

Hizmet Ömrünü Tamamlamış Emprenyeli Ağaç Malzemenin Çevresel Tehditleri ve Geri Dönüşüm Prosesleri

Selim ŞEN¹, Mesut YALÇIN¹

Özet

Ağaç malzeme kullanım yerindeki ömrünü uzatmak amacıyla çeşitli ahşap koruyucu maddelerle işleme tabi tutulmaktadır. Ahşap emprenyesinde kullanılan koruyucu maddelerin insan ve çevre sağlığı üzerindeki muhtemel zararları halen tartışılmaktadır. Fakat asıl sorun hizmet ömrü sona ermiş, toksik kimyasallar ve ağır metal içeren tuzlar ile emprenyeli ahşap malzemelerin değerlendirilmesi konusudur. Gelişmiş ülkelerde bir takım geri dönüşüm prosesleri uygulanıp çevresel tehdidi olabilen metal tuzları %100'e yakın oranda geri kazanıldıktan sonra ahşap malzeme çeşitli endüstri kollarında yakılarak değerlendirilmektedir. Türkiye'de ise hizmet ömrü bitmiş ahşap malzeme, geri dönüşüm işlemleri yapılmadan, farklı kullanım yerlerinde değerlendirilmek üzere tekrar kullanıma sunulmaktadır. Emprenye edilmiş ahşap malzeme yakıldığında serbest hale gelen metal tuzları su kaynakları ve toprağa karışarak çevresel tehdit oluşturabildiğinden birçok ülkede yakılması yasaklanmıştır. Bu çalışmada hizmet ömrü bitmiş emprenyeli ahşabın geri dönüşüm prosesleri ve bu malzemelerin insan ve çevre sağlığına zarar vermeden nasıl değerlendirilebileceği konusunda bilgiler verilmiştir.

Anahtar sözcükler: Emprenyeli ahşap, çevresel tehdit, Geri dönüşüm

Threats on Human and Environment Health of Impregnated Wood Material Completed Service Life and Their Recycling Processes

Abstract

The wood materials used in various areas have been treated with some wood preservatives to prolong their service life. The possible hazards of the preservatives chemicals utilized in wood protection treatments on human health and environment have been discussed in recent years. The main problem is recycled of wood materials treated with toxic chemicals and salts consisting of heavy metals, and completed using life. Developed countries recycle these toxic wood materials at the rate of about 100 % after removing toxic chemicals and heavy metals. Non-toxic materials then were burned or used to produce some other woody products. In Turkey, expired wood material has

¹ Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Konuralp Yerleşkesi, Düzce

been reused at the end of service life without removing toxic and heavy metals that highly threaten the human health. Even burning these materials have been banned in some developed countries. Burning releases some toxic materials; they must not be burned or reprocessed before removing the heavy metals. This article discusses recycling processes treated wood materials at the end of service life and how to be reused these materials without giving damage to the environment and human health.

Key words: Treated wood, Environmental threat, Recycling wood material

1.Giriş

Ahşap malzemenin kullanım yerindeki zararlı biyotik ve abiyotik etkenlere karşı ömrünü uzatmak için çeşitli koruma işlemleri uygulanmaktadır. En eski devirlerden beri ahşabın odun katranı ile ya da yüzeyinin kömürleştirilmesi ile korunduğuna dair çeşitli bulgular mevcuttur. Emprenyeli ahşap malzeme genel olarak telefon direkleri, çitler, demiryolu traversleri, maden ocakları, binalar, seralar, ambalaj sandıklarında kullanılmakla beraber, ahşap kütük evlerde, çocuk oyun alanlarında, piknik masalarında, güverte, rıhtım, ve kaldırımlar gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Metal tuzları içeren kimyasal maddeler ile emprenye edilen ahşap açık hava şartlarında uzun yıllar biyolojik bozunmaya uğramadan sağlam olarak kullanılabilir. Örneğin; bakır krom arsenik (CCA) ile emprenye edilen bir ağaç malzeme açık hava şartlarında 30 yıl, kreozot ile muamele edilen bir travers demiryollarında 25 yıl rahatlıkla kullanılmaktadır (Bozkurt ve ark, 1993).

Ülkelerin hızlı kalkınma süreçlerinde gittikçe artan demiryolu traversleri, telefon ve elektrik direkleri ihtiyacının giderilmesi için yüksek miktarlarda emprenyeli ahşap üretimi gerçekleştirilmektedir. Çürüme riski yüksek olan kullanım yerindeki biyolojik degradasyona karşı emprenye edilerek korunmuş ağaç malzemenin bazı durumlarda çevreye ve diğer canlılara da zararı olabilmektedir. Son yıllarda emprenye maddelerinin kullanımı bazı çevreci kuruluşlar tarafından baskı altında tutulmaktadır (Kartal ve Kantay, 2006).

Odun koruma alanında son 30 yıldaki araştırmalarda çevreye daha az zararlı, etkinliği daha uzun süreli ve çevresel endişeleri minimuma indirecek emprenye maddeleri ve yöntemlerine önem verilmiştir. Emprenye maddelerinin etkin, sürekli ve ekonomik olması ile birlikte insan ve sıcakkanlı hayvanlar için güvenli olması kriteri başta gelmektedir. Bu nedenle yeni geliştirilen koruyucuların geleneksel sistemlere oranla insanlara ve çevreye çok daha az toksik özellikte olması istenmektedir. Hizmet ömrünü tamamlamış ahşap malzemelerin içerdikleri kimyasal maddelere göre çevresel tehditleri de değişiklik göstermektedir. Bu ürünlerin toprağa gömülmesi kanunlar esnek olduğu sürece en ucuz yoldur. Enerji üretiminde değerlendirilmeleri de bu

ürünlerin geri dönüşümü için bir seçenektir fakat içerdikleri kimyasallar bu alanda kullanımlarını sınırlamaktadır (Engür ve Kartal, 2001).

2. Odun Koruyucu Kimyasal Maddeler

Odun koruyucu kimyasal maddeler genel olarak su esaslı, organik esaslı ve yağlı empenye maddeleri olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Bu empenye maddelerinin toprak temaslı uygulama yerlerinde, açık hava şartlarında ve su içerisindeki kullanım yerlerinde ağaç malzemeye uygulanması önerilmektedir (Kartal ve ark, 2006). Suda çözünen empenye maddeleri inorganik kimyasallar olup, bakır, krom, arsenik, çinko, potasyum, sodyum, bor gibi metallerin tuzlarıdır. Ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan bazı empenye maddeleri CCA (bakır krom arsenik), CCB (bakır krom bor), ACZA (amonyaklı bakır çinko arsenik), CC (amonyaklı bakır sitrat), ACQ (bakır quat), CBA (bakır azol), CDDC (bakır dimetilditiyokarbamet) gibi kimyasallardır. Suda çözündürülerek uygulanan bu metal tuzları, empenye işlemi sonucunda odun yapısı ile reaksiyona girerek ya da çökme ile oduna bağlanarak yıkanmaya karşı dirençli hale getirilmektedir (Kartal ve ark. 2006).

Empenye endüstrisinde en fazla kullanılan koruyucular arasında yağlı empenye maddeleri de geniş yer tutmaktadır. Bunlar içerisinde maden kömürünün destilasyonu ile elde edilen kreozot 17. yüzyılın sonlarından beri kullanılmaktadır. Ağır bir kokusu olan kreozot kapalı yerler için uygun olmayıp genellikle açık alanlarda kullanılan ağaç malzemenin empenyesinde kullanılır. Organik çözücülü empenye maddeleri olarak bakır naftanet, çinko naftanet, pentaklorofenol, tributiltinoksit gibi maddeler en çok bilinenlerdendir. Özel amaçlar için kullanılan empenye maddeleri ise ağaç malzemedeki renklenmeyi, ardaklanmayı, yanmayı önleyici ve fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı koruyucu etkisi olan empenye maddeleri olarak kullanılmaktadır. Günümüze kadar yoğun olarak kullanılmış olan empenye maddeleri ve sistemlerinin yıllara göre özet bir listesi Çizelge 1’de verilmiştir (Kartal, 1996).

Çizelge 1. Günümüze kadar kullanılmış emprenye maddeleri ve yöntemleri

Yıllar	Emprenye sistemi ve metotlar
1681	Kreozot
1838	Kreozot / Bethell Dolu hücre metodu
1902	Kreozot / Rueping Boş hücre metodu
1906	Kreozot / Lowry boş hücre metodu
1928	ACC (Asid bakır kromat)
1931	PCP (Pentaklorofenol)
1933	CCA (Bakır krom arsenik)
1939	ACA (Amonyaklı bakır arsenik)
1950	Bor bileşikleri / Daldırma ve difüzyon metotları
1960	Organik çözücülü emprenye maddeleri / vakum metotları
1980	Alkil amonyum bileşikleri
1990	Arsenik ve krom içermeyen emprenye maddeleri

Yeni geliştirilen emprenye tuzları arasında bor bileşikleri, alkil amonyum bileşikleri (quatlar), bakır bazlı sistemler; ayrıca yağlı emprenye maddelerinden izotiazolon, klorotalonil, tiazol, karbamet, triazol, bakır naftenat ve oxine bakır bulunmaktadır (Kartal, 1996). Ahşap koruma endüstrisinde içerisinde ağır metaller, pentaklorofenol, lindan ve kreozot bulunduran ahşap malzeme çeşitli Avrupa ülkeleri standartlarında (EEC, DIS) tehlikeli atıklar olarak sınıflandırılmış ve biomass kategorisine dahil edilmemiştir.

3. Kimyasalların Ahşaptan Serbest Hale Gelmesi ve Çevresel Tehditleri

Ahşap malzemeye emprenye edilen kimyasal koruyucular çeşitli yollarla serbest hale gelebilmektedir. Bunlar genelde aşağıdaki yollarla olabilmektedir;

- Odun yakıldığında küllerle birlikte metal tuzları toprağa ve yeraltı sularına karışabilmektedir.
- Çeşitli dış hava koşullarının etkisi ile yıkanan kimyasal maddeler odundan uzaklaşarak toprağa karışabilmektedir.
- Mekanik aşınmalar, biçme, kesme ve planyalama sonucu oluşan odun tozları ile birlikte ortaya çıkmaktadır. Ayrıca rutubetli ahşap

malzemeden direk temas ile geçmesi de mümkün olabilmektedir (Anon, 2008).

a. Yanma: Emprenyeli odun içindeki metal tuzları kimyasal bağlarla tutulmaktadır. Ağaç malzemenin yakılmasıyla ağır metaller serbest kalmaktadır. Örneğin CCA ile emprenye edilmiş tek bir telefon direği 27 gram arsenik içermektedir. Bu miktar 250 yetişkin insanı öldürmeye yetecek bir miktardır. Tek bir kaşık CCA' lı odun külündeki arsenik öldürücü bir doz içermektedir. Daha da kötüsü arseniğin belirgin bir tadı ve kokusu bulunmadığından temas ya da diğer yollar ile vücuda alınması anlaşılmamaktadır. Yanma ile ortaya çıkan arsenik külü ve gazlarının zehirliliği bilindiğinden dünyada 50'den fazla ülkede CCA ile emprenye edilmiş ahşap malzemenin yakılması yasaklanmıştır (Anon, 2008).

b. Yıkanma etkisi ile uzaklaşma: Bakır, krom, arsenik, çinko ve kalay gibi metal tuzları ahşap malzemenin yapısına çok iyi tutundurulsa da uzun süre ıslak ortam, akarsu veya yağmur etkisinde kalan ağaç malzemeden bu kimyasallar yıkanarak uzaklaşabilmektedir. Şen (2001); çalışmada nemli topraklara ve yağmurlu iklime sahip bahçelerde toprak ile temasta 18 ay süreyle denemeye tabi tuttuğu 30x2x2 cm boyutlarındaki ahşap çitalarda CCA'nın % 2. 4 oranında yıkandığını tespit etmiştir.

c. Mekanik Aşınma: Odun biçildiğinde, zımparalandığında veya çeşitli tornalama işlemlerine tabi tutulduğunda CCA içeren odun tozları ortaya çıkmaktadır. Toprak zonundan çürüyerek boyları kısalmış olan tel direklerin boyutları küçültülerek diğer kullanım yerlerine uygun hale getirilirken talaşlar ile birlikte ortaya çıkmaktadır.

d. Direk Temas: Arsenik içeren koruyucular ile muamele edilmiş çocuk oyun alanlarında kullanılan ahşap malzeme ve toprak ile temas eden çocuklar üzerinde de birtakım riskler olabileceği bazı çalışmalar ile belirtilmiştir. Michael (1998); bahsedilen oyun alanlarında odun ve kum ile direk temas sağlayan çocukların ellerine günlük 7 mikrogram arseniğin bulaşmasının teorik olarak mümkün olabildiği belirtilmiştir.

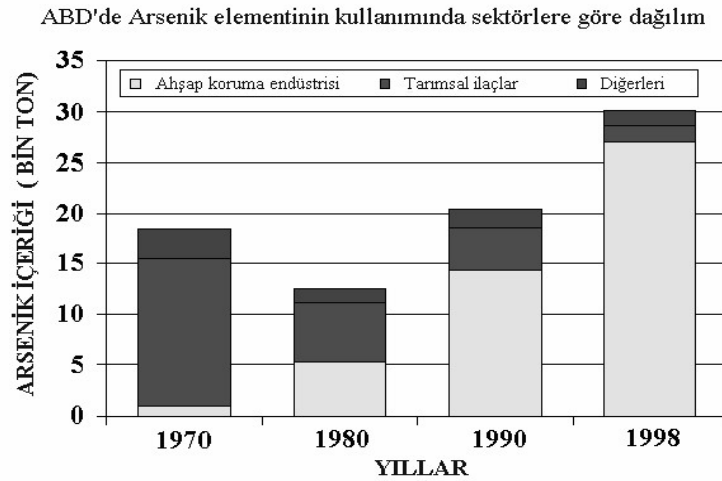
e. Asit Etkisi: Connecticut Agricultural Experiment Station (CAES) tarafından yapılan bir çalışmada CCA ile muamele edilen eski güverteler altında ortalama 76 ppm arsenik konsantrasyonu tespit edilmiştir. Bu miktar 3 ppm'den 350 ppm'e kadar çıkmakta ancak müsaade edilen oran sadece 10 ppm kadardır. Asit yağmurlarının etkisiyle emprenyeli ahşap güvertelerden arseniğin yıkanıp serbest hale gelmesinin daha hızlı olduğu belirlenmiştir (Michael, 1998).

Arsenik tuzları, klorlu ve fenollü bileşenler gıdalardan ve zemin sularından da insan vücuduna yol bulabilmektedir. CCA külü içindeki arsenik toprak içinde yağmur suları ile yıkanarak su kaynaklarına karışabilmekte, insan derisine temas ettiğinde absorbe edilebilmektedir. 1 gram arseniğin 1/20'si iki

aylık bir periyodun üzerinde biriktiğinde ölüme yol açabilmektedir. Su içinde EPA (Enviromental Protection Agency) tarafından belirlenen limit 50 ppb ve oturlan yerlerde önerilen miktar 2 ppb kadardır (Anon, 2008).

Pentaklorofenol emprenye maddesi olarak yıllarca kullanılmış son derece zehirli bir kimyasal madde olup insan derisinden absorbe edilebilmektedir. Klordan dolayı oluşan şiddetli karaciğer tahribatına neden olabilmektedir. İnsan vücudunda toksin birikmesine ve kansere neden olabilmektedir.

Ekonomik, kullanışlı ve çok zehirli olmalarından dolayı 1980'lere kadar klorlu ve florlu bileşenler (pentaklorfenol), 2000 yılına kadar da bakır krom arsenik (CCA) 70 yıla yakın süre kullanılmışlardır. Dünyada en fazla emprenye maddesi kullanan ülkelerden biri olan ABD'nin odun koruma endüstrisinde 2000 yılına kadar CCA kullanma miktarları Şekil 1'de gösterilmektedir. Emprenyeli ahşap malzemenin hizmet ömrünü tamamladığında ağır metaller içeren malzemenin çevresel tehditlerinin ortaya çıkmasıyla gelişmiş ülkelerin çoğunda bu odun koruyucuların kullanımı kısıtlanmış, hizmet ömrü bittiğinde yakılması ve toprağa gömülmesi yasaklamıştır. Bir takım geri dönüşüm prosesleri ile kimyasal koruyucu ağır metal tuzları ahşap malzemeden geri kazanılarak çeşitli endüstrilerde tekrar kullanılmaya uygun hale getirilmektedir (Anon, 2009a).



Şekil 1. Amerika Birleşik Devletleri'nde ahşap koruma endüstrisi ve diğer sektörlerde arseniğin kullanım miktarları (Anon, 2009b).

4. Ahşap Koruma Endüstrisinde Kimyasal İçerikli Çevresel Atıklar

Son yıllarda çeşitli atık türleri ile ilgili tanımlamalar yapılmış, bu tanımlamalarda emprenye edilmiş ve içerisinde ağır metaller, kreozot, PCP vb.

bulunan ağaç malzemeler tehlikeli atıklar olarak EEC ve DIS standartlarında sınıflandırılmıştır. Atık çevre yönetmeliğinin 2006 yılında yaptığı değerlendirmeye göre ağaç malzemedeki kullanılan koruyucu kimyasal atık listesi Çizelge 2 de verilmiştir.

Çizelge 2. Ahşap koruma endüstrisinde atıklar (Anonim, 2006)

Ahşap Koruma Atıkları
Halojen olmayan organik ahşap koruyucu maddeler
Organik olarak klorlanmış ahşap koruyucu maddeler
Organik metal ahşap koruyucu maddeler
Anorganik ahşap koruyucu maddeler
Tehlikeli maddeler içeren diğer ahşap koruyucuları
Başka bir şekilde tanımlanmamış ahşap koruyucuları

Bu listede yer alan koruyucu maddelerin atık olarak değerlendirilmesi için ayrıca emprenye maddeleri içerisinde bulunan zararlı elementlerin U.S halk sağlığı kurumu tarafından belirlenen tolerans limitlerini de aşmaları gerekmektedir.

İçme sularındaki zehirli maddeler için U.S halk sağlığı kurumu tarafından belirlenen tolerans limitleri Çizelge 3’de belirtilmiştir.

Çizelge 3. Emprenye maddelerinin tolerans limitleri

<u>Emprenye Maddesi</u>	<u>Tolerans limitleri (mg/l)</u>
Bakır	0.50
Krom	0.05
Arsenik	0.05
Çinko	1.00
Fenol	0.001
Pentaklorofenol	0.05

Tolerans limitleri, özellikle emprenye işleminin yapılması esnasında, emprenye edilmiş ağaç malzemenin kullanımı evresinde ve kullanım ömürlerini tamamladıktan sonraki dönemlerde önem kazanmaktadır. Bilinen geleneksel metotlarla kirlilikten arındırılması zor olan su kirliliği, bu yönüyle endüstride çözülmesi zor bir problem oluşturmakta ve bunun sonucu olarak kalıcı çevresel sorunların kaynağı haline gelmektedir. Özellikle içerisinde fenolik bileşenler bulunan koruyucu maddelerin litrede 0,001 mg’ı geçmemesi gerekmektedir (Corpit, 1971). Bu değer aşılması durumunda akarsular ve deniz suyunda yaşayan canlılar için oldukça tehlikeli bir durum söz konusu olmaktadır (Anon, 2008). Fakat EPA tarafından yapılan çalışmalara göre bu tolerans limitleri aşılmadığı sürece herhangi bir problem oluşmamaktadır. EPA tarafından yapılan diğer bir çalışmada arsenik ve krom gibi iki zehirli element içeren CCA,

emprenye edilmeden karışım halindeyken çok tehlikeli bir madde olarak canlı yaşamını tehlikeye sokabilmesine karşın, ağaç malzemeye tatbikinden sonra iyi bir kimyasal bağlanma gerçekleştirdiğinden çevresel zararının son derece az olabileceği belirtilmiştir. Schroeder (2008); bütün canlıların yaşamları boyunca doğal arsenikten az veya çok etkilendiklerini, beş değerlikli formdaki arseniğin ise canlılara karşı olan zehirlilik etkisinin çok az olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda arseniğin, normal konsantrasyonlarda zehirli olmadığı, vücuttan atılmasının hızlı olduğu, büyük miktarının böbrekler yardımıyla atılabildiği belirtilmiştir. Bu nedenle CCA ile emprenye edilmiş olan ağaç malzemeler belirlenen tolerans limitlerinde kullanılırsa hem kullanım yerinde hem de kullanım sonrasında canlı yaşamını tehdit etmemektedir (Schroeder, 2008).

Kartal ve Kantay (2006); özellikle CCA emprenye maddesinin piknik masaları ve çocuk oyun grubu elemanlarında kullanımından kaçınılması gerektiğini belirtmişlerdir. CCA emprenye maddesinin ABD, Japonya, Almanya, Fransa, İngiltere, Portekiz, Avusturya, İsveç, Norveç, Slovenya ve Sloveky gibi birçok ülkede kullanımı sınırlandırılmıştır. CCA direkt temas edilen ahşap malzemelerde kullanımı yasaklanmasına rağmen (USEPA 2002; USEPA 2003; WEST 2004) halen Hindistan, Tayland, Zimbabve, G.Kore, Latvia, Costa Rica, Uruguay, G. Afrika Cumhuriyeti, Venezuela, Malezya, Şili, Meksika, Brezilya gibi ülkelerde kullanılmaktadır (Kartal ve Kantay 2006). Bununla beraber ABD'de bina temelleri, otoban konstrüksiyonları, telekomünikasyon direkleri ve deniz içi yapılarda kullanılacak ahşabın emprenyesinde kullanılmaktadır (Lebow, 2004).

5. Emprenyeli Ahşap Malzeme Atıklarının Niteliği ve Yeniden Kullanımı

Emprenye edilmiş ağaç malzemenin ortalama 20-40 yıl arasında hizmet verebildiği göz önünde bulundurulduğunda her yıl önemli miktarda hizmet ömrü bitmiş emprenyeli atık malzeme oluştuğu söylenebilir. Oluşan bu katı atık potansiyeli gün geçtikçe artarak çevresel tehdit oluşturmaktadır (Huang ve Cooper, 2000). Bu konuda Türkiye üzerine yapılmış bir istatistik bulunmamaktadır. Örneğin Fransa'da yapılan bir istatistik 25 milyon adet telefon direğinin kullanımda olduğunu, bunların içinde her yıl yaklaşık 500 bin adedinin hizmet ömrünü tamamladığını belirtmektedir. Ahşap malzemenin emprenye işlemine tabi tutulması ile geri dönüşüm işleminin toplam maliyetlerinin doğal olarak kullanılmasından daha fazla pahalıya mal olduğu da başka bir araştırmada ortaya konulmuştur.

Bu konu üzerine yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda, emprenyeli ahşap atıklarının çevreye verdikleri zararın yanı sıra ekonomik anlamda da büyük kayıplara sebep olduğundan hem çevresel, hem de ekonomik zararların önlenmesi için bazı öneriler ortaya konulmuştur. EPA 1990 yılında hizmet ömrünü tamamlamış emprenyeli telefon ve çit direklerinin katı atık olarak adlandırılmayacağını açıklamış, 1992 ve takip eden yıllarda Washington, California ve Oregon eyaletleri de EPA ile aynı sonuçlara varmıştır. Bu

sonuçlara göre emprenye edilmiş ağaç malzeme, çit direklerinde, istinat duvarlarında, peyzaj uygulamalarında, güvertelerde, iskelelerde ve bu gibi yapı alanlarında tekrar kullanılabilir. Ancak burada unutulmaması gereken bir husus, tekrar kullanıma alınan bu malzemeler kullanılırken bir önceki kullanıma bağlı kalınması gerekir. Yani; daha önceki kullanıma ait dökümanları içeren tüketici bilgi formu ve ürün kullanım kılavuzu dikkate alınmalıdır. Ayrıca son kullanıcının katı atıkları yok etme işlemini gerçekleştirmesi Federal RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) programına göre yapılan TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) testlere dayalı olarak yapılmaktadır. TCLP tarafından tanımlanmamış emprenyeli ağaç malzeme ürünleri atık olarak nitelendirilmemektedir (Anon, 2007).

Emprenye edilmiş odun atığı ile ilgili olarak kabul edilen atık yönetim stratejileri hiyerarşisi (Cooper, 2003) en fazla tercih edilmesi gerekenden en az tercih edilmesi gerekene doğru aşağıda sıralanmıştır (Kartal ve ark, 2006).

- 1- Atık eliminasyonu veya azaltma
- 2- Atığın modifikasyonu
- 3- Atığın tekrar kullanımı
- 4- Atığın geri çevrimi
- 5- Atığın yakılması
- 6- Atığın gömülerek yok edilmesi

Dünyada her sene inşaat sektöründe, limanlarda, tren yollarında ve haberleşme sektöründe emprenyeli ağaç malzemeler kullanım ömürlerini tamamladıktan sonra zehirli madde olarak nitelendirilen ağır metalleri ve odun hammaddesini değerlendirmek amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle hem çevresel anlamda oluşan kaygılar minimuma indirilmiştir, hem de bulunduğu ülke ekonomisine katkı sağlanmıştır.

6. Emprenyeli Ahşabın Yok Edilmesi ve Geri Dönüşüm İşlemleri

Hizmet ömrü bitmiş emprenyeli odun atıkları, geri dönüşüm için büyük miktarda kaynak oluşturmaktadır. Yok etme metotları olarak kullanılan yakma ve toprağa gömme işlemleri riskli ve ekonomik olmayan uygulamalardır. Emprenyeli ahşap malzemenin yakılması işlemi kolay görülse bile, yakılması esnasında oluşan kül içerisinde ağır metallerin bulunması, aynı zamanda uygun bir sıcaklık seçilmediği takdirde zehirli gazların yayılması gibi birçok zararlı etkiler oluşabilmektedir. Toprağa gömerek yok etme işleminde emprenye edilmiş odun atıklarından yıkanma ve topraktaki rutubet vasıtasıyla ağır metallerin uzaklaşıp toprağa ve yeraltı sularına karışması riski bulunmaktadır. Üstelik emprenye edilmiş odun atığının kesilmesi, işlenmesi, yongalanması, liflendirilmesi ve bu atıkların kompozit malzeme yapımında işçilere ve çevreye zarar vermesi de mümkündür (Felton ve De Groot, 1996).

Yok etme işlemindeki uygulamaların meydana getirdiği olumsuz etkilerden dolayı emprenyeli ağaç malzeme içeriğinde bulunan ağır metallerin geri alınması önem kazanmaktadır. Kimyasal, biyolojik veya bunların ikisinin

kombinasyonu şeklindeki yöntemler sayesinde emprenye maddesi odundan uzaklaştırılabilmektedir.

6. 1. Biyolojik Yöntemler

Son yıllarda zehirli maddelerin biyolojik yollardan geri dönüşüm metotları önem kazanmış ve bununla ilgili araştırmalar yoğunlaşmıştır. Biyolojik iyileşme ve biyolojik dönüşüm metotları hidrokarbon içeren karışımların büyük bir oranda dönüşümü ve biriktirilmesi yanında mikrobiyolojik katabolik degradasyonun doğal yolla oluşmasını sağlamaktadır. Bunun için emprenye maddesi aktif elementlerin odundan alınmasında mantarlar, bakteriler ve biyoabsorbant özelliği bulunan çeşitli algler ve bitkiler kullanılmaktadır.

Çeşitli mantar türlerinin koruyuculara karşı dirençli olmalarından dolayı zehirli maddelerdeki ağır metalleri ayrıştırarak zararsız hale getirmeleri prensibinden yola çıkılarak bazı mantar türlerinin emprenyeli ağaçlara uygulanması yoluna gidilmiştir. Odun korumada başarılı bir emprenye maddesi olan kreozotun muamele edildiği ağaç malzemedden çeşitli mantar türleriyle izole edilmesi bu yolla sağlanmıştır (Duncal ve Deveral, 1964)

Önceki yıllarda kullanımına sıkça rastlanılan ve klorofenoller grubuna giren PCP (Pentaklorofenol), kendisine dayanıklı olan Ascomycetes ve Fungi imperfecti ile muamele edilerek içerisinde bulunduğu ağaç malzemedden izole edilmiştir. Ama son yıllarda mantarlarla muamele işleminden ziyade her bir emprenye maddesi için çeşitli enzimler geliştirilip bu enzimlerin oduna fikse edilmesiyle izolasyon sağlanmıştır. PCP çeşitli oksidatif enzimler (peroksidaz v.b) sayesinde klor'un izole edilmesiyle polimerleştirilerek enzimatik deltoksifikasyonu sağlanmaktadır. En etkili enzim üreticisi olarak beyaz çürüklük mantarları tarafından üretilen enzimler sayesinde yüksek bir redoks potansiyeli üretilerek enzimatik yanma olayı meydana getirilmektedir (Bumpus ve ark, 1985).

6.2.Kimyasal yolla ağır metallerin geri alınması

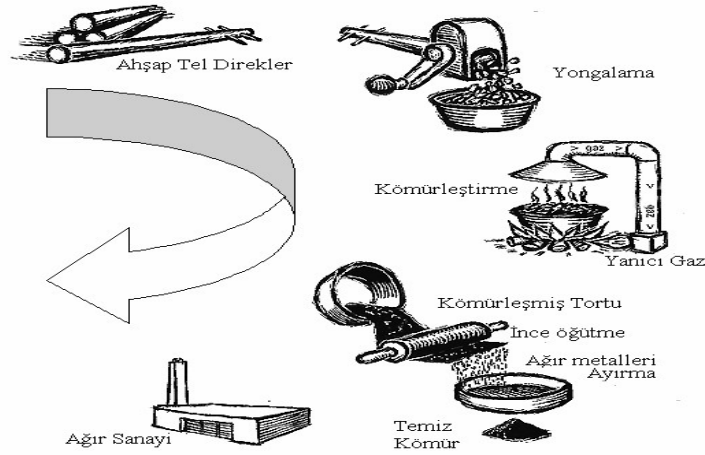
Odun içerisinde lignine ve selüloza bağlı halde bulunan veya hücre çeperi içerisinde çökmüş halde bulunan emprenye maddelerini çözmek amacıyla çeşitli organik, inorganik asitler ve diğer kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Emprenye edilmiş odun, asitlerle ekstraksiyona uğratarak içerisinde oluşmuş fiksasyon reaksiyonları sonucu suda çözünmez forma dönüşmüş ağır metal bileşikleri suda çözünebilir forma dönüştürülmektedir (Felton ve De Groot, 1996). Son dönemlerde, geçmişte kullanılmış ve kullanım ömürlerini tamamlamış olan CCA emprenye maddesi ile emprenye edilmiş atıkların miktarındaki artışla beraber bunların yok edilmesine ilişkin çeşitli kimyasal maddeler kullanıma alınmıştır. Bu kimyasal maddelerden, sitrik asit, asetik asit, formik asit, oksalik asit, fumarik asit, glukonik asit, ve malik asit gibi organik

asitler ile sülfürik asit, hidroklorik asit, nitrik asit gibi mineral asitlerin CCA bileşenlerini odundan uzaklaştırdığı görülmüştür (Taylor ve ark., 2001).

Kartal ve Clausen (2001); CCA ile emprenyeli odunun kimyasal yöntemle ekstraksiyonunun uygunluğu üzerine yaptıkları çalışmalarında asitleri kullanmışlardır. Sitrik asit, asetik asit, formik asit, oksalik asit, fumarik asit, tartarik asit, glukonik asit ve malik asit gibi organik asitler ile sülfürik asit, hidroklorik asit, nitrik asit ve fosforik asit gibi mineral asitlerin CCA bileşenleri olan bakır, krom ve arseniği odundan uzaklaştıracaklarını belirlemişlerdir. CCA ile emprenyeli odunun asit ile ekstraksiyonu sonucu CCA bileşenleri ile odun arasında oluşan fiksasyon prosesini tersine çevirerek elementleri suda çözülebilir forma dönüştürmüşlerdir. Etilendiamintetraasetik asit (EDTA), nitrilotriasetik asit (NTA) ve oksalik asit (OA) gibi kimyasallar metal tuzlarına kenetlenerek yıkanıp uzaklaştırılma işlemlerinde kullanılmaktadır. EDTA'nın son derece stabil komplekslerle metal iyonlarını bağlama yeteneği, çözülmez metal bileşiklerinin çözünmesi ve kirlenmiş yüzey veya topraktan uzaklaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır (Thomas ve ark., 1998; Abumaizar ve Smith, 1999; Kartal ve Clausen, 2001).

6.3. Emprenyeli Ağaç Malzemenin Geri Dönüşümünde Isıl İşlem

Kömürleştirme İşlemi (Chartherizasyon): Bu işlem emprenyeli ağabın geri dönüştürülmesi ve ağaç malzeme atık ürünlerinin volarizasyonunu (gaz halinde geri kazanma) mümkün kılmaktadır. İşlemden emprenyeli ağaç malzemenin içerdiği kimyasal koruyucuların türüne bakılmaksızın, yüksek kaliteli ve temiz odun kömürüne dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Şekil 2 de gösterilen bu yöntemin, çevre için güvenli ve risksiz olması, kolay uygulanması, ekonomik ve teknik açıdan güvenilir olması gibi faydalı yönleri bulunmaktadır.



Şekil 2. Hizmet ömrünü tamamlamış emprenyeli ahşap tel direklerin kömürleştirme ile geri dönüşüm işlemi (Anon, 2009a)

Yapılan testlerden alınan sonuçlara göre, işlem boyunca ortaya çıkan ağır metallerin % 99.92'si absorbe edilebilmektedir. Proseste yalnızca ağır metallerin ayrılması değil, kendi arasında birbirlerinden ayrılması da yapılmaktadır. Bu işlem öğütme, havasız ortamda yakma (Spesifik termal muamele) ve ayrıştırma olmak üzere üç ana aşamadan meydana gelmektedir;

Geri dönüşüm işlemine uygun hale gelebilmesi için emprenyeli ahşap malzeme içerdiği atık ürünler ile birlikte öğütülmektedir. Bu işlem, ağaç malzeme atıklarının boyutlarının küçültülmesi ve üniform yapıya sahip olması için yapılmaktadır. Yongalama işlemiyle birlikte testere talaşı oluşturmadan aynı boyutta yonga oluşacak şekilde işlem gerçekleştirilmektedir. Yongalanmış olan ağaç malzemenin bir reaktör kazanı içerisinde ısıtılması olayına kömürleştirme (chartherizasyon) adı verilmektedir. Temel prensip ısıtma işlemi ile gaz haline geçen uçucu elementler hızlı bir soğutma ile yoğunlaştırılarak toplanmakta ve bu işlem esnasında oluşan mineral elementlerin karbon miktarınca zengin kömür tipi olarak geriye kalması sağlanmaktadır. Reaktörün alt kısmından alınan odun kömürü kalıntısı ise soğutulup, sıkıştırılarak diğer aşamada kullanılmak üzere depolanmaktadır. Elde edilen sıkıştırılmış karbon kalıntısı içerisinde bulunan ve kullanımı sırasında kirliliğe yol açacak olan ağır metallerden arındırılması için bir ayrıştırma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu uygulama için karbon kalıntısı hava basıncı yardımıyla çalışan bir santrifüj içinde karbon ve metallerin sahip oldukları yoğunluk farkları yardımıyla birbirlerinden ayrıştırılmaktadır.

6.3.1. Kömürleştirme işleminin önemli diğer karakteristikleri Hızlı Soğutma: Hızlı soğutmanın amacı, yanma işleminden sonra reaktörü terk eden gazın etkilediği elementlerin kısa bir sürede yoğunlaşmasını sağlamaktır.

Gazların Tekrar Dolaşımı: Yongaları yakmak için kullanılan gazların tekrar dolaşımının sağlanması gerekmektedir. Eğer gazların geri dönüşümü sağlanmaz ise işlemin maliyeti artmaktadır. Bu gazlar hidrokarbonlar ile yüklüdür ve sıcak gaz jeneratöründe yakıt olarak kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık seviyelerinin birleşmiş etkileri ve reaktörden gelen gazlarda bulunan yüksek seviyedeki hidrokarbonların yardımıyla sistem kendisini otomatik yanma seviyesinde tutmaktadır. Bütün geri dönüştürülen gazlar, tekrar kullanılmadan veya yok edilmeden önce, kurallara göre iki saniye süreyle 850 °C üzerinde yakılmaktadır.

Yongalanmış olan ağaç malzemenin reaktördeki seviyesi, reaktörün alt kısmından çıkan odun kömürü kalıntısının üretim oranına göre devamlı olarak kontrol edilmeli ve beslenmelidir. Daha sonra kalıntı

odun kömürü soğutulup, sıkıştırılarak diğer aşamada kullanılmak üzere depolanmaktadır.

Ağır Metallerin Ayrıştırılması

Amaç: Chartherizasyon işleminin tamamlanmasından sonra, elde edilen kalıntı karbon, işlemin başlangıcındaki ağaç malzemenin içerisindeki bütün mineralleri içermektedir. Kalori değeri bakımından çok zengin olmasına rağmen, CCA ile emprenye edilmiş olan ağaç malzemenin elde edilen bu odun kömürü bu şekilde kullanılmayıp pazara da sunulmamaktadır. Bu odun kömürünün kullanılması için kesinlikle içerisinde bulunan ve kirliliğe neden olan maddelerin ayrıştırılmaları gerekmektedir. Ancak bu işlemden sonra kullanılabilir temiz odun kömürü elde edilebilmektedir. Kirliliğe yol açan elementler direklerin DIS normlarına göre karakterize edilmelerine neden olmaktadır. Kirliliğe neden olan ürünlerin mümkün olduğunca en aza indirgenmeleri gerekmektedir ki temel atık olarak kabul edilebilsinler. Yeniden temiz odun kömürü elde bu sistem, tükettiğinden daha fazla enerji üretmektedir.

Kullanılan Metot: Termal bölümde elde edilen sıkıştırılmış karbon kalıntısı, bu uygulama için özel olarak geliştirilmiş olan yuvarlak öğütücüye gönderilir. Kömürün içerisinde bulunan veya etrafını çevreleyen metal parçacıklarının ayrıştırılması için kömür tekrar öğütülüp elenmektedir. Materyal tatmin edici bir büyüklüğe kadar küçültüldükten sonra sonra, hava basıncıyla çalışan bir elekten geçirilir. Buradan hava basıncıyla çalışan santrifüje taşınır. Hava basıncıyla çalışan santrifüjün içerisinde dönen havanın vasıtasıyla, karbon ve metaller santrifüjün dış duvarlarına çarparlar. Fakat karbon ve metallerin aralarındaki yoğunluk farkından dolayı, karbon merkezde kalır ve bir konveyör vasıtasıyla dışarı alınır. Ağır metaller santrifüjün altında birikir ve çok az bir yüzde ile karbon ihtiva ederler. Fakat esas temiz, saf karbon filtre yardımıyla geri kazanılır.

Ayrıştırmanın Sonuçları

- 1.Yüzde yüz saflıkta temiz odun kömürü elde edilmiştir.
- 2.Saf odun kömürü kül oluşturmaz.
- 3.Kalori değeri 6500 kcal/kg olarak hesaplanmıştır.
- 4.Bu odun kömürü saflığından ve homojen yapısından dolayı, ağır sanayi endüstrilerinde enjeksiyon için rahatlıkla kullanılabilir.
- 5.Elde edilen odun kömürü sistemde kullanılan hizmet ömrü bitmiş olan emprenyeli ağaç malzemenin kütlelerinin %25' i kadardır.
- 6.Elde edilen temel atık ise hizmet ömrü bitmiş olan emprenyeli ağaç malzemenin kütlelerinin % 3'ü kadardır.

7. Sonuçlar

Emprenye maddeleri odun yapısı ile reaksiyona girerek veya çökelerek oduna bağlanmakta (fiksasyon), böylece yıkanmaya karşı dirençli hale gelmektedir. Ayrıca basınçlı emprenye yöntemleri emprenye maddesinin odunun hücre çeperlerine ve boşluklarına derinlemesine nüfuzunu sağlamakla yıkanmasını güçleştirmektedir. Bu etkili ve yıkanmaya dirençli emprenye işlemlerine istinaden çeşitli çevresel kuruluşlar (EPA, RCRA) bilimsel çalışmalarıyla toplum üzerindeki olumsuz kanının kayda değer olmadığını ortaya koymuşlardır. Emprenye maddelerinin içerisindeki zehirlilik etkisine sahip ağır metallerin belirlenen tolerans limitleri içerisinde kullanımında canlı yaşamına zararlı bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Diğer taraftan yapılan çeşitli araştırmalar emprenyeli ahşap malzemenin hizmet ömrü bittikten sonra katı atık olarak ortaya çıktığında doğacak zararlarına dikkat çekmektedirler. İlkel yok etme yöntemleri ile kontrolsüz işlem ve kullanımların çevresel zararlara yol açabileceği uyarısında bulunmaktadır. Odun koruyucu kimyasallar içeren atık ahşap malzeme çevre ve insan sağlığını tehdit edebilecek toksik kimyasallar içerdiğinden sıradan bir atık olarak görülmemelidir. Emprenye edilmiş odunlar üzerinde kullanım emniyeti hakkında bilgi veren etiketlerin mutlaka bulundurulması gerekmektedir. Normal atık sınıflamasına girmeyen emprenyeli ahşap malzemenin tekrar değerlendirilmesinde malzemelerin bir önceki kullanımına ait dokümanları içerecek şekilde tüketici bilgi formu ve ürün kullanım kılavuzu ile birlikte alıcılara sunulması gerekmektedir. Emprenye edilmiş ağaç malzeme bilgi formu ve kılavuzu ile birlikte çitlerde, istinat duvarlarında, peyzaj uygulamalarında, piknik masalarında, güvertelerde, iskelelerde ve benzeri alanlarda tekrar kullanılabilir.

Ülkemizde halen hizmet ömrünü tamamlamış atık telefon direkleri çeşitli ihaleler ile halka satılmaktadır. Bu emprenyeli ahşap malzemelerin içerdikleri kimyasallar ve çevresel tehditleri hakkında yeterli bilgiye sahip olmayan alıcılar bu malzemeleri yeniden boyutlandırıp, ihtiyaçlarına göre değerlendirmekte hatta yakıt olarak dahi kullanmaktadır. Bu konuda ülkemizde acil olarak yerel ve ulusal düzenlemelerin yapılarak gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Kaynaklar

- Abumaizar, R.J., Smith, E.H. 1999.** Heavy metal contaminants removal by soil washing. *Journal of Hazardous Materials*, B 70:71-86
- Anonim 2006.** Atık Türleri, Atık çevre yönetmeliği 30-31
- Anonymous 2007.** RCRA (Resource Conservation and Recovery Act), TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure), Ohio, USA
- Anonymous 2008.** Origen Biomedical, Arsenic and CCA Pressure-Treated Wood, 2525-Hartford, Rd. Austin, Texas, USA

- Anonymous 2009a.** <http://www.chartherm.com>
- Anonymous 2009b.** <http://www.eoearth.org/article/Arsenic> Use in the United States
- Bozkurt, Y., Göker, Y., Erdin, N., 1993.** Emprenye Tekniği, İÜ Yayınları, ISSN: 3779/425, 429 s.
- Bumpus, JA., Tien, M., Wright, D., Aust, SD., 1985.** Oxidation of persist environmental pollutants by a white-rot fungus. *Science* 228., 1434.
- Cooper, PA., 2003.** A review of issues and technical options for managing spent CCA treated wood. Presented at American wood preservation association annual meeting, Boston
- Corpit, R.A. 1971.** The wood preservation industry's water pollution control responsibility in Georgia and Neighboring states In: Proceeding of conference on pollution Control in the Wood-preserving industry (W.S. Thompson, ed.)Mississippi State Univ., State College.19-35,.
- Duncal, CG., Deveral, FJ., 1964.** Degradation of wood preservatives by fungi . *Appl. Microbiol.* 12, 57-62.
- Engür, MO., Kartal, SN. 2001.** Orman ürünleri endüstrisinde çevre kirliliği ve kontrolü, İÜ Orman Fakültesi Dergisi, Seri B. S1 (2), 43-52.
- Felton, CC., De Groot. RC. 1996.** The Recycling Potential of Preservative Treated Wood. *Forest Products Journal* 46-7/8, 37-46
- Huang, C., Cooper, PA. 2000.** Cement-bonded particleboards using CCA-treated wood removed from service. *Forest Products Journal*; 50: 49-56.
- Kartal, N., 1996.** Günümüzde kullanımı önem kazanan emprenye maddeleri, İÜ Orman Fakültesi,"Bahçeköy, İstanbul.
- Kartal, SN., Clausen, CA., 2001.** Leachability and decay resistance of particleboard made from acid extracted and bioremediated CCA-treated wood. *International Biodeterioration and Biodegradation.* 47, 183-191.
- Kartal, SN, Engür, MO, Köse, C., 2006.** Emprenye maddeleri ve emprenye edilmiş ağaç malzeme ile ilgili çevre problemleri, İÜ Orman Fakültesi Dergisi, 56(1), 17-23.
- Kartal, SN., Kantay, R., 2006.** Emprenye maddelerinin piknik masaları ve çocuk oyun alanı elemanlarında kullanımı, İÜ Orman Fakültesi Dergisi, 56(2), 43-51.
- Lebow, ST., 2004.** Alternatives to chromated copper arsenate (CCA) for residential construction. In: Proceedings of Environmental Impacts of preservative treated wood Conference, Orlando,USA.
- Michael, AK., 1998.** Using Treated Wood Around The Garden, Center for Environmental Toxicology, Michigan State University, USA
- Schroeder, HA., 2008.** Scientists Endorse CCA Treated Wood as Environmentally Responsible, Dartmouth Medical School, Canada
- Şen, S., 2001.** Bitki Fenollerinin Odun Koruma Etkinliklerinin Belirlenmesi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 300 s., Zonguldak

- Şen, S., Hafizoğlu, H., 2001.** Ahşap Korumada Kullanılan Bazı Kimyasalların Çevreye Etkileri, Ulusal Sanayi – Çevre Sempozyumu ve Sergisi, 753-759, Mersin.
- Taylor, A., Cooper, PA., Ung, YT. 2001.** Effects of deck washes and brighteners on the leaching of CCA components. *Forest Products Journal*, **51: 69-72**
- Thomas, RAP., Lawlor, K., Bailey, M., Macaskie, L.E. 1998.** Biodegradation metal-EDTA complexes by an enriched microbial population. *Applied and Environmental Microbiology*, 64:1319-22.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2002.** Whitman Announces Transition from Consumer Use of Treated Wood Containing Arsenic. Headquarters Press Release..
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2003.** A Probabilistic Risk Assessment for Children Who Contact CCA-Treated Play sets and Decks. Draft Preliminary Report. Office of Pesticide Programs, Antimicrobials Divisi