

DOĞU LADİNİ (*Picea orientalis* (L.) Link.) ODUNUNDA BAZI ORGANİK ÇÖZÜCÜLERİN GEÇİT ASPIRASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Hamiyet ŞAHİN

KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61080 TRABZON

Geliş Tarihi: 01.08.2003

Özet: Bu çalışmada Doğu Ladini odununda bazı organik çözücülerin geçit aspirasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Örnek ağaçlar, Maçka-Karahava Bölgesi saf Ladin meşçerelerinden seçilmiştir. Geçit aspirasyonu incelemeleri elektron mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Bu incelemelerde, tam yaş halden tam kuru ve hava kurusu hale getirilmiş ve ayrıca yüzey gerilimi düşük organik çözücüler (aseton, pentan, benzen) ile muamele edilerek serbest suyun organik çözücü ile yer değiştirmesi esasına dayanan özel bir kurutma işlemine tabi tutulmuş örnekler kullanılmıştır. Sonuç olarak, organik çözücü değişimi yapılarak uygulanan kurutma yönteminin geçit aspirasyonunu önlemede etkili olduğu ve organik çözücü olarak kullanılan aseton, pentan, benzen uygulamaları sonucunda ise yüzey gerilim kuvvetlerine bağlı olarak en iyi sonucun aseton ile muamele edilmiş örneklerden elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Ladini, Geçit Aspirasyonu, Yüzey Gerilim Kuvveti, Organik Çözücü

THE EFFECT OF SOLVENT EXCHANGE ON THE PIT ASPIRATION IN ORIENTAL SPRUCE (*Picea orientalis* (L.) Link.) WOOD

Abstract: This study investigated the effect of solvent Exchange drying utilizing low surface tension force of organic solvents on pit aspiration in Oriental spruce wood. All trees used for experiments were obtained from Maçka-Karahava region. Investigations for pit aspiration was carried out on electron microscope. Prior to the experiments, samples dried with solvent Exchange method. The principle of this method was the replacement of free water in wood with an organic solvent, low in surface tension. The applied organic solvents were acetone, benzene and pentane. For comparison purposes, pit aspiration experiment also were conducted on oven-dried and air-dried wood samples. Result inticated that solvent Exchange drying was observed to be effective on pit aspiration, and the best result was obtained by acetone treatment.

Key Words: Oriental Spruce, Pit Aspiration, Surface Tension Forces, Organic Solvent

1. GİRİŞ

Ülkemizde yalnız Doğu Karadeniz Bölgesi'nde doğal yayılış alanı bulunan ve odununun sahip olduğu yüksek teknolojik özellikleri nedeni ile gerek odun kökenli endüstrilerin ve gerekse pratik amaçlı odun kullanımının hemen her dalında aranan bir tür olan Doğu Ladini, ülkemiz ekonomisi bakımından önde gelen türler arasındadır. Ancak, iç morfolojik özelliklerinden özellikle kenarlı geçitlerinin kolay aspirasyona uğraması nedeni ile akışa önemli ölçüde direnç göstermesi, özellikle emprenye sanayiindeki kullanımı için önemli sorunlar oluşturmaktadır.

Emprenye maddelerinin ağaç malzeme içerisine nüfuz etmesinde esas rolü kenarlı geçit çiftleri üstlenmektedir (1, 2). Geçit aspirasyonu iğne yapraklı ağaçlar için ortak bir sorun olup birçok araştırmaya konu olmuştur (3, 4, 5). İğne yapraklı ağaçlarda (İYA) boyuna traheidler arasında ve boyuna traheidlerle özışını traheidleri arasında kenarlı geçit çiftleri bulunur (6). Traheid lümeninden geçerek geçit girişine gelen akışkan, sırası ile geçit boşluğu ve geçit zarı açıklıklarından geçerek diğer hücre lümenine ulaşır (7). Gelişimini tamamlamış bir kenarlı geçit çiftinde geçit zarı (margo) geçit boşluğunun tam ortasında bulunur. Bu şekildeki bir geçit zarının statik konumu çevresindeki su fazının kapılar basıncına bağlıdır. Basıncıta oluşan değişimler sonucunda torus mevcut konumundan kayarak basınç yönündeki geçit girişine doğru yönelmekte ve kısmen veya tamamen geçit ağzını kapatarak geçit aspirasyonu oluşumuna neden olmaktadır.

Comstock ve Cote'ye göre (8), geçit aspirasyonunun kontrol edilmesinde üç önemli faktör etkin bir rol oynamaktadır. Bunlar; 1) Geçit zarını mevcut konumundan çekerek,

aspirasyona neden olan yüzey gerilim kuvveti, 2) Geçit zarının yüzey gerilim kuvvetlerine ters yönde etki gösteren kendi doğal direnci, 3) Aspirasyon sonrası geçit zarının geçit kenarına olan yapışma direncidir. Birinci faktör, esas olarak sıvının yüzey gerilimine ve geçit açıklığı (porus), geçit boşluğu, torus ve geçit zarının porozif yapısına bağlıdır. Hart ve Thomas'a göre (9), geçit aspirasyonu tamamen mevcut yüzey gerilim kuvvetleri ve kapılar basıncın büyüklüğüne bağlıdır. Ancak, Thomas ve Kringstad (10) ve Banks (4) yaptıkları çalışmalar sonucunda aspirasyon oluşumu ve dolayısıyla permeabilitenin azalmasında, geçitlerin doğal yapısının ve akışkanın higroskopik özelliklerinin de en az yüzey gerilim kuvvetleri ve kapılar basıncı kadar önemli bir etken olduğunu göstermişlerdir.

Yapılan araştırmalar (3, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 14), odunun bir süre yüzey gerilimi düşük organik çözücü içerisinde bekletilerek serbest suyun organik çözücü ile yer değiştirmesi sağlandıktan sonra kurutulması halinde geçit aspirasyonunun bir miktar önlenebileceğini göstermiştir. Ayrıca suya göre daha düşük polariteye sahip bir organik çözücünün kullanılması kapılar gerilimleri azaltacağından torusun merkezi konumda kalmasını sağlayabilecektir. Geçitlerin aspirasyona uğramaları halinde ise, odunun su ile tam doymuş hale getirildikten sonra çözücü değişimi yapılarak tekrar kurutulması durumunda da bazı geçitlerin açılması (deaspirasyon) sağlanabilmektedir. Liese ve Bauch'a göre (3), serbest su ile yer değiştirmek amacı ile kullanılan çözücünün 26 dyne/cm'den daha düşük bir yüzey gerilimine sahip olması halinde aspirasyon önlenabilmektedir.

Bu çalışmada, odundaki serbest su ile bazı organik çözücülerin yer değiştirilmesi esasına göre uygulanan bir kurutmanın doğu ladini odununda geçit aspirasyonunu nasıl etkilediği elektron mikroskop çalışmaları ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Örnek Ağaçların Seçimi

Çalışmada kullanılan ağaçlar, Trabzon Maçka Orman İşletme Müdürlüğü Hamsiköy İşletme Şefliğine bağlı 3. bonitet ve 2 kapalılık özelliğindeki saf Ladin meşçerelerinden seçilmiştir. Kuzey bakı ve 1600 m yükseklikten, 36-44 cm gövde çapında ve ortalama 80-85 yaşında bulunan budaksız, çatlaksız ve anormal tepe formu göstermeyen düzgün gövdeli ağaçların seçilmesine özen gösterilmiştir. Örnekler diri odun ve öz odun kısmından elde edilmiştir. Diri odun örnekleri her kesitin kuzey yönündeki 12. yıllık halkadan başlamak üzere kesitin tüm çevresi boyunca 1.5×1.5×1.5 cm boyutlarında kesilmiştir. Ladinde öz odun ve diri odun ayrımı net olmadığından öz odun örnekleri özden itibaren çevreye doğru 7. yıllık halkadan başlamak üzere aynı boyutlarda elde edilmiştir.

2.2. Elektron Mikroskobu İncelemeleri İçin Örneklerin Hazırlanması ve Görüntülerin Elde Edilmesi

Organik çözücüler ile odundaki suyun yer değiştirilmesi esasına bağlı olarak uygulanan kurutma yöntemi için yüzey gerilim kuvveti suya (72 dyne/cm) göre çok daha az olan aseton (23 dyne/cm), benzen (29 dyne/cm) ve pentan (16 dyne/cm) kullanılmıştır. Suyu doymuş haldeki örnekler önce, literatüre uygun olarak (19,23) günlük değişimler halinde % 20, %40, %60, %80 ve %100' lük karışımlar içerisinde bekletilmiştir. Çözücü değişimini takiben 1.5×1.5×1.5 cm boyutundaki örnekler daire testerede 0.5×0.5×0.5 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Daha sonra bu örnekler 1-2 mm küpler haline indirgenmiştir. Örneklerin hazırlanması sırasında, özellikle incelenecek olan odun yüzeylerinin (enine radyal ve teğet kesit) mümkün olduğu kadar pürüzsüz olmasına dikkat edilmiştir (15). Bu işlemden sonra

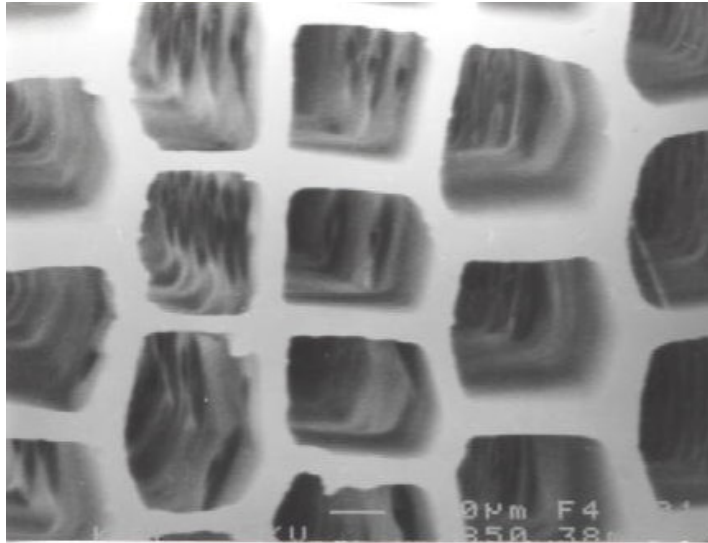
örnekler, hem organik çözücünün tamamen buharlaşmasının sağlanması hem de örneklerin tam kuru hale getirilmesi için etüvde 50, 60, 70, 80 °C sıcaklıklarda herbir sıcaklık kademesi için bir saat bekletilerek tedrici bir kurutma sağlanmıştır. Organik çözücü değişimi uygulanmamış tam yaş haldeki örnekler de aynı boyutlarda hazırlanmış ve bu örneklerin bir kısmı iklimlendirme odasında 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında bekletilerek hava kurusu hale, diğerleri de 103 ± 2 °C sıcaklıktaki etüvde tam kuru hale getirilmiştir. Tüm örnekler daha sonra elektron mikroskop incelemelerine kadar geçen süre içinde desikatörde saklanmış ve vakumla kurutma öncesi elektron mikroskop incelemeleri için kullanılan özel olarak hazırlanmış küçük metal disklerle yapıştırılmıştır.

Ultramikroskopik incelemeler için Jeol-JSM 6400 Taramalı Elektron Mikroskop kullanılmıştır. Tüm örnekler inceleme öncesi tekrar vakum altında kurumaya bırakılmış ve 1.5 mA akımda 45 saniye süre ile incelenecek olan yüzeyler (enine, radyal ve teğet) altın ile kaplanmıştır. Hazırlanan örnekler daha sonra elektron mikroskobuna yerleştirilerek özellikle kenarlı geçit çiftlerinin organik çözücü değişimiyle ne derece etkilendikleri ve hangi organik çözücünün geçit aspirasyonunu önlemede daha etkili olduğu bütün yüzeyler taranarak incelenmiş ve görsel olarak yorumlanmıştır.

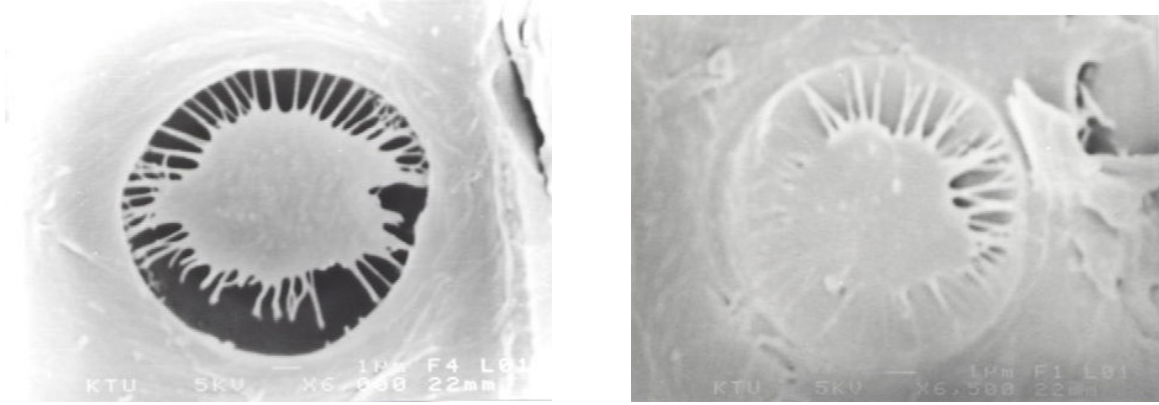
3. BULGULAR

3.1. Kenarlı Geçit Görüntüleri

Şekil 1’de Doğu Ladininde enine kesitte boyuna traheidler ve boyuna traheidler arasındaki kenarlı geçitler görülmektedir. Şekil 2’de Doğu ladini odunu traheidlerinin radyal çeperlerinde bulunan aspirasyona uğramamış (a) ve uğramamış kenarlı geçit çiftleri (b) görülmektedir. Şekil 3’te kısmen aspirasyona uğramış kenarlı geçit çiftleri görülmektedir. Gelişimini tamamlamış bir kenarlı geçit çiftinde geçit zarı (margo) geçit boşluğunun tam ortasında bulunur. Margo primer çeper ağından oluşmuş, torustan geçit kenarına kadar yarıçap yönünde uzanan ve torusu geçit kenarına bağlayan mikrofibriler bir yapı vardır. Bu şekildeki bir geçit zarının statik konumu çevresindeki su fazının kapilar basıncına bağlıdır. Basıncıta oluşan değişimler sonucunda torus mevcut konumundan kayarak basınç yönündeki geçit girişine doğru yönelmekte ve kısmen veya tamamen geçit ağzını kapatarak geçit aspirasyonu oluşumuna neden olmaktadır.



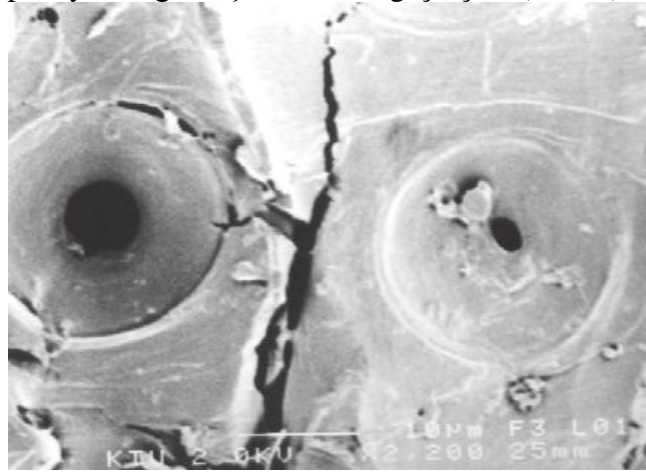
Şekil 1. Doğu Ladini odununda bir yıllık halka içindeki traheidlerin görünüşü ($\times 850$)



(a)

(b)

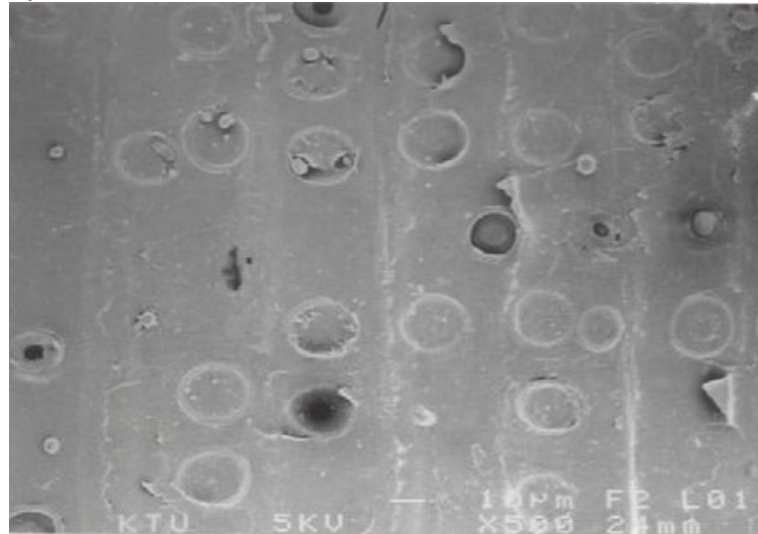
Şekil 2. (a) Aspirasyona uğramamış bir diri odun kenarlı geçit çifti (×6000),
(b) Aspirasyona uğramış bir kenarlı geçit çifti (×6500).



Şekil 3. Kısmen aspirasyona uğramış kenarlı geçit çiftleri (×2200)

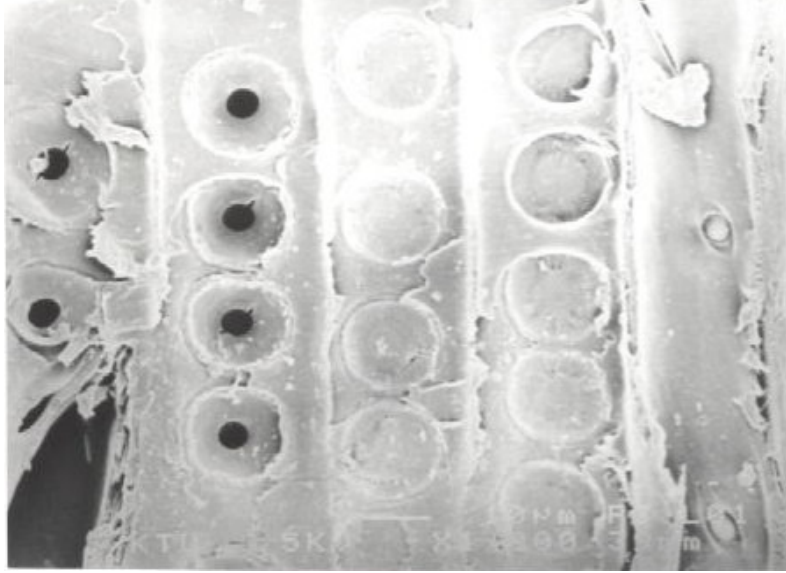
3.2. Taze ve Hava Kuru Haldeki Örnekler

Taze halden tam kuru hale getirilen örneklerde bulunan traheidlerin radyal yüzeylerindeki kenarlı geçit çiftlerinin elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda elde edilen görüntüleri Şekil 4’te verilmektedir.

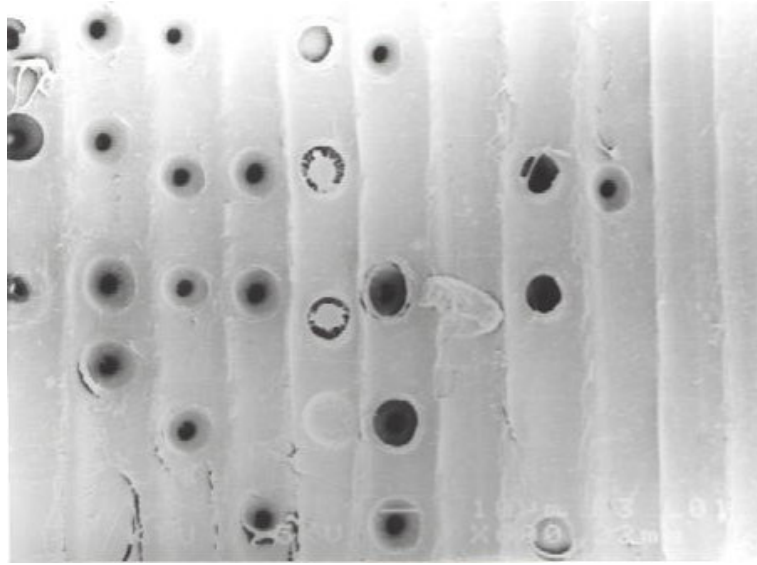


Şekil 4. Taze halden tam kuru hale getirilen Ladin diri odununda aspirasyon sonrası kenarlı geçit çiftlerinin görünüşü (×500)

Klima odasında taze halden hava kurusu hale getirilen örneklerin traheidlerinin radyal yüzeylerindeki kenarlı geçit çiftlerinin elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda elde edilen görüntüleri Şekil 5-6'da verilmektedir.



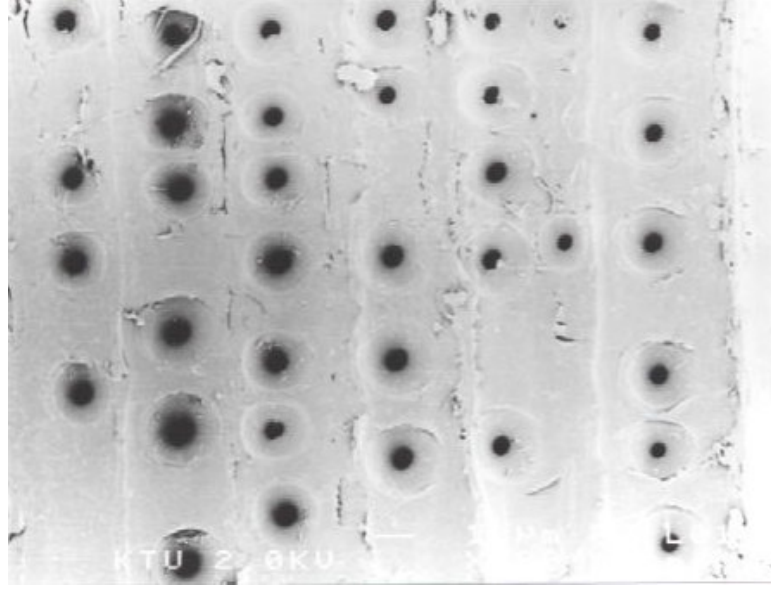
Şekil 5. Hava kurusu haldeki diri odunda aspirasyon sonrası kenarlı geçit çiftlerinin görünümü (×1300)



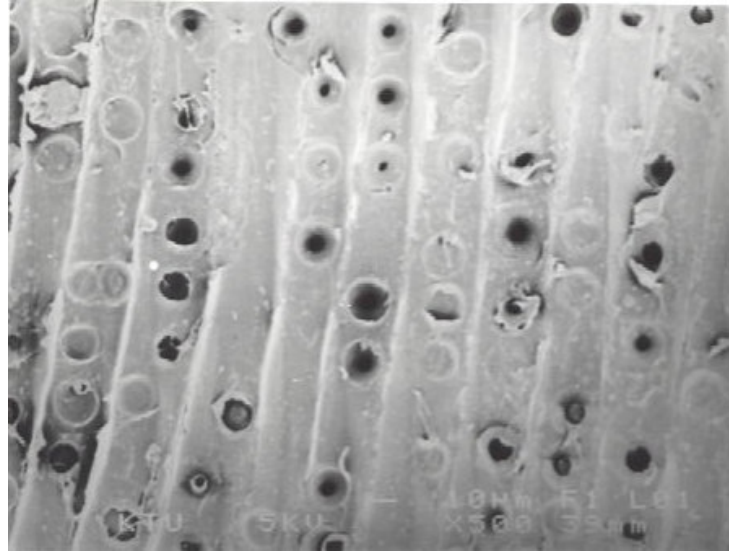
Şekil 6. Hava kurusu haldeki öz odununda aspirasyon sonrası kenarlı geçit çiftlerinin görünümü (×600)

3.3. Organik Çözünü Değişimi Uygulanarak Kurutulan Örnekler

Aseton ile uygulanan kurutma sonrası yapılan elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda traheidlerin radyal yüzeylerindeki kenarlı geçit çiftlerinin görüntüleri Şekil 7-8'de verilmiştir.

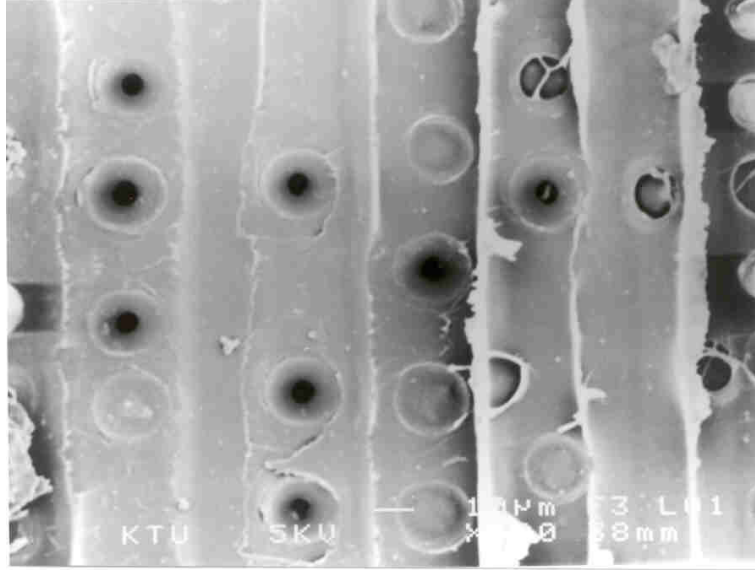


Şekil 7. Aseton ile muamele edilmiş Ladin diri odunundaki kenarlı geçit çiftleri (×600)

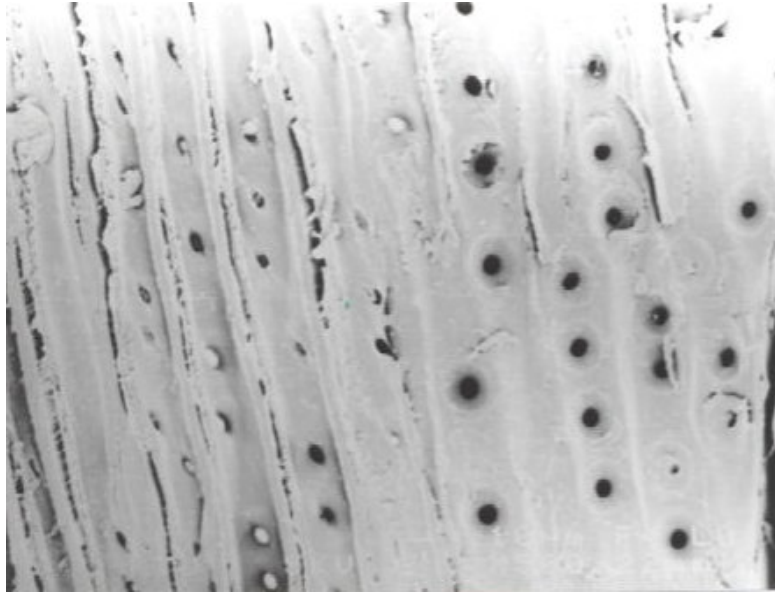


Şekil 8. Aseton ile muamele edilmiş Ladin öz odunundaki kenarlı geçit çiftleri (×500)

Pentan ile uygulanan kurutma sonrası yapılan elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda traheidlerin radyal yüzeylerindeki kenarlı geçit çiftlerinin görüntüleri Şekil 9-10’da verilmiştir.

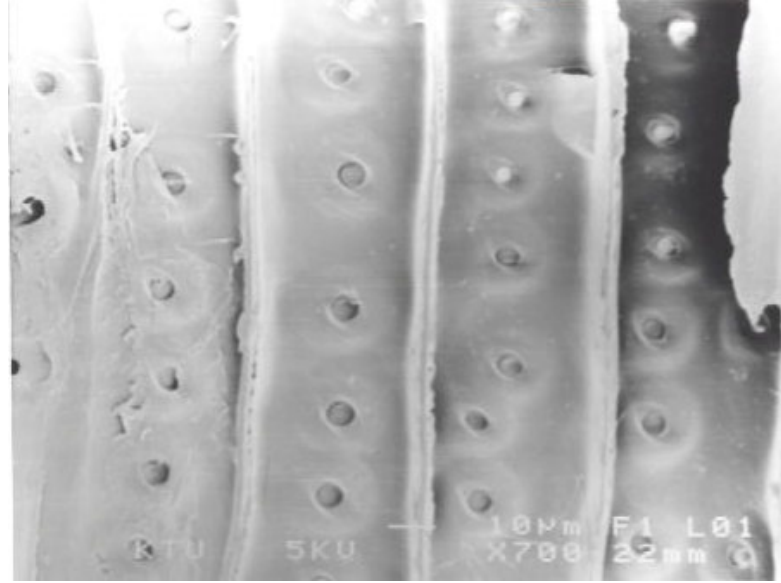


Şekil 9. Pentan ile muamele edilmiş Ladin diri odunundaki kenarlı geçit çiftleri (×700)

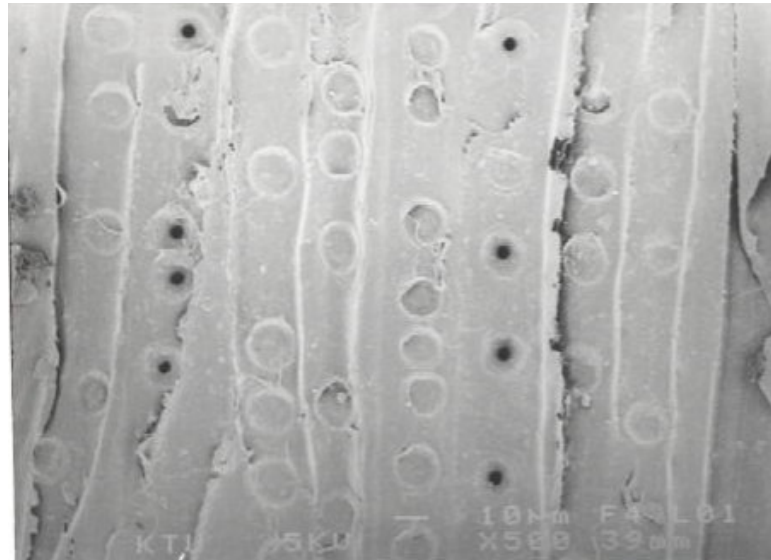


Şekil 10. Pentan ile muamele edilmiş ladin öz odunundaki kenarlı geçit çiftleri (×500)

Benzen ile uygulanan kurutma sonrası yapılan elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda traheidlerin radyal yüzeylerindeki kenarlı geçit çiftlerinin görüntüleri Şekil 11-12’ de verilmiştir.



Şekil 11. Benzen ile muamele edilmiş Ladin diri odununda kenarlı geçit çiftleri (× 700)



Şekil 12. Benzen ile Muamele edilmiş Ladin öz odununda kenarlı geçit çiftleri (× 700)

4. İRDELEME

Elektron mikroskop incelemelerine göre, organik çözücüler ile odundaki serbest suyun yer değiştirilmesi esasına dayanılarak uygulanan kurutma işlemi geçit aspirasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Odunun aseton, pentan ve benzen ile muamele edildikten sonra incelenen radyal yüzeylerindeki kenarlı geçitler, hiç işlem görmemiş ve taze halden tam kuru ve hava kurusu hale getirilen odun yüzeylerinde bulunanlarla karşılaştırıldığında, organik çözücülerle muamele edilmiş örneklerdeki aspirasyona uğramış geçit sayısının diğerlerine oranla daha az olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemler literatürle de uyumludur (3, 5, 12, 9, 8, 13, 14). Ayrıca organik çözücülerle muamele edilmiş odunlarda aspirasyon önemli ölçüde önleneceğinden permeabilite de önemli bir artış görülür. Aynı organik çözücüler kullanılarak, Doğu Ladininin permeabilitesinin incelendiği bir araştırmada bulunan sonuçlarla bu çalışmada elde edilen sonuçlar birbiriyle uyum göstermektedir (16).

Organik çözücü ile muamele edilmiş odunların radyal yüzeylerindeki kenarlı geçitler incelendiğinde (Şekil 4-12), aspirasyona uğrayan geçit sayısının, asetonda en az, benzende en fazla olduğu görülmektedir.

Kullanılan organik çözücülerin bazı kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan Organik Çözücülerin Bazı Kimyasal Özellikleri

Çözücü Türü	Molekül büyüklüğü (gr/cm ³)	Yüzey gerilim kuvveti (dyne/cm)	Molekül ağırlığı (gr/mol)	Molekül ağırlığı (gr/mol)	Aspirasyon
Aseton	0.791 (*)	23 (**)	58.08 (*)	58.08 (*)	Hayır (*)
Pentan	0.626 (*)	16 (**)	72.15(*)	72.15(*)	Hayır (*)
Benzen	0.879 (*)	29 (**)	78.12 (*)	78.12 (*)	Hayır (*)
Su	1.027 (*)	72 (**)	18.02 (*)	18.02 (*)	Evet (*)

(*) Aldrich Katalog (17), (**) Thomas ve Kringstad (10)

Yüzey gerilimi pentana oranla daha büyük olmasına rağmen asetondan molekül ağırlığı bakımından daha hafif ve molekül büyüklüğü olarak da önemli bir fark göstermemesi nedeniyle, odundaki serbest su ile daha kolay yer değiştirmesini sağlayabilecektir. Benzen ise hem yüzey gerilim kuvveti hem de molekül ağırlığı ve büyüklüğü olarak asetondan ve pentana oranla daha az yer değiştirme özelliğine sahiptir. Her üç organik çözücünün kimyasal bağları itibarı ile odundaki serbest hidroksil grupları ile bağ yapabilecek alıcı veya verici gruplara sahip olmaması da gerek çözücü ile serbest suyun yer değiştirmesi ve gerekse çözücünün odundan buharlaşması sırasında aspirasyon riskini azaltması aspirasyona uğrayan geçit sayısının taze ve hava kurusu odunlara oranla daha az olmasının önemli bir nedeni olarak kabul edilebilir. Öz odunda aspirasyona uğrayan geçitlerin diri oduna oranla daha fazla olduğu da elektron mikroskobu çalışmaları ile gözlenmiştir. Bu olay, öz odunu oluşumu esnasında bazı kenarlı geçitlerin aspirasyona uğramasından kaynaklanmaktadır.

Aspirasyona neden olan kapilar kuvvetler sıvının yüzey gerilimine ve kavisli yüzeyin temas açısına bağlıdır. Bu nedenle yüzey gerilimi farklı iki ayrı organik çözücü ile odundaki suyun yer değiştirilmesi esasına göre yapılan bir kurutma işleminin birinde aspirasyon olurken diğerinde olmayabilir.

Thomas ve Kringstad’a göre (10), geçit aspirasyonu sıvının aşağıdaki özelliklerine bağlıdır. Bunlar; 1) Hidrojen bağı oluşturabilen fonksiyonel gruplarının olması, 2) Odunun şişme özelliği üzerinde suya oranla eşit yada daha fazla etkili olması, 3) Yüzey gerilim kuvvetinin geçit zarının yer değişimini sağlayabilecek derecede büyük olması.

Odunun serbest hidroksil grupları, buharlaşan sıvının fonksiyonel grupları ile hidrojen bağı oluşturarak, hem geçitin aspirasyona uğraması için gerekli olan kapilar kuvvetlerin oluşmasına hemde geçit zarı ile geçit kenarı arasında bir yapışmanın meydana gelmesine ve aspirasyona uğramış geçitin bu durumunu korumasına neden olmaktadır. Kimyasal bağ oluşturmak için molekül yapısında hem alıcı hem de verici grupları olan organik çözücüler sadece serbest hidroksil grupları ile değil aynı zamanda kendi içlerinde de bağ oluşturarak geçit zarı ve geçit kenarı arasında çapraz bağlar yapabilirler. Bu bağlar da kapilar gerilimin iletimini arttırarak aspirasyon oluşumunu kolaylaştırır. Bağ yapabilen alıcı ve verici gruplardan birine veya her ikisine de sahip olmayan organik çözücülerde kuvvetli çapraz bağlar oluşmadığı için aspirasyon etkisi de o oranda azalabilmektedir.

Hidrojen bağı oluşturma kapasitesi ile yüzey gerilim kuvveti arasında kesin bir ilişki henüz bulunmamakla birlikte, odunun higroskopik sınırlar içerisinde adsorpsiyon halinde şişmesi hidrojen bağı oluşumu ile doğrudan ilişkilidir. Margodaki fibrillerin selülozik yapıda oldukları kabul edilirse, adsorpsiyon halinde hücre çeperinde meydana gelen şişme,

margodaki selülozik fibrilleri de genişleterek geçit açıklıklarının daralmasına neden olur. Bu mekanizma ise aspirasyonu kolaylaştırıp akışı engelleyebilir (18).

5. SONUÇLAR

Taze haldeki ağaç malzemede geçitlerin büyük bir çoğunluğu aspirasyona uğramamış durumdadır. Ancak serbest suyun buharlaşması ile aspirasyon oluşumu artar ve lif doygunluk noktasında hemen hemen bütün kenarlı geçitler aspirasyona uğramış durumdadır. Hiçbir işlem uygulanmadan tam kuru ve hava kurusu hale getirilen örneklerde bulunan aspirasyona uğrayan geçitler organik çözücü değişimi yapılarak kurutulanlara oranla belirgin şekilde fazladır. Ayrıca öz odunu oluşumu esnasında bazı kenarlı geçitlerin aspirasyona uğraması nedeni ile öz odunda bulunan aspirasyona uğrayan geçitler diri oduna oranla daha fazladır.

Odundaki serbest suyun yüzey gerilimi düşük organik çözücüler ile yer değiştirilmesi esasına dayanılarak uygulanan kurutma işlemi, buharlaşma sırasında kapılar kuvvetlerin etkisini azalttığından geçit aspirasyonunu önlemede önemli bir etkiye sahiptir. Doğu Ladini odununun aseton, pentan ve benzen ile muamele edilmesiyle geçit aspirasyonunun önemli oranda önlendiği elektron mikroskop çalışmaları ile gözlenmiş ve literatür ile desteklenmiştir. Yüzey gerilim kuvveti, molekül ağırlığı ve molekül büyüklüğüne bağlı olarak en iyi sonuç aseton uygulamasıyla elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Wardrop, A.B., Davies, G.W., Morphological Factors Relating to the Penetration of Liquids into Wood, *Holzforschung*, 15, 5 (1961) 129-140.
2. Bailey, P.J., Some Studies on the Permeability of Wood in Relation to Timber Preservation, Record of the Fifteenth Annual Convention-Br. Wood Preserv. Assoc., 2 (1965) 31-50.
3. Liese, W., Bauch, J., On the Closure of Bordered Pits in Conifers, *Wood Science and Technology*, 1 (1967) 1-13.
4. Banks, W.B., Addressing the problem of Non Steady Liquid Flow in Wood, *Wood Science and Technology*, 15 (1981) 171-177.
5. Bolton, A.J., Petty, J.A., Variation of Susceptibility to Aspiration of Bordered Pits in Conifer Wood, *Journal of Experimental Botany*, 28, 105 (1977) 935-941.
6. Bozkurt, Y., Göker, Y., Fiziksel ve Mekanik Ağaç teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 388, İstanbul, 1987.
7. Bozkurt, Y., İğne Yapraklı Odunların Anatpmik Yapısı, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 17, 1 (1967) 118-135.
8. Comstock, G.L., Cote, W.A., Factors Affecting Permeability and Pit Aspiration in Coniferous Sapwood, *Wood Science and Technology*, 2 (1968) 279-291.
9. Hart, C.A., Thomas, R.J., Mechanism of Bordered Pit Aspiration As Caused by Capillarity, *Forest Products Journal*, 17, 11 (1967) 61-68.
10. Thomas, R.J., Kringstad, K.P., The Role of Hydrogen Bonding in Pit aspiration, *Holzforschung*, 25, 5 (1971) 143-149.
11. Thomas, R.J., Nicholas, D.D., Pit Membrane Structure in Loblolly Pine As Influenced by Solvent Exchange Drying, *Forest Products Journal*, 16, 3 (1966) 53-56.

12. Phillips, E.W.J., Movement of the Pit Membrane in Coniferous Woods, With Special Reference to Preservative Treatment, Forestry, 2 (1933) 109-120.
13. Petty, J.A., The Aspiration of Bordered Pits in Conifer Wood, Proceedings, Royal Society of London, B 181 (1972) 395-406.
14. Bolton, A.J., Petty, J.A., Influence of Critical point and Solvent Exchange Drying On the Gas Permeability of Conifer Sapwood, Wood Science, 9, 4 (1977) 187-193.
15. Finlandy, G.W.D., Levy, J.F., Scanning Electron Microscopy As An Aid to The Study of Wood Anatomy and Decay, Journal Inst. Wood Science, 23 (1969) 57-63.
16. Keskinol, M., Rutubet Oranı ve Bazı Organik Çözücülerin Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) Odunu Gaz Permeabilitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1996.
17. Aldrich Catalogue Handbook of Fine Chemicals (1992-1993), Aldrich Chemical Company Limited, Dorset, UK, 1992.
18. Banks, W.G., Levy, J.F., The Effect of Cell Wall Swelling on the Permeability of Grand-fir Wood, Wood Science and Technology, 14 (1980) 49-62.