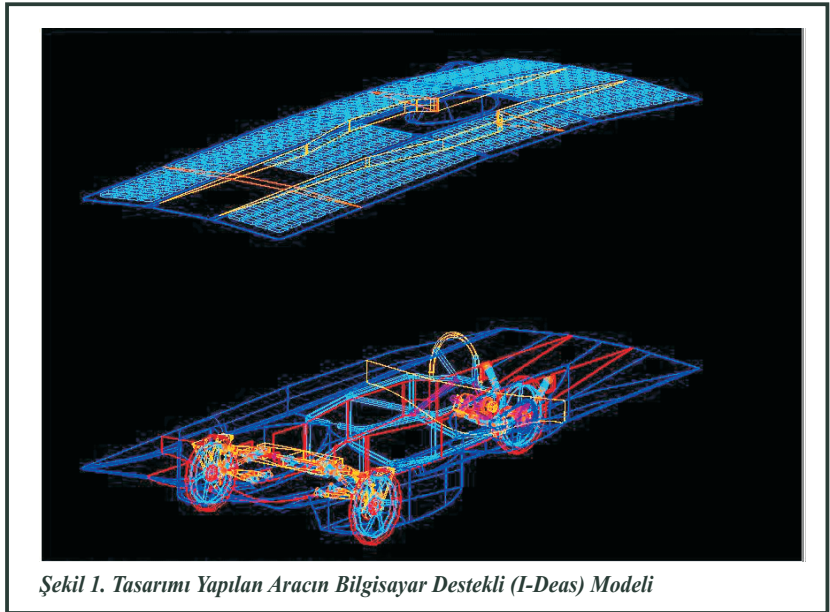
- Gövde genel yapısı
- Gövde üretiminde kullanılacak malzeme

- Gövdeye etki edecek kuvvet noktalarının belirlenmesi.
- Alt gövde kalıbının hazırlanması için alt gövdenin kesitlerinin alınması.

Bu parametreler ışığında aracın aerodinamik yapısına, kaç tekerlekli olacağına ve tahrikin nasıl olması gerektiğine karar verilmiştir. Gövdenin üç boyutlu modeli Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde görülen gövde iki parçadan oluşmaktadır. Üst kabuk güneş panellerini taşıyan ve aracın rüzgar direncini düşüren bir yapıya sahipken alt kabuk monokok bir yapıdadır ve araç üzerindeki tüm sistemleri taşıyacak şekilde dizayn edilmiştir.

bulunan lifleri bağlayarak uygulanan kuvvetlerin tüm yapı boyunca dağılımını sağlar. Böylelikle iki maddenin ayrı ayrı özelliklerinden daha üstün bir yapı ortaya çıkar.

Son yıllarda, çeşitli tipte lifler ile desteklenen ve değişik yapıları matrislerden oluşan modern kompozitlerdeki gelişmeler, yüksek dayanım performansına ve düşük yoğunluklara sahip yapıların elde edilmesine olanak sağlamışlardır. Özellikle liflerin değişik doğrultularda yapıya yerleştirilmesi ile yapısal anlamda optimum performansın elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu bakımda üretilen güneş arabalarında



Şekil 1. Tasarımı Yapılan Aracın Bilgisayar Destekli (I-Deas) Modeli

2. Malzeme Seçimi :

Gövde imalatında kullanılan kompozit malzemeler iki ayrı bileşenin (matris ve takviye elemanı) çeşitli imalat teknikleri yardımı ile bir araya getirilmesi ile oluşan yapılardır. Öğelerden biri genellikle cam elyaf, karbon, boron veya kevlar gibi güçlü bir lifdir. Bu lifler yapıya yüksek dayanım kazandırırken matris olarak adlandırılan diğer yapı birbirinden kopuk olarak

kompozit teknolojisinin ve monokok gövde yapısının kullanılması istenen dizayn parametrelerine ulaşılması açısından önem kazanmaktadır.

Maliyet olarak ele alındığında kompozit malzeme imalatında önemli olan, kullanım yeri ve nasıl kullanılacağıdır. Hafifliğin veya çevresel şartlara karşı gösterilen direncin önemli olduğu durumlarda kullanılan malzeme miktarı

ve işçilik hassasiyeti oranında maliyetler yükselmektedir. Bu yüzden güneş arabası imalatında ilk etapta göreceli olarak daha ucuz olan cam elyaf ile monokok gövdenin modeli üretilmiş, model üzerinde yapılan değişiklikler ve iyileştirmelerden sonra esas araç karbon kompozitten imal edilmiştir. Böylelikle malzeme maliyetleri mümkün mertebe düşürülmeye çalışılmıştır.

Lif Tipleri:

Fiberglas: Üretilen gövdenin ilk modelinde takviye elemanı olarak cam lifi (fiberglas) kullanılmıştır. Bu malzeme eritilmiş haldeki camın küçük deliklerden akıtılıp katılaşması sonucu üretilir. Yüksek mukavemet değerleri ve diğer takviye elemanlarına göre düşük maliyetleri nedeniyle tercih edilmiştir.

Karbon Lif: Yüksek performanslı gelişmiş liflerden en yaygın olarak kullanılanıdır. Genellikle karbon liflerinin çekme mukavemeti lif tipine göre 3,1-5,5 GPa arasında değişirken Elastisite çekme modülü 240 GPa değerlerine kadar ulaşmaktadır. Bu da demektir ki sadece lifin kendisi bile 7075 T6 Alüminyum alaşımından lif tipine göre 5-10 kat daha dayanıklı ve

ağırlık olarak da %60 daha azdır. Alüminyum ve fiberglasa göre daha pahalı olmasına rağmen yoğunluğunun düşük olması ve buna karşılık iyi dayanım değerlerine sahip güneş arabası imalatında karbon kompozit malzemelerini ideal kılmaktadır.

Matris:

Güneş arabalarında kullanılan matrisler polimer matrislerdir. Termoset polimerlerin başında gelen epoksi ve reçine en sıklıkla kullanılanlardandır. Epoksi göreceli olarak daha pahalı olmasına rağmen fiberglas veya karbon lifi ile birleştiğinde yüksek mekanik dayanım performansına sahip olduklarından güneş arabalarında, uzay ve havacılık teknolojilerinde tercih edilirler. Epoksiler, diğer termoset plastikler gibi belli süre sonra sıvı halden katı hale geçerler ve takiben bir 3-4 gün içinde kür olarak final sertliklerine ulaşırlar.

3. Kalıp İmalatı :

Çalışmada I-DEAS programı ile modellenen alt ve üst kabukların imalatında kalıplama yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu teknikte kompozit malzeme daha

önceden oluşturulan bir kalıp üzerine giydirilip esas geometrilerin oluşturulacağı dişi kalıplar elde edilmiştir. Bu noktada farklı alternatifler değerlendirilerek optimum bir seçim yapılmıştır. Bu alternatifler şu şekilde sıralanabilir:

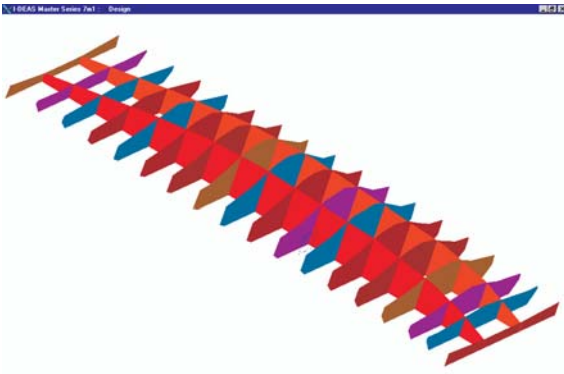
- Büyük tabla hareketlerine sahip CNC tezgahlarla köpükten bire bir kalıbın oluşturulması,
- 20-30 mm aralıklarla alınan kesitlerin ince köpüklerle oluşturulup birleştirilerek kaba geometrinin çıkarılması,
- 300-400 mm aralıklarla alınan kesitlerin üzerine kontrplak kaplayarak son geometrinin oluşturulması,

Maliyetinin diğer yöntemlere göre daha düşük olması ve eldeki imkanlar ile daha hızlı bir şekilde çözüme ulaşılabilmemesi mümkün olması nedeniyle son yöntem tercih edilmiştir. Buna göre kalıbın çıkarılmasında şu aşamalardan geçilmiştir;

- Öncelikle I-DEAS programı ile katı modeli oluşturulan alt kabuğun üzerinden belirli aralıklarla (300-400 mm) kesitler alınmıştır. Bu kesitlerin alınması sırasında kalıptaki dişi erkek durumları göz önünde bulundurularak orijinal kabuk modelinin dış yüzeyi kaburga üzerine kaplanacak malzemenin (kontrplak) kalınlığı kadar küçültülmüştür (standart offset komutu ile).
- Alınan kesitlerin 1:1 ölçeğinde kağıtlara çıktıkları alınmıştır.
- Bu çıktılar doğrultusunda en geniş bölgelere göre en ve boy ölçüleri

Tablo 1. Değişik Lif Tiplerinin Mekanik Özellikleri

	Lif Çapı	Lif Yoğunluğu	Çekme Dayanımı	Elastik Çekme Modülü
Lifin Cinsi	µm	g/cm ³	Gpa	GPa
E-cam lifi	8-14	2,54	3,45	72,4
S-cam lifi	8-14	2,49	4,58	86,2
Polietilen	10-12	0,97	2,70	87
Aramid-Kevlar	12	1,44	3,62	130
HS Karbon, T300	7	1,74	3,54	230
AS4 Karbon	7	1,80	4,00	228
IM7 Karbon	5	1,80	5,41	276
GY80 Karbon	8,4	1,96	1,86	572
Boron	50-203	2,60	3,44	407



Creates a circle by its center point and a point on its edge.



Şekil 2. Bilgisayar Destekli Modelin Üretime Hazırlanması ve Model İmalatı



Şekil 3. Kontrplak Kaplama



Şekil 4. Gerçek Modelin Elde Edilmesi

çıkartılıp 18 mm' lik ham suntalar dikdörtgen biçiminde kesilmiştir (Şekil 2).

- Kesilen ve numaralandırılan bu dikdörtgen suntalar üzerine daha önceden alınan çıktılar yardımıyla kesit geometrileri aktarılmıştır.
- Tekrar kesilen ve son halini alan suntaların dış çevreleri zımpara yardımıyla düzeltilmiştir ve üzerlerine geçme kanalları açılmıştır.
- 5m uzunluğunda ve 200x20 mm kesit ölçülerine sahip iki adet tahta alınarak üzerlerine geçme kanalları açılmıştır.
- Üzerlerine geçme kanalları açılan tahta ve kesit suntaları birleştirilerek

k a b u r g a oluşturulmuştur.

- Oluşturulan kaburga üzerine küçük yarıçapa sahip noktalarda dar (100-200 mm), büyük yarıçapa sahip noktalarda da geniş (500-700 mm) kontrplaklar kaplanmıştır (Şekil 3).
- Kaplanan kontrplakların birleşim noktaları yapıştırıcı vasıtasıyla hassas bir biçimde birbirine yapıştırılmıştır.
- Macunla kaplanan dış yüzeyler



Şekil 5. Kalıbın Oluşturulması

zımparalanıp düzgün bir yüzey elde edilmiştir (Şekil 4).

- Oluşturulan bu kalıp üzerine kompozit malzeme kaplanarak kullanılacak olan esas dişi kalıp oluşturulmuştur (Şekil 5).

Yukarıda belirtilen aşamaların

tamamlanması fizibilite çalışmaları hariç dört gün gibi kısa sürede olmuştur. Bununla birlikte bu büyüklükteki bir kalıbın imalat maliyeti de oldukça makul bir seviyede tutulmuştur.

4. Alt ve Üst Gövdenin Dökümü :

Alt ve üst gövdenin kalıpları hazırlandıktan sonra kompozit malzemenin kalıp içerisine dökülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada önem verilmesi gereken bir nokta, dökülen malzemenin kurduktan sonra kalıp içerisinden rahatça çıkarılabilmesi için malzeme yerleştirilmeden kalıp içerisinin jel kimyasallar ile kaplanmasıdır. Prosesin aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

- Jelin sürülmesinin ardından yapılan ilk modelde cam lifleri birbirleri ile 45° açı yapacak şekilde serilmiştir.
- Cam elyaflar serildikten sonra üzerilerine matris malzemesi olan epoksi sürülmüş ve malzeme 3-4 gün kuruma sürecine bırakılmıştır.

Kalıp içerisinde kabuk kururken bir yandan da desteklerin üretimine

geçilmiştir. Destekler kabuğun rijit olmasını sağlayan, alt ve üst salıncakların ve arka tahriğin bağlanacağı yapılardır. Destek elemanları olarak balpeteği yapılı kompozit malzeme kullanılmıştır (Şekil 6). Bu yapılar iki ince fakat rijit kompozit katman arasında hafif fakat daha kalın balpeteği yapı yerleştirilip bunların birbiri ile kimyasal olarak bağlanması ile oluşur. Hafiflik ve dayanıklılık açısından büyük avantaj sağlayan yapılardır.

• Hazırlanan destekler kalıp içerisindeki alt gövdenin belirlenen yerlerine oturtulup epoksi ile gövdeye birleştirilir ve kurumaya bırakılır. Böylelikle monokok alt gövde modeli elde edilmiştir.

- Monokok alt gövde kurduktan sonra kalıptan çıkarılmış ve üzerinde bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Özellikle gövdeye kuvvetin geldiği noktalarda fazla malzeme atılması, gerektiği yerlerde burulmaların engellenmesi için ekstra desteklerin atılması ve ağırlıktan kaçınmak için modelden malzeme çıkarılması işlemleri aracın performansını

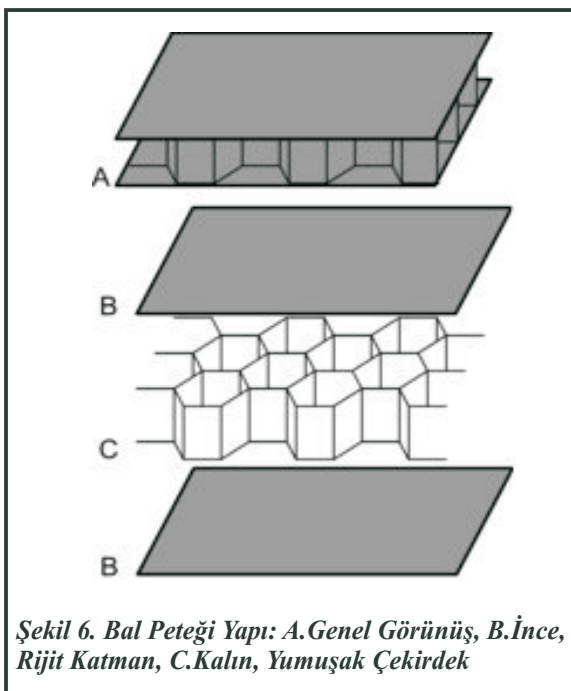


Şekil 7. Şasi Bölümlerinin Aracın Üzerine Yerleştirilmesi ve Desteklerin Atılması

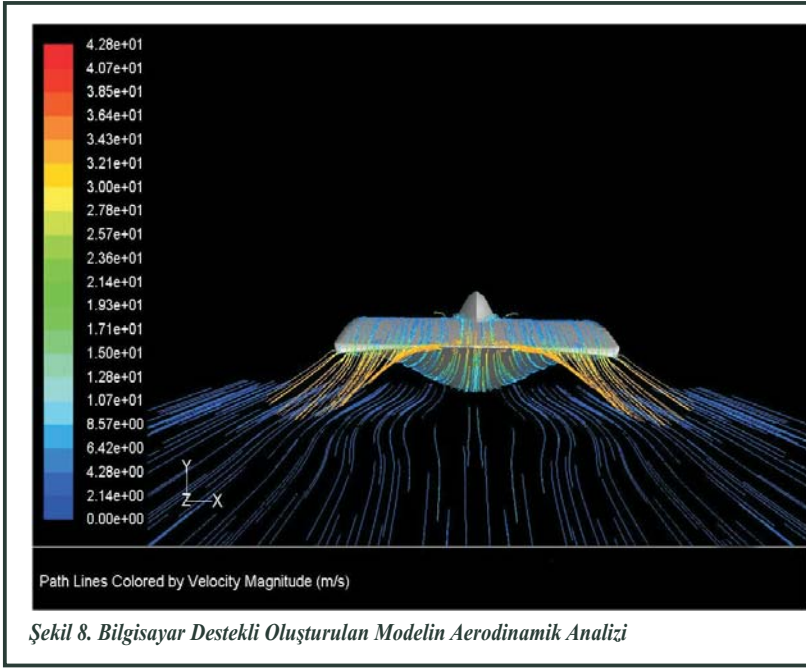
arttırıcı iyileştirmeler olarak göze çarpmaktadır.

- Bu işlemler tamamlandıktan sonra artık aracın monokok alt gövdesinin birebir modeli hazırlanmış olmuştur. İlk modelin fiberglastan yapılma nedeni fiberglastan maliyetinin karbon kompozite oranla çok daha düşük olmasıdır. Gövdenin son halinin nasıl olması gerektiğine bu model üzerinde karar verildikten sonra karbon kompozitten yapılan monokok gövde minimum malzeme kullanılarak elde edilmiştir.

Yukarıda açıklanan prosesin aynısı üst gövde için de yapılmıştır. Buradaki tek fark üst kabuğun sadece panelleri taşıyacak olması nedeni ile alt kabuğa göre çok daha ince ve hafif olmasıdır. Bunun yanında üst gövdenin aerodinamik yapısı, aracın devrilmemesi ve yüksek hızlara dengeli bir şekilde çıkabilmesi için çok önemlidir. Bu açıdan birleşmiş alt ve üst gövdenin bir bütün olarak, I-Deas programında çizilen modellerinin aerodinamik olarak analizleri Fluent programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 6. Bal Peteği Yapı: A.Genel Görünüş, B.İnce, Rijit Katman, C.Kalın, Yumuşak Çekirdek



Şekil 8. Bilgisayar Destekli Oluşturulan Modelin Aerodinamik Analizi

Şekil 8'de yeni nesil aracın tasarımından sonra katı modeline uygulanan akışkan analizi görülmektedir. Araç, analizde 120km/s hızla gittiği kabul edilmiş ve laminer akış her noktada sağlanmıştır. Araç için bulunan CD katsayısı klasik

bir araçtan oldukça düşük olduğundan aerodinamik olarak da yeterlilik sağlanmıştır.

5. Sürücü Koruyucu Kapak Dökümü : Sürücünün araca grip çıkmasını sağlayan ve aynı zamanda koruyan

kapak imalatında gövde imalatından farklı olarak vakumlama tekniği kullanılmıştır. Sürücü kapağı için de ilk etapta kalıp hazırlanmış ve

aşağıda anlatılan proses ile imalatı yapılmıştır:

- Kalıbın içerisine malzemenin yapışmaması ve rahat çıkabilmesi için jel sürülmüştür.
- Karbon kompozit malzeme kalıbın içine lifler birbiri ile 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir.
- Kalıp içerisindeki malzemenin üstü polimer film ile kaplanmıştır. Kaplamanın kenarları hava giriş çıkışını engelleyecek biçimde kapatılmıştır.
- Tamamen kapatılan polimer film üzerinde bir adet epoksi basılabilmesi için giriş, bir adet de epoksi basıldığında havanın kalıp içi ortamını terk edebilmesi için çıkış açılmıştır.
- Daha sonra açılan girişten kalıba vakum ortamı oluşacak şekilde epoksi basılmış ve kurumaya bırakılmıştır.
- Malzeme kurduktan sonra polimer film sökölüp sürücü koruyucu kapağı kalıptan çıkarılmıştır. Şekil 9 ve Şekil 10'da sırasıyla, üretilen



Şekil 9. Sürücü Koruyucu Kapak Üretimi



Şekil 10. Üst Kabuk Birleşimi.



Şekil 11. Hesaplamalar, Tasarım ve Analizlerden Sonra Üretilmiş Olan Solaris Aracı

sürücü koruyucu kapak ve üst kabukla birleştirilmesi görülmektedir.

Tüm bu işlemler bittikten sonra sürücü koruyucu kapağı üst gövdeye yerleştirilmiş ve üst gövde ile monokok alt gövde bağlantısı yapılarak gövdeye son şekli verilmiştir. Üretilen aracın resmi ise Şekil 11'de görülmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tasarımı ve imalatı yapılan monokok gövde TÜBİTAK 2005 Formula G yarışları ve 2006 Formula G kupasında Solaris takımının Erke isimli aracında başarı ile kullanılmıştır. Güneş arabaları için kompozit gövde imalatında bazı noktalara dikkat etmek gerekmektedir. Bunlar:

1. Karbon kompozit malzemenin iletken olması nedeni ile güneş arabalarında kullanılan sürücü kartlarının, tüm akülerin, taşıyıcı kabloların iyi bir şekilde yalıtılması büyük önem taşımaktadır. Aracın özellikle sürücü kartlarının bulunduğu bölme ile

akülerin bulunduğu bölme yalıtkan olması sebebiyle aramit (kevlar) kifinin kullanıldığı kompozit malzeme ile kaplanabilir.

2. Bu çalışmada oluşturulan dişi kalıp üzerinden alınan diyagonal ölçümlerde yaklaşık olarak 1mm'lik bir çarpılma gözlemlenmiştir. Bu da bu büyüklükteki ve bu metotla imal edilen bir kalıp için oldukça hassas bir değerdir.
3. Halen kompozit malzeme ve gövde üretiminde el işçiliğinin büyük önem taşıması nedeni ile bilgisayar modellemesi yapılan gövde tasarımı ile elde edilen son ürün arasında tolerans dışı farklılıkların olmaması için üretim aşamasında titiz bir çalışmanın önemi büyüktür.
4. Başarıyla üretilen kalıplar bir kez kullanılmakla atılmamış, Solaris II aracının üretilmesinde faydalanılması yanında, Solaris araştırma ekibi dışında bir ekibin de aynı kalıpları kullanmasına izin verilmiş, ilk üretilen cam elyaf sürücü koruyucusunun FormulaG 2006'da başka bir ekip tarafından

kullanılarak üretim verimliliğinin artması sağlanmıştır.

5. Hesaplamalar, analizler ve üretim sonucunda elde edilen teknik tecrübeler benzer çalışma yapan birçok ekiple paylaşılmış ve birçok ekibe de teknik destek verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu projenin gerçekleştirilmesinde bize tüm olanaklarını sunan, maddi ve manevi her türlü desteği veren Gövsa Kompozit A.Ş.'ye ve Tuğrul Gövsa'ya, desteklerinden dolayı Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. Ozawa H., Nishikawa S., Higashida D., Development of Aerodynamics for a Solar Race Car, JSAE Review 19,343-349,1998.
2. Hoshino, H., Uchidaa, H., Kimura, H., Takamotoa, K., Hiraokaa, K., Matsumaeb, Y., Preparation of a Nickel-metalhydride (Ni-MH) Rechargeable Battery and Its Application to a Solar Vehicle, International Journal of Hydrogen Energy 26, 873-877, 2001.
3. Kennedy, B., Patterson, D., Camilleri, S., Use of lithium-ion Batteries in Electric Vehicles, Journal of Power Sources 90, 156-162, 2000.
4. Shmizu, Y., Komatsu, Y., Torii, M., Takamuro, M., Solar Car Cruising Strategy and Its Supporting Problem, JSAE Review 19, 143-149, 1998
5. Eugene, A.A., Theodore, B., Marks' Standart Handbook for Mechanical Engineers, 10th Edition, Mc-Graw Hill, 1997.
6. www.deu.edu.tr/solaris. Solaris Takımı web sitesi.