



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

**ENDÜSTRİYEL TUTKAL ÜRETİMİNDE SIZINTI SUYU
DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut GÖKTAŞ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Melayib BİLGİN

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212361422 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Mahmut GÖKTAŞ tarafından hazırlanan “**ENDÜSTRİYEL TUTKAL ÜRETİMİNDE SIZINTI SUYU DEĞERLENDİRMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Melayib BİLGİN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Günay ÖZBAY

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Doç. Dr. Hasan Hüseyin CİRİTCİOĞLU

Düzce Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 23/01/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Mahmut GÖKTAŞ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve geliştirilmesi süreçlerinde bilimsel temellere dayalı rehberlik ve bilgilendirmeleriyle bana her türlü konuda yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Melayib BİLGİN 'e, tezimdeki bilimsel faaliyetlerde yanımda olan destekleyen yol gösteren sayın Prof. Dr. Günay ÖZBAY' a ve son olarak tezimin araştırma ve yürütmesinde desteklerini esirgemeyen beni teşvik eden Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ'ye akademik hayatıma katkılarından dolayı teşekkür eder saygı ve sevgilerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman kariyerime ve eğitimime destek olan aileme öncelikle babam Mustafa GÖKTAŞ ve annem Hava GÖKTAŞ başta olmak üzere abim Ahmet GÖKTAŞ'a ablam Esra GÖKTAŞ'a ve kardeşim Esmanur GÖKTAŞ'a her türlü desteklerinden dolayı teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Yüksek lisansa başlamadan önce ve başladıktan sonra her zaman yanımda olan değerli büyüğüm bölüm arkadaşım abim Hüseyin KIZILTAN'a ve üniversitenin kazandırdığı değerli arkadaşlık dostluklardan biri olan tez sürecinde varlığını her zaman hissettiren değerli arkadaşım Büşra AKÇAY'a ve son olarak Aksaray'ın kazandırdığı değerli dostum Ferhat GÜL'e teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Mahmut GÖKTAŞ

AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çevre Sorunları.....	6
1.1.1 Çevre kirliliği	6
1.1.2 Hava kirliliği	7
1.1.3 Su kirliliği	7
1.1.4 Toprak kirliliği	7
1.1.5 Katı atık.....	8
1.1.6 Sızıntı suyu.....	9
1.2 Orman Endüstrisinde Kullanılan Tutkallar	12
1.2.1 Tutkal nedir	12
1.2.2 Organik tutkallar	13
1.2.2.1 Doğal tutkallar.....	13
1.2.3 Sentetik Tutkallar	14
1.2.3.1 Üre formaldehit tutkalı	14
1.2.3.2 Melamin formaldehit tutkalı.....	16
1.2.3.3 Resorsin formaldehit tutkalı	18
1.2.3.4 Melamin-Üre formaldehit tutkalı	20
1.2.3.5 Fenol formaldehit tutkalı	21
1.2.3.6 İzosiyanat tutkalı	24
1.2.3.7 Çalışmanın amacı	26
2. KAYNAK ÖZETLERİ	27
3. MALZEME VE YÖNTEM	30
3.1 Materyal.....	30
3.2 Fenol Formaldehit Sentezi.....	31
3.3 Tutkal Karakterizasyonu	32
3.3.1 pH	32
3.3.2 Viskozite	32
3.3.3 Katı madde içeriği.....	33
3.3.4 Serbest formaldehit	33
3.3.5 Termal gravimetrik analizi (TGA).....	33
3.4. Yapışma Dayanımı Testi	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	35
4.1 FF Sentez Tutkalların Bazı Fiziksel Özellikleri	35
4.2 Termal Analiz.....	35
4.3 Reçinenin Bağlanma Performansı	36
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ.....	48

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL TUTKAL ÜRETİMİNDE SIZINTI SUYU DEĞERLENDİRMESİ

Mahmut GÖKTAŞ

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Melayib BİLGİN

ÖZET

Belediye atıklarının yönetimi giderek daha karmaşık ve önemli bir küresel sorun haline gelmiştir. Çöplüklerdeki katı atıklar, yüksek konsantrasyonda organik maddeler içeren karmaşık yapısıyla tanımlanan son derece kirletici bir sıvı olan depolama sahası sızıntı suyunun (LL) oluşumuna yol açar. Bu çalışma, fenol-formaldehit (FF) reçinesinin sentezinde suyun kısmi bir ikamesi olarak depolama sahası sızıntı suyunun (LL) kullanılma potansiyelini araştırmıştır. LL katılımının reçine özellikleri, termal kararlılık ve bağlanma performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, LL'nin varlığının artan viskozite, azalan pH, artan katı içeriği ve serbest formaldehit seviyeleri dahil olmak üzere birkaç önemli reçine özelliğini etkilediğini göstermiştir. Dahası, FF reçinelerinin termal kararlılığının, muhtemelen sızıntı suyundaki organik bileşiklerin varlığından dolayı, artan LL içeriğiyle azaldığı gözlemlenmiştir. Bağlanma performansı değerlendirmeleri hem kuru hem de ıslak koşullar altında, referans reçineye kıyasla LL modifiyeli PF reçineleriyle bağlanmış ahşap numunelerinin çekme dayanımında bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgulara dayanarak, reçine özellikleri ve bağlanma performansı üzerindeki olası olumsuz etkileri azaltmak için FF reçine sentezinde LL ile su ikamesinin maksimum %20 ile sınırlandırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Reçine, Depolama Sahası Sızıntı Suyu, Fenol, Çekme Kesme Gerilimi, TGA Analizi.

Ocak, 2025; 48 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PYROLYTIC PRODUCTS MADE FROM USED TIRES ON THE PROPERTIES OF RUBBER BLENDS

Mahmut GÖKTAŞ

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Engineering Management**

Supervisor: Prof. Dr. Melayib BİLGİN

ABSTRACT

Managing municipal waste has been an increasingly complex and crucial global issue. The solid waste in landfills gives rise to the generation of landfill leachate (LL), a highly polluting liquid described by its complex composition, which includes a high concentration of organics. This study explored the potential of utilizing landfill leachate (LL) as a partial replacement for water in the synthesis of phenol-formaldehyde (PF) resin. The impact of LL incorporation on resin properties, thermal stability, and bonding performance was investigated. Results showed that the presence of LL influenced several key resin properties, including increased viscosity, decreased pH, increased solids content and free formaldehyde levels. Furthermore, the thermal stability of the PF resins was observed to decline with increasing LL content, likely due to the presence of organic compounds in the leachate. Bonding performance evaluations revealed a decrease in tensile strength for wood samples bonded with LL-modified PF resins compared to the reference resin, both under dry and wet conditions. Based on these findings, it is recommended to limit the substitution of water with LL in PF resin synthesis to a maximum of 20% to mitigate potential negative impacts on resin properties and bonding performance.

Keywords: Green Resin, Landfill Leachate, Phenol, Tensile Shear Strength, TGA Analysis.

January, 2025; 48 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sızıntı suyu dağılımı	8
Şekil 1.2. Katı atık sahalarında sızıntı suyu ile ilgili görseller	9
Şekil 1.3. Katı atık sahalarında sızıntı suyu kirliliği	11
Şekil 1.4. Orman endüstrisinde kullanılan tutkallar.....	12
Şekil 1.5. Üre ile formaldehitin reaksiyonu sonucu mono metilol üre ve dimetilol üre oluşumu- Üre ile formaldehitin kondenzasyonu	16
Şekil 1.6. Melamin formaldehit tutkalı kimyasal yapısı	17
Şekil 1.7. Rezorsin formaldehit tutkalı kimyasal yapısı	19
Şekil 1.8. Fenol-hidroksimetil oluşum evresi	23
Şekil 1.9. Fenolün hidroksil grubu tarafından aktive edilmesi ve formaldehit ile reaksiyona girdiğinde orto veya para fenol-hidroksimetil üretilmesi	23
Şekil 1.10. Fenol formaldehit tutkalı kimyasal yapısı	24
Şekil 1.11. İzosiyanat gruplarıyla odun arası etkileşim	25
Şekil 3.1. Aksaray ili sızıntı suyunun 100 µm gözenek boyutuna sahip filtre kağıdından süzülümü	31
Şekil 3.2. Reçine sentez düzeneği	31
Şekil 3.3. pH ölçüm cihazı ile pH ölçümü	32
Şekil 3.4. Yapışma dayanımı test örneği	34
Şekil 4.1. Referans FF reçinesinin ve SS içeren FF reçinelerinin termal bozunma davranışı.	36
Şekil 4.2. FF reçinelerinin ön işlem 1 bağlanma mukavemeti değerleri (N/mm ²)....	38
Şekil 4.3. FF reçinelerinin ön işlem 2 bağlanma mukavemeti değerleri (N/mm ²)....	38
Şekil 4.4. FF reçinelerinin ön işlem 3 bağlanma mukavemeti değerleri (N/mm ²)....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Sızıntı suyu karakterizasyonu	30
Çizelge 3.2. FF reçinesi deneysel çalışmada kullanılan oranlar	32
Çizelge 3.3. EN 12765 standardına ait yapışma direnci değerleri	34
Çizelge 4.1. FF reçinelerinin bazı fiziksel özellikleri	35
Çizelge 4.2. FF reçinelerinin yapışma mukavemeti değerleri (N/mm ²)	37



SİMGELER VE KISALTMALAR

BS	İngiliz standartları
cm²	Santimetrekare
cps	Sıvılara atanan viskozite değeri
EN	Avrupa normu
FF	Fenol Formaldehit
g	Gram
kg	Kilogram
m²	Metrekare
MDD³	Minimum dayanıklılık değeri
MF	Melamin Formaldehit
mm	Milimetre
mm²	Milimetrekare
mol	Kimyasal madde miktarı birimi
MÜF	Melamin Üre Formaldehit
N	Newton
pH	power of Hydrogen
rpm	Dakikadaki devir sayısı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi
SS	Sızıntı suyu
TGA	Termogravimetrik Analiz
TS	Türk standartları
ÜF	Üre Formaldehit
Al³⁺	Alüminyum
C₆H₅OH	Fenol
CH₂O	Formaldehit
Cl⁻	Klor
Cu	Bakır
Fe⁺³	Demir
Hg	Cıva
NaOH	Sodyum Hidroksit
Ni	Nikel
SO₄²⁻	Sülfat
Pb	Kurşun
°C	Santigrat

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında çevre kirliliği, insanlık için en büyük tehditlerden biri haline gelmiştir. Nüfusun hızla artması, sanayileşmedeki gelişmeler, insanların üretim ve tüketim alışkanlıklarını arttırmıştır. Üretilen her ürün için fosil yakıt kullanımı, tüketilecek olan ürünlerin atık (çöp) olarak çevreye dönmesi büyük bir çevre sorununa yol açmaktadır. Doğal kaynakların aşırı tüketimi ve yanlış yönetimi, çevre üzerindeki baskıyı arttırmış çevrenin kendini yenileyebilme özelliğini neredeyse kaybetme noktasına getirmiş ve ekosistem dengelerini sarsmıştır. Bu durum; iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı gibi daha geniş ölçekli sorunlara yol açarak sürdürülebilir bir gelecek için ciddi tehdit oluşturmaktadır. Hava, su ve toprak gibi temel yaşam alanlarının kirlenmesi, yalnızca doğal yaşamı değil, aynı zamanda insanların ve canlılarında hayatını olumsuz etkilemiştir. Hatta insanların sağlığını da tehdit eden ciddi sorunlar ortaya çıkarmaktadır (Çelebi ve Gök, 2017).

Çevre kirliliği, ekonomik, sosyal ve kültürel boyutlarıyla karmaşık bir olgudur. Bu sorun hem bireyler hem de toplumlar üzerinde derin etkiler bırakmakta; su kaynaklarının tükenmesi toprak kirliliğinin oluşması ve toprağın verimliliğinin azalması, hava kirliliğinin oluşması ve hava kirliliğinin sebep olduğu hastalıklar örneğin solunum yolu hastalıkları gibi birçok hastalığa sebebiyet vermektedir. Buna ek olarak biyoçeşitlilik kaybı gibi sorunlar, gün geçtikçe daha da belirgin hale gelmektedir. Bu bağlamda, çevre kirliliğinin nedenleri ve sonuçları hakkında derinlemesine bir anlayış geliştirmek, sürdürülebilir bir gelecek için kritik bir öneme sahiptir.

İnsan yaşamının her evresinde atık üretmektedir. Buna karşılık atığın tarihsel süreci, tarih öncesi dönemlere (paleolitik – neolitik – kalkolitik) ilk insanlara kadar dayanmaktadır. Bununla birlikte atık her dönemde endişe kaynağı olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Günümüz dünyasında atık miktarı ve atık üretim oranları her geçen gün artış göstermektedir. Tarih öncesi diye adlandırdığımız dönemde hem nüfus sayısının az olması hem de nüfusun kullanılabilir arazi miktarının bugüne göre sınırlı olmamasından dolayı atıkların bertaraf edilmesi bugünkü gibi büyük bir sorun olmamıştır. Çünkü o dönemlerde genel olarak atık türleri hayvansal ve bitkisel bazlı olduğundan doğada kendiliğinden bertaraf edilebiliyordu (Banazılı, 2024).

16. yüzyılda sanayi adımlarının atılmasıyla beraber birçok insan sanayide çalışmak için kırsal alanlardan kentlere doğru göç etmiştir. Kentlerin hızlı artan nüfusu sonucunda kentlerde atık üretim hacminde önemli artışlar olmuştur. Kırsal kesimdeki insanların kentlere akın etmesi sonucu kentlerde nüfus artışının önemli nedenleri arasında yer almaktadır. Nüfustaki bu artış hem yaşam standartlarını yükseltmiş hem de atık üretim hacminin artmasına sebep olmuştur. Atık üretimindeki artış ortaya çıkan artış atık bileşenlerinde çeşitliliğe yol açmaktadır (Banazılı, 2024).

Kentlerde yaşayan büyük nüfusun çöpleri gelişigüzel atması sebebiyle kentleri adeta “açık çöplük alanlarına” dönüştürmüştür. Sanayi dönemindeki başarısız atık yönetim sistemi nedeniyle bu olumsuz durumlar, kentlerde halk sağlığını tehlikeye atabilecek ölümcül salgın hastalıklar ortaya çıkmaya başlamıştır. Tüm bunların sonucunda katı atık alanında çıkarılan dersler sonucunda 19. yüzyıldan itibaren kamu kurum ve kuruluşları halk sağlığını koruyabilmek ve kentleri daha yaşanabilir daha temiz bir çevre için kentsel atıkların kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesinde sistematik politikalar üretmeye çalışmışlardır (Banazılı, 2024).

Katı atıkların nihai bertarafı için kullanılan düzenli depolama yöntemi, ekonomik avantajları nedeniyle yaygın olarak kabul görmeye ve kullanılmaya devam etmektedir. Kentsel katı atıkların ortadan kaldırılmasına yönelik çeşitli olası yöntemlerin (düzenli depolama, yakma, kompostlama vb.) karşılaştırmalı çalışmaları, kullanım ve sermaye maliyetleri açısından en ucuz ve en uygun yöntemin düzenli depolama olduğunu göstermiştir (Renou vd., 2008).

Düzenli depolama sahası sızıntı suyunun bileşimi ve nitelikleri önemli ölçüde değişkenlik gösterir ve atık bileşimi, iklim, düzenli depolama sahası tasarımı, düzenli depolama sahası yaşı ve işletme uygulamaları gibi çok sayıda faktörden etkilenir. Sonuç olarak, farklı düzenli depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları kimyasal bileşenler, fiziksel özellikler ve biyolojik aktivite açısından önemli farklılıklar gösterebilir. Bu anlayış, belediye çöp sahası sızıntı suyunun yakındaki ekosistemler, yeraltı suyu kalitesi ve yüzey suyu kütleleri üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmek için kritik öneme sahiptir. Sızıntı suyu içindeki kirleticilerin hareketliliği, uygun şekilde yönetilmediği takdirde çevresel tehlikelere yol açabilir. Buna karşılık, etkili sızıntı suyu yönetimi kaynak geri kazanımı, atık su arıtımı ve

sürdürülebilir düzenli depolama uygulamalarının benimsenmesi için fırsatlar sunar (Renou vd., 2008).

Katı atık düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suları genel olarak depolama alanına düşen yağmur suları ve çöp içindeki nemin yüzeyden aşağı doğru süzülmesi ile oluşan oldukça tehlikeli arıtılması zor komplike atık sulardır (Keyif, 2023).

Sızıntı suları çok fazla kirlilik içerdiğinden dolayı alıcı ortama verilmeden önce muhakkak arıtılması gerekmektedir. Sızıntı suları arıtılamayıp doğrudan çevreye bırakılırsa toprak, su, hava, çevre ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilir. Sızıntı sularının arıtılması için birçok yöntem kullanılmaktadır. Sızıntı suyunun daha iyi ve daha doğru bir şekilde arıtılması için sızıntı suyunun kirlilik özelliklerinin ve sızıntı suyu arıtım yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarının iyi bilinip dikkate alınması gerekir. Geleneksel yöntemlerin kullanılmasının yanında çevresel ve finansal açıdan sızıntı suyunu daha iyi arıtabilecek yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve gelişimin yakından takip edilmesi gerekmektedir. Sızıntı suyu arıtımında, biyolojik, kimyasal, fiziksel yöntemler ve bu yöntemlerin her birinin bir arada kullanıldığı metotlar mevcuttur (Keyif, 2023).

Çöp sahası sızıntısı, organik madde, fenoller, amonyak azotu, fosfat, ağır metaller ve sülfidler dahil olmak üzere yüksek düzeyde biyolojik olarak parçalanabilen ve parçalanmayan maddeler içeren karmaşık bir sıvıdır. Uygun şekilde yönetilmezse yüzey suyunu ve yeraltı suyunu kirletebilir (Kamaruddin vd., 2015; Salem vd., 2008).

İlk insanlar yaşamlarını idame etmek için barınmak için doğada hazır halde olan orman ürünlerini kullanmaya başlamışlar. Bugün günümüzde orman ürünlerinin düşük işleme maliyeti, üstün direnç özellikleri ve estetiği nedeniyle uzun yıllardır mobilya üretiminde, dekoratif bina iç döşemelerinde ve yapı malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Kayacık, 2024).

Dünya nüfusunun hızla artması, kentleşme, teknolojik gelişmeler sosyal, kültürel ve ekonomik gelişmelere bireylerin sanatsal çalışmaları orman ürünlerinin kullanımı artmaya devam etmektedir ve mevcut hammaddeler artık sanayinin talebini karşılayamaz hale gelmektedir. Endüstrinin gelişmesiyle birlikte odun kullanımının arttırmaktadır (Kayacık, 2024).

Orman endüstrisinin gelişmesi tutkala olan ihtiyacı da beraberinde getirmiştir ve bu nedenler her ahşap malzeme için her sıcaklık ve her dayanıklılık için ayrı ayrı gruplarda ayrı fiziksel, kimyasal, mekanik özelliklere sahip tutkallar üretilmiştir. Her geçen gün gerek akademik gerek endüstriyel alanda yeni tutkal sentezleme çalışmaları devam etmektedir (Kayacık, 2024).

Tutkal ve diğer yapıştırıcı maddelerin kullanımı M.Ö. 2000’li yıllara kadar dayanmaktadır. İlk insanların doğada bulunan reçineler ve doğal maddeleri kullanarak nesneleri birbirine yapıştırdığı bilinmektedir. Buna örnek olarak Antik Mısır’ da papirüslerin birbirine yapıştırılmasında kullanılan doğal tutkallar olduğu belgelenmiştir. Zamanla tutkala olan ihtiyacın artması ve teknolojinin ilerlemesiyle 17. ve 18. yüzyıllarda tutkal ile yapılan çalışmalarda deneylerde yapıştırma teknikleri üzerinde yoğun deneme çalışmaları başlamış ve 19. yüzyılda da sistematik olarak gerek akademik gerek endüstriyel araştırmalarla üzerinde önemle durulan bir konu olmuştur. 19. yüzyıl sonuna kadar kullanılan tutkallar doğal hammaddelerini bitkisel kısımlardan ve hayvansal atıklar süt kazeini, ağaç reçineleri gibi diğer doğal hammaddelerden temin edilmiştir (Meriç, 2009).

Zamanla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bu tutkalların, gerek tutkallama ile yeni üretilen materyal türlerine, gerekse tutkallanan materyalin dayanması gereken iç ve dış ortamın istenilen şartlarına ve koşullarına uyum sağlayamadığından dolayı çağımızın ihtiyaçlarına çoğu zaman gereken cevabı verememiştir. Bu sebeple kimya endüstrisi, 1930’ların başında ahşap işleme yapıştırıcıları olarak sentetik reçineleri tanıtmıştır. 2. Dünya Savaşı ve sonrasında doğal yapıştırıcılar yerini sentetik tutkallara bırakmıştır. Sentetik reçineler fiziksel özellikleri bakımından doğal reçinelere benzeyen ve ihtiyaca göre uyarlanabilen insan yapımı polimerlerdir. Uygun şekilde formüle edilmiş sentetik yapıştırıcılar, en iyi ihtimalle orta derecede ki neme dayanabilen doğal yapıştırıcıların aksine doğrudan ıslanmaya bile dayanabilmektedir (Eckelman, 1999; Kayacık, 2024).

Fenolik reçineler, dünyada endüstriyel olarak üretilen en eski polimer olarak kabul edilmektedir. Baekeland'ın 1907'deki buluşu, bugüne kadar vazgeçilmez olan ve tüm bir çağı şekillendiren endüstriyel plastiklerin başarı öyküsünün başlangıcını oluşturmuştur. Bu nedenle Baekeland'ın polimeri, dünyanın ilk sentetik plastiği olarak taşıdığı önem nedeniyle 1993 yılında Amerikan Kimya Derneği tarafından ulusal tarihi

kimyasal dönüm noktası olarak belirlenmiştir. Fenolik reçineler, umut verici mekanik ve mükemmel alev geciktirici özelliklere sahip zorlayıcı termosetlerdir. Bu özellikler metale kıyasla ağırlık azalması ile birleştiğinde elektronik, otomotiv, inşaat ve diğer sektörlerde geniş bir uygulama yelpazesi sağlamaktadır (Wolff vd., 2022).

Fenolik reçine yüksek kırılgenlik, düşük soyulma mukavemeti, kürlenme sırasında güçlü koku ve yüksek kürlenme büzülmesi gibi dezavantajlara sahip olduğundan, kapsamlı kullanım performansını iyileştirmek için modifiye edilmesi gerekmektedir. Mevcut yaygın fenolik reçinelerin modifikasyonları arasında kırılgenliği iyileştirmek, ısı direncini artırmak ve formaldehit emisyonunu azaltmak için önlemler yer almaktadır (Xu vd., 2019).

Fenolik reçineler, asidik veya alkali koşullar altında polikondenzasyon yoluyla fenol ve formaldehitin birleştirilmesiyle üretilir. Fenol-formaldehit (FF) reçinelerinin iki ana kategorisi, kullanılan katalizör türüne bağlı olarak resol ve novolak FF reçineleridir. FF resol reçinesi alkali koşullar altında üretilir. 19. yüzyıldan beri, ahşap ürünleri endüstrisi bu reçineyi çok sayıda avantajı nedeniyle yapıştırıcı olarak kullanmıştır. FF reçinesi, mükemmel mekanik özellikleri, ısı ve kimyasal direnci, elektrik yalıtımı ve alev geciktiriciliği ile bilinir. Bu özellikler, elektronik, makine, inşaat, havacılık ve askeriye gibi alanlarda çok çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir (Kokten vd., 2020; Marlana vd., 2016; Sandomierski vd., 2020; Wolff vd., 2022; Xu vd., 2019). Bununla birlikte, FF resol reçinesinin kullanımının birkaç dezavantajı vardır. Bunlar arasında kısa raf ömrü, polimerizasyon için sert bir katalizöre ihtiyaç duyulması ve kürlenme sırasında önemli ölçüde büzülme ve boşluk oluşumuna neden olabilen uçucu maddelerin salınması yer alır. Ek olarak, ortaya çıkan malzemeler kırılgen olma eğilimindedir ve kürlenme işlemi sırasında fenol ve formaldehitin havaya uçuşması nedeniyle potansiyel sağlık riskleri oluşturabilir (Özbay vd., 2020; Takeichi vd., 2008). Bu nedenle, daha çevre dostu FF reçineleri üretmek için dünya çapında birçok araştırmanın konusu olmuştur. Bu raporlar, fenolün değiştirilmesiyle ilgilidir (Celikbag vd., 2020; Choi vd., 2015; Jin vd., 2010; Kokten vd., 2020; Kouisni vd., 2011; Pang vd., 2017; Park vd., 2008; Peng vd., 2023; Venkatesagowda ve Dekker, 2020; Yu vd., 2018; Yu vd., 2023). Bu raporda, formaldehit çözeltisi hazırlamak için saf suyun kısmi bir ikamesi olarak çöp sahası sızıntı suyu (SS) kullanılmıştır. Daha sonra, fenol ve formaldehit çözeltisi, yeşil bir FF reçinesi elde etmek için bir baz

katalizörü (NaOH) kullanılarak alkali koşullar altında sentezlenmiştir. SS ikame düzeyinin FF reçinesinin kimyasal ve termal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, her FF reçinesinin bağlanma performansı EN 205 (2016) standardına göre değerlendirilmiştir.

1.1 Çevre Sorunları

Aşağıda çevre sorunlarının neler olduğunu anlatan alt başlıklar verilmiştir.

1.1.1 Çevre kirliliği

Çevre; insanların canlıların ve doğal unsurların yaşamları boyunca bir arada bulunduğu fiziksel, kimyasal, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak birbirleriyle etkileşim içinde bulundukları bir ortamdır. Çevre doğa ve insan arasındaki ilişkiyi kapsar hava, su, toprak, biyoçeşitlilik vb. gibi öğeleri içerir (İbadullayeva, 2019).

Çevre kirliliği kavramı Massachusetts (ABD) Halk Sağlığı Komitesin tarafından 1869 yılında ilk defa ele alınmış ve bu konuda çok önemli bir bildiri yayınlanmıştır. Bu bildiriden yola çıkarak her insanın ve canlının temiz havaya, suya ve toprağa ihtiyacı olduğu, bunların dengeli kullanılması kirletilmemesi ve korunması gerektiğini vurgulayabiliriz (Bozkurt, 2019; Gündüz, 1998). Çevre sorunlarının oluşması doğamızın ve yaşamımızın en önemli unsurları olan havanın, suyun ve toprağın üzerinde olumsuz durumların meydana gelmesi insanların ve canlı varlıkların hayatta kalabilme faaliyetlerinin olumsuz etkilendiği durum, olay ve kirliliğe çevre kirliliği diyebiliriz (Bozkurt, 2019).

Çevre kirliliği, doğal çevrenin insan faaliyetleri sonucu kirletilmesi ve bu durumun çevrenin sağlığı, ekosistem dengesi ve insan yaşamı üzerinde olumsuz etkiler yaratmasıdır. Çevre kirliliği, çeşitli kaynaklardan ve şekillerde ortaya çıkabilir. Çevre kirliliğinin başlıca sebepleri şunlardır; Su kirliliği, hava kirliliği, toprak kirliliği, gürültü kirliliği, plastik kirliliği, ışık kirliliği, radyoaktif kirlilik ve son olarak katı atık kirliliğidir.

1.1.2 Hava kirliliği

Hava kirliliği, atmosfer ierin de yer alan insan sağlığına veya çevreye zararlı olan maddelerin özellikle de kirleticilerin (partiküler maddeler, duman, çeşitli gazlar, kokular, toz ve su buharı vb.) şeklindeki maddelerin, insanlar ve diğer canlıları olumsuz manada etkileyecek miktarlara yükselmesi olarak nitelendirilmektedir. Hava kirliliği sorunu özellikle sanayi devrimi ile başlayan süreçten sonra ortaya çıktığından, sanayileşmenin hava kirliliği üzerinde önemli bir etkisinin olduğu söylenebilmektedir. Hava kirliliği sorunlarından bazıları şunlardır; Solunum yolu hastalıkları, kalp hastalıkları, kanser gibi sağlık sorunlarına yol açabilir ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Hava kalitesinin izlenmesi ve iyileştirilmesi hem insan sağlığı hem de evre için büyük önem taşımaktadır (zoğlu, 2023). Hava kirliliğinin oluşmasının başlıca nedenleri, bu kirleticiler, doğal kaynaklardan (volkanik patlamalar, orman yangınları gibi) veya insan faaliyetlerinden (sanayi, ulaşım, tarım, enerji üretimi gibi), çarpık kentleşme ve motorlu taşıtlardan kaynaklanabilir.

1.1.3 Su kirliliği

Su, insanların ve diğer tüm canlıların yaşamını devam ettirebilmesi açısından önemli ve vazgeçilmez bir kaynak hükmünde olup, iki hidrojen bir oksijen atomunun birleşmelerinden oluşan tatsız, kokusuz, renksiz bir sıvıdır (zoğlu, 2023).

İnsanların ve diğer canlıların faaliyetleri sonucunda suda meydana gelen kimyasal, biyolojik ve fiziksel zararlar ise su kirliliği olarak tanımlanmaktadır (Damirova ve Yayla, 2021). Su kirliliği, su kaynaklarının (gller, nehirler, dereler, denizler, yer altı suları vb.) insan sağlığına veya ekosistemlere zarar verebilecek şekilde kirleticilerle (kimyasallar, ağır metaller, mikroorganizmalar, organik maddeler vb.) kirlenmesi durumudur. Su kirliliği genellikle yerleşim bölgelerindeki yaşamsal faaliyetler, endüstriyel atıklar, tarımsal pestisitler ve gübreler, evsel atıklar ve plastik gibi insan faaliyetleri sonucunda meydana gelir. Su kirliliği, ayrıca insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler yaratabilir; su yoluyla yayılan hastalıklar, gıda güvenliği sorunları ve genel sağlık problemleri gibi sonuçlar doğurabilir.

1.1.4 Toprak kirliliği

Kayaların ve organik maddelerin parçalanmaları ve birbirinden ayrışmaları sonucunda meydana gelen içerisinde hava, su ve pek çok canlı bulunduran maddelere toprak denir

(Algan ve Bilen, 2005; Özoğlu, 2023). İnsan faaliyetlerinin sonucunda toprak üzerinde yetişen bitkilere ve toprak içerisinde yaşayan canlılara zarar verecek düzeyde toprak içerisinde zararlı ve toksik maddelerin yer alması ve bunların sonucunda da toprak verimliliğinin düşmesine toprak kirliliği denilmektedir (Özbek, 2010).

1.1.5 Katı atık

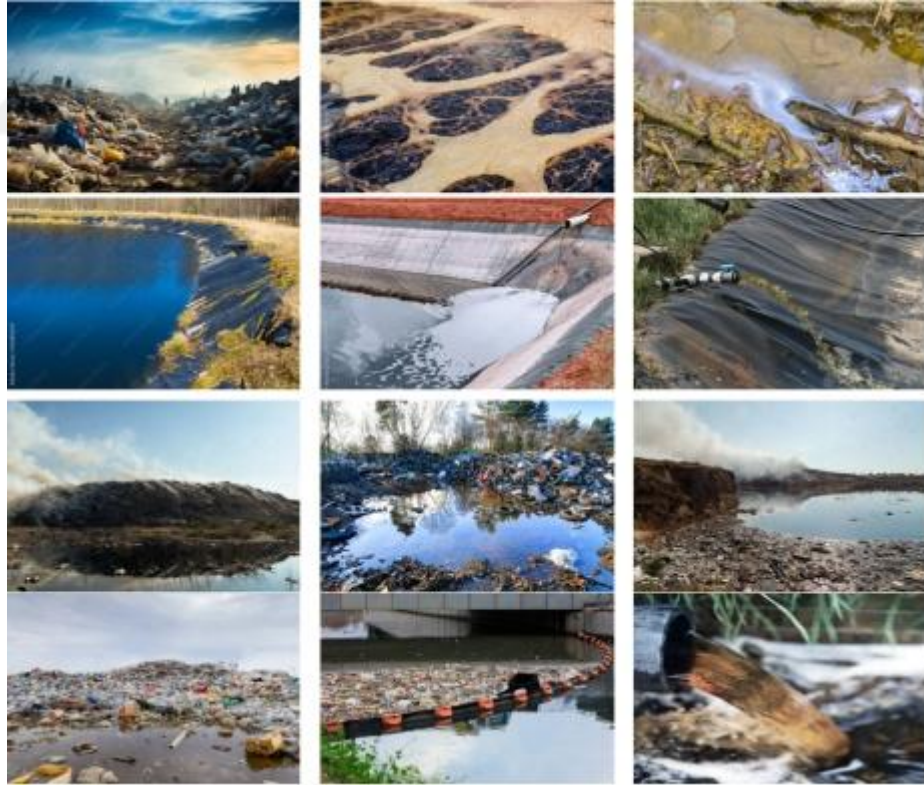
Katı atık yönetiminde evsel nitelikli olanların en yaygın bertarafı, çoğu ülkede düzenli depolama alanlarına gömülme. Böylece, depolama sahasının farklı atık katmanlarından aşırı yağmur suyunun sızması sonucu depolama sahası sızıntı suları açığa çıkar (Abdel-Shafy vd., 2024). Depolama sahası bileşeni atıkları içindeki değişken birleşik mikrobiyal, kimyasal ve fiziksel süreçler, oluşan sızıntı suyunun yapısında yer almaktadır (Abdel-Shafy vd., 2022). Evsel katı atıklar parçalanabilir nitelikte organikleri içermekte olup, bulundukları alanlarda anaerobik koşulların oluşmasına imkân sunmaktadırlar. Bu nedenle, farklı depolama alanlarındaki sızıntı sularının bileşimleri hemen hemen benzerdir. Çoğu depolama sahasına büyük miktarda belediye, ticari ve karışık endüstriyel atıklar hep birlikte tek bir yerde bertaraf edilir (Abdel-Shafy vd., 2018). Bunların hepsi önemli miktarda sızıntı suyunun oluşmasına ve ayrıca yeraltı suyunun kirlenmesine katkıda bulunur. Sızıntı suyunun üretimi önemli bir çevre sorunudur (Şekil 1.1) (URL-1). Depolama alanlarından değişken miktarda ve kalitede sızıntı suyunun üretimi yıllık yağış, yüzey akışı, sızma, buharlaşma, terleme, ortam sıcaklığı, atık bileşimi ve yoğunluğu, başlangıçtaki nem içeriği ve depolama sahasının derinliği gibi birçok faktörle etkileşimdedir.



Şekil 1.1. Sızıntı suyu dağılımı (URL-1).

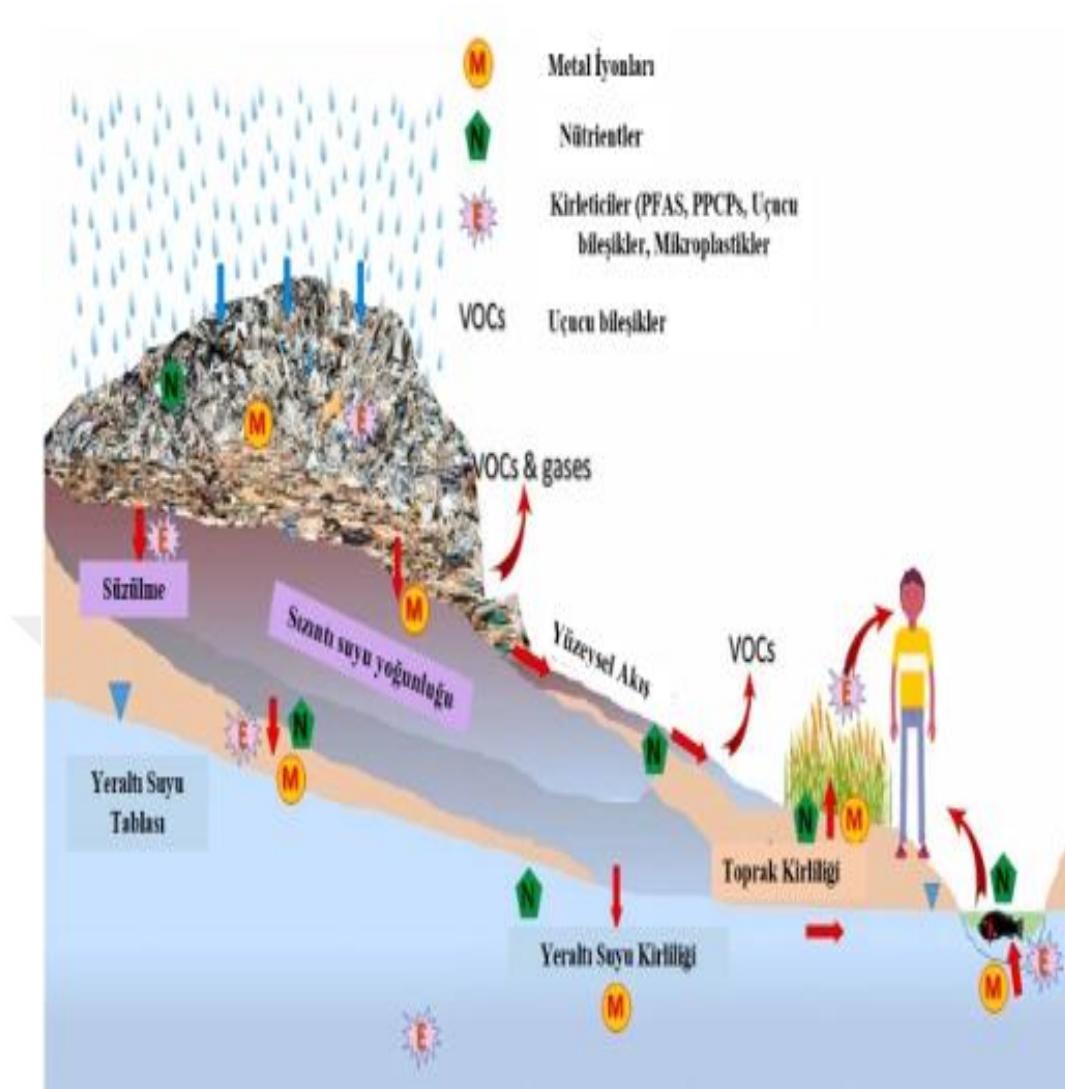
1.1.6 Sızıntı suyu

Sızıntı suyu terimi çevre bilimleri ve mühendislikte yaygın olarak kullanılan bir terimdir (Silva vd., 2021; Vanapalli vd., 2021). Sızıntı suyu, aerobik bir ortamda katı atıkların bertaraf edilmesiyle üretilen çok rahatsız edici koyu renkli bir sıvıdır. Terim, toprak ekosistem döngüsüne karışan, çözülmüş zararlı maddeler olarak özel bir anlam taşımaktadır. Bununla birlikte, bu terim en yaygın olarak belediye katı atıklarının, endüstriyel atıkların veya çürütülebilir atıkların depolanmasında kullanılır. Yani sızıntı suyu topraktan, jeolojik oluşumdan, maddeden, yeraltı suyundan sıvı olarak veya ekstraktlardan geçme kabiliyetine sahip bir materyal olarak karşımıza çıkmaktadır. Depolama sahası ortamı bağlamında sızıntı suyu, stoklanmış malzemeden veya araziden süzülen sıvı malzemeler olarak bilinir (Şekil 1.2 ve 1.3). Bu nedenle sızıntı suyu, esasen temas halinde olduğu ve içinden geçtiği malzemeden türetilen, önemli ölçüde yüksek konsantrasyonlarda rahatsız edici, istenmeyen malzeme içerir (Anjum vd., 2023).



Şekil 1.2. Katı atık sahalarında sızıntı suyu ile ilgili görseller (URL-2).

Depolama sahası sızıntı suyu dört ana kirletici içeren güçlü bir atık su olarak tanımlanabilir: Refrakter kimyasallar, ağır metaller (Hg, Cu, Pb, Ni), SO_4^{2-} , Cl^- , Fe^{3+} , Al^{3+} vb. gibi katyonlar ve anyonlar ve ksenobiyotik bileşikler gibi doğal çözünmüş organik maddeler (PCB'ler), dioksinler, halojenli organikler (Anjum vd., 2023). Depolama sahası sızıntı suyunun en ciddi çevresel tehdidi hem yüzey suyunun hem de yeraltı suyunun kirlenmesidir. Yeraltı suları için, depolama alanlarındaki sızıntılardan kaynaklanan kirlenme en ciddi çevresel etkidir. Birçok çalışmada depolama sahası sızıntı suyunun neden olduğu yüzey suyu ve yeraltı suyunun kirlenmesi rapor edilmiştir (Benaddi vd., 2022). Sızıntı suyunun yüzey suyuna en önemli etkisi bazı ekolojik ortamlarda oksijenin tükenmesine, flora/fauna değişimine ve amonyak toksisitesine neden olmaktadır (Lindamulla vd., 2022). Bir depolama sahasından çıkan sızıntı suyunun özellikleri, yaşlarına ve içerdiği atık malzemelerin türüne göre bileşimleri açısından büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Genellikle sızıntı suyu hem çözünmüş hem de askıda kalmış malzeme içerir (Anjum vd., 2023). Bu tür katı atıkların ayrışması sırasında karbonlu malzemeler çeşitli organik asitler, alkoller, aldehytler ve basit şekerlerden oluşan karmaşık bir karışımın yanı sıra karbondioksit ve metan da dahil olmak üzere çok çeşitli başka yeni malzemeler üretirler. Depolama sahası sızıntı suyunun bileşimi, depolama sahasının yaşına, atıkların türüne, karışımına ve bu atıkların içeriğine göre büyük ölçüde değişmektedir. Sızıntı suyu atıklarının çevresel riskleri; özellikle en taze sızıntı suyu, yüksek organik kirletici maddeler ve yüksek düzeyde Patojenik mikroorganizmalar ve kirletici maddeler olarak amonyak gibi nitrojenli bileşikler olarak anılırlar (Karagozoglu ve Asar 2023; Mojiri vd., 2021). Ancak amonyak ve diğer toksik maddeler, verilen katı atığın niteliğine bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda mevcuttur. Genellikle çoğu depolama alanı organik maddelerin varlığı nedeniyle metan üretir. Sızıntı suyunda metan gazının bir kısmı çözünüyor. Bu tür metan gazı, sızıntı suyu arıtma tesislerindeki yetersiz havalandırılan alanlarda atmosfere salınabilir. Bu santrallerde metan gazı salınımı, önlenmesi gereken patlama risklerini doğurabilmektedir. Depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı suyunun fiziko-kimyasal özellikleri literatürde benzer niteliklere sahip olmakla birlikte bölgesel açıdan değişiklikler gösterebilmektedir (Anjum vd., 2023; Karagozoglu ve Asar 2023).

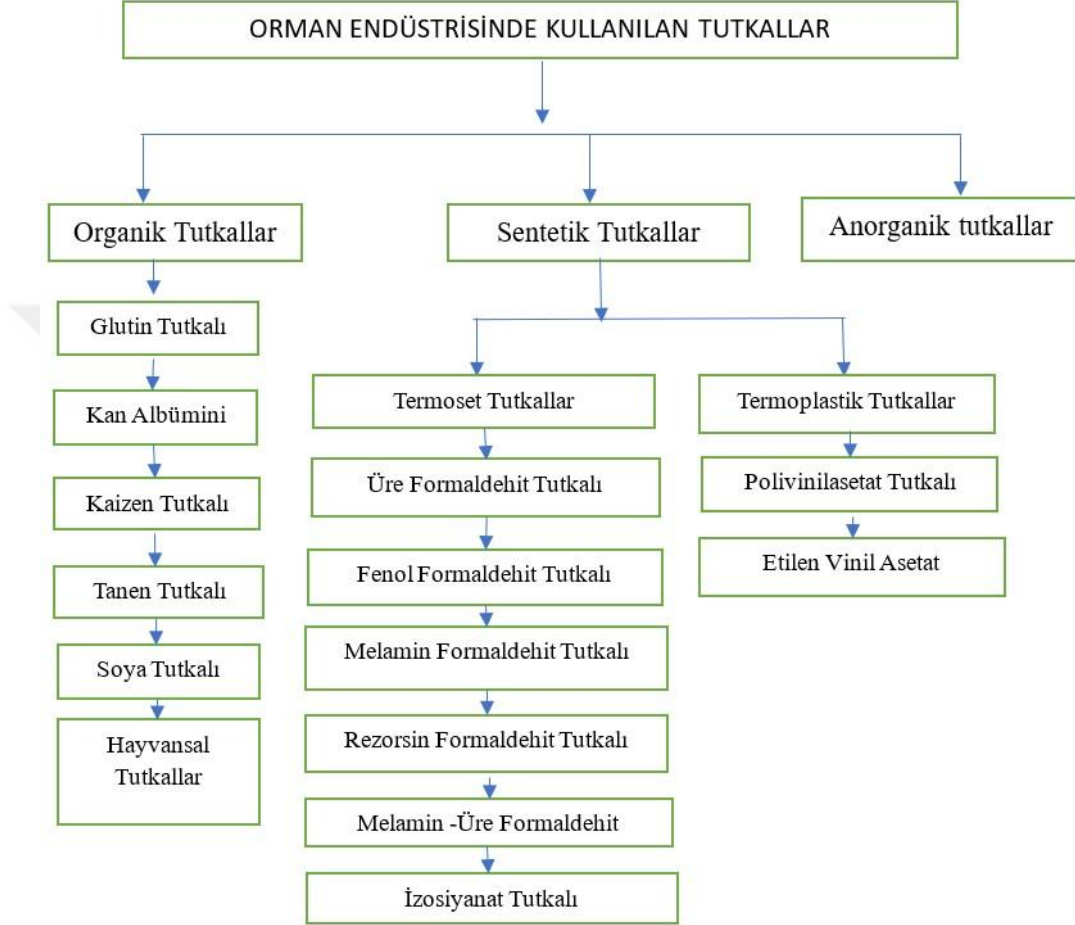


Şekil 1.3. Katı atık sahalarında sızıntı suyu kirliliği (Wijekoon vd., 2022).

Katı atık depolama sahalarından sızan sızıntı sularının içeriği çok sayıda faktöre bağlı olduğundan günümüzde hala sızıntı suyu arıtımında zorluklarla karşılaşmaktadır. Sızıntı suyunun karakterizasyonu ve arıtımındaki bu zorlukların önüne geçmek için, sızıntı suyu oluşumunun mümkün olduğunca iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu konuda en etkili yöntem, katı atıkların kaynağında ön ayrıma tabi tutulmak suretiyle depo alanına gelen atık miktarının azaltılması veya katı atıklara, üretimden depo alanlarına gelinceye kadar geçen adımlarda etkili bir yöntemin uygulanmasıdır. Sızıntı suyu bileşenlerinin konsantrasyonları, alıcı ortam deşarj standartları, alıcı ortam hacmi, arıtma tesisinin kurulacağı alan ve ekonomi gibi parametrelere bağlı olarak arıtma teknolojisine karar vererek sızıntı suyu arıtma tesislerinin ülkemizde de hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi gerekmektedir (Bayhan ve Özbek, 2015).

1.2 Orman Endüstrisinde Kullanılan Tutkallar

Tutkallar, yüzeylerini birleştirmek suretiyle değişik maddeleri birbirine bağlayan veya tutturan, inorganik veya organik, sentetik maddeler olarak tanımlanmaktadır (Çavuş, 2008). Şekil 1.4'te Orman endüstrisinde kullanılan tutkallar verilmiştir.



Şekil 1.4. Orman endüstrisinde kullanılan tutkallar (Çavuş, 2008).

1.2.1 Tutkal nedir

Tutkal, iki ya da daha fazla yüzeyi bir araya getirmek için kullanılan yapıştırıcı bir madde olarak tanımlanabilir. Genellikle sıvı, jel veya toz formunda bulunur ve çeşitli malzemeler üzerinde etkili bir bağ oluşturur. Farklı bileşenlerden oluşan ve çeşitli fiziksel, kimyasal, mekanik özelliklere sahip olan tutkallar, birçok endüstride ve günlük hayatta yaygın olarak kullanılmaktadır (Çekiç, 2017).

Tutkallar doğal tutkallar ve sentetik tutkallar olarak 2 grupta incelenir (Çekiç, 2017).

1.2.2 Organik tutkallar

Organik tutkallar hayvansal ve bitkisel olan kaynaklardan elde edilen yapay olmayan doğada bulunabilen doğal maddelerden üretilen yapıştırıcılardır. Tercih edilme sebepleri toksik olmamaları ve çevre dostu olmalarıdır. Organik tutkallar, genellikle ahşap işçilikten kâğıt yapımına, tekstil ürünlerinden inşaat malzemelerine kadar geniş bir yelpazeye yayılır.

Organik tutkalların temel bileşenleri nişasta, gluten, jelatin ve farklı reçine türleri bulunur. Jelatin veya glüten bazlı olanlar çoğunlukla gıda endüstrisinde yer alırken nişasta bazlı tutkallar genellikle ambalaj ve kâğıt ürünleri üretiminde kullanılırlar.

Organik tutkallar doğada bulunan ürünlerden üretildiğinden dolayı bu tutkalların hem insan sağlığına hem de çevreye zarar verme riski diğer tutkallara göre çok azdır. Organik tutkalların en büyük özelliklerinden biriside su ile çözülebilme özelliğidir. Bu nedenle istendiği zaman temizlenebilmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıklara dayanabilen çeşitleri de vardır. Ancak organik tutkalların dezavantajları da mevcuttur. Örneğin nemli ortamlarda dayanıklılıkları azalabilir veya belirli koşullarda zamanla bozulma riski taşırlar. Sonuç olarak, organik tutkallar sürdürülebilirlik arayışında önemli bir alternatif sunmakta olup çeşitli endüstrilerde güvenle kullanılmaktadır.

1.2.2.1 Doğal tutkallar

Doğal tutkallar grubunda, kimyasal reaksiyonla yapışma sağlayan kazein, sıcaklıkta sertleşen kan albümini tutkallar, soğuma ile yapışma sağlayan hayvansal tutkallar gibi tutkallar ve tanen, soya fasulyesi, sülfat atık suyu tutkalı gibi bitkisel yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Doğal tutkallar, odun levhaları üzerindeki çalışmalarda oldukça sınırlı bir oranda kullanılmaktadır. Hayvansal bazlı tutkallar sınırlı miktarda üretilmekte olup, yalnızca modülasyon malzemesi olarak tercih edilmektedir. Özellikle ahşap endüstrisindeki yonga levhalar üzerinde ilerleyen dönemlerde bitkisel tutkalların çok önemli bir yer tutacağı öngörülmektedir (Meriç, 2009).

1.2.3 Sentetik tutkallar

Sentetik yapıştırıcılar termoplastik yapıştırıcılar ve termoset yapıştırıcılar olmak üzere iki farklı kategoriye ayrılabilir. Termoset yapıştırıcılarda çapraz bağlanma reaksiyonu sırasında tutkal, kimyasal ve fiziksel değişime uğrayarak geri döndürülemez şekilde çözünmez hale gelir. Formaldehit esaslı fenol formaldehit, resorsin formaldehit, üre formaldehit, melamin formaldehit ve fenol resorsin formaldehit tutkalları termoset yapıştırıcılar grubu üyeleridir. Termoplastik tutkallar ise kimyasal bir çapraz bağlanma reaksiyonuna girmedikleri ve ısıtma ile kolaylıkla yumuşayabildikleri için her zaman geri döndürülebilir durumda olabilirler. Termoplastik grubu üyeleri Polivinil asetat emülsiyonları ve sıcakta eriyen tutkallardır (Eckelman, 1999; Kayacık, 2024).

1.2.3.1 Üre formaldehit tutkalı

Günümüzde, ahşap, metaller ve polimerik kompozitler gibi çeşitli malzemeleri birleştirme kabiliyeti sayesinde yapıştırıcı yapıştırma teknolojisi giderek daha popüler hale gelmiştir. Bu durum, yapıştırıcıların düşük yoğunluk, düşük maliyet ve farklı kütleme gereksinimlerine uygunluk gibi cazip performanslarıyla ilgilidir. Üre formaldehit (ÜF) ahşap yapıştırıcıları, ahşap reçinelerinin hayati bir bileşeni olarak kabul edilir. Yaygın olarak yonga levha, kontrplak ve orta yoğunlukta lif levha gibi farklı ahşap panel türlerinin üretiminde kullanılırlar ve bunların tümü inşaat ve mobilya endüstrilerinde kolayca kullanılır. ÜF yapıştırıcı, üre ve formaldehit arasındaki polikondensasyon reaksiyonu ile oluşur ve minimum maliyeti, hızlı kuruma özellikleri, şeffaf rengi, suda çözünürlüğü, mikroorganizmalara ve aşınmaya karşı direnci, adaptasyon kolaylığı, ahşaba mükemmel yapışması, kabul edilebilir ısı bozulma sıcaklığı ve mükemmel çekme performansı nedeniyle ahşap endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Çekiç, 2017; Hus, 1977).

Üre kristal yapıda olan suda çözünebilir renksiz kokusuz bir maddedir. Sıvı karbondioksit ile %100 lük sıvı amonyağın birleşmesi sonucu oluşur. Ara ürün olarak amonyum karbominat meydana gelmektedir. Amonyum karbominat a amonyak ikame edildiği zaman su ayrışarak ‘üre’ oluşmaktadır (Çekiç, 2017; Hus, 1977).

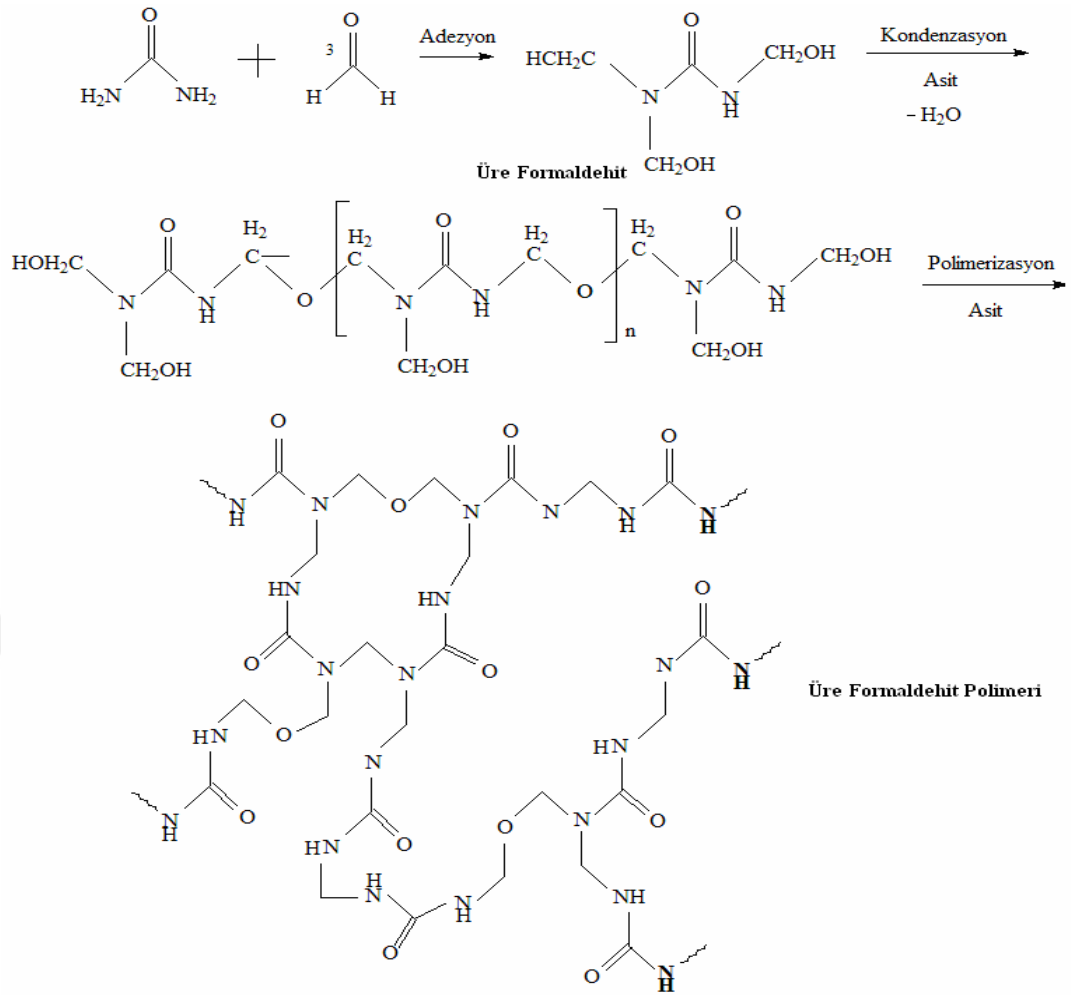
Birçok avantajlı özelliklerine rağmen, ÜF yapıştırıcılar dış mekân uygulamalarını sınırlayan bazı önemli dezavantajlar sergilemektedir. En büyük dezavantajlardan biri formaldehit emisyonudur. Ayrıca, ÜF yapıştırıcılar suya veya neme maruz

kaldıklarında, özellikle de yüksek sıcaklıklarda daha az dayanıklı olmaktadır. Ayrıca, metilenin karbonu ile ürenin azotu arasındaki bağ, levha üretimi sırasında ve kullanım ömrü boyunca hidrolize yatkınlık nedeniyle yapışma mukavemetinin azalmasına neden olur (Charii vd., 2024).

pH değerinin 5-5,5 olduğu ortamda sulu çözeltide 1 molekül üre için 1,2-2 molekül formaldehitin karıştırılmasıyla birlikte bir reaksiyon başlar. Sıcaklığa ve pH değerine bağlı olarak reaksiyon hızı ayarlanmaktadır. pH değerinin 7 veya 8 gibi değerlere çıkarılması soğutma reaksiyonunu durdurabilmektedir. Tutkal %40 ila %60 oranında uçucu olmayan katı maddelerden ibarettir. Bir miktar suyun distile edilmesi suretiyle katı reçine miktarı %60 ile %72'ye çıkartılır. Katalizör olarak; genellikle düşük konsantrasyonlu asit veya amonyum klorür veya asit oluşturabilen amonyum sülfat ilave edildiğine sertleşme hızı kazanır (Fidan, 2005; Pizzi, 1994).

ÜF oduna selüloz zincirlerinin "-OH" grupları ile bağlanır. Tutkal kullanım oranları odunsu materyalin; rutubet, sertlik ve pH değerine göre belirlenir. ÜF tutkalının sertleşmesi için levha orta kısmının sıcaklığı 100°C sıcaklık civarında olmalıdır. Ayrıca, sertleşme hızı rutubete ve sıcaklığa bağlı olarak 15-118 saniye, yapışma direnci yüksek, rengi beyaz veya şeffaftır. Viskozite kullanım yerine göre 180-300 cps arasında değişmektedir (Çekiç, 2017; Özen, 1980).

Üre formaldehit, Amino grup reçinesi tutkallarının en çok kullanılan türüdür. Üre ile formaldehitin reaksiyonunda ilk olarak alkali metilasyon ile mono-di ve tri-metilol üreleri oluşur. Üre formaldehit polimeri ise asidik kondenzasyon adımlarıyla oluşur. Sistem içinde mevcut olan serbest formaldehit, üre ve metilol, orta ya da yüksek molekül ağırlığına sahip kısmen veya doğrusal dallanmış moleküller oluşturacak şekilde reaksiyona girerler. Üre formaldehit reçinelerinin en temel özellikleri yüksek reaktivite, tutuşmazlık, suda çözünübilirlik, sertlik, sertleşen polimerlerin renksiz olması, farklı sertleşme koşullarına kolay adapte olabilme olarak açıklanabilirken, suya karşı direnci ile hava koşullarına karşı direncinin düşük olması ve formaldehit emisyonu üre formaldehit reçinelerinin dezavantajları olarak belirtilmektedir. Reaksiyon formülü Şekil 1.5'te gösterilmektedir (Kayacık, 2024).



Şekil 1.5. Üre ile formaldehitin reaksiyonu sonucu mono metilol üre ve dimetilol üre oluşumu- Üre ile formaldehitin kondenzasyonu (Çavuş, 2008).

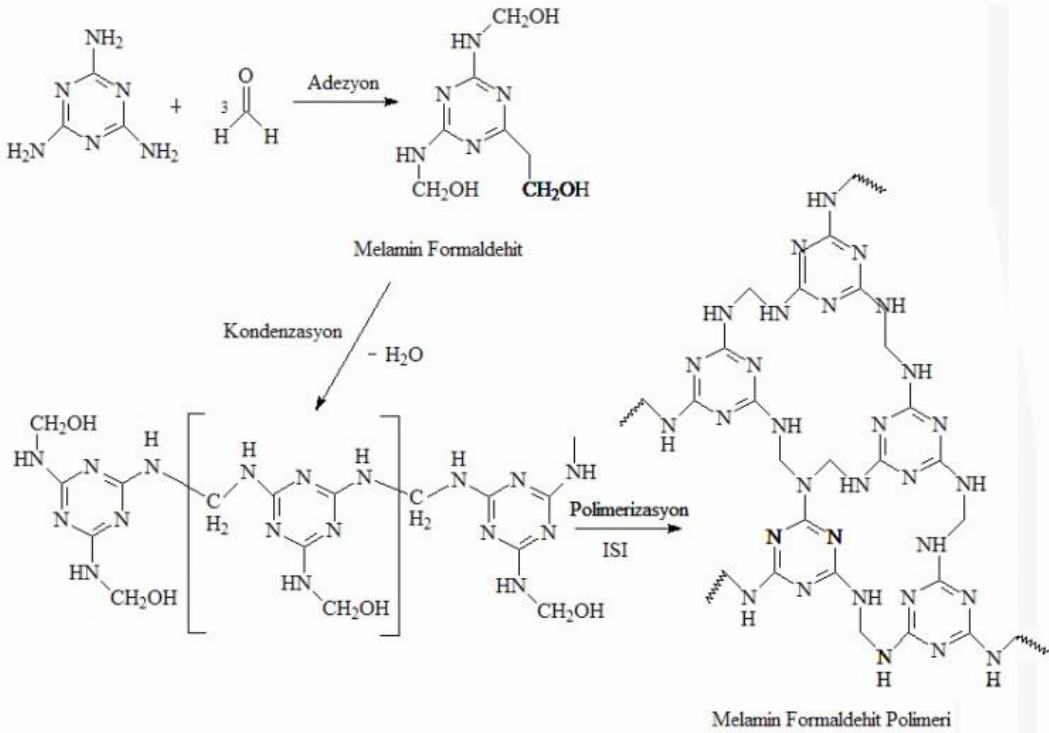
1.2.3.2 Melamin formaldehit tutkalı

Melamin formaldehit tutkalı, melaminin formaldehit ile kondenzasyonu sonucu elde edilmektedir. Melamin formaldehit üretiminde; reaksiyon pH'ı 5-6 ortamında, 6 mol formaldehit ile 1 mol melaminin karıştırılmasıyla başlar ve kademeli olarak ilerler. Kondenzasyon ürünleri henüz suda çözülebilir durumda iken, reaksiyonun sonu beklenmeden, çözeltinin nötrleştirilmesi ve soğutulması ile yarıda durdurulur. Sulu yapısı erken bozulduğundan dolayı kuru toz hali ile kullanılmaktadır. Serin ve kuru bir yerde muhafaza edildiği takdirde toz halindeki reçine bir yıl (12ay) boyunca kendini koruyabilmektedir (Çavuş, 2008; Hus, 1977).

Yapışma esnasında sıcaklık ve sertleştirici vasıtasıyla reaksiyon tekrardan başlar ve sonunda erimeyen, çözülmeyen, katı bir ürün ortaya çıkar. MF tutkalı 90 ila 140 °C sıcaklıkları arasında herhangi bir sertleştirici ürün ilave edilmeksizin kendiliğinden sertleşebilmektedir (Meriç, 2009).

Melamin formaldehit tutkalı, üre formaldehit tutkalına benzemektedir. Hatta üre formaldehit tutkalına göre bazı iyi güzel üstün yanları vardır. Bu üstün yanların bazıları şunlardır; suya karşı gösterdiği mukavemet daha fazladır, ısıya karşı kararlılıkları daha yüksektir. Sertleştirici ilave edilmeksizin düşük sıcaklıklarda sertleşebilmektedirler (Çavuş, 2008).

Melamin formaldehit tutkalı, pahalı bir tutkal olduğu için ekonomik olması sebebiyle genellikle ÜF tutkalına belli bir oranda eklenerek kullanılır. Sulu çözeltileri erken bozulduğundan dolayı genellikle toz halinde satılır. Çoğunlukla yüzeylerin kaplanmasında, film tutkallarının üretiminde ve tabakalı ağaç malzemesi ürünlerini üretiminde tercih edilir. Melamin formaldehit tutkalı kimyasal yapısı Şekil 1.6'da gösterilmektedir (Fidan, 2005; Özen, 1981).



Şekil 1.6. Melamin formaldehit tutkalı kimyasal yapısı (Fidan, 2005).

Melamin formaldehit tutkalları, üre formaldehit tutkalı ile %25 ila %75 oranında karıştırıldığında suya karşı oldukça yüksek dayanım gücüne sahiptir. Ayrıca melamin formaldehit tutkallarına %10-15 rezorsin katılması şartıyla, ağaç levhalar üzerine metal ürünler yapıştırmada tercih edilebilirler. Bu tarz tutkal kaplamalar, enine ekleme ve yüksek frekansla lamine levha üretiminde tercih edilebilir (Çekiç, 2017).

1.2.3.3 Resorsin formaldehit tutkalı

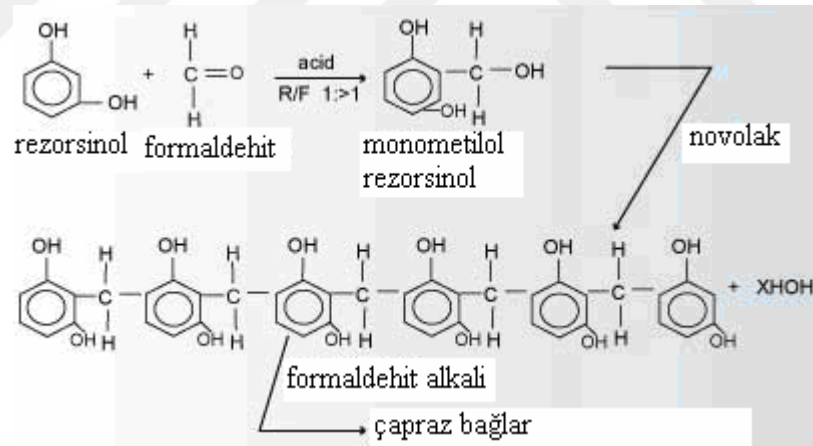
Resorsinol-formaldehit (RF) reçine yapıştırıcılar, mükemmel su, hava ve kimyasal dirence sahiptir ve oda sıcaklığında ve nötr koşullarda sertleşebilir ve kürlenebilirler. RF reçinesi 1943 yılından beri kullanılmaktadır ve uzun zamandır mükemmel özelliklere sahip iyi bir yapısal yapıştırıcı olarak kabul edilmektedir. RF reçinesi öncelikle deniz kontrplaklarının ve zorlu ortamlarda kullanılmak üzere yapısal parçaların üretiminde kullanılmaktadır. RF ile yapılan ahşap ürünler yapısal amaçla dış mekanlarda kullanılabilir ve nemli bölgelerde uygulanabilir. RF, lamine ahşap üretiminde kullanılan en önemli yapıştırıcılardandır; ancak, resorsinolün yüksek fiyatı RF reçinelerinin maliyetini artırmaktadır. Kullanımını artırmak için, bu yapıştırıcının mükemmel özelliklerini olumsuz etkilemeden maliyetinin düşürülmesi gerekir. Fenol ve resorsinolün yapısal olarak benzer olduğu düşünüldüğünde, bazı araştırmacılar resorsinol-fenol-formaldehit (RFF) reçine yapıştırıcılarını birlikte yoğunlaştırma reaksiyonu ile hazırlamak için resorsinol yerine fenol kullanmışlardır. Ancak, fenol miktarının artırılması RFF'nin kürlenme süresini uzatmakta ve hatta soğuk sertleşme özelliğini kaybettirmektedir (Li vd., 2019).

Rezorsin iki moleküllü bir fenoldür. Üretimi FF tutkalına benzemektedir. Pahalı olduğundan dolayı saf olarak sadece çok özel amaçlar için kullanılmaktadır. Üstün özelliklerinden müteveli, daha çok zorlu şart ve koşullar altında kullanımı tercih edilir. Kaynar suya karşı olan dayanımı ile dikkat çeker (Çavuş, 2008; Hus, 1977).

Resorsinol formaldehit reçinesi her türlü açık hava koşullarına dayanıklılığından dolayı uçak ve gemi imalatı gibi büyük montanlı endüstriyel alanlarda kendisine kullanım alanı bulmuştur (Kayacık, 2024).

Bu tip yapıştırıcılar fenolün rezorsini etkisi altına almasıyla oluşmaktadır. Sertleştirici ürün olarak çoğunlukla para-formaldehit kullanılır. Piyasada RF reçinesi adı verilen tutkalların birçoğu FF reçinesi ile karıştırılmış veya yoğunlaştırılmıştır. Bu

yapıştırıcının kendisi genellikle açık sarıdan koyu kahverengine kadar değişiklik gösterebilen renklerde bir sıvı olup sertleştiricisi de çoğunlukla toz halindedir. RF tutkalının sıvı halde bulunabilen iki çeşidi vardır. Bunlar montaj ve kaplama tutkallarıdır. Montaj tutkalları uygun ortam şartlarına ve koşullarına göre 9 ay saklanabilirken açık kalma süresinde ancak 10-12 dakika dayanabilmektedir. Kaplama tutkalları montaj tutkallarından farklı olarak en geç 3 saat içinde kullanılmalıdır. Tutkalların pres sıcaklığı ise 130-140°C olmalıdır. Reçine hazırlanırken ağırlık miktarı bakımından 110 birim reçineye 10-30 birim sertleştirici katılır. Resorsin reçinesi normalde soğukta yapışan bir tutkal olmasına rağmen 70 °C sıcaklıkta da kullanılabilir. Bu sıcaklık değerinin üstündeki tutkalların viskozitesi artarak yapıştırma kabiliyetinde ki etkisini kaybedebilmesine sebep olabilir. Reçine 20 °C sıcaklıkta 3 ila 6 saat gibi kısa bir süre içerisinde sertleşir ve yapışma özelliği kazanır. Bu reçineler boşluk, aralık, çatlak ve yarıkları doldurma ve çok şiddetli dış koşullara karşı bile mükemmel mukavemet özelliğine sahiptir hatta kaynar suya bile dayanıklılıkları bulunmaktadır. Rezorsin formaldehit tutkalı kimyasal yapısı Şekil 1.7’de gösterilmektedir (Meriç, 2009).



Şekil 1.7. Rezorsin formaldehit tutkalı kimyasal yapısı (Meriç, 2009).

Rezorsin ile fenol kıyaslanacak olursa rezorsin fenolden iki kat etkindir. Bu sebeple formaldehite karşı çok küçük sıcaklıklarda bile tesir gösterebilir. Kondenzasyon nötr ortamda ve oda sıcaklığında son aşamaya kadar ilerler. Yalnızca çözeltide formaldehitin fazla olması zorunludur. Formaldehitin fazla olmasından dolayı malzemeye zarar vermeden soğuk yapışma mümkün olmaktadır. Bu özelliği ile RF tutkalı FF tutkalından üstündür. Soğuk yapıştırma yapılabilmesi için çözeltinin pH

değerinin aşırı derecede düşürülmesi zorunlu olmaktadır (Çavuş, 2008; Kalaycıoğlu, 1991).

1.2.3.4 Melamin-Üre formaldehit tutkalı

Melamin üre formaldehit tutkalı, ahşap ve diğer malzemelerin yapıştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir sentetik yapıştırıcı türüdür. Bu tutkal, melamin ve üre formaldehit bileşenlerinin polimerizasyonu sonucu elde edilir. Melamin, yüksek sıcaklık ve nem dayanıklılığına sahip bir bileşiktir; bu özellikleri, tutkalın genel performansını önemli ölçüde artırır. Üre ise genellikle düşük maliyetli bir alternatif olarak kullanılır ve bağlama gücünü artırma işlevi görmektedir (Fidan, 2005).

Melamin üre formaldehit tutkalları özellikle iç mekân uygulamalarında tercih edilmektedir; çünkü mükemmel yapısal bütünlük sağlarken aynı zamanda estetik açıdan tatmin edici sonuçlar da sunar. Bu tür tutkalların en belirgin avantajlarından biri, suya karşı dirençli olmalarıdır ki bu da onları laminant parke üretimi gibi alanlarda vazgeçilmez hale getirmektedir (Çavuş, 2008).

Günümüzde inşaat, mobilya ve otomotiv endüstrileri dahil olmak üzere birçok sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Özellikle çevresel sürdürülebilirlik konularının giderek daha fazla önem kazandığı günümüzde, melamin üre formaldehit tutkalları hem performans hem de ekonomik açıdan avantajlı seçenekler sunmaktadır (Kayacık, 2024).

Ancak bu ürünlerin kullanılmasında dikkat edilmesi gereken bazı sağlık riskleri de bulunmaktadır; çünkü içerdiği kimyasalların insan sağlığı üzerindeki etkileri çeşitli araştırmalarla belgelenmiştir. Kısaca ifade etmek gerekirse melamin üre formaldehit tutkalları çağımızın yapı malzemeleri dünyasında önemli yer edinmiş olup gelişim süreçlerine bağlı olarak gelecekte daha yenilikçi çözümler sunmasına zemin hazırlamaktadır (Kayacık, 2024).

MÜF tutkalı, sıcaklıkla preslenen tutkallarının özel bir üyesidir. Kuru toz veya çözelti halindeki üre ile melamin formaldehit tutkallarının karışımıyla sentezlenmektedir. Piyasada genellikle toz halinde satılır. Suya karşı, dış hava koşullarına ve rutubetli iç mekân koşullarına karşı ÜF tutkallarına göre daha mukavemetli bir tutkaldır.

Genellikle laminat parçaların kaplamaları üzerinde kullanılmaktadır (Arslan, 2016; Pizzi, 1994).

MÜF tutkalı üretebilmek için yaklaşık olarak %90 melamin, tutkal üretimine karıştırılır. Tutkal üretimi üç aşamalı olarak gerçekleştirilir. Birinci aşama da 1 mol melamin 6 mol formaldehit ile reaksiyona katılır. İkinci aşamada ise melamin, ÜF ile reaksiyona girerek büyük moleküllü bağlar oluşturur. Üçüncü aşamada ise son kez üre ilavesi yapılır ve tutkal ÜF" ye benzer. Son ürenin ilave edilmesiyle molar oranı, serbest formaldehit miktarı, viskozite ve formaldehit emisyonu azalır. MÜF tutkalının formaldehit emisyonu ÜF tutkalından daha düşüktür ve daha fazla su itici özelliğe sahiptir (Arslan, 2016).

1.2.3.5 Fenol formaldehit tutkalı

Fenol formaldehit tutkalları, ahşap endüstrisinde ve çeşitli sanayi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan termoset yapıştırıcılardır. 20. yüzyılın ortalarında ticari olarak geliştirilmiştir. Fenolik tutkallar esas olarak fenol (C_6H_5OH) ile formaldehitin (CH_2O) kondenzasyon polimerizasyonu ile sentezlenen polimerlerdir (Arslan, 2016).

Fenol ham petrolden elde edilen altı karbonlu aromatik bileşiktir. Fenol'ün temel bileşenleri benzen ve tolüendir. Tolüen, benzoik asitten dönüştürülür, benzen ise propilen ve cumen'in karışımıdır. Benzoik asit ile birlikte fenolü oluşturur (Çavuş, 2008).

Farklı özellikler kazandırmak üzere fenolik tutkallar fenol yerine metil ve dimetil fenol, kresoller, paraalkil fenoller veya diğer fenol bileşikleri, formaldehit yerine para formaldehit ve diğer yüksek aldehitler veya bunların karışımlarını kullanarak da sentezlemek mümkündür (Arslan, 2016).

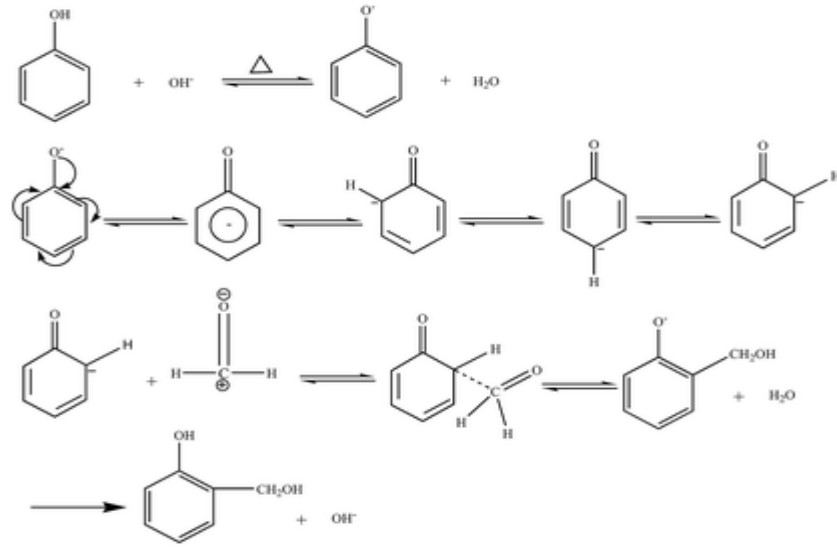
Fenol ve formaldehit, FF reçinesi içinde bir karıştırıcı yardımıyla birleştirilir. Bu sıvı koyu kahverengi olup kokusuz ve kesinlikle yanmazdır. İşlem sırasında FF reçinesi, üre formaldehit reçinesine benzer bir şekilde bağlarını güçlendirmiş ve polimerize edilmiştir. FF çözeltisi, fenol ve formaldehitin 2.2 mol oranlarında formaldehitin çoğu FF yapısı içinde üç boyutlu kuvvetli bağlar ile sürekli bir şekilde yapıştırılır. Serbest formaldehit, üre formaldehitin pres esnasında bırakılması gibi, aynı şekilde pres esnasında bırakılır (Çavuş, 2008; Uysal, 2005).

Fenol-formaldehit (FF), novolak (asitle sertleşen ve fazla miktarda fenol içeren) ve resol tip (alkali ile sertleşen ve fazla miktarda formaldehit içeren) reçineler olarak sınıflandırılabilir ve yüzyıllardır ahşap temel endüstrisinde sentetik temel yapıştırıcı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. FF reçineleri kontrplak, lif levha, lamine kaplama kereste, yönlendirilmiş saman levha ve yonga levha gibi dış cephe tipi ahşap kompozitlerin üretimi için pazara hakimdir. Aslında, FF reçinesinin ahşap imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasının ana nedenleri suya karşı direnci, hava koşullarına dayanıklılığı, iyi yapışma özelliklerinin yanı sıra son ürünlerden kaynaklanan formaldehit emisyonunun minimum sağlık sorunudur (Hoong vd., 2015).

Fenolik reçine sentezleme sürecine bağlı olarak, hazırlanan reçine iki tipte sınıflandırılır: termoplastik fenol reçinesi ve termoset fenol reçinesi. Hammaddenin kimyasal yapısı, fenolün aldehite olan molar oranı, ortamın pH'ı ve katalizör tipi reçine tipini belirleyen ana faktörlerdir. Resol fenolik reçine olarak da bilinen termoset fenolik reçine, fazla miktarda bazik katalizör ve aldehit varlığında sentezlenir. Fazla asidik katalizör ve fenolik madde kullanıldığında, termoplastik fenolik reçine olarak da bilinen sentetik bir fenolik reçine sentezlenir (Xu vd., 2019).

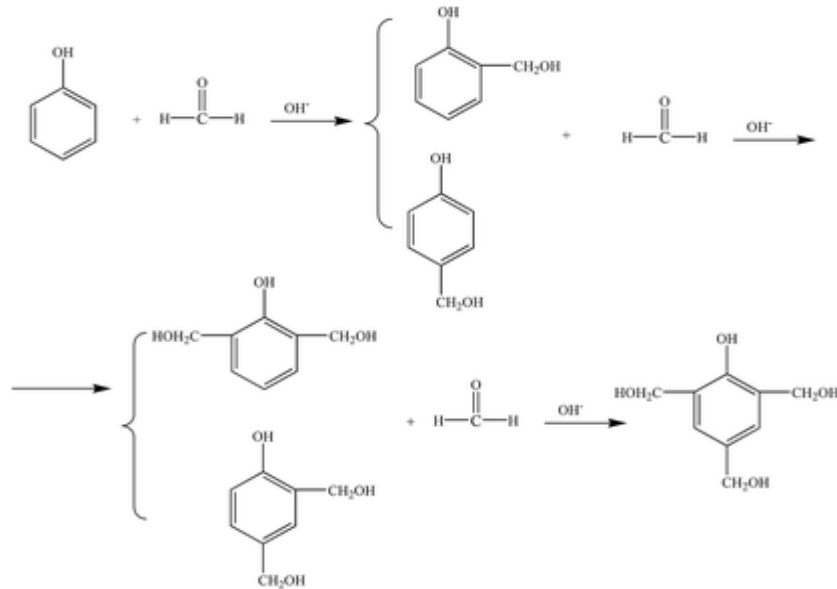
Termoset fenolik reçinenin sentez prensibi Termoset fenolik reçinenin sentez süreci iki aşamaya ayrılır: hidroksilasyon reaksiyonu ve polikondensasyon reaksiyonu (Xu vd., 2019).

Hidroksimetilasyon Alkali koşullar altında fenol, fenoksi anyonu oluşturmak için ısıtma üzerine katalizör NaOH ile reaksiyona girer. Rezonans formu, fenoksi anyonunun fenol-hidroksimetil oluşturmak için formaldehitin karbonil grubuna saldırabilen nükleofilik bir reaktif olduğunu göstermektedir. Reaksiyon formülü Şekil 1.8' de aşağıda gösterilmiştir (Xu vd., 2019).



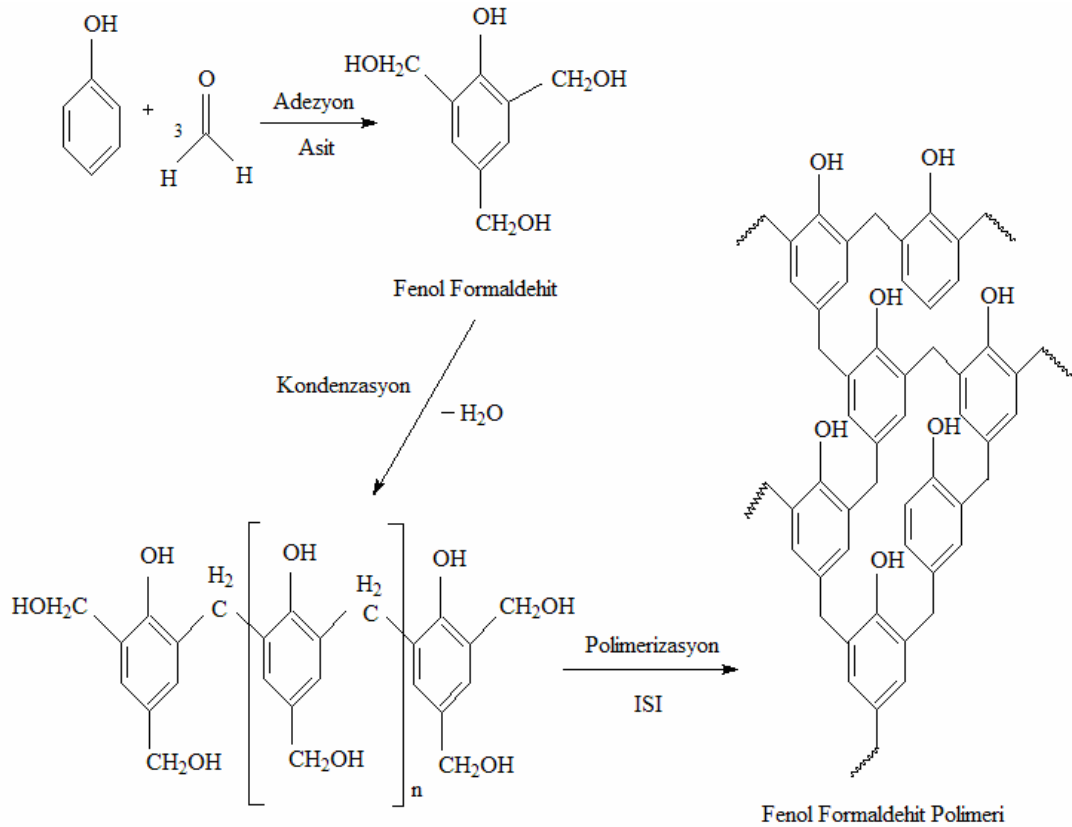
Şekil 1.8. Fenol-hidroksimetil oluşum evresi (Xu vd., 2019).

Fenol çekirdeği üzerindeki orto ve para pozisyonları, fenolik hidroksil grubu tarafından aktive edilir ve formaldehit ile reaksiyona girdiğinde orto veya para fenol-hidroksimetil üretir. Metilol fenol, dimetilol fenol ve trimetilol fenol oluşturmak üzere formaldehit ile reaksiyona girmeye devam edebilir. Reaksiyon formülü Şekil 1.9 'da gösterilmektedir (Xu vd., 2019).



Şekil 1.9. Fenolün hidroksil grubu tarafından aktive edilmesi ve formaldehit ile reaksiyona girdiğinde orto veya para fenol-hidroksimetil üretilmesi (Xu vd., 2019).

Novalaklar yüksek maliyetleri ilave sertleştiriciye ihtiyaç duymaları ve asidik ortamlarda sertleşmelerinden dolayı endüstriyel alanlarda ki kullanımlarda çok fazla tercih edilmemektedir. Resoller alkali katalizör ve aldehit yardımı ile sentezlenirler. Fenolik bir reçine olup formaldehitin formaldehitin mol oranı fenole göre daha yüksektir. Kontrplak üretimlerinde kullanılan fenol formaldehit reçinesinde formaldehit/fenol mol oranı 2/1 kadar olabilir. Fenol formaldehit tutkalı kimyasal yapısı Şekil 1.10'da gösterilmektedir (Baldwin, 1995; Kayacık, 2024).



Şekil 1.10. Fenol formaldehit tutkalı kimyasal yapısı (Çavuş, 2008).

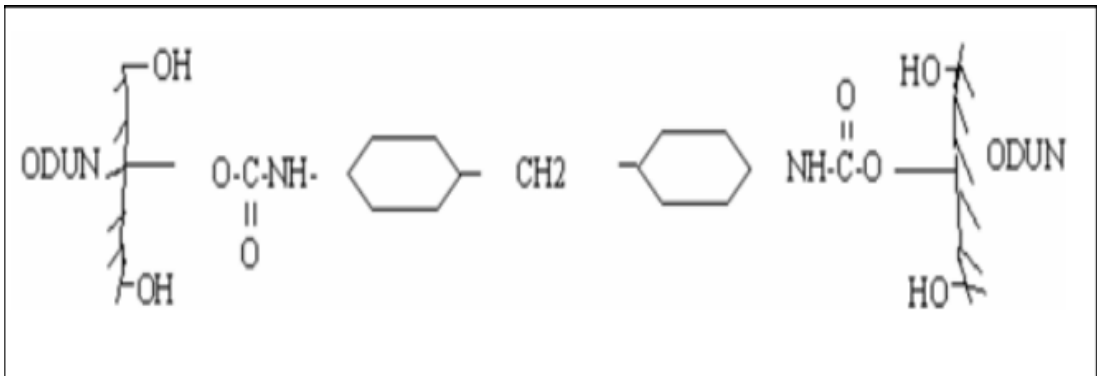
1.2.3.6 İzosiyanat tutkalı

İzosiyanatlar, (NCO) olarak belirtilen izosiyanat grubunu içeren reaktif, düşük molekül ağırlıklı aromatik ve alifatik bileşikler grubudur. Bir izosiyanat grubu içeren organik bileşikler izosiyanatlar olarak adlandırılır. İki izosiyanat grubu içeren izosiyanatlar diizosiyanatlar olarak bilinir. İzosiyanatların fonksiyonel grubu doymamıştır ve aktif hidrojen atomları içeren bileşiklerle kolayca reaksiyona girer.

Bu nedenle, izosiyanatlar ister sıvı ister sis formunda olsun su, alkoller, aminler vb. ile kolayca reaksiyona girer. Ayrıca, izosiyanatlar dimer veya trimer oluşturmak üzere kendileriyle de reaksiyona girerler. Alkol ile reaksiyona giren izosiyanatlar karbamatlar (NHCOO-) oluşturur. İzosiyanatlar köpüklerin, elyafların, boya kaplamalarının, elastomerlerin ve yalıtım uygulamalarının üretiminde kullanılır. İzosiyanatlara mesleki maruziyet genellikle tek tek bileşiklerin buhar basınçları ile ilgilidir (Kaap, 2024).

İzosiyanatlar, yapıştırıcılar, elastomerler, kaplamalar ve köpükler gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılan yüksek reaktif organik bileşiklerin bir sınıfıdır. İzosiyanat bazlı yapıştırıcılar, formaldehit emisyonlarının olmaması, yüksek reaktivite, mükemmel solvent direnci ve üstün yapıştırma performansı nedeniyle değerlidir. Yüksek oranda doymamış izosiyanat grupları son derece reaktiftir ve su, alkol ve aminler gibi aktif hidrojen içeren bileşiklerle reaksiyona girebilir. Bu reaksiyonlar tipik olarak bağlanma aşamasında meydana gelir ve bağlanma dışı aşamalarda bunları önlemek için fiziksel veya kimyasal yöntemler gerektirir (Ning vd., 2025).

Sıkı sızdırmazlık ve depolama önlemlerine ek olarak, izosiyanat gruplarını (-NCO) geçici olarak inaktive eden kapsülleme yoluyla kimyasal engelleme sağlanabilir. NCO grupları daha sonra uygulama sırasında ısıtma yoluyla veya katalizörler kullanılarak serbest bırakılır. Bununla birlikte, engelleme ve engellemeyi kaldırma reaksiyonları tersinirdir ve yan reaksiyonlara yol açabilir. İzosiyanat gruplarıyla odun arası etkileşimi Şekil 1.11’de gösterilmektedir (Ning vd., 2025).



Şekil 1.11. İzosiyanat gruplarıyla odun arası etkileşim (Özlüsoylu, 2016).

Düşük moleküler ağırlıklı izosiyanatlar oda sıcaklığında buharlaşarak soluma tehlikesi yaratır. Buna karşılık, daha yüksek moleküler ağırlıklı izosiyanatlar ortam sıcaklığında kolayca uçmazlar; ancak ısıtıldıklarında veya aerosol haline geldiklerinde tehlike oluşturabilirler. İzosiyanatlar güçlü cilt, göz, solunum ve gastrointestinal tahriş edicilerdir. Ayrıca, bazı durumlarda ölümcül olabilen şiddetli astıma neden olabilen güçlü hassaslaştırıcılardır (Kaap, 2024).

1.2.3.7 Çalışmanın amacı

Çalışmanın amacı, katı atıkların toplanması, depolanması ve bertarafı sırasında ortaya çıkan arıtımı zor ve çevreye zararlı olan sızıntı suyunun (SS) fenol formaldehit (FF) tutkalı sentezinde kullanılabilirliğini belirlemektir. Bu doğrultuda FF sentezinde belirli oranlarda SS ikame ederek daha çok ahşap ve ahşap esaslı ürün endüstrisinde kullanılan endüstriyel bir tutkal olan FF üretiminde değerlendirmek suretiyle SS'nin çevresel etkilerinin azaltılması da amaçlanmaktadır. Çalışmanın nihai amacı olarak doğada oldukça kıt ve sınırlı miktarlarda bulunan temiz su kaynaklarının korunması, çevreyi, doğayı ve insan sağlığını tehlikeye atan sızıntı sularının ekonomik değeri olan endüstriyel bir ürüne dönüştürülerek bertaraf edilmesi ve değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Arslan (2016) çalışmasında, farklı oranlarda biyoyağ ile modifiye edilen Fenol Formaldehit (FF) tutkallarının yapışma performansı araştırılmıştır. FF tutkalına fiziksel olarak karıştırılan biyoyağın karışım oranı %10'dan %30'a kadar arttırılmıştır. Biyoyağ karışım oranının üretilen tutkalların kürlenme, kimyasal, morfolojik ve yapışma özelliklerine etkisi belirlenmiştir. Biyoyağ ile modifiye edilen FF tutkalının yapışma direncine kuru ve ıslak şartların etkisi araştırılmıştır. Biyoyağın kimyasal kompozisyonu bazı kromotografik ve spektroskopik yöntemler ile incelenmiştir. Daha sonra (FT-IR) ile analiz edilmiştir. Biyoyağın ve modifiye tutkalların moleküler yapısı FF tutkalına benzer olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak lignoselülozik atıklardan elde edilen biyoyağlar petrol esaslı FF reçinesini kısmen ikame edebilir.

Kayacık (2024) çalışmasında, genelde dış mekanlarda, yapı malzemesi olarak kullanılan kontrplakların düşük maliyetli cam lifi ilavesi ile geliştirilen mekanik özelliklerinin vidalama torkları üzerine etkileri ortaya konulmuştur. %3-5 rutubette 600x600 mm ebatlarında ve 2 mm kalınlığında temin edilen kayın kaplamalar kullanılan bu çalışmada, fenol formaldehit tutkalına 25 µm ve 10 µm olmak üzere 2 farklı boyutta toz halde e-tipi cam lifinin %10, 20 ve 30 oranlarında ilave edilmesi ile 7 katmanlı kayın kontrplaklar elde edilmiştir. Elde edilen kontrplaklardan 500x500 mm boyutlarında kesilen test örnekleri ile vidalama tork değerlerinin belirlenmesi testi yapılmıştır. 50x50 mm boyutlarında kesilen test örnekleri ile yoğunluk, denge rutubet miktarı, kalınlığına şişme, çekme-makaslama ve yüzeye dik çekme testleri yapılmıştır. Bahsi geçen testler için ayrı ayrı iki faktörlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Testlerin ANOVA sonuçlarına göre ikili etkileşimlerin 0,05 anlamlılık düzeyine göre anlamlı çıktığında ikili etkileşimin en küçük anlamlı fark değeri (LSD) analizi yapılmıştır. Sonuçlara göre ikili etkileşimin anlamlı çıkmadığı durumlarda ise faktörlere ayrı ayrı LSD analizi yapılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Dorieh vd. (2022) çalışmasında, selüloz ve lignin nanomalzemeleri ile modifiye edilmiş fenol formaldehit reçinesini incelemiştir. Selüloz ve lignin (nano) malzemeler, bolluk, yenilenebilirlik, düşük maliyet, mükemmel fiziksel-mekanik özellikler, çevre dostu ve düşük ağırlık içeren benzersiz ve potansiyel olarak yararlı özellikleri nedeniyle küresel ilgi görmektedir. Bu nedenle, bu araştırma, son on yılda araştırılan selüloz ve lignin nano malzemelerle güçlendirilmiş fenol-formaldehit (fenolik)

kompozitlerin performansını artırmaya yönelik bir literatür taramasını ele almıştır. Fenolik kompozitlerin fiziksel, mekanik davranışları ve termal kararlılıkları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Gerçektende, çeşitli gelişmiş sentez süreçleri kullanılarak nanoselüloz ve nanolignin ile modifiye edilmiş farklı tipte fenolik kompozitler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, nanoselüloz ve nanoligninin üretilen kompozitlerin genel performansını artırmadaki kayda değer etkisini vurgulamıştır

Şahinöz vd. (2022) çalışmasında, çam kozalağı ve fenol formaldehit/PVAc/molass bağlayıcısından polimer ahşap kompozit malzemenin işlenmesi ve özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgilidir. Ahşap esaslı malzemelerin en temel dezavantajları su emme, yanıcılık ve böcek saldırısıdır. Bu dezavantajlar ahşap esaslı malzemelerin kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Araştırmada çam kozalağı esaslı polimer bağlayıcı ve melas katkılı kompozit malzeme üretimi ve bu malzemenin yanmazlık, böcek saldırısı ve suya dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla çam kozalağı, polivinil asetat (PVAc), fenol formaldehit (FF), şeker pancarı melası, kenevir lifi ve atık kolemanit kompozit malzeme üretiminde kullanılmıştır. Laboratuvarda yapılan eğilme dayanımı testi sonuçlarına göre en uygun kompozit malzeme üretim parametreleri 0,25 dolgu/bağlayıcı (f/b) oranı, %35 melas oranı, 100 °C kalıplama basıncı sıcaklığı, 49 kg/cm² kalıplama basıncı, 240 µm ortalama partikül boyutu, kalıplama basıncı süresi için 20 dk, %20 FF oranı ve %0,5 kenevir lifi oranı olarak tespit edildi. Melasın kompozit malzeme üretiminde %35 oranında kullanılabileceği, FF reçine ve kenevir elyaf örneklerinin gerekli su direncini sağladığı tespit edilmiştir. Karışımında kullanılan kolemanit atığının kompozit malzemeye yanmazlık özelliği kattığı, eğilme dayanımı ve vida çekme dayanımını ise düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu araştırma sonucunda; atık çam kozalağı, melas, kenevir lifi ve atık kolemanitten çevre dostu polimer kompozit malzemeler elde edilebilmektedir. Bu nedenle teknolojik ve uygulanabilir uygulamalarda ticari ürün olarak sunulması mümkündür.

Hafız vd. (2020) Bu çalışmanın amacı, çeşitli termal analiz teknikleri kullanarak farklı tanen ikame derecelerine sahip fenol-formaldehit (FF) yapıştırıcılarının kürlenme davranışını ve termal özelliklerini değerlendirmektir. Reçine karışımı, %40 w/w tanen çözeltisi eklenmeden önce 50 °C'de ısıtılmış ve ardından 2 saat boyunca sürekli karıştırılmıştır. Tanen ikame miktarları %20, %30 ve %40 (w/w FF katıları) olup kontrol olarak %100 FF kullanılmıştır. Çalışma, tanen ilavesinin reçinenin

viskozitesindeki artışa paralel olarak reçinenin jel süresini önemli ölçüde hızlandırdığını göstermektedir. Tanen fenol-formaldehit (TFF) ko-polimerinin kuru kesme bağlanma mukavemeti, FF için 3,41 MPa'ya kıyasla 1,71 ila 2,58 MPa arasında değişmiştir. Daha yüksek tanen ilavesinde, kesme bağı mukavemeti ağırlıklı olarak %40 tanen ikamesinde önemli ölçüde azalmıştır. 20 tanen içeren formülasyon, saf FF ile karşılaştırılabilir bulunmuştur. Termal test, TFF'nin FF reçinesinden daha düşük bir sıcaklıkta bozunmaya başladığını ortaya koymuştur. Tüm TFF reçineleri yaklaşık 125°C'de kürlenmeye başlamış ve 145°C'de kürlenmeye başlayan FF'ye kıyasla 160°C'de zirve yapmıştır. Reçinenin DMA'sı, tanen ilavesiyle reçine sertliğinde bir artış olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, TFF'nin düşük sıcaklıkta bozulmaya başlamasına rağmen, kürlenmiş TFF'nin saf FF'den nispeten daha güçlü olduğunu göstermektedir.

Wei vd. (2018) Bu çalışmada, doğrudan kopolimerizasyon yoluyla fenol formaldehit (FF) reçinesinin hazırlanmasında organik silan bağlama maddesi KH550 (γ -aminopropiltrietoksisilan) eklenmiştir. Böyle bir ekleme, termoset düşük moleküler ağırlıklı FF reçinesini modifiye ederek fenolik hidroksili bloke etti ve nemli ortamlarda elektrik yalıtım performansını artırdı. Reçinelerin hacim direnci ve yapışma mukavemeti sıcak suda bekletilmeden önce ve sonra test edilmiştir. Özelliklerin iyileştirilmesi reçine bileşimi ve kürlenme davranışı açısından incelenmiştir. Karşılaştırma için yaygın bir FF reçinesi ve ticari bir yalıtım FF reçinesi kullanılmıştır. Sonuçlar, KH550'nin FF reçinesine aşılandığını, polar fenolik hidroksil grubunu etkili bir şekilde bloke ettiğini, su emilimini azalttığını ve kürlenmiş FF reçinesinin hacim direncini artırdığını göstermiştir. Hazırlama süreci basitti ve hazırlanan reçine suda çözünürdü. Kütle olarak %5 KH550 (fenol kütlesi bazında) ile modifiye edilen düşük moleküler ağırlıklı FF reçinesi daha iyi kürlenme özellikleri ve nemli ortamlarda üstün hacim direnci ve yapışma mukavemeti sergilemiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Sızıntı sıvısı (SS), Türkiye'nin Aksaray şehrindeki bir katı atık depolama sahasından toplanmıştır. Çizelge 3.1'de, SS'nin bazı özelliklerini sunmaktadır. Formaldehit çözeltisi hazırlanmadan önce, SS 100 µm gözenek boyutuna sahip filtre kağıdında süzülmüştür (Şekil 3.1). Gentaş Kimya Sanayi ve Ticaret Pazarlama A.Ş. (İzmit, Türkiye) fenol (sıvı) ve paraformaldehit tedarik ederken, NaOH paleti Sigma-Aldrich tarafından sağlanmıştır.

Çizelge 3.1. Sızıntı suyu karakterizasyonu.

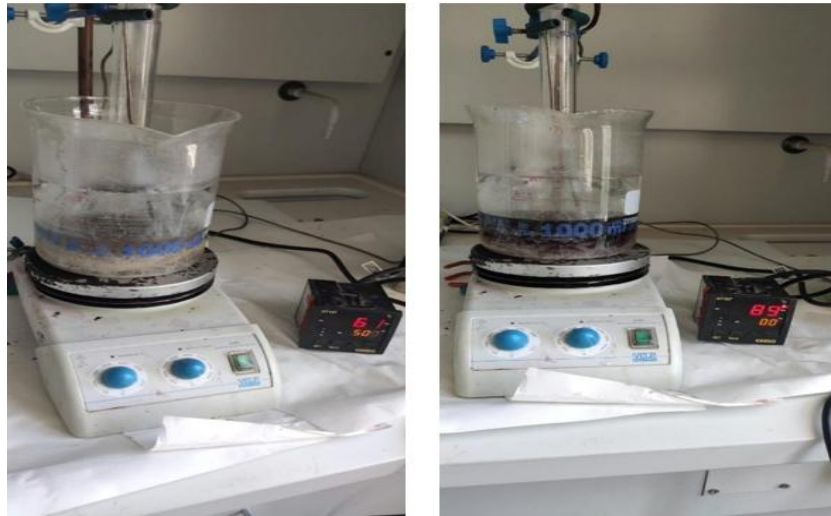
Parametre	Birim	Analiz Sonucu	Analiz Metodu
Arsenik	(mg/L)	0,910	EPA 200.7
Askıda katı madde	(mg/L)	529	TS EN 872
Bor	(mg/L)	29,7	EPA 200.7
Cıva	(mg/L)	<0,0005	EPA 200.7
Çinko	(mg/L)	0,443	EPA 200.7
Fenol	(mg/L)	0,217	SM 5530 B C
Gümüş	(mg/L)	<0,02	EPA 200.7
Kadmiyum	(mg/L)	<0,001	EPA 200.7
Kalay	(mg/L)	<0,005	EPA 200.7
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	(mg/L)	20400	TS 2789
Klorür	(mg/L)	12640	SM 4500 CI B
Krom	(mg/L)	0,652	EPA 200.7
Kurşun	(mg/L)	<0,005	EPA 200.7
Mineral Yağ	(mg/L)	282	TE EN ISO 9377-2
Nikel	(mg/L)	1,36	EPA 200.7
pH		7,96	TS EN ISO 10523
Sıcaklık	(°C)	31,8	SM 2550 B
Serbest Klor	(mg/L)	<0,01	SM 4500 CI G
Sülfat	(mg/L)	264	SM 4500 SO ₄ E
Sülfür	(mg/L)	<0,1	SM 4500 S D
Toplam Azot	(mg/L)	2648	Hesaplama Metodu
Toplam Siyanür	(mg/L)	0,159	SM 4500 CN C E
Yağ-Gres	(mg/L)	23	TS 8312
Yüzey Aktif Madde	(mg/L)	0,189	SM 5540 B C



Şekil 3.1. Aksaray ili sızıntı suyunun 100 µm gözenek boyutuna sahip filtre kağıdından süzülümü.

3.2 Fenol Formaldehit Sentezi

FF reçinesini sentezlemeden önce, SS/saf su (0, 10, 20, 30 ve 40 ağırlıkça) oranlarında eklenerek %37 konsantrasyonda bir formaldehit çözeltisi hazırlandı. Çeşitli miktarlarda SS, oda sıcaklığında yaklaşık 1000 rpm'de 10 dakika boyunca paraformaldehit ve saf su ile karıştırıldı (Şekil 3.2). Tipik sentez sürecinde, fenol/formaldehit çözeltisi karışımı reaktöre eklendi, ardından 60 °C'de toplam NaOH çözeltisinin (ağırlıkça %50) 0,70'i kademeli olarak eklendi. Karışım daha sonra 90 °C'ye ısıtıldı ve 60 dakika boyunca sürekli karıştırıldı. pH değeri, karışıma NaOH çözeltisinin geri kalanı (toplam ağırlıkça çözeltinin %30'u) eklenerek yaklaşık 11,0'a ayarlandı. Son olarak, sentez tamamlandıktan sonra reçine 25 °C'ye soğutuldu. Çizelge 3.2'deki deneysel çalışmada kullanılan oranlar gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Reçine sentez düzeneği.

Çizelge 3.2. FF reçinesi deneysel çalışmada kullanılan oranlar.

FF reçine kodu	SS ikame düzeyi (%) formaldehit çözeltilisinde	Saf su
Referans FF (Lab. FF)	0	100
FF-10	10	90
FF-20	20	80
FF-30	30	70
FF-40	40	60

3.3 Tutkal Karakterizasyonu

3.3.1 pH

FF reçinelerinin her bir çalışmasında numune (10 mg) 25-700 °C'den 10 °C/dakika azot atmosferinde ısıtılmıştır. Reçinelerin pH değerleri sırasıyla 25 °C'de bir hızlı ölçüm yapmaya olanak veren TES-1380 model pH metre kullanılarak tespit edilmiştir. pH ölçüm cihazı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. pH ölçüm cihazı ile pH ölçümü.

3.3.2 Viskozite

FF reçinelerinin her bir çalışmasında numune (10 mg) 25-700 °C'den 10 °C/dakika azot atmosferinde ısıtılmıştır. Reçinelerin viskoziteleri dijital bir viskozimetre (Brookfield, model: Dv-IPrime) kullanılarak tespit edilmiştir.

3.3.3 Katı madde içeriği

FF reçinelerinin her bir çalışmasında numune (10 mg) 25-700 °C'den 10 °C/dakika azot atmosferinde ısıtılmıştır. FF reçinesinin katı madde içeriği (SC) ASTM D3529M-97, 2008' e göre hesaplanmıştır.

3.3.4 Serbest formaldehit

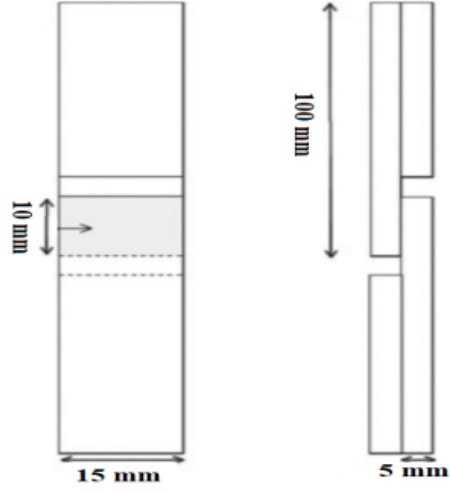
FF reçinelerinin her bir çalışmasında numune (10 mg) 25-700 °C'den 10 °C/dakika azot atmosferinde ısıtılmıştır. Serbest formaldehit içeriğini belirlemek için hidroksilamin hidroklorür yöntemi kullanılmıştır (DIN EN ISO 11402:2005).

3.3.5 Termal gravimetrik analizi (TGA)

FF reçinelerinin her bir çalışmasında numune (10 mg) 25-700 °C'den 10 °C/dakika azot atmosferinde ısıtıldı. FF reçinelerinin termal kararlılığını incelemek için termal gravimetrik (SDT Q600) analiz yapılmıştır. Her TGA çalışmasında, FF reçinesinin 10 mg'lık bir numunesi 25 ila 700 °C'den 10 °C/dakika azot atmosferinde ısıtılmıştır.

3.4 Yapışma Dayanımı Testi

Kaba ölçüdeki lameller yüzeylerinin düzeltilmesi ve yapıştırılmaya uygun hale getirilmesi için 5 mm kalınlığa kadar yüzeyleri planya ile perdahlanmıştır. Daha sonra deney numunelerini üretmek etmek üzere elde edilen lamellerin yapıştırılmasında FF reçinesi, üreticinin önerdiği şekilde, lamellerin tek bir bağlanma yüzeyine 200 g/m² oranında uygulanmıştır. Reçine, bir fırça kullanılarak lamellere eşit şekilde yayılması sağlanmıştır. Pres basıncı, sıcaklık ve süre sırasıyla 2 kg/cm², 120 °C ve 15 dakika olarak ayarlandı. Numuneler, 20±2°C sıcaklıkta ve %65±3 bağıl nemde 8 hafta süreyle şartlandırıldıktan sonra, BS EN 205:2016 test değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir standartlarına göre Zwick/Roel Z50 universal test cihazında yapışma dayanımı açısından test edilmiştir. Test sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Test numunesi Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Yapışma dayanımı test örneği.

Çizelge 3.3. EN 12765 standardına ait yapışma direnci değerleri.

Test numarası	Test koşulları	Ölçek Güç (N/mm ²)			
		C1	C2	C3	C4
Ön işlem 1	Standart koşullarda 7 gün	≥10	≥10	≥10	≥10
Ön işlem 2	Standart koşullarda 7 gün (20±5) °C'de soğuk suda 24 saat	-	≥7	≥7	≥7
Ön işlem 3	Standart koşullarda 7 gün Kaynamış suda 3 saat (20±5) °C'de soğuk suda 2 saat	-	-	-	≥4

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 FF Sentez Tutkalların Bazı Fiziksel Özellikleri

Çizelge 4.1'de FF reçinelerinin pH'ını, viskozitesini, katı içeriğini ve serbest formaldehit içeriğini göstermektedir. Veriler, SS miktarı ağırlıkça %0'dan %40'a çıktıkça, FF reçinesinin pH değerinin 11,76'dan 10,87'ye düştüğünü göstermektedir. SS içeren FF reçineleri (%10-40), referans FF reçinesinden daha yüksek viskozite sergilemiştir. Eklenen SS miktarı arttıkça, FF reçinesinin katı içeriği kademeli olarak artmıştır. Ek olarak, serbest formaldehit içeriği de sürekli olarak artmıştır. Bazı fiziksel özelliklerde gözlemlenen sonuçlara dayanarak, SS'nin varlığı pH değerindeki düşüşe ve onunla sentezlenen FF reçinesinin karbon içeriğindeki artışa bağlanmıştır. Bu muhtemelen SS'nin saf suya kıyasla daha yüksek fenol ve organik asit içeriğinden kaynaklanmaktadır. İlgili literatürde, FF reçine sentezinde çeşitli biyobazlı malzemelerin kullanımı için benzer bulgular bildirilmiştir (Lee vd., 2012; Li vd., 2020; Lv vd., 2024; Qiao vd., 2016; Yu vd., 2023).

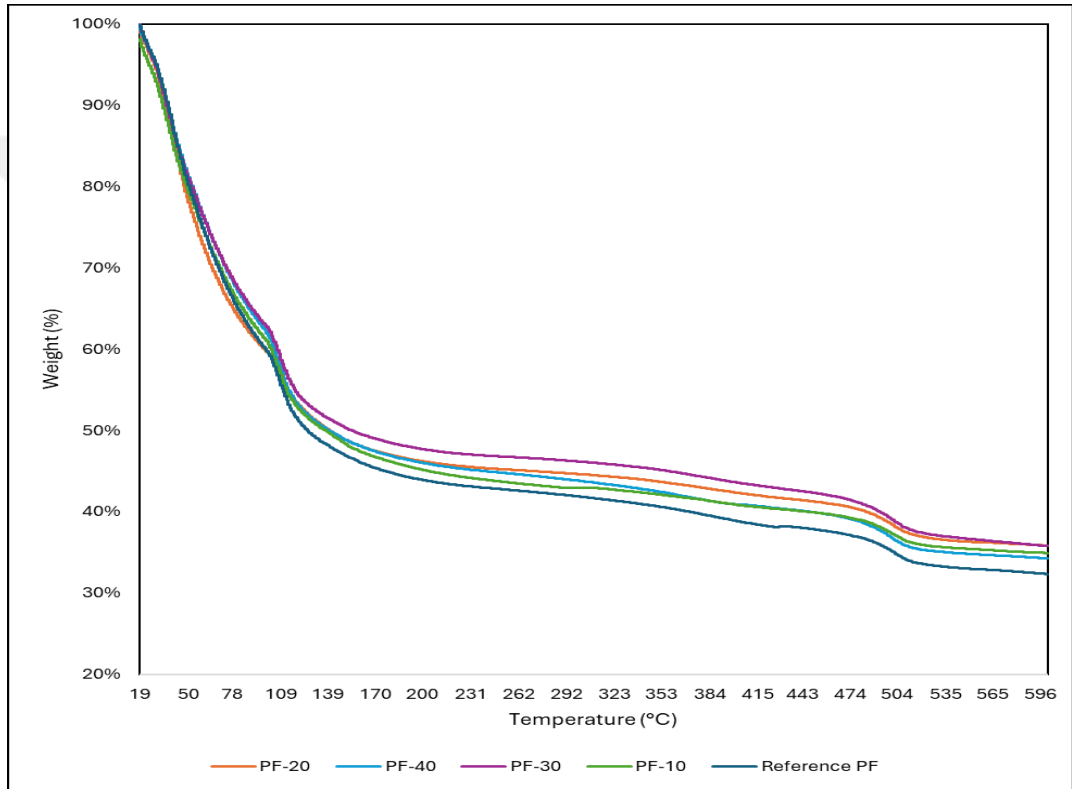
Çizelge 4.1. FF reçinelerinin bazı fiziksel özellikleri.

Reçine tipi	pH (20 °C)	Viskozite (cPs) (25 °C)	Katı madde (%)	Serbest formaldehit (%)
Referans FF	11,76	324	48,96	0,14
FF-10	11,24	351	50,44	0,21
FF-20	11,06	384	51,25	0,30
FF-30	10,94	411	52,14	0,38
FF-40	10,87	445	53,36	0,46

4.2 Termal Analiz

Referans FF reçinesinin ve SS ile modifiye edilmiş FF reçinelerinin TGA grafikleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, farklı miktarlarda SS ile modifiye edilmiş FF reçinelerinin termal bozunması, Referans FF reçinesi 20-700 °C sıcaklık aralığında incelenmiştir. Kütle kaybı iki ana aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada, kütle kaybı 100 ila 300 °C'lık geniş bir sıcaklık aralığında meydana gelir. İlk aşamada, ağırlık kaybı suyun uzaklaştırılmasına, dehidratasyona ve uçucu bileşiklerin ortadan kaldırılmasına bağlanabilir. İkinci kütle kaybı aşaması 300 ila 600 °C sıcaklık

aralığında meydana gelir. II. aşamada, büyük bir ağırlık kaybı ortaya çıkmıştır. Bu, kürlenme çözeltisinde oluşan eter bağlarının kırılmasından kaynaklanan formaldehite veya aromatik halkalardan metil gruplarının dehidrojenasyonuna bağlanabilir (Ozaki vd., 2000; Yuan vd., 2012; Xu vd., 2008). Geçtiğimiz on yıllarda, FF reçinesinin termal bozunmasıyla ilgili çok sayıda literatür bildirilmiştir. TGA analizinden elde edilen FF reçinelerinin termal karakterizasyonu bu bildirilen çalışmalarla örtüşmektedir (Alonso vd., 2011; O'Connor vd., 1987; Park vd., 2012; Tejado vd., 2007; Wong vd., 2015).



Şekil 4.1. Referans FF reçinesinin ve SS içeren FF reçinelerinin termal bozunma davranışı.

4.3 Reçinenin Bağlanma Performansı

Referans FF ve SS içeren FF reçineleriyle bağlanmış numunelerin. Yapışma dayanımı test örneği test sonuçları Çizelge 4.2'de sunulmaktadır. Kuru koşullar altında (ön işlem 1), SS içeriği %10 ağırlıkça artırıldıkça, numunelerin dayanımı 11,8'den 11,2 N/mm²'ye hafifçe düşmüştür. TS EN 12765 standardına göre, ön işlem 1 için minimum çekme dayanımı 10 N/mm² olmalıdır. %30 ağırlıkça modifiye FF reçineleriyle bağlanmış ahşap numuneler. SS standardın gerekliliklerini karşılamıştır.

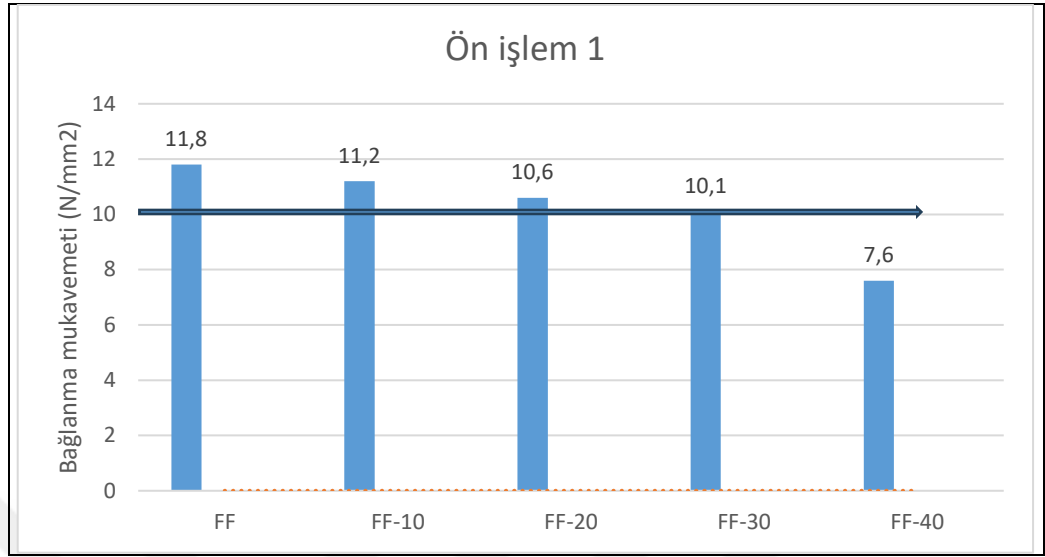
Çizelge 4.2, ön işlem 2 için test numunelerinin yapışma dayanımı değerlerini göstermektedir. Tüm test numunelerinin kesme dayanımı değerleri 8,3 ila 4,2 N/mm² arasında değişmektedir. Ön işlem 3'ün değerlendirilmesinde, FF reçinesindeki SS miktarı %20 ağırlıkça arttırıldığında, numunelerin mukavemeti 5,4'ten 3,8 N/mm²'ye düştü. Ayrıca, FF-20, FF-30 ve FF-40 ile bağlanmış numuneler, C3 sınıfı (TS EN 12765) için minimum gereklilikleri aşamamıştır.

Yapışma mukavemeti testlerinin sonuçları, FF reçinesinin bağlama performansındaki düşüşün hem kuru hem de ıslak koşullarda belirli bir SS konsantrasyonunun (%20 ağırlıkça) üzerine çıktığını göstermiştir. Bu sonucu iki faktör açıklayabilir: SS süspansiyonundan türetilen organik madde miktarları ve SS içeren FF reçinesinin viskozitesindeki artış.

Çizelge 4.2. FF reçinelerinin yapışma mukavemeti değerleri (N/mm²).

FF reçinesinin türü	Ön işlem 1			Ön işlem 2			Ön işlem 3		
	Ortalama ¹	SD ²	MDD ³	Ortalama ¹	SD ²	MDD ³	Ortalama ¹	SD ²	MDD ³
FF	11,8	0,52	≥10	8,3	1,45	≥7	5,4	1,56	≥4
FF-10	11,2	1,22	≥10	7,9	1,34	≥7	4,6	1,95	≥4
FF-20	10,6	1,27	≥10	6,2	1,63	≥7	3,8	2,27	≥4
FF-30	10,1	1,85	≥10	5,1	1,74	≥7	3,1	2,84	≥4
FF-40	7,6	1,96	≥10	4,2	2,17	≥7	2,6	2,12	≥4
Not 1: 1, Her değer 20 numuneden alınan ortalamayı temsil eder; 2, Standart sapma; 3, Minimum dayanıklılık değeri (N/mm ²) için gereklilikler									
Not 2: Ön işlem 1 (Kuru koşul, Ön işlem 2 (24 saat suya daldırma), Ön işlem 3 (3 saat kaynatma ve ardından 24 saat suya daldırma)									

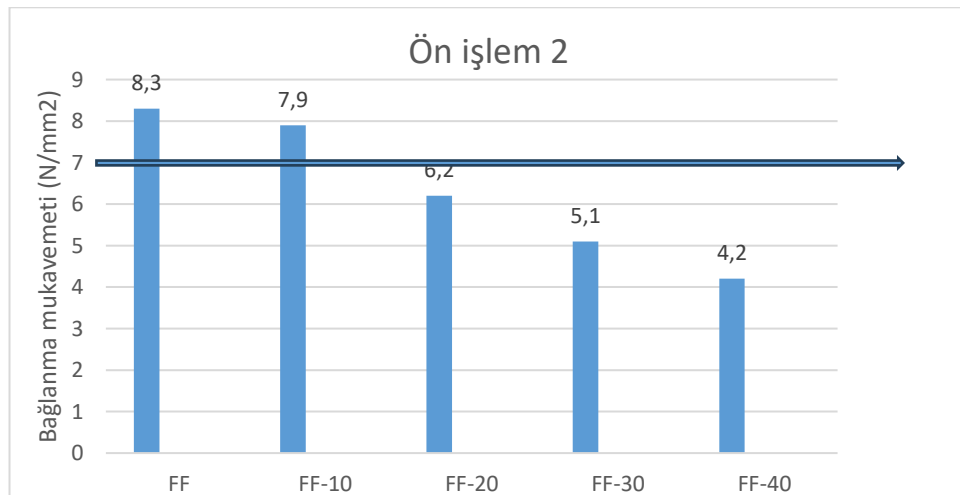
Şekil 4.2’de ön işlem 1’nin bağlanma mukavemet değerleri sunulmuştur.



Şekil 4.2. FF reçinelerinin ön işlem 1 bağlanma mukavemeti değerleri (N/mm²).

TS EN 12765 standardına göre, ön işlem 1 için minimum yapışma dayanımı 10 N/mm² olmalıdır. %30 ağırlıkça modifiye FF reçineleriyle bağlanmış ahşap numuneler. SS standardın gerekliliklerini karşılamıştır ancak %40 modifiye FF reçinesi SS standardını karşılayamamıştır.

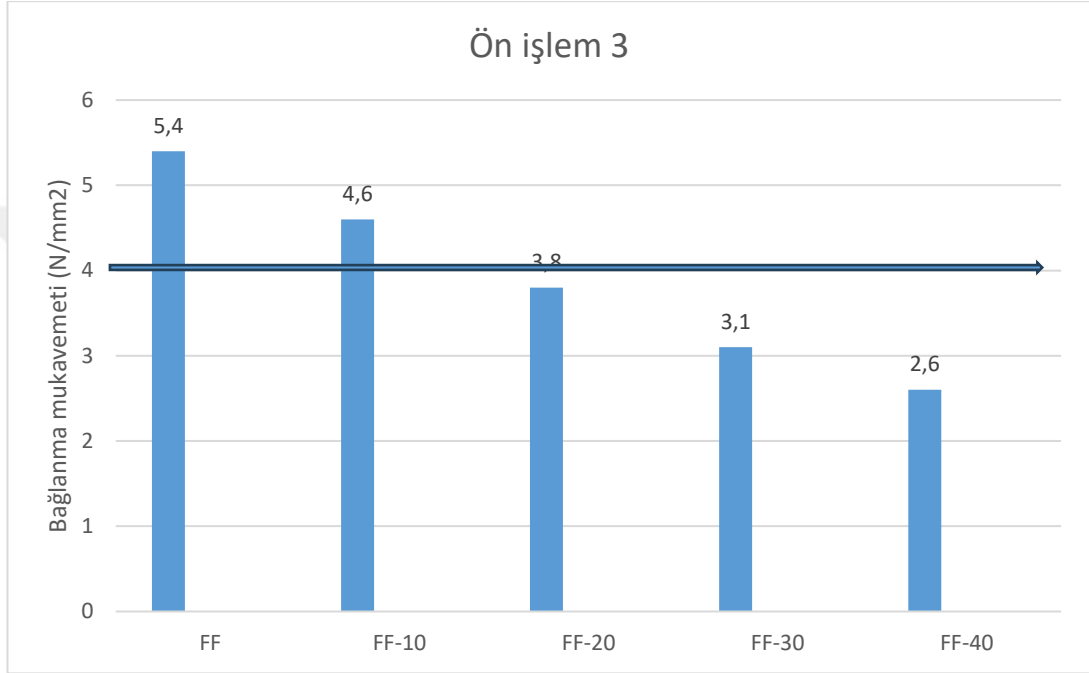
Şekil 4.3’te ön işlem 2’nin bağlanma mukavemet değerleri sunulmuştur.



Şekil 4.3. FF reçinelerinin ön işlem 2 bağlanma mukavemeti değerleri (N/mm²).

TS EN 12765 standardına göre, ön işlem 2 için minimum çekme dayanımı 7 N/mm² olmalıdır. Ön işlem 2 için test numunelerinin kesme dayanımı değerlerini göstermektedir. Tüm test numunelerinin yapışma dayanımı değerleri 8,3 ila 4,2 N/mm² arasında değişmektedir. FF-20, FF-30 ve FF-40 ile bağlanmış numuneler SS standardını karşılayamamıştır.

Şekil 4.4'te ön işlem 3'nin bağlanma mukavemet değerleri sunulmuştur.



Şekil 4.4. FF reçinelerinin ön işlem 3 bağlanma mukavemeti değerleri (N/mm²).

TS EN 12765 standardına göre, ön işlem 3 için minimum yapışma dayanımı 4 N/mm² olmalıdır. Ön işlem 3'ün değerlendirilmesinde, FF reçinesindeki SS miktarı %20 ağırlıkça artırıldığında, numunelerin mukavemeti 5,4'ten 3,8 N/mm²'ye düşmüştür. Ayrıca, FF-20, FF-30 ve FF-40 ile bağlanmış numuneler, C3 sınıfı (TS EN 12765) için minimum gereklilikleri aşamamıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, organik içerik açısından zengin olan sızıntı suyunun (LL), fenol-formaldehit (FF) reçinesi sentezinde saf suyun kısmi yerine kullanılmasını amaçlamıştır. LL ikame seviyesinin PF reçinesinin termal özellikleri üzerindeki etkisi termogravimetrik analiz kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, her bir PF reçinesinin yapışma performansı çekme dayanıklılığı testleri ile değerlendirilmiştir. Aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

Reçinelerin bazı fiziksel özellikleri, LL'nin varlığından etkilenmiştir; bunlar arasında viskozite, pH değeri, katı madde içeriği ve serbest formaldehit içeriği bulunmaktadır. LL'nin eklenmesiyle birlikte FF reçinelerinin pH değerlerinde hafif bir düşüş eğilimi gözlemlenirken; viskozite, katı madde içeriği ve serbest formaldehit içeriği artan bir eğilim göstermiştir.

Referans reçinenin termal stabilitesi, çeşitli miktarlarda LL içeren reçinelerden daha yüksektir. Yaklaşık 300 °C'yi aşan sıcaklıklarda, LL içerisindeki bazı organik bileşenler FF reçinesinin termal stabilitesini olumsuz yönde etkilemiştir.

FF reçinelerinde artan LL içeriği genel olarak kuru koşullardaki ahşap örneklerinin çekme dayanıklılığını düşürmüştür. Islak koşullar için ise, LL içeren FF mühürleme ile yapıştırılmış örneklerin çekme dayanıklılığı ön işlem 2 ve 3 testlerinden sonra referans FF reçinesi ile yapıştırılanlara kıyasla daha düşük yapışma performansı göstermiştir. Reçine özelliklerini ve yapışma performansını olumsuz etkilerini en aza indirmek için üretimde suyun kısmen (yüzde 20'ye kadar) LL ile değiştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Shafy, H. I. ve Mansour, M. S. M., 2018. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization, *Egyptian Journal of Petroleum*, 27, 1275-1290.
- Abdel-Shafy, H. I. ve Mansour, M. S. M., 2022. Land infiltration for wastewater treatment as efficient, simple, and low techniques: An overview, *Egyptian Journal of Chemistry*, 65, 617-631.
- Abdel-Shafy, H. I., Ibrahim, AmrM., Al-Sulaiman, A. M. ve Okasha, R. A., 2024. Landfill leachate: Sources, nature, organic composition, and treatment, an environmental overview, *Ain Shams Engineering Journal*, 15, 1.
- Algan, T., ve Bilen, S., 2005. Toprak kirlenmesi ve biyolojik çevre, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36, 1, 83–88.
- Alonso, M. V., Oliet, M., Dominguez, J. C., Rojo, E. ve Rodriguez, F., 2011. Thermal degradation of lignin–phenol–formaldehyde and phenol–formaldehyde resol resins: structural changes, thermal stability, and kinetics, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 105, 1, 349-356.
- Anjum, M., Anees, M., Qadeer, S., Khalid, A., Kumar, R. ve Barakat, M. A., 2023. A recent progress in the leachate pretreatment methods coupled with anaerobic digestion for enhanced biogas production: Feasibility, trends, and techno-economic evaluation, *International Journal of Molecular Sciences*, 24, 763.
- Arslan, M., 2016. Fenol formaldehit tutkalının odunun pirolizinden elde edilen biyoyağ ile modifikasyonu ve modifiye edilen tutkallarının yapışma performanslarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- ASTM D3529M-97, 2008. Standard test method for matrix solids content and matrix content of composite prepreg.
- Baldwin, R. F., 1995. Plywood and veneer-based products, manufacturing, practices, Miller Freeman Books, San Francisco, California, USA.
- Banazılı, A. M., 2024. Katı atık kavramına küresel bir bakış ve katı atık yönetimi üzerine politika önerileri, *G. Ü. İslâhiye İİBF Uluslararası E-Dergi*, 8, 8, 16-27.
- Bayhan, K. Y. ve Özbek, S., 2015. Formation of leachates in the landfills, their characteristics and investigation of effects on the groundwaters, *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 1, 2, 53-59.
- Benaddi, R., Ferkan, Y., Bouriqi, A. ve Quazzani, N., 2022. Impact of landfill leachate on groundwater quality – A comparison between three different landfills in morocco, *Journal of Ecological Engineering*, 23, 89-94.

- Bozkurt, O., 2019. Kentsel bir sorun olarak “Çevre kirliliği”, kentsel ve kırsal alanlara etkileri Hatay örneği, Yüksek lisans tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Hatay.
- BS EN 205, 2016. Wood adhesives for non-structural applications, Determination of tensile shear strength of lap joints.
- Celikbag, Y., Nuruddin, M., Biswas, M., Asafu-Adjaye, O. ve Via, B. K., 2020. Bio-oil-based phenol-formaldehyde resin: Comparison of weight-and molar-based substitution of phenol with bio-oil, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34, 24, 2743-2754.
- Charii, H., Boussetta, A., Brnhamou, A. A., Mennani, M., Essifi, K., Ablouh, E. H., Zakhem, E. H., Grimi, N., Boutoial, K. ve Moubarik, A., 2024. Exploring the potential of chitin and chitosan extracted from shrimp shell waste in enhancing urea-formaldehyde wood adhesives, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 129.
- Choi, G. G., Oh, S. J., Lee, S. J. ve Kim, J. S., 2015. Production of bio-based phenolic resin and activated carbon from bio-oil and biochar derived from fast pyrolysis of palm kernel shells, *Bioresource Technology*, 178, 99-107.
- Çavuş, V., 2008. İ-214 (populus x euramerİcana) melez kavak klonundan fenol formaldehit ve üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilmiş paralel şerit kerestelerinin (pşk) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Çekiç, Ç., 2017. Biyoyağların fenol formaldehit sentezinde kullanımı ve elde edilen tutkalların yapışma direncinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- Çelebi, H. ve Gök, O., 2017. Osmaniye ili çevre sorunlarının değerlendirilmesi, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 1, 113-120.
- Damirova, S. ve Yayla, N., 2021. Çevre kirliliği ile makroekonomik belirleyicileri arasındaki ilişki: Seçilmiş ülkeler için bir panel veri analizi, *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İncelemeler Dergisi*, 30, 107–126.
- Dorieh, A., Ayrılmış, N., Farajollah Pour, M., Ghafari Movahed, S., Valizadeh Kiamahalleh, M., Shahavi, M. H., Hatefnia, H. ve Mehdinia, M. 2022. Phenol formaldehyde resin modified by cellulose and lignin nanomaterials: Review and recent progress, *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 1888-1907.
- Eckelman, C. A., 1999. Brief survey of wood adhesives, Purdue University Cooperative Extension Service, West Lafayette, Amerika Birleşik Devletleri.

- EN ISO 11402, 2005. Phenolic, amino and condensation resins- Determination of free-formaldehyde content.
- Fidan, M., 2005. Bazı yıllık lignoselilozik artıklardan fenol-formaldehit tipi tutkalların üretimi ve uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Gündüz, T., 1998. Çevre sorunları, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Gündüz, T., 2004. Çevre sorunları, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Hafız, N. L. M., Paridah, Md, T., Hua, L. S., Abidin, Z. Z., Sabaruddin, F. A., Yunus, N. M., Abdullah, U. H. ve Abdul Khalil, H. P. S., 2020. Curing and thermal properties of co-polymerized tannin phenol-formaldehyde resin for bonding wood veneers, Journal of Materials Research and Technology, 9, 4, 6994-7001.
- Hoong, Y. B., Pizzi, A., Chuah, L. A. ve Harun, J., 2015. Phenol-urea-formaldehyde resin co-polymer synthesis and its influence on elaeis palm trunk plywood mechanical performance evaluated by ¹³C NMR and MALDI-TOF mass spectrometry, International Journal of Adhesion and Adhesives, 63, 117-123.
- Hus, S., 1977. Ağaç malzeme tutkalları, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Kutulmuş Matbaası, İstanbul, 7-39.
- Jin, Y., Cheng, X. ve Zheng, Z., 2010. Preparation and characterization of phenol-formaldehyde adhesives modified with enzymatic hydrolysis lignin, Bioresource Technology, 101, 6, 2046-2048.
- İbadullayeva, J., Jumaniyazova, K., Azimzadeh, S. ve Canıgür, S., 2019. Çevre kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri, Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi, 1, 3, 52-58.
- Kalaycıoğlu, H., 1991. Sahil çamı odunlarının yongalevha üretiminde kullanılması imkanları, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kamaruddin, M. A., Yusoff, M. S., Aziz, H. A. ve Hung, Y. T., 2015. Sustainable treatment of landfill leachate, Applied Water Science, 5, 113-126.
- Kapp, R. W., 2024. Isocyanates, Encyclopedia of Toxicology, 5, 663-694.
- Karagozolu, M. B. ve Asar, M., 2023. Physico-chemical characteristics of leachate from landfills and its impact on surface water quality: Case study in Osmaniye/Turkey, Sustainable Water Resources Management, 9, 125.
- Kayacık, G., 2024. Cam lifli takviyeli fenol formaldehit tutkalı ile üretilmiş kayın kontrplakların vidalama ve tork performanslarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu.

- Keyif, Ş., 2023. Sızıntı suyunun elektrokoagülasyonla arıtımında karbon nano tüp kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Samsun.
- Kokten, E. S., Özbay, G. ve Ayrılmış, N., 2020. Synthesis of biobased phenolic resins using catalytic pyrolysis oil and its effect on oriented strand board performance, *The Journal of Adhesion*, 96, 5, 475-489.
- Kouisni, L., Fang, Y., Paleologou, M., Ahvazi, B., Hawari, J., Zhang, Y. ve Wang, X. Lee, W. J., Chang, K. C. ve Tseng, I. M., 2011. Properties of phenol-formaldehyde resins prepared from phenol-liquefied lignin, *Journal of Applied Polymer Science*, 124, 6, 4782-4788.
- Lee, W. J., Chang, K. C. ve Tseng, I. M., 2012. Properties of phenol-formaldehyde resins prepared from phenol-liquefied lignin, *Journal of Applied Polymer Science*, 124, 6, 4782-4788.
- Li, P., Wu, Y., Zhou, Y. ve Zuo, Y., 2019. Preparation and characterization of resorcinol-dialdehyde starch-formaldehyde copolycondensation resin adhesive, *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 12-17.
- Li, Q., Liu, X., Su, H., Mao, A. ve Wan, H., 2020. Improving performance of phenol-formaldehyde resins modified/blended with phenol-rich pyrolysis bio-oil, *Forest Products Journal*, 70, 4, 387-395.
- Lindamulla, L., Nanayakkara, N., Othman, M., Jinadasa, S., Herath, G. ve Jegatheesan, V., 2022. Municipal solid waste landfill leachate characteristics and their treatment options in tropical countries, *Current Pollution Reports*, 8, 273-287.
- Lv, S., Huang, Y., Gao, Z., Hou, X., Yang, J. ve Sun, J., 2024. Waste sawdust as a raw material: Synthesis, modification and characterization of novel bio-based phenol-formaldehyde wood adhesives, *Industrial Crops and Products*, 219, 119067.
- Marliana, M. M., Hassan, A., Yuziah, M. N., Khalil, H. A., Inuwa, I. M., Syakir, M. I. ve Haafiz, M. M. 2016. Flame retardancy, Thermal and mechanical properties of Kenaf fiber reinforced Unsaturated polyester/Phenolic composite, *Fibers and Polymers*, 17, 902-909.
- Meriç, H., 2009. Üç farklı melez kavak klonundan fenol formaldehit tutkalı kullanılarak üretilmiş tabaklanmış kaplama kerestelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Mojiri, A., Zhou, J. L., Ratnaweera, H., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T. ve Asakura, H., 2021. Treatment of landfill leachate with different techniques: An overview, *Water Reuse*, 11, 66-96.

- Ning, C., Cao, W., Duan, X., Xie, T., Zhang, Z., Ou, F., Pan, W., Qin, Z., Wei, Z., Sun, Q., Li, Z., Gao, W., Qing, Y. ve Zhao S., 2025. Isocyanate micro/nano fillers as functional cross-linkers in wood adhesives with cold-pressing bonding strength, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 709, 136030.
- O'Connor, D. ve Blum, F. D., 1987. Thermal stability of substituted phenol-formaldehyde resins, *Journal of Applied Polymer Science*, 33, 6, 1933-1941.
- Ozaki, J., Ohizumi, W. ve Oya, A., 2000. A TG-MS study of ploy (vinyl butyral)/phenol-formaldehyde resin blend fiber, *Carbon*, 38, 1515–1519.
- Özbay, G., Cekic, C., Ahmad, M. S. ve Kokten, E. S., 2020. Synthesis of bio-oilphenol-formaldehyde resins under alkali conditions: Physical, chemical and thermal properties of resins and bonding performance, *Drvna Industrija*, 71, 1, 19-27.
- Özbek, Z., 2010. Topraktaki ağır metaller için sınır değerlerinin uygulanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özen, R., 1980. Yongalevha endüstrisi ders notları, K.T.Ü. Orman Fakültesi Ders Notları, Trabzon, 54-57.
- Özen, R., 1981. Kimyasal kâğıt hamuru atık sularının yongalevha üretiminde yapıştırıcı madde olarak değerlendirilmesi olanakları, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 72-73.
- Özlüsoylu, İ., 2016. Üre formaldehit tutkalının sodyum karboksimetilselüloz ile modifikasyonun yonga levhaların bazı özellikleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği, Ana Bilim Dalı, Bartın.
- Özoğlu, M., 2023. Makroekonomik değişkenlerin çevre kirliliği ile ilişkisi: Brics-t ülkeleri üzerine bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Pang, B., Yang, S., Fang, W., Yuan, T. Q., Argyropoulos, D. S. ve Sun, R. C., 2017. Structure-property relationships for technical lignins for the production of lignin-phenol-formaldehyde resins, *Industrial Crops and Products*, 108, 316-326.
- Park, B. D. ve Kadla, J. F., 2012. Thermal degradation kinetics of resole phenol-formaldehyde resin/multi-walled carbon nanotube/cellulose nanocomposite, *Thermochimica acta*, 540, 107-115.
- Park, Y., Doherty, W. O. S. ve Halley, P. J., 2008. Developing lignin-based resin coatings and composites, *Industrial crops and products*, 27, 2, 163-167.

- Peng, Z., Jiang, X., Si, C., Joao Cárdenas-Oscanoa, A. ve Huang, C., 2023. Advances of modified lignin as substitute to develop lignin-based phenol-formaldehyde resin adhesives, *ChemSusChem*, e202300174.
- Pizzi, A., 1994. *Advanced wood adhesives technology*, CRC Press, Boca Raton
- Qiao, W., Li, S. ve Xu, F., 2016. Preparation and characterization of a Phenol-formaldehyde resin adhesive obtained from bio-ethanol production residue, *Polymers and Polymer Composites*, 24, 2, 99-105.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F. ve Moulin, P., 2008. Landfill leachate treatment, *Journal of Hazardous Material*, 150, 3, 468-493.
- Salem, Z., Hamouri, K., Djemaa, R. ve Allia, K., 2008. Evaluation of landfill leachate pollution and treatment, *Desalination*, 220, 1-3, 108-114.
- Sandomierski, M., Buchwald, T., Strzemieska, B. ve Voelkel, A., 2020. Carbon black modified with 4-hydroxymethylbenzenediazonium salt as filler for phenolformaldehyde resins and abrasive tools, *Journal of Applied Polymer Science*, 137, 48160.
- Silva, A. L. P., Prata, J.C., Duarte, A. C., Barcelo, D. ve Rocha-Santos, T., 2021. An urgent call to think globally and act locally on landfill disposable plastics under and after covid-19 pandemic: Pollution prevention and technological (Bio) remediation solutions, *Chemical Engineering Journal*, 426, 131201.
- Şahinöz, M., Aruntaş, Y. H. ve Gürü, M., 2022. Processing of polymer wood composite material from pine cone and the binder of phenol formaldehyde/PVAc/molasses and improvement of its properties, *Case Studies in Construction Materials*, 16.
- Takeichi, T., Kawauchi, T. ve Agag, T., 2008. High performance polybenzoxazines as a novel type of phenolic resin, *Polymer Journal*, 40, 12, 1121-1131.
- Tejado, A., Pena, C., Labidi, J., Echeverria, J. M. ve Mondragon, I., 2007. Physico-chemical characterization of lignins from different sources for use in phenol-formaldehyde resin synthesis, *Bioresource Technology*, 98, 8, 1655-1663.
- TS EN 12765, 2017. Yapısal olmayan uygulamalarda kullanılan termoset ahşap yapıştırıcılar.
- Uysal, B. ve Kurt, Ş., 2005. Dimensional stability of laminated veneer lumbers manufactured by using different adhesives after the steam test, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 18 ,4, 681-691.
- Vanapalli, K. R., Sharma, H. B., Tanjan, V. P., Samal, B., Bhattacharya, J., Dubey, B. K. ve Goel, S., 2021. Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic, *Science of the Total Environment*, 750, 141514.

- Venkatesagowda, B. ve Dekker, R. F., 2020. Enzymatic demethylation of kraft lignin for lignin-based phenol-formaldehyde resin applications, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10, 2, 203-225.
- Wei, Q. ve Wang, W. H., 2018. Properties of phenol formaldehyde resin modified with silane coupling agent (KH550), *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 84, 166-172.
- Wijekoon, P., Koliyabandara, P. A., Cooray, A. T., Lam, S. S., Athapattu, B. C. L. ve Vithanage, M., 2022. Progress and prospects in mitigation of landfill leachate pollution: Risk, pollution potential, treatment and challenges, *Journal of Hazardous Materials*, 421, 126627.
- Wolff, R., Ehrmann, K., Knaack, P., Seidler, K., Gorsche, C., Koch, T. ve Liska, R., 2022. Photo-chemically induced polycondensation of a pure phenolic resin for additive manufacturing, *Polymer Chemistry*, 13, 6, 768-777.
- Wong, H. W., Peck, J., Bonomi, R. E., Assif, J., Panerai, F., Reinisch, G. ve Mansour, N. N., 2015. Quantitative determination of species production from phenol-formaldehyde resin pyrolysis, *Polymer Degradation and Stability*, 112, 122-131.
- Xu, Y., Guo, L., Zhang, H., Zhai, H. ve Ren, H., 2019. Research status, industrial application demand and prospects of phenolic resin. *RSC advances*, 9, 50, 28924-28935.
- Yu, Y., Xu, P., Chen, C., Chang, J. ve Li, L., 2018. Formaldehyde emission behavior of plywood with phenol-formaldehyde resin modified by bio-oil under radiant floor heating condition, *Building and Environment*, 144, 565-572.
- Yu, Y., Qiu, X., Li, C., Bao, D. ve Chang, J., 2023. Performance and characterization of phenol-formaldehyde resin with crude bio-oil by model compound method, *Plos One*, 18, 1, e0271478.
- Yuan, Z., Hu, Z., Wu, R. ve Liu, Q., 2012. The pyrolysis mechanism of phenol formaldehyde resin, *Polymer Degradation and Stability*, 97, 1527–1533.
- URL-1 < <https://www.envieq.com/what-is-a-leachate>>, Erişim tarihi: 29.09.2023.
- URL-2 < <https://www.freepik.com>>, Erişim tarihi: 29.09.2023.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Mahmut GÖKTAŞ

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans :Aksaray Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
2017- 2021

Yüksek Lisans :Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı,
2022-2025

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. CTN Makina / Üretim Yaz Stajı
2. Meka Havacılık / Yönetim Yaz stajı
3. Dağdaş Kalıp Makina / Endüstri Mühendisi-Operasyon Mühendisi