



Kurutma ve iklimlendirme parametrelerinin ahşap malzeme ve ahşap konstrüksiyon uygulamasına etkilerinin araştırılması

Mustafa Altıok ¹, Musa Atar ², Mustafa Aktaş ¹, İhsan Küreli ¹, H. İsmail Kesik ¹, Ramazan Bülbül ^{1*}, Hilal Ulaşan ¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi:03/05/2023

Kabul Tarihi : 30/05/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1291064>

*Sorumlu Yazar:

ramazanbulbul@gazi.edu.tr

Öz

Bu çalışmada, ağaç işleri endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan ve Türkiye coğrafyasında yeterince yetişmesi nedeniyle sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve sapsız meşe (*Quercus petrea* L.) odunları kullanılarak, kurutma ve iklimlendirme parametrelerinin ahşabın bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine ve ahşap konstrüksiyon uygulamalarına etkisi araştırılmıştır. Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan üç ahşap türünden kaba ölçülerdeki yeterli miktarda taslak parçalar ısıtma fırınında 100°C lik sıcaklıkta ve ritmik buhar püskürtmeli fırın ortamında 360 saat süre ile kurutulmuştur. Kurutulmuş üç odun türü taslak parçalardan 1260 adet deney örneği ilgili standartlara göre hazırlanmış ve araştırma yönteminde bildirildiği gibi kullanılmıştır. Deney örnekleri tümü sırasıyla 20°C/%65 iklim şartında (iklimlendirme odasında) 168 saat (bir hafta) bekletilip, örneklerin üçte birisine testler uygulanmıştır. Kalan örneklerin tamamı ardışık (münavebeli) olarak 40°C/%35 iklim şartında 168 saat süreyle bekletilip ikinci üçte biri test edilmiş ve en son kalan kısım (son üçte biri) 10°C/%50 iklim şartında yine aynı süreyle bekletilmiş ve fiziksel ölçümler ile mekanik testler uygulanmıştır. Böylece test örneklerinin ardışık (münavebeli) iklim şartlarında bulunması ile bir yıllık mevsimsel dış ortam döngü şartlarını ve bu şartların ahşap malzeme özelliklerine ve ahşap uygulamalar üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Sonuç olarak, kurutulmuş ve her üç iklim şartında bekletilmiş deney örneklerindeki rutubet denge düzeyinin kurutulmamış deney örneklerine göre daha düşük düzeyde olduğu, daha az deformasyona uğradığı, genel olarak mekanik direnç değerlerinde artış belirlenirken özellikle kavelalı ve zıvanalı konstrüksiyon uygulamalarında önemli düzeyde stabilite sağlandığı tespit edilmiştir.

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler: Ahşap malzeme, kurutma, ardışık iklim şartı, fiziksel ve mekanik özellikler, iklimlendirme odası

Investigation of the effects of drying and air conditioning parameters on wood material and wooden construction application

Abstract

In this study, drying, and conditioning parameters of the wood were determined by using Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), Eastern beech (*Fagus orientalis* L.), and sessile oak (*Quercus petrea* L) woods, which are widely used as a material in the Woodworking Industry and are sufficiently grown in Turkey. Its effects on some physical and mechanical properties and wood construction applications were investigated. Draft pieces in rough sizes from three wood species used in the preparation of the test samples were dried in a heat treatment oven at 100°C and in a rhythmic steam jet oven environment for 360 hours. 1260 test specimens from three dried wood species were prepared according to the relevant standards and used as stated in the research method. All of the test samples were kept at 20°C/65% climatic conditions (air conditioning room) for 168 hours (one week), respectively, and tests were applied to one-third of the samples. All of the remaining samples were kept consecutively (alternately) at 40°C/35% climatic condition for 168 hours and the second third of them were tested and the last remaining part (last one-third) was kept at 10°C/50% climatic condition for the same time and the test was applied. Thus, the one-year seasonal outdoor cycle conditions and the effects of these conditions on wood material properties and wood applications were determined by the presence of test specimens in successive (alternating) climatic conditions. As a result, it was determined that the moisture balance level of the samples prepared from dried wood and kept in all three climatic conditions consecutively was lower than the undried wood, less deformation was observed, and a significant level of stability and increase was achieved in the mechanical resistance values and in the successive climatic conditions of dowel and tenon construction applications has been done.

Key Words: Wood material, drying, sequential climatic condition, physical and mechanical properties, air conditioning room

Bu makaleye atıf:

Altunok, M., Atar, M., Aktaş, M., Küreli, İ., Kesik, H.İ., Bülbül, R., Ulaşan H., 2023. Kurutma ve iklimlendirme parametrelerinin ahşap malzeme ve ahşap konstrüksiyon uygulamasına etkilerinin araştırılması. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(1) 132-140.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Ahşap malzeme doğal bir polimerdir. Orman ürünleri arasında “odun” ya da “kereste” adı altında ilk sırada yer alır. Taze kesilmiş odun bünyesinde fazla miktarda su içerir ve kurutulmadan yapar bir malzeme olarak kullanılamaz. Su (nem), odun bünyesinde iki farklı pozisyonda yer alır. Bunlardan birincisi; hücre lümen boşluklarında serbest su olarak bulunur ve kuruma sırasında önce ve hızla serbest su odunu terk eder. Malzemenin boyutsal değişiminde (çekme-şişme) bir rolü yoktur. İkincisi; odun hücresinin çeperlerinde yer alan ve selüloz molekülleri ile bağ kurarak tutunan bağıl sudur. Bağıl su, odun hücresinde %28-%31 civarında bulunur ve ahşabın çalışmasına bu su sebep olur. Kuruma sırasında serbest suya göre odunu daha zor ve uzun sürede terk eder. Odundan ayrılış hızına göre iç ve dış çatlaklar, hücre çökmeleri ve şekil bozuklukları gibi kusurlara sebep olur (Örs, 2001).

Taze kesilmiş bir odun (tomruk ve kereste) bünyesinden suyu dış ortama verip kurutulabildiği gibi, kurutulmuş bir odun da dış ortamın rutubetini bünyesine tekrar alarak bir higroskopik denge kurmaya çalışır. Ancak, her bir ağaç türü odununun rutubet alma-verme davranışı birbirinden farklıdır. Özellikle ilk ve tamamen kurutmadan sonraki su alış-veriş oranının daha da azaldığı bilinir. Bu durum histerize olayı olarak adlandırılır (Berkel, 1970). Histerize olayı ahşap malzemenin kurutularak kullanımının önemini ortaya koymaktadır.

Ahşap sistem ve ürünler genellikle hava kurusu denge rutubetindeki (%10-12) keresteden yapım işlemleri uygulanarak üretilirler. Kereste rutubeti bulunduğu ortamın denge rutubetinden daha yüksekte olması halinde, planya, freze, torna vb. makinelerde işlenmesi (kesme, biçme, rendeleme) sırasında şekil bozuklukları (çarpılma) meydana gelebilmekte, işlenen yüzeylerde kesilme değil lif kopmasından kaynaklanan kabarcıklar ortaya çıkmakta ve kesicilerde sıkışmalara sebep vermekte olduğu tüm sektör çalışanları tarafından dile getirilir. Yani kurutulmamış ve denge rutubet yüzdesi fazla olan ahşap malzemenin işleme süreçlerinin birçok zorlukları olduğu gibi rutubeti yüksek ahşap elemanların birleştirilerek ürüne dönüşüm sırasında tutkallı birleşimlerde ve laminasyonda zayıf yapışma ve kuruduktan sonra açılmalar (delaminasyon) olabilmektedir. Kapak, çekmece, kapı pencere kanadı vb. hareketli elemanların gövde ile arasında bırakılan çalışma boşluğunun (ürüne göre 2 mm ve daha fazla) rutubet değişimine bağlı olarak azalması veya artması görünüş bozukluğu ve fonksiyonel deformasyonlara neden olabilmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı, ahşap malzemenin üretilen sistemler ve ürünler hangi çevresel ortamda kullanılacak ise, o ortamın denge rutubetinde kurutulmuş olması ideal olarak tavsiye edilmektedir.

Ahşap malzemenin önce kurutulması ve daha sonra kurutmanın farklı iklim şartlarındaki kullanımlar için önemi birçok araştırmaya konu olmuş, olmaya da devam etmektedir. Bazı mekanik özelliklerin farklı iklim şartlarındaki araştırıldığı çalışmada, yapışma mukavemeti açısından test sonuçları; ardışık değişen iklim şartları sürecinde olumsuz etkilenmiş ve bireysel sürece (tek iklim şartındaki bekletmeye) göre yüzde 7 azalmıştır. Ağaç türü olarak çamda meşeye göre yüzde 14 daha yüksek dayanım elde edilmiştir. Elastiklik modülü (MOE) açısından; ardışık süreçte olumsuz etkilenmiş ve bireysel sürece göre %1,4 azalmıştır. Ahşap türü olarak meşeye göre yüzde 10,5 tutkal türü olarak ise PA300 tutkalına göre yüzde 32,6 daha

yüksek elastikiyet göstermiştir. Tutkal hattında uzama deformasyonu açısından; sıralı süreç olumsuz etkilenmiş ve bireysel sürece kıyasla yaklaşık yüzde 19 azaldığı tespit edilmiştir (Kürel, 2020).

Farklı iklim (sıcaklık ve nispi nem) ortamlarında bekletmeden sonraki özellik değişimlerin incelendiği çalışmada; iklimlendirilmiş numunelerin üretim ortamındaki numunelere kıyasla düşük nemin etkisiyle boyutlarının küçüldüğü ve artan bağıl nem nedeniyle şişerek büyüdüğü belirlenmiştir. Beş katmanlı lamine numunelerinin boyutsal değişiklikleri yaklaşık %6 ile en yüksek iken, üç katmanlı numunelerinki sadece %1 ile en düşük olmuştur. Eğilme mukavemeti, 20/65 ikliminden gelen değerlere kıyasla 40/35 ikliminde bir artış kaydetmiştir. Ahşabın türüne bağlı olarak bu %13 ile %27 olarak gerçekleşmiştir. Elastiklik modülünün artışı sert ağaçlar için yaklaşık %13 ve çam için sadece %1 gerçekleşmiştir. Bağıl nemin %95'e yükseltilmesi, eğilme mukavemetini %18'e kadar azaltmış ve eğilmede elastisite modülünü %3 ile %7 arasında düşürdüğü tespit edilmiştir (Altunok, 2013).

Değişen iklim şartlarında yayvan yapraklı ve iğne yapraklı odun özellikleri mukayese edilmiş, özellikle yayvan yapraklı odunda daha yüksek şişme ve boyutsal artış belirlenmiştir. Bu özellikler, iğne yapraklı odunda daha düşük miktarlarda gerçekleşmiştir (Schnider, 2009).

Yapılan farklı bir araştırmada, üretim ve kullanım sırasında iklim şartları arasındaki farkın, ahşap sistem ve ürün elemanlarının mukavemet değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Altunok, 2012).

Farklı bağıl nemlerde (%50, %65, %80 ve %95) şartlandırılan ahşap numuneler 200°C'de 2, 4, 8, 10 ve 24 saat ve 100°C, 150°C ve 200°C'de 24 saat ısıtma tabii tutulan ladin odununun mekanik özellikleri, boyutsal kararlılığı ve rengi üzerindeki etkilerini incelemişler. Sonuçta, ısıtma işleminin esas olarak ahşap dokuların koyulaşmasına, ahşabın boyutsal stabilitesinin iyileştirilmesine ve mekanik özelliklerinin azalmasına neden olduğunu göstermektedir (Bekta, 2003).

Ortotropik bir malzeme olarak karakterize etmek için farklı nem koşullarındaki kayın ağacının bağımsız elastiklik özellikleri belirlenmiştir. Bazı Poisson oranları dışında tüm elastik parametreler, artan nem içeriği ile rijitlikte bir azalma görülmüştür (Hering, 2012).

Yapısı nedeniyle bünyesinde rutubet bulduran ağaç malzemenin, kullanım yerine bağlı olarak %19'dan %5'e kadar inen kuruluğa ihtiyaç gösterdiği, kuruluğun mekanik dayanımdan stabilizeye, yüzey işlemlerinden doğal dayanıma kadar birçok avantajı beraberinde getirdiği ve bu avantajların yapısal ahşapta çok daha öne çıktığı vurgulanmıştır (Görgün, 2023).

Ahşabın tam kurutulması hem teknik ve teknolojik hem maliyet, hem de yapısal zorluklar içermektedir. Bu araştırmanın amacı; ısıtma işlem fırınında üç tür odundan taslak parçalar (örnekler için uygun ölçülerde) tam olarak kurutulmuş (%4-5 arası denge rutubetine kadar) ve bu kuruluğa malzemenin standart boyutlarda hazırlanmış ölçüm ve test örnekleri (numuneler) birbiri ardı sıra (ardışık olarak) farklı iklim ortamlarında bekletilerek, bu iklim şartı değişimine bağlı örneklerin mekanik-fiziksel özellikleri ve biçimsel (şekilsel bozulmalar) değişimleri sayısal değerler olarak belirlemek ve bu değerler yardımı ile kurutulmuş ahşabın mevsimsel iklim şartlarındaki oldukça azalmış özellik ve davranışlarını ortaya

koymaktır. Bu araştırmada belirlenmiş olan üç iklim şartı (20°C/%65, 40°C/%35, 10°C/%50) hem mevsimsel ortamın sıcaklık ve nispi nemini (İlkbahar-Sonbahar, Yaz ve Kış), hem de ahşap sistem ve ürünlerin kullanıldığı ortamları (ısıtılmayan kapalı mekan ve çevresi açık ortam, soba ile ısıtılan mekan ve kalorifer ile ısıtılan mekan) sembolize etmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

2.1.1 Ağaç malzeme

Bu araştırmada, 0,52 g/cm³ yoğunluğundaki sarıçam (*Pinus silvestris* L.), 0,64 g/cm³ yoğunluğundaki Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve 0,69 g/cm³ yoğunluğundaki sapsız meşe (*Quercus petraea* L.) odunları kullanılmıştır. Çalışma konusu üç tür kereste; birinci sınıf özelliklere ve hava kurusu rutubette sahip olarak Ankara Keresteciler Sitesi'nden rasgele yöntemle temin edilmiştir. Ahşap malzeme seçiminde düzgün lifli, budaksız, normal yetişmiş (bölge çizgisi, reaksiyon odunu, çürüme, böcek ve mantar enfeksiyonu bulunmayan) olmasına dikkat edilmiştir.

2.1.2 Tutkal

Poliüretan (PUR) esaslı tutkal: Bal renginde, tek bileşenli, solvent içermeyen ahşap yapıştırıcıdır. Havadaki ve malzemelerdeki nem ile kürleşir ve bağlanır. Düşük viskoziteye sahiptir ve uygulaması kolaydır. Hızlı kürlenir, suya ve kimyasal korozyona dayanıklıdır. DIN EN 204 (2016) standartlarına göre yapıştırıcı D4 suya dayanıklıdır. Nemli yüzeylerde de boşluk dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve yapışma gücünü kaybetmez. İşlenmiş kereste, seramik ve ahşap panel ürünleri gibi sert malzemelerin metal, taş, beton, bazı sentetik malzemeler ve lamine yüzeylere yapıştırılmasında uygulanabilir. Yapıştırma sırasında yüzey ve ortam sıcaklığı +50°C'nin üzerinde olmalıdır. İyi bir yapışma için yüzeylerden birinin rijit olması çok önemlidir. Yapıştırıcı bir veya iki yüzeye ince bir tabaka halinde eşit olarak uygulanmalıdır. Yapıştırılacak malzemeler 10 dakika içerisinde birbirine yapışmalı ve en az 15-20 dakika preslenmelidir. Nihai kürlenme 24 saatte tamamlanır. Yapıştırıcı soğuk koşullarda uygulanır. 25°C'de yoğunluğu 1,1 g/cm³, pH'ı 7 ve viskozitesi 3300–4000 cP idi. 20°C'de ve yüzde 65 bağıl nemde 30 dakikada katılaşır. Yapıştırıcının her iki yüzeye de 150 g/m² oranında uygulanması önerilmektedir (URL-1).

Polivinil asetat tutkalı (PVAc): Daha çok montaj işlerinde tercih edilen ve çözücü içermeyen tek bileşenli, soğuk olarak uygulanabilmesi, kolay sürülmesi, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz oluşu ve işlenmesi sırasında kesici aletleri yıpratmaması gibi avantajlı özellikleri yanında mekanik direnci sınırlı olup uygulandıktan sonra sıcaklık arttıkça yumuşamakta ve 70°C den itibaren bağlantı maddesi görevini gerektiği gibi yapamamaktadır. Birleştirilecek yüzeylerden yalnız birinin tutkalanması ve ahşap türü ile birleşme yüzeyinin durumuna göre 150-200 gr/m² tutkal kullanılması iyi bir birleştirme için yeterli olmaktadır (Örs, 1987). PVAc tutkalı uygulamasında TS 3891 (1983)'de belirtilen esaslara uyulmuş olup, yoğunluğu 1,1

gr/cm³, viskozitesi 16-20 sn/DIN/cup, pH değeri 5, kül miktarı %3, masif ahşap malzemenin birleştirilmesinde odun rutubeti %6-15, presleme süresi soğuk tutkallamada 20°C' de 20 dakika, 80°C'de 2 dakika olarak verilmekte, 60°C'nin üzerinde presleme yapılması önerilmemekte ve presleme ortamında soğuyuncaya kadar dinlendirilmesi önerilmektedir

2.2 Dene örneklerinin hazırlanması

Dene örneklerinin hazırlanmasında kullanılan üç ahşap türünden kaba ölçülerdeki yeterli miktarda taslak parçalar ısıtılmış fırında 100 °C lik sıcaklıkta ve ritmik buhar püskürtmeli fırın ortamında 360 saat süreyle kurutulmuştur (Şekil 1). Kurutulmuş üç ahşap türü taslak parçalardan 1260 adet dene örneği ilgili standartlara göre hazırlanmış ve araştırma yönteminde bildirildiği gibi kullanılmıştır. Bu araştırma kapsamında irdelenen ahşap teknolojisinde kurutma ve iklimlendirme parametrelerinden bazıları, kullanılan ahşap türleri, tutkal çeşidi ve uygulama teknikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme deseni

Deney ve Ölçüm	Standart	T	A T	İ Ş	Ö S	Toplam
Denge rutubeti içeriği	TS 2472		3	3	10	90
Yoğunluk	TS 2472		3	3	10	90
Çarpılma miktarı	TS EN 1309-3		3	3	10	90
Laminasyonda açılma	TS EN 391	2	3	3	10	90+90
Eğilme ve Elastiklik	TS EN 310 - TS 2478		3	3	10	90
Şok direnci,	TS 2477		3	3	10	90
Basınç direnci,	TS 2595		3	3	10	90
Yapışma direnci	DIN 53255 - TS EN 319	2	3	3	10	90+90
Kavelalı diyagonal basınç	ASTM-D 1037	2	3	3	10	90+90
Zıvanalı diyagonal basınç	ASTM-D 1037	2	3	3	10	90+90
TOPLAM						1260

T:Tutkal, AT: Ahşap Türü, İŞ: İklim Şartı, ÖS: Örnek Sayısı

2.3 Yöntem

Dene örneklerinin hazırlanmasında kullanılan üç ahşap türünden kaba ölçülerdeki yeterli miktarda taslak parçalar ısıtılmış fırında 100°C'lik sıcaklıkta ve ritmik buhar püskürtmeli fırın ortamında 360 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan taslak ahşaptan sarıçamın denge rutubetinin %4, meşenin ve kayının %5 civarında olduğu belirlenmiştir.

2.3.1 Ardışık iklim şartında bekletme

Hazırlanan dene örneklerinin tümü sırasıyla 20°C/%65 iklim şartında (iklimlendirme odasında) 168 saat (bir hafta) bekletilip, örneklerin üçte birisine Çizelge 1'de verilen testler

uygulanmıştır. Kalan örneklerin tamamı ardışık (münavebeli) olarak 40°C/%35 iklim şartında 168 saat süreyle bekletilip (Fotoğraf.2), ikinci üçte biri test edilmiş ve en son kalan kısım (son üçte biri) 10°C/%50 iklim şartında yine aynı süreyle bekletilmiş ve test uygulanmıştır. Böylece, tüm örneklerin 1/3'üne sadece 20°C/%65 iklim şartından sonra test ve ölçüm uygulanmış, kalan kısım 40°C/%35 iklim şartında bekledikten sonra (ardışık) 2/3'ü iki iklim şartını da yaşadıkten sonra test ve ölçüm uygulanmış, en son kalan 1/3 kısmı 10°C/%50 iklim şartında beklettikten sonra (ardışık) her üç iklim şartında bulunmuş olarak test ve ölçüm uygulanmıştır.



Şekil 1. Kurutma (ısıl işlem) fırını (1 m³)



Şekil 2. İklimlendirme odası (30 m³)

2.3.2 Fiziksel özellikler

Rutubet tayini: Bu proje kapsamında TS 2472 (1976) de belirtilen esaslara göre 20x20x30 mm ebatlarındaki ölçüm/test örnekleri ile rutubet tayini "Yöntem" maddesindeki I., II., III., ve IV. Adımlardaki işlemler esas alınarak gerçekleştirilir. Her bir adım sonundaki rutubet miktarı değişimi (m) mevcut olan rutubet değerindeki ahşap malzeme ağırlığı W_w, tam kuru ağırlığa W_o oranı ile hesaplanır.

$$m = \frac{W_w}{W_o} W_w = W_m - W_o \quad m = \frac{(W_m - W_o) \times 100}{W_o} g \quad \text{Burada;}$$

W_m: Rutubetli ahşabın ağırlığı,

W_w: Ahşaptaki su miktarı,

W_o: Tam kuru ağırlık,

m : Rutubet yüzdesi.

Yoğunluk tayini: Her bir ahşap türü ve her bir iklim şartında yoğunluk ölçümleri "Yöntem" maddesindeki I., II., III., ve IV. Adımlardaki işlemler esas alınarak gerçekleştirilir. Yoğunluk tayininde, TS 2472 (1976)'de belirtilen esaslara uygun olarak ölçüm/test gerçekleştirilir ve örneklerden elde edilecek veriler aşağıdaki denklemde yerine konularak her bir adımdaki yoğunluk değişimi hesaplanır. Buna göre, her bir adımdaki yoğunluk (δ);

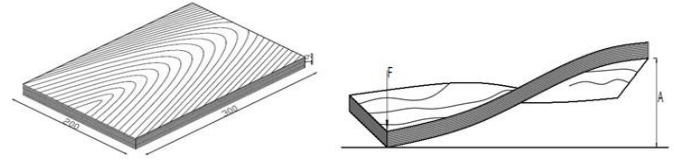
$$\delta = \frac{m}{v} g/cm^3 \quad \text{Eşitliğinden hesaplanır. Burada;}$$

m = Örnek ağırlığı (g),

v = Örnek hacmi (cm³).

Çarpılma miktarının belirlenmesi: Çarpılma (şekil bozukluğu) miktarının ölçülmesinde TS EN 1309-3 (2018) esas alınır. Her bir ahşap türü ve iklim şartı için 19x200x300 mm boyutlarında deney ölçüm örnekleri hazırlanır (Şekil 3). Her bir iklim şartındaki bekletme sonunda düzlemde sapma olarak

çarpılma 0,01 hassasiyetli kumpasla ölçülerek. Ölçüm sonuçları kaydedilir ve değişim miktarı belirlenir.



Şekil 3. Ahşap malzemede çarpılma örneği boyutları ve ölçümü

Laminasyonda açılma (delaminasyon): Test örnekleri her üç türden tam kurutulmuş lamine ahşap bloklarından TS EN 391 (2006) standardında belirtildiği gibi; blok uçlarının iç kısmından liflerine dik 50 mm genişlik, 100 mm uzunluk ve 10 mm kalınlıkta iki eleman her iki tutkal çeşidi ile lamine edilmiş iklimlendirme cihazında 20°C/%65, 40°C/%35, 10°C/%50 nispi nem şartlarında bir hafta süreyle bekletilir. Bu örneklerde tutkal derzi ölçümleri yapılır. Daha sonra örnekler sirkülasyon hızı 2 m/s ilâ 3 m/s arasında ve 60°C-70°C sıcaklıkta olan hava akımının bulunduğu etüvde değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulur. Kurutma süresince örnekler bir birinden en az 50 mm aralıklı ve hava akımına paralel konumda yerleştirilmelidir. Kurutmadan sonra her bir örneğin tutkal derzlerinin açılan kısımları uzunluk olarak 0,01 hassasiyetle ölçülür ve toplam örnek derzi uzunluğuna bölünerek açılma oranı % olarak hesaplanır.

2.3.3 Mekanik özellikler

Eğilme direnci ve eğilmede elastiklik modülü tayini: TS 2474 (1976) ve TS 2478 (1976) esaslarına göre eğilme ve eğilmede elastiklik modülü belirlemek için 20x20x340 mm boyutlarında her bir ahşap türünde ve her bir iklim şartında ardışık olarak bekletilmiş örnekler, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Mekanik Test Laboratuvarındaki Üniversal test cihazında üç noktadan eğilme direnci deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Deney cihazının yük kapasitesi 5 ton olup elektro-mekanik sistemde çalışmaktadır. Yükleme hızı bilgisayar ile ayarlanabilmektedir. Testlerde statik yükleme hızı 2 mm/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Testler sonucunda, kırılma anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiş ve eğilme direnci aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanmıştır.

$$oe = \frac{3xFxLs}{2xaxb^2}$$

Oe : Eğilme direnci (N/mm²),

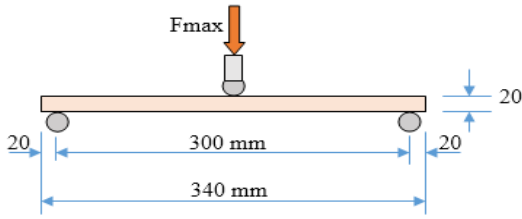
Fmax : Kırılma anındaki kuvvet (N),

300(Ls) : Dayanak açıklığı (mm),

340 : Örnek boyu,

20 : Örnek genişliği (mm),

20 : Örnek kalınlığı (mm).



Şekil 4. Üç noktadan eğilme direnci deneyi

Lamine ahşap örneklerde yapışma direncinin tayini: Lamine ahşapta yapışma direnci TS EN 205 (2017) standardına göre tayin edilir. Şekil 5'de görüldüğü gibi kontrol ve test örnekleri 20x20x150 mm boyutlarında tam kurutulmuş ahşap malzemelerden hazırlanır. Her bir iklim şartında ardışık olarak bekletilmiş örnekler 1,5-2 dk. Kopana kadar devam edip sabit bir çekme kuvveti uygulanır. Kuvvet uygulaması örnek kopuncaya kadar devam ettirilir ve kopma anındaki maksimum kuvvet (F) olarak kayıt edilir. Yapışma direnci (σ_y) aşağıdaki denklem ile hesaplanır.



Şekil 5. Yapışma direnci örneği (mm)

$$\sigma_y = F_{max} / a \times b$$

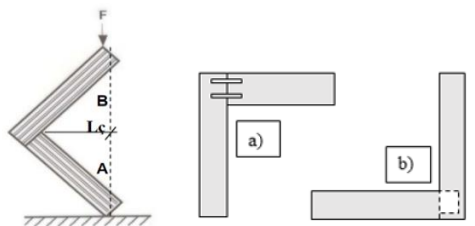
Burada;

δ_y : Yapışma direnci (N/mm^2),

F_{max} : Kırılma kuvveti (N),

a.b: Yapışma yüzey alanı (mm^2).

Kavelalı ve zıvanalı birleşmeli örneklerde diyagonal basınç kuvvetinin belirlenmesi: Her bir ahşap türü ve tutkal çeşidi ile tam kuru haldeki ahşaptan hazırlanmış ve her bir iklim şartında ardışık olarak bekletilmiş örnekler diyagonal basınç kuvveti ASTM-D 1037 (1975) esaslarına göre uygulanır (Şekil 6).



Şekil 6. Diyagonal basınç testi düzeneği (a-Kavelalı köşe birleşme örneği, b- Zıvanalı köşe birleşme örneği)

3. Deneysel bulgular

3.1 Fiziksel özelliklerde değişim

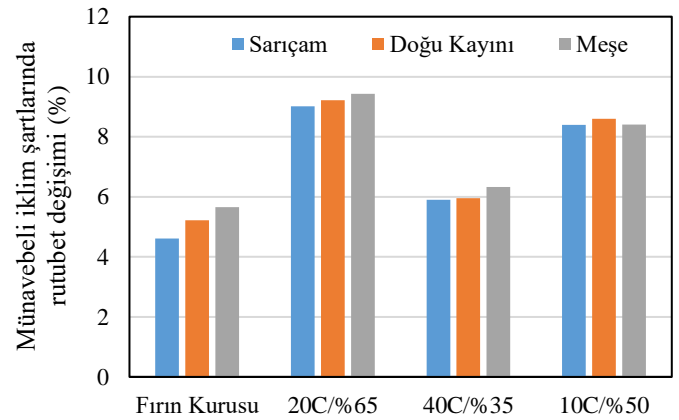
Kurutma ve iklimlendirme parametrelerinin ahşap malzeme ve ahşap konstrüksiyon uygulamasına etkilerinin araştırılması çalışmasında rutubet oranı, yoğunluk miktarı, çarpılma miktarı ve laminasyonda açılmaya ait fiziksel değişim değerlerine ait

sonuçların ortalamaları aşağıdaki grafiklerde (Şekil 7,8,9,10) verilmiştir.

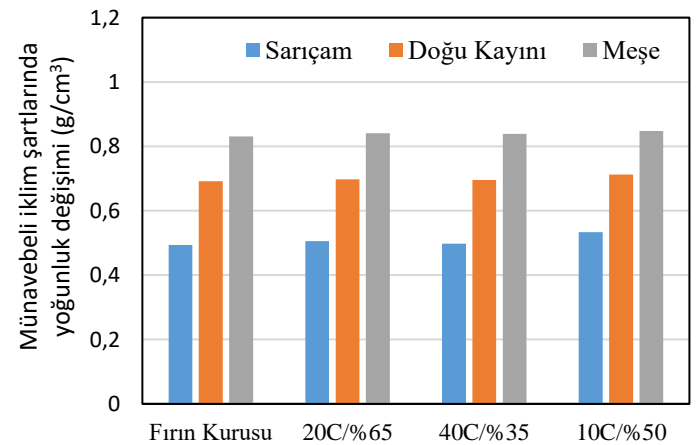
3.1.1 Rutubet ve yoğunluk değişimi

100°C sıcaklıktaki kurutma (ısı işlem) fırınında 15 gün boyunca (360 saat) %4,61-55, 65 denge rutubetine kadar kurutulmuş olan taslak parçalardan elde edilen üç ahşap türünden rutubet oranı ölçüm örnekleri 20°C/%65 – 40°C/%35 ve 10°C/%50 iklim şartlarında ardışık (münavebeli) olarak bekletilmiş ve her bir iklim şartında bekletmeden sonra belirlenen denge rutubeti değerleri Şekil 7'de, denge rutubetine bağlı olarak değişen yoğunluk değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 7'ye göre; 20°C/%65 iklim şartında tüm ahşap örneklerde denge rutubeti %9 civarında, 40°C/%35 iklim şartında %5-6 civarında ve 10°C/%50 iklim şartında ise %8 civarında ölçülmüştür.

Üç değişik iklim şartındaki denge rutubetine bağlı olarak farklılık göstermesi gereken yoğunluk değerleri; her bir ahşap türünde fırın kuru halde kazanılan yoğunluk değerleri her üç iklim şartında da stabil hale geldiği, sarıçamda 0,494-0,533 g/cm^3 , kayında 0,692-0,712 g/cm^3 ve meşede ise 0,831-0,848 g/cm^3 gibi birbirine çok yakın değerler arasında gerçekleştiği Şekil 6'da verilmiştir.



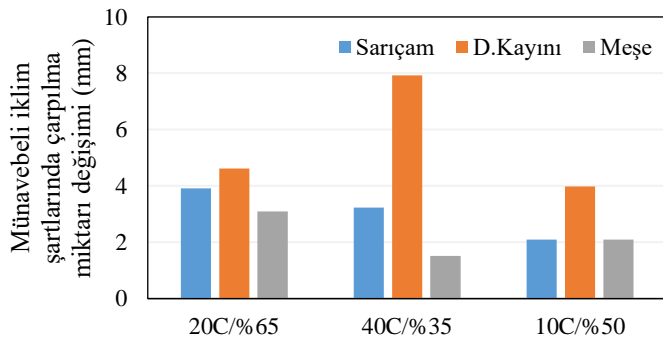
Şekil 7. Ardışık elde edilmiş denge rutubeti değerleri



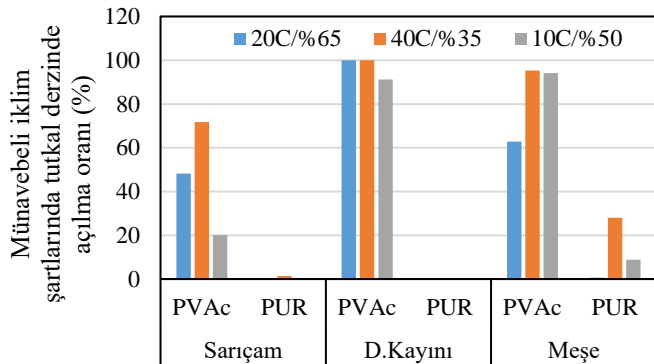
Şekil 8. Ardışık elde edilmiş yoğunluk değerleri

3.1.2 Çarpılma ve laminasyonda açılma oranı

Suni kurutmadan sonraki her üç ahşap türünden tam düzlemsel örnekler her üç iklim şartında tekrar rutubet alıp-verip radyal ve teğet yöndeki farklı oranlarda boyut artışından-daralmasından kaynaklanan iç gerilmeden dolayı tam düzlemsel halini kaybedip oluklanma, bükülme gibi düzlemden saparak çarpıldığı Şekil 9'da rakamlar ile ifade edilmiştir. Burada en büyük çarpılma 40°C/%35 iklim şartında bekletilmiş kayın örneklerde 7,93 mm, en küçük çarpılma da yine kayın örneklerde ve aynı iklim şartında bekletilmiş meşe örneklerde 1,51 mm olarak gerçekleşmiştir. Her üç iklim şartında bekletilmiş örneklerde en çok kayında en az da meşede çarpılma meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 9. Ardışık elde edilmiş çarpılma değerleri



Şekil 10. Ardışık elde edilmiş delaminasyon değerleri

Münavebeli iklim şartlarında tutkal derzinin açılma oranı ile çarpılma (çalışma) arasında önemli bir ilişki olduğu bilinmektedir. Her üç ahşabın denge rutubeti değişimi sırasında meydana gelen şişme-daralma iç gerilmesi hem çarpılmanın hem de laminasyonda (tutkalı birleşme derzlerinde) açılmasını kaynağını oluşturmaktadır. Tutkal derzi açılması fırın kurusundan sonra üç iklim şartında bekletmelerde en çok PVAc tutkalı birleşmelerde meydana geldiği, PUR tutkalı birleşmelerde ve ahşap olarak ta meşede ya hiç açılmadığı ya da en az açılma olduğu belirlenmiştir (Şekil 10).

3.2 Mekanik özelliklerde değişim

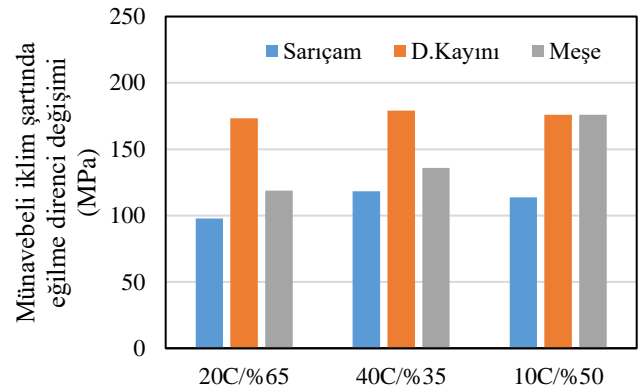
Fırın kurusu üç ahşap türünden örnekler üç farklı iklimlendirme şartında ardışık olarak beklettikten sonra uygulanan mekanik

testlerden elde edilen sonuçların ortalamaları Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.

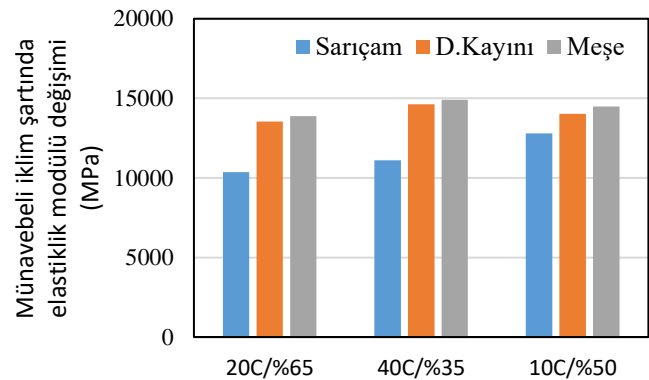
3.2.1 Eğilme direnci ve elastiklik modülü değişimi

Şekil 11'de verilen grafiğe göre; suni olarak kurutma işleminden sonra hazırlanan ve ardışık (münavebeli) olarak üç farklı iklim ortamında bekletilmiş örneklerde en yüksek eğilme direnci kayın örneklerde 175,34–179,02 MPa değerleri arasında elde edilmiştir. Daha sonra eğilme direnci sırasıyla meşede 118,83–176,02 MPa ve sarıçamda 97,89–118,21 MPa olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 12'de verilen grafiğe göre elastiklik modülü, en yüksek meşede 13878,92-14900,37 MPa, daha sonra kayında 13550,11–14625,28 MPa ve sarıçamda ise 10358,69–12800,02 MPa arasında elde edilmiştir. Kayın ve meşe elastiklik modülü bakımından her üç iklim şartında birbirine yakın değerde iken, sarıçamda 20°C/%65, 40°C/%35 ve 10°C/%50 iklim şartlarında sırasıyla artarak değiştiği görülmüştür.



Şekil 11. Ardışık elde edilmiş eğilme direnci değerleri

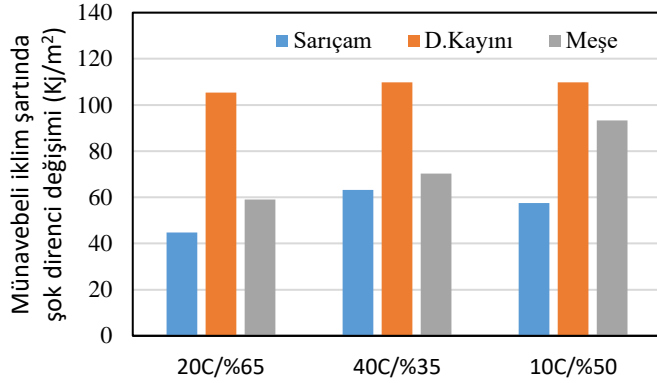


Şekil 12. Ardışık elde edilmiş eğilme direnci değerleri

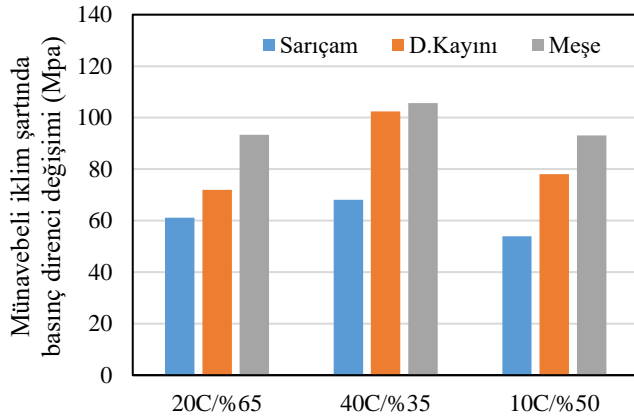
3.2.2 Şok direnci ve basınç direnci değişimi

Şekil 13'te verilen grafiğe göre şok direnci en yüksek Doğu kayınında elde edilmiş ve ardışık üç iklim şartında 105,31-109,82 kJ/m² arasında birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Meşede ardışık iklim şartlarında artarak 58,99–93,33 kJ/m² arasında, sarıçamda ise en düşük olmak kaydıyla 20°C/%65 iklim şartlarında 44,75 kJ/m², 40°C/%35'te 63,19 kJ/m² ve 10°C/%50'de tekrar azalarak 57,51 kJ/m² olarak elde edilmiştir.

Şekil 14'te verilen grafiğe göre basınç direnci; en yüksek her üç iklim şartında da meşede 93,12–105,66 MPa olarak elde edilmiş, daha sonra sırasıyla kayında 71,99–102,42 MPa ve Sarıçamda ise 53,98–68,08 MPa olarak gerçekleşmiştir. Tüm odun türlerinde 20°C/%65'e göre basınç direnci, 40°C/%35'te artmış, 20°C/%65'te ise düşmüş olarak belirlenmiştir.



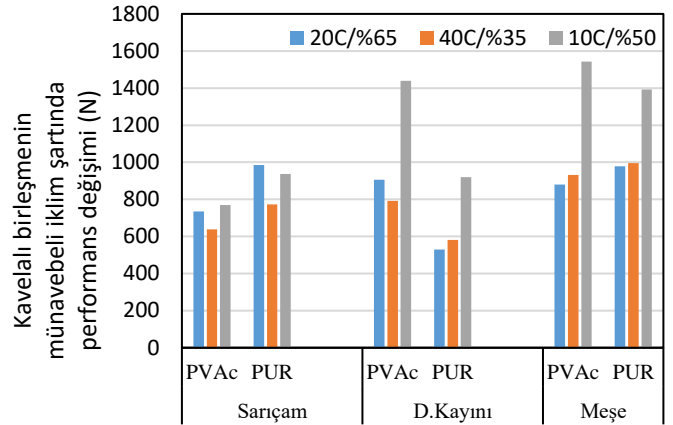
Şekil 13. Ardışık elde edilmiş şok direnci değerleri



Şekil 14. Ardışık elde edilmiş basınç direnci değerleri

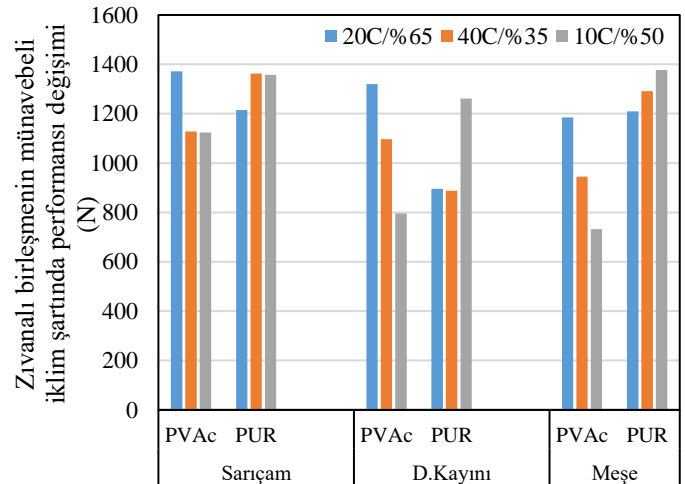
3.2.3 Kavelalı birleşme ve zıvanalı birleşme performansı değişimi

Şekil 15'te verilen grafiğe göre kavela birleşmeli örneklerde kuvvet performansı; en yüksek PVAc tutkalı ve 10°C/%50 iklim şartında bekletilmiş meşede (1543,46 N) ve en düşük ise PUR tutkalı 20°C/%65 iklim şartında bekletilmiş Doğu kayınında (529,69 N) elde edilmiştir. Her iki tutkal ile tutkallanmış ve 40°C/%35 şartında bekletilmiş sarıçam örneklerde kuvvet performansı diğer iklim şartlarında bekletilenlerden daha düşük, PUR tutkalı örneklerde kuvvet performansı PVAc ye göre daha yüksek gerçekleşmiştir. Ayrıca, her iki tutkal ile tutkallanmış 40°C/%35 ve 10°C/%50 iklim şartlarında bekletilmiş Doğu kayını ve meşe örneklerde ardışık olarak kuvvet performansı artışı belirlenmiştir.



Şekil 15. Ardışık elde edilmiş kavela birleşme performansı değerleri

Şekil 16'daki grafiğe göre zıvana birleşmeli meşe örneklerde kuvvet performansı; en yüksek PUR tutkalı, 10°C/%50 iklim şartında bekletilenlerde (1377,51 N), en düşük ise PVAc tutkalı 10°C/%50 iklim şartında bekletilenlerde (732,64 N) elde edilmiştir. Genel olarak her iki tutkal ile tutkallanmış ve üç iklim şartında bekletilmiş sarıçam örnekler ve PUR tutkalı ile tutkallanmış ve her üç iklim şartında bekletilmiş meşe örneklerde ardışık olarak artan yüksek kuvvet performansı belirlenmiştir.

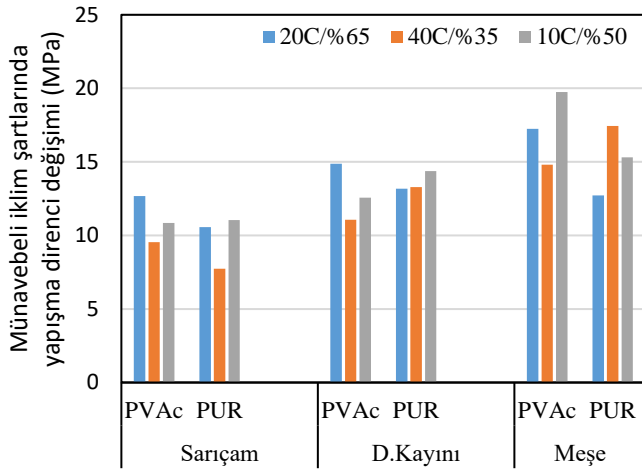


Şekil 16. Ardışık elde edilmiş zıvanalı birleşme performansı değerleri

3.2.4 Yapışma direnci değişimi

Yapışma direnci, ahşap malzemenin yapısı, yoğunluğu, bünyesinde içerdiği rutubet miktarı ve tutkalın yapısal özelliklerine bağlı olarak değişen bir uygulama değeri olduğu bilinmektedir. Şekil 17'de verilen grafiğe göre en yüksek PVAc tutkalı 10°C/%50 iklim şartında bekletilmiş meşede 19,75 MPa en düşük ise PUR tutkalı 40°C/%35 iklim şartında bekletilmiş Sarıçam örneklerde 7,74 MPa olarak belirlenmiştir. Her iki tutkal ile tutkallanmış tüm ahşap örneklerde 40°C/%35 iklim şartında bekletilmiş örneklerde yapışma direnci diğer iki iklim

şartında bekletilmiş örneklerle göre daha düşük gerçekleştiği (PUR tutkallı meşe örnekler hariç) görülmektedir.



Şekil 17. Ardışık elde edilmiş yapışma direnci değerleri

4. Sonuç ve Öneriler

4.1 Sonuçların değerlendirilmesi

Rutubet ve yoğunluk değişimi: Literatürde önceden kurutulmamış ahşabın 20°C/%65 iklim şartında denge rutubetinin %12, 40°C/%35 iklim şartında %6,5 ve 10°C/%50 iklim şartında ise %9,5 olabileceği verilmiştir (1). Ahşap malzemenin kurutulup daha sonra tekrar rutubet alması sürecinde sarıçamda yaklaşık %3, Doğu kayınında %2,8 ve meşede %2,6 oranında daha düşük düzeyde denge rutubeti sağlanmıştır (histereze olayı). Bunun nedeni, odunun önce yüksek sıcaklıkta kuruması sırasında selüloz moleküllerindeki serbest hidroksil (OH) gruplarının fırın kurutma sıcaklığından etkilenerek su molekülleri ile bağlanma yetisi olan higroskopik özelliğinin azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Suni kuruma ile higroskopik özelliği azalmış ve daha düşük düzeyde rutubet dengesi kuran her üç ahşaptan yoğunluk kurutmadan sonraki 20°C/%65 iklim şartında denge rutubetine bağlı olarak %2,4 artmış, 40°C/%35 şartında değişmemiş, 10°C/%50 iklim şartında ise %8'lik bir artış kaydetmiştir. Bu küçük yüzde oranlardaki değişim ihmal edilebilecek kadar düşük olup, kurutmadan sonra denge rutubetinin düşük düzeyde gerçekleşmesi ile adeta yoğunluklar da iklim şartına göre değişmez hale geldiği söylenebilir (Şekil 9).

Çarpılma ve laminasyonda açılma oranı değişimi: Çarpılmanın fırın kurusundan sonra en çok Doğu kayınında sırasıyla üç iklim şartında 4,61 mm, 7,93 mm ve 3,98 mm meydana geldiği belirlenmiştir. 10°C/%50 iklim şartında ardışık olarak işlem görmüş örneklerin denge rutubetlerinin düşük düzeyde kalması ve önceki iki iklim şartında tükenmiş olan iç gerilme enerjisinden dolayı çarpılma miktarları çok düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Kayında çarpılmanın yüksek olmasının nedeni, üç odun içerisinde en yüksek hacimsel daralma oranına sahip ve iç gerilme enerjisinin çok yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Tutkal derzi açılmasının (delaminasyonun) özellikle en fazla ahşap türü olarak kayında ve tutkal çeşidi olarak PVAc'li birleşmelerde meydana gelmesinin nedeni tutkalin rutubete

bağlı olarak yapışma bağının tekrar çözülmesi ve açılması (dönüşümlü yapışma), kayın odununu ise en büyük çalışma hassasına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. PUR tutkallı dönüşümsüz ve nem kürlenmeli sertleşerek yapıştığı için iklimsel değişimden etkilenmediği ve PVAc'ye göre daha yüksek bir yapışma direncine sahip olduğu söylenebilir.

Eğilme direnci ve elastiklik modülü değişimi: İklim şartlarının eğilme direnci değerleri değişimine Doğu kayını ve Sarıçamda çok fazla etkisinin olmadığı görülürken, meşede sırasıyla 20/65, 40/35 ve 10/55 şartlarda bir artış olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin, meşe örneklerin rutubet geçirgenliğinin diğer odun türü örneklerle göre tülleşmeden dolayı daha düşük düzeyde olması ve başlangıçta kurutulmuş örnekler iklim şartlarındaki tekrar rutubet alma-verme sürecinde fazla bir değişmediğinden iyice rijitleşerek eğilme direncinin artmış olabileceği söylenebilir.

Elastiklik modülündeki değişimin az olmasının nedeninin, eğilme direncinde olduğu gibi önceden kurutulmuş olan ahşap malzeme iklim şartları arasında rutubet alış-veriş olayından fazla etkilenmeden, her üç malzemede de elastikliğin kendi içerisinde stabil hale geldiğinden kaynaklandığı söylenebilir.

Şok direnci ve basınç direnci değişimi: Her üç iklim şartında bekletilmiş Doğu kayınında şok direncinin en yüksek ve birbirlerine yakın değerlerde çıkmasının nedeni önceden fırın kuruluk düzeyine kadar kurutulup iklim şartlarında bekletme sürecinde tekraren düşük düzeyde rutubet alarak rutubetin selüloz ve lignini daha az etkilemesine bağlı olarak şok direncinde stabilite sağlamış olabileceğinden kaynaklandığı söylenebilir. Bu değişim kayına göre daha az geçirgen olan meşede fırın kurusundan sonra su alma kabiliyetinin iyice azalmasından dolayı şok direnci 20°C/%65 iklim şartından başlamak üzere 40°C/%35 ve 10°C/%50 iklim şartlarında artarak gelişmiştir. Sarıçamdaki yüksek su geçirgenlik kabiliyetinin ön kurutmadan sonra da bir miktar devam etmesinden kaynaklanan nispi nemin yüksek olduğu 20°C/%65 iklim şartında şok direncinin düştüğü, kuru iklim şartı 40°C/%35'te çok yüksek çıktığı ve tekrar nispi nemin arttığı 10°C/%50 iklim şartında ise buna bağlı olarak düştüğü söylenebilir.

Kavelalı birleşme ve zıvanalı birleşme performansı değişimi: Kavela ve zıvana birleşmeli uygulamalarda diyagonal kuvvet performansının genelde tüm ahşap türlerinde 10°C/%50 iklim şartında bekletilmiş örneklerde yüksek çıkmasının nedeni, iklim şartının ardışık sıralamada en sonuncu olması ve örneklerin ön kurutmadan sonra iç yapısal çalışma enerjisini iyice yitirerek çalışmayıp tutkal bağlarının sağlam kalmasından ve sağlam kalmış yapışma derzinin daha çok diyagonal kuvvet taşımasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yapışma direnci değişimi: Her iki tutkal ile tutkallanmış tüm ahşap örneklerden 40°C/%35 iklim şartında bekletilmiş örneklerde yapışma direnci diğerinin diğer iki iklim şartında

bekletilmiş örnekler göre daha düşük gerçekleşmesinin nedeni, bu iklim şartında iyice rutubet kaybetmiş (kurumuş) örneklerdeki iç gerilmeden dolayı çalışan ahşap bünye ile tutkal katmanının elastikliği aynı olmadığından (farklı elastiklikteki tutkal ve ahşap bünye) ve tutkal katmanının aşırı kurumasından dolayı iyice gevreklediğinden test sırasında daha düşük kuvvetler karşısında yapışma derzinde kopma meydana geldiği söylenebilir.

4.2 Öneriler

Kurutma ve iklimlendirme parametrelerinin ahşap malzeme ve ahşap konstrüksiyon uygulamalarına etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda ahşap malzemeden sistem tasarımcıları ve uygulamacılara kısaca:

Ahşap malzeme kullanılmadan önce kurutulduğunda (suni yöntemle kurutulması tercih edilir) imalat sonrası kullanım ortamlarında içinde bulunduğu nispi nemden az etkilenip, düşük düzeyde rutubet dengesi kurarak bundan dolayı daha az çalıştığından ya da çalışmadığından ahşaptan geliştirilmiş endüstriyel ürünlerde deformasyonun azalması sağlanabilir (Şekil 8).

Endüstriyel üretimden önce kurutulmuş ahşap malzeme gerek depolanma süreçlerinde gerekse ürüne dönüşüp kullanım süreçlerinde farklı ardışık ortam ve iklim şartlarında beklediği sırada kurutma aşamasında azalmış olan higroskopik davranışından dolayı daha az çalışma, çarpılma vb. deformasyonlara uğradığı tespit edilmiştir.

Kurutulmuş ahşabın fiziksel özelliklerinin ve mekanik direnç değerlerinin ardışık iklim şartlarında çok büyük oranda stabilite kazandığı ve arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, dış ortam şartlarında kullanılacak ahşap ürünlerin (park, bahçe, kent mobilyası, ahşap oyun parkı düzenlemeleri vb.) imalatı için kurutulmuş kereste önerilir.

Teşekkür

Bu makale, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 7827 ID numaralı, FCD-2022-7827 kodlu ve "Kurutma ve iklimlendirme parametrelerinin ahşap malzeme ve ahşap konstrüksiyon uygulamalarına etkilerinin araştırılması" adlı çok disiplinli araştırma projesinden üretilmiştir. BAP koordinasyon birimine teşekkürler arz olunur.

Kaynaklar

- Altunok M, Wetzig M, Niemz P., 2012, Verklebtes Thermoholz İm Feuchtraum Verwenden. Holz-Zentralblatt (20), 519-520.
- Altunok M At Al, 2013, Untersuchung Des Strukturellen Verhaltens Von Furnierschichtholz (LVL) Unter Verschiedenen Klimatischen Bedingungen. Holztechnologie 54.
- ASTM-D 1037, 1975, Standart Methods of Evaluating Properties Of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, American National Standart.
- Berkel, A., Ağaç Malzeme Teknolojisi Kitabı, Kutulmuş Matbaası, 1970.

- Bekhta, P. And Niemz, P., Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, Vol. 57, No. 5, 2003, Pp. 539-546. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.080>
- DIN 53255 2017, Testing of wood adhesives and glued wood joints - Mechanical delamination tests by grooving and chopping.
- DIN EN 204, (2016), Classification of Thermoplastic Wood Adhesives for Non-Structural Applications.
- Görgün, H. V. ve Ünsal, Ö., 2023. Yapısal ahşap - rutubet ilişkisi. Bab Journal Of FSMVU Faculty of Architecture And Design. 4 (1), S. 53-63.
- Hering, S., Keunecke, D. & Niemz, P. 2012. Moisture-dependent orthotropic elasticity of beech wood. Wood Sci Technol, 46, 927-938.
- Kürelİ İ., Altunok M., 2020 Investigation of bonding performance of polyurethane (pur) based adhesives to different climate conditions, Politeknik Dergisi, 23(4), 407-412.
- Örs, Y., Kama Dişli Birleşmeli Masif Ağaç Malzemede Mekanik Özellikler, Yardımcı Ders Kitabı, K.T.Ü., Orman Fakültesi, S 29-34, Trabzon, 1987.
- Örs, Y., Keskin H., Ağaç Malzeme Bilgisi, Atlas yayınevi, s:58-59, 2001.
- Schnider T, Niemz P, Hurst A 2009, Verklebung Von Wärmebehandeltem Buchenholz. Zukunft HOLZ, Kapital 10.2: Kleber Und Bindemittel, S. 833-838.
- TS 2471, (1976). Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Rutubet Miktar Tayini, TSE, Ankara.
- TS 2472, 1976. Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Hacim Yoğunluk Değerinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS 2477, (1976). Odunun çarpmada eğilme dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS 2478, 1976. Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 2479, (2005). Odunun Statik Sertliğinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS 2595, 1977. Wood-Determination of Ultimate Stress In Compression Parallel to Grain, TSE, Ankara.
- TS 3891, 1983. "Yapıştırıcılar-polivinil asetat esaslı emülsiyon (malzeme için)", TSE, Ankara.
- TS EN 1309-3, 2018. Yuvarlak ve Biçilmiş Yapacak Odun (Kereste)- Boyutları Ölçme Metodu- Bölüm 3: Özellikler ve Biyolojik Degradasyonlar, TSE, Ankara.
- TS EN 205, 2017. Yapıştırıcılar - Yapısal Olmayan Uygulamalar İçin Ahşap Yapıştırıcılar - Bindirmeyele Yapıştırılmış Eklerin Çekmeyle Kayma Mukavemetinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 310, 1999. Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini, TSE, Ankara
- TS EN 320, 2011. Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Vida Tutma Mukavemetinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 325, 2012. Ahşap Esaslı Levhalar - Deneysel Parça Boyutlarının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 391, 2006. Tutkallanmış Lâmine Kereste – Tutkal Hatlarından Tabakaların Ayrılması Deneyi, TSE, Ankara.
- URL-1.<http://Www.Apeltutkal.Com/Betakimya.Com.Tr/>. (Retrieved: 28.01.2019).