

ODUN KOMPOZİTLERİNİN KORUYUCU MADDELERLE EMPRENYE EDİLEBİLME OLANAKLARI

Engin Derya GEZER
Ümit C. YILDIZ
Ali TEMİZ
Sibel YILDIZ

KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61080 TRABZON

Geliş Tarihi: 07.01.2002

Özet: Son yıllarda kullanımında hızlı artışlar gözlenen odun kompozitlerinin kullanım yerlerine bağlı olarak (yonga ve lif levha, tabakalı ve lamine ağaç malzemeler vb.) odun tahripçisi organizmalara karşı koruyucu kimyasal maddelerle emprenye edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada; odun kompozitlerine koruyucu maddelerin nasıl ilave edileceğinin incelenmesi, bu emprenye maddelerin tutkallamaya olan etkisinin araştırılması ve koruyucu kimyasal maddeler ile muamele edilen odun kompozitlerinin üretiminde en iyi yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Odun Kompozitleri, Emprenye, Emprenye-tutkal ilişkisi

IMPREGNATION OF WOOD COMPOSITES

Abstract: The production of wood based structural panel and lumber composites become to increase since the wood supply is changing due to the limit of larger dimension solid sawn lumber and insufficient solid woods with enough high strength as well. As we substitute wood composites for solid wood in protected application, these composite must show resistance to wood-destroying organisms such as fungi and insects. Accordingly, the exterior structural composites is required to be treated with preservatives.

This paper provides an understanding of preservative treated wood composites. The objectives of this paper includes studying how to add preservative to wood composites, examining additive effect on glue-line and evaluating the best method of manufacturing wood composites treated with preservatives.

Keywords: Wood composites, wood preservatives, impregnation of wood composites, adhesive-preservatives interaction.

1. GİRİŞ

Son yıllarda odun kompozitlerinin (yongalevha, lif levha, tabakalı ve lamine ağaç malzemeler vb.) üretiminde artış gözlenmektedir. Bunun temel nedeni geniş boyutlu ve yeterli direnç değerlerine sahip ağaç malzeme elde etme düşüncesidir. Örneğin, Kuzey Amerika'da lamine ağaç malzemedan üretilen yapı elemanları, geniş boyutlu ahşap yapı kerestelerinin yerine kullanılmaktadır (1). Dış ortamda kullanılacak odun kompozit malzemelerin, mantar ve böcek gibi odun tahripçisi organizmalara karşı korunması gerekmektedir. Dolayısıyla, bu kompozit malzemelerin koruyucu kimyasal maddelerle emprenye edilmesi gerekmektedir.

Odun kompozitlerinin koruyucu maddelerle muamelesi; üretim sırası veya sonrası biyosit, tutkal veya diğer katkı maddelerinin eklenmesi sırasında gerçekleştirilebilir. Örnek olarak, laminat ve ağaç malzemeler tutkallama veya son aşama öncesinde muamele edilebilirler (2).

Bununla beraber koruyucu maddelerle muamele; odunun kendi direncini ve yapışma direncini azaltarak kompozit malzemenin direnç özelliklerinde olumsuz bir etkiye neden olabilir. Suda çözünen koruyucu maddelerle emprenye odun kompozitlerinin kullanımında iki önemli sakınca görülebilir. 1988 yılında CCA ile muamele edilmiş güney çamı odun kompoziti üretiminde kullanılamamıştır (3). Bunun iki temel nedeni vardır. Birincisi; yapışma sonrası suda çözünen koruyucularla muamele edilen ürünlerde çarpılma ve çatlaklar gibi şiddetli olumsuzluklar gözlemlenmesidir. İkincisi ise; yapışma öncesi kullanılan koruyucu maddede bulunan kimyasalların reaksiyona girerek yapışmayı etkilemesidir.

Sonuç olarak; koruyucu kimyasal maddelerle muamele edilen odun kompozitleri yapısal elemanlarda özellikle aranan yapışma direnci şartlarını sağlayamamaktadır (3).

Bu çalışma; odun kompozitlerinin koruyucu kimyasal maddelerle emprenyesine ilişkin mekanizmanın anlaşılmasını sağlamak üzere aşağıdaki amaçlara yönelik olarak gerçekleştirilmiştir.

1. Odun kompozitlerine koruyucu maddelerin nasıl ekleneceğinin incelenmesi,
2. Kullanılan emprenye maddelerinin tutkallamaya olan etkisinin irdelenmesi,
3. Koruyucu kimyasal maddeler ile muamele edilen odun kompozitlerinin üretiminde en iyi yöntemin belirlenmesi.

2. ODUN KOMPOZİTLERİNİN KORUYUCU KİMYASAL MADDELERLE EMPRENYE EDİLMESİ

2.1. Koruyucu Maddelerle Emprenye

Masif malzeme koruyucular ile emprenye edildiği zaman kimyasal maddeler genellikle odunun dış kısmını korumaktadır. Koruyucu kimyasal maddelerin dış kısımdan öze kadar uzanan kısımlara nüfuz etmesi zordur. Bununla birlikte, masif ve kompozit malzeme karşılaştırıldığında; kompozit malzemelerde koruyucu kimyasal maddeler teorik olarak daha yeknesak bir dağılım göstermektedir.

Odun kompozitlerinin koruyucu kimyasal maddelerle emprenyesi üretim öncesi ve üretim sonrası olmak üzere iki kategoride değerlendirilecektir.

2.1.1. Üretim Sonrası Emprenye

Kompozit malzemenin üretimini takiben basınçlı yöntemle emprenye edilmesi iki önemli sakınca doğurmaktadır. İlk olarak, kompozit malzemenin kalınlığında bir artış olacak ve bu malzemenin yeniden kurutulması gerekecektir. Kenneth ve ark. (1) üretim sonrası muamelenin boyut stabilizasyonu, dayanım ve sertlikte bir azalmaya neden olabileceğini belirtmektedir. Diğer yandan, koruyucu kimyasal maddelerin uygulanması için gerekli emprenye tesisatının kurulması gerekmektedir. Bu durumda, ürün maliyetleri artacak ve kompozit malzemelerin masif odun, plastik, demir ve diğer malzemeler ile olan rekabeti azalacaktır.

2.1.2. Üretim Öncesi Emprenye

Koruyucu maddelerin kompozit malzemelerin üretimi sırasında eklenmesi mümkündür. Koruyucu maddelerin eklenmesi, güçlü fungusitlerin karıştırma sırasında katılması veya karıştırma öncesi tutkaldaki çözündürülmesi yoluyla yapılabilir (4).

Laks ve Palardy (5) odun kompozitlerin özellikle etiket veya yönlendirilmiş yongalevhalarla koruyucu kimyasal maddelerin katılması konusunda birçok yöntemi belirtmişlerdir:

1. Koruyucu maddelerle muamele kurutma öncesi veya sonrası yongalara püskürtme şeklinde veya silindirme sistemiyle yapılabilir,
2. Koruyucu kimyasal maddeler tutkallarla veya vakslarla karıştırılabilir,
3. Koruyucu kimyasal madde karışımları yongalara püskürtülebilir,
4. Yongalar karıştırıcıda kimyasal madde ile karıştırılabilir,
5. Güçlü koruyucu maddeler karıştırma öncesi kuru yongalara hemen uygulanır daha sonra karıştırıcıda yongalar ile beraber karıştırılabilir.

Bu yöntemler hem yongalevha hem de liflevha üretiminde uygulanabilir. Çünkü her ikisinde de küçük boyutlu odun parçaları kullanılmaktadır.

Odun kompozitlerinin üretimden önce koruyucu maddelerle işleme tabi tutulması bazı avantajlara sahiptir. Kompozit malzemenin ön koruma işlemine tabi tutulması son ürünün maliyetlerinde azalmaya neden olmasının yanısıra; diğer masif malzemeye göre koruyucu madde yüzey kısımlarda kalmadığı için ürün tüm kalınlığı boyunca koruyucu işleme tabi tutulmuş olmakta ve daha kaliteli bir malzeme üretimine yol açmaktadır (5). Bununla birlikte, ön koruma işlemin sakıncası; kullanılan koruyucu maddelerin tutkalın bağlanma özelliklerinde olumsuz bir etkiye sahip olmasıdır. Ayrıca koruyucu madde pres süresi boyunca (5).

2.2. Koruyucu Maddelerle Emprenye Edilen Odun Kompozitlerinin Özellikleri

Elde edilen kompozit malzemenin özellikleri kullanılan koruyucu maddelerin ve yapıştırıcının özelliklerine göre değişebilir. Laks ve Palardy'nin (5) çalışmasında, en çok kullanılan yöntemin tutkal veya vaksle karıştırma olduğu belirtilmiştir. Fakat tutkalla koruyucu maddenin karıştırılması tutkalın bağlanması ve aktif kimyasal maddenin etkinliğinin azalması gibi sorunlara yol açabilir. Koruyucunun vaksle ile karıştırılması güvenlidir, fakat wax tutkallar kadar homojen dağılmadığı için koruyucu maddeler homojen dağılım göstermeyebilir (6). Bu da koruyucunun etkinliğini azaltabilir. Laks ve Palardy (6) termisit ve klor bileşiği içeren etiket yongalevhaların özelliklerini araştırmışlar ve kimyasal koruyucu maddelerin yongalara doğrudan eklenmesi durumunda levhaların direnç özelliklerinde ve suya karşı gösterdikleri direnç değerlerinde azalmalar olduğu bulunmuştur.

Barnes ve Amburgey (2) biyositlerin eklenmesinin neden olacağı problemleri araştırmışlar ve bazı biyositlerin gerekli pH'ı değiştirerek tutkalın yapışmasını engelleyebileceğini belirtmişlerdir. Örnek olarak; fenol formaldehite boratın ilavesi yapışmayı engellemiş, dolayısıyla bu biyositlerle muamelede izosiyanatların veya diğer tutkalların kullanılması gerektiği bildirilmiştir (5). Barnes ve Amburgey (2), bir çok biyositin ısıya duyarlı olması nedeniyle sıcak pres şartlarının biyositlerin tutunmasını azaltabileceğini belirtmişlerdir. Laks ve ark. (1988) borat ile işlem görmüş levhalar üzerinde yaptıkları araştırmalarda elastikiyet modülünde yüksek oranda azalmalar belirlemişlerdir. Elastikiyet modülündeki azalmanın levhaların yapışma direncindeki azalmadan çok odunun iç yapışma direncindeki azalmalardan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Levha boratla muamele edilip kurutulduktan sonra daha kırılabilir hale gelmektedir. Draganov (8) bu olayın iki sebebinin olabileceğini belirtmiştir.

1. Odun hücrelerindeki kristal oluşumu,
2. Yonganın yeniden kurutulması .

Bununla beraber Laks ve ark. (7) daha fazla sebep olabileceğini ve direnç değerlerindeki azalmanın odun ile borat arasındaki bazı etkileşimlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Sözü edilen kristal oluşumdan bir başka açıklama, yongalardaki selüloz birimleriyle borat iyonları arasındaki çapraz bağlanmalar olabilecektir. Borat iyonları, selülozdaki önemli fonksiyonel gruplar olan 1,2-diollerle kolayca bağ yapmaktadır.

2.3. Bağlanma Özellikleri Üzerine Etkileri

2.3.1. Tutkallar ile Koruyucu Madde Arasındaki Etkileşim

Kimyasal koruyucu maddelerin, kimyasal bağlarla etkileşime girmesi önemlidir. Suda çözünebilen borat fenil formaldehit ile etkileşime girerek daha zayıf bir tutkal bağına neden

olmaktadır (7). Bunun temel nedeni; boratın bir hayli polar olan su içeriğine sahip fenolik tutkallarda çözünebilecek olmasıdır. Çözünmüş borat reçinenin pH'ını değiştirerek sertleşmeyi engellemektedir. Vick ve ark. (9), fenolik tutkalların boratın etkisiyle jelleşmesi sonucu ve boratın tutkalın ön bir sertleşmeye sebep olması ve odunun diğer yüzeyine penetre olmamasından dolayı zayıf yapışma direnci meydana gelebileceğini belirlemişlerdir. Kenneth ve ark (1) sodyum boratın fenol formaldehit tutkalıyla uyumsuz olmasından dolayı LVL üretiminde direnç ve sertlik özelliklerinin düştüğünü saptamışlardır.

Olumsuz etkiler boratın az kullanımıyla veya suda çözünürlüğü düşük olan borat kullanımıyla azaltılabilir. Suda çözünürlüğü düşük olan bu boratlara örnek olarak çinko borat ve susuz boraks verilebilir (10). Bu sorunu çözenin diğer bir yolu ise fenol formaldehit yerine polimerik difenilmetan diisosiyanat kullanmaktır (7). İzosiyanat tutkalının özellikleri fenol formaldehit tutkalından çok farklıdır. İzosiyanat tutkalları polar değildir ve suda çözünmezler. Borat bileşiği izosiyanat tutkallarının içerisine kolayca nüfuz edemeyeceğinden direnç özelliklerinde olumsuz etkisinin olmayacağı düşünülmektedir (7).

Bununla birlikte koruyucu madde olarak triazol kullanıldığında, tetraaminler izosiyanat reaksiyonunda katalizör olmakta ve böylece tutkal ile emprenye maddesi harmanlanmadan önce karıştırıldığından polimerleşmeyle birlikte tutkalın ön sertleşmesi sorunu ortaya çıkmaktadır (6, 11).

2.3.2. Suda Çözünmeyen Emprenye Maddesi Bileşenlerinin Tutkalın Yapışma Direncini Engellemesi

Diğer bir zayıf bağlanma durumu da şu şekilde söz konusu olabilir. Eğer çözünmeyen emprenye bileşenleri katılırsa bu maddeler yonga yüzeylerinde kalacaktır. Levha taslağı içindeki yonga yüzeyinin artmasından dolayı tutkalın bağlanma etkinliği azalır (5).

Koruyucu sistemlerde, çözünmeyen bileşenlerden biri de metal tuzlarıdır. Metal tuzları, fenolik reçine ile etkileşime neden olmaktadır. Lamine ağaç malzemeler (LVL) üretiminde fenol formaldehite ACQ (Amonyum/bakır/kuat) eklendiği zaman , bu malzemeler düşük odun özellikleri göstermektedir (1). Krom içeren koruyucu maddeler sıcak ve soğuk pres sistemlerinde kullanılan ticari tutkallarla önemli oranda etkileşime girmektedir (3).

2.3.3. Emülsiyonun Etkisi

Emülsiyon halindeki koruyucular, temel olarak suda çözünmeyen fakat organik çözücülerde çözünen organik bileşiklerdir. Koruyucu madde emülsiyon haline getirilerek su yardımıyla oduna verilebilir. Bununla birlikte, kurutmada, polar olmayan ve suda çözünmeyen koruyucu madde atıkları hücre lümeninin tamamen doldurarak fenol formaldehit tutkalının polar olan hücre çeperinin selülozik yapısıyla bağ kurmasını fiziksel olarak engellemektedir. Ayrıca kalıntı madde içindeki yüzey gerilimini azaltıcı gruplar bağlantı yerlerinin zayıflamasına sebep olmaktadır. Yüzey gerilimini azaltıcı maddeler, viskozitesini azalttığı için fenol formaldehit tutkalı daha derinlere nüfuz etmektedir (12).

2.3.4. CCA Emprenye Maddesi ile Tutkallar Arasındaki Etkileşim

Bakır/krom/arsenik (CCA) en fazla kullanılan emprenye maddelerindedir. CCA fenolik bazlı tutkallarla kimyasal bağ oluşumu yoluyla etkileşime girmektedir. Vick ve Kuster (13), Vick ve Christiansen (3) CCA ile fenol formaldehit arasında meydana gelen bu olumsuz etkileşimin üç muhtemel nedenini belirtmişlerdir.

1. Metaller hem kimyasal hem de fiziksel olarak hücre çeperinin lignoselülozik bileşenleri ile hem kimyasal hem de fiziksel olarak etkileşime girer. Bu metal iyonları polar olan odun bileşenleri ile tutkallar arasında moleküler seviyede etkileşim kuvvetlerini sınırlandırmaktadır.
2. CCA emprenye maddesinin yüksek pH değeri odun bileşenlerini hidrolize ederek direncinin azalmasına neden olmaktadır.
3. Fikse olmamış Cr^{+6} , Cr^{+3} , Cu^{+2} ve As^{+5} gibi metal iyonları tutkallarla etkileşime girmekte, dolayısıyla fenol formaldehit reçinesinin sertleşmesini geciktirmektedir.

Asidik CCA maddesi odunla etkileşime girdiğinden, iyon değişimi metaller ile odun arasındaki ve absorpsiyon reaksiyonundan dolayı pH aniden yükselir. pH maksimum düzeye yükselirken Cu^{+2} 'nin lignin ve selüloza fiksasyonu gerçekleşir. Krom arsenat bileşiği lignin ve selüloz ile birleşirken, $Cr_2(OH)_4CrO_4$ bileşiği selülozla tepkimeye girer. Odunla reaksiyondan sonra, CCA'nın %95'i $CuCrO_4$ ve $CrAsO_4$ 'ten oluşur. Tüm Cr^{+6} Cr^{+3} 'e indirgenir ve sonuçta $CrAsO_4$, $Cr(OH)_3$ ve $Cu(OH)CuAsO_4$ haline gelir. Enerji Dispersive Spektrometresi ile yapılan incelemede bakır, krom ve arsenik örnek yüzeylerinde ve bu metaller birleşmiş olarak depozit halde bulunmuştur.

Araştırmacılar CCA ile emprenye edilmiş odun kompozitlerinin zayıf bağlanmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Fenolik reçineler polar hidroksil gruplarınca zengindir. Polar hidroksil grupları lignoselülozik maddelerin hücre çeperlerindeki polar fonksiyonel serbest hidroksil gruplarıyla hidrojen bağları yapmaktadır. Bununla birlikte, metalik bileşikler tutkalın hidroksil gruplarıyla bağ oluşturduğundan çözünmeyen metalik bileşiklerin hücre çeperine fiksasyonu fiziksel ve kimyasal olarak engellenmektedir. Bu yüzden bağlanma için tek elverişli fırsat tutkalın mekanik olarak bağlanmasıdır. Etkili bir bağlanma için tutkalın odun yapısı içine derinlemesine nüfus etmesi gerekmektedir.

2.3.5. Odun Kompozitleri Üretiminde Kullanılan Koruyucu Maddelerde Bulunması Gereken Özellikler

Koruyucu madde ile muamele görmüş odun kompoziti üretmek için, hem tutkalın hem de koruyucu maddenin özellikleri gibi bazı faktörleri göz önüne almak gerekmektedir. Koruyucu maddelerin odun kompoziti üretiminde kullanılması için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır (6).

Koruyucu kimyasal maddeler;

- 1- Tutkallarla herhangi bir etkileşime girmemeli,
- 2- Basınçlı pres şartları altında degradasyona neden olmamalı,
- 3- Pres altında yüksek oranda uçucu olmamalı,
- 4- Malzemenin direnç özelliklerini etkilememeli,
- 5- Dış ortam koşulları altında malzemedden yıkanmamalı.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Orman ürünleri atık ve artıklarını değerlendirmek veya masif malzemedden daha üstün materyal temin etmek amacıyla geliştirilen odun kompozit malzemelerinin kullanımı ilk zamanlarda yapısal olmayan iç mekan alanlarıyla sınırlandırılmıştı. Fakat, yeni kompozit malzemeler hem iç hem de dış mekanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlarda kompozit malzeme ıslanmaya maruz kaldığı için mantar ve böcek tahribatına uğramaktadır. Bu yüzden odun kompozitlerinin koruyucu maddelerle emprenye edilmesi gerekmektedir. Odun kompozitlerinin koruyucu madde ile üretim öncesi emprenye edilmesi bazı sakıncalara sebep olmakla birlikte koruyucu madde ile üretim sonrası emprenye edilmesiyle karşılaştırıldığında

daha iyi olmaktadır. Bu sakıncalı yanlar yeni teknolojik gelişmelerle giderilebilir. Maliyet analizi bakımından ele alındığında; üretimden sonraki emprenyede yeniden kurutma gideri, kurutmadan kaynaklanan hasarlarla ilgili giderler, koruyucu madde için gerekli donanımın kurulması giderleri ve koruyucu maddenin fabrikaya getirilme giderleri ortaya çıkmaktadır.

Odun kompoziti üretiminde, kullanılacak olan biyositin malzemenin fiziksel özelliklerine etkisi kullanılan tutkalla olan kimyasal etkileşim ve kompozit içindeki dağılımı mutlaka dikkate alınmalıdır.

Odun kompozitinin üretim öncesi emprenyesine ve uygun emprenye maddesiyle karıştırma yöntemine karar verildikten sonra, bu kimyasal koruyucu maddelerin çevreye olan etkilerini de özellikle ele almak gerekmektedir. Yüksek oranda uçucu olan bileşenler üretim sırasında yüzey kısmında kalmakta ve sağlık için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır (Barnes ve Amburgey 1993). Bu nedenle, aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır.

- 1- Tutkal ve diğer emprenye (katkı) maddeleri arasındaki uyumluluk,
- 2- Isı stabilitesi,
- 3- Son kullanım için uygunluk,

Her malzeme için uygun olan hiçbir biyosit olmadığı gibi, aynı biyositin tüm formülasyonları da aynı etkiye sahip olmayacaktır, bu nedenle, en iyi emprenye maddesi, tutkal ve emprenye yönteminin seçilmesi gereklidir.

Yeni teknoloji ve formülasyonların bulunması ileri uygulamalar için gerekli olup, koruyucu maddenin etkileşim özelliklerinin Odun kompozitinin fiziksel özelliklerine olan etkisinin ve üretim şartlarının koruyucu maddenin biyolojik özellikleri üzerine etkilerinin anlaşılması gereklidir.

KAYNAKLAR

1. Kenneth, R., Edwardson, C. Adams, R., Manufacture of Laminated Veneer Lumber From Preservative Treated Veneers, In: Protection of Wood-based Composites Products, Forest Prod. Res. Soc., Madison, WI, 1993, pp. 69-78.
2. Banes, H.M., Amburgey, T.L., Technologies For The Protection of Wood Composites, In: Protection of Wood-based Composites Products, Forest Prod. Res. Soc., Madison, WI, 1993, pp. 7-11.
3. Vick, C.B., Christiansen, A.W., Cure Of Phenol Formaldehyde Adhesive in The Presence Of CCA Treated Wood By Differential Scanning Calorimetry, Wood and Fiber Sci., 25 (1993) 1 : 77-86.
4. Schmidt, R.L., Gertjensan, R.O., Trials Of Two Powdered Preservatives For Phenol Formaldehyde Bonded And Polymeric İsocyanate Bonded Aspen Structural Composite Board, Forest Prod. J., 40 (1988) 2:16-22.
5. Laks, P.E., Palardy, R.D., Properties And Considerations Preservatives Containing Waferboards. In: Protection Of Wood-Based Composites Products, Forest Prod. Res. Soc., Madison, WI, 1993, pp. 12-17.
6. Laks, P.E., Palardy, R.D., Bonding And Process Considerations For Preservative Containing Waferboard, In: Proceedings of Wood Adhesives and Bonded Wood Products Symposium, May 16-18, 1990, Forest Prod. Res. Soc., Madison, WI, pp. 150-154.

7. Laks, P.E., Haataja, B.A., Palardy, R.D, Bianchini, R.J., Evaluation Of Adhesives For Bonding Borate Treated Flakeboards, *Forest Prod. J.*, 38 (1988) 11/12 : 23-24.
8. Draganov, S.M., Fire Retardants In Particleboards, In: *Second Symp. on Particleboard*, WSU, 1968, pp.75-121.
9. Vick, C.B., DeGroot, R.C., Youngquist, J., Compatibility Of Non Acidic Waterborne Preservatives With Phenol Formaldehyde Adhesives, *Forest Prod. J.*, 40 (1990) (2):16-22.
10. Knudson, R.M., Gnatowski, M.J., Chemically Treated Wood Particle Board, U.S. Patent 4, (1989) 879, 083.
11. Woods, G., *The ICI Polyurethanes Book*, John Wiley and Sons, 1987, pp. 42-44.
12. Vick, C.B., Adhesion Of Phenol Formaldehyde Resin to Waterborne Emulsion Preservatives in Aspen Veneer, *Forest Prod. J.*, 40 (1990) (11/12):25-30.
13. Vick, C.B., Kuster, T.A., Mechanical Interlocking Of Adhesive Bonds To CCA Treated Southern Pine - A Scanning Electron Microscopic Study, *Wood and Fiber Sic.* 24 (1992) (1):36-46.