

Hidrotermal hidroliz yönteminde amonyum klorür kullanımının lif levhaların geri dönüşümüne etkisi

Çağrı Olgun^{a,*} 

Öz: Lif levhalar, kullanım ömürlerinin sonunda bertaraf edilmelerinde hava kirliliği gibi bazı önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların çözümünde lif levhaların geri dönüşümü en etkili yöntem olmakla beraber, henüz kendine yaygın bir uygulama alanı bulamamıştır. Literatürde odun esaslı levhalar için çeşitli geri dönüşüm metotları bulunmakla olup, bunlar arasında en çok araştırılanlardan biri de hidrotermal hidroliz yöntemidir. Bu çalışmada, hidrotermal hidroliz yöntemi ile geri dönüştürme işleminde farklı (%0, %2,5, %5, %7,5, %10, %15, %20 ve %25) konsantrasyonlara sahip amonyum klorür çözeltilerinin kullanımının elde edilen lifler üzerine etkisi araştırılmıştır. Geri kazanılan liflerin özelliklerinin tespiti amacıyla elementel analiz (%C, %H, %N), FT-IR analizi, SEM (taramalı elektron mikroskopu) ve SEM EDS (enerji dağılım spektrometresi) analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, amonyum klorür miktarındaki artış lif levhanın yapısında bulunan toplam azot (N) oranını %4,198'den %0,268'e kadar azalttığı gözlemlenmiştir. Buna rağmen, amonyum klorür miktarındaki artış ile elde edilen liflerin morfolojilerinde bozulmalar olduğu gözlemlenmiştir. SEM EDS analizi sonuçlarında %20 ve %25 konsantrasyonda amonyum klorür çözeltisi ile muamele edilerek geri kazanılan liflerin yüzeyinde azot elementinin olmadığı ve tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, bu iki çözelti optimum işlem konsantrasyonu olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Geri dönüşüm, Lif levha, Lif özellikleri, Hidrotermal hidroliz

The effect of ammonium chloride usage on the recycling of fiberboards in the hydrothermal hydrolysis method

Abstract: Fiberboards, when disposed of at the end of their service life, cause some significant environmental issues such as air pollution. The recycling of fiberboards is the most effective solution to these problems; however, it has not yet found a widespread application. In the literature, there are various recycling methods for wood-based panels, but one of the most researched is the hydrothermal hydrolysis method. In this study, the effect of ammonium chloride solutions with different concentrations (0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 15%, 20%, and 25%) on the fibers obtained through the recycling process using the hydrothermal hydrolysis method was investigated. Elemental analysis (C%, H%, N%), FT-IR analysis, SEM (scanning electron microscope) and SEM EDS (energy dispersive spectrometry) analyses were conducted to determine the properties of the recovered fibers. According to the obtained results, it has been observed that the increase in the amount of ammonium chloride significantly reduces the total nitrogen (N) content in the structure of the fiber board from 4.198% to 0.268%. Nevertheless, it has been observed that there are distortions in the morphologies of the fibers obtained with the increase in the amount of ammonium chloride. In the SEM EDS analysis results, it was found that there was no nitrogen element on the surface of the fibers recovered by treatment with ammonium chloride solution at concentrations of 20% and 25%, and when all results were evaluated, these two solutions were determined to be the optimum processing concentrations.

Keywords: Recycling, Fiberboard, Fiber properties, Hydrothermal hydrolysis

1. Giriş

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) 2023 yılı istatistiklerine göre 1961 yılından günümüze dünyada yaklaşık olarak toplam 6,7 milyar m³'lük yongalevha, OSB ve lif levha üretimi gerçekleştirilmiş durumdadır. Bu rakamın yaklaşık 2,7 milyon m³'ü çeşitli sınıflardaki lif levha üretimlerine aittir. FAO'nun 2023 yılı istatistiklerine göre, 2022 yılında 6,25 milyon m³ üretimle Türkiye, lif levha üretiminde dünyada Çin'den sonra ikinci en fazla üretim yapan ülke konumundadır (FAOSTAT, 2023). Rakamlardan anlaşılacağı üzere Türkiye mobilya sektörünün en önemli hammaddelerinden biri olan lif levhanın en büyük üreticilerinden biridir. Lif levhaların mobilya üretimi

sırasında fire olarak veya kullanım ömrü sonunda atık olarak çöp deponi alanlarına terk edilmesi ya da yakılarak bertaraf edilmesi hava kirliliği konusunda çeşitli problemlerle yol açmaktadır (Demirkır ve Çolak, 2006; Olgun vd., 2023). Ayrıca birçok farklı araştırmacı tarafından yakın gelecekte orman ürünleri sanayisindeki gelişime paralel olarak odun hammadde tedariki konusunda bir darboğaz yaşanılması beklenilmekte ve bu noktada yeni hammaddelerin değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yürütülmektedir (Çiçekler vd., 2022). Atık yönetimiyle ilişkili artan çevresel endişeler nedeniyle odun esaslı levhaların geri dönüşümü geleneksel bertaraf yöntemlerine göre daha sürdürülebilir bir çözüm önerisi olarak ön plana

^a Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 37150, Kastamonu, Türkiye

[@] * **Corresponding author** (İletişim yazarı): colgun@kastamonu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 13.11.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 13.03.2025



Citation (Atıf): Olgun, Ç., 2025. Hidrotermal hidroliz yönteminde amonyum klorür kullanımının lif levhaların geri dönüşümüne etkisi. Turkish Journal of Forestry, 26(2): 175-181.

DOI: [10.18182/tjof.1584107](https://doi.org/10.18182/tjof.1584107)

çıkılmaktadır (Demirkır ve Çolak, 2006; Lubis vd., 2020a; 2020b; Sala vd., 2020).

Son yıllarda, mekanik, kimyasal, hidrotermal ve bunların kombinasyonları şeklinde birçok yenilikçi odun esaslı levha geri dönüşüm yöntemi geliştirilmiştir (Antov ve Savov, 2019; Olgun vd., 2023). Bu yöntemlerden en çok çalışılanlarından biri olan hidrotermal hidroliz yöntemi, düşük karbon ayak izi ve sürdürülebilirlik açısından daha fazla ön plana çıkmaktadır (Savov vd., 2023a; 2023b). Termoset yapıları sebebi ile formaldehit içerikli tutkallarla üretilen odun esaslı levhaların geri dönüşümü, kağıt vb. gibi ürünler gibi kolay olmamaktadır. Teorik olarak hidrotermal hidrolizde tutkalın iç matris yapısındaki bağların hidrolizi amaçlansa da (Besserer vd., 2021; Savov vd., 2023a), uygulama esnasında uygulanan faktörlerin etkisi ile liflerin morfolojilerinde bozulmalar meydana gelmektedir (Lubis vd., 2018a; Moezzipour vd., 2018; Zeng vd., 2018; Hagel vd., 2021; Gürsoy ve Ayrılmış, 2023; Troilo vd., 2023). Olgun vd. (2023) yaptıkları çalışmada 5 farklı geri dönüşüm metodunun lif boyutları ve yeniden üretilen levha özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, %25 konsantrasyona sahip amonyum klorür ve amonyum sülfat çözeltileri ile hidrotermal hidroliz yöntemi ile geri kazanılan lifleri boyutlarındaki değişimin ve bu liflerden elde edilen levha özelliklerinin çözelti konsantrasyonu, işlem sıcaklığı ve zamanındaki değişimlerle iyileştirebileceğini vurgulamışlardır (Olgun vd., 2023). Odun esaslı levha sektörlerinde geri dönüşümü yaygınlaştırmak için farklı geri dönüşüm yöntemlerinin, geri kazanılmış lif ve yeniden elde edilecek levhaların özelliklerine olan etkilerinin daha fazla incelenmesi ve bu yöntemlerde uygulanan işlem şartlarının etkilerin değerlendirilerek optimize edilmesi hususunda, mevcut bilimsel çalışmalara ek daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç vardır (Savov vd., 2023a; 2023b). Bu çalışmada hidrotermal geri dönüşüm işlemi sırasında farklı konsantrasyonlardaki amonyum klorür çözeltilerinin kullanımının geri kazanılmış lifler üzerine etkisi araştırılarak optimum amonyum klorür konsantrasyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Geri dönüşüm materyali olarak %100 yapraklı ağaç lifi ile üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilmiş olduğu bilinen orta yoğunluklu lif levha (MDF) örnekleri atık parça olarak temin edilmiştir. MDF örnekleri, geri dönüşüme hazırlanmaları için CEL marka Power 8 (WS4E) model taşınabilir atölye (UK) yardımıyla 1 cm genişliğinde ve 2-4 cm uzunluğunda şeritler haline getirilmiştir. Çalışmada kullanılan geri dönüşüm prosedürleri için analitik saflıkta Scharlau marka amonyum klorür Gençbay Medikalden (Zonguldak/Türkiye) temin edilerek kullanılmıştır.

2.2. Hidrotermal hidroliz metodu ile geri dönüşüm

Hidrotermal hidroliz yöntemi ile geri dönüşüm işlemi için hazırlanan lif levha numuneleri, Şekil 1'deki gibi %0, %2,5, %5, %7,5, %10, %15, %20 ve %25 konsantrasyonlardaki amonyum klorür çözeltilerine, çözelti/MDF atık oranı 10:1 olacak şekilde eklendikten sonra 110 °C'de, 0,4 bar basınçta 30 dakika otoklavda muamele edilmiştir. İşlem sonrasında atık MDF örnekleri şişerek bütünlüklerini kaybetmiş, elde edilen lifler distile su ile yıkanarak mekanik olarak dağıtılmıştır. Lifler, oda koşullarında kurutulduktan sonra yapılan analizler için etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek fırın kurusu halde hazırlanmıştır.

2.3. Elementel Analiz

Lif levhanın ve geri dönüştürülen liflerin yapısında bulunan karbon (%C), azot (%N) ve hidrojenin (%H) tespiti Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Eurovector CHN Elemental Analyzer cihazında gerçekleştirilmiştir.

2.4. Fourier transform infrared Sprektrum (FT-IR) Analizi

Elde edilen lif örneklerinin fonksiyonel gruplarındaki farklılıkları belirlemek için Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ile analiz edildi. FT-IR deneyleri Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan ATR aksesuarına sahip JASCO FT/IR 4700 spektrometresi yardımıyla 400-4000 cm⁻¹ dalga boyları arasında, 4 cm⁻¹ çözünürlükte ve örnek üzerinde 32 tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. MDF Geri Dönüşüm aşamaları (A: işlem öncesi, B: hidrotermal işlem C: işlem Sonrası)

Figure 1. MDF Recycling stages (A: before the treatment, B: hydrothermal treatment C: after the treatment)

2.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri

Liflerin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için Kastamonu Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Quanta FEG 250 (FEI, ABD) taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Geri dönüşüm işlemleri sonrasında birbirine yakın özellikler gösteren grupların arasında ayırım yapabilmek amaçlı lif yüzeylerinin elementel kompozisyon taraması, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Malzeme Karakterizasyon Laboratuvarında bulunan QUANTA FEG 250 (FEI, ABD) marka taramalı elektron mikroskobu enerji dağılım spektrometresi (SEM - EDS) yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Elemental Analiz Sonuçları

MDF örneklerinden alınan toz numunenin ve geri dönüştürülen liflerin elemental analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Oransal olarak azot miktarı, direkt olarak levhada kullanılan üre formaldehit miktarı ile ilişkili olup, geri dönüşümde bu oranın azalması uzaklaşan tutkal miktarı ile ilişkilendirilmektedir (Lubis vd., 2018b). Çalışmada kullanılan MDF atıklarından elde edilen numunelerin azot oranı %4,198 olarak tespit edilirken, hidrotermal geri dönüşüm işlemi sonucu elde edilen en yüksek değer %0,924 ile sadece su ile işlem gören gruptan, en düşük oran ise %0,268 ile %25 amonyum klorür ile muamele gören gruptan elde edilmiştir. İşlem sonrası oransal olarak azot miktarındaki azalma, uygulanan hidrotermal geri dönüşüm işleminin başarılı olduğunu göstermektedir. Amonyum klorür miktarındaki artışa bağlı olarak yüzde azot miktarı belirli bir miktara kadar gerilemiş ve %7,5 amonyum klorür ile muamele görmüş gruptan sonra değişimlerde anlamlı bir farklılık gözlemlenmemiştir. Bu değişimlerin daha ayrıntılı anlaşılabilmesi açısından örneklerin yüzde azot miktarları Şekil 2'deki grafikte gösterilmiştir.

Literatürde, yonga levhanın sadece su ile hidrotermal geri dönüşümü ile elde edilen yongalarda azot oranının 100 °C 1 saat bekletme ile %1,3, 120 °C'de 30 dk bekletme ile %0,99, 160 °C'de 20 dk bekletme ile %0,66 oranına kadar azaldığı rapor edilmiştir (Fu vd., 2020). Farklı kalınlıktaki lif levhalar, farklı çözelti/levha oranlarında ve sürelerde 95 °C sıcaklıkta uygulanan geri dönüşüm işlemi sonucunda elde edilen liflerin azot oranının % 1,0 ila %2,5 arasında değiştiği belirtilmiştir (Bütün Buschalsky ve Mai, 2021). Hagel, vd., 2021 yılında yaptıkları çalışmada, buharlama sonrası liflendirmeye ile geri dönüştürülen liflerdeki azot oranını %0,9 ila 1,2 arasında bulmuşlardır. Farklı bir çalışmada, hidrotermal geri dönüşüm yöntemiyle farklı sıcaklıklar ve sürelerde elde edilen liflerin azot oranının %3,68 ile %3,94 arasında olduğu rapor edilmiştir (Savov vd., 2023a). Lubis, vd. (2018b) yaptıkları çalışmada, 100 °C'de sadece su ile yapılan hidrotermal geri dönüşümde elde edilen liflerin azot oranını %1,04 olarak tespit ederken, aynı çalışmada kullanılan 0,1 M'lık sülfürik asit çözeltisi yardımı ile 100 °C'de yapılan hidrotermal geri dönüşümden elde edilen liflerde %0,26, 0,1 M'lık oksalik asit çözeltisi yardımı ile 100 °C'de yapılan hidrotermal geri dönüşümden elde edilen liflerde ise %0,08 oranında bulmuşlardır. Çalışmada kullandıkları alkali çözeltilerle (0,1'er molar sodyum sülfid ve

sodyum hidroksit) yapılan muamele sonucunda ise, sadece suya göre azot oranının tüm denemelerde yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Lubis vd., 2018b). Literatürdeki bilgilere paralel şekilde çalışmada kullanılan amonyum klorürün sulu çözeltilerinin zayıf asidik karakteri (pH≈ 4-6) liflerdeki azot oranının azalmasındaki en muhtemel sebebi olarak düşünülmektedir (Barnartt, 1986; Olgun vd., 2023).

3.2. FT-IR Analiz Sonuçları

Şekil 3'te, atık MDF örneği (kontrol) ve hidrotermal hidroliz metodu ile elde edilmiş örneklerin FT-IR ATR analiz grafikleri, geçirgenlik oranı (%T) şeklinde gösterilmiştir. Şekil 3'te özellikle MDF tozundan elde edilen ve üre formaldehit kaynaklı, C=O gerilme bandını (amid I), N-H bükülmesini ve C-N gerilmesini ve (amid II) gruplarını (1647-1542 cm⁻¹) temsil eden dalga boylarında önemli farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. 1647cm⁻¹ en yüksek ilk üç yüzde geçirgenlik değeri sırası ile %20, %10 ve %7,5 konsantrasyona sahip amonyum klorür kullanılarak geri dönüştürülen lif gruplarından elde edilmiştir. 1541 cm⁻¹'de en yüksek ilk üç yüzde geçirgenlik değerleri ise %20, %7,5 ve %10 konsantrasyona sahip amonyum klorür kullanılarak geri dönüştürülen lif gruplarından elde edilmiştir. Literatürdeki geri dönüşüm çalışmalarında da çalışmamıza paralel şekilde FT-IR analizlerinde en çok fark bu iki dalga boyunda gözlemlenmiştir (Moezzi pour vd., 2017; Lubis vd., 2018a; 2018b; Lubis ve Park, 2018).

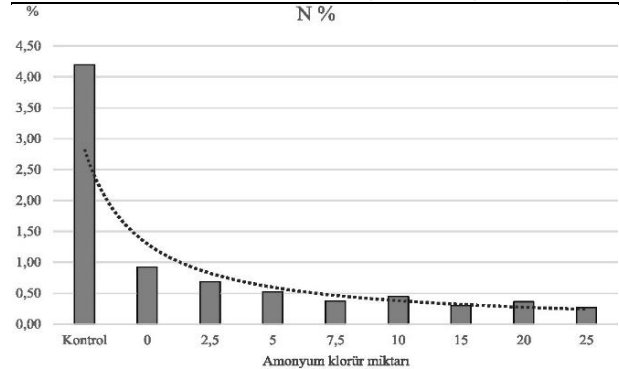
3.3. Liflerin morfolojik özellikleri ve yüzey elementel kompozisyonları

Atık MDF örneği ve farklı konsantrasyonlardaki amonyum klorür çözeltileri ile hidrotermal hidroliz yöntemiyle elde edilen liflerin SEM görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 1. Elemental analiz sonuçları

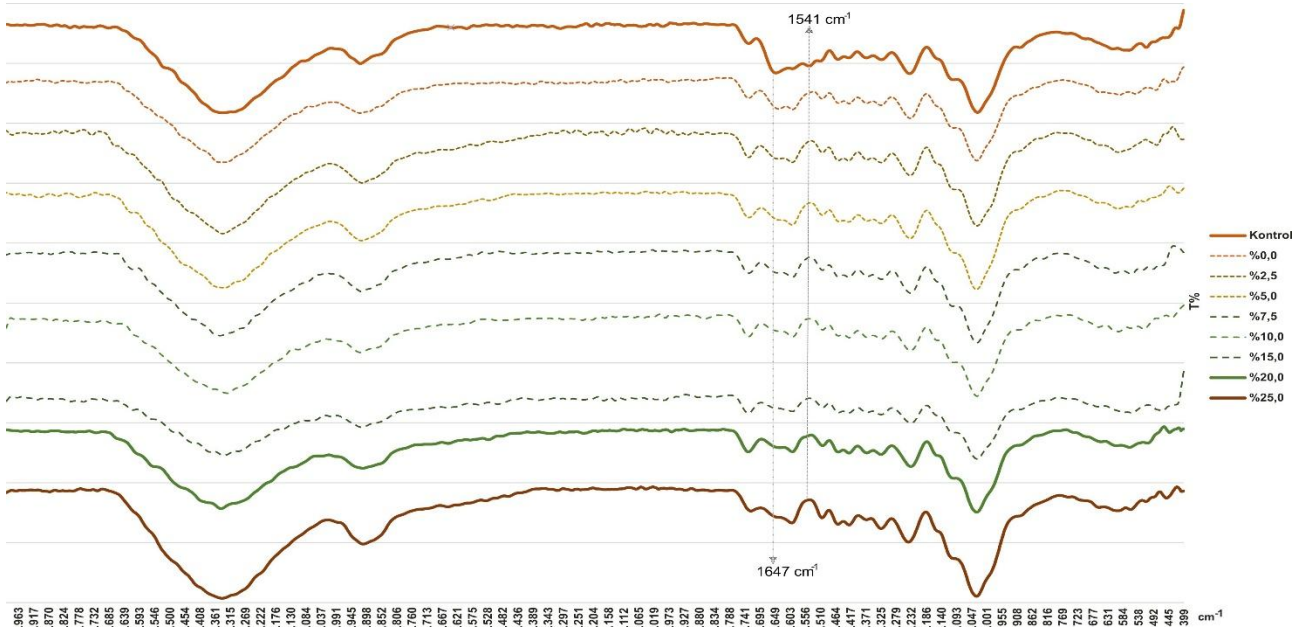
Table 1. Results of elemental analysis

Örnek adı	Amonyum klorür konsantrasyonu (%)	N (%)	C (%)	H (%)
Kontrol	MDF Levha Tozu	4,198	45,512	5,869
A	%0	0,924	46,174	6,139
B	%2,5	0,687	46,520	6,145
C	%5	0,521	46,509	6,251
D	%7,5	0,374	47,047	5,938
E	%10	0,448	47,062	6,264
F	%15	0,300	46,408	5,950
G	%20	0,358	46,585	6,325
H	%25	0,268	46,535	6,058



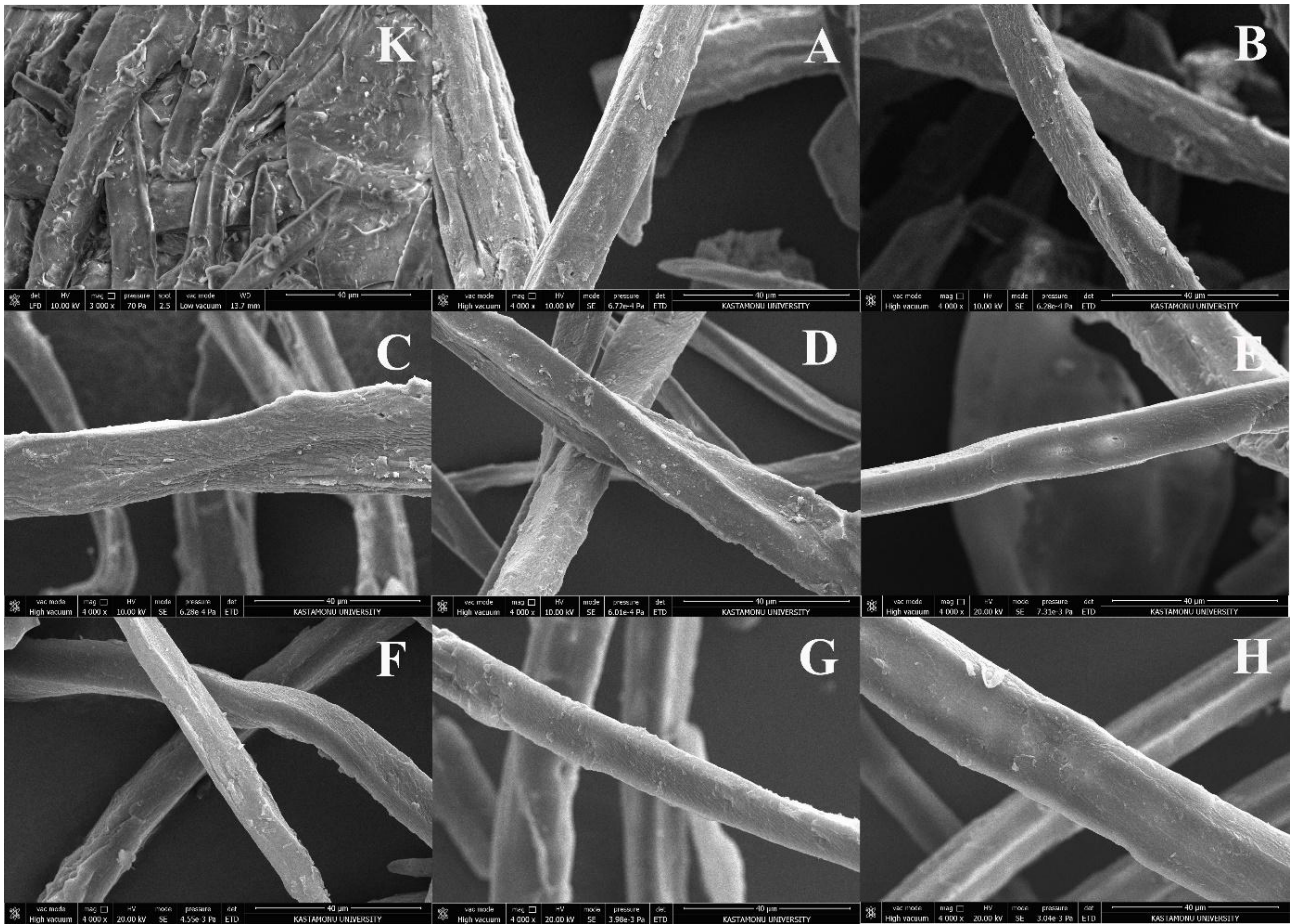
Şekil 2. Liflerin azot miktarındaki değişim

Figure 2. Change in nitrogen content of fibers



Şekil 3. Örneklerin FT-IR ATR analizleri

Figure 3. FT-IR ATR analyses of the samples



Şekil 4. SEM görüntüleri (K: Kontrol, zoom oranı 3000x; A %0, B %2,5, C %5, D %7,5, E %10, F %15, G %20, H %25, A-H zoom oranı 4000x, her bir fotoğrafta birim uzunluk: 40 µm)

Figure 4. SEM images (K: Control, zoom ratio 3000x; A 0%, B 2.5%, C 5%, D 7.5%, E 10%, F 15%, G 20%, H 25%, A-H zoom ratio 4000x, unit length in each photograph: 40 µm)

Şekil 4'te yer alan SEM fotoğraflarında, %0, %2,5, %5 konsantrasyonlarında muamele görmüş liflerin yüzeylerine tutkal artıkları gözlenmektedir. Tutkal artığı parçacıkların sayısı ve boyutlarının, amonyum klorür miktarı arttıkça azaldığı gözlemlenebilmektedir. Aynı zamanda, konsantrasyon arttıkça liflerde morfolojik deformasyonların arttığı görülebilmektedir. Hatta %20 (G) ve %25 (H) konsantrasyonlarındaki çözelti ile hidrotermal geri dönüşümden elde edilen liflere ait fotoğraflar (Şekil 4 ve Şekil 5) incelendiğinde, lifler yüzeylerinde yer yer geniş çatlaklar görülmektedir. Geri dönüşüm işlemi sonrası liflerin yüzeyinde kalan kalıntı tutkal geri kazanılmış lifin tekrardan lif levha üretiminde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Hatta çok düşük oranlarda dahi olsa, odun yüzeyindeki tutkal kalıntısı yapışma direncini ciddi oranda etkilemektedir (Besserer vd., 2021, Troilo vd., 2023). Dolayısı ile sadece elementel analiz yapmak genellikle yetersiz kalmaktadır, çünkü elementel analiz elde edilen kütlenin içerisindeki azot miktarını vermektedir. Lif yüzeyindeki kalıntı tutkal, elementlerin X ışınlarını yansıtma prensibine göre seçilen bölgedeki elementel kompozisyonunun belirlendiği, enerji

dağılım spektrometresi (SEM-EDS) metodu ile daha ayrıntılı bir şekilde belirlenebilmektedir (Troilo vd., 2023). Çalışmada elde edilen elementel analiz, FT-IR spektrumları ve SEM fotoğraflarının incelenmesi sonucu birbirine yakın özellikler gösterdiği düşünülen %7,5 den %25 konsantrasyona kadar olan gruplardaki liflerin yüzey alanlarının elementel kompozisyonu SEM EDS analizi ile gerçekleştirilmiş, analiz sonucu elde edilen grafikler Şekil 6'da ve grafiklerde tespit edilen elementlerin ağırlıkça yüzde ve atomca yüzdeleri ise Çizelge 2'de sayısal olarak verilmiştir.

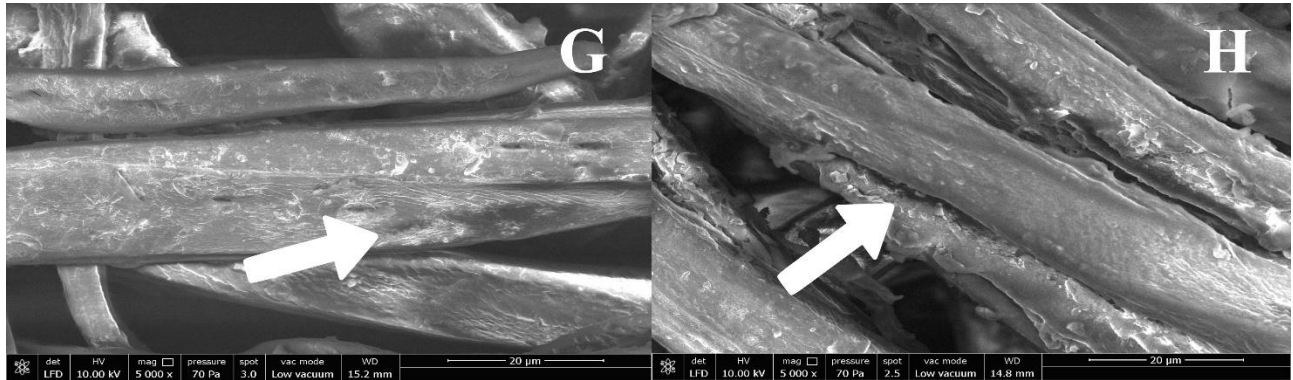
Genel olarak Çizelge 2'de yer alan bilgilere göre liflerin yüzey alanlarında azot miktarları işlem kimyasalının konsantrasyonu arttıkça azalmaktadır. Buradaki sonuçlar elementel analiz sonuçlarına benzer olmakla beraber G ve H grupları için elementel analizde azot miktarı yüzdeleri mevcut iken SEM EDS sonuçlarında bu iki gruba ait liflerin yüzey taramasında azot tespit edilememiştir. Bu durum temel olarak hidrotermal geri dönüşüm işlemi sonrası hidrolize uğrayan tutkal parçalarının lifler arasında yer almasına rağmen lif yüzeylerinden geri dönüşüm işlemi ve kimyasalın etkisi ile uzaklaştığını göstermektedir.

Çizelge 2. SEM EDS analiz sonuçları

Table 2. Results of SEM EDS analysis

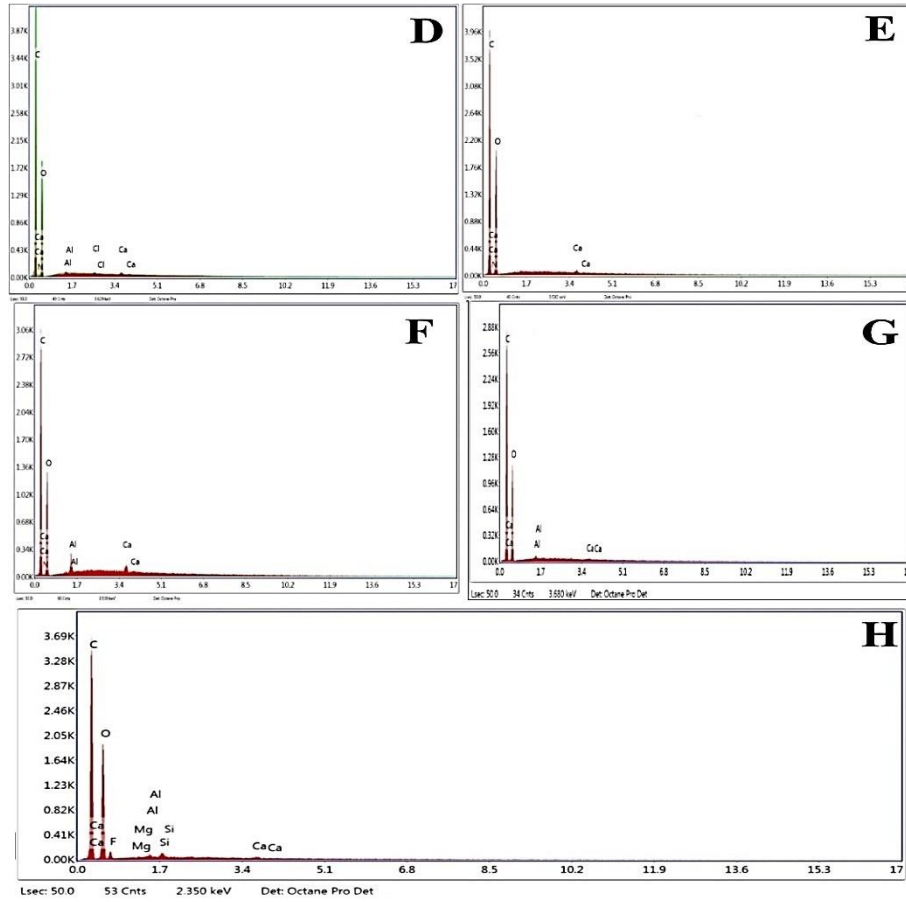
Numune Adı	C		N		O		Diğer*	
	Ağırlıkça %	Atomca %	Ağırlıkça %	Atomca %	Ağırlıkça %	Atomca %	Ağırlıkça %	Atomca %
D (%7,5)	56,39	63,13	2,67	2,56	40,21	34,22	0,23	0,08
E (%10)	52,13	59,03	2,81	2,73	44,93	38,19	0,13	0,04
F (%15)	55,46	62,46	2,40	2,32	41,13	34,78	1,00	0,44
G (%20)	57,72	64,63	n.d.	n.d.	41,91	35,23	0,37	0,14
H (%25)	55,00	62,47	n.d.	n.d.	41,40	35,30	3,59	2,25

n.d.: tespit edilemedi, * İlgili örnekte tespit edilen diğer (F, Mg, Al, Si, Cl, Ca) elementlerin toplam yüzdesi.



Şekil 5. %20 (G) ve %25 (H) konsantrasyonlarındaki çözelti ile işlem görmüş liflerin detaylı SEM fotoğrafları (zoom: 5000X; birim uzunluk 20 µm)

Figure 5. Detailed SEM photos of fibers treated with solutions at 20% (G) and 25% (H) concentrations (zoom: 5000X; scale bar 20 µm)



Şekil 6. SEM EDS analizi grafikleri (D %7,5, E %10, F %15 G %20, H %25)
Figure 6. SEM EDS analysis graphs (D 7.5%, E 10%, F 15%, G 20%, H 25%)

4. Sonuçlar

- Elementel analiz sonucunda azot miktarı açısından amonyum klorür kullanımının %7,5 konsantrayondan sonraki dozlarının uygulanabilir olduğu,
- FT-IR analizi sonuçlarına göre üre formaldehite ait dalga boylarında en çok değişiklik gösteren gruplar uygulanan çözelti konsantrasyonlarına göre sıralandığında %7,5, %10 ve %20 olduğu,
- SEM fotoğraflarına göre çözelti miktarı arttıkça liflerde morfolojik deformasyonların oluştuğu, Buna rağmen SEM EDS analizine göre %20 ve %25 konsantrasyonlardaki çözeltiler ile geri dönüştürülmüş liflerin yüzeylerinde tutkal artığına dair izlere rastlanmadığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak atık lif levhaların hidrotermal geri dönüşümünde amonyum klorürün yardımcı kimyasal olarak %20 ile %25 oranlarında kullanımın optimum olduğu tespit edilmiştir. Bu oranlardaki çözeltiler ile muamale edilerek hidrotermal geri dönüşüm yapılan liflerin yeniden levha üretiminde kullanılabilirliği, üretilecek levhaların fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkilerinin değerlendirilmesi Türkiye'nin levha sektöründeki öncü konumunu koruması açısından önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- Antov, P., Savov, V., 2019. Possibilities for manufacturing eco-friendly medium density fibreboards from recycled fibres – a review. 30th International Conference on Wood Science and Technology - ICWST 2019, 12-13 December, Zagreb, Croatia, pp 18-24.
- Barnartt, S., 1986. Technical Note: High-temperature pH of dilute ammonia and ammonium chloride solutions and mixtures with strong alkali. Corrosion, 42(9):549-554. doi:10.5006/1.3583067
- Besserer, A., Troilo, S., Girods, P., Rogaume, Y., Brosse, N., 2021. Cascading recycling of wood waste: A review. Polymers, 13(11): 1752.
- Bütün Buschalsky, F.Y., Mai, C., 2021. Repeated thermo-hydrolytic disintegration of medium density fibreboards (MDF) for the production of new MDF. European Journal of Wood and Wood Products, 79 (6): 1451-1459.
- Çiçekler, M., Özdemir, A., Tutuş, A., 2022. Characterization of pulp and paper properties produced from okra (*Abelmoschus esculentus*) stalks. Drvna industrija, 73(4): 423-430.
- Demirkır, C., Çolak, S., 2006. Odun kökenli atıkların levha endüstrisinde yeniden kullanım imkanları. Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 7(1): 41-50.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nation), 2023. Forestry production and trade statistics. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, Erişim: 11.11.2024.
- Fu, Q., Wang, X., Cloutier, A., Roussi re, F., 2020. Chemical characteristics of thermo-hydrolytically recycled particles. BioResources, 15(2): 3774.

- Gürsoy, S., Ayırmis, N., 2023. Effect of lignin modification of recycled and fresh wood fibers on physical, mechanical, and thermal properties of fiberboard. *Forests*, 14(10): 2007.
- Hagel, S., Joy, J., Cicala, G., Saake, B., 2021. Recycling of waste MDF by steam refining: evaluation of fiber and paper strength properties. *Waste Biomass Valorization*, 12: 5701–5713. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01391-4>
- Lubis, M.A.R., Hong, M.K., Park, B.D., Lee, S.M., 2018a. Effects of recycled fiber content on the properties of medium density fiberboard. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76: 1515–1526. <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1326-8>
- Lubis, M.A.R., Hong, M.K., Park, B.D., 2018b. Hydrolytic removal of cured urea-formaldehyde resins in medium-density fiberboard for recycling. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 38 (1): 1–14.
- Lubis, M.A.R., Park, B.D., 2018. Analysis of the hydrolysates from cured and uncured urea-formaldehyde (UF) resins with two F/U mole ratios. *Holzforschung*, 72(9): 759-768.
- Lubis, M.A.R., Hidayat, W., Zaini, L.H., Park, B.D., 2020a. Effects of hydrolysis on the removal of cured urea-formaldehyde adhesive in waste medium-density fiberboard. *Jurnal Sylva Lestari*, 8(1): 1-9.
- Lubis, M.A.R., Park, B., Hong, M., 2020b. Tuning of adhesion and disintegration of oxidized starch adhesives for the recycling of medium density fiberboard. *Bioresources*, 15(3): 5156-5178. <https://doi.org/10.15376/biores.15.3.5156-5178>
- Moezzi-pour, B., Ahmadi, M., Abdolkhani, A., Doost-hoseini, K., 2017. Chemical changes of wood fibers after hydrothermal recycling of MDF wastes. *Journal of the Indian Academy of Wood Science* 14: 133–138. <https://doi.org/10.1007/s13196-017-0198-6>
- Moezzi-pour, B., Abdolkhani, A., Doost-hoseini, K., Ahmed-Ramazani, S.A., Tarmian, A., 2018. Practical properties and formaldehyde emission of medium density fiberboards (MDFs) recycled by electrical method. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76 (4): 1287–1294. <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1291-2>
- Olgun, Ç., Ateş, S., Uzer, E., 2023. Effects of medium density fiberboards (MDF) recycling methods on fiber dimensions and some reconstructed board properties. *Drvena industrija*, 74(1): 61-69. <https://doi.org/10.5552/drvind.2023.0037>
- Sala, C., Robles, E., Kowaluk, G., 2020. Influence of adding offcuts and trims with a recycling approach on the properties of high-density fibrous composites. *Polymers*, 12(6): 1327. <https://doi.org/10.3390/polym12061327>
- Savov, V., Antov, P., Panchev, C., Lubis, M.A.R., Lee, S.H., Taghiyari, H.R., Todorova, M., Petrin, S., 2023a. Effect of hydrolysis regime on the properties of fibers obtained from recycling medium-density fiberboards. *Fibers*, 11(7): 64.
- Savov, V., Antov, P., Panchev, C., Lubis, M.A.R., Taghiyari, H.R., Lee, S.H., Kristak, L., Todorova, M., 2023b. The impact of hydrolysis regime on the physical and mechanical characteristics of medium-density fiberboards manufactured from recycled wood fibers. *Fibers*, 11(12): 103.
- Troilo, S., Besserer, A., Rose, C., Saker, S., Soufflet, L., Brosse, N., 2023. Urea-formaldehyde resin removal in medium-density fiberboards by steam explosion: developing nondestructive analytical tools. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(9): 3603-3610. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05686>
- Zeng, Q., Lu, Q., Zhou, Y., Chen, N., Rao, J., Fan, M., 2018. Circular development of recycled natural fibers from medium density fiberboard wastes. *Journal of Cleaner Production*, 202: 456-464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.166>