



BORAKS VE BORİK ASİT İLE EMPRENYE EDİLMİŞ VE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ
KARAÇAM ODUNUNUN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Bilal DOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Ekim - 2018

BORAKS VE BORİK ASİT İLE EMPRENYE EDİLMİŞ VE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ
KARAÇAM ODUNUNUN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Bilal DOĞAN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN

Ekim-2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Bilal DOĞAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “BORAKS VE BORİK ASİT İLE EMPRENYE EDİLMİŞ VE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ KARAÇAM ODUNUNUN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

12/10/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

.....

Prof. Dr. Muammer GAVAS

Anabilim Dalı Başkanı, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

.....

Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN (Danışman)

Danışman, İç Mimari ve Çevre Tasarımı Bölümü

.....

Sınav Komitesi Üyeleri

Doç. Dr. Sait Dündar SOFUOĞLU

Ağaç İşleri Endüstri Tasarımı Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN

İç Mimari ve Çevre Tasarımı Bölümü, Necmettin Erbakan Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Necmi KAHRAMAN

Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojisi Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 22 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumu taahhüt ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN

Bilal DOĞAN

BORAKS VE BORİK ASİT İLE EMPRENYE EDİLMİŞ VE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ KARAÇAM ODUNUNUN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Bilal DOĞAN

İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı:Dr. Öğretim Üyesi Osman PERÇİN

ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde doğal olarak yetişen Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağacı, birçok sektörde yaygın olarak kullanılan boraks ve borik asit kimyasalları ile çeşitli oranlarında çözündürülerek daldırma yöntemiyle emprenye edilmiş ve ısıtılma tabi tutulmuştur. Bu amaçla standartlara uygun olarak hazırlanan deney örnekleri % 1, % 3 ve % 5 oranlarında çözündürülmüş bor türevlerinde 48 saat süreyle ASTM D 1413-76 standardına göre daldırma yöntemiyle emprenye edilmiş daha sonra ısıtılma fırınında normal atmosfer ortamında 150, 170, 190 ve 210 °C'de 3 saat süre ile ısıtılma uygulanmıştır. Elde edilen deney örnekleri üzerinde hava kurusu yoğunluk, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve hacimsel şişme değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Sonuç olarak, ısıtılma sıcaklığı arttıkça hava kurusu yoğunluk, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve hacimsel şişme değerlerinde düşüşlerin olduğu belirlenmiştir. Boraks ve borik asit çözeltileriyle emprenye edilen örneklerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde önemli değişiklikler olurken, en fazla fiziksel ve mekaniksel değişimler 210 °C'de ısıtılma uygulanan örneklerde, en az ise 150 °C'de ısıtılma uygulanan örneklerde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Borlu bileşikler, Emprenye, Fiziksel ve mekanik direnç özellikleri, Isıtılma işlem.

THE SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF IMPREGNATED WITH BORAX AND BORIC ACID AND HEAT-TREATED BLACK PINE WOOD

Bilal DOĞAN

Advanced Technologies, M.S. Thesis, 2018

Thesis supervisor: Dr. Öğretim Üyesi Osman PERÇİN

SUMMARY

In this study, the black pine (*Pinus nigra* Arnold) that naturally grows in our country is impregnated and heat treated through dipping method by dissolving with borax and boric acid chemicals in various ratios widely used in many sectors and widely produced in our country. For this purpose, the test specimens prepared in accordance with the standards were impregnated in the dissolved % 1, % 3 and % 5 boron derivatives by dipping for 48 hours according to ASTM D 1413-76 standards and then heat treated at 150, 170, 190 and 210 °C for 3 hours under the normal atmosphere in the heat treatment furnace. On the obtained test specimens, variations in air-dried density, bending strength, modulus of elasticity in bending, compressive strength parallel to grain and volumetric swelling values were investigated.

According to the the results, as the heat treatment temperature increased, the decreases in the values of air dried density, bending strengthand modulus of elasticity in bending, compressive strength parallel to grain and volumetric swell were observed. The physical and mechanical properties of the samples impregnated with borax and boric acid solutions varied considerably, with the most physical and mechanical changes being observed in the samples heat treated at 210 °C and the lowest variations were observed in the samples heat treated at 150 °C.

Keywords: Boron compounds, Heat treatment, İmpregnation, Physical and mechanical resistance properties

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımcı olan başta danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN'e, desteğini hep yanımda hissettiğim eşime, deneylerin yapımında tezgah ve teçhizat imkanı sağlayan Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim elemanları ve çalışanlarına, ayrıca yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Sait Dündar SOFUOĞLU hocama ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Emprenye Hakkında Genel Bilgi.....	2
1.3. Genel Olarak Kullanılan Emprenye Maddeleri	3
1.3.1. Yağlı emprenye maddeleri.....	4
1.3.2. Organik çözücülü emprenye maddeleri	4
1.3.3. Suda çözünen emprenye maddeleri	5
1.4. Emprenye Metotları	5
1.4.1. Basınç uygulayan metotlar.....	5
1.4.2. Basınç uygulamayan metotlar.....	7
1.4.3. Besi suyunu çıkarma metodu.....	7
1.4.4. Difüzyon yolu ile emprenye metodu.....	8
1.4.5. Yerinde bakım metodu.....	8
1.4.6. Kısa süreli daldırma metodu	8
1.5. Odunun Emprenyesi ile Anatomik Yapısı Arasındaki İlişki	9
1.5.1. İğne yapraklı ağaçların anatomik yapısı	9
1.5.2. Yapraklı ağaçların anatomik yapısı	10
1.6. Odunun Permeabilitesi.....	10
1.7. Isıl İşlem Metodları.....	11
1.7.1. Plato metodu	11
1.7.2. Sıcak yağ (OHT) metodu.....	12
1.7.3. Retification ve Le Bois Perdure metodu.....	12
1.7.4. ThermoWood metodu	13
1.8. Isıl İşlemin Ahşap Malzemenin Özellikleri Üzerine Etkisi	14
1.8.1. Fiziksel özellikler üzerine etkisi	14
1.8.2. Mekanik özellikler üzerine etkileri	16
1.8.3. Kimyasal özellikleri üzerine etkisi.....	18

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	22
3. MATERYAL VE METOT	26
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Karaçam hakkında genel bilgiler	26
3.1.2. Borlu bileşikler	28
3.2. Metot.....	30
3.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması	30
3.2.2. Emprenye işlemi	31
3.2.3. Örneklerde retensiyon miktarının belirlenmesi	33
3.2.4. Isıl işlem uygulaması	34
3.2.5. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi.....	34
3.2.6. Mekanik özelliklerin belirlenmesi	36
4. BULGULAR.....	39
4.1. Emprenye Çözeltilerinin Özellikleri.....	39
4.2. Retensiyon Miktarı	39
4.3. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular	40
4.3.1. Hava kurusu yoğunluk	40
4.3.2. Eğilme direnci.....	42
4.3.3. Elastikiyet modülü	47
4.3.4. Liflere paralel basınç direnci	53
4.3.5. Hacimsel şişme	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR DİZİNİ	66
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Isıl işlemlili odunun reaksiyon mekanizması.	21
3.1. Hazırlanan deney örnekleri.	31
3.2. Örneklerin emprenye edilmesi.	32
3.3. Emprenye sonrası örneklerin görüntüsü.....	32
3.4. Kullanılan çözeltilerin pH değerlerinin belirlenmesi.	33
3.5. Çözeltilerin yoğunluklarının belirlenmesi.....	33
3.6. Hava kuru yoğunluğun belirlenmesinde kullanılacak deney numunesi.	35
3.7. Hacimsel şişme deney örneği.....	35
3.8. Eğilme direnci testinin belirlenmesinde kullanılan deney numunesi.	36
3.9. Örneklerin eğilme direncinin belirlenmesi.....	37
3.10. Liflere paralel basınç direncinin belirlenmesindeki deney numunesi.	38
4.1. Emprenye ve ısıl işlemin hava kurusu yoğunluk üzerine etkisi.	41
4.2. Emprenye ve ısıl işlemin eğilme direnci üzerine etkisi.....	45
4.3. Emprenye ve ısıl işlemin eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi.	51
4.4. Emprenye ve ısıl işlemin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisi.	56
4.5. Emprenye ısıl işlemin hacimsel şişme değerlerine etkisi.	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Karaçam'ın bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri	28
3.2. Borik asitin kimyasal ve fiziksel özellikleri	29
3.3. Boraksın kimyasal özellikleri.....	30
4.1. Çalışmada kullanılan emprenye çözeltilerinin özellikleri.	39
4.2. Retensiyon miktarı.	39
4.3. Deney örneklerine ait hava kurusu yoğunluk değerleri	40
4.4. Eğilme direncine ilişkin istatistiksel veriler	42
4.5. Eğilme direncine ilişkin çoklu varyans analizi.	43
4.6. Emprenye maddesine göre eğilme direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	44
4.7. Çözelti konsantrasyonun eğilme direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	44
4.8. Isıl işlem sıcaklığının eğilme direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.	45
4.9. Elastikiyet modülüne ilişkin istatistiksel veriler.	48
4.10. Elastikiyet modülüne ilişkin çoklu varyans analizi.....	49
4.11. Emprenye maddesinin elastikiyet modülüne ilişkin Duncan testi sonuçları.....	49
4.12. Çözelti konsantrasyonun elastikiyet modülüne ilişkin Duncan testi sonuçları.	50
4.13. Isıl işlem sıcaklığının elastikiyet modülüne ilişkin Duncan testi sonuçları.	50
4.14. Liflere paralel basınç direncine ilişkin istatistiksel veriler.....	53
4.15. Liflere paralel basınç direncine ilişkin çoklu varyans analizi.	54
4.16. Emprenye maddesinin liflere paralel basınç direncine ilişkin Duncan testi sonuçları	54
4.17. Çözelti konsantrasyonun liflere paralel basınç direncine ilişkin Duncan testi sonuçları. ..	55
4.18. Isıl işlem sıcaklığının basınç direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	55
4.19. Hacimsel şişme değerlerine ilişkin istatistiksel veriler.	58
4.20. Hacimsel şişme değerlerine ilişkin çoklu varyans analizi.....	59
4.21. Emprenye maddesinin hacimsel şişme değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları.	59
4.22. Çözelti konsantrasyonun hacimsel şişme değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları.	60
4.23. Isıl işlem sıcaklığının hacimsel şişme değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları.	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
O ₂	Oksijen
CO	Karbon monoksit
°C	Santigrat derece
σ_e	Eğilme direnci
H ₂	Hidrojen
M ₀	Tam kuru ağırlık
Mr	Rutubetli ağırlık
Ms	Su miktarı
DRM	Denge rutubet miktarı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
E.M	Emprenye maddesi
E.Ö	Emprenye öncesi
E.S	Emprenye sonrası
Br	Boraks
Ba	Borikasit
mt	Teğet yön
mr	Radyal yön
HG	Homojenlik grubu

1. GİRİŞ

Ağaç işleri endüstrisinde hızlı gelişmelere paralel dünyadaki ve ülkemizdeki orman varlığı azalmış ve hızla azalmaya devam etmektedir. Ağaç malzeme kendisine ait özelliklerden dolayı insanoğlunun hayatında önemli bir yere sahiptir. Eski insanlar bu malzemeyi silah, yakacak ve barınak olarak kullanırken günümüzde ihtiyaçların ve teknolojinin gelişmesiyle kullanım alanı sürekli olarak değişmektedir. Ağaç malzeme diğer yapı gereçleri ile karşılaştırıldığında birçok önemli avantaja sahiptir. Özgül ağırlığının düşük olmasına karşın direnç özelliklerinin iyi olması, kolay işlenmesi ve ucuz olması, estetik ve kolay ulaşılabilir olması, sürdürülebilir ve yenilenebilir olması gibi birçok üstün özelliklere sahiptir (Özalp, 2003).

Tüm bu üstün özelliklerine kıyasla ağaç malzeme kimyasal ve karakteristik özelliklerinden dolayı istenmeyen özelliklere sahip bir malzemedir. Ağaç malzeme uygun ortamın oluşması durumunda kolaylıkla alev alıp yanabilen bir malzemedir. Bunun yanında biyotik ve abiyotik faktörler tarafından kolaylıkla yıkımlanabilmektedir. Eğer ağaç malzeme kullanım yerlerinde uygun koruyucu kimyasallarla muamele edilmezse mikro organizmalar tarafından bozunuma uğramaktadır. Bununla beraber havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak değişen denge rutubetine göre higroskopik ve anizotropik yapısından dolayı boyutları genişleyip darabilmektedir. Ayrıca güneşe maruz kaldığında rengi değişmekte ve bozunuma uğramaktadır (Kurtoglu, 2000).

Ahşap malzemenin kullanım alanı sürekli değişmekte ve bu kullanım alanlarında uzun ömürlü olması istenmektedir. Ağaç malzemenin bozunduruca faktörlerden korunarak kullanım yerindeki ömrünü uzatmak için çeşitli materyallerle kaplanmakta veya emprenye edilerek korunmaktadır. Ağaç malzemenin korunmasına yönelik çalışmalar çok uzun zamanlar öncesinden başlanmış ve önlemler alınmıştır. Eski yerleşim yerlerinde yapılan arkeolojik kazılar ve eski ahşap yapıların araştırılması sonucunda ağaç malzemenin yakılarak bir miktar kömürleştirilmesive böylece korunmaya çalışması yaklaşık 4000 yıl uygulandığı belirlenmiştir. Yapılan başka araştırmalarda Efes'teki "Diana Mabedi"nin temelinde kullanılan ağaç malzemelerde bu türden bir koruma tekniğinin varlığından söz edilebilir. Ayrıca eski zaman toplumlarında odunu dış etkilerden korumak için çeşitli bitkisel, hayvansal ve mineral yağlardan çokça yararlandığına ait bulgulara rastlanılmıştır. Yine eski medeniyetlerden Roma'da özellikle zeytinyağı ve bezir yağının bunun yanında Burma medeniyetinde ise gemi ve binalarda

petrol yağının ağaç malzemeyi modifiye ederek korumak maksatlı kullanıldığı çokça görülmektedir. Eski medeniyetlerde örneğin Mısırlıların ağaç malzemenin kurutularak kullanım ömrünün uzatıldığı ve çeşitli organizmalar tarafından tahrip edilmesinin önüne geçildiği belirlenmiştir. Eski Yunan medeniyetinde yapılan binaların ahşap elemanlarının belirli yerlerine delikçikler açılarak bu yerlere yağ döktükleri, kullanılan bu yağın ağaç malzemenin her yerine nüfuz etmesini sağladıktan sonra, taş materyal üzerine yerleştirip ve kuru olarak muhafaza ederek koruma sağladıkları belirtilmektedir (Huş, 1977; Bozkurt vd.,1993; Berkel, 1972).

Emprenye edilmiş veya çeşitli yöntemlerle korunmuş ağaç malzeme, dış etkilere karşı korunmasının yanında, kazandığı ekonomik ve estetik değerler açısından da yapı malzemesi olarak tercih edilmeye devam etmektedir. Genel olarak telekomünikasyon direkleri, demiryolu malzemeleri, su soğutma kuleleri, deniz ortamında kullanılan ahşap direkler, binalarda kullanılan doğrama ve dış cephe malzemeleri, çatı gereçleri, çit direkleri, sera malzemesi, izalasyon veya koruma amaçlı ses bariyerleri, ambalaj kapları, binalara ait yapıların üretiminde kullanılan ağaç malzemeler, garaj, şehir ve bahçe düzenlemeleri gibi bir çok kullanım yerinde suda çözünen emprenye maddelerinin yaygın olarak kullanımı son zamanlarda büyük artış göstermiştir. Su bazlı emprenye kimyasalları ile modifiye edilen ağaç malzemede koku genellikle sorun teşkil etmezken, bu işlemlerden sonra ağaç malzemeye boya ve vernik gibi işlemler yapılabilmekte ve böylelikle kullanım yerlerinde daha güvenli malzemeler oluşturulabilmektedir (Kartal, 1999).

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı ülkemizde fazla miktarda doğal halde bulunan bor mineralinin türevleri olan boraks ve borik asit kimyasalları % 1, % 3 ve % 5 oranında destile suda çözüldürülerek daldırma yöntemiyle emprenye edilen ve daha sonra farklı sıcaklıklarda ısıtım işlemine tabi tutulan karaçam örneklerin hava kurusu yoğunluk, eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve hacimsel şişme değerleri üzerine bu çözeltilerin etkilerinin belirlenmesidir.

1.2. Emprenye Hakkında Genel Bilgi

Günümüzde dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak dünyadaki orman alanları hızla azalmakta ve bununla beraber ağaç malzemenin kullanım yerlerinde mümkün olduğu kadar uzun süre kullanılması ve verimli bir şekilde kullanılması önemli olmaktadır. Ağaç

malzemenin kullanım yerlerinde daha uzun süreli ve verimli bir şekilde kullanılması için yapılan yöntemlerden biriside onun emprenye edilmesidir. Birçok ağaç türünde kendi karakteristik özelliğinden dolayı doğal dayanımın yüksek olmasından kaynaklanan kullanım yerlerinde uzun süre bozulmadan veya tahrip olmadan kalabilmekte ise de, her ağaç türünde bu durum farklı olabilmektedir (Hill, 2006; Bal, 2006; Berkel, 1972).

Günümüz teknolojisinde ağaç malzemenin emprenye edilemesinde bir çok yöntem başarılı şekilde kullanılırken bunlar arasında en etkili ve sağlıklı yöntemlerden birisi vakum-basınç yöntemidir. Eski zamanlarda ağaç malzemenin korunmasına yönelik çalışmalar yaygın olarak görülmekle beraber günümüzde bu maksatla birçok emprenye tekniği ve kimyasalları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin hızla tüketilmesine bağlı olarak özellikle 1902 yılında birçok kullanım yerinde değerlendirilen ağaç malzemenin emprenyesinde faydalanılan, emprenye maddesinin daha ekonomik olarak sarfını sağlamak için Wassermann tarafından ilk boş hücre yönteminin temelini atmıştır patenti alınmıştır. Daha sonra Max Rueping ağaç malzemenin emprenyesinde hücre çeperinin almış olduğu emprenye maddesinin yeterli olacağını dolayısıyla hücre boşluğunda bulunan emprenye maddesinin gereksiz olduğunu söylemiş ve boş hücre metodunu geliştirmiştir. Bir süre sonra Cuthbert B. Lowry daha az ekipmana ihtiyaç duyan diğer bir boş hücre metodunun geliştirilmesi için çalışmalar yapmış ve tamamlamıştır. Bu metodda, ilk başlangıçta vakum yapılmaması ve emprenye işleminin sonunda basınç kaldırıldığında kreozotun hücrelerden dışarı çıkarılması oluşturmaktadır. Böylece, sadece hücre çeperinin emprenye maddesi ile örtülmesi söz konusu olmaktadır (Hill, 2006; Bozkurt vd., 1993).

1.3. Genel Olarak Kullanılan Emprenye Maddeleri

Ağaç malzemenin kullanılacağı ortamların genel olarak özellikleri dikkate alınarak değişik emprenye maddesi kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin korunmasını sağlayabilmek için son yıllarda çeşitli maddeler yaygın olarak denenmektedir. Daha önceleri bu alana yönelik çalışmaların başında hayvansal, bitkisel ve mineral yağlardan yararlanılmıştır. Avrupa'da makineleşme ve endüstrileşmenin oluşması ile beraber ağaç malzemenin giderek artan kullanımında ve korunmasında çeşitli koruyucu kimyasalların kullanılmasına başlanmıştır. Bunların yanında kok kömürü üretimi yapılırken yan ürün olan kreozot, ayrıca bakır, çinko, arsenik gibi bileşiklerin emprenye amaçlı kullanılabileceği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Günümüze kadar yapılan çalışmalar neticesinde 2500 den fazla kimyasal madde bu

maksatlı kullanılmıştır. Günümüzde halen ağaç malzemenin korunmasına yönelik yeni çalışmalar devam ederken özellikle insan ve çevre sağlığı açısından daha az zararlı maddelerin kullanılmasına ağırlık verilmektedir ve bir çok empenye kimyasalının geliştirilmesi ve patentinin alınması gerçekleşmektedir. Kullanılan empenye maddelerinin en önemli özelliklerinden ağaç malzemedeki yüzey gerilimini azaltıcı etkisi olması, daha fazla ağaç malzemeye girmesi ve mümkün olduğu kadar ağaçta tutunucu özellikte olması gerekmektedir (Bozkurt vd., 1993; Bal, 2006; Berkel, 1972).

Ağaç malzemenin kullanım yerleri incelendiğinde ağaç malzemenin kullanım yerlerine bağlı olarak kullanılan empenye maddesi türleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- a. Yağlı empenye maddeleri
- b. Suda çözünen koruyucu empenye maddeleri
- c. Organik çözeltiler içerisinde çözünen empenye maddeleri (Bozkurt vd., 1993).

1.3.1. Yağlı empenye maddeleri

Yağlı empenye maddeleri içinde en önemlilerinden ve yaygın olanlardan birisi maden kömürünün elde edilen kreozot olup, insan sağlığı açısından genellikle kapalı mekanlar için uygun olmayıp daha çok açık alanlarda kullanılmaktadır. Buna rağmen ağaç malzemenin kullanım ömrünün uzatılmasında ve korunmasında en fazla kullanılan empenye maddelerinin başında gelir (Bozkurt vd., 1993). Bununla beraber yağlı empenye maddelerine karbolinum, maden kömürü katranı, linyit kömürü katran yağı, odun katranı ve katran yağı, petrol yağları gibi empenye maddeleride örnek verilebilir (Bal, 2006).

1.3.2. Organik çözücülü empenye maddeleri

Organik çözücülü empenye maddeleri, petrol ürünlerinden oluşan organik çözücülerde çözülmüş fungusit ve insektisit özellikleri olan ağaç koruyucu kimyasal maddelerdir. Çözücü madde olarak terebantın, tiner ve mineral sprit gibi kimyasallar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin empenye işleminden sonra bu çözücü kimyasallar buharlaşarak uzaklaşır ve geriye empenye madesi kalır (Bozkurt vd., 1993). Organik çözücülü empenye maddeleri, Tribütül-tin oksit, Naftenatlar, Bakır, Kinolinatlar, Organik civa bileşikleri, Klorlu hidrokarbonlar, Pentaklorfenol, Sentetik piretroidler (Bal, 2006).

1.3.3. Suda çözünen emprenye maddeleri

Bu türden olan emprenye maddeleri, kokusuzdur ve suda çözünebilen kimyasallardır. Daha çok bakır, krom, arsenik, bor, çinko, sodyum, potasyum gibi maddelerin tuzlarının belli oranlarda karıştırılması ile elde edilir (Berkel, 1972). Bu türden olan emprenye maddelerinden bazıları CCA (Bakır/Crom/Arsenik) tipi emprenye maddeleri, ACC (Asit/Bakır/Kromat) tipi emprenye maddeleri, ACA (Amonyaklı Bakır Arsenik) tipi emprenye maddeleri, ACZA (Amonyaklı Bakır Çinko Arsenik) tipi emprenye maddeleri, CCB (Bakır/Krom/Bor) emprenye maddeleri, CZC (Kromlu Çinko Klorür) emprenye maddeleri, FCAP (Flour/Krom/Arsenik/Fenol) emprenye maddeleri, Bor bileşiklerinden oluşan emprenye maddeleri, PAS (Pentaklorfenol/Amonyak/Solvent) emprenye maddeleri, ve ACQ (Amonyaklı Bakır Quat) emprenye maddeleri örnek olarak verilebilir (Bal, 2006). Ülkemizde bu tür emprenye maddeleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.4. Emprenye Metotları

Günümüzde ağaç malzemenin korunmasına yönelik kullanılan kimyasalların ağaç malzemeye işlenmesine yönelik birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunların en önemlilerinden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

1.4.1. Basınç uygulayan metotlar

Bu türden emprenye yöntemleri ağaç işlerinde yaygın olarak kullanılan ve başarısı kanıtlanmış emprenye yöntemleridir. Bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulamasında, emprenye edilecek olan ağaçlar çelik bir kazan içerisine alınmakta ve emprenye kimyasalı yaklaşık 10 kp/cm²'lik hidrolik basınçla ve 1 - 6 saat arasında değişen sürelerde odun içerisine nüfuz ettirilmektedir. Bu yöntemde en fazla kullanılan yöntemler dolu ve boş hücre yöntemleridir. Bunlarla beraber osilasyon, değişken basınçlı metotlar ile Avustralya'da kullanılan çok yüksek basınçlı emprenye uygulama metotlarında vardır (Berkel, 1972; Bozkurt vd., 1993).

Dolu hücre metodu

Aynı zamanda Bethell yöntemi olarakta bilinen dolu hücre yöntemi, 1938 yılında John Bethell tarafından geliştirilmiş ve ortaya konmuştur. Bu emprenye işleminin temel prensibi hücre çeperlerinde bulunan hava ve nemin yerine emprenye maddesinin yerleştirilerek hücre

çeperinin tümüyle koruyucu kimyasal ile doldurulup en yüksek absorpsiyon sağlamaktır. Dolu hücre yöntemi beş aşamada gerçekleşmektedir (Bozkurt vd., 1993).

Ön vakum işlemi; Emprenye yapmak için kazana konan ağaç malzemenin emprenye kimyasalını daha kolay ve en fazla şekilde alabilmesi için ön vakum uygulanır. Bu ön vakum süresi kullanılan ağaç malzemenin özelliklerine göre (tür, kesit, şekil, özgül ağırlık vb.) değişkenlik gösterebilmektedir. Bunun neticesinde odun hücreleri içindeki hava dışarı atılmaktadır.

Emprenye maddesinin verilmesi; Uygulanan ön vakum muhafaza edilirken emprenye kimyasalı kazana doldurulur ve kazan dolmadan vakum bırakılmaz. Çünkü kazan içerisinde varolan hava emprenye eriğinden oluşan su buharı kazanın üstünde birikerek sıkışabilmektedir. Emprenye maddesinin verilmesi esnasında vakum kaldırıldıktan sonra emprenye maddesi sevki devam ettiğinde, buhar ağaç malzemenin boş kısımlarına dolar absorpsiyon miktarının azalmasına neden olmaktadır (Bozkurt vd., 1993).

Basınç periyodu; Emprenyesi yapılacak olan ağaç malzemenin özelliklerine bağlı olarak emprenye maddesi sevki bittiğinde vakumdan vazgeçilmekte ve 10 - 14 kp/cm²'lik basınç gerçekleştirilmektedir. Bu basınç uygulama süresi yine ağaç malzemenin özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir ve ağaç malzemenin türüne göre 1 - 6 saat arasında olmaktadır. Bu süreden sonra uygulanan basınç sona erdirilmektedir. Bununla beraber ağaç malzemede odunsu hücreler içerisindeki basınçla bir miktar hava genişleyerek % 5 - 15 kadar emprenye maddesi kendiliğinden ağaç malzemedan dışarı çıkmaktadır (Bozkurt vd.,1993).

Emprenye maddesinin kazandan dışarı alınması; gerekli işlemler yapıldıktan ve istenen nüfuz sağlandıktan sonra basınç uygulamasına son verilir, emprenye maddesi kazandan uygun bir yere alınarak son vakum sürecine geçilir.

Son vakum; emprenye işlemin son basamağı olarak 635 mm Hg'lik son bir vakum gerçekleştirilmekte ve bu durum 10 - 15 dakika sürdürülmektedir. Bu uygulanan işlemin nedeni, kazandan dışarı alınan ağaçlardan fazla emprenye kimyasalının kendi kendine dışarı akmasının önlenmesidir (Bozkurt vd.,1993).

Boş hücre metodu

Bu yöntemde ise gereğinden fazla miktarlarda emprenye maddesi kullanımının önüne geçilerek ekonomik ve verimli bir emprenye metodunun geliştirilmesi amaçlanmış ve boş hücre metodu geliştirilmiştir. Boş hücre metodu denildiğinde ilk akla gelen Lowry and Rueping metotlarıdır ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Hem Rueping hem de Lowry metotlarında uygulama ön vakum işlem dışında dolu hücre metoduna benzemektedir. Bu yöntemlerin dolu hücre yöntemine göre farklılığı başlangıçta ilk vakum prosesinin olmayışdır. Bu iki emprenye yöntemi karşılaştırıldığında ise birbirine çok benzemekle beraber tek farkı Rueping yönteminde başlangıç aşamasında belli bir basınçta hava uygulaması gerçekleşirken, Lowry yönteminde ise bu başlangıç hava basıncının olmayışdır. Bu yöntemde uygulanan basınç sona erdiğinde ağaç malzeme içinde sıkışık durumda bulunan hava yardımıyla fazla miktardaki emprenye maddesi dışarıya atılmaktadır. Bu yöntem emprenye endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve endüstrinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu yöntemde de dolu hücre yönteminde olduğu gibi beş adımda emprenye işlemi yapılmaktadır. Bunlar; ön hava işlemi, daha sonra kazana emprenye maddesinin verilmesi, bu işlemden sonra basınç periyodunun uygulanması, daha sonra emprenye maddesinin kazandan dışarı alınması ve son olarak son vakum işleminin yapılmasıdır (Maclean 1952; Bozkurt vd.,1993; Berkel, 1972).

1.4.2. Basınç uygulamayan metotlar

Basınç uygulamayan metotlar incelendiğinde yüzeye fırça ile sürme, daldırma, batırma ve açık kazanda sıcak soğuk emprenye metotları bu yöntemde girmektedir. Diğer yöntemlere göre daha kolay ve ucuz olan bu yöntemlerin uygulanmasında emprenye maddesi ağaç malzemeye derinlemesine nüfuz etmemektedir. Fırça ile uygulamalarda emprenye maddesinin derinlere ilerlemesi daha zor olurken birkaç kat uygulaması gerçekleştirilebilmektedir. Her kat uygulamasında belli bir sürenin beklenmesi uygun olacaktır. Daldırma yönteminde de emprenye maddesinin derinlere ilerlemesi için süre değişkenlik göstermektedir (Bozkurt vd.,1993).

1.4.3. Besi suyunu çıkarma metodu

Besi suyunu çıkarma yöntemiyle emprenye işlemi ilk olarak fizikçi ve kimyacı Fransız Auguste Boucherie tarafından 1838 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin temel prensibi taze kesilmiş kabuğu soyulmamış ağaç gövdelerinde besi suyunun emprenye maddesi ile yer

değiştirmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem çoğunlukla kesimden hemen sonra en geç birkaç hafta içinde uygulanmaktadır (Berkel, 1972; Bozkurt vd.,1993).

1.4.4. Difüzyon yolu ile emprenye metodu

Birbiri ile temas halinde bulunan çeşitli maddelerde moleküller birbiri içerisine karışıp, yayılabilmekte ve bu olaya difüzyon adı verilmektedir. Konsantrasyon düzeyleri eşit olmayan farklı emprenye kimyasalları arasında sürekli difüzyon süreci gelişmektedir. Difüzyon metodu, çok rutubetli haldeki ağaç malzemeye konsantre halde suda çok kolay çözünen emprenye maddelerinin tatbik edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Koruyucu kimyasallar ağaç malzemedeki su içinde çözünerek yüzeylerden derinlemesine yavaş yavaş nüfuz etmektedir. Bu yöntemin uygulama aşamasında ahşap malzeme yüksek çözeltiye sahip emprenye maddesi sıvısına tamamen batırılmakta veya nispeten daha koyu olan emprenye maddesi ağaç yüzeyine sürülerek bu şekilde ağaç malzemenin korunması amaçlanmaktadır (Berkel, 1972; Bozkurt vd.,1993).

1.4.5. Yerinde bakım metodu

Açık hava şartlarında kullanılan her türlü ahşap malzemenin daha kolay bozunmaya uğrayan ayak ve baş uçları gibi açık olan yerlerinde diğer kısımlara göre daha fazla bozunma oluşmakta ve kullanılan emprenye maddelerinin koruma özelliği daha kısa sürmektedir. Bu tür açık hava şartlarına karşı koruma özelliği az olan yerlerde bu kısımların korunmasında, bu kısımların çevrelerine veya ierilerine konsantre halde emprenye tuzları uygulanarak tuzların zaman geçtikçe difüzyon yöntemiyle ağaca işlenmesi gerçekleştirilmektedir (Bozkurt vd.,1993).

1.4.6. Kısa süreli daldırma metodu

Bu yöntemde, emprenyesi yapılacak olan odun, içinde emprenye kimyasalı bulunan bir kazan içerisindeki emprenye maddesine istenilen özelliklere göre ve belirlenen sürelerde bekletilmektedir. İstenen nüfuz derinliğine bağlı olarak daldırma süresi değişkenlik gösterebilir. Fırça veya basınçlı hava ile yapılan püskürtme tekniğine göre daha fazla derinlemesine işlemektedir. Süre ayarlaması yapılabilir. Ağaç malzemenin tüm yüzeyleri emprenye maddesine temas ederek, emprenye maddesini kolay bir şekilde absorbe etmektedir. Kısa süreli daldırma doğrama kerestesinin emprenyesinde kullanılan ideal ve kolay bir tekniktir. Son zamanlarda ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin uygulamasında emprenyesi yapılacak olan malzeme paletler üzerine konmakta ve tank içerisinde kısa süreli

olarak bekletilmektedir. Emprenye içerisinde bekletme süresi; ağaç malzemenin türü, kesit yapısı, ölçüsü ve özelliklerine, koruyucu kimyasalın ve çözücünün türüne göre değişebilmektedir (Bozkurt vd.,1993; Bal, 2006; Berkel, 1972).

1.5. Odunun Emprenyesi ile Anatomik Yapısı Arasındaki İlişki

Ağaç malzemenin kullanım yerleri için değişik emprenye maddeleri ile emprenye edilmesi, ağacın anatomik özelliklerine, karakteristik ve fiziksel yapısına ve ağaç tür ve cinsine göre farklılık oluşturmaktadır. Ağaç malzeme dikili haldeyken boyuna yönünde büyüme gelişirken, enine yönde çap artımında oluşmaktadır. Bu büyümenin oluşması ile ağaç malzemelerde değişik yapılar gelişerek oluşan odun malzemenin yapısı sürekli olarak değişmektedir. Bu nedenle ağaç malzemenin anatomik özellikleri ile onun emprenye edilme özellikleri arasında doğrudan bir ilişki vardır. Bazı ağaç türlerinde emprenye maddesi derinlemesine nüfuz ederken, bazı ağaç malzemelerin anatomik ve karakteristik özelliklerinden dolayı emprenye maddesinin derinlere ilerlemesi zorlaşmaktadır. Bu durum iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlara göre farklılıklar gösterebilmektedir (Bozkurt vd.,1993; Bal, 2006, Berkel, 1972).

1.5.1. İğne yapraklı ağaçların anatomik yapısı

İğne yapraklı ağaç odunları yapraklı ağaçlarla kıyaslandığında daha basit bir yapıya sahiptir. Ağaç malzemenin büyük bir kısmı boyu istikametinde uzanan boyuna traheidlerden oluşur. Öte yandan çap istikametinde uzanan öz ışınları bulunmaktadır. Ayrıca yan elemanlar olarak reçine kanalları, boyuna paransim ve enine traheidler bulunur. Nispeten boy yönündeki paransim hücreleri azdır hatta bazı türlerde hiç yoktur. Bununla beraber iğne yapraklı ağaçların öz odun kısımları, diri odun bölümüne nazaran daha fazla oranlarda ekstraktif madde, daha az miktarda lignin ve selüloz yapısı içermektedir. Traheidler, ağaç boyu yönünde uzanan, sivri uçlu ölü hücreler olup çeperleri ligninleşmiştir. İğne yapraklı ağaçlarda iletim ve destek görevi yapan hücreler boyuna traheidlerdir. Boyları uzun, çaplarının 100 katı kadar, enine kesitleri dört veya altı köşeli, uçları kapalı hücrelerdir. Bu türlerde geçit zarının orta bölümü dahada kalınlaşmıştır. Torus diye adlandırılan bu bölüm porusun önüne geçtiğinde geçit kapanmaktadır. Kalınlaşmamış geçit zarının dış kısmı olan Margoda ise sıvıların bir hücreden ötekine geçmesi için çok küçük aralıklar vardır. Öz odunun oluşması esnasında kenarlı geçitler kapanır, torusa fenollü maddeler yerleşir, bunun neticesinde de emprenye sıvılarının geçişleri zorlaşmakta veya

tamamen durabilmektedir. Bu nedenledirki öz odunu, diri oduna göre daha az emprenye edilebilme yeteneğindedir. Bir diğer ifadeyle diri odun, öz odundan daha fazla geçirgen bir özelliktedir. Genellikle iğne yapraklılar, yapraklı ağaçlardan daha kolay emprenye edilebilmektedirler. Yoğunluk ağaç malzemenin emprenye edilmesinde etkili olan bir diğer faktördür. Yoğunluğu daha yüksek olan türlerde boşluk oranı nispeten azdır. Bu durum emprenye maddesinin ağaç malzemenin derinlemesine nüfuz etmesini etkileyebilmektedir (Aslan, 1998; Bozkurt vd.,1993).

1.5.2. Yapraklı ağaçların anatomik yapısı

İğne yapraklılarla karşılaştırıldığında boyuna yönde gelişen paransim hücreleri, libliform lifleri, trahee ve traheidlerle lif traheidlerinden oluşur ve daha kompleks bir yapıdadırlar. Yapraklı ağaçların emprenye işlemi süresince emprenye kimyasalını derinlemesine işlemesinden önemli mikroskobik elemanlar trahee, öz ışınlar, lifler, boyuna paransimler, gibi yapısal elemanlardır. Yapraklı ağaçların temel yapıları traheler, öz ışınları, lifler ve boyuna paransimler, yan elemanları da yalancı öz ışınları, öz lekeleri ve tüllerdir. Traheler, boyuna yönde besi maddesinin taşınmasında önemli bir etkiye sahip boru şeklindeki yapılardır. Bu yapılar emprenye maddesinin taşınması bakımından önem arz etmektedir. Trahelerin tüllerle dolup tıkanması, kurutma ve emprenye sırasında birçok soruna yol açmaktadır. Tüller ağacın dayanıklılığına katkı sağlamazken, emprenye yeteneğini kısıtlamakta, sıvı ve gaz akışınının durmasına neden olmaktadır. Geniş yapraklılarda emprenye kimyasalı akışı, traheeler içerisindeki sıvı madde, geçit açıklıklarından öz ışınlara, sonrada boyuna paransimlere ve liflere veya diğer traheelere doğru ilerlemektedir. Bu durumda yapraklı ağaçlarda emprenye maddesi akışı sağlanmış olur. Geniş yapraklı ağaçların yoğunluk değerleri iğne yapraklılara kıyasla daha yüksek olduğu için daha zor emprenye edilmektedirler (Sivrikaya, 2003; Berkel, 1972).

1.6. Odunun Permeabilitesi

Genel anlamda permeabilite, sıvıların poröz bir yüzeyden basınç altında geçişlerinin hızlı veya yavaş oluşunu ifade etmektedir. Belli bir basınç altında sıvıların akışı kolaylıkla sağlanabiliyorsa o türden malzemelerin geçirgenliği yüksek anlamına gelir. Her ağaç malzemenin karakteristik özellikleri aynı değildir. Aynı ağaç türünde olsa bile bu karakteristik özellikler farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle tüm ağaç türlerinin eşit ve dengeli bir şekilde emprenye edilmesi mümkün değildir. Bunun sonucunda bazı ağaç türlerinin emprenye

edilebilmesi ve emprenye maddesinin derinlere nüfuz etmesi kolaylıkla sağlanırken bazı ağaç türlerinde bu durum zorlaşmaktadır (Berkel, 1972; Bozkurt vd.,1993).

Ağaç malzeme kullanım yerine uygun olarak emprenye edileceği esnada genellikle emprenye işlemiyle ilgili olarak iki sorun oluşur. Bunlardan ilki, odun hücrelerinde oluşan sıkışmış havanın ortadan nasıl kaldırılacağı, bir diğeri ise emprenye maddesinin hücreler arasında nasıl ilerleyeceğidir. İğne yapraklı ağaçlarda emprenye maddelerinin esas akış yolu, traheidlerden traheidlere olup, kenarlı geçit çifti yardımıyla sağlanmaktadır. Paransim hücrelerinden meydana gelen öz ışınlar basit geçitler yardımıyla radyal yönde sıvı akışının ilerlemesi sağlamaktadır. Öte yandan yapraklı ağaçlarda sıvıların ilerlemesi traheler yoluyla sağlanmaktadır. Trahelerdeki sıvı madde, geçit aralıklarından öz ışınlara, devamında boyuna paransimlere ve liflere veya diğer trahelere doğru ilerlemektedir (Bozkurt vd.,1993).

1.7. Isıl İşlem Metodları

Son yıllarda insan ve çevre sağlığı açısından ağaç malzemenin korunmasına yönelik çevre ve insan sağlığına zararı olmayan odun modifikasyon yöntemleri geliştirmek için yapılan bilimsel çalışmaların sayısı artmaktadır. Bu çalışmalardan biriside ağaç malzemenin ısıyla modifiye edilmesidir. Günümüzde ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir çok ısıl işlem metodu başarılı bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Bunlar buhar yardımıyla uygulanan Thermowood metodu (Finlandiya), buharla birlikte sıcak havanında bir arada olduğu Plato metodu (Hollanda), Rectification ve Bois Perdure yöntemi (Fransa) ve son olarak sıcak yağ kullanılan (OHT- oil heat treatment) (Almanya) yöntemleridir. Daha farklı ısıl işlem uygulamalarında araştırılmaya devam etmektedir. Bu ısıl işlem yöntemlerinde ağaç malzeme oksijensiz bir ortamda kullanım yerine uygun olarak 200 °C'nin altında ve üstünde farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Bu ısıl işlem metodları, insan sağlığına ve çevreye zararlı olan kimyasalların kullanımına gerek kalmadan ahşabın boyutsal stabilitesini ve biyolojik dayanıklılığın arttırmaktadır (Özçifçi vd., 2009; Rapp, 2001).

1.7.1. Plato metodu

İlk olarak Hollanda'da geliştirilen ve kullanılan, Ruyter 1989 tarafından patenti alınan Platoyöntemi 2000 yılında yaygın olarak kullanılmaya başlamış temel olarak bir ara kurutma işlemi ile iki safhadan meydana gelmektedir. Ön kurutma aşamasında taze veya ruru beti yüksek olan ahşap geleneksel kurutma işlemi ile endüstriyel kurutma fırınlarında Hidro termoliz

aşaması için kurutulur. Hidrotermoliz olarak da isimlendirilen ikinci aşamada keresteler çok kuvvetli bir atmosferik basınç altında ve düşük oksijen ortamında 150-180 °C'ye kadar ısıtılır. Isıl işlem safhasında ağaç malzemeler tekrar 170 - 190 °C arasında ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Bu adımdan sonra soğutma ve kondisyonlama safhası uygulanır. Bu yöntemde uygulanan termoliz safhası 4 - 5 saat arasında değişebilmektedir. Daha sonraki kurutma işlemide ağaç malzemenin rutubetine ve genel özelliklerine göre 3 - 5 gün devam etmektedir. Daha sonraki kurutma adımı (curing step) ise 14 - 16 saat sürmektedir. Son adım da denkleştirme veya kondisyonlama safhasıdır ki buda 2 - 3 gündür. Proses süresi kullanılan ağaç türüne, kalınlığına ve formuna bağlıdır. Ayrıca ağaç türüne ve malzemenin kalınlığına bağlı olarak bu süreler kısalabilir (Boonstra vd., 1998; Ruyter, 1989)

1.7.2. Sıcak yağ (OHT) metodu

Bu yöntemde uygulanan ısıl işlem Almanya'da geliştirilmiş sıcak yağ ile ağaç malzemenin modifiye edilmesidir. Kapalı bir tankın içerisine ağaç malzemeler istif edildikten sonra tankın içerisine sıcak yağın gönderilmesi ile gerçekleştirilen bir metottur. Birçok doğal yağ ve reçinenin kaynama noktası ahşabın ısıl işleme tabi tutulması için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksektir. Bu durum sıcak yağ içerisinde ağaç malzemeye ısıl işlem uygulamasına olanak tanımaktadır. Yağın amacı ısı transferinin sağlanmasıdır. Bu yöntemde ısıl işlem 3 safhada uygulanmaktadır. Birinci safha ısıtma ve kurutma safhası olup sıcaklık 60 °C'den 160 - 200 °C'ye kadar çıkmaktadır. Sonraki aşamada ağaç kalınlığının orta noktası maksimum sıcaklığa ulaştığında gerçek ısıl işlem safhasına geçilir. Üçüncü safhada ise soğutma işlemi uygulanmaktadır. Ahşap kapalı tanka alındıktan sonra yağ stok tankından ısıl işlem tankına sıcak yağ gönderilmekte, bu yağ ahşabın etrafında yüksek sıcaklık sirkülasyonu sağlamaktadır. Isıl işlem uygulaması tamamlandıktan sonra sıcak yağ stok tankına geri gönderilme ve ahşap malzemeler tank içerisinden dışarıya alınmaktadır. Ağaç malzemenin genel özelliklerine göre farklı yağ türleri kullanılabilir. Bu amaçla en çok kullanılan ham bitkisel yağları şalgam tohumu, keten tohumu ve ayçiçeği yağlarıdır. Bu ısıl işlem uygulamasında toplam süresi 17 - 19 saat kadardır (Rapp ve Sailer, 2001; Leithoff ve Peek, 1998).

1.7.3. Retification ve Le Bois Perdure metodu

Fransa'da geliştirilen Retification ve Le Bois Perdure yöntemleri yaygın olarak kullanılan odun modifikasyon yöntemleridir. Retification metodu, Ecole des Mines de Saint -

Etienne tarafından geliştirilen ve New Option Wood şirketi tarafından patenti alınan bir metottur. Ahşap öncelikle % 12 rutubete kadar kurutulduktan sonra % 2'den daha az oksijenin bulunduğu inert nitrojen gazı içeren atmosfer şartlarında ısıtılma işlemine tabi tutulmaktadır. Bu yöntemde kullanılan ısıtılma işlem sıcaklığı 210 - 240 °C'dir (Vernois, 2001).

Bir diğer yöntem olan Le Bois Perdure yöntemi ise, BCI - MBS şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan keresteler taze halde bulunmaktadır. Öncelikli olarak ahşap teknik kurutmaya maruz bırakılmakta daha sonra doymuş su buharı atmosferi altında 230 °C'de ısıtılma işlemi uygulanmaktadır (Vernois, 2001).

1.7.4. ThermoWood metodu

Finlandiya endüstrisinin Finlandiya'da bulunan Teknik Araştırma Merkezi (VTT) ile yürütülen çalışmaların sonucunda geliştirilmiş bir yöntem olup Finlandiya ThermoWood Derneği üyeleri tarafından lisanslı olarak kullanılmaktadır. Bu metod, ağaç malzemelere yüksek sıcaklıkta ve düşük oksijen içeriğine sahip fırınlarda su buharı ve su spreyi kullanılarak gerçekleştirilen ve temel olarak 3 safhada oluşan bir ısıtılma işlemi yöntemidir (Militz, 2002; Rapp, 2001).

ThermoWood ısıtılma işlemi süreci üç ana aşamada uygulanmaktadır.

1. Safha: Yüksek sıcaklıkta kurutma safhası olup ısıtılma işlemi uygulamasında en fazla zaman alan bölümdür. Ağaç malzeme yaş veya kuru halde bulunabilir. Bu aşamada ani sıcaklık değişimlerine bağlı olarak gerçekleşen iç çatlakların oluşmasını engellemek için su buharı kullanılmaktadır. Fırının sıcaklığı su buharı ile beraber hızla 100 °C'ye çıkarılır, daha sonra durmadan kademeli olarak 130 °C'ye kadar yükseltilir. Bu aşamada yüksek sıcaklıkta kurutma işlemi gerçekleşir ve ağaç malzemenin rutubeti hemen hemen sifira indirilir (Mayes ve Oksanen, 2002)

2. Safha: Gerçek ısıtılma işlemi safhası olarak bilinen bu aşamada ahşabın kullanım yerinin özelliklerine göre fırın içindeki sıcaklık 185 - 230 °C'ye kadar çıkarılır. Hedef sıcaklığa ulaşıldığında, sıcaklık bu aşamada 2 - 3 saat sabit tutulur (Mayes ve Oksanen, 2002).

3. Safha: Soğutma ve tekrar nemlendirme aşamasıdır. Su spreyi veya buharı ile ahşabın sıcaklığı 50 - 60 °C'ye kadar düşürülür. Yeniden rutubetlendirme ve kondisyonlama işlemi ile

ahşabın nemi % 4–6'ya ulaşıncaya kadar işleme devam edilir. Isıl işlem sıcaklığı ve keresteye bağlı olarak kondisyonlama safhası 5-15 saat sürebilir (Mayes ve Oksanen, 2002; Militz, 2002).

1.8. Isıl İşlemin Ahşap Malzemenin Özellikleri Üzerine Etkisi

1.8.1. Fiziksel özellikler üzerine etkisi

Ağırlık kaybı ve yoğunluk

Isıl işlem uygulamasından sonra ağaç malzemenin türüne, uygulanan ısıl işlem metoduna, uygulanan sıcaklığa ve uygulama süresine göre odunun hacminde ve kütlede azalmaya sebep olur (Rusche, 1973; Fung vd.,1974). Isıl işlemden sonra görülen kütle kayıpları, ağaç malzemedeki hidroksil gruplarının azalmasına bağlı olarak su kayıplarının olması, ısıya bağlı olarak hücrelerdeki maddesel kayıplar ve başta hemiselüloz olmak üzere kimyasal bileşenlerin bozunuma uğramasıyla oluştuğu düşünülmektedir (Viitanen vd., 1994; Fengel ve Wegener, 1984).

Isıl işleme maruz bırakılan ağaç malzeme bünyesinde meydana gelen ağırlık kayıplarından dolayı yoğunluğu ısıl işlem görmemiş malzemeye göre daha düşüktür. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça odunun hacmi daralır, ağırlık kaybı artar dolayısıyla yoğunluk azalır. Isıl işlemden dolayı odunun hacimsel olarak daralmasının kütle kaybıyla arasında iyi bir ilişki bulunmuştur (Chang ve Keith,1978).

Daha düşük sıcaklıkta uygulanan ısıl işlemlerde, daha az bozunma oluşacağı için daha az ağırlık kayıpları oluşabilmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanması neticesinde daha fazla kütle ve ağırlık kayıpları yaşanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlemde hücre çeperindeki maddesel kayıpların artmasına bağlı olarak fazla oranlarda büzülme oluşumu gerçekleşebileceğinden odunun boyutsal özelliklerinde belli oranlarda değişimler gözlenebilir (Millet ve Gerhards, 1972).

Boyutsal stabilizasyon

Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin hemiselülozların doğal yapısındaki ani değişimler ile hidroksil gruplarının değişmesi ağaç malzemenin boyutsal kararlılık kazanmasında önemli rol oynar. Ağaç malzemenin boyutsal kararlılığının sağlanmasında ısıl işlem sıcaklığının ve uygulama süresi anahtar rol oynar (Hillis, 1984).

İğne yapraklı ağaçların su itici etkinlik (ASE) değerleri, uygulanan ısı işlem sıcaklığına ve süresine bağlı olarak önemli derecede değişmektedir. Isıl işlem uygulamalarından sonra elde edilen değerlerdeki artış, ısı işlem dolay oluşan ağırlık kaybına karşı oluşan değişimler asimtatik bir ilişkiyi takip ettikleri gözlenmiştir. Ağırlık kaybı % 20'ye yaklaştığında ASE değeri maksimuma ulaşır. Fakat elde edilen sonuçlar hava varlığında değişir ve daha düşük ASE değerlerinin havasız ortamda elde edildiği bulunmuştur. Ayrıca ısı işlemden sonra oluşan kütle veya ağırlık kayıpları % 20'ye yaklaştığında su itici etkinlik değeri maksimum olur (Rusche, 1973).

Boyutsal stabilizasyondaki değişimin, kullanılan ısı işlem şartlarına bağlı olarak ciddi oranda değiştiği gözlenmiştir. Odun örnekleri 300 °C'de hava yada nitrojen ortamında ısıtılmış ve ağırlık kaybının % 20 olduğu noktada, boyutsal stabilizasyon maksimuma ulaştığı belirlenmiştir. Bu ağırlık kaybının yanında boyutsal stabilizasyondaki artışın kapalı sistemlerde daha fazla gerçekleştiği bulunmuştur. Boyutsal stabilizasyon açık sistemlerde nitrojen ortamında yapıldığında kütle kaybı % 20'yi geçtiği zaman değişim görülmemiştir fakat örnekler yine açık sistemlerde hava ortamında ısıtıldığında boyutsal stabilizasyonda düşüşler gözlenmiştir. Isıl muamele sonucunda boyutsal stabilizasyondaki gelişmelerin türlere bağlı olduğu ve radyal yöndeki çalışmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun anatomik farklılıklarından dolayı olduğu belirlenmiştir. Yapılan birçok araştırmada özellikle 100 - 230 °C arasındaki sıcaklıklarda ve 2 - 48 saat süreli ısı işlem uygulamasıyla, kayın, kızılğaç, meşe, okaliptus, kavak, sarıçam, fin çamı, akçağaç, hus, ladin, göknar gibi bir çok ağaç türlerinde meydana gelen boyutsal değişiklik incelenmiş ve sonuçta sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte kullanılan ısı işlem metoduna göre de bağlı olarak % 55 - 90 varan bir boyut stabilizasyonu sağlanmıştır (Feist ve Sel, 1987; Giebeler, 1983; Burmester, 1975; Viitaniemi 1997).

Renk

Ağaç malzemenin termal muameleye tabi tutulması esnasında yapısında bir çok fiziksel ve kimyasal değişimler aynı anda olmaktadır. Bunlardan biriside odunda meydana gelen oksidatif ve hidrolitik renk değişimlerine bağlı olarak gelişen ahşap renginin koyulaşmasıdır. Yapraklı ağaçlarda gerçekleşen renk değişimleri olumlu katkı sağlayabilir. Rengi değişmiş olan yapraklı ağaçların pazar paylarında artışlar olabilir. Ağaç malzemedeki uygulanan ısı işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça meydana gelen renk değişimlerinde büyük oranda artmaktadır. Isıl

işlem uygulamalarından dolayı ağaç malzemenin mekanik dirençleri azalmaktadır ve renk değişimleri olmaktadır. Isıl işlemde kaynaklanan renk değişimlerinin ağaç malzemenin direnç özelliklerini belirlemek için kullanılması uygun değildir. Renk değişimleri ağaç malzemeye uygulanan ısıl işlemin kalitesi hakkında bilgiler sunabilir (Johansson, 2008). Ağaç malzemede ısıl işlemde sonra gerçekleşen renk uygulanan ısıl işlem şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Hava ortamında oluşan renk koyulaşması nitrojen ortamında yapılanlara kıyasla daha fazla oluşur. Isıl işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak odunun rengi koyulaşmaktadır. Odun rengi doğal halinden çıkarak daha koyu bir renge bürünür ve bununla beraber koku değişimide gerçekleşir. Isıl işlemde kaynaklanan renk değişimleri uygulanan ısıl işlem metoduna, ağaç türüne, kesit ölçülerine ve asıl olarak uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişir (Johansson, 2008). Daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde ısıl işlemde kaynaklanan renk değişimlerinin temel kimyasal sebepleri net bir şekilde ortaya konulamamıştır. Temel olarak ısıl işlemde kaynaklanan renk değişimlerine ağaç malzemenin kimyasal bileşenlerinin degrade olması sebep olarak ortaya konmuştur (Nuopponen, 2005).

Koku oluşumu

Termal uygulama esnasında ağaç malzemenin kimyasal yapısında büyük değişimler meydana gelmektedir. Yapısında bulunan ve kendilerine ait kokuları olan birçok organik asit ve furfural gibi aldehitler vb. bozunarak değişik bir koku yayarlar ve ısıl işlemlili odun karakteristik bir kokuya sahip olur. Bunun neticesinde ağaç malzede renk değişimi ile beraber koku değişimide yaygın olarak görülür. Ağaç malzemede bulunan organik maddelerin çok etkili kokuya sahiptirler ve bozunma sonrası oluşan ürünlerle meydana gelebilir. Isıl işlemde kaynaklanan koku değişimleri zamanla minimize olabilmekte fakat ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin işlenmesi esnasında bu kokular tekrar hissedilebilmektedir (Sundqvist, 2004).

1.8.2. Mekanik özellikler üzerine etkileri

Ağaç malzeme özellikle yüksek sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulduklarında yapısında meydana gelen değişimler neticesinde mekanik özelliklerinde kayıplar oluşmaktadır. Özellikle ısıl işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça mekanik özelliklerde görülen direnç kayıplarında artmaktadır. Uygulanan ısıl işlemin sıcaklığına ve süresine bağlı olarak öncelikle ağaç malzemenin ana bileşenlerinden olan hemiselülozlar bozunmaya başlar ve sıcaklık arttıkça lignin ve selüloz bileşenlerini tahrip eder ve neticede ağırlık kayıpları oluşur. Kütle ve yoğunluk

kayıpları ile birlikte kimyasal bileşenlerin bozunuma uğraması mekanik direncin azalmasında etkili olmaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2009)

Eğilme direnci ve elastikiyet modülü

Düşük sıcaklıklarda yapılan ısıtma işlem uygulamalarında ağaç malzemenin eğilme dirençlerinde önemli ölçüde kayıplar yaşanmazken, sıcaklığın artmasıyla eğilme direncinde görülen direnç kayıpları artmaktadır. Direnç kayıpları 220 °C'den sonra artmaktadır. Eğilme direncindeki azalmadan öncelikli olarak ısıtma işlem neticesinde bozunuma uğrayan ve ağaç malzemenin ana bileşenlerinden olan hemiselülozlar sorumludur. Hemiselülozlar diğer lignin ve selülozla kıyaslandığında sıcaklığa karşı hassas bileşenlerdir ve eğilme direncindeki görülen ilk kayıplar temel olarak hemiselülozların bozunmasından kaynaklanmaktadır (Esteves ve Pereira, 2009)

Eğilme direnci üzerine yapılan çalışmalarda ısıtma işlem sıcaklığı ve uygulama süresi arttıkça eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı ve sıcaklığın süreden daha fazla etkili olduğunu gösteren çalışmalar vardır. Bununla ilgili olarak yapılan bir çalışmada Doğu kayını ve Doğu ladini odunlarından elde edilen örneklerle değişik sıcaklıklarda ve sürelerde oksijensiz ortamda ısıtma işlem uygulanmış ve yapılan test sonuçlarına göre ısıtma işlem sıcaklığı ve süresi her iki ağaç malzemenin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine negatif etki yapmıştır (Yıldız, 2002). Yapılan başka bir çalışmada nispeten daha kısa sürelerde ve 180–250 °C'de su buharı yardımıyla uygulanan ısıtma işlem çalışmasında çam odununun eğilme direncindeki yaşanan direnç kayıplarının kontrol örneklerine göre %14 oranında olduğu belirlenmiştir (Viitaniemi, 1997). Uygulanan ısıtma işlem ortamında mekanik dirençler üzerine etkili olabilmektedir. Mekanik özelliklerdeki düşüşler ısıtma işlem sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir. Nitrojen ve hava ortamında yapılan uygulamalarda elastikiyet modülündeki farklılıklar ısıtma işlem atmosferiyle yakından ilgilidir. Nitrojen ortamında yapılan uygulamalarda mekanik dirençlerde düşük sıcaklıklarda bir miktar artma gözlemlenirken, sıcaklığın artmasına bağlı olarak düşüşler yaşanmıştır. Direnç kayıpları hava ortamında yapılan ısıtma işlem uygulamalarında daha fazla gerçekleşmektedir (Millet ve Gerhards, 1972).

Genel olarak ağaç malzeme düşük sıcaklıklarda yapılan ısıtma işlem uygulamalarından sonra nispeten direnç özelliklerini korurken ısı artırıldığında direnç özelliklerinde azalmalar olur. Eğer ağaç malzeme yüksek sıcaklığa ve uzun süreli ısıtma işlem uygulamalarına maruz bırakılırsa direnç kayıpları telafi edilemez aşamalara gelir. Nispeten kısa süreli ve düşük

sıcaklıklarda ağaç malzemenin ısıtılması ve soğutulması onun önceki haline dönüş imkanı sunar. Bununla beraber yüksek sıcaklıklarda ve uzun süreli muamelelerde ağaç malzemedede daha fazla kütle ve ağırlık kayıpları yaşanmakta ve bunun sonucunda da yoğunluk değerleri düşmektedir. Bu durum ayrıca ağaç malzemenin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum termal bozunma olarak adlandırılır ve termal bozunmada en çok etkilenen özellikler ise şok ve eğilme direnci olurken, en az etkilenen özellikler ise elastikiyet modülü ve ağırlık kaybıdır (Yıldız vd., 2006; Yıldız, 2002). Yapılan çalışmalarda, kısa süreli ve düşük sıcaklıkta yapılan termal muamele sonucunda ağaç malzemenin elastikiyet modülünde küçük bir artış olduğu belirlenmiştir. Buna karşın eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki azalmanın uygulanan sıcaklığa ve diğer şartlarla beraber ağaç malzemenin özelliklerine bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir (Rusche, 1973; Yıldız vd., 2006).

1.8.3. Kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Ağaç malzeme, selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktif maddelerden (hücre çeperine ve hücre lümenlerine yerleşmiş, tanenler, uçucu yağlar, reçineler, nişasta, boyar maddeler gibi organik ve inorganik maddeler) oluşur. Polisakkaritlerden olan selüloz ve hemiselüloz holoselüloz adını alır. Holoselülozların saf odun ağırlığına iştirak oranı % 60 - 85 kadar olup bunun % 40 - 50'si selüloz, % 20 - 35'i hemiselülozdur. Lignin oranı ise % 15 - 25 arasındadır. Dolayısı ile her ağaç türünde hatta aynı ağaç türünde bile ağaç malzemeyi oluşturan bu bileşenler farklı derecededirler. Bu nedenle her ağaç türünde özellikleri de birbirinden farklıdır. Isıl işleme bağlı olarak ağaç malzemenin yapısı ve bileşenleri termal bozulmaya uğrar. Isıl işlemin alt basamağı 100 °C olarak kabul edilmektedir. Bundan sonra ağaç malzeme bileşenleri sıcaklığın artmasıyla bozulmaya başlar. Bu arada ağaç malzemededen uzaklaşan suyun etkisiyle odun yapısında meydana gelen şişme ve büzüşme oranlarında bir azalma, biyolojik dirençte artmalar, ısıya bağlı olarak rengin giderek koyulaşması, odun bileşenlerinden bazıları uzaklaşması ile birlikte mekanik dirençlerde azalmalar olmaktadır. Isıl işlemden en önemli etken sıcaklıktır (Viitanen vd., 1994). 200 °C'nin üzerinde yapısal hasar, odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve gaz fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. Böylelikle ağaç malzeme yapısındaki bileşenler sıcaklığın etkisiyle tamamen bozulmaktadır. 270 °C'nin üzerinde odunun pirolizi ve yanma olayı başlamaktadır (Fengel ve Wegener, 1984).

Uygulanan termal işlem esnasında ağaç malzemede meydana gelen değişimlerin aşağıdaki faktörlerle yakından ilgilidir.

- Uygulanan termal işlemin en yüksek sıcaklığına ve maksimum süreye,
- Isıl işlemde uygulanan tüm sıcaklık seviyelerine,
- Isıl işlem uygulamasına ait toplam ısıl işlem süresine,
- Isıl işlem esnasında kullanılmış ise su buharına ve miktarına
- Gerçek ısıl işlem safhasından önce uygulanan kurutma işlemine,
- Ağaç türüne ve ağacın tüm karakteristik özelliklerine bağlıdır (Syrjanen ve Oy, 2001).

Ağaç malzemenin ısıtılması ile birlikte özellikle kimyasal yapısında ani değişimler oluşmakta ve bu değişimlerin şiddetinin belirlenmesinde bir takım güçlükler meydana gelmektedir. Ağaç malzeme yapısal özelliklerinden dolayı kompleks bir yapıya sahiptir. Isıl işlemde kaynaklanan ve ağaç malzemede oluşan tüm fiziksel, kimyasal ve mekanik değişimleri anlamak için odunun kimyasal bileşimini oluşturan temel yapıları ve kimyasal özelliklerini iyi tanımak önemlidir (Rapp, 2001; Korkut ve Kocaefe, 2009). Çünkü yapısında bulunan kimyasal maddeler ısı etkisiyle bir taraftan değişime uğrarken diğer taraftan yeni bir yapı kazanarak endotermik ve ekzotermik tepkiler meydana gelmektedir (Johansson, 2008).

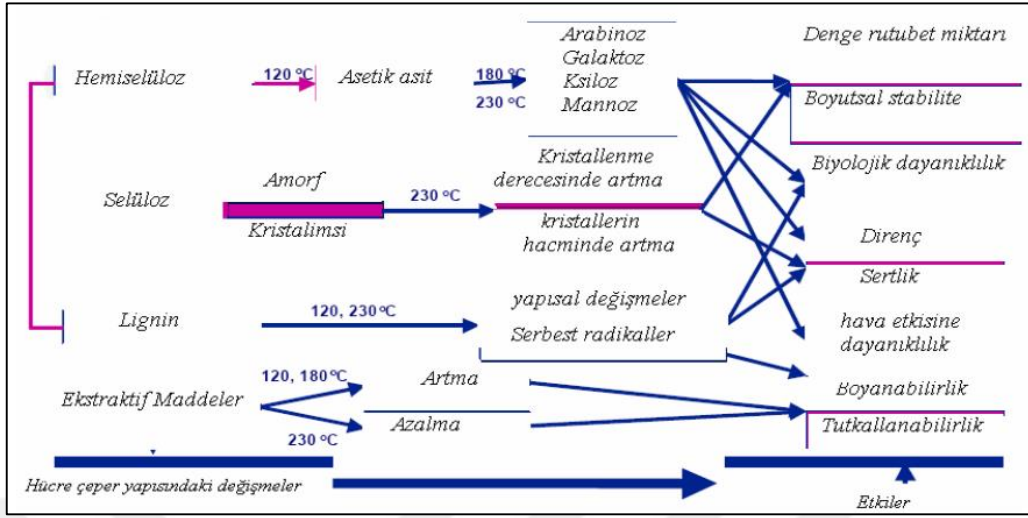
Selülozların bozunması hemiselülozlarla kıyaslandığında daha yüksek sıcaklıklarda başlamaktadır. Selülozlar bileşenlerin düşük sıcaklıkta degrade olması hemiselülozlara göre daha azdır. Yapılan ısıl işlem uygulamalarında sıcaklığın 250 °C'nin altındaki durumlarda, selüloz yapısının özellikle su buharı, karbondioksit gibi ortamlarda daha az seviyelerde bozunmaya uğradığı belirlenmiş, bununla beraber 200 °C'de vakum ortamında ısıl işleme maruz bırakılan ağaç malzemenin selüloz kristalitlerinin arttığı görülmüştür (Shafizadeh ve Bradbury, 1979; Roffael ve Schaller, 1971; Hill, 2006).

Hemiselülozlar ağaç malzemenin kuru ağırlığının % 20 - 35'ini oluşturan ve ısıl işlemle birlikte diğer ana bileşenlere göre daha fazla degrade olabilen, farklı 5 adet nötr halde sentezlenmiş heksoz (glikoz, mannoz, galaktoz) ve pentos (ksiloz ve arabinoz) şeklindeki polisakkaritlerden oluşan bileşiklerdir. Orta lamelde % 27, sekonder hücre çeperinin S1 tabakasında % 35 ve S2 tabakasında yaklaşık % 15 oranında bulunur. Ayrıca geniş yapraklılar iğne yapraklı ağaçlara göre daha fazla hemiselüloz içermektedir (Rowel, 1984; Fengel ve Wegener, 1984; Korkut ve Kocaefe, 2009; Sjöström, 1993).

Isıl işlem süresi ve sıcaklığı hemiselüloz bozunmasını etkileyen iki önemli faktördür, sıcaklık ve sürenin uzaması hemiselülozun degradasyonu fazlalaştırır. Ağaç malzemenin termal bozulmasının ilk aşaması süresince hemiselülozlardan daha az higroskop olan furfural polimerleri hemiselülozun parçalanmasıyla oluşurlar. Bu sıcaklıklarda hemiselülozun kaybıyla holoselüloz içeriği düşer. Selüloz bileşiği 150 °C ve üzerinde değişmeden kalabilir. Ağaç malzemedeki ksilan en reaktif hemiselülozdur ve çoğunlukla bozulmalara karşı çok duyarlıdır. Yayvan yapraklı ağaçlarda selülozdan sonra buharlaşırlar ve bozunma ürünlerinin en önemli kaynağıdır. Ağaç malzemedeki ısı etkisiyle buharlaşan furfural ve asetaldehittir. Hemiselülozların bozularak ayrılması odun yapılarının kristalizasyonu üzerinde bir artışa neden olmaktadır (Bourgeois vd., 1989).

Lignin, ağaç malzemedeki üçüncü büyük ana bileşen olan ve % 15 - 30 oranında bulunan kompleks amorf bir polimerdir. Hücre duvarının gelişimi boyunca en son gelişimi tamamlayan, hücre duvarının dayanımını artıran ve basma direncini geliştiren bir yapıdır. Isıl işlemler sırasında lignindeki fenilpropan birimlerinin arasındaki bağların bir kısmı zayıflayarak kopmaktadır. Lignin yapı itibarıyla diğer bileşenlere göre termal bozunmaya karşı en dayanıklı ana bileşen olarak kabul edilmektedir. Sıcaklığın 200 °C'yi aştığı durumlarda bozunmaya uğrayarak önce beta - aril eter bağları parçalanmaktadır. Ekstraktif maddelerin çoğu ısıl işlem esnasında ağaç malzemedeki buharlaşarak uzaklaşmaktadır. Buharlaşan bu maddelerden dolayı ağaç malzemedeki önemli kayıplar yaşanmaktadır. Bunun sonucunda da ağaç malzemedeki yoğunluk düşmekte ve mekanik dirençlerde de yoğunluğa bağlı olarak bir düşüş gözlemlenmektedir (Fengel ve Wegener, 1984; Kortelainen vd., 2006; Kamdem vd., 2002; Garrote vd., 1999).

Ekstraktif maddeler ağaç malzemenin hücre çeperinin esas bileşikleri dışında hücre çeperi ya da lümenine yerleşen organik ve inorganik (karbonhidratlar, tanenler, reçineler, nişasta ve yağlar, sepi maddeleri, fenollü ve boyalı maddeler vb.) maddelerdir. Bu maddeler büyük oranda sıcak ve soğuk su ortamında, alkol, benzen, aseton veya eter gibi kimyasallarla çözünebilmektedir. Isıl işlemle birlikte ağaç malzemedeki uzaklaşır veya degrade olurlar. Isıl işlemle ağaç malzemenin renginin koyulaşmasından hemiselülozlar ve ekstraktif maddeler sorumludur. Termal işleme maruz kalan odunun reaksiyon mekanizması Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Isıl işlemlenmiş odunun reaksiyon mekanizması (Korkut ve Kocaefe, 2009).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ağaç malzeme kendi karakteristik özelliklerinden dolayı bazı olumsuz dış etkilere karşı doğal dayanaklılığa sahip olsalar bile, uzun süre korunaksız olarak kullanılması durumunda bu bozucu etkilere karşı dayanması uzun süreli olamamaktadır. Ağaç malzemenin kullanım yerlerindeki dayanım ve kullanım süresini arttırmak için ağaç malzeme emprenye edilmekte veya yüzeyleri değişik türden koruyucu katmanlarla örtülmektedir (Sönmez ve Budakçı, 2004).

Toker (2007), yapmış olduğu çalışmada borlu bileşiklerden borik asit, boraks ve sodyum perborat'ın farklı konsantrasyona sahip sulu çözeltileriyle emprenye yaptığı kızılçam (*Pinus Brutia* Ten.) ve Doğu kayını (*Fagus Orientalis* Lipsky.) test örneklerinde, tam kuru yoğunluk değerlerinin, kontrol örneklerine göre daha yüksek değerler verdiğini bildirmiştir.

Bakır, krom ve bor minerallerinin sulu çözeltileri ile emprenye edilen ağaç malzemelerin yüzeyindeki bakır, krom, tuz solüsyonu sebebiyle ağaç malzemenin tahrip edici organizmalara ve çevresel faktörlere karşı yüksek direnç kazandığı bildirilmiştir (Sell ve Feist, 1985).

Kartal ve Ayrılmış (2005), tarafından yapılan çalışma, dış kısımda ekaba (*Etraberlinia bifoliolata* Harms) kaplamaları iç kısımda göknar (*Abies bornmulleriana* M.) odunundan hazırlanmış çitalar bor bileşikleri (borik asit ve disodyum oktoborat tetrahidrat) ile emprenye edilerek üretilen kontrtablanın beyaz ve kahverengi mantar ile termitlere karşı dirençlerini belirlemek için çalışma yapmışlardır. Deneyler sonucunda bor bileşiklerinin ekaba kaplamalar üzerinde beyaz ve kahverengi mantarlara ve termitlere karşı iyi bir koruma sağladıkları belirlenmiş, çürüklük, termit ve yanma tehlikesinin olduğu yerlerde bor bileşiklerinin kullanılması tavsiye edilmiştir.

Şahin Kol (2010), yapmış olduğu çalışmada çam ve göknar odunlarını ThermoWood yöntemine göre ısıtma işlem yaptıktan sonra ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Deney sonucunda yapılan değerlendirmelere göre ısıtma işleminin kontrol örnekleri ile kıyaslandığında odununun eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve şok direncini azalttığı ancak liflere paralel basınç direncinde bir miktar artışa neden olduğunu belirtmiştir.

Isıtma işleminin Sahil çamı ve okaliptus odun örneklerinin teknolojik özelliklere etkisinin belirlendiği bir çalışmada, buhar koruması altında yapılan ısıtma işleme uygulamalarında 190 -

210 °C’de yapılan ısıt işlemlerde, denge rutubet miktarı çam örneklerde % 46, okaliptüs örneklerde ise % 61 oranında düştüğü, bununla beraber boyutsal stabilizasyonun sağlandığı ve yüzey ıslanabilirliğinin azaldığı belirtilmiştir (Esteves vd., 2007).

Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odunu 120, 150 ve 180 °C sıcaklıklarda ve değişen sürelerde (2, 6 ve 10 saat) termal muamele uygulamalarından sonra yapılan incelemelerde en fazla fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimin 180°C’de 10 saat süre ile ısıt işlem uygulanmış örneklerde belirlenmiştir (Korkut vd., 2008a).

Ünsal vd., (2003), yapmış oldukları çalışmalarında termal uygulamanın okaliptüs ağacının teknolojik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deney örneklerinden elde edilen sonuçlar kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre ısıt işlem görmüş örneklerin yoğunluk, şişme ve sertlik değerleri ısıt işlem sıcaklığı ve süresinin artmasıyla azalırken uygulanan ısıt işlem ağaç malzemedeki renk koyulaşmalarına neden olduğu belirlenmiştir.

Sıcaklığın neden olduğu birçok kimyasal değişimler ağaç malzemeye uygulanan ısıt işlem esnasında gerçekleşirken uygulanan sıcaklıkla paralel şekilde ağaç malzemenin rengi koyulaşır, denge rutubeti önemli derecede düşer, ayrıca boyutsal kararlılık kazanır. Bununla beraber ısıt işlemin uygulanmış ağaç malzemenin özelliklerine ve sıcaklığına bağlı olarak ağaç malzeme biyolojik direnç kazanır, direnç özelliklerde ise sıcaklığın artmasına bağlı olarak düşüşler oluşur. Bu durum ağaç malzemenin mekanik özellik gerektiren yerlerde kullanımı için bir dezavantaj oluşturur (Rapp, 2001).

Huş ağacı ile ilgili yapılan bir çalışmada; 175 ve 200 °C sıcaklıklarda 1, 3 ve 10 saat muamele edilen örneklerin renk değişimleri ve direnç özellikleri üzerine ısıt işlemin etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonunda fiziksel özelliklerle mekanik özelliklerde meydana gelen değişimlerin arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı belirlenirken 200 °C’ de ve 3 saat süre ile uygulanan ısıt işlemleri örneklerde % 43’lük bir direnç düşüşü belirlenmiştir (Johansson ve Morén, 2006).

Yıldız (2002), yapmış olduğu çalışmada ısıt işlem görmüş kayın ve Doğu ladini odunlarını normal atmosferik şartlar altında 130, 150, 180 ve 200 °C’de 2, 6 ve 10 saat süre ile ısıt işleme tabi tutmuştur. Deney sonucunda fiziksel özelliklerden, boyutsal stabilizasyonda, ısıt işlemin memnuniyet verici olduğu bildirilmiştir. Mekanik ve teknolojik özellik değerlerinin

genellikle maruz olduğu şartlar ve sıcaklığın artmasıyla bir düşüşe neden olduğu kimyasal özelliklerde ise, ısıtma işlem süresince en çok holoselülozların bozulduğu bildirmiştir.

Farklı bölgelerde yetişen iki farklı bambu (*Phyllostachys viridiglaucescens*) ve (*Phyllostachys pubescens*) odunları 200 °C sıcaklıklarda ısıtma işlemi tabii tutulduktan sonra çürüklük saldırılarına (Basidiomyceteslere) karşı iyi bir direnç gösterdiği belirlenmiş ve bu direnci kazanması için 220 °C 2 saat süreyle ısıtma muamelesinin yeterli olacağı belirlenmiştir. Eğilme ve şok dirençlerinde kayda değer düşüşlerin olduğu buna kıyasla, eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde önemsenmeyecek miktarda bir kaybın olduğu vurgulanmıştır (Leithoff ve Peek, 2001).

Ladin, çam, köknar, titrek kavak ve huş ağacı 200 °C ve üzeri değişik sıcaklıklarda 3 saat ısıtma işlemi tabii tutulmuşlardır. Ladin odununda ısıtma işlemi bağlı olarak kontrol örneklerine göre kırılma modülünde % 49'lük bir düşme gerçekleşirken, elastikiyet modülünde % 14'lük bir azalma meydana gelmiştir. Çam türünde ise kırılma ve elastikiyet modüllerinde sıcaklığa bağlı olarak kırılmada % 28, % 22 ve % 26 oranlarında düşme, elastikiyet modülündeki azalma çok az gerçekleşmiştir. Köknar odununda sıcaklığa bağlı olarak kırılma modülünde değişim olmazken, elastikiyet modülünde % 25 ve % 17'lik bir artma meydana gelmiştir. Titrek kavak odununda kırılma modülünde kontrol örneklerine göre bir azalma meydana gelirken, elastikiyet modülünde % 15'lik bir artış gözlemlenmiştir. Huş ağacında ise sıcaklığa bağlı olarak kırılma modülünde % 6, elastikiyet modülünde ise % 30'lük bir artmanın meydana geldiği belirtilmiştir (Shi vd., 2007).

Bekhta ve Niemz (2003), yapmış oldukları çalışmada farklı sıcaklıklarda ısıtma işlemi uygulanmış kayın odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikler üzerine ısıtma işlem sıcaklığının etkileri incelemiştir. Çalışma sonucunda direnç değerlerinde azalmaların görüldüğü, ağaç malzemenin renklerinde koyulaşmanın arttığı ve ağaç malzemenin boyutsal kararlılık kazandığı belirtilmiştir. Uygulanan sıcaklığın 200 °C'ye yaklaşmasıyla renk değişimlerinde artışların olduğu ve bu renk özelliklerindeki farklılaşmaların uzun sürelerde daha fazla yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bununla beraber eğilme direnci değerlerinde % 5-40 arasında düşüşlerin gerçekleştiği, elastikiyet modülünde ise düşüşlerin % 4-9 arasında gerçekleştiği bildirilmiştir.

Baysal (2002), yapmış olduğu çalışmada cennet ağacının (*Ailantus altissima* Mill.) bor bileşiklerinin sulu çözeltisi ile empenyesinden sonra fiziksel özellikleri ve yanma özelliklerini incelemiştir ve sonuçları kontrol örnekleri ile karşılaştırdığında yanma sonucu oluşan ağırlık kaybı

bakımından en etkili kimyasal maddenin % 63'lük değerle borik asit ile boraks karışımından elde edildiğini bildirmiştir.

Son zamanlarda çevre ve insan sağlığı bilinçlenmesindeki artışların ve bu yönde yapılan yasal düzenlemelerin etkisi sonucunda çevre ve insan sağlığı bakımından zararlı olmayan emprenye maddelerinin kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Bunlardan biriside bor mineralinin sulu çözeltilerdir. Borlu emprenye maddeleri diğer emprenye kimyasalları ile kıyaslandığında daha az seviyelerde zararlıdır. İnsan ve çevre sağlığı açısından zararlı kimyasallar içermezken bir çok alanda özellikle yanmaya karşı direnç gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Ayrıca borlu bileşikler çeşitli yöntemlerle ağaç malzemeye uygulanabilmekte ancak, yüksek oranda çözünebilir olması nedeniyle ağaç malzemenin kolaylıkla uzaklaşabilmektedir (Kartal ve Imamura, 2004).

Kartal (1999), yapmış olduğu bir çalışmada, CCA ve CCB kimyasalları ile muamele ettiği Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) malzemelerde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Bu maksatla çalışmasında emprenye işlemlerinde %1 konsantrasyonda hazırlanan çözeltileri kullanmış ve bu emprenye maddelerinin sarıçam odununun mekanik dirençleri üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak emprenye maddelerinin ağaç malzemenin mekanik özelliklerini etkilediği fakat bu değişimin istatistiksel olarak önemli düzeyde olmadığı belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada ülkemizde bir çok bölgemizde yetişen karaçam (*Pinus nigra* Arnold) odunu deney materyali olarak tercih edilmiştir. Ağaçışleri ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılması ve doğal olarak bolca yetişmesinden dolayı bu ağaç türü tercih edilmiştir. Deneyleerde kullanılan karaçam odunu Kütahya-Simav'da faaliyet gösteren bir kereste fabrikasından hava kurusu halde satın alınarak temin edilmiştir. Keresteler seçilirken, radyal ve teğet kesitleri içermesine, budaksız, çatlaksız, lif kıvrıklığı oluşmamış, düzgün ve dengeli büyümüş birinci sınıf keresteler olmasına özen gösterilmiştir.

3.1.1. Karaçam hakkında genel bilgiler

Ülkemizde ve dünyada birçok bölgede yetişebilen karaçam ağacı 40 metre kadar boy ve 2 metreye yakın çapa sahip bir ağaç türüdür. Genç haldeki görünüşleri piramit şeklinde, gelişmiş olanlar geniş şemsiye tepeli, kabukçukları erken dönemlerde pürüzlü ve kahverenginde, gelişmiş olanlarda ise kalın ve derin yarıkları bulunan koyu esmer kahverenginde, genç sürgünler düzgün, parlak, sarımsı, yeşil renkte iken ilerleyen zamanlarda sarımsı kahverengini alarak birkaç yıl sonra pulcuklar oluşmaya başlamaktadır. Dallar düzenli çevreler görünümünde olup az yukarı doğrudur (Acatay, 1956). Dünyanın birçok bölgesinde geniş yetiştirme alanlarına sahipken bazı bölgelerde de parçalı küçük alanlar halinde yetişen Karaçam asıl olarak Güney Avrupa'da yetişmekte (Anşin, 1988; Yaltırık, 1993; Kaya ve Teremit, 1994) ve buralardan ülkemize kadar yayılmaktadır.

Botanik özellikleri

Genel olarak 30 - 40 metreye kadar, bazende 50 metreye kadar boy alabilen bir ağaç türüdür. Daha çok kalın dalları olup, bilhassa yaşlı bireylerde tepe geniş ve dağıntıdır. Dış kabukları erken dönemlerde grimsi bir renk halinde görünürken, ağacın yaşı ilerledikçe yüzeylerinde kalın ve derin çatlaklıklar oluşur. İğne yapraklar koyu yeşil ve serttir. 9 - 16 cm uzunluğunda olan iğne yapraklar sürgün uçlarında tomurcuğun etrafında çanak biçiminde bir boşluk meydana getirirler. Kozalakları 5 - 8 cm boyutlarında ve sapsızdır. Kozalağın özellikle uç kısmındaki pulların çoğunun göbeğinin küçük dikencikleri vardır. Kozalaklar olgunlaştıkça sarımsı kahverengi bir hal alırken cilalı ve parlak görünmektedir.

Karaçam ağacı, hem kuraklığa ve sıcaklığa hem de soğuğa karşı dayanıklı bir türdür. Bolca yağış alan bölgelerde iyi bir büyüme sergiler iken kurak bölgelerde de yetişebilmektedir. Karaçam'ın odunu iyi kalitede olup sert ve dayanıklıdır. Bu ağaç türüne ait keresteler, koruyucu önlemler alındığında, özellikle pencere doğramalarında ve çatı kirişlerinde kullanılmaktadır (Yaltırık,1993; Anşin, 1988). Karaçam ağacının genel olarak yetişen 5 türü mevcuttur (Alptekin, 1986; Anşin, 1988).

- *Pinusnigra* Arnold. subsp. *nigra* (Avusturya Karaçamı)
- *Pinusnigra* Arnold. subsp. *nigra* (Poiret) Maire (Korsika Karaçamı)
- *Pinusnigra* Arnold. subsp. *dalmatica* (Vis.) Franco (Dalmaçya Karaçamı)
- *Pinusnigra* Arnold. subsp. *salzmanni* (Dunal) Franco (Pirene Karaçamı)
- *Pinusnigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb) Holmboe (Karaçam)

Makroskobik özellikleri

Düzensiz büyüme göstermiş olan ağaç malzemenin kırmızı ve sarımsı bir diri odunu vardır. Öz odunları kuru renge sahiptir. Yetişkin ağaçlarda dar yapılı halde bulunan diri odun, genç odunlarda buna kıyasla daha geniş halde bulunur. Bu ağaca ait öz ışınlar radyal yüzeyde görünemeyecek kadar küçük halde bulunurken, teğet yüzeyde de kahverengi şeritler görünmektedir. Bu ağaç türündedir odunda aktif olan reçine kanalları, öz odunda reçine ve tylosid denilen zarcıklarla tıkalıdır (Göker,1977).

Mikroskobik özellikler

Karaçam odununa ait yapılan çalışmada Dursunbey ve Elekdağ bölgelerine ait Karaçam (*Pinusnigra* var. *Pallasina*) odununa ait ilkbahar odunu traheidlerinin öz ışını paranzim hücreleri ile karşılaşma yerlerinde geniş pencere şeklinde geçitler bulunmaktadır. Geniş pencere şeklindeki geçitlerin açıklıkları ortalaması Dursunbey için 26 μ , Elekdağ karaçamlarının ortalaması ise 24 μ çaptadır. Radyal kesitte ilkbahar odununda bordürlü geçitlerin çapları Dursunbey karaçamlarında ortalama 22 μ , Elekdağ karaçamlarında ise 23 μ , yaz odunu bordürlü geçitlerinin çapları Dursunbey karaçamlarında ortalama 9,55 μ , Elekdağ karaçamlarında ise 9,10 μ dur. Enine kesitte boyuna reçine kanallarının çapları Dursunbey karaçamlarında ortalama 124 μ , Elekdağ karaçamlarında ise 119,8 μ 'dir. 1mm² deki traheid sayısı Dursunbey karaçamlarında ortalama 998, Elekdağ karaçamlarında ise 1013 adettir. Teğet kesitte 1cm² ye giren yatay reçine kanalı sayısı Dursunbey karaçamlarında ortalama 56, elekdağ

karaçamlarında ise bu sayı 53 adettir. Tek sıralı öz ışınlarının yüksekliği Dursunbey karaçamlarında maksimum 460 μ , Elekdağ karaçamlarında ise 430 μ 'dur. 1 mm² deki öz ışını sayısı Dursunbey karaçamlarında ortalama 21,9, Elekdağ karaçamlarında ise 25 adettir. 1 mm² deki öz ışını hücre sayısı Dursunbey karaçamları için ortalama 188, Elekdağ karaçamları için 167 adettir. Traheid uzunları Dursunbey karaçamları için ortalama 4,20 mm, elekdağ karaçamları için 4,06 mm'dir. Traheid genişliği ise Dursunbey karaçamları için ortalama 48 μ , hücre çeperi kalınlığı ortalama 9 μ iken bu durum Elekdağ karaçamları için sırasıyla 47 μ ve 10 μ dur (Göker, 1977).

Fiziksel ve mekaniksel özellikleri

Karaçam'ın bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri Çizelge 3.1'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Karaçam'ın bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri (Örs, 1986).

Yıllık halka genişliği (mm)	1,57
Tam kuru yoğunluk (g/cm ³)	0,52
Hava kuru yoğunluk (g/cm ³)	0,56
Hacim yoğunluk değeri (gr/cm ³)	0,456
Daralma yüzdeleri (%)	
Liflere paralel	0,23
Radyal yönde daralma (%)	5,58
Teğet yönde daralma (%)	8,19
Hacmen daralma (%)	13,9
Liflere paralel basınç direnci (N/mm ²)	47,9
Eğilme direnci(N/mm ²)	109,6
Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm ²)	10000

3.1.2. Borlu bileşikler

Borik asit

Borik asit kolemanit cevherinden elde edilmektedir. Kolemanit, kalsinasyon fırınına verilmeden önce çeneli ve çekiçli kırıcılarla kırılarak ufalanır. Kalsinasyon fırınında billur suyun bir kısmı depolanır ve pünomatik konveyörle işletmeye sevk edilir. Reaktörler içinde kolemanit, ana çözücü ve sülfürik asitle muamele edilir (Hafizoğlu vd., 1994).

$2CaO \cdot 3B_2O_3 + 2H_2SO_4 \rightarrow 6H_3BO_3 + 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$ indisli yaz reaksiyon denkleminde göre çözelti içinde meydana gelen borik asit içerdiği gibis çamurundan tasfiye

edilmek üzere filtre edilir ve berrak çözelti kristalizatörlere sevk edilir. Kristalleşen borik asit çözeltisinden santrifüj edilerek ayrılırken, çözelti yeniden reaksiyona sokulmak üzere depolanır. Rutubetli borik asit ise kurutulmak üzere kurutucuya gönderilir. Kurutulan borik asit rutubete dayanıklı 10 ve 30'ar kg'lık torbalara konularak arz edilir. Borik asitin kullanım yerleri arasında, seramik, kozmetik, ilaç sanayi, meyvecilik, konservecilik, optik camların yapımı ve emprenye endüstrisi önem arz etmektedir (Hafizoğlu vd., 1994).

Çizelge 3.2. Borik asitin kimyasal ve fiziksel özellikleri (Özçifçi, 2001).

Bileşimi	%56,30 $\frac{1}{2}$ B ₂ O ₃ % 43,70 H ₂ O
Molekül ağırlığı	61,84
Özgül ağırlığı	1,435 g/cm ³
Dökme ağırlığı	780-815 kg/m ³
Erime noktası	171 °C

Boraks

Boraks tinkal cevherinden üretilmektedir. Tinkal konsantresi bir paletli besleyici ve elevatörle reaktöre beslenir. Burada ana çözeltisi içinde sıcaklıkta çözünme işlemi tamamlanır. Çözeltinin içerdiği kil, tinkerde floküle edici bir madde ile çöktürüldükten sonra berrak kısım tekrar filtreden geçirilir ve kristallendirilmek üzere kristalizatöre gönderilir. Kristal boraks, ana çözeltisinden santrifüj edilerek ayrılır. Ana çözelti tekrar reaksiyona sokulmak üzere depolanırken, rutubetli kristaller bir nakil bandına dökülerek kurutmaya sevk edilir (Hafizoğlu vd., 1994).

Boraks içerdiği billur suyuna göre dekahidrat, pentahidrat ve anhidir olarak üç tipe ayrılır. Deterjan, sabun, temizlik malzemesi, lehimcilik, kalaycılık, fotoğrafçılık, kozmetik, borosilikat cam malzemeler, yalıtım cam pamuğu, porselen ve emaye sanayi, gübre, yangın söndürücü, çimento ve deri endüstrisi, elektrik izolatörleri üretimi, flotasyon maddeleri, tekstil boyları, insektisitler, emprenye endüstrisi, yapıştırıcı üretimi en çok çeşitli kullanım yerleri arasında sayılabilir (Hafizoğlu vd., 1994).

Çizelge 3.3. Boraksın kimyasal özellikleri (Özçifçi, 2001).

Bileşimi	% 21,28 Na ₂ O % 47,80 B ₂ O ₃ % 30,92 H ₂ O
Molekül ağırlığı	291,3
Özgül ağırlığı	1,815g/cm ³
Dökme ağırlığı	980 kg/m ³
Erime noktası	741°C

3.2. Metot

3.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması

Çalışma kapsamında kullanılan karaçam keresteler, Kütahya - Simav'da faaliyet gösteren kereste fabrikasından tesadüfi yöntemle seçilerek, satın alma yöntemiyle temin edilmiştir. Karaçam kerestelerden elde edilen deney örnekleri, büyüme kusurları barındırmayan 1. kalitede, lif kıvrıklığı olmayan, herhangi bir çatlak, budak veya kusur içermeyen, bozunmamış, radyal ve teğet kesitleri içerecek şekilde diri odun kısımlarından TS 2470 esaslarına göre hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örnekleri 30 gün süre ile aynı odada bekletilmeye bırakılmıştır. Daha sonra tüm deney örnekleri emprenye işlemi öncesi % 65 ± 5 bağıl nem ve 20 ± 2 °C şartlarını sahip iklimlendirme dolabında denge rutubeti miktarına ulaşıncaya kadar bekletilmiş ve sonra emprenye işlemi uygulanmıştır. Şekil 3.2'de hazırlanan deney örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Hazırlanan deney örnekleri.

3.2.2. Emprenye işlemi

Emprenye işlemi ASTM D 1413-76 standardına göre yapılmıştır. Emprenye işleminden önce tüm örneklerin ağırlıkları 0,01 mm duyarlıklı analitik terazi ile tartıldıktan sonra 103 ± 2 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa ulaşuncaya kadar bekletilmiştir. Daha sonra tam kuru ağırlıkları $\pm 0,01$ gr duyarlıklı analitik terazi yardımıyla ve boyutları dijital kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Bu çalışmada % 1, % 3 ve % 5 boraks ve borik asit çözeltileri kullanılmış ve test örnekleri ısı işleminden önce bu çözeltilerde 2 gün uzun süreli (48 saat) daldırma yöntemine göre bekletilmiştir. Şekil 3.2’de daldırma yöntemiyle örneklerin emprenye edilmesi gösterilmiştir. Emprenye işleminden önce ve sonra her bir gruptaki çözeltilerin pH değerleri ve yoğunlukları belirlenmiştir.



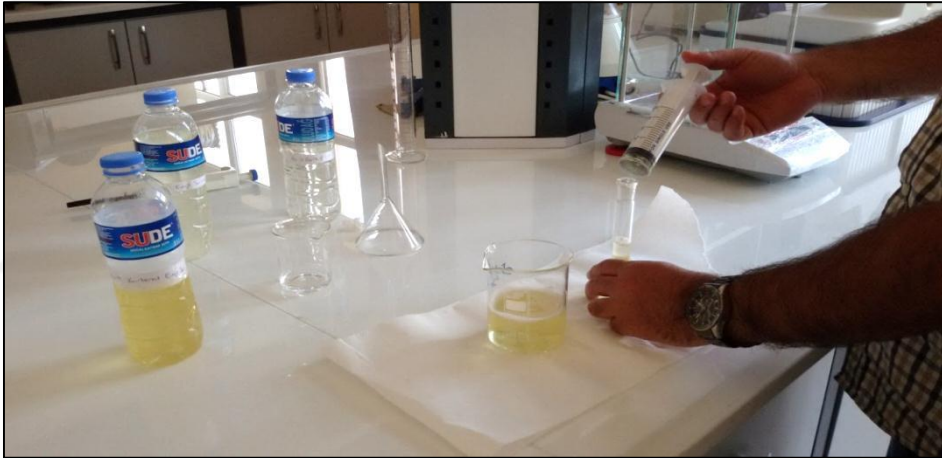
Şekil 3.2. Örneklerin empenye edilmesi.



Şekil 3.3. Empenye sonrası örneklerin görüntüsü.



Şekil 3.4. Kullanılan çözeltilerin pH değerlerinin belirlenmesi.



Şekil 3.5. Çözeltilerin yoğunluklarının belirlenmesi.

3.2.3. Örneklerde retensiyon miktarının belirlenmesi

Örneklerin ağırlıkları emprenye öncesi ve sonrası $\pm 0,01$ g duyarlıklı analitik terazi yardımıyla tartılmış ve emprenye maddesinin retensiyon miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$R = \frac{G \times C}{V} \times 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.1)$$

Burada,

$$G = T_2 - T_1$$

T_2 = Emprenye sonrası örnek ağırlığı (g)

T_1 = Emprenye öncesi örnek ağırlığı (g)

C = Çözelti konsantrasyonu (%)

V = Numune hacmi (cm³)

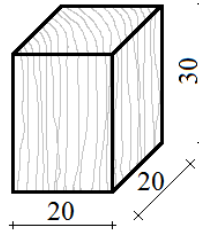
3.2.4. Isıl işlem uygulaması

Isıl işlemden önce her bir deney grubundaki örneklerden ilgili standartlara göre 10 tane kesilen test örnekleri emprenye işleminden sonra % 65±5 bağıl nem ve 20±3 °C'de iklimlendirme cihazında bekletilerek denge rutubete gelmeleri sağlanmıştır. Bu bekletmeden sonra ısı işlem uygulaması gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada örnekler 103±2 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar ön kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu aşamadan sonra örnekler kurutma fırınından alınarak 0,01g duyarlılıklı elektronik terazide tartılmış ve boyutları tespit edilmiştir. Isıl işlem 4 ayrı sıcaklıkta (150, 170,190, 210 °C) ve 3 saat süre ile normal basınç altında uygulanmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan deney örnekleri ani sıcaklık değişimlerinden olumsuz etkilenmemeleri için fırın sıcaklığı kademeli olarak 6 saatte kapağı kapalı şekilde soğumaya bırakılmıştır. Isıl işlem ±1 °C hassasiyetinde ve elle kontrol edilen bir etüv fırında normal atmosfer şartlarında uygulanmıştır. Isıl işlem uygulamasından sonra etüvden çıkarılan örneklerin ağırlıkları ve boyutları belirlenerek kayıt altına alınmıştır. Bu işlemden sonra deney örneklerinin tümü normal oda koşullarında 10 gün süre ile bekletilmiştir. Örnekler daha sonra denge rutubete getirilmek üzere deney anına kadar % 65±5 bağıl nem ve 20±3 °C'de iklimlendirme cihazında bekletilmiştir.

3.2.5. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Hava Kuruşu Yoğunluk

Hava kuruşu yoğunluk değerleri TS 2472 (1976)'ye uyularak belirlenmiştir. Buna göre deney örnekleri 20 ×20 × 30 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örnekleri 20±3 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nem şartlarında bekletilerek değişmez ağırlığa ve boyutsal stabilizeye ulaştıktan sonra, ±0,01g duyarlılıklı analitik terazide tartılmış, boyutları ±0,01mm duyarlılıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra hava kuruşu yoğunluklar aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır. Hava kuruşu yoğunluğun belirlenmesinde kullanılan emprenyeli ahşap malzemelerin ölçüleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Hava kuru yoğunluğun belirlenmesinde kullanılacak deney numunesi.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (3.2)$$

Burada;

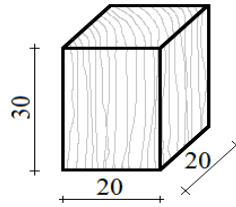
δ_{12} = Örneklere ait hava kuru yoğunluk değeri (g/cm³)

M_{12} = Örneklerin ağırlıkları (g)

V_{12} = Örneklerin hacimleri (cm³)

Boyutsal değişim (hacimsel şişme)

Hacimsel şişme deney örnekleri TS 4084 (1983) ve TS 4086 (1983) standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Buna göre radyal ve teğet kesitleri tam olarak içeren 20 x 20 x 30 mm ebatlarında deney örnekleri hazırlanmıştır. Örnekler önce etüv fırında 103±2 °C’de bekletilmiş ve tam kuru haldeki ağırlıkları ve boyutları tespit edildikten sonra deney örnekleri destile suda tamamen gömülü olacak şekilde boyutları ve ağırlıkları sabit oluncaya kadar batırılmıştır. Bu işlemlerden sonra teğet, radyal ve liflere paralel yönlerdeki rutubetli ölçüleri belirlenmiş ve aşağıdaki eşitlikten yararlanarak hacimsel şişme değerleri belirlenmiştir. Şekil 3.7’de hacimsel şişme deneylerinde kullanılan örneklerin şekil ve ölçüleri verilmiştir.



Şekil 3.7. Hacimsel şişme deney örneği.

$$H\text{Ş}(\%) = \left(\frac{(I_{t\max} \times I_{r\max} \times I_{a\max}) - (I_{t\min} \times I_{r\min} \times I_{a\min})}{I_{t\min} \times I_{r\min} \times I_{a\min}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

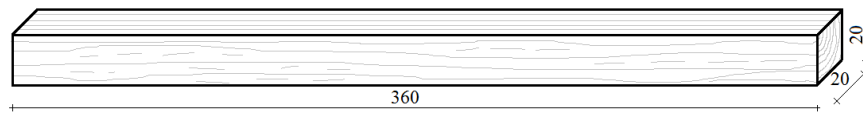
Burada,

$I_{t\max}$, $I_{r\max}$, $I_{a\max}$ deney parçasının tam doymuş haldeki sırasıyla teğet, radyal ve boyuna yöndeki mm olarak ölçüleridir. $I_{t\min}$, $I_{r\min}$, $I_{a\min}$ ise deney parçasının tam kuru haldeki sırasıyla teğet, radyal ve liflere paralel yöndeki mm olarak ölçüleridir.

3.2.6. Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Eğilme Direnci

Eğilme deneyleri TS 2474 (1976) esaslarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla 20 x 20x360 mm boyutlarında deney örneği elde edilmiştir. Deneylerin yapılması esnasında makinanın ilerleme hızı 2 mm/dk olarak belirlenmiştir. Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri 0,01 mm hassasiyetindeki dijital kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen sayısal veriler Newton (N) cinsinden kaydedilerek eğilme direnci aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır. Şekil 3.8’de eğilme direnci ve eğilmeye elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesinde kullanılan deney numunesinin şekli ve ölçüleri verilirken Şekil 3.9’da eğilme direncinin belirlenmesi için yapılan deneyin yapılışı verilmiştir.



Şekil 3.8. Eğilme direnci testinin belirlenmesinde kullanılan deney numunesi.

$$\sigma_e = \frac{3xF_{\max} \times L_s}{2xaxb^2} \quad (3.4)$$

Burada;

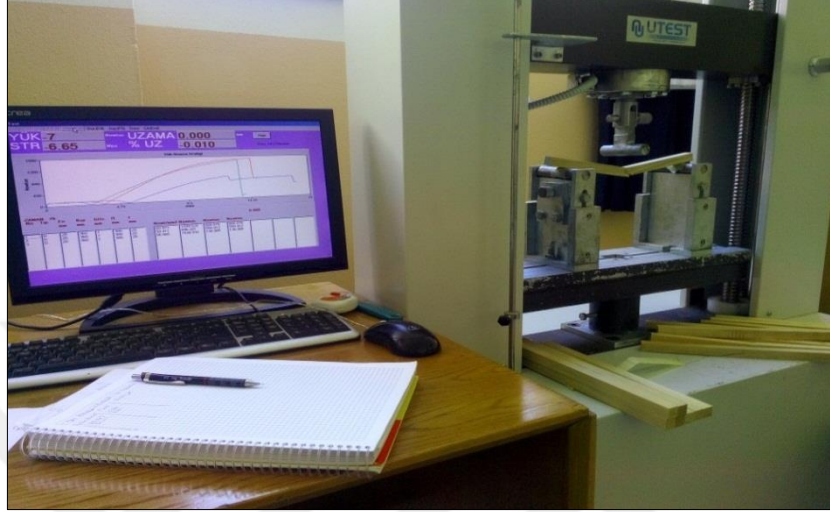
σ_e = Eğilme direnci (N/mm²)

F_{\max} = Kırılma anındaki kuvvet (N)

L_s =Dayanak açıklığı (mm)

a =Örnek genişliği (mm)

b =Örnek kalınlığı (mm)



Şekil 3.9. Örneklerin eğilme direncinin belirlenmesi.

Eğilmede Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülü değerlerinin tespit edilmesinde eğilme dirençlerinin belirlendiği test örnekleri kullanılmış ve elastikiyet modülünün belirlenmesinde TS 2478 (1976) standardına uyulmuştur. Eğilmede elastikiyet modülü, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$E_m = \frac{\Delta_F \cdot L_s^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta_f} \quad (3.5)$$

Burada;

E_m =Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²)

Δ_F = Elastikiyet bölgesindeki kuvvet farkı (N)

L_s = Destek açıklığı (mm)

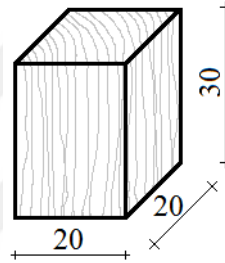
b = Örnek genişliği (mm)

h = Örnek yüksekliği (mm)

Δ_f = Eğilme miktarı (mm)

Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel basınç direnci deneyi TS 2595 (1977) standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri 0.01 mm hassasiyetindeki dijital kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Liflere paralel basınç direncinin belirlenmesinde makinanın ilerleme hızı 2 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Denemeler sonucunda, kırılma anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilerek liflere paralel basınç direnci aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Liflere paralel basınç direncinin belirlenmesindeki deney numunesinin şekli ve boyutları Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Liflere paralel basınç direncinin belirlenmesindeki deney numunesi.

$$\sigma_b = \frac{F_{\max}}{a \cdot b} \quad (3.6)$$

σ_b =Liflere paralel basınç direnci (N/mm²)

F_{\max} =Kırılmadaki maksimum kuvvet (N)

a =Deney parçasının kalınlığı (mm)

b = Deney parçasının genişliği (mm)

4. BULGULAR

4.1. Emprenye Çözeltilerinin Özellikleri

Karaçam odunundan elde edilen deney örneklerinin emprenye edilmesi işlerinde kullanılan çözeltilerin özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan emprenye çözeltilerinin özellikleri.

Emprenye maddesi	Çözücü türü	Çözelti konsantrasyonu (%)	pH		Yoğunluk (g/ml)	
			E.Ö	E.S	E.Ö	E.S
Boraks	Destile su	1	9,36	9,24	1,005	1,002
	Destile su	3	9,41	9,33	1,012	1,009
	Destile su	5	9,46	9,35	1,021	1,020
Borik asit	Destile su	1	6,97	6,67	1,003	1,003
	Destile su	3	5,97	5,68	1,011	1,004
	Destile su	5	5,13	5,22	1,015	1,014

E.Ö:Emprenye öncesi, E.S:Emprenye sonrası

Bu sonuçlara göre emprenye kimyasallarının emprenye işleminin öncesinde ve sonrasında belirlenen pH ve yoğunluk değerleri önemli ölçüde değişimler olmamıştır. Bu durum her emprenye işleminde yeni çözeltiler hazırlanmasından kaynaklanmış olabilir.

4.2. Retensiyon Miktarı

Emprenye çözeltilerinin retensiyon miktarları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Retensiyon miktarı.

Emprenye maddesi	Çözelti Konsantrasyonu (%)	Retensiyon miktarı (kg/m ³)
Boraks	1	3,44
	3	9,32
	5	14,27
Borik asit	1	2,93
	3	8,61
	5	15,72

Buna göre retensiyon miktarı boraks ve borik asitte en yüksek % 5 çözeltilerde emprenye edilen örneklerde sırasıyla % 14,27 ve % 15,72 olarak tespit edilmiştir.

4.3. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular

4.3.1. Hava kurusu yoğunluk

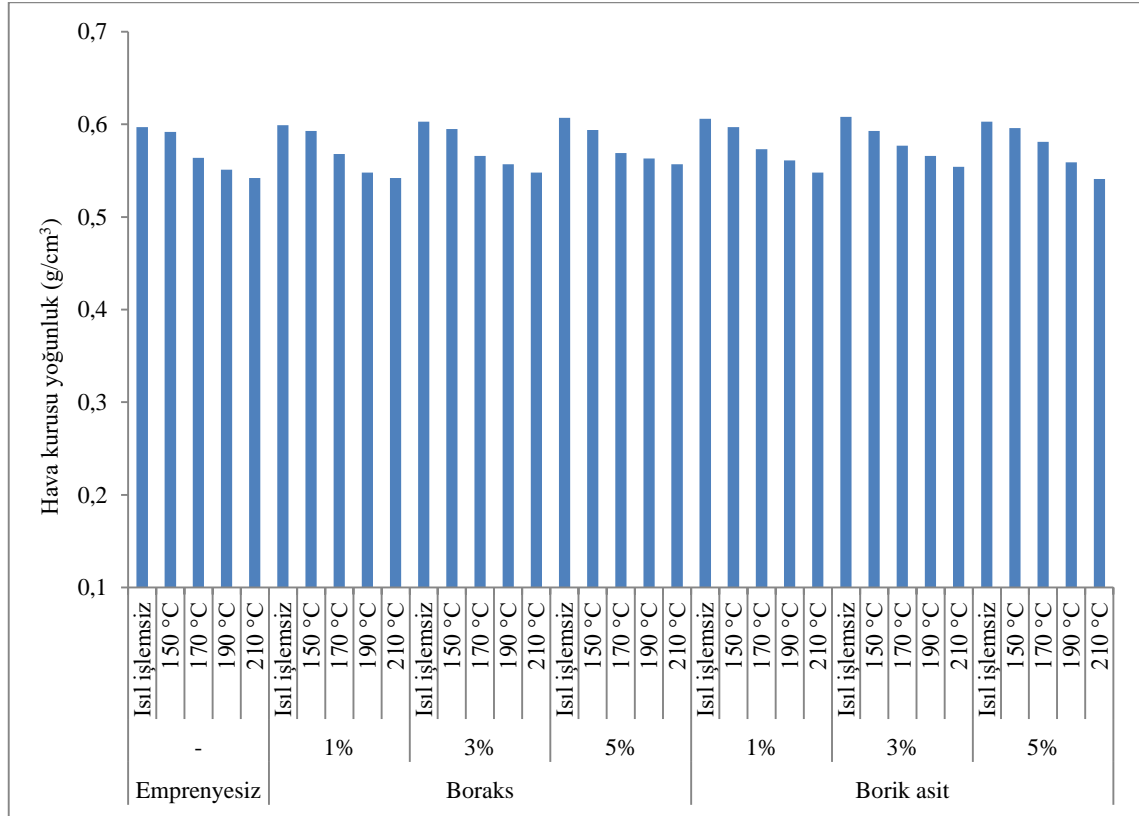
Deneylerde elde edilen örneklerin hava kurusu yoğunluklarına ait istatistiksel değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deney örneklerine ait hava kurusu yoğunluk değerleri.

Emprenye maddesi	ÇK (%)	Isıl işlem	X_{ort} (g/cm ³)	X_{min} (g/cm ³)	X_{max} (g/cm ³)	SS
Emprenyesiz	-	Isıl işlemsiz	0,597	0,543	0,675	0,043
		150°C	0,592	0,549	0,636	0,041
		170°C	0,564	0,489	0,664	0,095
		190°C	0,551	0,447	0,642	0,055
		210°C	0,542	0,428	0,608	0,051
Boraks	1	Isıl işlemsiz	0,599	0,502	0,637	0,048
		150°C	0,593	0,435	0,661	0,060
		170°C	0,568	0,440	0,619	0,069
		190°C	0,548	0,447	0,624	0,053
		210°C	0,542	0,461	0,650	0,053
	3	Isıl işlemsiz	0,603	0,496	0,705	0,063
		150°C	0,595	0,434	0,673	0,070
		170°C	0,566	0,505	0,616	0,040
		190°C	0,557	0,498	0,619	0,038
		210°C	0,548	0,501	0,603	0,063
	5	Isıl işlemsiz	0,607	0,482	0,702	0,083
		150°C	0,594	0,449	0,713	0,087
		170°C	0,569	0,451	0,677	0,067
		190°C	0,563	0,504	0,610	0,033
		210°C	0,557	0,482	0,621	0,039
Borik asit	1	Isıl işlemsiz	0,606	0,476	0,690	0,069
		150°C	0,597	0,486	0,645	0,042
		170°C	0,573	0,451	0,664	0,078
		190°C	0,561	0,452	0,652	0,053
		210°C	0,548	0,438	0,642	0,058
	3	Isıl işlemsiz	0,608	0,446	0,663	0,060
		150°C	0,593	0,452	0,666	0,077
		170°C	0,577	0,475	0,625	0,103
		190°C	0,566	0,486	0,690	0,069
		210°C	0,554	0,437	0,600	0,055
	5	Isıl işlemsiz	0,603	0,496	0,698	0,065
		150°C	0,596	0,530	0,639	0,069
		170°C	0,581	0,497	0,710	0,069
		190°C	0,559	0,465	0,657	0,059
		210°C	0,541	0,485	0,604	0,171

X_{ort} : Ortalama değer; X_{min} : En küçük değer; X_{max} : En yüksek değer; SS: Standart sapma; ÇK: Çözelti konsantrasyonu

Buna göre ısıtma sıcaklığına bağlı olarak hava kurusu yoğunluk değerleri azalmıştır. En az yoğunluk değişimi 150 °C’de ısıtma uygulanan örneklerde gerçekleşirken, en fazla beklendiği gibi genellikle 210 °C’de ısıtma uygulanan örneklerde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1. Emprenye ve ısıtmanın hava kurusu yoğunluk üzerine etkisi.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.1 incelendiğinde hava kurusu yoğunluk değerinin sıcaklığın artmasıyla kademeli olarak azaldığı görülmektedir. En yüksek yoğunluk değeri %3'lük borik asit çözeltilisi ile emprenye edilen örneklerde gerçekleşirken, en düşük %5'lik borik asit emprenyesi ile emprenye edilen ve 210 °C’de ısıtma uygulanan örneklerde belirlenmiştir. Bu yoğunluk değerlerindeki azalmalara ağaç malzemede ısıtma işleminden sonra gerçekleşen ağırlık kayıpları neden olmuş olabilir. Literatürde ısıtma sıcaklığına ve süresine bağlı olarak yoğunluk kayıplarının yaşanmasında kütle veya ağırlık kaybının önemli rol oynadığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Fengel ve Wegener, 1984; Kollmann ve Schneider, 1963; Yıldız, 2002).

4.3.2. Eğilme direnci

Emprenyesiz, %1, %3 ve %5'lik borik asit ve boraks çözeltileri ile emprenye edildikten sonra 150, 170, 190 ve 210 °C sıcaklıklarda ısıl işleme maruz bırakılan örneklerin eğilme direnci ortalama değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Eğilme direncine ilişkin istatistiksel veriler.

Emprenye maddesi	ÇK (%)	Isıl İşlem	X_{ort} (N/mm ²)	X_{min} (N/mm ²)	X_{max} (N/mm ²)	SS	
Emprenyesiz	-	Isıl işlemsiz	72,39	67,51	76,35	3,30	
		150°C	95,75	85,61	105,25	5,09	
		170°C	86,27	81,41	96,77	4,62	
		190°C	74,30	66,36	90,55	6,80	
		210°C	62,59	51,75	75,25	6,29	
Boraks	1	Isıl işlemsiz	70,06	64,23	80,56	5,17	
		150°C	82,26	70,25	95,11	6,45	
		170°C	76,08	68,52	85,61	4,69	
		190°C	71,78	60,45	82,65	6,14	
		210°C	61,32	50,45	76,25	6,99	
	3	Isıl işlemsiz	84,83	74,61	99,65	6,74	
		150°C	98,11	89,25	109,02	6,02	
		170°C	84,37	77,66	90,57	3,93	
		190°C	79,24	74,20	85,11	3,84	
	5	210°C	75,02	63,35	84,25	5,04	
		Isıl işlemsiz	82,27	69,35	97,13	6,61	
		150°C	93,24	81,38	103,55	5,34	
		170°C	82,82	75,05	90,32	4,61	
	Borik asit	1	190°C	75,56	71,25	80,35	2,23
			210°C	74,45	64,23	86,45	5,32
			Isıl işlemsiz	79,29	69,25	95,02	7,09
150°C			74,21	64,55	91,25	6,79	
3		170°C	70,67	60,43	80,85	4,88	
		190°C	71,20	62,15	78,43	4,06	
		210°C	75,22	69,35	90,55	5,77	
		Isıl işlemsiz	77,67	68,75	86,15	4,24	
		150°C	89,15	80,81	98,12	5,77	
5		170°C	93,66	90,25	99,65	3,09	
		190°C	88,02	81,65	95,45	3,44	
		210°C	70,62	62,25	87,65	6,79	
	Isıl işlemsiz	82,81	73,85	94,65	5,16		
	150°C	103,66	97,65	109,85	4,59		
5	170°C	77,98	72,85	92,36	5,19		
	190°C	74,69	70,15	80,65	2,67		
	210°C	87,16	80,15	93,52	3,36		

X_{ort} : Ortalama değer; X_{min} : En küçük değer; X_{max} : En yüksek değer; SS: Standart sapma; ÇK: Çözelti konsantrasyonu

Bu sonuçlara göre eğilme direnci değerleri üzerine herbir sıcaklık değeri, emprenye maddesi ve çözelti konsantrasyonu farklı etkiler göstermiştir. Emprenye işlemi genel olarak eğilme direnci üzerine olumlu etki göstermiştir. Isıl işlem tüm deney gruplarında eğilme direnci üzerinde olumsuz etki gösterirken, özellikle düşük sıcaklıklarda eğilme direncinin bir miktar arttığı belirlenmiştir. % 5'lik borik asit çözeltisi ile emprenye edilen ve 210 °C'de ısıl işlem uygulanmış deney örneklerinde aynı kategorideki diğer deney örneklerinden kontrol örnekleri ile kıyaslandığında yüksek çıkmıştır. Genel olarak bu tüm deney gruplarında 210 °C'de en düşük eğilme direnci belirlenirken bu çözelti grubunda 190 °C'de en düşük değer elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı, emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu ve bunların etkileşimlerinin eğilme direnci üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Eğilme direncine ilişkin çoklu varyans analizi.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Emprenye maddesi (A)	2	517,615	258,807	122,0917	0,0000
Çözelti kons. (B)	2	4848,504	2424,102	1143,5634	0,0000
Etkileşim (AB)	4	2584,325	646,081	304,7871	0,0000
Isıl işlem sıcaklığı (C)	4	23241,120	5810,280	2740,9833	0,0000
Etkileşim (AC)	8	5829,838	728,692	343,7585	0,0000
Etkileşim (BC)	8	1959,559	244,945	115,5521	0,0000
Etkileşim (ABC)	16	4228,835	264,302	124,6838	0,0000
Hata	405	858,511	2,120		
Toplam	449	44067,708			

Çizelge 4.5'e göre eğilme direnci üzerine emprenye maddesi türü, çözelti konsantrasyonu, ısıl işlem sıcaklığı ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri % 95 güven aralığında anlamlı bulunmuştur. Emprenye maddesinin eğilme direnci üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan karşılaştırma testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Emprenye maddesine göre eğilme direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Emprenye maddesi	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Emprenyesiz	78,26	C
Boraks	79,43	B
Borik asit	80,88	A
LSD: $\pm 0,3304$		

Çizelge 4.6 incelendiğinde emprenye maddelerinin eğilme direnci üzerine etkisi farklı derecelerde gerçekleşmiştir. En yüksek eğilme direnci borik asitte elde edilirken, en düşük emprenyesiz örneklerde tespit edilmiştir. Her iki emprenye maddesi de eğilme direnci değerleri üzerine olumlu etki göstermiştir. Borik asit ile emprenye edilen örneklerin koruyuculuk etkisi borakstan daha yüksek elde edilmiştir. Çözelti konsantrasyonunun eğilme direnci üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Çözelti konsantrasyonunun eğilme direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.

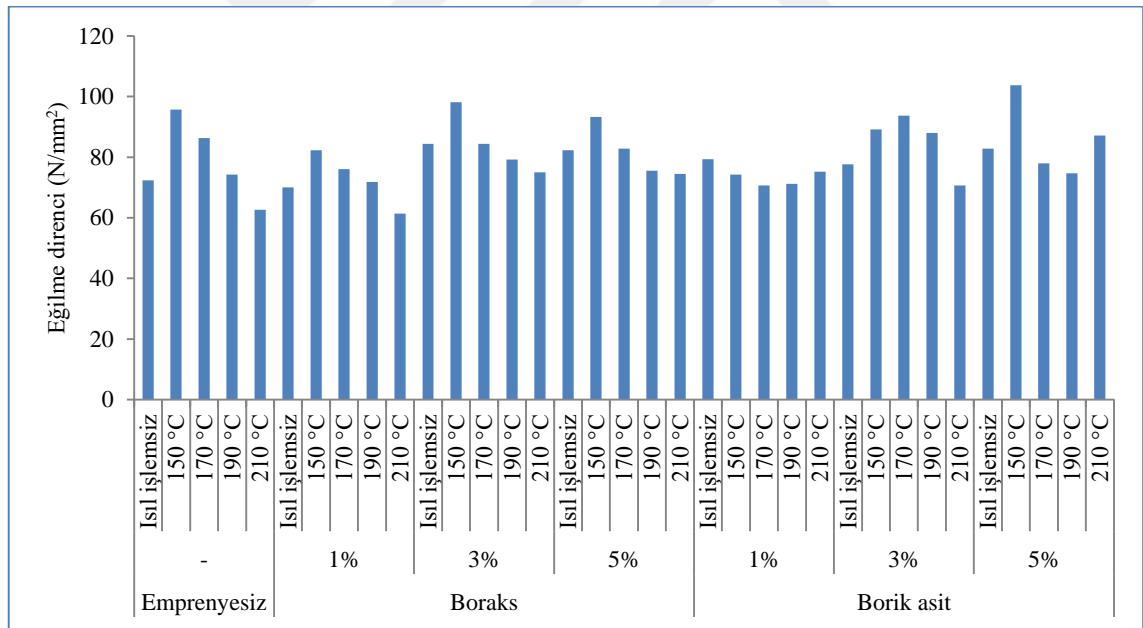
Çözelti konsantrasyonu	X_{ort} (N/mm ²)	HG
% 1	74,89	C
%3	82,13	A
%5	81,54	B
LSD: $\pm 0,3304$		

Buna göre en yüksek eğilme direnci % 3 konsantrasyona sahip çözültide, en düşük ise % 1 konsantrasyona sahip çözültide elde edilmiştir. Herbir çözülti konsantrasyonunda eğilme direnci farklılık göstermiştir. Bu sonuçlara göre % 3’lük konsantrasyonun koruyuculuk değeri diğerlerinden yüksek çıkarken konsantrasyon düzeyinin artmasıyla bu koruyuculuk etkisi bir miktar azalmıştır. Isıl işlem sıcaklığının eğilme direnci üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Isıl işlem sıcaklığının eğilme direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	77,32	C
150 °C	91,48	A
170 °C	82,71	B
190 °C	75,93	D
210 °C	70,17	E
LSD: ±0,4266		

Çizelge 4.8'a göre düşük sıcaklıklarda eğilme direnci kontrol örneklerine göre artarken, sıcaklık arttıkça eğilme direnci kademeli olarak düşmüş ve en düşük 210 °C'de tespit edilmiştir. En yüksek eğilme direnci 150 °C'de tespit edilmiştir. 150 ve 170 °C'de ısıl işleme tabi tutulan örneklerin eğilme dirençleri kontrol ve diğer gruplardan yüksek çıkmıştır. Emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu ve ısıl işlem sıcaklığı etkileşiminin eğilme direnci üzerine etkisine ait sonuçlar Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Emprenye ve ısıl işlemin eğilme direnci üzerine etkisi.

Şekil 4.2 ve Çizelge 4.8 incelendiğinde, tüm deney gruplarında düşük sıcaklıkta eğilme dirençleri kontrol gruplarından yüksek çıkarken, uygulanan ısıl işlemin şiddeti arttığında eğilme dirençleri kademeli olarak azalmış ve en düşük 210 °C'de ısıl işlem uygulanan örneklerde

belirlenmiştir. Eğilme direncinde düşük sıcaklıkta bir miktar artarken, düşük sıcaklıkta yüksek çıkmasının nedeni bu seviyelerde ağaç malzemedeki meydana gelen kimyasal değişimlerden kaynaklanmış olabilir. Bu durum literatürde uyumluluk göstermektedir (Kubojima vd., 2000). Uygulanan ısı işlem, empenye maddeleri ve çözelti konsantrasyonları dikkate alındığında en büyük değişim % 1'lik boraks çözeltisi ile empenye edilen ve 210 °C'de ısı işlem uygulanan test örneklerinde gerçekleşmiştir. Diğer taraftan 210 °C'de ısı işlem uygulanan tüm deney gruplarının eğilme dirençleri, kontrol gruplarıyla kıyaslandığında düşük çıkarken, %5'lik borik asit empenyesi ile empenye edilen örneklerin eğilme dirençleri kontrol örneklerinden yüksek çıkmıştır.

Eğilme direnci üzerine empenye türünün etkisi incelendiğinde borik asit, borakstan daha fazla olumlu etki göstermiştir. Aynı konsantrasyona ve sıcaklığa sahip deney gruplarında % 1'lik boraks çözeltisi ile 210 °C'de empenyesiz örneklerine göre % 12'lik bir direnç kaybı yaşanırken, % 1'lik borik asit çözeltisi ile aynı sıcaklıkta %5'lik bir direnç kaybı meydana gelmiştir. Öte yandan % 3'lük boraks çözeltisi ile 210 °C'de empenyesiz örneklerine göre % 11'lik bir direnç kaybı olurken, % 3'lük borik asit çözeltisi ile aynı sıcaklıkta % 9'luk bir direnç kaybı gerçekleşmiştir. Bununla beraber %5'lik boraks çözeltisi ile en yüksek sıcaklıkta % 10'luk bir direnç kaybı olurken, % 5'lik borik asit çözeltisi ile % 5'lik bir direnç artışı tespit edilmiştir.

Çalışmadan elde edilen eğilme dirençleri incelendiğinde sıcaklık arttıkça eğilme direncindeki kayıplarda artmaktadır. Bununla beraber empenye maddeleri kendi aralarında kıyaslandığında her bir konsantrasyon ve sıcaklık seviyesinde eğilme dirençlerindeki kayıplar farklı oranlarda gerçekleşmektedir. Literatürde farklı ağaç türleri üzerine farklı sıcaklık ve sürelerde yapılan ısı işlem uygulamalarında sıcaklık ve süre arttıkça eğilme direncinde önemli oranlarda düşüşlerin yaşandığı tespit edilmiştir. Isı işlem sıcaklığından dolayı eğilme direncindeki azalmaların hemiselülozların bozunmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Düşük sıcaklıklarda hemiselülozların selüloz ve lignine göre daha kolay degrade olması eğilme direnci kayıplarına neden olmaktadır (Yıldız, 2002; Korkut vd., 2008b; Korkut ve Guller 2008; Yıldız vd., 2006).

Çizelge 4.6 incelendiğinde boraks ve borik asit ile empenye edilen örneklerin eğilme dirençleri empenyesiz örneklere göre nispeten yüksek çıkmıştır. Bu durumun, bor çözeltileri ile yapılan empenye işleminin, ısı işleminden kaynaklanan ağaç malzemenin degrade olmasını

hafifletmesinden kaynaklanmış olabilir. Literatürde benzer çalışmalarda ısıtma işlemi öncesi bor türevleri ile emprenye edilen ağaç türlerinde eğilme direncinde meydana gelen kayıpların azaltıldığına dair bilgiler bulunmakla beraber bu durum hemiselülozlardan ayrılan asetik asitin dengelenmesinden kaynaklanmasına bağlanmıştır (Awoyemi ve Westermarck 2005, Winandy 1997). Boraks ve borik asit kıyaslandığında ise borik asitle muamele edilmiş örneklerin eğilme direncinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

4.3.3. Elastikiyet modülü

Emprenyesiz, % 1, % 3 ve % 5'lik borik asit ve boraks çözeltileri ile emprenye edildikten sonra 150, 170, 190 ve 210°C sıcaklıklarda ısıtma işlemine maruz bırakılan örneklerin eğilmede elastikiyet modülüne ait ortalama değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Elastikiyet modülüne ilişkin istatistiksel veriler.

Emprenye maddesi	ÇK (%)	Isıl işlem	X_{ort} (N/mm ²)	X_{min} (N/mm ²)	X_{max} (N/mm ²)	SS
Emprenyesiz	-	Isıl işlemsiz	8616	7741	9843	531
		150°C	10962	9650	12456	850
		170°C	9745	9625	10843	525
		190°C	9680	8640	10756	742
		210°C	8325	7125	9526	855
Boraks	1	Isıl işlemsiz	9345	8151	10654	796
		150°C	11063	9899	12325	951
		170°C	9423	8254	10818	834
		190°C	9437	8354	10585	709
		210°C	8537	7345	9658	548
	3	Isıl işlemsiz	10376	9256	11658	571
		150°C	10603	9458	11678	721
		170°C	11312	10204	12528	742
		190°C	10606	9487	11758	811
		210°C	9743	9658	10875	725
	5	Isıl işlemsiz	10818	9659	12281	860
		150°C	10203	9128	11445	704
		170°C	10965	9542	12258	979
		190°C	10282	9148	11485	750
		210°C	9403	8306	10548	705
Borik asit	1	Isıl işlemsiz	11357	10276	12652	853
		150°C	10614	9325	12652	977
		170°C	9569	8295	10959	795
		190°C	10891	9958	12321	936
		210°C	9862	8658	11955	988
	3	Isıl işlemsiz	10253	9080	11258	746
		150°C	10400	9250	123	995
		170°C	10102	8980	12200	1015
		190°C	10864	9670	12858	970
		210°C	9342	8280	10524	701
	5	Isıl işlemsiz	11659	10650	12946	837
		150°C	12188	10865	13850	847
		170°C	11841	9458	13770	1240
		190°C	10313	9825	11100	555
		210°C	10450	9300	11985	917

X_{ort} : Ortalama değer; X_{min} : En küçük değer; X_{max} : En yüksek değer; SS: Standart sapma; ÇK: Çözelti konsantrasyonu

Çizelge 4.9'a göre emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu, ısıl işlem sıcaklığı ve bu faktörlerin etkileşimlerinin elastikiyet modülü üzerine etkisini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış ve bu analize ait sonuçlar Çizelge 4.10'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Elastikiyet modülüne ilişkin çoklu varyans analizi.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Emprenye maddesi (A)	2	104415857,773	52207928,887	1389,2491	0,0000
Çözelti kons. (B)	2	21338155,720	10669077,860	283,9034	0,0000
Etkileşim (AB)	4	36721319,787	9180329,947	244,2879	0,0000
Isıl işlem sıcaklığı (C)	4	141102373,031	35275593,258	938,6809	0,0000
Etkileşim (AC)	8	56830498,382	7103812,298	189,0319	0,0000
Etkileşim (BC)	8	18976422,036	2372052,754	63,1201	0,0000
Etkileşim (ABC)	16	37714397,391	2357149,387	62,7236	0,0000
Hata	405	15219884,600	37579,962		
Toplam	449	432318908,720			

Eğilimde elastikiyet modülü üzerine etkili olan faktörlerin önem düzeyini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizine göre emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu, ısıl işlem sıcaklığı ve bunların karşılıklı etkileşimleri % 95 güven aralığında anlamlı bulunmuştur. Emprenye maddesinin elastikiyet modülü üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Emprenye maddesinin elastikiyet modülüne ilişkin Duncan testi sonuçları.

Emprenye maddesi	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Emprenyesiz	9466	C
Boraks	10140	B
Borik asit	10640	A
LSD: $\pm 43,99$		

Emprenye maddelerinin elastikiyet modülü üzerine etkisi farklı oranlarda çıkmıştır. En yüksek elastikiyet modülü değeri borik asitte elde edilirken bunu boraks takip etmiş ve en düşük emprenyesiz örneklerde tespit edilmiştir. Boraks ile emprenyeli örneklerdeki artış borik asit ile emprenyeli örneklere nazaran daha düşük seviyededir. Çözelti konsantrasyonunun elastikiyet modülü üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Çözelti konsantrasyonun elastikiyet modülüne ilişkin Duncan testi sonuçları.

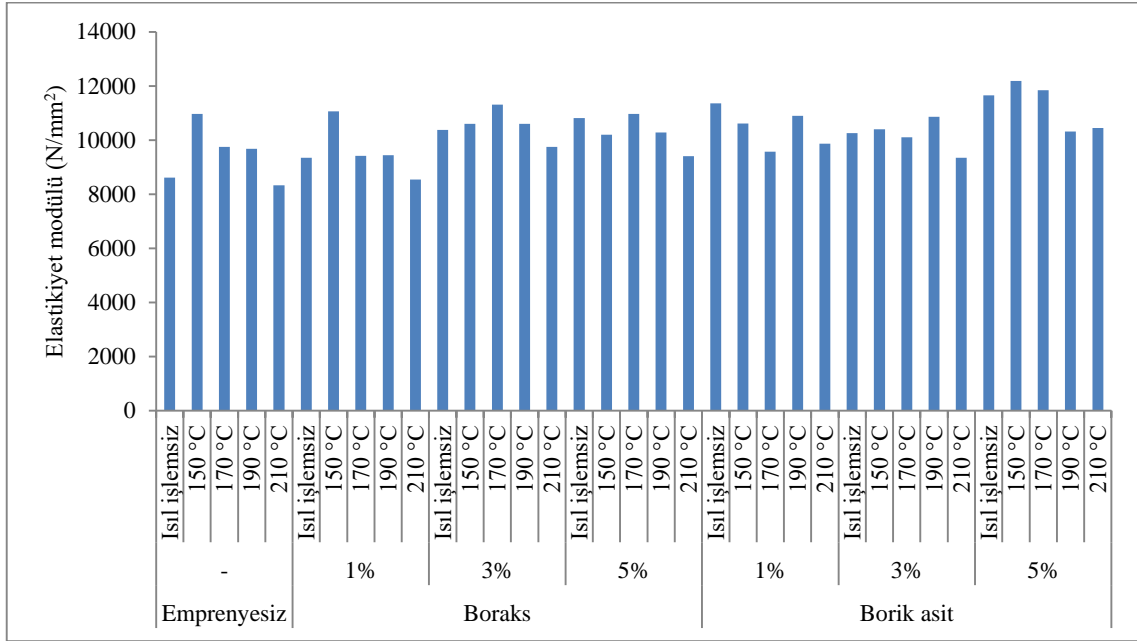
Çözelti konsantrasyonu	X_{ort} (N/mm ²)	HG
% 1	9829	C
% 3	10060	B
% 5	10360	A
LSD: \pm 43,99		

Buna göre en yüksek elastikiyet modülü değeri % 5 emprenye çözeltisinde elde edilirken, en düşük %1 konsantrasyona sahip çözeltide elde edilmiştir. Çözelti konsantrasyonun elastikiyet modülü üzerine etkisi çok az farklılık göstermiştir. Isıl işlem sıcaklığının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Isıl işlem sıcaklığının elastikiyet modülüne ilişkin Duncan testi sonuçları.

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	9960	D
150 °C	10890	A
170 °C	10260	B
190 °C	10160	C
210 °C	9150	E
LSD: \pm 56,79		

Çizelge 4.13'e göre düşük sıcaklıklarda elastikiyet modülü kontrol örneklerine göre artarken, sıcaklık arttıkça elastikiyet modülü değerleri azalmış ve en düşük 210 °C'de tespit edilmiştir. Isıl işlemsiz örneklere göre en yüksek artış 150 °C'de elde edilirken, 170 ve 190 °C'de bir miktar yüksek çıkmış ve sıcaklığın daha da şiddetlenmesi ile eğilmede elastikiyet modülü değeri düşmüştür. Emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu ve ısıl işlem sıcaklığı etkileşiminin eğilme direnci üzerine etkisine ait sonuçlar Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3.Emprenye ve ısıl işlemin eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi.

Şekil 4.3'e göre elastikiyet modülü, genellikle düşük sıcaklıklarda kontrol örneklerine göre artış gösterirken, bu artış sıcaklıklar yükseldikçe düşüş trendine girerek en düşük elastikiyet modülü değerleri 210 °C'de ısıl işlem uygulanan örneklerde belirlenmiştir.

Isıl işlem öncesinde boraks ve borik asit ile emprenye edilen örneklerin aynı sıcaklık gruplarında emprenyesiz örneklere kıyasla nispeten daha yüksek elastikiyet modülü değerleri verdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.11). Bu durum, eğilme direncinde olduğu gibi bor çözeltilerinin ağaç malzemeyi koruyucu etkisine sahip olmasından kaynaklanmış olabilir. Boraks ve borik asit kıyaslandığında ise aralarında önemli bir fark olmadığı belirlenirken boraksın daha yüksek değer verdiği belirlenmiştir. Aralarında meydana gelen bu farklılıkların kimyasalların asidik ve bazik özelliklerinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu durumda elastikiyet modülünden termal bozunmadan dolayı meydana gelebilecek direnç düşüşlerinde boraksın koruyuculuğu daha yüksek olabilir.

Çözelti konsantrasyonunun eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi incelendiğinde de her bir konsantrasyon seviyesinde farklı elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Buna göre en yüksek elastikiyet modülü değeri % 5 konsantrasyona sahip çözeltide, en düşük ise %1 konsantrasyona sahip çözeltide elde

edilmiştir. Konsantrasyon seviyeleri arasındaki farklılık nispeten az çıkarken % 3 ve % 5'lik çözeltilerin elastikiyet modülü değerleri %1'ten daha yüksektir. Literatürde, Aytaşkın (2009) bor çözeltileri ile emprenye ettiği kavak, ıhlamur ve kestane odunlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak emprenye maddelerinin eğilme direnci ve elastikiyet modülünüde gerleri üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğunu bildirmiştir. Benzer bir çalışmada, ağaç malzemeler farklı konsantrasyondaki bor bileşikleri ile emprenye edildikten sonra ısı işleme tabi tutulmuştur. Çalışma sonunda, bor bileşikleri ile emprenye edilen örneklerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde konsantrasyon düzeyine bağlı olarak farklı oranlarda düşüşlerin yaşandığı belirlenmiştir (Awoyemi, 2007).

Benzer bir çalışmada boraks ve borik asit ile emprenye edilen kayın ağacı farklı sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutulmuş ve emprenye maddelerinin elastikiyet modülüne etkisi incelenmiş. Çalışmada ısı işlem uygulanmamış emprenyesiz örneklerin elastikiyet modülü değerlerinin emprenyelilerden daha düşük olduğu belirlenirken, ısı işlem görmüş kontrol ve emprenyeli örnekler kıyaslandığında ise emprenyeli örneklerin elastikiyet modülünün bir miktar daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çıtak, 2012).

Isıl işlem sıcaklığının elastikiyet modülü değerlerine ilişkin etkisi incelendiğinde kontrol örnekleri ile kıyaslandığında düşük sıcaklıklarda elastikiyet modülü değerleri artış gösterirken sıcaklığın şiddeti yükseldikçe elastikiyet modülü değerleride düşmüştür. Literatürde ısı işlem uygulamasının bazı ağaç türlerinde eğilmede elastikiyet modülünü arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Shi vd., 2007, Chang ve Keith, 1978).Yapılan benzer bir çalışmada farklı sıcaklıklarda ısı işlem uygulanmış Japon çamı (*Cryptomeria Japonica*) odununda düşük sıcaklıklarda ve düşük sürelerde elastikiyet modülünde bir miktar artış belirlenirken sıcaklık ve sürenin artmasıyla elastikiyet modülü değerleri kayda değer oranda azalmıştır (Inoue vd., 1993). Düşük sıcaklıkta uygulanan ısı işleminden sonra görülen elastikiyet modülündeki artışın bir nedeni de lignin hemiselüloz matriksinin yük paylaşma kapasitesindeki bozulma ve hemiselülozun modifikasyonu ve/veya bozunmasına rağmen kristalimsi selülozun nispi miktarındaki artma nedeniyle olabilir (Kocafe vd., 2008). Yüksek sıcaklıkta uygulanan ısı işlem uygulamalarından sonra meydana gelen direnç kayıplarından başta hemiselülozun ve diğer kimyasal bileşenlerin degrade olması sorumlu tutulmaktadır (Korkut ve Kocafe, 2009; Yıldız, 2002).

4.3.4. Liflere paralel basınç direnci

Emprenyesiz, %1, %3 ve %5'lik borik asit ve boraks çözeltileri ile emprenye edildikten sonra 150, 170, 190 ve 210°C sıcaklıklarda ısıtılma maruz bırakılan örneklerin liflere paralel basınç direncine ait ortalama değerleri Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Liflere paralel basınç direncine ilişkin istatistiksel veriler.

Emprenye maddesi	ÇK (%)	Isıl işlem	X_{ort} (N/mm ²)	X_{min} (N/mm ²)	X_{max} (N/mm ²)	SS
Emprenyesiz	-	Isıl işlemsiz	44,75	37,18	51,71	4,09
		150°C	45,72	40,89	50,55	3,71
		170°C	46,31	38,75	65,67	5,85
		190°C	42,65	34,02	61,17	6,31
		210°C	48,71	37,33	56,96	5,83
Boraks	1	Isıl işlemsiz	39,10	29,56	45,91	5,08
		150°C	44,72	34,94	51,17	4,61
		170°C	42,75	34,78	48,70	4,54
		190°C	45,63	34,85	52,32	4,66
		210°C	51,25	36,59	60,63	7,94
	3	Isıl işlemsiz	42,39	36,40	48,23	4,29
		150°C	49,51	37,54	56,01	5,90
		170°C	49,12	46,42	52,67	2,22
		190°C	49,96	41,91	57,05	5,02
		210°C	53,27	37,74	59,80	6,36
	5	Isıl işlemsiz	44,65	36,26	52,16	4,98
		150°C	48,89	39,40	60,43	6,78
		170°C	49,36	37,03	56,16	5,64
		190°C	52,13	44,42	57,14	4,27
		210°C	52,21	39,58	59,37	6,42
Borik asit	1	Isıl işlemsiz	43,22	39,02	47,98	2,88
		150°C	44,79	33,99	49,46	4,79
		170°C	46,10	39,98	50,20	3,85
		190°C	46,15	41,21	54,09	4,46
		210°C	48,45	35,09	59,06	7,78
	3	Isıl işlemsiz	40,16	32,04	47,65	6,39
		150°C	49,50	38,04	54,89	5,24
		170°C	46,62	36,04	51,58	5,10
		190°C	45,64	35,59	50,66	6,26
		210°C	53,46	41,94	58,94	6,92
	5	Isıl işlemsiz	42,02	32,91	51,52	6,94
		150°C	48,87	38,66	54,50	6,42
		170°C	47,74	35,50	53,37	6,68
		190°C	46,19	38,26	55,67	4,78
		210°C	46,06	34,16	58,96	7,02

X_{ort} : Ortalama değer; X_{min} : En küçük değer; X_{max} : En yüksek değer; SS: Standart sapma; ÇK: Çözelti konsantrasyonu

Buna göre empenye maddesinin, çözelti konsantrasyonunun ve ısıtma işlem sıcaklığının liflere paralel basınç direnci üzerine etkilerinde farklılıklar görülmektedir. Liflere paralel basınç direnci üzerine etkili olan faktörlerin önem derecesini belirlemek için çoklu varyans analizi uygulanmış ve bu analize ait sonuçlar Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Liflere paralel basınç direncine ilişkin çoklu varyans analizi.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Emprenye maddesi (A)	2	298,096	149,048	4,8770	0,0001
Çözelti kons. (B)	2	307,761	153,881	5,0351	0,0069
Etkileşim (AB)	4	387,266	96,817	3,1679	0,0039
Isıtma işlem sıcaklığı (C)	4	2419,023	604,756	19,7881	0,0000
Etkileşim (AC)	8	809,876	101,235	3,3125	0,0011
Etkileşim (BC)	8	234,598	29,325	0,9595	
Etkileşim (ABC)	16	315,851	19,741	0,6459	
Hata	405	12377,460	30,562		
Toplam	449	17149,932			

Çizelge 4.15’e göre liflere paralel basınç direnci üzerine empenye maddesi, çözelti konsantrasyonu, ısıtma işlem sıcaklığı, empenye maddesi ve çözelti konsantrasyonu etkileşimi ile empenye maddesi ve ısıtma işlem sıcaklığı etkileşimi % 95 güven aralığında anlamlı bulunurken, çözelti konsantrasyonu ve ısıtma işlem sıcaklığı ile her üç faktörün etkileşimide anlamsız bulunmuştur. Emprenye maddesinin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.16’de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Emprenye maddesinin liflere paralel basınç direncine ilişkin Duncan testi sonuçları

Emprenye maddesi	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Emprenyesiz	45,63	B
Boraks	47,60	A
Borik asit	46,35	AB
LSD: ± 1,255		

Emprenye maddelerinin liflere paralel basınç direncine etkisi farklı çıkarken empenye edilen örneklerin basınç direnci kontrol gurubuna göre yüksek çıkmıştır. En yüksek basınç direnci değeri boraksta elde edilirken bunu borik asit takip etmiş ve en düşük empenyesiz

örneklerde tespit edilmiştir. Boraks ve borik asit, emprenyesiz örneklerden yaklaşık %4 ve %2 oranında yüksek çıkmıştır. Boraks çözeltisinin koruyuculuğu borik asitten yüksek olarak tespit edilmiştir. Çözelti konsantrasyonun basınç direnci üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Çözelti konsantrasyonun liflere paralel basınç direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.

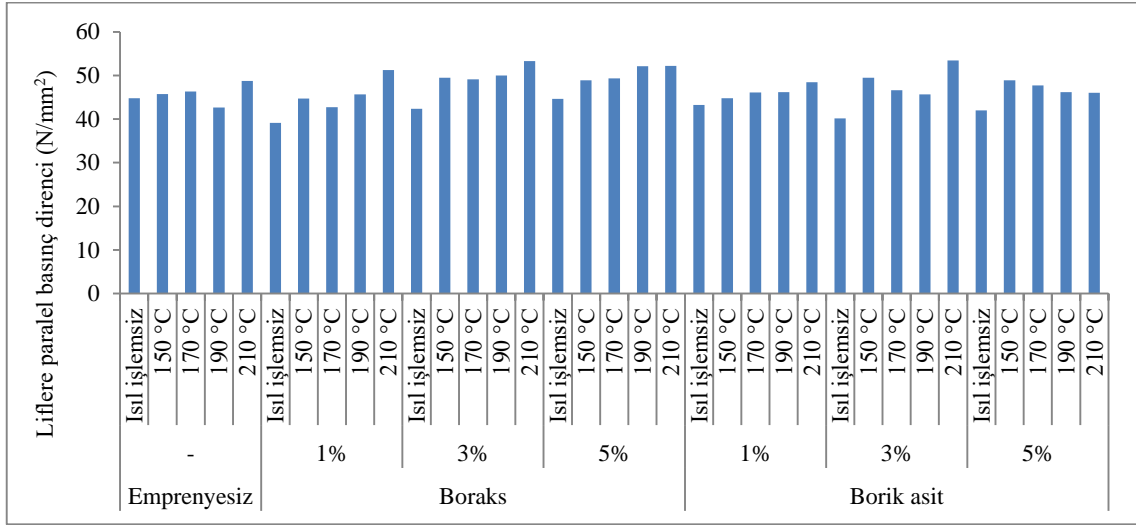
Çözelti konsantrasyonu	X_{ort} (N/mm ²)	HG
% 1	45,35	B
% 3	47,17	A
% 5	47,09	A
LSD: $\pm 1,255$		

Çözelti konsantrasyonunun basınç direnci üzerine etkisi farklı oranlarda ortaya çıkmıştır. Buna göre en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri % 3 konsantrasyonda elde edilirken, en düşük % 1 konsantrasyon ile emprenye edilen örneklerde tespit edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığının basınç direnci üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan testine ait sonuçlar Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Isıl işlem sıcaklığının basınç direncine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Isıl işlem sıcaklığı	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	42,87	C
150 °C	47,05	B
170 °C	46,62	B
190 °C	45,96	B
210 °C	50,12	A
LSD: $\pm 1,620$		

Çizelge 4.18’e göre ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak liflere paralel basınç direnci değerlerinde artışlar tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda meydana gelen basınç direnci farklılıkları istatistiksel olarak önemli çıkmazken, 210 °C’de en yüksek değere ulaşmıştır. Emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu ve ısıl işlem sıcaklığı etkileşiminin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisine ait sonuçlar Şekil 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.4. Emphyrene ve ısıt işlemin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisi.

Bu sonuçlara göre ısıt işlem uygulamasından önce ön işlem olarak farklı oranlarda hazırlanmış boraks ve borik asit çözeltilerinin ısıt işlem uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin basınç direncini bir miktar arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 4.16, Çizelge 4.17). Her iki emphyrene maddesi kıyaslandığında ise boraks ile emphyrene edilen örneklerin basınç direnci borik asitle emphyrene edilen örneklere göre biraz yüksek çıkmıştır. Bu durum kimyasalların özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmış olabilir. Deney sonucunda boraks emphyreneli örneklerin liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen artışlar borik asite oranla daha avantajlıdır.

Çözelti konsantrasyonunun liflere paralel basınç direncine etkisi dikkate alındığında, en yüksek değer % 3'te, en düşük değer ise % 1'de tespit edilirken, % 3 ve % 5 çözelti konsantrasyonları ile muamele edilen deney örneklerinin basınç direnci değerleri arasında istatistiksel anlamda bir farklılık gözlemlenmemiştir. Çözelti konsantrasyonlarının farklılıkları basınç direnci üzerinde farklı etki göstermiştir. Literatürde, Şimşek (2009) borlu bileşiklerden % 0,25, % 0,5, % 1,5 ve % 3'lük sulu çözeltiler hazırlayarak sarıçam ve Doğu kayını örnekleri emphyrene edilmiş ve liflere paralel basınç direncine etkisini incelemiştir. Çalışmada konsantrasyon seviyesi arttıkça liflere paralel basınç direnci değerlerinin düştüğü belirlenmiştir.

Çizelge 4.18'de ısıt işlemin ağaç malzemenin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisi incelendiğinde en düşük değer ısıt işlem uygulanmayan örneklerde belirlenirken, en yüksek

basınç direnci 210 °C’de ısıtma işlemi uygulanan örneklerde tespit edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla liflere paralel basınç direncinde artışlar olduğu belirlenmiştir. Liflere paralel basınç dirençlerindeki artma termal işleminden sonra bağı su seviyesinin azalmasından meydana gelebilir. Termal işlem sonrasında ağaç malzemenin amorf selülozun bozunması veya kristalleşmesi nedeniyle düzenli kristalimsi selüloz miktarı artmaktadır. Bunun sonucunda kristalimsi selüloz anizotropik yapı sergilediği için katı ve rijit yapısı liflere paralel yönde basınç direncinin artmasına katkı sağlamaktadır. Lignin polimer ağının çapraz bağlanmasındaki artış da liflere paralel yöndeki basınç direncinin bir miktar artmasına neden olabilir (Korkut ve Kocafe 2009). Liflere paralel basınç direnci ısıtma işlemi uygulamasından sonra artmıştır ve bu durum literatürde uyumludur. Şahin Kol (2010) yapmış olduğu çalışmada ThermoWood yöntemine göre ısıtma işlemi uygulanmış çam (*Pinus nigra* Arnold.) ve köknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) odunlarında liflere paralel basınç direnci yapmış ve çalışmadan sonra ısıtma işlemi uygulanmış çam ve köknar odunlarında liflere paralel basınç direncinin arttığını belirtmiştir. Benzer bir literatürde de ısıtma işlemi uygulamasından sonra liflere paralel basınç direncindeki artış kayda değer olarak belirtilmiştir (Özçifçi vd., 2009). Tüm bu bulgulara rağmen literatürde farklı sıcaklık, süre ve ağaçlarla yapılan ısıtma işlemi uygulamasından sonra genel olarak liflere paralel basınç direncinde önemli seviyelerde düşüşlerin olduğu görülmektedir. Bu direnç kayıplarından öncelikli olarak hemiselülozun ve diğer kimyasal bileşenlerin bozunması sorumlu tutulmaktadır (Korkut, 2008, Ünsal ve Ayrılmış, 2005; Akyıldız vd., 2009; Yıldız, 2002). Benzer bir çalışmada borik asit ve boraks ile emprenye edilen ladin (*Picea orientalis* Link.) ve çam (*Pinus nigra* subsp.) örneklerine 212 °C’de 2 saat süreyle ısıtma işlemi uygulandıktan sonra çam örneklerde liflere paralel basınç değerlerinde %9 oranında artış olduğu bununla beraber eğilme direncinin de arttığı belirlenmiştir (Can vd., 2010). Genel olarak literatürle karşılaştırıldığında meydana gelen bu çelişkinin uygulanan ısıtma işlemi yönteminden, metotta uygulanan parametrelerden ve bunların toplam etkileşimi ile oluşan kimyasal değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3.5. Hacimsel şişme

Emprenyesiz, % 1, % 3 ve % 5’lik borik asit ve boraks çözeltileri ile emprenye edildikten sonra 150, 170, 190 ve 210 °C sıcaklıklarda ısıtma işlemine maruz bırakılan örneklerin hacimsel şişme değerlerine ait ortalama değerler Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Hacimsel şişme değerlerine ilişkin istatistiksel veriler.

Emprenye maddesi	ÇK (%)	Isıl işlem	X_{ort} (%)	X_{min} (%)	X_{max} (%)	SS
Emprenyesiz	-	Isıl işlemsiz	15,40	13,89	16,85	0,93
		150 °C	14,86	12,95	17,05	1,36
		170 °C	13,19	11,56	16,35	1,31
		190 °C	11,00	9,15	13,25	1,33
		210 °C	9,49	8,99	11,15	1,17
Boraks	1	Isıl işlemsiz	15,51	13,98	17,05	1,13
		150 °C	14,82	11,95	16,85	1,83
		170 °C	14,74	13,56	16,75	1,15
		190 °C	11,06	9,85	12,35	1,01
		210 °C	10,84	9,05	13,65	1,74
	3	Isıl işlemsiz	15,78	12,85	18,68	2,01
		150 °C	14,21	13,51	16,25	0,97
		170 °C	13,73	12,14	17,25	1,79
		190 °C	10,12	8,22	11,65	1,13
		210 °C	10,09	9,11	12,45	1,06
	5	Isıl işlemsiz	15,86	14,45	17,65	1,17
		150 °C	14,98	13,55	16,36	1,08
		170 °C	13,62	12,85	14,45	0,49
		190 °C	11,67	9,98	15,28	1,68
		210 °C	9,63	8,11	13,11	1,42
Borik asit	1	Isıl işlemsiz	15,57	14,35	17,25	1,03
		150 °C	14,16	11,85	17,75	2,01
		170 °C	13,28	11,65	15,89	1,17
		190 °C	10,66	8,25	14,15	1,79
		210 °C	9,89	8,35	11,45	1,02
	3	Isıl işlemsiz	15,53	13,25	18,15	1,39
		150 °C	14,93	13,45	16,35	1,21
		170 °C	14,09	12,85	15,55	0,89
		190 °C	10,78	9,15	13,35	1,29
		210 °C	9,54	8,15	11,32	1,04
	5	Isıl işlemsiz	16,49	14,05	18,35	1,68
		150 °C	15,50	13,65	17,15	1,15
		170 °C	14,01	13,13	16,15	1,01
		190 °C	12,36	11,31	14,05	0,99
		210 °C	9,85	8,45	12,35	1,24

X_{ort} : Ortalama değer; X_{min} : en küçük değer; X_{max} : En yüksek değer; SS: Standart sapma; ÇK: Çözelti konsantrasyonu

Çizelge 4.19'a göre emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu ve ısıl işlem sıcaklığının hacimsel şişme değerleri üzerine etkisinde önemli derecede farklılıklar bulunmuştur. Hacimsel şişme oranları üzerine etki eden faktörlerin önem derecesini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Hacimsel şişme değerlerine ilişkin çoklu varyans analizi.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Emprenye maddesi (A)	2	9,864	4,932	24,803	0,0000
Çözelti kons. (B)	2	9,456	4,728	23,7751	0,0000
Etkileşim (AB)	4	23,274	5,519	29,2590	0,0000
Isıl işlem sıcaklığı (C)	4	2221,265	555,316	2792,4252	0,0000
Etkileşim (AC)	8	13,646	1,706	8,5773	0,0000
Etkileşim (BC)	8	18,538	2,317	11,6524	0,0000
Etkileşim (ABC)	16	17,658	1,104	5,5495	0,0000
Hata	405	80,540	0,199		
Toplam	449	2394,241			

Çizelge 4.20'ye göre hacimsel şişme değerleri üzerine etkili olan faktörlerin önem düzeyini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizine göre emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu, ısı işlem sıcaklığı ve bunların karşılıklı etkileşimleri % 95 güven aralığında anlamlı bulunmuştur. Emprenye maddesinin hacimsel şişme oranları üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Emprenye maddesinin hacimsel şişme değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Emprenye	X_{ort} (%)	HG
Emprenyesiz	12,79	B
Boraks	13,11	A
Borik asit	13,07	A
LSD: $\pm 0,3073$		

Emprenye maddelerinin hacimsel şişme değerleri üzerine etkileri çok az farklı çıkarken bu fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Her iki emprenye maddesinin hacimsel şişme değerleri emprenyesiz örnekten bir miktar yüksek çıkmıştır. Çözelti konsantrasyonunun hacimsel şişme değerleri üzerine etkisinin önem derecesini belirlemek için Duncan testi yapılmış ve bu sonuçlara ait farklı homojenlik grupları Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Çözelti konsantrasyonunun hacimsel şişme değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları.

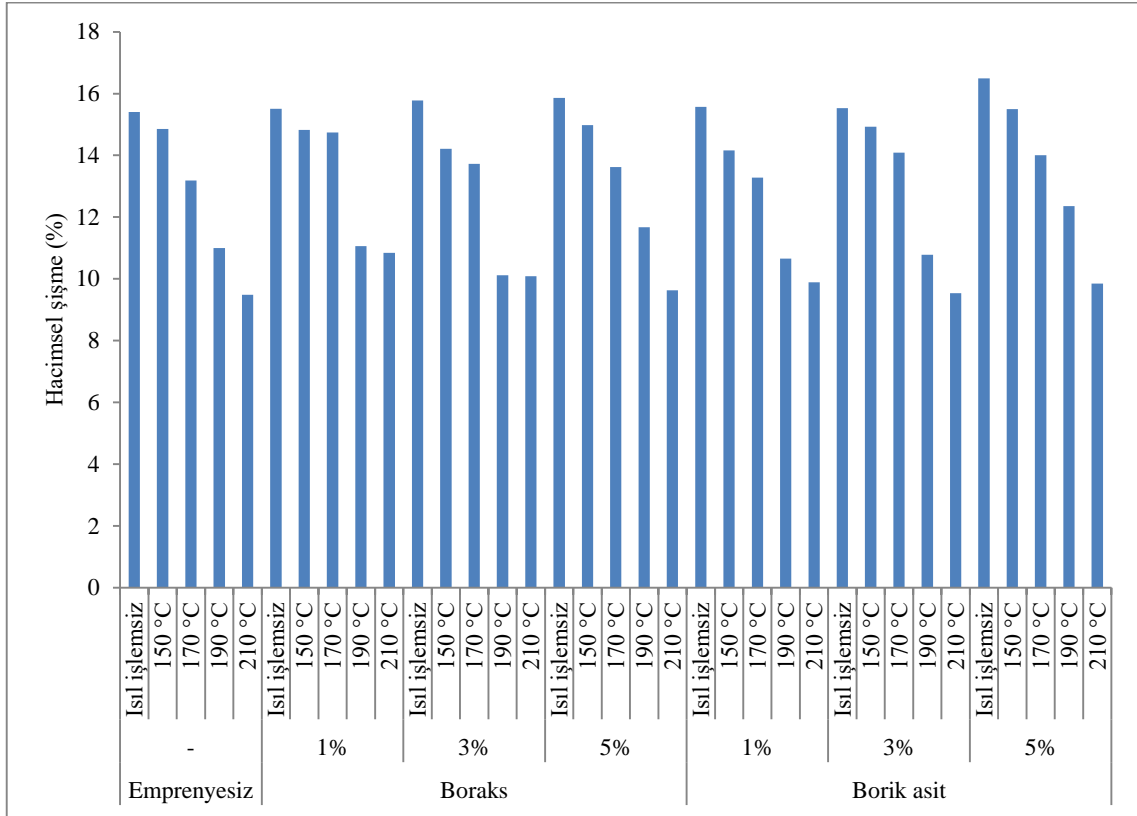
Çözelti Kontrasyonu	$X_{ort}(\%)$	HG
% 1	13,05	B
%3	12,88	BC
%5	13,40	A
LSD: $\pm 0,3073$		

Buna göre en yüksek hacimsel şişme değeri % 5 emprenye çözeltisi ile emprenye edilen örneklerde elde edilirken, en düşük % 3 çözelti ile emprenye edilen örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığının hacimsel şişme değerleri üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan testine ait sonuçlar Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. Isıl işlem sıcaklığının hacimsel şişme değerlerine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Isıl işlem sıcaklığı	$X_{ort}(\%)$	HG
Isıl işlemsiz	15,73	A
150 °C	14,78	B
170 °C	13,81	C
190 °C	11,09	D
210 °C	9,90	E
LSD: $\pm 0,6549$		

Çizelge 4.23'e göre ısıl işlem sıcaklığının artmasına bağlı olarak hacimsel şişme değerlerinde bariz bir azalma görülmektedir. En yüksek hacimsel şişme değeri ısıl işlem uygulanmayan örneklerde elde edilirken, en düşük 210 °C'de elde edilmiştir. Emprenye maddesi, çözelti konsantrasyonu ve ısıl işlem sıcaklığı etkileşiminin hacimsel şişme değerleri üzerine etkisine ait sonuçlar Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Emprenye ısı işlemin hacimsel şişme değerlerine etkisi.

Bunlara göre hacimsel şişme değerleri üzerine emprenye maddesi, ısı işlem sıcaklığı ve çözelti konsantrasyonu farklı oranlarda etki göstermiştir. Boraks ve borik asitle emprenye edilmiş örneklerin hacimsel şişme değerleri emprenyesiz örneklerle kıyaslandığında daha yüksek değerler vermiştir. Boraks ile emprenye edilen örneklerin hacimsel şişme değerleri borik asitle emprenye edilenlerden nispeten yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.21). Fakat bu durum istatistiksel olarak önemli çıkmazken bu farklılığın emprenye maddelerinin kimyasal özelliklerinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bor bileşikleri ile emprenye edilmiş örneklerin hacimsel şişme değerleri kontrol örneklerinkinden daha yüksek çıkmıştır. Bu durum bor kimyasallarının higroskopik özelliklerinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Literatürde borik asit ve disodyum oktaborat tetrahidrat çözeltileri ile emprenye yapılmış ve ısı işlem uygulan ağaç malzemede ısı işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça boyutsal stabilizasyonun sağlandığı belirtilirken, bor bileşikleri ile emprenye edilen örneklerin su alma

özelliklerinde kullanılan bor bileşiklerinin higroskopik özelliklerinden dolayı daha fazla artışların olduğu belirtilmiştir (Kartal vd., 2007).

Çözelti konsantrasyonunun hacimsel şişme değerleri üzerine etkisine bakıldığında genel olarak çok fazla bir etki görülmesede oranlar değiştikçe etkileride farklılaşmıştır. Etki oranları istatistiksel olarak önemli çıkarken, en yüksek hacimsel şişme değeri % 5 emprenye çözeltisi ile emprenye edilen örneklerde belirlenmiştir. % 3'lük konsantrasyon seviyesi daha iyi boyutsal stabilizasyon sağlamıştır.

Isıl işlem uygulamasından sonra emprenyesiz ve bor bileşikleri ile emprenye edilmiş ağaç malzemelerin hacimsel şişme değerlerinde açıkça bir düşüş görülmektedir. Isıl işlem ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonunu sağlayan doğal bir ağaç modifikasyonudur. Bu çalışmada ısıl işlem uygulamasından sonra her bir deney grubunda hacimsel şişme değerlerinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır.

Ağaç malzemedeki serbest hidroksil gruplarının var olması ve erişilebilirliği su alıp vermesinde önemli derecede rol oynar. Isıl işlem uygulamasından sonra bu var olan hidroksil gruplarına erişilebilirlik önemli derecede azalmaktadır. Bunun nedenleri, serbest hidroksil gruplarının toplam miktarında azalmaya neden olan karbonhidratların özellikle hemiselülozun depolimerizasyonu, hidroksil gruplarının su moleküllerine kolay erişemediği kristalimsi selülozun nispi oranındaki artma ve serbest hidroksil gruplarının suya erişilebilirliğini engelleyen lignin ağının çapraz bağlanmasıdır (Korkut ve Kocafe, 2009; Hill, 2006). Literatürde ısıl işlem uygulamasından sonra önemli oranlarda boyutsal stabilizasyonun sağlandığını belirtilirken bu çalışmadan elde edilen bulgular literatürle de uyumlu çıkmıştır (Bekhta ve Niemz 2003; Edvardsen ve Sandland, 1999; Dubey vd., 2011; Gündüz vd., 2008).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemizde fazla miktarlarda üretilen ve birçok sektörde yaygın olarak kullanılan boraks ve borik asit kimyasalları % 1, % 3 ve % 5 oranlarında çözündürülerek daldırma yöntemiyle emprenye yapılan ve ısıtılma işlemine tabi tutulan karaçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır. İlgili standartlara uygun olarak hazırlanan deney örnekleri çözündürülmüş bor türevlerinde 48 saat süreliğine daldırma yöntemiyle emprenye edildikten sonra ısıtılma işlemi fırınında 150 °C, 170 °C, 190 °C ve 210 °C'de ısıtılma işlemi uygulandıktan sonra hava kurusu yoğunluk, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve hacimsel şişme değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda;

Hava kurusu yoğunluk değerleri ısıtılma işlemi sıcaklığına bağlı olarak azalmış ve renk koyulaşmaları oluşmuştur. Emprenye edilmiş ve ısıtılma işlemi uygulanmamış örneklerin hava kurusu yoğunluk değerleri emprenyesiz örneklerden nispeten yüksek çıkmıştır. Hava kurusu yoğunluk değerlerinde oluşan düşüşlerin kütle kayıplardan kaynaklandığı düşünülmektedir. ısıtılma işlemi neticesinde fazla suyun atılması, ağaç malzemenin ana bileşenlerinin degrade olması, yapısında bulunan ekstraktif maddelerin ağaç malzemenin uzaklaşması ve kimyasal değişimlerin oluşması kütle kayıplarına neden olmuş olabilir.

Emprenye işlemi ile birlikte konsantrasyon yüzdesi arttıkça eğilme direncini arttırdığı fakat ısıtılma işlemi sıcaklığı yükseldikçe eğilme direncinin düştüğü belirlenmiştir. Borik asit ile emprenye edilen örneklerin eğilme dirençleri, boraks ile emprenye edilen örneklerden bir miktar daha yüksektir. Ayrıca eğilme direnci düşük sıcaklıklarda artarken, sıcaklık derecesi yükseldikçe eğilme direncinde düşüşler belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklara meydana gelen eğilme direnci kayıplarından hemiselülozların yıkımına sorumlu olmuş olabilir.

Elastikiyet modülü değerlerinde emprenye işlemi ve ısıtılma işlemi uygulaması önemli bir etkiye sahip olurken çözelti konsantrasyonları arasındaki oluşan fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Borik asit ile emprenye yapılan örneklerin elastikiyet modülü değerleri boraks ile emprenye yapılan örneklerden yüksek çıkarken, çözelti konsantrasyonu açısından en yüksek elastikiyet modülü değeri % 5'lik çözeltilerle emprenye edilen örneklerde belirlenmiştir. Elastikiyet modülü değerlerinde de kontrol örneklerine kıyasla düşük sıcaklıklarda bir artış

gözlemlenirken, sıcaklık yükseldikçe elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen kayıplarda artmalar belirlenmiştir.

Test sonuçlarına göre liflere paralel basınç direnci üzerine emprenye maddesinin etkisi incelendiğinde boraks ile emprenye edilen örneklerin liflere paralel basınç direnci borik asit ile emprenye edilen örneklerden daha yüksek çıkmıştır. Çözelti konsantrasyonu açısından en yüksek liflere paralel basınç direnci % 3'lük çözeltide belirlenirken en düşük % 1'lik çözeltide tespit edilmiştir. % 3 ve % 5'lik çözelti arasında meydana gelen fark istatistiksel açıdan önemli değildir. Isıl işlem sıcaklığının liflere paralel basınç direnci üzerine etkisi olumlu olurken, sıcaklık derecesi yükseldikçe liflere paralel basınç direnci artarak en yüksek 210 °C'de ısıl işlem uygulanan örneklerde tespit edilmiştir.

Hacimsel şişme değerleri üzerine emprenye maddelerinin etkileri çok az farklı olurken bu fark istatistiksel açıdan önemli değildir. Her iki bor türüyle de emprenye edilen örneklerin hacimsel şişme değerleri emprenyesiz örneklerden yüksek çıkarken, boraks ile emprenye edilen örneklerin hacimsel şişme değerleri daha yüksek çıkmıştır. Çözelti konsantrasyonunun etkisi incelendiğinde her üç konsantrasyon derecesi de farklı etkiye sahip olurken en yüksek hacimsel şişme değeri % 5'lik çözelti ile emprenye edilen örneklerde tespit edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı arttıkça hacimsel şişme değerleri kademeli olarak düşerek en düşük 210 °C'de ısıl işlem uygulanan örneklerde tespit edilmiştir.

Isıl işlem uygulanmış ağaç malzeme iç ve dış ortamlarda her geçen gün genişleyen bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca ısıl işlemin hiçbir zehirli kimyasal madde kullanmadan ağaç malzemenin modifikasyonunda kullanılması insan ve çevre sağlığı açısından giderek artan bir öneme sahiptir. Isıl işlem görmüş ağaç malzeme dış cephe kaplaması, kapı, pencere, bahçe mobilyası gibi dış mekân uygulamalarında, yer döşemesi, lambri, banyo ve sauna gibi iç mekân uygulamalarında kullanılmaktadır. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonu önemli derecede artarken biyolojik dayanımı da artmaktadır. Bununla beraber ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin mekanik özelliklerinde düşüşler oluşmaktadır. Bu durum ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin yük taşıyıcı sistemlerde kullanılmasını sınırlamaktadır. Fakat bu dezavantaj ağaç malzemenin ısıl işlem uygulamasından önce çeşitli ön işlemlerden geçirilerek minimuma indirilebilmektedir. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin fiziksel ve mekaniksel özellikleri, malzemenin bu kullanım alanlarındaki performansını etkilemektedir. Bu

nedenle ısıtıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanım yerleri göz önünde bulundurularak en uygun ısıtıl işlem sıcaklığının belirlenmesi önerilebilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

Acatay A. (1956). Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* ssp. *Pallasiana* var. *Pyramidata*)(Acatay) Orman Fakültesi Dergisi, Cilt. 6, Seri.A, Sayı. 2, Ankara.

Akyıldız, M.H., Ates,S. ve Özdemir, H., (2009).Technological and chemical properties of heat–treated Anatolian black pine wood, African Journal of Biotechnology Sayı: 8 (11), s. 2565 - 2572.

Alptekin, C.Ü., (1986). Karaçam’ın(*Pinus nigra* ssp. *Pallasiana* Lamb. Holmboe) Coğrafik Varyasyonları, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), 170 s.,İstanbul.

Anşin, R., (1988). Tohumlu Bitkiler I. Cilt, Gymnospermai, K.T.Ü., Yayın No: 122, Orman Fakültesi Yayın No: 15, 262., Trabzon.

Aslan, S., (1998). Ağaç Zararlıları Koruma ve Emprenye Teknikleri, Hacettepe Üniversitesi, KOSGEB Yayınları, Ankara, 272 s.

ASTM D 1413–76. (1976). Standard test method of testing wood preservatives by laboratory soilblock cultures, ASTM Standards, USA, s. 452–460.

Awoyemi, L., (2007). Determination of Optimum Borate Concentration for Alleviating Strength Loss During Heat Treatment of Wood. Wood Sci Technol 42, 39, 45.

Awoyemi, L., ve Westermark, U., (2005). Effects of borate impregnation on the response of wood strength to heat treatment, Wood Science Technol, 39:484 - 491.

Aydemir, D., (2007). Gökmar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve Gürgeç (*Carpinus betulus* L.) Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Z. K. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aytaşkın, A., (2009). Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş ağaç malzemelerin bazı teknolojik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 6-7.

Bal, B.C., (2006). Amonyaklı Bakır Quat (ACQ) Emprenye tuzu ile emprenye Edilen Sarıçam (*pinus sylvestris* l.) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Kahramanmaraş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.

Baysal, E., (2002). Borlu ve su itici maddelerle muamele edilen cennet ağacı (*Ailantus altissima* L.) Odununun Fiziksel Özellikleri, I. Uluslararası Bor Sempozyumu Kütahya, Bildiriler Kitabı 1: 176 - 183.

Bekhta, P., ve Niemz, P., (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, Holzforschung, 57 (5): 539 - 546.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Berkel, A., (1972). Ağaç Malzeme Teknolojisi, Ağaç Malzemenin Korunması ve Emprenye Tekniği, 2. Cilt, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1745, Sermet Matbaası, İstanbul, 55 – 76, 93 – 94, 106 – 108, 132 – 133, 163 – 177, 200 – 226.

Burmester, A., (1975). The Dimensional Stabilization of Wood, Holz als Roh - und Werkstoff, 2 (2):112 - 119.

Bourgois, J., Bartholin, M. C. ve Guyonnet, R., (1989). Thermal treatment of wood:analysis of the obtained product,Wood Science and Technology, 23(4), pp 303–331.

Boonstra, M.J., Tjeerdsma, B.F. ve Groeneveld, H.A.C., (1998). Thermal Modification of Non-durable Wood Species. 1. The PLATO Technology; Thermal Modification of Wood. International Research Group on Wood Preservation, Document no. IRG/WP 98-40123.

Bozkurt, A.Y., Göker, Y.ve Erdin, N., (1993). Emprenye Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İ.Ü. Yayın No:3779, O.F., Yayın No:425., İstanbul.

Can, A., Yıldız, S., Yıldız, Ü.C. Dizman, E., (2010). Effects of boron impregnation and heat treatment on some physical and mechanical properties of spruce and pine wood. 1. Uluslararası Türk-Japon Çevre ve Ormancılık Sempozyumu, TRABZON, TÜRKİYE, 4-6 Kasım 2010.

Chang, C. I., ve Keith, C. T., (1978). Properties of heat - darkened wood. II. Mechanicalproperties and gluability, FPL Report OPX214E, Canada, 1 - 19.

Çıtak, O., (2012). Boraks ve borik asit ile emprenye edilmiş ve ısı işleme tabi tutulmuş kayın odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek lisans tezi,Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 86.

Dubey, M. K, Pang, S. ve Walker, J. (2011). Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated *Pinus radiat*, European Journal of Wood and Wood Products 69 (2):255 - 262.

Edvardsen, K. ve Sandland, K.M., (1999). Increased drying temperature - Its influence on the dimensional stability of wood. Holz als Roh - und Werkstoff 57 (3):207 - 209.

Esteves, B., Velez, M, A., Domingos, I. ve Pereira, H., (2007). Influence of Steam Heating on The Properties of Pine (*Pinus pinaster*) And Eucalypt (*Eucalyptus globulus*) Wood, Wood Science Technology, 41:193 - 207.

Esteves, M, B. ve Pereira, M. H., (2009). Heat Treatment of Wood, Peer Reviewed Review Article, BioResources, 4 (1): 370 - 404.

Feist, W, C. ve Sell, J., (1987). Weathering Behaviour of Dimensionally Stabilized Wood By Heating Under Pressure of Nitrogen Gas, Wood and Fiber Science, 19 (2):183 - 195.

Fengel, D. ve Wegener, G., (1984). Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. WalterDe Gruyter.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Finnish ThermoWood Association: ThermoWood Handbook, (2003). Helsinki, Finland.

Fung D.P.C, Stevenson J.A ve Shields J. K. (1974). The effect of heat and $NH_4H_2PO_4$ on the dimensional and anatomical properties of Douglas-fir. *Wood Science*, 7 (1):13–20.

Garrote, G., Domínguez, H. ve Parajó, J. C. (1999). Hydrothermal Processing of Lignocellulosic Materials, *Holz Als Roh - Und Werkstoff*, 57 (3):191 - 202.

Giebler, E., (1983). Dimensional Stabilization of Wood By Moisture - Heat - Pressure Treatment, *Holz roh - u werkstoff*, 41:87 - 94.

Göker, Y., (1977). Dursunbey ve Elekdağ Karaçamlarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ve Kullanış Yerleri Hakkında Araştırmalar, Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Sıra no: 613, Seri No:22. Ankara.

Gunduz, G., Niemi, P. ve Aydemir, D., (2008). Changes in specific gravity and equilibrium moisture content in heat - treated fir (*Abies nordmanniana* Subsp. *Bornmülleriana* Mattf.) wood. *Drying Technology* 26 (9):1135 - 1139.

Hafizoğlu, H., Yalınkılıç, M. K., Yıldız, Ü. C., Baysal, E., Demirci, Z. ve Peker, H., (1994). Türkiye bor kaynaklarının odun koruma (emprenye) endüstrisinde değerlendirilme imkanları, TÜBİTAK Projesi, TOAG - 875 No'lu Proje, 377.

Hillis, W.E., (1984). High Temperature and Chemical Effects on Wood Stability, *Wood Science and Technology*, 18: 281 - 93.

Hill, C.A.S., (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*, Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons Inc., pp:260, Chichester, UK. ISBN: 978 - 0 - 470 - 02172 - 9.

Huş, S., (1977). *Ahşap Yapıştırıcılar kitabı*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.

Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M. ve Rowell R.M., (1993). Steam or heat fixation of compressed wood, *Wood Fiber Science* 25 (3) 224 - 235.

Johansson, D., (2008). *Heat Treatment of Solid Wood - Effects on Absorption, Strength and Colour*, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, LTU Skellefteå, Division of Wood Physics, Sweden.

Johansson, D. ve Morén, T., (2006). The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood. *Holz als Roh - und Werkstoff* 64 (2): 104 - 110.

Kamdem, D. P., Pizzi, A. ve Jermannaud, A., (2002). Durability Of Heat - Treated Wood. *Holz als Roh und Werkstoff* 60: pp: 1 - 6. und *Werkstoff* 64: 192 - 197.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kartal, S.N., (1999). CCA ve CCB Emprenye Maddeleri İle Korunan Ağaç Malzemenin Yıkama, Dayanıklılık ve Direnç Özellikleri, İÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Kartal, S.N., ve Imamura, Y., (2004). Borlu Bileşiklerin Emprenye Maddesi Olarak Ağaç Malzeme ve Kompozitlerde Kullanımı Ü.Uluslararası Bor Sempozyumu, 23 - 25 Eylül Eskişehir, Türkiye.

Kartal, S.N. ve Ayrılmış, N., (2005). Blockboard with boron-treated veneers: laboratory decay and termite resistance tests, *International Biodeterioration & Biodegradation* 55 (2), 93-98.

Kartal, S.N., Hwang, W.J., ve Imamura, Y., (2007). Water absorption of boron - treated and heat - modified wood. *J Wood Sci.* 53:454 - 457.

Kaya, Z. ve Teremit, A., (1994). Genetic Structure of Marginally Located *Pinus nigra* var. *Pallasianapopulations* in Central Turkey, *SilvaeGenetica* 43, 272-276.

Kocaefe, D., Poncsak, S. ve Boluk, Y., (2008). Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *Bio Resources* 3 (2):517 - 537.

Kollmann, F. ve Schneider, A., (1963). On the sorption behaviour of heat stabilized wood, *Holz Roh - Werst.* 21 (3)77 - 85.

Kortelainen, S.M., Antikainen, T. ve Viitaniemi, P., (2006). The Water Absorption Of Sapwood And Heartwood Of Scots Pine Ad Norway Spruce Heat - Treated At 170 °C, 190 °C, 210°C And 230 °C. *Holz als Roh und Werkstoff* , (64), 192 - 197.

Korkut, S. ve Kocaefe, D., (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5 (2): 11 - 34.

Korkut, S., Korkut, D., S. ve Bekar, İ., (2008a). Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, I. Ulusal Okaliptüs Sempozyumu.

Korkut, D.S, Korkut, S.,Bekar, I., Budakçi, M., Dilik, T. ve Çakıcıer, N., (2008b). The effects of heattreatment on the physical properties and surface roughness of Turkish Hazel (*Corylus colurnaL.*) wood. *Int J Mol Sci.* 9 (9): 1772 - 1783.

Korkut D.S. ve Guller, B. (2008). The effects of heat treatment on physical properties and surfaceroughnessof red - bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technology* 99 (8):2846 - 2851.

Korkut, S., (2008). The effects of heat treatment on some technological properties in Uludağ fir wood, *Build Environment*, 43 (4): 422 - 428.

Kubojima, E., Okano, T. ve Ohta, M., (2000). Bending strength and toughness of heat-treated wood *Journal of Wood Science*, 46(1) 8-15.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kurtoğlu, A., (2000). Ağaç Malzeme Yüzey işlemleri ve Genel Bilgiler, İ. Ü., Orman Fakültesi, Orman End. Müh. Böl., İstanbul, 1:31 - 32.

Leithoff, H. ve Peek, R. D., (2001). Heat Treatment of Bamboo, IRG/WP 01 - 40216 (The International Research Group On Wood Preservation), Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), Leuschnerstr. 91, D 21031, Germany.

Leithoff, H. ve Peek, R. D., (1998). Hitzebehandlung - eine Alternative zum chemischen Holzschutz. Tagungsband zur 21. Holzschutz-Tagung der DGfH in Rosenheim:97-108.

Maclean, J.D., (1952). Preservative treatment of wood by pressure methods¹, Agriculture Handbook No. 40 U. S. Department of Agriculture, Forest Service.

Mayes, D. ve Oksanen, O., (2002). ThermoWood Handbook, Version 1.0, Finnforest, Finland.

Militz, H., (2002). Heat treatment technologies in Europe: scientific background and technological state-of-art. In: Proceedings of Conference on "Enhancing the durability of lumber and engineered wood products" Kissimmee, Orlando. Forest Products Society, Madison, US. February 11-13.

Millett, M. A. ve Gerhards, G. C., (1972). Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C, Japan. Journal of Wood Science 4 (4). 193 - 201.

Nuopponen, M., (2005). FT - IR and U.V. Raman: Spectroscopic studies on thermal modification of scotch pine wood and its extractable compounds. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.

Örs, Y., (1986). Odunun Fiziksel Özellikleri K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayını, No: 5,203 s., Trabzon.

Özalp, M., (2003). Su itici ve Koruyucu Emprenye Maddeleri ile Muamele Edilmiş Çam Örneklerinin Su Soğutma Kulelerinde Kullanımı ile Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimin incelenmesi, ZKÜ, F.B.E., Doktora Tezi, Bartın.

Özçifci, A., (2001). Emprenye Edilmiş Lamine Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Ankara.

Özçifçi, A., Altun, S. ve Yapıcı, F., (2009). Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.

Rapp, A. O., (2001). Review On Heat Treatments Of Wood, Proceedings Of Special Seminar Held in Antibes, France.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rapp, A. O. ve Sailer, M., (2001b). Oil heat treat treatment of wood in Germany - State of the art. Review on heat treatments of wood. COST Action E22, Environmental optimisation of wood protection. Proceedings of the special seminar held in Antibes, France. 9th February 2001, Forestry and Forestry Products, France. pp. 45–62.
- Roffael, E. ve Schaller, K., (1971). The Influence of Thermal Treatment on Cellulose. Holz als Roh - und Werkstoff. Sayı:29:275 - 278.
- Rowel, R., (1984). The Chemistry of Solid Wood, Advances in Chemistry 207, American Chemical Society, Washington, DC.
- Rusche, H., (1973). Thermal Degradation of Wood at Temperatures up to 200 °C, Part I, Strength of Dried Wood After Heat Treatment, Holz Roh - u, Werkstoff, 31: 273 - 281.
- Ruyter, H.P.,(1989). European patent Appl. No. 89-203170-9.
- Sell, J. ve Feist, W. C., (1985). Weathering Behaviour of Chromium - Copper - Boron Treated Wood, Holz als Roh und Werkstoff. 43: 518.
- Shafizadeh F. ve Bradbury A. G. W., (1979). Thermal Degradation Of Cellulose in Air And Nitrogen At Low Temperature. J. Appl. Polym. Sci. 23, 1431 - 1442.
- Shi, J, L., Kocafe, D. ve Zhang, J., (2007). Mechanical Behaviour of Quebec Wood Species Heat - Treated Using Thermowood Process, Holz Roh Werkst, 65: 255 - 259.
- Sivrikaya, H, (2003). Diri ve Öz Odunun Emprenye Edilebilirliği ve Dayanım Özellikleri, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın
- Sjöström, E., (1993). Wood Chemistry: Fundamentals and Applications, Second Edition, Academic Press, San Diego - California 92101 - 4495 USA.
- Sönmez, A. ve Budakçı, M., (2004). Ağaçışlerinde üstyüzey işlemleri II, Sevgi Ofset, Ankara.
- Sundqvist, B., (2004). Colour changes and acid formation in wood during heating. Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Sweden, p. 50
- Syrjanen, T. ve Oy, K., (2001). Production and Classification of Heat Treated Wood in Finland, Review on Heat Treatments of Wood. In: Proceedings of the special seminar held in Antibes, France.
- Şahin Kol. H., (2010). Characteristics of heat - treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing, Journal of Environmental Biology, 31(6): 1007 - 1011.
- Şimşek, H., (2009). Ülkemiz için yeni bazı borlu bileşiklerin ağaç malzemenin yoğunluk, mekanik özellikler, biyolojik direnç ve üst yüzey özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 103s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

TS 2470, (1976). Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler için Numune Alma Metodları ve Genel Özellikler, T.S.E., Ankara.

TS 2472, (1976). Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler için Birim Hacim Ağırlığı Tayini, T.S.E. Ankara.

TS 4084, (1983). Odunda Radyal Teğet Doğrultuda Şişmenin Tayini, T.S.E. Ankara.

TS 4086, (1983). Odunda Hacimsel Şişmenin Tayini, T.S.E., Ankara.

TS 2474, (1976). Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, T.S.E. Ankara.

TS 2478, (1976). Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, T.S.E. Ankara.

TS 2595, (1977). Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini, T.S.E. Ankara.

Toker, H., (2007). Borlu bileşiklerin ağaç malzemenin bazı fiziksel mekanik ve biyolojik özelliklerine etkilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 73 - 88.

Unsal, O. ve Ayrilmis, N., (2005). Variations in compression strength and surface roughness of heat - treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood, Journal of Wood Science, 51:405 - 409.

Uysal, B., (2005). Ağaç Malzeme Ders Notları, Z.K.Ü.Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük.

Ünsal, O., Korkut, S. ve Atik, C., (2003). The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus, Wood. Maderas. Cienciay Tecnologia, 52 (2): 145 - 152.

Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT), (2001). Reaction mechanisms of modified wood during 10/1999 - 6/2001, P.O. Box 1000, FI - 02044 VTT, Finland.

Vernois, M., (2001). Heat Treatment of Wood in France-State of the Art, Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France on 9 February.

Viitanen, H., Jamsa, S., Paajanen, L., Nurmi, A., ve Viitaniemi, P., (1994). The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce, IRG/WP/40032 Annual Meeting, Indonesia, Section 4,1 - 4.

Viitaniemi, P., (1997). Decay-resistant Wood Created in a Heating Process, IndustrialHorizons, 23: 77-85.Espoo.VTT's Communications.

Homan, W. J., ve Jorissen, A. J. M. (2004). Wood Modification Developments, Heron, 49 (4).

Winandy J. E., (1997). Effects of fire retardant retention, borate buffers, and redrying temperature after treatment on thermal - induced degradation, For Prod Jurnal, 47:79 - 86.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yaltırık, F., (1993). Dendroloji I, Gymnosperma eI, (Açık Tohumlular), İ.Ü.Orman Fak. Yayını No 3443, Ankara.

Yıldız, S., (2002). Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik, Teknolojik ve Kimyasal Özellikleri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yıldız, S., Gezer, E.D. ve Yıldız, U.C., (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat, Build Environ 41:1762 - 1766.



ÖZGEÇMİŞ

Bireysel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Bilal DOĞAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.02.1982 Şanlıurfa
Uyruğu : T.C
Medeni Durumu : Evli
Mesleki Durumu : Polis Memuru (2011 -)

İletişim Adresleri

Adres : Aşiti Mahallesi Toki Konutları CG-5 Daire:8
Kızıltepe/MARDİN
Gsm : 0545 417 00 75
E - Posta : bdogan6282@gmail.com

Eğitim Durumu

İlköğretim : Şanlıurfa Kanuni Sultan Süleyman İlkokulu
Orta öğretim : Süleymaniye Orta Okulu
Lise : Şanlıurfa Endüstri Meslek Lisesi, Elektrik Bölümü
Üniversite : Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Orman Fakültesi
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü (2001 - 2005)
Yüksek Lisans : Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri
Teknolojiler, Ağaç İşleri Teknolojisi Bilim Dalı (2014 -)
Yabancı Dil : İngilizce