

Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı

Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR^{1*}, Sevda BORAN²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 61080, Trabzon, TÜRKİYE

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Ağaçşifleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61830, Trabzon, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar: e-posta: adonmez@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.02.2016

Özet

Günümüzde otomotiv sanayi yakıt maliyetlerinin düşürülmesi ve CO₂ emisyonlarının azaltılması konusunda her geçen gün artan çevresel baskılar ve şirket politikaları ile karşı karşıyadır. Bu tür baskılar kompozit malzemenin var olan çelik ve alüminyum gibi malzemelerin yerine kullanılmasını ön plana çıkartmaktadır. Geleceğin otomobillerini şekillendirecek olan tek malzeme plastik olarak kabul edilmektedir. Bir araçta ortalama plastik kullanımı gelişmiş ülkelerde 120 kg iken, dünya genelinde 105 kg olup bu aracın toplam ağırlığının %10-12'sini teşkil etmektedir. Mühendislik ve ticari plastiklerin kullanımının artmasıyla petrol bazlı yakıtta olan bağımlılık da azalmaktadır. Diğer tüm faktörler eşit olduğunda, bu durum ortalama bir otomobilin yakıt tüketimini 150,000 kilometrelik ömürde 750 litre oranında azaltmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre tüketimdeki bu azalma, Batı Avrupa'da petrol tüketimini yılda 12 milyon ton ve CO₂ emisyonunu ise yılda 30 milyon ton azaltacaktır. Kurumsal ortalama yakıt ekonomisi (CAFE) tahminlerine göre ise bir arabanın ağırlığının %10 oranında azaltılması ile yakıt tüketiminde yaklaşık %6-8 oranında tasarruf sağlanmaktadır.

Son yıllarda plastik esaslı kompozit malzemelerin üretiminde doğal lifler; düşük maliyet, düşük yoğunluk, yüksek spesifik direnç ve elastikiyet modülü, kolay yüzey modifikasyonu, kolay temin edilebilmesi, yenilenebilir ve biyo-bozunabilir olmalarından dolayı glass fiber ve karbon lifleri yerine güçlendirici madde olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yazıda doğal liflerin otomotiv sanayii açısından uygunluğu ve uygulama alanları irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal lif, Kompozit, Polimer, Otomobil sanayi

A review on the Uses of Natural Fibers in Automotive Industry

Abstract

Nowadays, automotive industry is facing company policies and environmental pressures to reduce increasing fuel cost and CO₂ emission with each passing day. These pressures bring into prominence to use composite materials instead of steel and aluminum etc. The unique material which meets these demands and shapes for future cars is agreed as plastic. The average plastic usage in a car is about 105 kg in the world while 120 kg in the developed countries, which means about 10-12% of total weight of the car. The dependence on petroleum-based fuel also decreases with increasing the use of engineering and commercial plastics. This situation reduces the fuel consumption of 750 liters of an average car having a 150,000 kilometers life when all other factors are equal. Based on this calculation, this reduction in the fuel consumption decreases 12 million tons of petroleum consumption and 30 million tons of CO₂ emissions per year in Western Europe. According to the estimates of Corporate Average Fuel Economy (CAFE), it is obtained about 6-8 % of fuel saving in fuel consumption with decreasing 10% of a car weight.

In recent years, because of properties such as low cost, low density, high specific resistance and the modulus of elasticity, easily surface modification, easily available, renewable and biodegradable, the utilization of natural fibers as reinforcing materials instead of glass fibers and carbon fibers in the manufacturing of plastic based composite materials is becoming increasingly popular. In this paper, natural fibers are scrutinised with respect to appropriateness of the automotive industry and their applications.

Key words: Natural fiber, Composite, Polymer, Automotive industry

Giriş

Araçlarda kullanılan plastiklerin kullanım oranının artması ile plastiklerin araçlarda kullanımı önemli olmaya başlamıştır. Dolayısıyla, otomobil üreticileri çevreye duyarlı, çalışanların sağlık ve güvenli bir ortamda çalışmalarını sağlayacak biyolojik

esaslı ve yenilenebilir malzemeler ile güçlendirilmiş plastik kompozit kullanımlarına yönelik araştırmalara öncelik vermişlerdir (Santos ve ark. 2008). Otomotiv sektörü, gelişmiş ve gelişmekte olan diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye ekonomisinin de başlıca lokomotif, en büyük ihracatçı ve

en büyük yatırımcı sektörlerinden biridir. Milli ekonomiye sağladığı katma değer ve istihdamın dışında sanayinin teknolojik gelişiminin yükselmesine etkisi açısından da ekonominin stratejik sektörlerinin başında gelmektedir. Üreticiler piyasada rekabet gücüne sahip olabilmek ve gelir paylarını artırmak için sürekli yeni materyal arayışı içerisinde olup ürettikleri ürünün daha iyi kalitede olması için çalışmaktadırlar. Birçok ülkede izlenen devlet politikaları ile otomotiv endüstrisi, otomobilin ağırlığını azaltacak plastik ve kompozit malzemelerin kullanımını arttıracak teşviklere yönlendirilmektedir (Frag, 2008). Bu nedenle, Federal Hükümet tarafından belirlenmiş olan yeni 2025 kurumsal ortalama yakıt ekonomisi (CAFE: corporate average fuel economy) standartlarının 54.5 mpg değerini karşılaması için otomobil üreticilerinin daha yaratıcı ve yenilikçi olması beklenmektedir (Kızıltaş ve ark. 2013). CAFE tahminlerine göre bir arabanın ağırlığının %10 oranında azaltılması ile yakıt tüketiminde yaklaşık %6-8 oranında tasarruf sağlanmaktadır (Özen ve ark. 2013).

Bugün araçların iç kısmında kullanılan parçaların yaklaşık %50'si polimerik malzemelerden üretilmektedir. Bir araçta ortalama plastik kullanımı gelişmiş ülkelerde 120 kg iken dünya genelinde 105 kg olup bu aracın toplam ağırlığının %10-12'sini teşkil etmektedir. Plastik Sanayicileri Federasyonu (PLASFED) tarafından 2012 yılında hazırlanan raporda, son 7 yıl içinde, üretim artışları nedeniyle taşıt araçlarının toplam hacim ağırlığında yüzde 1 oranında artış olmasına rağmen, kullanılan plastik malzeme miktarının yüzde 28, kauçuk miktarının ise yüzde 33 oranında arttığı belirtilmiştir. Bu nedenle otomotivde plastik ve türevlerinin kullanımının hızla arttığı gözlenmektedir ve bu durumun taşıt araçlarındaki verimlilik, çevreye duyarlılık, yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik teknolojik gelişmelerden kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Demirci, 2012). Plastikler (özellikle termoplastikler), otomotiv sektörünün sofistike, estetik, güvenlik, konfor, yakıt verimi gibi mühendislik taleplerini kolayca karşılaması, elektronik performans maliyeti azaltacak şekilde uyum sağlayabilmesi, geri dönüşümü kolay bir

malzeme olması gibi bir çok avantaja sahiptir. Ancak bu avantajlarının yanı sıra yüzeylerinin yumuşaklığı, çizilmeye karşı direncinin az olması ve düşük ısı kararlılığına sahip olması gibi dezavantajları olmasından ötürü kullanım alanlarına bağlı olarak beklenen özellikleri sağlamak saf (katkısız) haldeki polimerlerle (plastikler) mümkün olmamaktadır. Polimer kompozitlerde mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla, farklı özelliklere sahip birçok değişik bitkisel ve mineral esaslı dolgu ve takviye maddeleri kullanılmaktadır. Bunlar doğada bulunabileceği gibi sentetik olarak da elde edilmektedir. Nanokil, karbon nanotüp/nanolifler, silikatlar, seramik tozu ve kısa lifler gibi dolgu malzemeleri termoplastik kompozitlerin çekme, basınç, eğilme ve şok direnci gibi mekanik özelliklerini geliştirmek için yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bunun yanı sıra karbon/grafit lifler, fiberglas ve aramid gibi yapay lifler yüksek performans gerektiren özel endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir (Martin ve ark. 2004; Groner ve ark. 2006; Tetsuka ve ark. 2007; Golebiewski ve Galeski, 2007; Sarkar ve ark. 2008; Gupta ve ark. 2010; Sardar ve Bandopadhyay, 2013). Kompozit malzemelerin istenilen özelliklerini iyileştirebilmek için dolgu maddesinin seçimi ve dolgu maddesinin polimer içerisinde homojen dağılabilmesi büyük önem arz etmektedir. Ancak son yıllarda artan çevresel baskılar ve kaynakların hızla artan talebi karşılayabilmek amacıyla daha verimli kullanılması gerekliliği, "çevre dostu" denilen yeni bir terimin gelişmesine sebep olmuştur. Çevre dostu malzeme kullanımının en önemli amaçlarından biri kuşkusuz hammadde kullanım verimliliğini maksimize ederken atık oluşumunu minimize etmektir (Trost, 2002).

Çevresel kirlilik, küresel ısınma ve petrol kaynaklarındaki azalma ve organik olmayan sentetik malzemelerden ziyade doğal lif kompozitleri kullanımını artırmıştır. Cam, karbon lifleri ve epoksi reçineler ile termoplastikler gibi malzemelerle hafif araçlar yapılarak yakıt veriminin artırılması söz konusu olsa bile bu malzemelerin geridönüşümü çok zor olduğundan ve üretimleri sırasında ciddi boyutlarda çevresel

yük oluşturacağından doğal lif kullanımı gibi farklı çözümlerin aranması zorunlu hale gelmiştir (Marsh, 2003). Bu açıdan bakıldığında bitkisel lifleri içeren kompozit malzemeler, kaynakların verimli kullanılması ve biyobozulabilir özellikte olmalarından dolayı “çevre dostu” olgusunu en iyi şekilde kapsayan ve giderek önemi artan ürünlerdir. Son yıllarda bu malzemeler otomotiv ve plastik endüstrilerinin de ilgi alanına girmiştir. Plastik endüstrisi de malzeme özelliklerini iyileştirmek amacıyla uzun yıllar boyunca yararlanılmış olduğu talk, kalsiyum karbonat, mika, cam, karbon fiber gibi inorganik malzemeler yerine doğal liflerle güçlendirilmiş plastik kompozit üretimine yönelmiş (Eckert, 2000) ve özellikle otomotiv sanayinde kapı panelleri, oturma arkalıkları, iç tavan kaplamaları (headliner), gösterge panelleri, iç parçalarında doğal liflerle güçlendirilmiş plastik kompozitlerin kullanımı üzerine yoğun araştırmalar yapılmaya başlanmıştır (Yongxiang ve ark. 2012). Otomotiv sanayinde doğal lif takviyeli kompozitler sayesinde pahalı takviye liflerine olan ihtiyaç azalmış, üretim işlemleri basitleşmiş ve ucuzlaşmış, atık yönetimi maliyetleri düşmüş ve böylece hem üretici hem de tüketici için olumlu bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Avrupa Birliği, 2015 yılı itibarı ile yeni üretilecek taşıtların en az %95 geri-dönüştürülebilir malzemelerden imal edilmesini zorunlu kılmıştır. Bu konuda yapılacak her yeni çalışma büyük önem taşımaktadır. Otomotiv sektörünün hızlı bir şekilde büyümesi sonucunda uluslararası firmaların ülkemizde üretim bölgelerini artırması, yeni firmaların üretim yapacak olması ve dolayısı ile otomotiv sanayinde benzin maliyetlerini düşürmek için daha hafif araçlar yapılması zorunlu hale geleceğinden farklı kompozit malzeme üretimi arayışları olacaktır.

Bu çalışmada, ülke ekonomisine ve ülkenin sürdürülebilir kalkınmasına katkı sağlayacak ekonomik değeri olmayan tarımsal atıklar gibi doğal liflerin otomotiv sektöründe kullanım alanları irdelenmiştir.

Doğal Lifler

Doğal polimerler dünyada bol miktarda bulunmasına rağmen, mikro ve nano

yapıların farklı türleri ile selüloz modifikasyonu son yıllarda araştırma konusu olarak dikkat çekmektedir. Mikro ve nano esaslı selüloz malzemelerin kullanım alanının geniş olması, yenilenebilirlik, düşük yoğunluk, çevreye duyarlı bir malzeme olması, çok iyi mekanik özellikler göstermesi açısından otomobil endüstrisinde kullanımına imkan tanımaktadır (Aziz ve ark. 2004; Kızıltaş ve ark. 2013). Yenilenebilir lifler düşük fiyatları sebebiyle yüksek üretim oranlarının gerekli olduğu ve düşük performansın kabul edilebilir olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv ve paketleme endüstrileri artık eko ürünlerin biyolojik bozunabilirlik ve geri kazanımına odaklanmış olup doğal materyallerde mineral katkılı materyallerin ve petrol türevli polimerlerin kullanımına önem vermektedirler (Alves ve ark. 2010). Şekil 1’de dünyadaki doğal lif endüstrisinde yeni trendler gösterilmektedir (Lucintel, 2011).



Şekil 1. Doğal lif endüstrisinde yeni trendler.

Doğal Liflerin Sınıflandırılması, Türleri ve Bazı Özellikleri

Kompozit malzemede en çok kullanılan doğal lifler sisal, hint keneviri, hindistan cevizi, şeker kamışı ve muzdur. Pamuk, keten, sisal ve hindistan cevizi lifi, kenaf ve kenevirden elde edilen selüloz esaslı bitki lifleri polimer kompozitlere katıldığında sentetik liflere göre daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Selüloz lifleri toksik olmayıp, biyolojik olarak parçalanabilen, geri dönüşebilir bir malzemedir. Genellikle yüksek oranlarda kullanıldıklarında düşük yoğunluklu kompozit üretimine imkân sağladıkları, yüksek sağlamlık ve sertlik performansı verdikleri bilinmektedir. Üstelik doğal lifler esnek olup bu özelliği sayesinde proses sırasında kırılmaya karşı daha dirençlidir (Santos ve ark. 2008; Spoljaric ve

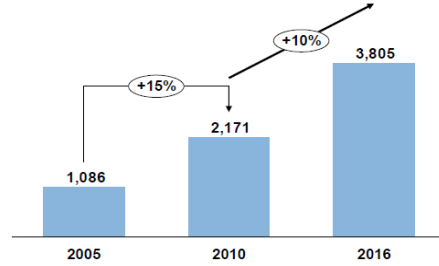
ark. 2009). Bu nedenden dolayı, muz, kenevir ve hindistancevizi liflerini içeren lignoselülozik lifler endüstriyel alanlarda polimere katkı olarak yarar sağlaması açısından çoğu araştırmacının dikkatini çekmektedir. Bu tür lifler glass fiberlerle karşılaştırıldığında düşük yoğunluk ve düşük fiyat gibi birçok avantaja da sahiptir (Joseph ve ark. 2002; Mothe ve ark. 2009; Merlini ve ark. 2011).

Yenilenebilir biyokütleden elde edilen selüloz nanofibriller (MCC, CNF, bacterial cellulose) kompozit materyallerine ilave amaçlı olarak kullanılmaktadır (Jonoobi ve ark. 2010). Odun selülozun ana hammadde olup hemiselüloz ve lignin içermektedir (Seydibeyoğlu ve Oksman, 2008). Odun bileşen polimerlerinin termogravimetrik stabilitesi, selülozun selüloz olmayan bileşenlere göre daha fazla stabil olduğunu göstermektedir. Otomobil ve yapı endüstrisi, düşük yoğunluğun yanı sıra daha iyi mekanik ve termal özellikler elde etmek için mühendislik termoplastik malzemeler için düşük yoğunluklu ve ucuz katkı maddelerini kullanmayı tercih etmektedirler. Selüloz mühendislik termoplastikleri açısından bahsedilen bu özellikler açısından uyumlu bir malzemedir (Xu, 2008). Mikrokristalen (MCC) selüloz doğal olarak yüksek kalitedeki odun hamurundan elde edilen kristalen selülozdur. MCC diğer geleneksel selüloz lifleri ile kıyaslandığında yüksek spesifik yüzey alanına sahiptir (Mathew ve ark. 2004).

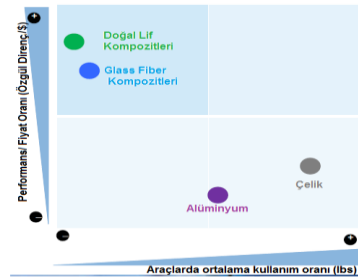
Doğal Liflerin Dünyadaki Pazar Payı

Dünya doğal lif kompozitleri pazarlama sektörü 2010'da 2.1 milyar dolar olup son 5 yılda %15 lik bir artış gözlenmiştir. Doğal lif kompozit uygulamaları en çok otomotiv&yapı sektöründe yer bulmaktadır. Odun plastik kompozitleri yapı ve inşaat sektöründe tercih edilirken keten, kenevir, hint keneviri gibi iç kabuk lifleri otomotiv sektörü için tercih edilmektedir. Kuzey Amerika, Avrupa ülkeleri ve diğer dünya ülkelerine oranla otomotiv sektöründe doğal lif kompozitleri (ticari adıyla odun plastik kompozitleri) kullanımı bakımından lider konumdadır. 2016'ya kadar doğal lif kompozit sektörünün 3.8 milyar dolara erişeceği beklenmektedir. Petrol esaslı

ürünlerin fiyatlarının artması ile ülkeler çevreye duyarlı ürünleri desteklemektedir. Doğal lif kompozitlerinin yıllara göre potansiyel pazarı Şekil 2'de verilmektedir. Doğal lif kompozitlerinin son 5 yılda ılımlı bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Sektör tüm odun ve odun dışı doğal lif kompozitleri sektörünü de içermektedir (Lucintel, 2011).



Şekil 2. Doğal lif kompozitlerin yıllara göre potansiyel pazar payı (2005-2016 dönemi-milyon dolar).



Şekil 3. (a) Doğal lif kompozitlerinin pazardaki büyüme oranı ile otomotiv uygulamaları için farklı materyallerin fiyat olarak karşılaştırılması, (b) Kullanım yaygınlığına göre kompozitlerin çelik ve alüminyum ile karşılaştırılması.

Doğal lif kompozitlerinin pazardaki büyüme oranı ile otomotiv uygulamaları için farklı materyallerin fiyat olarak karşılaştırılması ve kullanım yaygınlığına

göre kompozitlerin çelik ve alüminyum ile karşılaştırılması ise Şekil 3'de verilmiştir. Doğal lif kompozitleri sektörü odun lifi ve odun dışı lifleri olarak iki ayrı sektör olarak incelenmiş olup odun lifleri daha çok yapıda kullanılırken otomotiv odun dışı liflerin en çok kullanıldığı sektördür. Avrupa otomotiv uygulamalarında en büyük bölge olup, Kuzey Amerika ise yapı&inşaat uygulamalarında başı çekmektedir (Lucintel, 2011).

Tablo 1'de otomotiv uygulamalarında diğer materyallerle birlikte performans/fiyat karşılaştırması verilmiştir. Burada çelik ve alüminyum otomotiv uygulamalarında kullanım oranları ile ilk sıralarda yer alırken, fiyat ve performanslarına göre kıyaslandığında ise bu malzemelerin doğal lif kompozitlerine oranla daha alt sıralarda yer aldığı görülmektedir (Lucintel, 2011).

Tablo 1. Otomotiv uygulamalarında diğer materyallerle performans fiyat karşılaştırması.

Materyal	Arabada kullanım miktarı (kg)	Performans/ fiyat oranı (özellik direnç/dolar)
Çelik	907.2	0.15
Alüminyum	272.2	0.08
Fiberglass kompozit (FRP)	34.9	0.36
Doğal lif kompoziti	15.97	1.15

Doğal Liflerin Avantajları ve Dezavantajları

Doğal lifler; düşük fiyat, düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanıklılık ve elastikiyet modülü, lif yüzey modifikasyonunun kolay oluşu, çevre dostu ve proses kolaylığına sahip oluşu, aşınmaya dayanıklı, yenilenebilirlik ve biyobozunabilir olması, kullanım ömrü bitiminde yakma suretiyle enerjinin geri dönüşümü, üretim sırasında daha az enerji gereksinimi, daha az sağlık ve güvenlik riski, kolay şekil verilebilirlik, glass fiber esaslı kompozitlerle yarışabilecek düzeyde spesifik mekanik özellikler, CO₂ dengesi, iyi termal ve akustik yalıtım özellikleri ve geri kazanılabilir olması gibi birçok mükemmel karakteristik özellikleri ile

günümüzde polimer matrisi içinde güçlendirici/dolgu maddesi olarak kullanılmaktadırlar (Puglia ve Kenny, 2009; Joshi ve ark. 2004; Njuguna ve ark. 2011). Aynı zamanda doğal lifler degrade edilmeyecekleri proses sıcaklıklarında çok yüksek oranda polimer matrisine ilave edilebilme özelliğine sahiptirler (Clemons, 2002; Kylosov, 2007). Doğal lifler biyolojik olarak çözünebilir olup geri dönüşümlü bir materyaldir, ayrıca kolayca daha az kirliliğe neden olarak kalıntı bırakmaksızın yanma sırasında ortaya çıkan termal enerjiye kolayca dönüşebilmektedir (Santos ve ark. 2008). Doğal lifler sentetik liflere oranla daha kolay liflendirilebilir ve daha az çevresel olumsuzluğa neden olur. Sentetik liflerin üretimi fosil yakıtı esasen bağlı olup doğal liflere nazaran hemen hemen 10 kez daha fazla enerji gerektirmektedir (Corbiere ve ark. 2001; Patel ve ark. 2002).

Doğal liflerin üretim sırasında kümelenmeye meylenmesi, düşük çalışma sıcaklığı gereksinimi (<200°), nemden etkilenmesi polimer takviyesi olarak doğal liflerin kullanılmasını kısıtlamaktadır (Bismarck ve ark. 2006). Doğal liflerin rutubet içeriyor olması proses sırasında bazı problemlere neden olmaktadır (Clemons, 2002). Bu problemlerin de katkı maddelerinin (kümelenmeyi önleyici ajanlar) kullanımı ve doğal liflerin üretim öncesinde kurutulması gibi bazı takviye ve ön işlemler ile en aza indirilmesi mümkündür. Odun lifi dışındaki çoğu doğal lif lignoselülozik içerikli tarımsal atıktır, bu anlamda ekonomik değeri oldukça düşüktür. Ancak yılın belirli dönemlerinde elde edildikleri ve hacimsel olarak çok yer kapladıkları için depolanmalarında bazı problemler yaşanabilmektedir. Bu dezavantajlara rağmen son 10 yılda termoplastikler için ilave olarak doğal polimerlerle ilgili çalışmalar artmıştır (Santos ve ark. 2008; Donmez Cavdar ve ark. 2011; Donmez Cavdar ve ark. 2015; Boran, 2016).

Otomobil Endüstrisinde Doğal Lif Kullanımına İlişkin Örnek Uygulamalar

Plastiklerde doğal liflerin kullanımı yeni bir konu değildir. 20. yüzyılın başlarında kağıt ve karton ile karıştırılmış melamin formaldehit ve fenol formaldehit esaslı

kompozitler elektrik yalıtımında; 60'lı yıllarda hindistan cevizi lifleri ve odun unu ile polipropilen (PP) kompozitlerinin arabanın koltuk aksamı ve iç kısımlarında; 90'lı yıllarda doğal lifler ile polietilen (PE) kompozitleri endüstriyel kaplamada, çit duvarı ve yük platformlarında ve 2000'li yıllarda ise odun unu ile PVC kompozitleri kapı ve pencere çerçevesi olarak kullanımlarına yönelik bir çok araştırma ve uygulamalar bulunmaktadır (Clemons, 2002). Bununla birlikte son 10 yıldır keten, kenevir, hint keneviri, kenaf gibi doğal lifler termoset ve termoplastik kompozitlerine ilave edilerek ulaşım (otomobil, demir yolu, tekne gibi), yapı ve paketleme endüstrilerinde yaygın olarak değerlendirilmektedir (Mohanty ve ark. 2000; Puglia ve ark. 2005). Otomotiv endüstrisinde kapı paneli ve ana hatları gibi iç uygulamalarda uygulanan doğal kompozit malzemelerin kullanımının uygulanabileceği üreticiler tarafından çoğu zaman düşünülmektedir. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)'nın raporuna göre Environmental Directives (Çevresel Direktifler) dikkate alındığında birçok Avrupa ve Amerika otomobil üreticilerinin yıllık doğal lif kullanım oranlarını yaklaşık %54 oranında arttırdıkları görülmektedir (DEFRA, 2002). Amerika'daki otomotiv şirketleri üretilen araçların yaklaşık 1.5 milyonunda kendir, kenevir, keten gibi doğal liflerle güçlendirilmiş termoplastik ve termoset kompozitlerini kullanmaktadır (Faruk, 2009). Brezilya'daki Mercedes Benz şirketi de 1992 yılında ABD'den aldığı 1.4 milyon dolarlık bir harcama ile doğal lifleri ürünlerinde kullanmışlardır. Avrupa ve Kuzey Amerika'da bitkisel kompozitlerin miktarının 2002 yılında değeri 775 milyon dolar olup üretim miktarı 685 bin tona ulaşmıştır (Heitzmann, 2001).

1996 yılında Mercedes-Benz firması jute-epoksi karışımlarından oluşan kompozit materyalleri E serisi araçlarının kapı panelleri içinde kullanmıştır (Suddell ve Evans, 2005). Yeşil kompozit uygulamalarının bir örneği de 2000 yılında Audi firmasının A2 modellerinin kapı panellerinde keten-sisal karışımları ile takviye edilmiş poliüretan kullanmasıdır

(Mohanty ve ark. 2005). Toyota firması çok daha iddialı olan %100 bioplastik materyalleri RAUM 2003 model araçlarının yedek lastik kapaklarında kullanmıştır. Bu malzeme şeker kamışı ve şeker patatesinden elde edilen PLA matrisinin kenaf lifleri ile takviyesi sonucu elde edilmiştir (Anonymous, 2007). Diğer bir örnek, araç içi parçalarında Mitsubishi Motors'un bambu lifleri ve bitki bazlı polibütillen süksinat kombinasyonlarını, yer döşemelerinde ise PLA ve naylon lifleri kullanmasıdır (URL-1, 2011). Toyota 2008 yılında Matrix ve RAV4 modellerindeki koltuklarında soya bazlı köpükleri kullanmıştır (Johari ve ark. 2016). Ford 2010 model Flex crossover modellerindeki depolama bölmelerinde ve iç kapaklarında buğday sapı ile takviye edilmiş kompozitleri, BMW 7 seri araçlarının alt kapı panellerinde doğal lifler ve termosetting akrilik kopolimerleri kullanmıştır (Stewart, 2010). Son olarak Toyota firması şeker kamışından elde edilen eko-plastiği geliştirmiş ve bunu ilk olarak yeni CT 200 modelinde kullanacağını 2011'de ilan etmiştir (URL-2, 2008). Otomobillerin dış parçalarında da doğal kompozit materyaller kullanılmaktadır. İlk kullanım Mercedes-Benz Travego otobüslerinin motor ve şanzıman koruyucularında ses izolasyonu amacıyla poliester-keten karışımlarının kullanılması olmuştur (Koronis, 2013). Bu malzemeler dış kısımda kullanılan ilk doğal kompozit malzemeler olarak önemli bir gelişmedir (Suddell ve Evans, 2005). Bununla birlikte bu tip malzemelerin kaput altında kullanılması, sınıflandırmada tam da dış kullanım olarak nitelendirilmesini şüpheli duruma sokmaktadır. Bu uygulamadan birkaç yıl sonra 2004 yılında Daimler-Chrysler AG (Stuttgart, Germany) abaca bitkisinin liflerini Mercedes-Benz A serisi araçlarında yer alan yedek lastik koruyucusunda fiberglas yerine kullanmışlardır. Bu ürünü 2002 yılında polipropilen termoplastik ve abaca liflerinin karışımı olarak patent altına almışlardır (URL-3, 2002). 2008 yılında Lotus firmasının ECO Elise konsept aracında yer alan spoiler ve bunun gibi bazı parçalarında kenevir ile takviye edilmiş kompozitler kullanılmıştır (Malnati, 2009). Mercedes S sınıfı otomobillerin 27 bileşeni toplam

ağırlığı 43 kg olacak şekilde doğal lif kompozitlerinden üretilmektedir (Thomas, 2000).

Toyota yedek tekerlek ve zemin döşemesinde şeker kamışı veya mısırdan yapılan “eko-plastik” leri değerlendirmiştir. DaimlerChrysler Mercedes araçlarında keten, hindistan cevizi ve manila kendirini (abaka) kullanımını araştırmaktadır. Ford ise koltuk için soya esaslı köpük gibi biyomateryal kullanımını araştırmıştır (Juska, 2006).

Plastik kompozitlerinde daha düşük yoğunluklu selüloz esaslı mikro ve nano esaslı dolgu maddelerinin daha yüksek hacimli fraksiyonu, otomobil endüstrisinde istenen performansları karşılayacak daha düşük ağırlıklı materyal arayışına cevap verebilecektir. Son birkaç yıldır selüloz esaslı materyallerin otomotiv endüstrisine uyumu ve bu materyallerin şirket politikaları için uygun olup olmadığı araştırılmaktadır (Hill ve ark. 2012). Son yıllarda hem mühendislik (poliamid ve poliesterler gibi) hem de ticari olarak (poliolefinler) kullanılan bu plastiklerin fiyatlarındaki artış otomobil endüstrisinde selüloz esaslı kompozit malzemelerin uyumunda dikkate alınacak en önemli faktörlerdendir (Özen ve ark. 2012; Özen ve ark. 2013). Birçok otomobil üreticisinin örneğin Ford’un hem çalışanlarına hem de topluma karşı çevresel sorumluluğunun bilincinde olduğunu gösteren şirket politikaları uygulamakta olduğu ve ArGe departmanlarında talk ve fiberglas yerine %30 selüloz esaslı dolgu maddesi kullanımı üzerine araştırmalar yapıldığı bildirilmektedir (Joshi ve ark. 2004; Hill ve ark. 2012).

Ford biomateryal araştırma ekibi Amerika’nın en büyük odun ve kağıt üreticilerinden biri olan Weyerhaeuser ile mineral katkısı veya fiberglasın yerine odundan elde edilen selülozun kompozit malzeme olarak kullanılması üzerine ortak çalışmalar yapmaktadır. Weyerhaeuser kısa fiberglas kullanımı yerine mühendislik selülozunu THRIVE olarak adlandırmış olup, bu kompozit malzemenin nasıl üretileceğini araştırmıştır. THRIVE kompozitleri kısa fiberglas içeren kompozit malzemeler ile karşılaştırıldığında, kompozit üretimi için hem daha az enerji gerektiren ve malzemenin üretim prosesinde düzgün olarak

üretilebilmesi hem de yüksek ve düşük erime akış özelliğine sahip polipropilen ile selülozun karıştırılması için ekonomik olup uygundur. Fordun araştırması ile Weyerhaeuserin selüloz esaslı plastik kompozit malzemelerinin otomobil için uygun termal direnci, sertlik ve dayanıklılık açısından gerekli ölçütleri sağladığı ortaya konmuştur. Ayrıca, selüloz esaslı materyaller fiberglas esaslı materyaller ile karşılaştırıldığında bu materyaller daha az enerji ile %20-40 oranında daha hızlı üretilebilmekte ve üretilen materyalin ağırlığı yaklaşık %10 daha az olmaktadır (Kızıldaş ve ark. 2013). Fordun yanı sıra, çoğu otomobil üreticisi (General Motors, Daimler, Toyota, Fiat, Volkswagen ve BMW) plastik kompozitlerde buğday sapı, muz, hindistan cevizi, keten, kenevir, kendir, sisal, manila kendiri gibi selüloz esaslı lifleri kullanmaktadır. Bu lifler yedek lastik bölümlerinin kapağı, araç gövde altı panelleri, koltuk arkılığı, tavan döşemesi, motor ve vites kutusu kapağı, kaput altındaki radyatör deposunun altı, arka panel rafları, kapı pervazı paneli, çamurluk parçaları ile bagaj bölmesi, hoparlör, halı döşemesi, bagaj pervaz kaplaması, motor kapağı pervazı, kapı paneli, zemin üst levhası, koltuk altlıkları, alet kutusu bölmesi gibi otomobil içi aksamlarında kullanılmaktadır (Ashori, 2008; Hill ve ark. 2012; Biron, 2014).

Doğal liflerin termal stabilitesi kompozit prosesinde ana parametre olup, doğal lif katkılı kompozitlerin üretimi için plastik seçeneği doğal liflerin termal degradasyonuna neden olan naylon 6 (PA6) ve polietilen tereftalat (PET) gibi mühendislik plastiklerin daha yüksek erime noktalarına sahip olması nedeniyle polipropilen ve polietilen gibi ticari plastiklerin kullanımı ile sınırlı kalmaktadır (Huigin, 2012). Ancak naylon 6 esaslı kompozitlerin dikkat çekici yüzey görünümü, düşük ağırlık, mükemmel çekme direnci ve elastikiyet modülü, aşındırıcı kimyasal, yağ ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık özellikleri ile kullanılması zorunlu materyaller olan metaller ve termoset plastiklerle rekabet gücüne sahip olup otomobillerde kaput altı uygulamalarında kullanımları mümkündür (Graff, 2005). Doğal lif kompozitlerinde polimer matriksi olarak naylon kullanımı

bazı avantajlar sağlamaktadır. Bunlar sırasıyla, poliolefinle karşılaştırıldığında hidrofobik yapısından dolayı naylonun daha yüksek mekanik özellikler göstermesi, naylon ve doğal lifler arasında uyumluluğun yüksek oranda olması (böylece uyumsuzluk giderici kullanımının elimine edilmesi) ve termosetler ile kıyaslandığında (plastik endüstrisinde önem taşıyan) geri dönüşümünün daha kolay olmasıdır (Özen vd., 2012).

Naylon/doğal lif kompozitlerinin üretiminin uygulanabilirliği üzerine yapılan son araştırmalara rağmen, ticari plastikler ile karşılaştırıldığında naylonun yüksek fiyatı ve doğal liflerin termal degradasyonuna önem verilmeksizin kompozitlerin üretimindeki zorluklar nedeniyle doğal lif katkılı naylon kompozitler ile ilgili bilgi yeterli değildir (Sears ve ark. 2001;Chen ve Gardner, 2008;Tajvidi, 2009;Özen ve ark. 2013). Doğal lif kullanan bazı otomobil firmaları ve uygulama alanları Tablo 2’de verilmektedir.

Doğal lifler çoğunlukla polimer matrisine tek tür olarak ilave edilirken farklı lif karışımlarının polimer matrisi içerisinde nasıl bir sonuç vereceği konusunda çalışmalar azdır (Juska, 2006;Özen ve ark.2012). Özen ve ark. (2012) kenaf, keten ve kenevir lif karışımlarının nylon 6 polimerine ilavesini araştırmışlar ve polimer matrisi üzerine etkilerini incelediklerinde bu doğal lif karışımlarının kullanımının otomobil endüstrisi için optimal fiziksel ve mekanik özellikleri karşıladığını belirlemişlerdir. Doğal lif karışımlarının ilavesinin glass fiber ve diğer dolgu maddeleri yerine sadece otomotiv endüstrisi için değil diğer uygulama alanlarında uygun olabileceği öngörülmüştür.

Tablo 2. Doğal lif kullanan bazı otomobil firmaları (Bledzki ve ark. 2006).

Otomobil üreticisi	Model ve uygulama
Audi	<u>A2, A3,A4, A4 Avant, A6, A8, Roadstar, Coupe:</u> Koltuk arkası, yan ve arka kapı paneli, fren balatası, şasi kaplaması, stepne kaplaması
BMW	<u>3,5, 7 serileri ve diğerleri:</u> Kapı panelleri, tavan döşemesi paneli, fren balatası, koltuk arkası paneli
Daimler-Chrysler	<u>A, C, E, S sınıfı:</u> Kapı panelleri, otomobil ön cam/gösterge paneli, pil kapağı paneli <u>A sınıfı ve Travego otobüsü:</u> Araba döşemesi altındaki koruyucu amaçlı dış aksam <u>M sınıfı:</u> Araç paneli
Fiat	Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156
Ford	<u>Mondeo CD 162,</u> <u>Focus:</u> Kapı panelleri, B-pilleri, fren balatası, araç paneli
Mitsubishi	<u>Space star:</u> Kapı paneli <u>Colt:</u> Gösterge paneli
Peugeot	Yeni model 406
Renault	Clio
Rover	<u>Rover 2000 ve diğerleri:</u> Yalıtım, bagaj paneli
Saab	Kapı panelleri
Seat	Kapı panelleri, arka koltuk
Volkswagen	<u>Golf A4, Passat Variant, Bora:</u> Kapı paneli, arka koltuk, bagaj kapağı paneli, fren balatası
Volvo	C70, V70

Tartışma ve Sonuç

Uzun yıllardır çalışılmasına rağmen doğal liflerin termoplastik polimer matrisi içerisine takviye elemanı olarak kullanımı, günümüz şartlarında çevresel ve ekonomik açıdan zorunluluklar açısından daha da yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulan “trend-topic” konular arasındadır. Doğal lif takviyeli kompozitler içerisinde doğal liften ve/veya polimer matrisinin yapısından kaynaklı

düşük termal direnç/yanma performansı gibi hala çözülmemiş problemlerin mevcut olması, araştırmacıları bu olumsuzlukları minimize edecek farklı yapıda yangın geciktiriciler ve farklı dolgu maddelerini polimer matrisi içerisinde kullanarak yeni hibrit kompozitler üzerine araştırma yapmaya yönlendirmektedir. Doğal lif esaslı nihai ürünler otomotiv üretiminde kullanılan mukabil malzemelere (çelik, alüminyum, cam yünü ve mineral dolgu malzemeleri ile güçlendirilmiş malzemeler) göre daha hafif olacağından otomobillerin taşınan ağırlığının azalmasına paralel yakıt tüketimini ve CO₂ emisyonunu azaltacaktır. Böylece hem çevreye verilen zarar azaltılacak ve otomobil üretim maliyeti düşürülecek hem de enerji konusunda ülkemizin dışa bağımlılığı azaltılacaktır.

Dünyayla paralel olarak ülkemiz akademik kurumlarında da “otomotiv sektörü özelinde hafifleştirmeye yönelik malzeme teknolojileri” konusundaki çalışmalar yeni yeni ivme kazanmaya başlamıştır. Bu alanda ilgili akademik çalışmalara daha fazla ağırlık verilerek, özel sektörün de katılımıyla yürütülecek ortak projeler ile ülke/dünya ekonomisine ve çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Alves, C., Ferrão, P.M.C., Silva, A.J., Reis, L.G., Freitas, M., Rodrigues, L.B., Alves, D.E. 2010. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*,18,313-327.
- Anonymous. 2007. Bioplastics in automotive applications. *Bioplastics Magazine*, 2(1), 14-18.
- Ashori, A. 2008. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bioresource Technology*, 99, 4661-4667.
- Aziz, S. H., Ansel, M.P. 2004. The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1-polyester resin matrix. *Composite Science and Technology*, 64, 1219-1230.
- Biron, M. 2014. Automobiles push renewable plastic and composite use, Retrieved from SpecialChem.
- Bismarck, A., Baltazar, A., Jimenez, Y., Sarikakis, K. 2006. Green composites as panacea? socio-economic aspects of green

materials. *Environment Development and Sustainability*, 8,445-463.

Bledzki, A. K., Faruk, O., Sperber, V.E. 2006. Cars from bio-fibers. *Macromolecular Materials and Engineering*, 291, 449-457.

Boran, S. 2016. Mechanical, morphological, and thermal properties of nutshell and microcrystalline cellulose filled high-density polyethylene composites. *BioResources*, 11(1), 1741-1752.

Chen, J., Gardner, D.J. 2008. Dynamic mechanical properties of extruded nylon-wood composites. *Polymer Composites*, 29(4), 372-379.

Clemons, C. 2002. Wood-plastic composites in The United States: The interfacing of two industries. *Forest Products Journal*,2,10-18.

Corbiere, N.T., Laban, B.G., Lundquist, L., Letierrier, Y., Manson, J.A.E., Jolliet, O. 2001. Lifecycle assessment of biofibers replacing glass fibers as reinforcement in plastics, resources. *Resources, Conservation and Recycling*, 33,267-287.

Defra (Department of Environment, Food and Rural Affairs), 2002. Annual Report, Publications,EU, August.

Demirci, B. 2012. Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör Raporu.

Donmez Cavdar, A., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F. 2011. Tea mill waste fibers filled thermoplastic composites: The effects of plastic type and fiber loading. *Journal Reinforced Plastics and Composites*, 30, 833-844.

Donmez Cavdar, A., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F. 2015. Technological properties of thermoplastic composites filled with fire retardant and tea mill waste fiber. *Journal of Composite Materials*, 50 (12), 1627-1634.

Eckert, C. 2000. Opportunities for Natural Fibers in Plastic Composites, *Proceedings of the Progress in Wood Fibre Plastic Composites*, Toronto, ON.

Farag, M.M. 2008. Quantitative methods of materials substitution: Application to automotive components. *Material Design*, 29, 374-380.

Faruk, O. 2009. Cars from Jute and Other Bio-Fibers.

Golebiewski, J., Galeski, A. 2007. Thermal stability of nanoclay polypropylene composites by simultaneous DSC and TGA. *Composite Science and Technology*, 67, 3442-3447.

Graff, G. 2005. Under-hood Applications of Nylon Accelerate. Retrieved from Omnexus by SpecialChem.

Groner, M. D., George, S. M., McLean, R. S., Carcia, P. F. 2006. Gas diffusion barriers on polymers using Al₂O₃ atomic layer deposition. *Applied Physics Letters*,88, 051907.

- Gupta, M., Lin, Y., Deans, T., Baer, E., Hiltner, A., David, A.S. 2010. Structure and gas barrier properties of poly(propylene-graft-maleic anhydride)/phosphate glass composites prepared by microlayer coextrusion. *Macromolecules*, 43(9), 4230–4239.
- Heitzmann, L.F., Ferraresi, G., Neis, A., Carvalho, E., Casa, F., Meire, J., Neto, O.P.R. 2001. Aplicação de materiais de fontes renováveis na indústria automobilística, daimler chrysler of brazil, sima - simpo' sio de engenharia automotiva, São Paulo.
- Hill, K., Swiecki, B., Cregger, J. 2012. *The Bio-Based Materials Automotive Value Chain*, Washington, DC 20585, Center for Automotive Research.
- Huigin, W. 2012. *Engineering Plastics Sector to See Increase of 10.93%*.
- Johari, A.P., Mohanty, S., Nayak, S.K., 2016. *Cellulose Microfibrils from Natural Fiber Reinforced Biocomposites and its Applications*, Chapter 3, *Biodegradable and Biobased Polymers for Environmental and Biomedical Applications*, Ed. Kalia, S., Averous, L., Scrivener Publishing, 515 sayfa.
- Jonoobi, M., Harun, J., Mathew, A.P., Oksman, K. 2010. Mechanical properties of cellulose nanofiber (CNF) reinforced polylactic acid (PLA) prepared by twin screw extrusion. *Composite Science and Technology*, 70(12), 1742.
- Joseph, S., Sreekala, J.M.S., Oommen, Z., Koshyc, P., Thomas, S. 2002. A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glass fibres. *Composite Science and Technology*, 62, 1857–1868.
- Joshi, S.V., Drzal, L.T., Mohanty, A.K., Arora, S. 2004. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites. *Composite Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 371-376.
- Juska, C. 2006. *Automotive Plastics Report Card*, A Report by the Ecology Center.
- Kızıldaş, A., Kızıldaş, E.E., Boran, S., Gardner, D.J. 2013. Micro-and nanocellulose for the automotive applications, micro and nanocellulose for the automotive applications, SPE automotive composites (11-13 September 2013), *Conferences&Exhibition (ACCE)*, USA.
- Koronis, G., Silva, A., Fontul, M. 2013. Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composite Part B: Engineering*, 44, 120–127.
- Kylosov, A.A. 2007. *Wood plastic composites*. John Wiley&Sons, Inc., NJ, USA.
- Lucintel 2011. *Opportunities in Natural Fiber Composites*, Las Colinas, USA, <http://www.lucintel.com/lucintelbrief/potentialofnaturalfibercomposites-final.pdf>
- Malnati, P. 2009. *ECO Elise Concept: Lean, Speedy and Green*. *Composites Technology*.
- Marsh, G. 2003. Next step for automotive materials. *Materials Today*, 6(4), 36-43.
- Martin, C.A., Sandler, J.K.W., Shaffer, M.S.P., Schwarz, M.K., Bauhofer, W., Schulte, K., Windle, A.H. 2004. Formation of percolating networks in multi-wall carbon-nanotube-epoxy composites. *Composite Science and Technology*, 64, 2309–2316.
- Mathew, A.P., Oksman, K., Sain, M. 2004. Mechanical properties of biodegradable composites from poly lactic acid (PLA) and microcrystalline cellulose (MCC). *Journal of Applied Polymer Science*, 97(5), 2014-2025.
- Merlini, C., Soldi, V., Barra, G.M.O. 2011. Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. *Polymer Testing*, 30, 833-840.
- Mohanty, A.K., Misra, M., Hinrichsen, G. 2000. Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276/277(1), 1-24.
- Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, D.T. 2005. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: An Introduction. In: Mohanty AK, Misra M, Drzal LT, Selke SE, Harte BR, Hinrichsen G, editors. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, CRC.
- Mothé, C.G., Araújo, C.R., Wang, S.H. 2009. Thermal and mechanical characteristics of polyurethane/curaua fiber composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 95, 181–185.
- Njuguna, J., Wambua, P., Pielichowski, K., Kayvantash, K. 2011. Natural fibre-reinforced polymer composites and nanocomposites for automotive applications. S. Kalia et al. (eds), *Cellulose Fibers: Bio-and Nano-Polymer Composites*, Springer, New York, p. 661-700.
- Özen, E., Kızıldaş, A., Kızıldaş, E.E., Gardner, D.J. 2012. Natural fiber blends filled engineering thermoplastic composites for automobile industry. *Proceedings of SPE Automotive Composites Conference & Exhibition (ACCE)*, (September 11-13), Troy, MI.
- Özen, E., Kızıldaş, A., Kızıldaş, E.E., Gardner, J.D. 2013. Natural fiber blend-nylon 6 composites. *Polymer Composites*, 544-553.
- Patel, M., Bastioili, C., Marini, L., Wurdinger, E. 2002. Environmental assessment of bio-based polymers and natural fiber, Netherlands, Utrecht University.
- Puglia, D., Biagiotti, J., Kenny, J.M. 2005. A review on natural fibre-based composites- Part II: Application of natural reinforcements in

composite materials for automotive industry. *Journal of Natural Fibers*, 1, 23-65.

Puglia, D., Kenny, J.M. 2009. Applications of natural fibre composites. In: S. T. Pothan, *Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: From Macro to Nanoscale*, Old City Publishing, Inc, Philadelphia, p. 523-536.

Santos, P.A., Girioli, J.C., Amarasekera, J., Moraes, G. 2008. Natural fibers plastic composites in automotive applications. *SPE Automotive Composites Conference & Exhibition Troy, MI, USA*, p. 1-9.

Sardar, J., Bandopadhyaya, D. 2013. Processing, fabrication and investigation of thermal characteristics of portland pozzolan cement filled polypropylene composites. *JPPT Plastic Polymer Processing Fabrication and Investigation of Thermal Characteristics Dikarab*.

Sarkar, M., Dana, K., Ghatak, S., Banerjee, A. 2008. Polypropylene-clay composite prepared from Indian bentonite. *Bulletin of Materials Science*, 31, 23-28.

Sears, K., Jacobson, R., Caulfield, D., Underwood, J. 2001. Reinforcement of engineering thermoplastics with high-purity wood cellulose fibers. *Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, Madison, WI, Forest Products Society*, p. 27-34.

Seydibeyoğlu, M.O., Oksman, K. 2008. Novel nanocomposites based on polyurethane and micro fibrillated cellulose. *Composite Science and Technology*, 68, 908-914.

Spoljaric, S., Genovese, A., Shanks, R.A. 2009. Polypropylene-microcrystalline cellulose composites with enhanced compatibility and properties. *Composite Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40, 791-799.

Stewart, R. 2010. automotive composites offer lighter solutions. *Journal of Applied Polymer Science*, 54, 22-28.

Suddell, B., Evans, W. 2005. Natural fiber composites in automotive applications. In: Mohanty AK, Misra M, Drzal TL, editors. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, CRC Press.

Tajvidi, M., Feizmand, M. 2009. Effect of cellulose fiber reinforcement on the temperature dependent mechanical performance of nylon 6. *Journal of Applied Polymer Science*, 28(22), 2781-2790.

Tetsuka, H., Ebina, T., Nanjo, H., Mizukami, F. 2007. Highly transparent flexible clay films modified with organic polymer: Structural characterization and intercalation properties. *Journal of Materials Chemistry*, 17, 3545-3550.

Thomas, G.S. 2000. Renewable materials for automotive applications. *Daimler-Chrysler AG, Stuttgart*.

Trost, B.M. 2002. On inventing reactions for atom economy. *Accounts of Chemical Research*, 35(9), 695-705.

URL-1. 2011. http://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_en/corporate/2011/news/detail0821.html

URL-2. 2008. <http://www.toyota.com/about/enviroreport2008/pdfs/2008Report.pdf>.

URL-3. 2002. <http://www.baby-benz.com/portal/a-class-w169/246-daimlerchrysler-uses-a-natural-fiber-component-in-the-exterior-of-the-mercedes-benz-a-class>

Xu, X. 2008. Cellulose fiber reinforced nylon 6 or nylon 66 composites. PhD thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GE.

Yongxiang, Y., Boom, R., Irion, B., Heerden, D., Kuiper, P., Wit, H. 2012. Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 51, 53-68.