

SHEET MOLDING COMPOUND (SMC) YÖNTEMİ İLE KOMPOZİT MALZEME TASARIMI ve ÜRETİMİ

Mahmut BİNGÖL¹, Kadir ÇAVDAR²

¹mbingol@yalova.edu.tr Yalova Üniversitesi, Yalova Meslek Yüksekokulu, Yalova

²cavdar@uludag.edu.tr Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa

ÖZET

Sheet Molding Compound (SMC) yöntemi ile polimer kompozit üretimi uzun yıllardan beri başta otomotiv olmak üzere elektrik, inşaat ve ev aletleri gibi sektörlerde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Ülkemizde SMC yöntemi ile az sayıda firma, sınırlı sayıda parça üretimi yaptığı için birçok üstün özelliklere sahip bu teknoloji ile ilgili bilgi birikimi de sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışma ile SMC teknolojisindeki son gelişmeler vurgulanmaya çalışılmış ve farklı pestiller ile hazırlanan numunelerle gerçekleştirilen bazı denemelerin sonuçları verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Sheet Molding Compound (SMC), Polimer Kompozit, Tasarım, Otomotiv.

ABSTRACT

The polymer composite productions with SMC (Sheet Molding Compound) are used for extensively in the industries such as construction, electricity, household appliances and automotive. Few companies in Turkey are produced some parts with the SMC method. Therefore, knowledge about SMC technology is limited while productions with SMC method have many outstanding features.

This study tries to emphasize recent developments in SMC technology and carried out some of the results of our experiments with samples were prepared with different prepreps.

Keywords: Sheet Molding Compound (SMC), Polymer Composites, Design, Automotive.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji, kullanılan malzemelerin sonlu olması, yenilikçi tasarımlarda geleneksel malzemelerin istenen özellikleri tam olarak karşılayamaması gibi birçok nedenlerle çok sayıda üstün özelliği bir arada barındıran kompozit malzemelere talep günden güne artmaktadır. Kaynakların sınırlı olması, enerji ve çevre sorunları ile ilgili problemlerin çözümünü daha da önemli hale getirmiştir. Güncel problemlerin çözümü ancak yeni ve üstün nitelikli malzemelerin üretimi ile mümkün olabilir.

Sürekli gelişen teknoloji sayesinde yeni ürünler tasarlanmakta, bu ürünlerin daha fazla kullanıcıya ulaşması için fiyatlar makul hale getirilmekte böylelikle daha fazla cihazın kullanımı ile enerjiye olan gereksinim doğrudan artmaktadır. Bu duruma nüfusun da sürekli artması eklendiğinde enerji tüketimi katlanarak yükselmektedir. Sonuçta, firmalar ön plana çıkıp kendi ürününü satılabilmek için tüketicinin kazançlı çıkacağı üstün özellikli ürünler sunmak zorunda kalmaktadırlar. Bir çok kaynakta

geleceğin vazgeçilmez malzemesi olan kompozit malzemelerin firmaların rekabetinde belirleyici olacağı ifade edilmektedir.

Kompozit üretim yöntemlerinden biri olan SMC iki adımda üretilir. Birinci adımda özel olarak hazırlanan, cam fiber, doymamış polyester, dolgu ve katkı maddeleri bir araya getirilip karıştırılarak pestil (prepreg) biçiminde malzemeler hazırlanır. İkinci adımda da olgunlaşması için bir süre bekletilen pestiller yüksek basınçlı ısıtmalı kalıplarda istenen şekle getirilir [1-2].

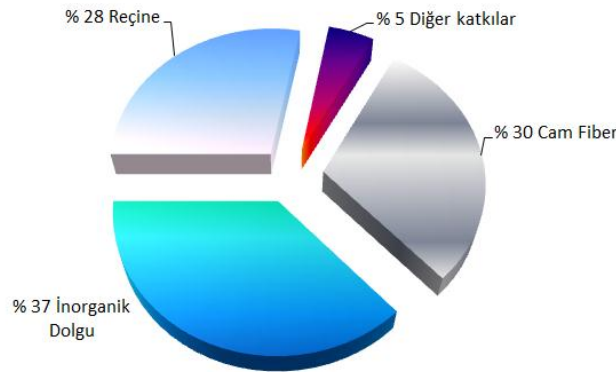
SMC üretim aşamalarını başarılı bir şekilde tamamlamak için prosesin hem kimyasal hem de mekanik olarak kontrolünün sağlanması gerekmektedir. Bu da ancak üretim süreci hakkında çok iyi bilgi birikimi olduğunda mümkündür. Örneğin üretim süreci esnasındaki hatalardan dolayı malzeme yüzeyinde yada içerisinde boşluk oluşursa bu hem yüzey kalitesini düşürecek aynı zamanda mekanik özelliklerini olumsuz etkileyecektir [3-4]. Yine matris ve fiber arasındaki etkileşimler ile fiber oranı ve homojen dağılımı düzgün sağlanamazsa mekanik özellikler ve yüzey kalitesi olumsuz etkilenecektir [4-12].

Üretim süreci uygun şekilde gerçekleştirildiğinde ise üstün nitelikli malzemeler elde edilir. Daha iyi mekanik özellikler, kısa çevrim süresi, mükemmel yüzey kalitesi, estetik, korozyon dayanımı, düşük maliyet gibi özellikler SMC ile üretimin tercih edilmesinin nedenlerinden yalnızca bir kaçıdır. Bu özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv sanayiinde saç malzeme yerine kullanımı giderek artmaktadır [3, 10-18].

Otomotiv üreticileri kısa dönemde mümkün olan en düşük maliyetle, en iyi ürünü üretmek isterler. Yakıt miktarındaki aşırı tüketim sonucu araç satan üreticilere bazı ülkelerde ek vergi sorumlulukları yüklenmiş, emisyon seviyesinin düşürülmesi ile ilgili kanunlar çıkartılmıştır. Yakıt emisyonu ve tüketimini azaltmanın birçok yolu vardır. Ancak en etkili yöntem aracın kütlelerinin azaltılmasıdır. Kütleli azaltmak için, yüksek dayanımlı çelik, alüminyum ve magnezyum alaşımları dahil bir çok metale dayanan çözümler düşünülmüştür ve uygulamaya sokulmuştur. Bu malzemelerin dışında polimer kompozit uygulamaları da farklı alternatifler sunmaktadır [18]. SMC, çeliğe göre %60 daha düşük yoğunluğa sahip olduğundan yakıt tasarrufu sağlar ve egzoz emisyonlarını düşürür [4, 17-21].

SMC ile karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıklarında çalışabilme mümkündür. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi kompleks şekiller elde edilebilmektedir ve iskarta oranı düşüktür [20,22].

Genellikle SMC hazır kalıplama yapılmadan önce pestil biçimde üretilen levhaların içinde matris malzemesi olarak polyester reçine, takviye malzemesi olarak cam fiber, inorganik dolgu malzemeleri ve katkı malzemeleri olarak katalizörler, kalıp ayırıcılar, kalınlaştırıcılar gibi bir çok malzeme belli oranlarda bulunur (Şekil 1).

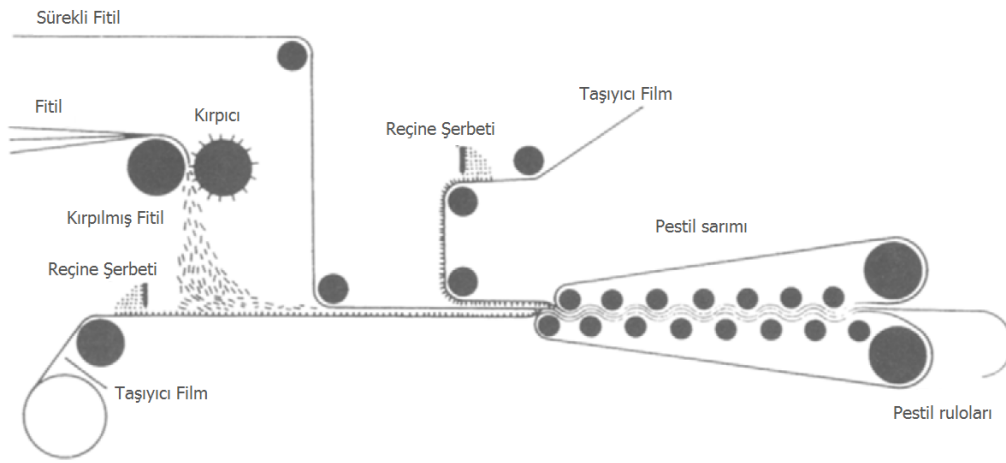


Şekil 1. Tipik bir SMC formülasyonu

2. SMC ÜRETİM SÜRECİ

2.1 SMC Pestillerinin Üretimi

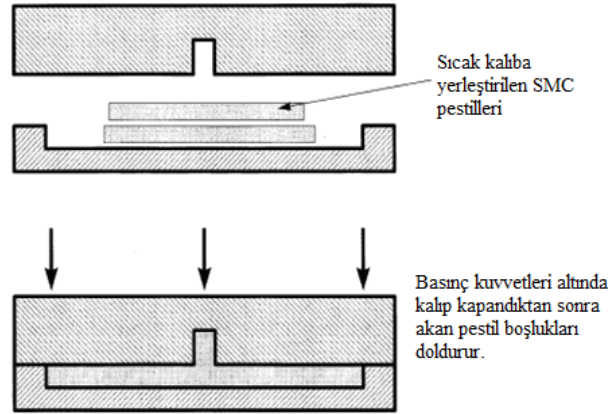
Belli oranlarda mikserlerde karıştırılan hamur şeklindeki macun Şekil 2’ de gösterildiği gibi konveyör band hattında ilerlerken üzerine cam fiber lifler kırılarak serpiştirilir ve üzerine tekrar hamur şeklindeki macun eklenir. Bu pestil biçimindeki malzeme yığını naylon veya polietilen taşıyıcı film arasına rulolar vasıtasıyla sıkıştırılır. Hazırlanan malzemenin taşıyıcı filmler arasına sıkıştırılmasının nedeni reçinenin uçuculuğunu önlemektir. Kalıplama yapılmadan önce pestilin uygun bir viskoziteye ulaşması için olgunlaşması gerekmektedir. Bunun için sıcaklık kontrollü bir ortamda pestil bir süre bekletilir [22-23]. Bazı özel uygulamalarda takviye malzemesi olarak karbon, bor lifi gibi farklı güçlendirme malzemeleri, reçine malzemesi olarak da vinil ester, epoksi gibi reçineler kullanılabilir.



Şekil 2. SMC pestil bileşiminin üretimi [1].

2.2 SMC pestillerin hazır kalıplanması

Otomotiv gibi birçok endüstri alanında orta ebatta kalıplamada kullanılan SMC üretiminde; önceden hazırlanan pestiller uygun sıcaklığa getirilmiş kalıp içerisine bırakılmadan önce üzerindeki taşıyıcı filmler sökülür ve malzeme tartılarak hidrolik presteki kalıba yerleştirilir. Şekil 3’te gösterildiği gibi yerleştirilen bu pestiller yüksek sıcaklık ve basınç altında yumuşayarak kalıp boşluğuna akar ve böylelikle istenilen şekli alır. Kalıplama sıcaklığı 120-160°C, kalıp basıncı ise 80-140 bar aralığındadır. Kalıplama süresi parça kalınlığına ve bileşimdeki katkı maddelerine göre 1-6 dakika arasında değişir. Ayrıca yüzey kalitesinin önemli olduğu parçalarda kalıp içinde kaplama yapılabilir. Bu durum kalıplama süresini değiştirmektedir. Kalıptan çıkan parçalarda gerekli görüldüğünde temizleme, delme gibi ikincil işlemler uygulanabilir.



Şekil 3. SMC ile parça üretimi [24].

SMC için matris malzemesi olarak genellikle polyester reçine kullanılmaktadır. Pestil içine katılan katkı maddeleri malzemenin performansını ve üretim sürecini etkiler. Cam fiberler, genellikle 12 mm -50 mm uzunluğunda kıyılır. Bazı uygulamalarda 50 mm'den daha uzun fiberler de kullanılır. Pestil içerisinde ağırlıkça %25-%50 arasında çeşitli miktarlarda kullanılırlar [1].

Yapılan araştırmalarda cam fiber içeriği arttıkça üretilen parçalar daha iyi mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Kalıplama yapılırken malzeme içinde kullanılan liflerin uzunlukları da parçanın mukavemetini etkilemektedir. Tablo 1'de kısa ve uzun fiberlerin malzemenin mukavemetine etkisi görülmektedir.

Tablo 1. Lif uzunluğunun mukavemete etkisi [1].

| Özellik | SMC R25 | SMCR50 | Çelik SAE 1008 |
|-----------------------|----------|-----------|----------------|
| Çekme dayanımı (MPa) | 65-90 | 124-204 | 330,7 |
| Çekme modülü (GPa) | 10-12,5 | 12,2-19,1 | 206,7 |
| Eğilme dayanımı (MPa) | 155-200 | 248-380 | |
| Eğilme modülü (GPa) | 8,5-14,0 | 11,6-16,4 | |
| Çentikli İZOD J/sn | 500-1000 | 725-1360 | |
| Özgül ağırlık | 1,8-2,0 | 1,85-2,15 | 7,86 |

3. SMC' NİN SINIFLANDIRILMASI

3.1. SMC tiplerine göre

SMC yönteminde malzeme içerisine katılan cam fiber oranının yanısıra bu liflerin üretilen parça içerisindeki dağılımlarının da parçanın mukavemetine etkisi çok fazladır. Pestil içerisinde kullanılan reçine ve takviye malzemelerine göre çeşitli SMC tipleri tanımlamak mümkündür. Literatürde mevcut ürünleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

SMC-R: Minimum 12 mm uzunluğunda istenilen boylarda kırılan fiberler malzeme içerisinde rastgele olarak dağılım göstermektedir. Çeşitli kesitlerdeki parçaların kalıplanmasına uygun olan bu yöntemde son ürünün özellikleri tüm yönlerde aynıdır. Kalıp içerisindeki akış yönü ve mesafesine bağlı olarak özelliklerinde farklılıklar görülebilir. Pestil içerisindeki ağırlıkça yüzde oranı R harfinden sonra yazılır (Örneğin SMC-R25, ağırlıkça %25 fiber oranı).

SMC-C: Malzeme içerisinde sürekli cam elyafı tek yönlü bir yönelimle dizilmiştir. Elyaf yönünde iyi mekanik özelliklere sahipken diğer yöndeki özellikleri daha düşüktür. Presleme esnasında ise akışkanlığı daha düşüktür.

SMC-C-R: Daha mukavemetli malzemelerin üretilmesi için rasgele ve sürekli elyaflar bir araya getirilerek elde edilir. Bu yöntemde de malzemenin mekanik özellikleri sürekli elyaf yönünde daha fazladır. Malzeme içerisindeki elyaf oranları ağırlıkça yüzde olarak birlikte yazılır (C20R20 gibi).

SMC-X: Çapraz yöndeki X şeklinde sürekli liflerin ve rastgele liflerin mukavemeti artırmak için bir araya gelmesi ile üretilir.

SMC-D: Bu yöntemde ise tek yönlü ama sürekli olmayan 100 mm veya daha fazla uzunluktaki lifler kullanılmaktadır. Geniş bir biçimde dağıtılan lifler elyaf yönünde daha iyi bir akış sağlar ama SMC-C'ye göre mukavemet biraz azalabilir.

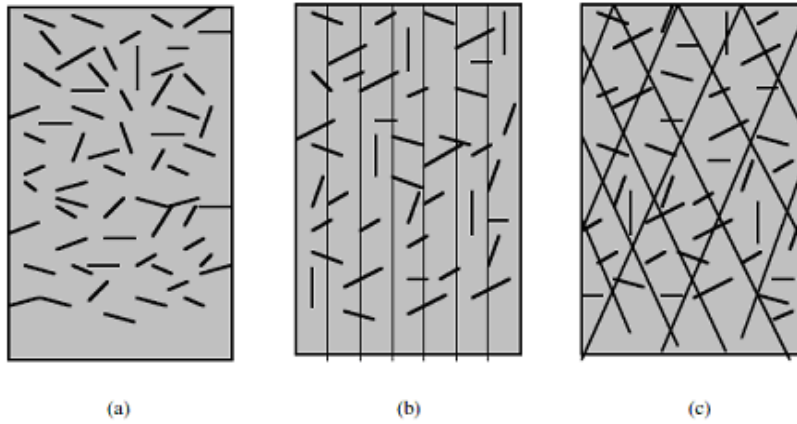
Yukarıda bahsedilen yöntemler çeşitli kombinasyonlarda bir araya getirilebilir. Örneğin SMC-D ile SMC-R bir araya getirilerek SMC-D-C yapılabilir. Bu yöntemlerin bazıları Şekil 4'te gösterilmiştir [1, 22, 25].

Çeşitli SMC tipleri ile üretilen parçaların mekanik özellikleri de farklılık göstermektedir. Tablo 2'de verilen karşılaştırmalı değerlerde bu durum açıkça görülmektedir.

3.2. SMC' de kullanılan fiberlere göre

3.2.1. Cam fiber SMC GF-SMC

Takviye malzemesi olarak genellikle cam fiberler kullanılır. Matris malzemesi olarak ise daha ekonomik olduğu için doymamış polyeester reçine kullanılır.



Şekil 4. Yaygın biçimde kullanılan SMC tipleri a) SMC-R, b) SMC C-R, c) SMC X

Tablo 2. Çeşitli SMC tiplerinin bazı mekanik özellikleri [25].

| Özellik | SMC-R25 | SMC-R65 | SMC-C20R30 | SMC-X31 |
|-----------------|---------|---------|------------------|-------------------|
| Özgül ağırlık | 1.83 | 1.82 | 1.81 | 1.97 |
| Çekme Modülü | 13.2 | 14.8 | 21(B) 12(E) | 36 (B) 12 (E) |
| Çekme Dayanımı | 82.4 | 227 | 289(B) 84(E) | 561 (B) 70 (E) |
| Poission oranı | 0.25 | 0.26 | 0.3 (B) 0.18 (E) | 0.31 (B) 0.12 (E) |
| Basma modülü | 11.7 | 17.9 | 20 (B) 12 (E) | 37 (B) 14 (E) |
| Basma dayanımı | 183 | 241 | 306 (B) 166 (E) | 480 (B) 160 (E) |
| Eğilme dayanımı | 220 | 403 | 640 (B) 160 (E) | 970 (B) 140 (E) |

(E:Enine , B:Boyuna)

3.2.2. Karbon fiber SMC CF-SMC

Vinil ester veya epoksi reçineli, karbon fiberli SMC uygulamaları oldukça yenidir. Yüksek mukavemet ve hafifliğin istendiği yerlerde karbon fiberle güçlendirilmiş kompozit malzemeler metal malzemelerin yerini almaya devam etmektedir [15]. Karbon fiber E-cam fiberden 3 kat daha mukavemetli ve %20 daha hafiftir. Pahalı bir malzeme olduğu için yarış araçları, rüzgar türbinleri, uzay araçları gibi senelik üretimi (1000/yıl) olan özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Araç ağırlığını azaltarak yakıt tasarrufu sağlasa bile halen daha otomotiv endüstrisi için çok pahalıdır. Palmer vd. karbon fiber SMC için geri dönüşümden elde ettikleri karbon parçacıkları SMC üretiminde parça içine katarak fiyatı düşürmeye çalışsa bile çok fazla başarı elde edememişlerdir [17]. Talebin artması neticesinde fiyatın daha fazla düşmesi beklentisi vardır [17, 23, 26, 32].

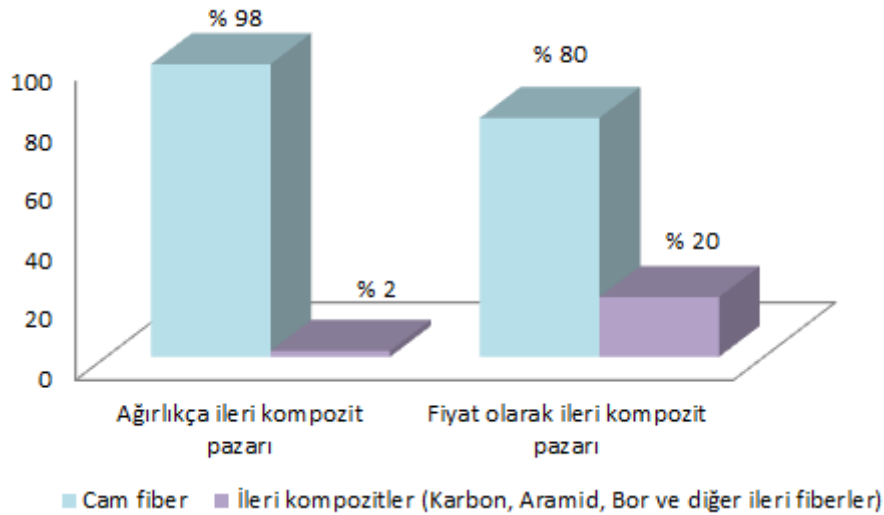
3.2.3. Doğal lif takviyeli SMC NF-SMC

Keten, jute, kenevir gibi doğal liflerle SMC üretim denemeleri yapılmıştır. Cam fiberlere göre düşük yoğunluk ve düşük ekipman aşınması gibi birkaç avantajı vardır. Voorn vd. 2001'de yaptıkları çalışmada kısa keten lifleri kullanarak SMC parça üretmiş, cam fiber SMC'ye yakın mekanik değerler elde etmişlerdir [2]. Doğal fiberlerin sürekli elde edilememesi seri üretim süreçlerinde bir dezavantajdır.

3.2.4. Bor, aramid lif takviyeli SMC

Bu liflerin SMC'de pek fazla uygulaması yoktur.

SMC'de ileri kompozit lif malzemelerin ağırlıkça kullanım oranı %2 gibi düşük bir değerde iken maliyet olarak bakıldığında bu küçük oran toplam maliyetin %20'sini oluşturmaktadır. Şekil 5'te bu durum grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Cam fiber ve ileri kompozitlerin kıyaslanması [27].

4. SMC' NİN DİĞER ÖZELLİKLERİ

4.1. SMC'nin Maliyeti

Otomotiv gibi birçok sektörde maliyet çok önemlidir. Rekabetin ve alternatiflerin sürekli arttığı günümüzde firmaların devamlılığını sürdürülebilmeleri daha uygun fiyatlı ürün üretmeleri ile mümkündür. Tablo 3'te malzemelerin kg olarak maliyetleri verilmiştir. Tabloya göre SMC ile üretilen malzemelerin kg olarak fiyatları yüksek görünse bile parça adeti olarak düşünüldüğünde daha ucuz olabilmektedir. Örneğin bir araba tamponunu ele alırsak; SMC ile üretilen tampon için kütle olarak metale göre neredeyse 1/5 oranında malzeme kullanılacaktır. Yani sacdan üretilen bir çelik tampon için harcanan malzeme kg olarak düşünüldüğünde 5 SMC tampona eşit olabilmektedir. Ayrıca ekipman ve son işlem maliyetleri de hesaba katıldığında SMC ile üretilen parçalar çok daha ucuza mal olabilmektedir. Şekil 6.'da bazı malzemelerle SMC arasındaki ağırlık farkı grafik olarak verilmiştir.

Tablo 3. Tipik malzeme maliyetleri [28].

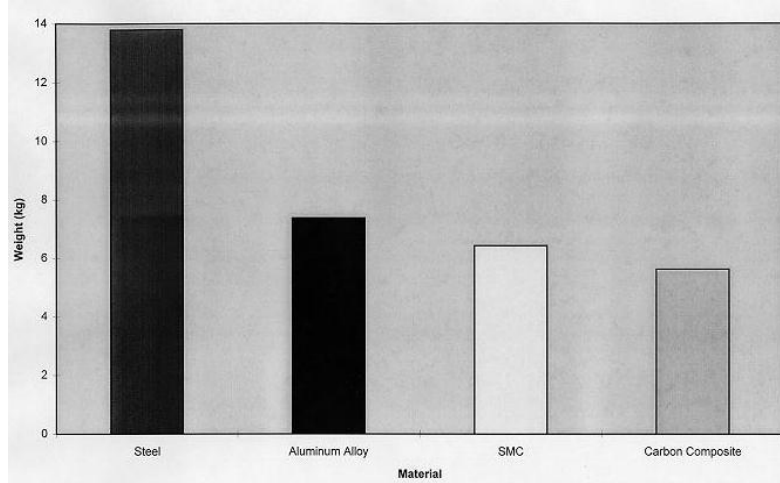
| Malzeme | Kg başına maliyet (£) | Yoğunluk (kg/m ³) |
|--------------|-----------------------|-------------------------------|
| Çelik | 0,3-0,5 | 7800 |
| Alüminyum | 0,6-1,1 | 2600 |
| SMC | 1,20-1,60 | 1200-1800 |
| GMT | 2,6-3,2 | 1200-1400 |
| RTM kompozit | 2,2-4,00 | 1200-1600 |

4.2 SMC üretim yönteminin avantajları

SMC yöntemi ile üretilen parçalar çelik, alüminyum gibi diğer malzemelere göre maliyet/performans açısından avantajlı olabilmektedir. Kompleks parçaların tek aşamada üretilebilmesi, hafif ve dayanımı yüksek parçalar elde edilebilmesi, metal kalıplamanın aksine tek bir ekipmanla üretimin gerçekleştirilmesi üstün özelliklerinden yalnızca bir kaçıdır. Yine kompleks parçaların yapılabilmesine imkan tanınması hem tasarımcıya esneklik kazandırmakta hem de tek aşamada üretime izin vererek, zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Tüm bu üstün özellikleri özellikle otomotiv sektöründe SMC' yi cazip kılmaktadır. Aşağıda bu üstün özellikler özetlenmiştir:

- Üretim esnasında kısa çevrim süresi
- Kompleks parçalar için tasarım esnekliği
- Yüksek kalitede yüzey kalitesi ve estetik görünüm
- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda mükemmel mekanik özellikler
- Çeliğe göre düşük termal iletim katsayısı
- Tam ve stabil boyutlar
- Düşük ağırlık
- Kimyasal dayanım
- Uygun kullanım süresi
- Montajlarda parça sayısını azaltması ve kalıplama esnasında vida gibi parçaların yerleştirilmesi sayesinde düşük maliyet sağlanması
- Alev geciktirici, düşük duman emisyonlu, halojensiz formülasyon

- Alüminyum ve çeliğe göre üstün ses sönümleme, Tablo 4.
- Tamamen radyo sinyallerini geçirebilme
- Düşük sistem maliyetleri ve metale göre üretimde daha kısa tasarım zamanı
- Son kullanıcı isteklerine göre formül uyarlayabilme [3, 10-17, 22-23].



Şekil 6. SMC ve diğer malzemelerle üretilen parçaların ağırlıklarının karşılaştırılması [29].

Tablo 4. Çeşitli malzemelerin ses sönümlemesi [23].

| Malzeme | Kayıp Faktörü |
|-----------|---------------|
| Çelik | $2 * 10^{-5}$ |
| Alüminyum | $7 * 10^{-5}$ |
| SMC | 0.40 |
| Polyamide | 0.16 |

4.3 SMC üretim yönteminin dezavantajları

SMC yönteminde kalıplama bileşimlerinin (pestillerin) buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olması yöntemin dezavantajlarından bazılarıdır [30]. Her ne kadar SMC üretim ve kalıplaması için gereken ilk yatırım maliyetleri metallerle karşılaştırıldığında daha düşük olsa da diğer kompozit proseslerine göre daha yüksektir. Bu yüzden yatırım yapılırken; üretim hacmi, son ürünün ikincil işlemleri gibi maliyetler de dikkate alınmalıdır. Bunun için yatırım riskleri SMC için yüksektir. SMC geleneksel malzemelerin yerini aldığı için rakip malzemelerin performans ve ekonomik analizlerinin de iyi yapılması önemlidir [22].

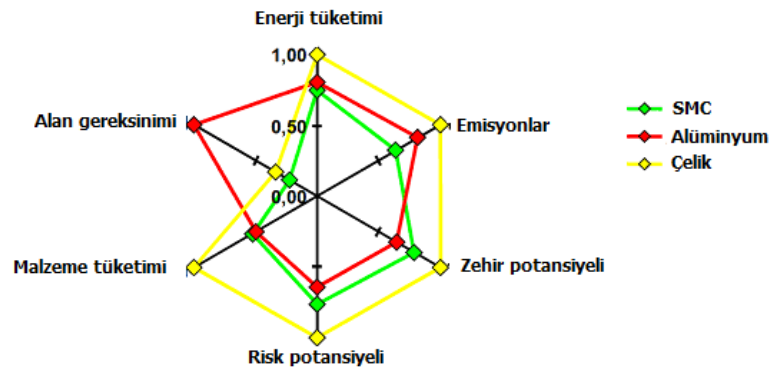
Tablo 5'te SMC ile bazı malzemelerin çeşitli kriterlere göre karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 5. SMC ile bazı malzemelerin karşılaştırılması [23]

| Malzeme | Çelik | Al-Mg | Termoplastik | SMC/BMC |
|-------------------------|-------|-------|--------------|---------|
| Parça birleştirme | --- | 0 | +++ | +++ |
| Uyarlama | --- | --- | + | +++ |
| Korozyon dayanımı | --- | --- | ++ | +++ |
| Hafif tasarım | --- | +++ | ++ | +++ |
| Yangına dayanıklılık | +++ | ++ | --- | +++ |
| Özgül esnemezlik | -- | + | -- | +++ |
| Su emme | +++ | +++ | --- | + |
| Doğrudan boyanabilirlik | +++ | +++ | -- | +++ |
| Isıya dayanım | +++ | ++ | --- | ++ |
| Kütle renklendirme | --- | --- | +++ | +++ |
| Geri dönüşüm | ++ | ++ | + | + |
| Eko verimlilik* | -- | --- | 0 | ++ |

Pozitif : +++ , Negatif : --- , Nötr: 0

*Örnek bir SMC bagaj kapağının ekolojik olarak incelenmesi ise Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. SMC bagaj kapağının ekolojik olarak incelenmesi [23].

5. SMC YÖNTEMİ UYGULAMALARI

1960 yılından beri uygulanan SMC yönteminin ilk zamanlarında parça kalitesi uygulayan kişinin ustalığına ve tecrübesine çok bağlı iken artık üretim endüstrileşerek otomatik makineli üretim süreçlerine bırakmıştır. SMC, otomotivde; otomobil, otobüs, kamyon, ticari ve tarımsal araçlarda, toplu taşıma araçlarında; trenler, tramvaylar, hafif demiryolu, tek raylı demiryolu, elektrik ve elektronikte; pano kapakları vs., bina ve yapılarda; inşaat mühendisliği ve demirbaş ev eşyalarında, banyo yüzeylerinde ve duş tekneleri, lavabo gibi hijyenik yüzeylerde uygulanmaktadır. Aynı zamanda endüstriyel uygulamalarda, su tank panelleri, yıkama havuzları gibi birçok farklı alanda da kullanılmaktadır.

5.1 Otomotivde SMC uygulamaları

Otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılan SMC yöntemi ile üretilen radyatör panelleri ilk örneklerdendir. A sınıfı otomobil ve kamyon gövde panellerinde kullanımı ise gittikçe yaygınlaşmaya başlamıştır. SMC otomotivde metallerle mümkün olmayan birleşme ve kompleks geometrilere esnek tasarım, birçok metal parça yerine tek SMC parça kullanma, çelik malzemelerin görünümde A sınıf yüzey kalitesi, çelik ve alüminyumla karşılaştırılabilir lineer termal genişleme katsayısı, termal

muamelelerde boyama sonrası tutma özelliği, alüminyumdan büyük ölçüde daha iyi mükemmel ses sönümlenme özellikleri, çarpma performansı, yüksek ısı dayanımı ve elektrik yalıtımı (far yansıtıcıları gibi yerlerde), gibi birçok üstün özelliklerinden dolayı tercih edilir [23]. Şekil 8'de bazı uygulamalar verilmiştir.



Şekil 8. Otomotivde uygulanan çeşitli SMC uygulamaları. Soldaki parça A sınıfı rüzgarlık, sağdaki parça kamyon ön paneli [23].

General Motors'un bazı modellerinde, %60 cam fiber ve vinil ester SMC ile üretilmiş ön ve arka tampon hem iyi darbe dayanımı verirken hem de çok sayıda parça azaldığı için montaj zamanı 33,7 dakikadan 14,5 dakikaya inmiştir.

Chrysler araç gövde panellerinin ağırlığını azaltarak yakıt ekonomisi sağlanabileceğini önermektedir. Araç tasarımlarında amaç kolay montajla üretim yapabilmektir. SMC, arka kapaklarda (station araçlarda) ve koltuk başlıkları gibi parçalarda çeliğe karşı potansiyel maliyet tasarrufu sunar. Ayrıca ağırlık azaltma, tasarım serbestliği, ileri akustik davranışlar gibi ek faydaları vardır. Kuzey Amerika'da üretim ve pazarlama gereksinimleri cam ile güçlendirilmiş kompozit kullanımına yönelmektedir [1].

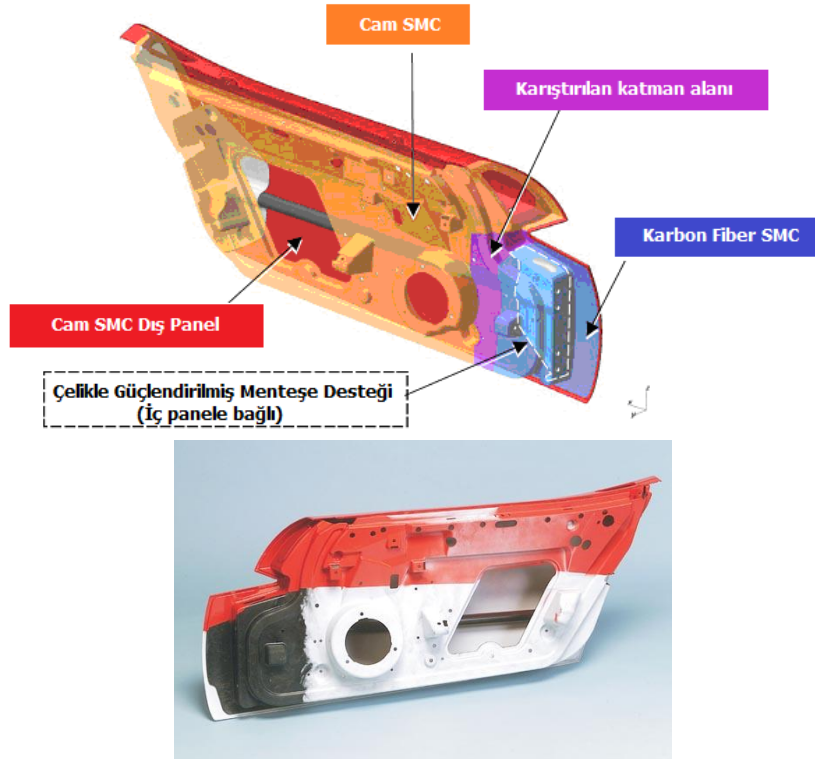
Sıcak motor yağına maruz kalan karter, subab kapağı, motor alt kapaklarında kullanılan SMC parçalar yüksek sıcaklık ve kimyasal dayanıma ayrıca motorun sessiz çalışması için ses sönümlenme özelliğine sahiptir (Şekil 9).



Şekil 9. SMC'nin motor parçalarına uygulanması. Soldaki ve ortadaki supap kapağı, sağdaki karter

Karbon fiber SMC (CF-SMC) ile üretilen araç parçalarında belirgin biçimde eğilme ve çekme mukavemeti artar. Daha yüksek dayanıma sahip parçalarda %38'e kadar kalınlık azalır böylelikle önemli ölçüde ağırlık azaltılmış olur. Standart SMC parça yerine CF-SMC kullanımı ile %55 ağırlık azaltılmış olur.

Maliyeti düşürüp daha sağlam malzeme üretebilmek için GF-SMC ve CF-SMC'lerin birleştirilerek yapıldığı özel uygulamalarda vardır. Şekil 10'da gösterilen kapı içi tasarımında %20 karbon fiber SMC ve %80 cam fiber SMC kullanılarak cam fiber SMC'ye göre mekanik özellikler artırılırken karbon fiber SMC'ye göre maliyet düşürülmüştür [31].



Şekil 10. GF-SMC ve CF-SMC'nin hibrid olarak uygulanması. 2003 Dodge Viper Kapı [31].

5.2 Toplu taşıma araçlarında uygulamalar

SMC parçalar tren ve hafif raylı taşıtlarda koltuk dış kaplaması, kol dayaması, pencere çerçeveleri, kapı panelleri, kıvılcımlardan korumak için elektrik yalıtım malzemesi, bölme panelleri gibi yerlerde kullanılan çok yönlü malzemelerdir. Şekil 11'de örnek bir uygulama görülmektedir.

5.3 Elektrik uygulamaları

Bu alanda SMC ile üretilen malzemelerde ideal ısı, kimyasal ve korozyon dayanımının yanı sıra elektrik yalıtımı ve mekanik dayanım sağlanır. SMC ile elektrik pano kapakları, plakalar ve şalterler üretmek mümkündür [23].

5.4 Bina ve yapı uygulamaları

Telekomünikasyon, gaz ve elektrik kabinleri için iyi elektrik yalıtımı, su tankları gibi yerlerde iyi mekanik ve korozyon dayanımı sunar. Şekil 12'de bu uygulamaların bazıları gösterilmiştir.



Şekil 11. Yangın geciktirici ve düşük duman özelliğine sahip SMC tren koltukları [23].



Şekil 12. SMC için bazı yapı uygulamaları. Üstte SMC su tank panelleri, altta solda uydu anteni, ortada çöp kovası, sağda şehir şebekesi ızgarası [23].

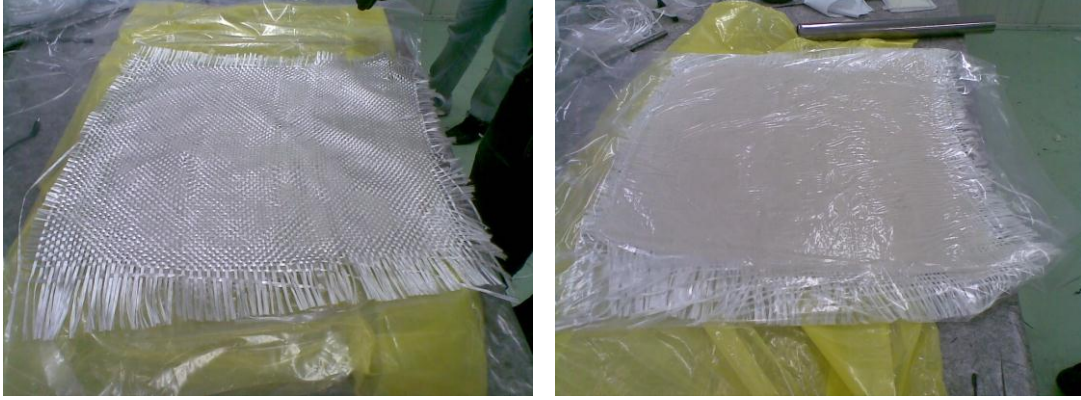
5.5 Gelecekte SMC

Otomotivde araç kütlesini azaltarak, yakıt tasarrufu ve düşük gaz emisyonu sağlamak artık araç üreticilerinin en önemli amaçlarından biri olmuştur. Yapı sektörü gibi diğer sektörlerde de daha mukavemetli ve dış ortam şartlarına dayanıklı malzemeler üretebilmek de bu yöndeki taleplerin bir sonucu haline gelmiştir. Bu durum şu andaki malzeme teknolojisine göre karbon fiber SMC ile mümkün gözükmemektedir. Karbon fiber SMC (CF-SMC) A sınıfı olmayan yapısal otomotiv parçalarında artan bir şekilde kullanılmaya başlanacaktır. Yeni gelişmeler neticesinde vinil ester reçine kullanımı ile CF-SMC mükemmel kalıplanabilirlik, ağırlık azaltma ve yüksek mekanik özellikler içermektedir. Üniform fiber dağılımı, iyi akış özelliklerine sahiptir. Kür zamanı ve pres kapama hızı standart SMC ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Ağırlıkça %50 karbon fiber içeren CF-SMC cam fiber ile takviye edilmiş SMC' den %20 daha hafif, 3 kez daha rijittir. Her ne kadar şu an kullanılan reçine ve karbon fiberler pahalı olsa da gelecekte bu hammaddelerin fiyatı azaldıkça, başta otomotiv olmak üzere bir çok endüstriyel sektörde CF-SMC' nin vazgeçilmez bir malzeme ve üretim yöntemi olması beklenmektedir. Rijitlik, düşük yoğunluk ve tasarım serbestliği SMC'yi otomotivin yanı sıra spor ekipmanları, tıp, makine yapıları gibi uygulamalarda ön plana çıkarmaktadır. Karbon fiberin en

büyük dezavantajı ise üretim prosesindeki zorluklar ve fiyatı olarak görülmektedir. Gelecekte bu malzemenin artan talepler doğrultusunda ucuzlaması beklenmektedir. Fiyat düşüşü sağlanabilirse doğal olarak karbon fiberle SMC üretiminin katlanarak artması mümkün olacaktır.

6. SMC YÖNTEMİ İLE FARKLI TASARIM VE ÜRETİMLER

SMC yöntemi ile üretimde genellikle fiberler rasgele olarak reçine içerisine dağıtılır. Bu çalışmada dokuma gibi farklı pestil kombinasyonları tasarlanarak üretim gerçekleştirilmiştir. Şekil 13'te bu çalışma görülmektedir.



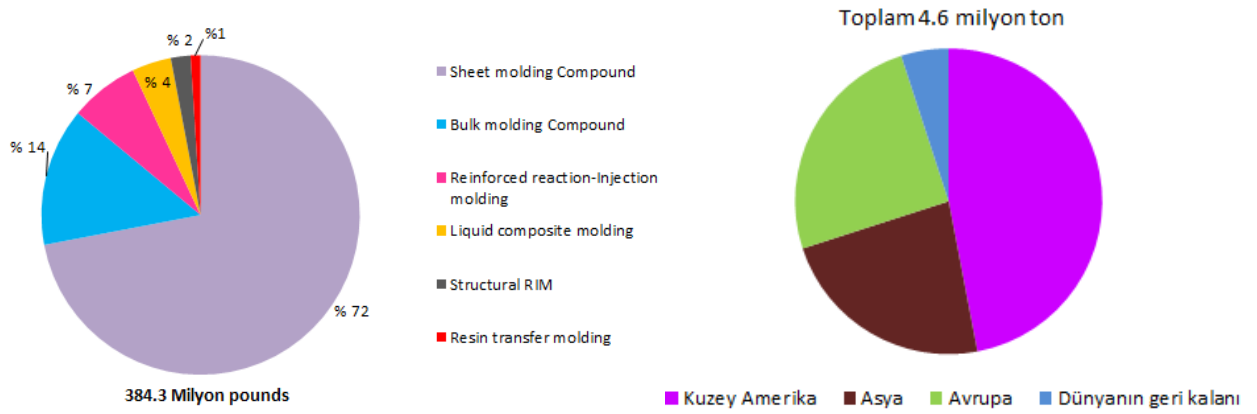
Şekil 13. Farklı pestil tasarımları (dokuma pestil)

Rastgele fiberlerle üretilmiş pestilin şartları kullanılarak aynı sıcaklık ve basınçta pestil preste basılarak levha şeklinde plakalar üretilmiştir. Daha sonra bu levhalar uygun boyutlarda kesilerek mekanik deneylere tabi tutulmuş neticede standart olarak rastgele fiberlerle üretilen SMC parçalardan yaklaşık %50 daha iyi mekanik sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında otomotiv sektöründe parça üretiminde kullanılan St37 çeliğinin yerine kullanılabilen SMC malzemenin üretimi hedeflenmektedir. Bunun için karbon lifi gibi yüksek mukavemete sahip liflerin kullanımı da tasarlanmaktadır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

SMC üretim yönteminin uygulama potansiyeli endüstriyel olarak sürekli artmaktadır. Özellikle hafiflik ve dayanım isteyen elektrikli ve hava araçları gibi teknolojik uygulamalar arttıkça kompozit malzemelere ve dolayısıyla SMC yöntemine olan yönelimin gittikçe yükseleceği açıktır. Otomotiv kompozit pazarının 2014 yılına kadar Kuzey Amerika'da 1581,1 milyon dolara, Avrupa'da ise 1824,9 milyon dolara ulaşması beklenmektedir [33]. SMC üstün özellikleri ve geleneksel malzemelere göre tasarım imkanları, maliyet/performans etkisi nedeniyle ürün pazarında ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle halen mevcut pazardan gittikçe daha fazla pay almaya devam edecektir (Şekil 14).



Şekil 14. Kuzey Amerika'daki Otomotiv Kompozit Pazarı 2002 yılı [27].

İleri kompozit malzemelerin üretiminin gelişimine paralel olarak, SMC yönteminde de daha gelişmiş liflerin kullanımı kaçınılmazdır. Karbon lifinin çok pahalı olmasına rağmen, karbon liflerle özel SMC uygulamalarının gelişeceği, bunun için de bu alanda bilimsel çalışmalara hız verilmesinin gerekliliği görülmektedir. Normal uygulamalarda da isteklerin gelişmesi ile geleneksel lifler ile SMC uygulamalarında yeni araştırma alanları ortaya çıkabilir. Gelecekte daha geniş alanlarda uygulama bulacağı tahmin edilen SMC yöntemi üzerinde bilimsel araştırmaların yapılmasının gerekliliği açıktır. Yaptığımız çalışmanın bu alandaki ülkemiz bilgi birikimine katkı sağlayacağını düşünüyoruz.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, "Farklı yöntemlerle üretilen kompozit malzemelerin mekanik karakteristiklerinin tespiti ve seri üretim otomotiv parçalarına uygulanması" başlık ve 01019.STZ.2011-1 kodlu projeyi finansal olarak destekleyen Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve MARTUR Sünger ve Koltuk Tesisleri Tic. Ve San A.Ş.'ye teşekkür ederler.

8. KAYNAKÇA

- [1] ROSATO. D., ROSATO. D., **Reinforced Plastics Handbook**, Elsevier Science & Technology Books, (2004).
- [2] VOORN, B. V., SMIT, H.H.G., SINKE, R.J., KLERK B. D., Natural Fibre Reinforced Sheet Molding Compound, **Composites, Part A** 32 1271-1279, (2001).
- [3] MERLE, G., ALLEMAND, J., CAMINO, G., LUDA, M. P., REVELLINO, M., BLANCON, R., MORPHOLOGY analysis of microvoids in SMC: ageing effects, **Composites, Part A** 29A 1535-1543, (1998).
- [4] LE, T.-H., DUMONT, P.J.J., ORGE'AS, L., FAVIER, D., SALVO, L., BOLLER, E., X-ray phase contrast microtomography for the analysis of the fibrous microstructure of SMC composites, **Composites, Part A** 39 91-103, (2008).
- [5] TAKETA, I., OKABE, T., MATSUTANI H., KITANO, A., Flowability of unidirectionally arrayed chopped strands in compression molding, **Composites, Part B** 42 1764-1769, (2011).

- [6] FEUILLADE, V., BERGERET, A., QUANTİN, A. CRESPIY, J.-C., Relationships between the glass fibre sizing composition and the surface quality of sheet moulding compounds (SMC) body panels, **Composites Science and Technology**, 66 115–127, (2006).
- [7] CAPRINO, G., SANTO, L., Interpretation of size effect in orthogonal machining of composite materials. Part II. Sheet moulding compound, **Composites, Part A** 29A 893–897, (1998).
- [8] CORRE, S. L., ORGE´AS, L., FAVIER, D., TOURABI, A., MAAZOUZ, A., VENET, C., Shear and compression behaviour of sheet moulding compounds, **Composites Science and Technology**, 62 571–577, (2002).
- [9] JENDLI, Z., MERAGHNI, F., FITOUSSI, J., BAPTISTE, D., Micromechanical analysis of strain rate effect on damage evolution in sheet molding compound composites, **Composites, Part A** 35 779–785, (2004).
- [10] KIM, S-Y., IM, Y-T., Three-dimensional Finite-element Analysis of Compression Molding of Sheet Molding Compound, **Journal of Materials Processing Technology**, 67 207-213 (1997).
- [11] KIM, S-Y., IM, Y-T., Three-dimensional thermo-viscoplastic analysis of compression molding of sheet molding compounds with fiber volume fraction prediction, *Journal of Materials Processing Technology*, 63 631-636, (1997).
- [12] -KIM, M-S., LEE, W-I., HAN, W-S., VAUTRIN, A., Optimisation of location and dimension of SMC precharge in compression moulding process, **Computers and Structures**, 89 1523–1534, (2011).
- [13] TATARA, R.A., Chapter 17: Compression Molding, Edited:Kutz M. **Applied Plastics Engineering Handbook**, Processing and Materials, USA. (2011).
- [14] ABRAMS, L. M., CASTRO, J. M., Predicting Molding Forces During Sheet Molding Compound (SMC) Compression Molding. I: Model Development, **Polymer Composites**, June Vol. 24, No. 3, (2003).
- [15] PICKERING, S.J., Recycling technologies for thermoset composite materials-current status, **Composites, Part A** 37 1206–1215, (2006).
- [16] MARISSIN, R., LINSIN, J., Variability of the flexural strength of sheet moulding compounds **Composites Science and Technology**, 59 2093-2100, (1999).
- [17] PALMER, J., SAVAGE, L., GHITA, O.R., EVANS, K.E., Sheet moulding compound (SMC) from carbon fibre recycle, **Composites, Part A** 41 1232–1237, (2010).
- [18] AKERMO, M., ASTROM, B.T., Modelling component cost in compression moulding of thermoplastic composite and sandwich components, **Composites, Part A** 31 319–333, (2000).
- [19] LINDSTRÖM, A., HALLSTROM, S., Energy absorption of SMC/balsa sandwich panels with geometrical triggering features, **Composite Structures**, 92 2676–2684, (2010).
- [20] MASSARDIER-NAGEOTTE, V., CARA, F., MAAZOUZ, A., SEYTRE, G., Prediction of the curing behavior for unsaturated polyester–styrene systems used for monitoring sheet moulding compounds (SMC) process, **Composites Science and Technology**, 64 1855–1862, (2004).

- [21] HOSSEINZADEH, R., SHOKRIEH, M. M., LESSARD, L. B., Parametric study of automotive composite bumper beams subjected to low-velocity impacts, **Composite Structures**, 68 419–427, (2005).
- [22] CTP teknolojisi kitapçığı by Cam elyaf sanayi A.Ş.
- [23] European Alliance for SMC/BMC, Design for success, A design and technology manuel for SMC/ BMC.
- [24] BADER. M. G., Selection of composite materials and manufacturing routes for costeffective performance, **Composites, Part A** 33. 913–934, (2002).
- [25] MAZUMDAR, K.S., **Composites Manufacturing, Materials, Product and Prosess Engineering**. USA, (2002).
- [26] BIRRELL, M., Hybrid Thermoplastik Composite (HTPC) for Horizontal Automotive Panels, **SPE Automotive Composite Conference & Exhibition**, (2008).
- [27] SKINNER, M.L., The Economics of Composites focusing on Filament Winding & Pultrusion President, Skinner Creative, Inc,
- [28] TUCKER, N., AND LINDSEY, K., **An Introduction to Automotive Composites** UK, (2002).
- [29] <http://www.eng.hawaii.edu/~nejhad/BUMPER/Table2.jpg> (Erişim tarihi: 06.05.2011).
- [30] YILDIZHAN, H., Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2008).
- [31] BRUDERICK, M., DENTON, D., SHINEDLING, M., Carbon Fiber Composite Body Structures For The 2003 Dodge Viper, DaimlerChrysler Corporation and Michael Kiesel, Quantum Composites Inc.
- [32] Carbon Fiber, **The Composite of The Future**, İ-car advantage online, (2005).
- [33] http://www.lucintel.com/press_NA_Auto_Composites.aspx (Erişim tarihi: 12.05.2012)