

Masif Ahşap Deneylerinde Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanımı: Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) Örneği

Göksu ŞİRİN^{1*}, Deniz AYDEMİR², Gökhan GÜNDÜZ³

¹Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Almus Meslek Yüksekokulu, Tokat, Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Bartın, Türkiye

³İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Hatay, Türkiye

Geliş Tarihi (Received): 06.09.2022, Kabul Tarihi (Accepted): 07.11.2022

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author*): goksu.sirin@gop.edu.tr

☎ +90 356 2521616 📠 +90 356 4113033

ÖZ

Ahşabın tüm fiziksel, mekanik ve estetik özellikleri, heterojen biyolojik hücre yapısıyla oluşur. Ahşap incelemelerinde, mikroskopik ve hatta ultrastrüktürel düzeyde ahşap kırılmasının doğasına ilgi artmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), ahşap yapı araştırmalarını mümkün kılan en güçlü tekniklerden biri gibi görünmektedir. Çalışmada Doğu çınarı (*Platanus orientalis* L.) odunu kullanılmıştır. Hazırlanan numunelere çekme ve basınç direnci testleri uygulanmıştır. Mekanik testleri yapılan örneklerin deforme olan bölümlerinden kesitler alınmıştır. Bu kesitlerde Taramalı Elektron Mikroskobu incelemeleri yapılmış ve hücre görüntüleri mikrograflar kullanılarak analiz edilmiştir. Mikrograflarda, çekme direnci testleri sonucu hücre yapılarında meydana gelen parçalanarak kopma ve hücrelerin parçalanma şekilleri, basınç direnci testleri sonucu hücre duvarlarındaki çatlaklar, ayrılmalar ve kırıklar açıkça görülebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğu çınarı, *Platanus orientalis* L., taramalı elektron mikroskobu

Use of Scanning Electron Microscopy in Solid Wood Experiments: Example of Oriental Plane (*Platanus orientalis* L.)

ABSTRACT

All physical, mechanical and aesthetic properties of wood are formed by its heterogeneous biological cell structure. Interest has developed in the nature of wood fracture at the microscopic and even at the ultrastructural level. The Scanning Electron Microscopy (SEM) seems to be one of the most powerful techniques that enable wood structure research. In the study, Oriental plane (*Platanus orientalis* L.) wood was used. Tensile and compressive strength tests were applied to the prepared samples. Sections were taken from the deformed parts of the mechanically tested samples. Scanning Electron Microscopy examinations were performed on these sections and cell images were analyzed using micrographs. In the micrographs, ruptures and fragmentation of the cells occurring in the cell structures as a result of the tensile strength tests, cracks, separations and fractures in the cell walls as a result of the pressure resistance tests were clearly visible.

Keywords: Oriental plane, *Platanus orientalis* L., scanning electron microscope

GİRİŞ

Ağaçlar ve çalılar, karasal bitki örtüsü türlerinin açık arayla çoğunu kapsar. Onların odunsu dokuları, sistematik, ekoloji, paleobotanik ve fizyoloji gibi çeşitli botanik disiplinler için ilginç bilgiler içerir. Ahşabın incelenmesi, arkeoloji ve sanat tarihi gibi bilimler ve hatta teknolojik araştırmalar için de önemlidir (Jansen ve ark., 1998). Ahşap, özelliklerini karakterize eden birkaç farklı hücre ve biyopolimerden oluşan eşsiz bir doğal bileşiktir. Bu durumda ahşabın özelliklerini karakterize etmek istiyorsak ve ahşabı çeşitli ürünler için bir hammadde olarak anlamak istiyorsak, ahşap anatomisi araştırması zorunludur. Ahşabın tüm fiziksel, mekanik ve estetik özellikleri, heterojen biyolojik hücre yapısıyla oluşur (Merela ve ark., 2020).

Ahşap anatomisini incelemek için kullanılan tekniklerle ilgili birçok makale yayınlanmıştır (Jansen ve ark., 1998). Odunsu bitkilerin üç boyutlu, heterojen ve mikroskopik yapılarını inceleme ve görüntüleme, yüksek çözünürlük gerektiren (Hatano ve ark., 2022) yöntemlerle yapılmalıdır. Geliştirilen tüm yöntemler arasında, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM), ahşap yapı araştırmalarına olanak sağlayan en güçlü tekniklerden biri gibi görünmektedir (Merela ve ark., 2020). Bu yöntem, mikro ve nano boyutlu malzemelerde yüzeyleri ve alt tabakayı inceleme imkânı vermektedir (Golijad ve Mirjalili, 2020). SEM, bir numunenin yüzeyini tarayarak (Merela ve ark., 2020) yüzey topografyası, doku oryantasyonu, kimyasal bileşimi ve diğer birçok malzeme özelliği hakkında bilgi sağlar. (Zhou ve ark., 2006; Goldstein ve ark., 2017; Merela ve ark., 2020). Taramalı Elektron Mikroskopu ile yapılan mikrograflar, taramalı elektron ışını, objektif lensten önemli bir uzaklık aralığında çok az sapma gösterdiğinden, muazzam bir alan derinliği sergiler (Thornhill ve ark., 1965). Böylece üç boyutlu yapısı açısından son derece karmaşık olan ahşap çalışmalarında (Ishida ve Ohtani, 1970) taramalı elektron mikroskopu, çok küçük veya çok karmaşık bir yüzeye sahip olan birçok biyolojik örneğin incelenmesi için büyük avantaj sağlamaktadır (Thornhill ve ark., 1965).

Sem yöntemi çoğunlukla yapısal bozulmanın boyutunu doğrulamak, ahşap türünü belirlemek ve ayrıca mikrobiyolojik saldırıların doğasını görmek için güçlü, tahribatsız bir yöntem olarak kullanılmıştır (Fellak ve ark., 2022). Çok büyük alan derinliği ve nispeten kolay numune hazırlama (Exley ve ark., 1974) ayırım gücünün yüksek olması, görüntü ile numune analizini birleştirebilme özelliğinde olması nedeniyle günümüzde (Erdin, 1987) ahşap dahil çeşitli malzemelerin yüzey özelliklerinin incelenmesi için ideal bir araç haline gelmiştir

(Exley ve ark., 1974). Ahşap incelemelerinde, mikroskopik ve hatta ultrastrüktürel düzeyde ahşap kırılmasının doğasına ilgi artmıştır. Şüphesiz, taramalı elektron mikroskopunun (SEM) daha genel kullanılabilirliği ve artan kullanımı bu eğilimde ana faktörler olmuştur (Cote ve Hanna, 1983). Diğer başka avantajlara sahip teknikler geliştirilmesine rağmen, SEM, hücrelerin ultrastrüktürel ve gelişimsel yönlerini anlamak, topografyayı ve maruz kalınan etkilerin dağılımını araştırmak için en etkili araçlar arasında olmaya devam etmektedir (Merela ve ark., 2020).

Bu çalışmada Doğu çınarı (*Platanus orientalis* L.) odunu kullanılmıştır. Doğu çınarı oldukça uzun olan ömrü ve geniş çaplı gövde oluşmasıyla bilinen önemli ağaç türlerindedir. Ağaç için SEM çalışmaları yaprakları ve tohumları hakkında yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle burada ağaç odununun çekme ve basınç direnci davranışları SEM ile incelenerek literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Doğu çınarı (*Platanus orientalis* L.), odunu ağır ve sert olan, kolay yarılan (Bektaş ve ark., 2002), işlenmesi ve emprenye edilmesi güç bir ağaç türüdür. Kurutulması orta derecede güç ve dayanıklılığı azdır (Doğu, 2002). Diri odun geniş, grimsi kahverengidir; öz odunu kırmızımsı-kahverengi renkte, karakteristik bir tat ve kokuya sahip olmayan, düz damarlı ve düzensiz dokuludur (Nasir ve ark., 2006). Kalın gövdeler yaptığından ve geniş öz ışınları dekoratif görüldüğünden kaplama sanayisinde çok kullanılmaktadır. Özellikle urlu kısımlarından elde edilen kesme kaplama levhaları çok değerlidir (Bozkurt ve Erdin, 1997). İyi cila tutar (Bektaş ve ark., 2002). Türkiye’de kullanım alanı çoğunlukla travers, kaplama, yapı malzemesi, mobilya (Doğu, 2002) ve müzik aleti yapımıdır (Bektaş ve ark., 2002). Odun, yapısal kereste olarak kullanılmadan önce dayanıklılığını artırmak için kimyasal işleme ihtiyaç duyar (Nasir ve ark., 2006).

Ağaçta yıllık halkalar belirgindir (Merev, 2003). Traheleler dağınık, perforasyon tablası basit, kısmen merdivenimsidir (Bozkurt ve Erdin, 2000). Oldukça geniş olan öz ışınları homojen bazen heterojen yapıdadır (Merev, 2003).

Ağacın kimyasal içeriği için yapılan çalışmada %77,4 holoselüloz, %39,2 selüloz ve %22,7 lignin ölçüldüğü belirtilmiştir (As ve ark., 2001).

Tablo 1 ve Tablo 2’de ağacın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri görülmektedir.

Masif Ahşap DeneYlerinde Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanımı: Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) Örneği

Tablo 1. Doğu çınarının bazı fiziksel özellikleri

Hava kuru yoğunluk (g/cm ³)	0,62	0,63
Tam kuru yoğunluk (g/cm ³)	0,59	0,58
Hacim yoğunluk değeri (kg/m ³)	471	
Hacmen daralma miktarı (%)	13,2	13,7
Teğet daralma (%)	-	8,7
Radyal daralma (%)	-	4,5
Hacmen genişleme miktarı (%)	14,9	-
Kaynak	Bozkurt ve Erdin (1997)	Merev (2003)

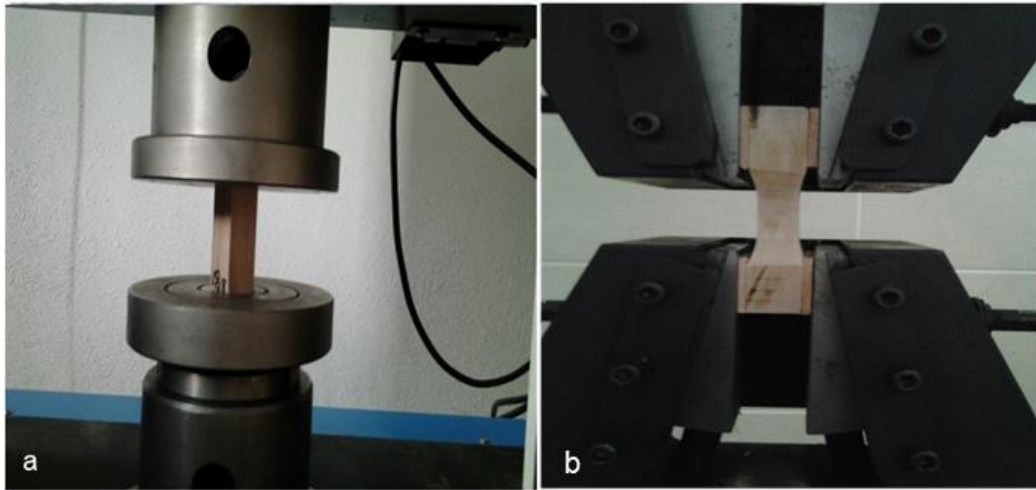
Tablo 2. Doğu çınarının bazı mekanik özellikleri

Basınç Direnci (N/mm ²)	46	45	43
EĞilme Direnci (N/mm ²)	99	96	66
Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	10500	-	5201
Makaslama Direnci (N/mm ²)	10	-	-
Yarılma Direnci (kg/cm)	-	-	34
Dinamik EĞilme (kN/cm)	0,7	0,7	-
Brinell Sertlik	46-21	-	-
Liflere Paralel -Dik (N/mm ²)			
Janka Sertlik Değeri (N/ mm ²)	-	68,8	-
Kaynak	As ve ark. (2001)	Bektaş ve ark. (2005)	Rauf ve Raza (2012)

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan Doğu çınarı odunu Bartın ilinin Kozcağız ilçesi 310 m rakımdan temin edilmiştir. Olabildiğince düzgün yüzeylere sahip, liflere paralel yönde basınç ve çekme testi numuneleri hazırlanmış ve bu-
dak, reaksiyon odunu, öz odunu içermemeleri sağlan-
mıştır.

Hazırlanan numuneler iklimlendirme kabinde 1 ay süreyle bekletilerek (20°C sıcaklık ve %65 bağıllı nemde) testlere hazır hale getirilmiştir. Çekme direnci testleri DIN 52188 (1979), basınç direnci testleri DIN 52185 (1976) ve DIN 52192 (1979) standartlarına göre yapılmıştır. şekil 1'de numuneler ve deney uygulaması görölmektedir.



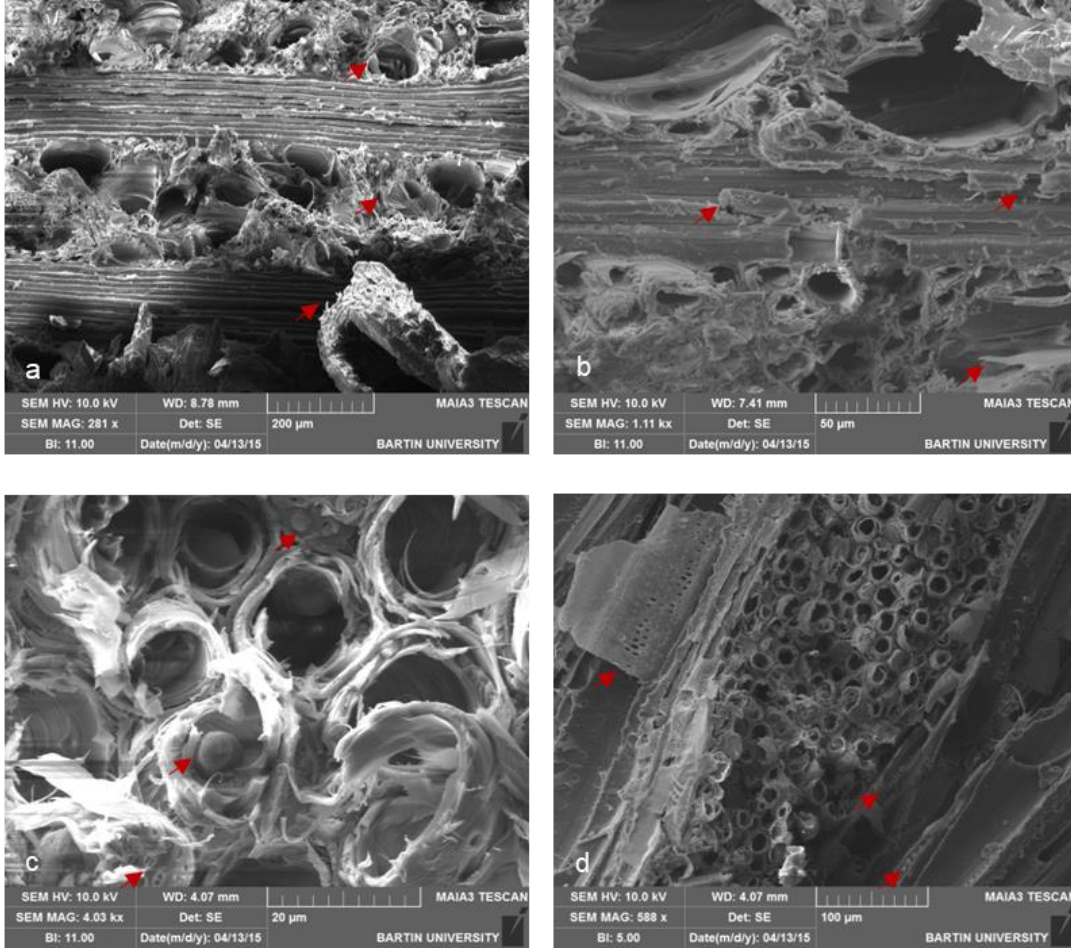
şekil 1. a. Basınç direnci testi uygulaması; b. Çekme direnci testi uygulaması

Çekme ve basınç direnci testleri sonrasında meydana gelen deformasyon ve deforme olan yüzey incelemeleri için Taramalı Elektron Mikroskobu analizleri Bartın Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan TESCAN marka MAIA3-XMU model makine üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mekanik testleri yapılan örneklerin deforme olan bölümlerinden kesitler alınmıştır. Hücre görüntüleri mikrograflar kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçek çubuğu mikron cinsindedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular

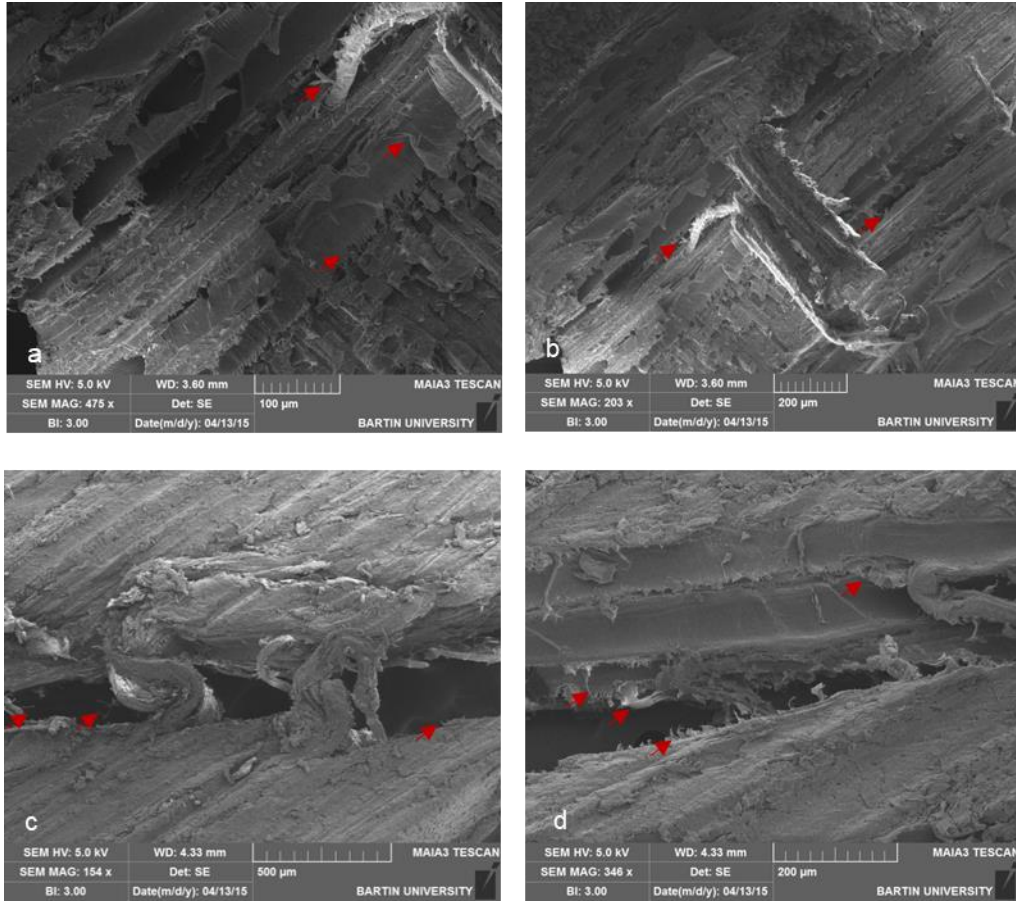
Analizler için numunelerde mekanik deneyler sonrası kopmuş oldukları bölgelerden alınan parçalara ait, hücre duvarı seviyesinde bozulmuş ahşabın morfolojik özelliklerini gösteren SEM mikrografları Şekil 2 ve Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 2. Çekme direnci örneklerinde kopma noktalarındaki SEM görüntüleri; **a.** Hücrelerdeki kopmalar; **b.** ve **c.** Artan büyütmede hücre duvarı görüntüleri; **d.** Trahe hücrelerindeki deformasyon (her görüntü için ölçek sağlanmıştır)

Şekil 2'de, kopma noktalarında öz ışınları ve trahe hücrelerinin durumları izlenmektedir. *Platanus orientalis* L., homojen, bazen heterojen yapıda, 12 hücreye kadar genişleyebilen öz ışınları içerir. Örneklerde multi-seri öz ışınları izlenebilmektedir. Öz ışınlarındaki ve trahe hücrelerindeki kopmalar nettir. *Platanus orientalis* L.'nin içerdiği geniş öz ışını bantlarıyla çekme direnci numunelerinde mekanik deneylerde meydana gelen parçalanarak kopma ve hücrelerin parçalanma şekilleri açıkça görülmektedir. Bu kopma biçiminde

hücrelerin gördüğü zarar miktarı incelenerek ağaç odununda özellikle hangi hücrenin daha etkili olduğu araştırılabilir. Hücre duvarı yapısındaki bozulmalar fotomikrograflarda izlenmektedir. Yakınlaştırılmış SEM görüntülerinde lümenler görülmektedir.

Masif Ahşap DeneYlerinde Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanımı: Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) Örneği

Şekil 3. Basınç direnci örneklerinde kayma, çatlama ve kopma noktalarındaki SEM görüntüleri; **a.** Artan büyütmede hücrelerin yırtılma görüntüleri; **b.** Basma ile oluşan kayma-ezilme deformasyonu; **c.** ve **d.** Basma ile oluşan ayrılma ve yırtılmalar (her görüntü için ölçek sağlanmıştır)

Şekil 3'e bakıldığında SEM fotomikrografları, hücre duvarları arasındaki kademeli ayrımları göstermektedir. Basmayla meydana gelen tabaka kaymasıyla beraber yarılma noktalarındaki ayrımlar izlenmektedir. Mekanik bozulma nedeniyle hücre duvarlarında çatlaklar ve kırıklar oluşmuştur. Basınç direnci ölçümlerinde bazı numunelerde Çınar ağacının karakteristik yapısı itibarıyla kırılma yerine eğilme ve burkulma davranışı görülmüştür. Bu durum ve lif çekilmeleri SEM görüntülerinde izlenebilmektedir. Bu duruma geniş öz ışını bantlarının neden olduğu tahmin edilmektedir.

Tartışma

Yapılan bir çalışmada *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. ağaç odunlarına çekme direnci testi uygulanmış ve SEM görüntüleri ile hücre yapılarındaki bozulmalar incelenerek yöntemin ultrastrüktürel karakterizasyon için uygun bir teknik olduğu bildirilmiştir (Lehringer ve ark., 2009). Yine diğer bir çalışmada *Crypto-*

meria japonica odununa uygulanan çekme direnci testleri ve çekme kırılmasının davranışını gösteren SEM analizleri ile traheid ve özışını hücrelerinin kırılma biçimlerinin belirlendiğini açıklamışlardır (Takahashi ve ark., 2022). *Ochroma pyramidale* odunu hakkında yapılan bir çalışmada ise (Da Silva ve Kyriakides, 2007) basınç direnci testleri sonuçlarının yapılan SEM analizleri ile desteklendiği belirtilerek yapıda ezilmiş traheid bölgelerinde hasar biçimleri anizotropik yönlerde mikroskop görüntüleri ile açıklanmıştır. *Pinus sylvestris* L. ağacı kullanılarak ahşabın sıkıştırılması sırasında oluşan yapısal değişikliklerin incelendiği bir çalışmada (Rubleva, 2019) SEM analizleri ile deforme olan kısımlarda liflerin yapısı araştırılmıştır. Yöntem ile elde edilen mekanik deney verileri açıklanmıştır. *Fagus sylvatica* L. odunu için statik ve dinamik yükler altındaki davranışın araştırıldığı çalışmada SEM görüntüleri ile liflerin deformasyon yönü, biçimi ve miktarı incelenerek ağacın özellikleri gösterilmiştir (Pang ve ark., 2019).

Masif Ahşap Deneylelerinde Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanımı: Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) Örneği

Araştırmalar, bu çalışmayla uyumlu şekilde SEM yönteminin analizlerde kullanılabilir olduğunu belirtmektedir.

SONUÇ

Çalışmada Doğu çınarı ağaç odununun mekanik deney sonuçları SEM yöntemi ile incelenmiştir. Çekme direnci numunelerinde hücre yapılarındaki bozulmaların net kırılmalar değil dağılımlar ve parçalanmalar şeklinde gerçekleştiği izlenmiştir. Basınç direnci numunelerinde özellikle trahe hücrelerinde kopma, ayrılma deformasyonu gözlemlenmiştir. Analizler hem çekme direnci hem de basınç direncinde deformasyon durumunun hücresel boyutta incelemeye olanak sağladığını göstermiştir. Örnek numunelerde herhangi bir kusur ve işlem bulunmamaktadır. Elde edilen sonuçlar kusurlu ahşap kullanımı, farklı ağaç anatomilerinin karşılaştırılması ve diğer başka karşılaştırmalar için de ele alınabilir. Mekanik deneylerde kullanılan ahşap numune boyutlarına göre elde edilen sonuçlar diğer standartlarla üretilen numune sonuçları için de değerlendirilebilir. Doğu çınarı Türkiye ve dünyada endüstriyel olarak önemli bir türdür. Buna karşın literatürde Taramalı Elektron Mikroskobu çalışmalarının ağacın özellikle yaprakları ve tohumları hakkında yapıldığı görülmektedir. Bu araştırmanın SEM çalışmalarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Ahşabın özellikleri ve bu özellikler sayesinde dış etkilere karşı gösterdiği mekanik tepkileri anlayabilmek için odun-mekanik çalışmaları yapılmıştır ve devam etmektedir. Buna karşın birçok temel ilişki hala bilinmemektedir (Keunecke, 2008). Mekanik deneyler ahşap için sayısal sonuçlar verir. Araştırmacılar bu sonuçlara göre çeşitli teorik tahminler ve yorumlamalar yaparlar. Ahşabın anatomik incelemeleri, ulaşılan sayısal sonuçların neden kaynaklandığını daha iyi anlamaya imkan verir. Ahşabın kalitesi, büyük ölçüde bileşenlerini oluşturan hücre duvarlarının kimyasal ve fiziksel yapısından kaynaklanmaktadır (Tabet ve Fauziah, 2013). Ahşabı en iyi şekilde değerlendirmede, üç boyutlu incelemeleri mümkün kılan, odun materyallerinin hiyerarşik yapısı ve mekaniğini gösteren SEM ile elde edilen sonuçlar önemlidir. Anatomik detayları daha iyi gözlemlenmenin mümkün olduğu yöntem aynı zamanda basit, hızlı ve ucuz olması yönünden de etkilidir. Bu çalışmada amaç deforme olmuş odun örneklerini incelemektir. Herhangi bir işlemin ahşabın yapısı üzerindeki etkisi ahşabın özelliklerine, çürümesine ve bileşimine göre değişeceğinden, SEM mikrografları, her bozunma durumu için spesifik sağlamaştırma ve iyileştirme metotları geliştirmede de etkilidir. Ahşap nesnelerin iyileştirme ve sağlamaştırma işleminin

amacı, orijinalliklerini kaybetmeden mekanik mukavemetlerini ve uyumlarını geri kazandırmaktır (Hamed ve ark., 2012). Çalışmalarda önemli olan numuneleri doğru hazırlamak ve iyi mikrograflar elde etmektir.

KAYNAKLAR

- As, N., Koç, H., Doğu, D., Atik, C., Aksu, B., Erdinler, S. (2001). Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 51(1): 71-88.
- Bektaş, İ., Alma, M. H., Fidan, M. S. (2005). Doğu çınarı (*Platanus orientalis*)'nın lambri yapımına uygunluğunun araştırılması. T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı. Proje No:2003/1-5.
- Bektaş, İ., Göker, Y., Alma, M.H., Baştürk, A. (2002). Odunun tormalama özellikleri üzerine yoğunluk ve rutubet miktarının etkisi. 2nd National Black Sea Forestry Congress, May 15- 18, 2002, Artvin/Turkey, 3: 884-891.
- Bozkurt, Y., Erdin, N. (1997). *Ağaç teknolojisi ders kitabı*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi. Yayın no:3998/445, İstanbul.
- Bozkurt, Y., Erdin, N. (2000). *Odun anatomisi*. İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Cote, W. A., Hanna, R. B. (1983). Ultrastructural characteristics of wood fracture surfaces. *Wood and Fiber Science*, 15(2): 135-163.
- Da Silva, A., Kyriakides, S. (2007). Compressive response and failure of balsa wood. *International Journal of Solids and Structures*, 44(25-26): 8685-8717.
- DIN 52185 (1976). *Testing of wood; compression test parallel to grain standard by Deutsches Institut Für Normung E.V.* German National Standard, Germany.
- DIN 52188 (1979). *Testing of wood; tensile stress parallel to grain standard by Deutsches Institut Für Normung E.V.* German National Standard, Germany.
- DIN 52192 (1979). *Testing of wood; compression test perpendicular to grain standard by Deutsches Institut Für Normung E.V.* German National Standard, Germany.
- Doğu, A. D. (2002). Odun yapısı üzerinde etkili faktörler. *Doğu Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü, DOA Dergisi*, 1: 81-102.
- Erdin, N. (1987). Taramalı elektron mikroskobunun temel prensipleri ve numune hazırlama. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 36(2): 102-124.
- Exley, R. R., Butterfield, B. G., Meylan, B. A. (1974). Preparation of wood specimens for the scanning electron microscope. *Journal of Microscopy*, 101(1): 21-30.
- Fellak, S., Rafik, M., Haidara, H., Taybi, H., Boukir, A., Lhasani, A. (2022). Scanning electron microscopy examination of the surface of softwood attacked by fungus. MA-TEC Web of Conferences, EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202236000007> (Erişim tarihi: 29.08.2022)
- Goldstein, J., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., Joy, D. C. (2018). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Springer, New York.

Masif Ahşap DeneYlerinde Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanımı: Doğu Çınarı (*Platanus orientalis* L.) Örneği

- Golinejad, S., Mirjalili, M. H. (2020). Fast and cost-effective preparation of plant cells for scanning electron microscopy (SEM) analysis. *Analytical Biochemistry*, 609; DOI: 10.1016/j.ab.2020.113920
- Hamed, S. A., Ali, M. F., El Hadidi, N. M. (2012). Using SEM in monitoring changes in archaeological wood: A review. In: *Current microscopy contributions to advances in science and technology*. Badajoz: Formatex Research Center, Spain, 1077-1084.
- Hatano, T., Nakaba, S., Horikawa, Y., Funada, R. (2022). A combination of scanning electron microscopy and broad argon ion beam milling provides intact structure of secondary tissues in woody plants. *Scientific Reports*, 12:9152; DOI: 10.1038/s41598-022-13122-3
- Ishida, S., Ohtani, J. (1970). Study on the pit of wood cells using scanning electron microscopy: Report 1. An observation of the vestured pit in black locust, *Robinia pseudo-acacia* LINN. Research bulletins of the college. Hokkaido University, 27(2), 347-354.
- Jansen, S., Kitin, P., De Pauw, H., Idris, M., Beeckman, H., Smets, E. (1998). Preparation of wood specimens for transmitted light microscopy and scanning electron microscopy. *Belgian Journal of Botany*, 131(1): 41-49.
- Keunecke, D. (2008). Elastomechanical characterization of yew and spruce wood with regard to structure property relationships. Ph.D. Thesis, University of Hamburg, Germany.
- Lehringer, C., Daniel, G., Schmitt, U. (2009). TEM/FE-SEM studies on tension wood fibres of *Acer* spp., *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. *Wood Science and Technology*, 43(7): 691-702.
- Merela, M., Thaler, N., Balzano, A., Plavčak, D. (2020). Optimal surface preparation for wood anatomy research of invasive species by scanning electron microscopy. *Drvna Industrija*, 71(2):117-127.
- Merev, N. (2003). *Odun anatomisi ve odun tanıtımı*. KTÜ Basımevi, Genel Yayın No: 209, Trabzon.
- Nasir, M. G., Fatima, N., Suleman, K. M. (2006). Technological properties and suitability determination of some non-commercial timbers on the basis of anatomical properties. *The Pakistan Journal of Forestry*, 56(1): 5-16.
- Pang, S., Liang, Y., Tao, W., Liu, Y., Huan, S., Qin, H. (2019). Effect of the strain rate and fiber direction on the dynamic mechanical properties of beech wood. *Forests*, 10(10): 881.
- Rajab, B. A. (2014). Thermal treatment of several wood species grown in Iraq. M.Sc. Thesis, T.R. Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Turkey.
- Rauf, S., Raza, S. J. (2012). Properties and utilization of locally grown Chinar (*Platanus orientalis* L.) wood. *The Pakistan Journal of Forestry*, 62(2): 40-45.
- Rubleva, O. (2019). Structural changes of Scots pine wood caused by local pressing in the longitudinal direction. *Drewno*, 62: 23-39.
- Tabet, T. A., Fauziah, A. A. (2013). Cellulose microfibril angle in wood and its dynamic mechanical significance. In: *Cellulose fundamental aspects*. Rijeka, Croatia: Intech., 113-142.
- Takahashi, A., Yamamoto, N., Ooka, Y., Toyohiro, T. (2022). Tensile Examination and Strength Evaluation of Latwood in Japanese Cedar. *Materials*, 15(7): 2347.
- Thornhill, J. W., Matta, R. K., Wood, W. H. (1965). Examining three-dimensional microstructures with the scanning electron microscope. *Grana*, 6(1): 3-6.
- Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z. L., Joy, D. (2006). Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). In: *Scanning microscopy for nanotechnology*. Springer, New York, 1-40.