

ISITILAN BİNA İÇİ İKLİM KOŞULLARINDA ODUN RUTUBETİ DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Yrd.Doç.Dr.Kemal ÜÇÜNCÜ, Yrd.Doç.Dr. Aytaç AYDIN, Sebahattin TIRYAKI

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü,
61080, Trabzon, TÜRKİYE
kucuncu@ktu.edu.tr

Özet- Bu çalışma Trabzon'da (Türkiye) merkezi ısıtma uygulanan bina içi iklim koşullarında Ceviz (*Juglans regia*), Doğu kayını (*Fagus orientalis* (L.) Link.), Kestane (*Castanea sativa* Mill.), Doğu ladini (*Picea orientalis*) ve Okaliptus (*Ocalpitus cemaldulensis*) odunlarının rutubet değişimini araştırmaktadır. Odun örnekleri 10 mm ve 25 mm teğet ve radyal, 50 mm kare kesitli olmak üzere elde edilmiştir. Odun rutubeti, odun denge rutubeti ve bina içi iklim koşullarında havanın bağıl nemi sırasıyla tartı metodu, Hailwood-Horrobin modeli ve nemli hava termodinamiği bağıntıları kullanılarak belirlenmiştir. Verilerin istatistiksel analizleri SPSS23 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Odun rutubet değişimi denge rutubetindeki ani değişimlere çoğu zaman uyum sağlayamamakla beraber, denge rutubetinin stabil olduğu durumlarda odun rutubeti ile denge rutubeti arasındaki fark azalmıştır. Odun rutubeti ile denge rutubeti aylık ortalamaları arasında yüksek derecede doğrusal ilişki bulunmuştur. Ayrıca, odunun kalınlığı arttığında rutubet değişiminin azaldığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber, teğet yönde kesilmiş odunlarda rutubet değişiminin radyal yönde kesilmiş odunlardan daha hızlı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Odun, kesit, kalınlık, odun rutubeti, iklim koşulları

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WOOD MOISTURE CHANGE IN HEATED INDOOR CLIMATE CONDITIONS

Abstract- This study investigates moisture change on wood of walnut (*Juglans regia*), beech (*Fagus orientalis* (L.) Link.), chestnut (*Castanea sativa* Mill.), spruce (*Picea orientalis*) and eucalyptus (*Ocalpitus cemaldulensis*) in the central heated indoor conditions in Trabzon (Turkey). Wood samples were obtained with 10 mm and 25 mm of tangent and radial, 50 mm of square sections. The wood moisture, the wood equilibrium moisture content and relative humidity of air in indoor conditions were determined using the weighing method, Hailwood-Horrobin model and moist air thermodynamic relations, respectively. Statistical analyzes of the data were performed using the SPSS 23 software package. Wood moisture change often failed to adapt to sudden changes in the equilibrium moisture, and when equilibrium moisture was stable, the difference between wood moisture and equilibrium moisture was reduced. There was a high degree of linear relationship between wood moisture and equilibrium moisture monthly averages. It was observed that the moisture change was decreased when the thickness of the wood increased. Besides, it was also determined that moisture change in wood cut in tangential direction is faster than wood cut in the radial direction.

Bu makale, 4. Uluslararası Mobilya ve Dekorasyon Kongresi'nde sunulmuş ve İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi'nde yayınlanmak üzere seçilmiştir.

Key words: Wood, section, thickness, wood moisture, climatic conditions

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Odun, değerli bir mühendislik malzemesidir ve birçok durumda, teknolojik gelişmeler onu daha da kullanışlı hale getirmiştir. Odunu ham maddelerin ön planında tutan özgün faktörler çok çeşitlidir. Ancak başlıca özellik, hemen hemen her talebe uyacak şekilde birçok tür, boyut, şekil ve koşulda bulunabilir olmasıdır. Çoğu yapısal malzemeye oranla, yüksek özgül dayanım özelliği, ona yapısal bir malzeme olarak kullanılma avantajı sağlar. Kuru odun ısı, ses ve elektriğe karşı iyi yalıtım özelliklerine sahiptir. Bazı kullanım koşullarında titreşimleri absorbe etme ve dağıtma eğilimi gösterir ve yine de müzik aletleri için benzersiz bir malzeme olarak değerini korumaktadır. Desenleri ve renkleri ile estetik açıdan hoş bir malzeme olup; görünümü lekeler, vernikler, cilalar ve diğer kaplamalarla kolaylıkla geliştirilebilir. Aletlerle kolayca şekillendirilir ve yapışkanlar, çiviler, vidalar, civatalar ve dübellere ile tutturulur. Hasarlı ahşap kolayca onarılır ve ahşap yapılar kolayca yenilenir veya değiştirilir. Odun, oksidasyona, asit, tuzlu suya ve diğer aşındırıcı ajanlara karşı dayanıklıdır, iyi şok direncine sahiptir, koruyucular ve alev geciktiricileri ile onarılabilir ve fonksiyonel ve estetik kullanımlar için hemen her malzeme ile kombine edilebilir [1].

Odun higroskopik bir maddedir. Bu özelliği ile odun rutubetinin (RM), odunu çevreleyen havanın bağıl nemine (RH) ve sıcaklığına (T) bağlı olarak dalgalanabileceği anlamına gelir.. Odunda rutubet sorpsiyonu, % 0 ile yaklaşık % 30 arasında gerçekleşir. Odunda higroskopik olarak ulaşılan bu rutubet miktarı sınır değerine lif doygunluğu noktası (LDN) denir. Lif doygunluğu noktasının üstünde hücre duvarları tamamen doymuştur ve rutubet hücrelerin boşluklarına aktarılır. Lif doygunluk noktası ağaç türlerine (örneğin meşe: % 22-24, çam, karaçam, douglas-kökknar: % 26-28, ladin: % 30-34) bağlı olarak değişir [2]. Sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak odun rutubetinde meydana gelen değişim, anizotropik özelliği nedeniyle üç ayrı yönde farklı miktarlarda boyut değişimine neden olur [3]. Çekme ve şişme, radyal ve teğetsel yönde uzunlamasına yönde olduğundan daha belirgindir. Odun kesitlerinin en dıştaki tabakası iklim koşullarına ilk başta adapte olacağından, rutubet eğimindeki artış ve buna bağlı büzülme veya şişme kesitteki gerilimin dengelenmesine yol açacaktır. Bu gerilmeler, gevşeme prosesleri ile zamanla kısmen azaltılsa da, dikey gerilimdeki artış, çatlaklar şeklinde ani gerilim azalması ile sonuçlanır. Yapısal kereste unsurlarındaki çatlakların yaygın nedeni çevresel iklimdir [4]. Bu nedenle, odunun kullanım yerindeki iklim koşullarına bağlı olarak ulaşması muhtemel denge rutubeti miktarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi veya bilinmesi odunun kullanım performansı açısından önemlidir.

Yüksek rutubet miktarının varlığı mantarların bozunumunu veya büyümesini başlatabilir. Bu nedenle odun rutubeti miktarının doğru tahmin edilmesi ve potansiyel olarak gerekli önlemlerin başlatılması, odun veya odun esaslı ürünlerle yapılan binaların planlanması, yürütülmesi ve bakımı sırasında vazgeçilmez görevlerdir. Odunun rutubet tepkisinin dikkate alınmaması, yapısal kereste unsurlarında yüksek hasarların oluşmasının yolunu açar [4].

Odun malzemeler sabit iklim koşullarında depolandığında, odun rutubeti bağıl nem, sıcaklık, hava basıncı ve odunun kimyasal ve yapısal bileşiminden etkilenen odun denge rutubeti miktarına ulaşır. Bu faktörler ile odunun denge rutubeti oranı arasındaki ilişki sıklıkla sorpsiyon izotermi ile temsil edilmektedir. Odunda su alımının (adsorpsiyon) hızı genellikle su salınım (desorpsiyon) hızından daha yüksek olduğu için, adsorpsiyon ve desorpsiyon için tipik S şeklindeki sorpsiyon izotermi özdeş olmayıp, aralarındaki farka histerez denir [4]. Odunun bu özelliği, kurutulmasının bir avantajı olarak yorumlanır. Nem içeriği makul sınırlar içerisinde uygun yöntemlerle kontrol edilirse, boyutsal değişikliklerden kaynaklanan büyük sorunlardan genellikle kaçınılabilir [5].

Odununun belirli iklim koşullarında ulaşacağı denge rutubeti üzerinde odun özelliklerinin de etkisi vardır. O halde, odunun özellikleri, odunun bulunduğu iklim koşulları ve bu iklim koşullarını etkileyen faktörlerin araştırılması, belirlenmesi odun denge rutubetinin belirlenmesinde önemli kolaylıklar sağlar. Birçok araştırmada, odun özellikleri ve iklim koşullarının belirlenmiş olması halinde, odun denge rutubetini belirleyen metotlar geliştirilmiştir [6, 7].

Odun nem içeriğini belirlemek için direkt ve indirekt olmak üzere iki genel yaklaşım ayırt edilebilir. Doğrudan ölçümlerde, nem içeriği, kurutma veya su ekstraksiyonu ile belirlenir. Doğrudan ölçüm, odun elemanlar için yıkıcı yöntemlerdir. Dolaylı ölçüm yöntemleri odunun nem içeriğiyle ilişkili fiziksel özelliklerini kullanır [4]. Odun denge rutubetinin belirlenmesinde bir yaklaşım da odun rutubetinin fonksiyonu olan hava sıcaklığı ve bağıl nem verilerinden yararlanmaktır. Literatürde havanın sıcaklığına ve bağıl nemine bağlı olarak odun denge rutubeti miktarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan matematiksel modeller bulunmaktadır. Bu araştırmada kullanılmış olan Hailwood ve Horrobin [8] modeli ile ilgili olarak yaygın uygulamalar bulunmaktadır [9].

Bu araştırmada, belirli kalınlıklarda beş ağaç türü odununun ısıtılan bina içi iklim koşullarında rutubet miktarları belirlenmiş, Hailwood ve Horrobin [8] modeli kullanılarak hesaplanan odun denge rutubeti değerleriyle karşılaştırılmıştır.

2. MATERTAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Araştırma, Trabzon'da Karadeniz Teknik Üniversitesi lojmanlarında merkezi ısıtmalı kapalı bina içerisinde gerçekleştirilmiştir. Trabzon iklimi, deniz etkisinde olup, yıl boyu yüksek bağıl neme sahiptir. Araştırmada 5 ağaç türü odunu örnek materyali olarak kullanılmıştır. Odun örneklerinden Ceviz Akçaabat (Trabzon), Doğu kayını ve Doğu ladini Maçka (Trabzon), Okaliptus odunu Tarsus (Mersin) ve Kestane Pazar (Rize) Orman İşletmelerinden temin edilmiştir. Ağaç türü odunlarının her birinden 100 cm'lik kısımları üç eşit parçaya bölünüp, her parçadan 2'şer adet 1 x 10 x 25 cm radyal ve teğet, 2.5 x 10 x 25 cm radyal ve teğet, 5 x 5 x 25 cm kare kesitli olmak üzere toplam 10, her ağaç türünden toplam 30 örnek hazırlanmıştır. Örnek seçimi TS 2470 [10], rutubet miktarı tayini TS 2471 [11] ve birim hacim ağırlığı (yoğunluk) tayini TS 2472 [12]'ye göre yapılmıştır. Denemelerde kullanılan ağaç odunlarının bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [13, 14]. Odun örnekleri belirli bir süre denemelerin yapılacağı ortamda denge rutubetine ulaşmaya kadar bekletilmiş ve kalınlık makinasında işlendikten sonra zımparalanmıştır [15-17].

Tablo 1. Denemelerde kullanılan odunların bazı özellikleri (Some properties of the woods used in the experiments)

Özellik	Doğu kayını	Ceviz	Okaliptus	Doğu ladini	Kestane
LDN (%)	29.2	22 - 24	30 - 34	32.0	22 - 24
Tam kuru yoğunluk (gcm^{-3})	0.63	0.64	0.85	0.41	0.63
Hacim yoğunluk değeri (kgm^{-3})	531	560	710	359	550
Daralma, liflere paralel (%)	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6
Daralma, radyal (%)	5.0	5.2	6.2	3.8	4.3
Daralma, teğet (%)	10.5	7.4	9.9	7.4	6.4
Daralma, hacimsel (%)	15.5	12.7	16.6	11.5	11.3

2.2.Yöntem (Method)

Odun örnekleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Lojmanlarında kaloriferle ısıtılan bir odada ortalama iklim koşullarının hakim olduğu bir yerde bekletilerek denemeler yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı odanın döşemesi ahşap olup, oda içinde ayrıca higroskopik madde bulunmamaktadır. Isıtılan bina içindeki hava koşullarında sıcaklık ve bağıl nem termohigrografla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bina içi günlük sıcaklık ve bağıl nem ortalamaları günün 7, 14 ve 21. saatlerindeki ölçüm değerlerinden hesaplanmıştır [18]. Aylık ortalama iklim verileri günlük ortalamalardan belirlenmiştir. Dış hava koşulları Trabzon Meteoroloji istasyonu ölçümlerinden alınmıştır. Denemelerin yapıldığı yerle rasat sonuçlarının alındığı yerin dış iklim koşulları arasında belirgin bir fark bulunmamıştır.

Bina içinde ölçülen bağıl nem değerleri ile karşılaştırmak amacıyla bina içi bağıl nemi ayrıca teorik olarak da hesaplanmıştır. Teorik bağıl nemin hesaplanmasında (1) nolu eşitlik kullanılmıştır [19, 20].

$$\varphi = \frac{\rho_b}{\rho_{bd}} \quad (1)$$

Burada ρ_b birim hacimdeki nemli hava içerisinde bulunan su buharı miktarı (gm^{-3}), ρ_{bd} ise birim hacimde nemli havanın toplam basınç ve sıcaklıkta taşıyabileceği su buharı miktarıdır (gm^{-3}). Birim hacimdeki nemli hava içerisinde doyma durumunda bulunabilecek su buharı miktarı sıcaklığın (T) fonksiyonu olarak (2) nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır [19, 21].

$$\rho_{bd} = 4.84 + 0.3738 T + 0.0044 T^2 + 0.00037 T^3 [gcm^{-3}] \quad (2)$$

Odun esaslı malzemelerin bulunduğu ve insanların yaşadığı ısıtılan kapalı ortamda nemli hava içerisinde bulunabilecek mutlak nem miktarı (3) nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır [22].

$$\rho_b = \rho_{b,d} + c_1 W + c_2 W_s + c_3 W_t [gm^{-3}] \quad (3)$$

Burada, W odundaki rutubet değişimi miktarı, W_t terleme ve W_s soluma miktarı; c_1 odun rutubeti, c_2 soluma ve c_3 terleme sabitleridir. Denklem sabitleri, M_o kuru odun miktarı, M_s soluma miktarı, M_t terleme miktarı, V_i net mekan hacmi, t etkinlik süresi ve n hava değişim oranı olmak üzere (4), (5) ve (6) nolu eşitlikler kullanılarak bulunmuştur [22].

$$c_1 = \frac{M_o}{V_i t n} \quad (4)$$

$$c_2 = \frac{M_s}{V_i t n} \quad (5)$$

$$c_3 = \frac{M_t}{V_i t n} \quad (6)$$

Odun örnekleri günün belirli saatlerinde ± 0.01 g duyarlılıktaki terazide tartılmış, denemelerin bitiminden sonra odun rutubeti kurutma yöntemi ile belirlenmiştir. Rutubetli ağırlığı (M_r) belirlenen odun örneği kurutma dolabında 103 ± 2 °C sıcaklıkta tam kuru hale kadar kurutularak tam kuru ağırlığı (M_o) ölçülmüştür. Tam kuru ağırlığı belirlenen odun örneklerinin rutubet miktarları (RM) (7) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RM = \frac{M_r - M_o}{M_o} \quad (7)$$

Bulduğu iklim koşullarına (sıcaklık ve bağıl nem) göre odun denge rutubeti ayrıca Simpson [24] tarafından verilen Hailwood ve Horrobin [8] sorpsiyon modeline göre hesaplanmıştır.

$$DRM = \frac{1800}{W} \left[\frac{KH}{1-KH} + \frac{K_1KH+2K_1K_2K^2H^2}{1+K_1KH+K_1K_2K^2H^2} \right] \quad (8)$$

$$W = 349 + 1.29 T + 0.0135 T^2 \quad (9)$$

$$K = 0.805 + 0.000736 T - 0.00000273 T^2 \quad (10)$$

$$K_1 = 6.27 - 0.0398 T - 0.000303 T^2 \quad (11)$$

$$K_2 = 1.91 + 0.0407 T - 0.000293 T^2 \quad (12)$$

Burada; DRM odun denge rutubeti (%), H bağıl nem (%/100) ve W, K, K₁ ve K₂ Hailwood ve Horrobin [8] tarafından geliştirilmiş adsorpsiyon modeli katsayıları, T sıcaklık (°C) olarak belirtilmiştir.

Odun kalınlığı, enine kesit ve odun türleri arasındaki farklarla; odun rutubeti, sıcaklık, bağıl nem ve odun denge rutubeti arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için SPSS23 istatistik paket programı kullanılmıştır.

Odun rutubeti ile sıcaklık, bağıl nem ve Hailwood-Horrobin modeli ile belirlenen odun denge rutubeti arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacı ile regresyon analizleri yapılmıştır. Denemelerle belirlenen regresyon eşitliklerinden yararlanılarak Trabzon'da ısıtılan bina içi uzun yıllar iklim koşulları için aylık odun rutubeti ortalamaları hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan dış hava koşullarına ilişkin veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü Trabzon rasat verilerinden elde alınmıştır [24]. Hesaplamalarda aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- 1- Marmara Bölgesi'nde bütün illerin ısıtma dönemi Kasım – Nisan olarak alınmıştır.
- 2- Isıtma döneminde bina içi sıcaklık ortalaması 20 °C olarak alınmıştır [25].
- 3- Isıtma dönemi dışındaki aylarda bina içi sıcaklık değerlerinin dış sıcaklık değerlerine eşit olduğu varsayılmıştır.

3. BULGULAR (FINDINGS)

Araştırmada kullanılan deneysel veriler, Trabzon'da Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Yerleşkesindeki bir kamu binasında bir yıllık dönem boyunca yapılan ölçümlerle elde edilmiştir. Deneysel verilerin elde edildiği mekan, Trabzon Meteoroloji Bölge Müdürlüğü (TMBM) tarafından yapılan rasat yerine yakın bir yerde konumlanmıştır.

3.1. Sıcaklık ve Bağıl Nem İle İlgili Bulgular

Tablo 2'de Trabzon için sıcaklık ve bağıl nem aylık ortalamaları verilmiştir.

Tablo 2. Trabzon'da sıcaklık ve bağıl nem aylık ortalamaları (Temperature and relative humidity averages of monthly in Trabzon)

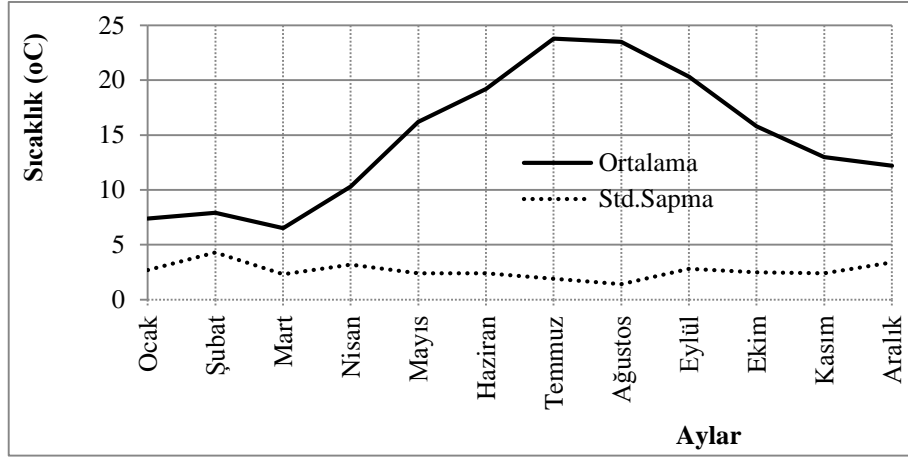
Aylar	Sıcaklık				Bağıl nem				
	Deneysel		Uzun yıllar		Deneysel		Hesap	Uzun yıllar	
	To	Ti	Ti	To	Ho (%)	Hi (%)	Hi (%)	Ho (%)	Hi (%)
Ocak	7.4	19.9	20.0	7.5	76.5	39.2	44.7	69.0	42.8
Şubat	7.9	21.7	20.0	7.4	70.5	36.8	39.2	68.0	42.3
Mart	6.5	21.6	20.0	8.5	83.1	44.0	41.3	72.0	45.3
Nisan	10.3	20.2	20.0	11.9	79.2	51.0	49.8	76.0	53.0
Mayıs	16.2	19.4	15.7	16.0	79.9	71.8	65.9	78.0	73.0
Haziran	19.2	19.4	20.0	20.4	76.2	75.3	72.1	76.0	73.6
Temmuz	23.8	24.2	22.7	23.2	78.4	79.5	74.6	76.0	74.3
Ağustos	23.5	23.9	23.0	23.5	80.2	79.1	75.9	76.0	72.9
Eylül	20.3	22.0	20.0	20.4	77.3	74.1	68.9	75.0	71.6
Ekim	15.8	18.2	26.4	16.5	78.2	74.8	66.9	75.0	52.3

Kasım	13.0	21.9	20.0	12.7	71.8	52.0	47.8	71.0	45.6
Aralık	12.2	21.5	20.0	9.6	68.9	45.6	46.0	68.0	60.1
Ortalama	14.7	21.2	20.7	14.8	76.7	60.3	57.8	73.3	58.9
Std:Sapma	6.11	1.81	2.53	6.04	4.25	16.83	14.07	3.55	13.44

Saatlik dış sıcaklıklardan günlük, günlük dış sıcaklıklardan aylık ve aylık dış sıcaklıklardan yıllık dış sıcaklık ortalamaları hesaplanmıştır. Ayrıca, deneysel dönem için bina içi bağıl nem aylık ortalamaları hesaplanarak bina içi deneysel bağıl nem aylık ortalamaları ile karşılaştırılmıştır.

Deneme ortamına ilişkin dış sıcaklık günlük ortalamaları arasında yapılan varyans analizi sonucunda aylık ortalamalar yönünden %95 güvenle anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0.000$). Şekil 1’de dış ortam sıcaklığı aylık ortalama ve standart sapma değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3’de görüldüğü gibi aylar, dış sıcaklık ortalamaları bakımından Duncan testine göre 7 homojenlik grubuna ayrılmıştır.



Şekil 1. Trabzon’da dış ortam aylık sıcaklık ortalamaları ve standart sapma değerleri (Outdoor temperature averages and standard deviation values in Trabzon)

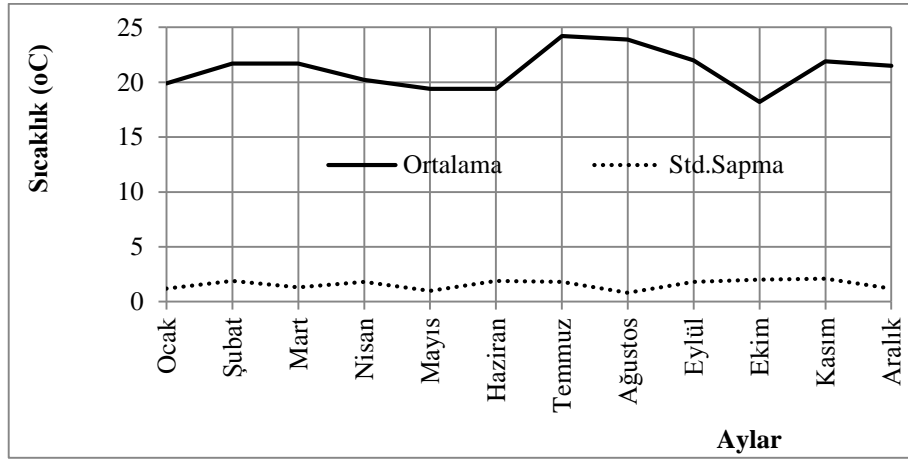
Tablo 3. Trabzon’da dış hava sıcaklığı aylık ortalamaları homojenlik grupları (Average monthly outdoor temperature homogeneity groups in Trabzon)

Test	Aylar	N	Subset for alpha = 0.05							
			1	2	3	4	5	6	7	
Duncan	Mart	31	6.49							
	Ocak	31	7.44	7.44						
	Şubat	29		7.94						
	Nisan	30			10.25					
	Aralık	31				12.21				
	Kasım	30				12.99				
	Ekim	31					15.83			
	Mayıs	31					16.20			
	Haziran	30						19.24		
	Eylül	30							20.30	
	Ağustos	31								23.51
	Temmuz	31								23.82
Sig.			0.174	0.474	1.000	0.266	0.592	0.127	0.657	

Deneme ortamı saatlik sıcaklık değerleri bir yıl boyunca termohigrografla ölçülerek kaydedilmiştir. Saatlik iç sıcaklıklardan günlük, günlük iç sıcaklıklardan aylık ve aylık iç sıcaklıklardan da yıllık iç sıcaklık ortalamaları hesaplanmıştır.

Aylık iç sıcaklık ortalamalarının en küçük değeri 18.2 °C ile Ekim ayında, en yüksek değeri 24.2 °C ile Temmuz ayında görülmüştür. Aylık iç sıcaklık ortalamalarında en büyük sapma 2.1 °C ile Kasım ayında, en küçük sapma ise 0.8 °C ile Ağustos ayında meydana gelmiştir (Şekil 2). Trabzon'da 1996 yılı bina içi günlük hava sıcaklığı ortalamaları arasında yapılan varyans analizi sonucunda aylık ortalamalar yönünden %5 güvenle anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0.000$). Tablo 4'de görüldüğü gibi aylar, Duncan testi ile 4 homojenlik grubuna ayrılmıştır.

Trabzon'da Ocak 1996 - Aralık 1996 arasında bina içi ve dış hava sıcaklığı aylık ortalamaları ile uzun yıllar dış hava sıcaklığı aylık ortalamaları Şekil 3'de gösterilmiştir. Trabzon'da uzun yıllar dış hava sıcaklığı yıllık ortalaması ile 1996 yılı dış hava sıcaklığı yıllık ortalaması arasında belirgin bir fark oluşmamış, benzer şekilde aylık sıcaklık ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı fark bulunmamıştır ($p = 0.497$). Uzun yıllar ve 1996 yılı dış hava sıcaklığı aylık ortalamaları arasında en belirgin fark Mart (-2.0 °C) ve Aralık (2.6 °C) aylarında görülmüştür.



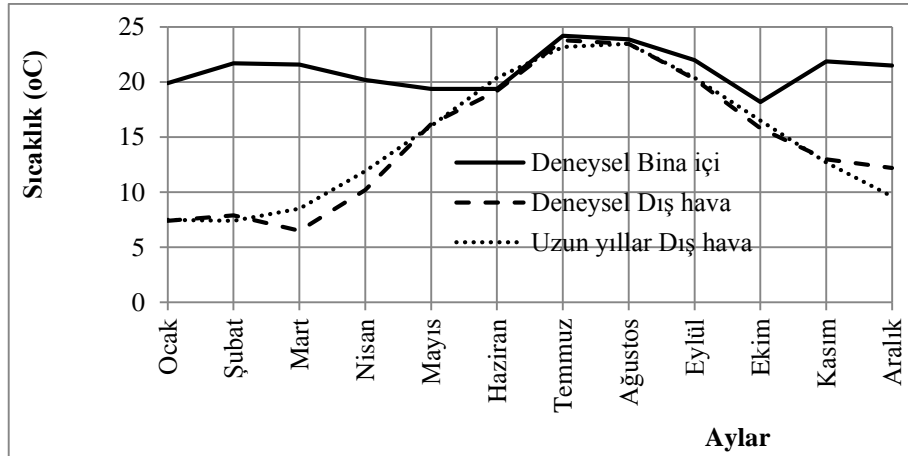
Şekil 2. Aylık iç sıcaklık ortalama ve standart sapma değerleri (Monthly internal temperature average and standard deviation values)

Tablo 4. Trabzon'da bina içi hava sıcaklığı homojenlik grupları (Indoor air temperature homogeneity groups in Trabzon)

Test	Aylar	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Duncan	Ekim	31	18.18			
	Haziran	30		19.36		
	Mayıs	31		19.44		
	Ocak	31		19.88		
	Nisan	30		20.17		
	Aralık	31			21.49	
	Mart	31			21.65	
	Şubat	29			21.71	
	Kasım	30			21.94	
	Eylül	30			21.96	
	Ağustos	31				23.87
	Temmuz	31				24.24
	Sig.			1.000	0.075	0.311

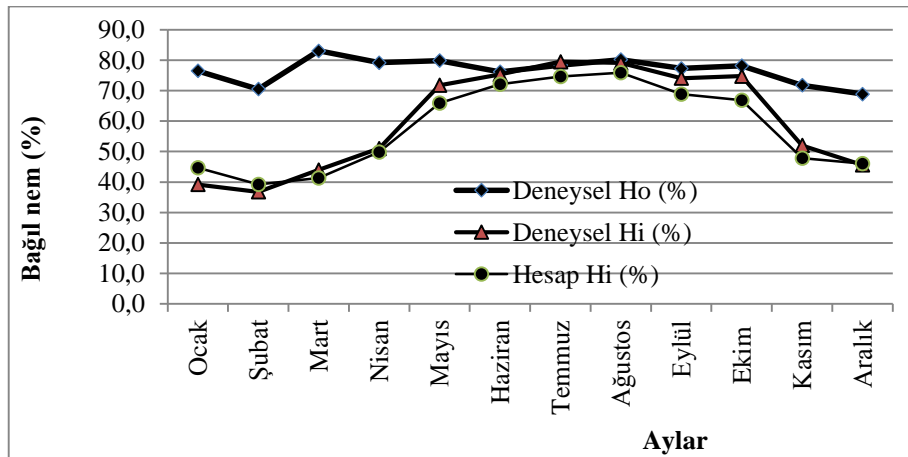
Trabzon'da bina içi, 1996 yılı dış ortam ve uzun yıllar dış ortam yaz dönemi (6 ay) aylık ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0.709$). Buna bağlı olarak, ısıtma dönemi dışındaki aylarda bina içi aylık sıcaklık ortalamalarının dış hava sıcaklığı aylık ortalamalarına eşit olduğu varsayılabilir.

Trabzon'da bina içi, 1996 yılı dış ortam ve uzun yıllar dış ortam sıcaklıkları aylık ortalamaları arasında yapılan varyans analizi, %5 yanılma olasılığı ile anlamlı farkın olduğunu göstermiştir ($p = 0.004$). 1996 yılı dış ortam ve uzun yıllar dış ortam aylık sıcaklık ortalamaları aynı grupta yer almış olup, aralarında anlamlı fark bulunmamıştır. Bununla birlikte, bina içi aylık sıcaklık ortalamaları, gerek 1996 yılı dış ortam ve gerekse uzun yıllar aylık dış ortam sıcaklık ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır.



Şekil 3. Trabzon'da aylık sıcaklık ortalamaları (Monthly average temperature in Trabzon)

Trabzon'de deneysel döneme ilişkin bina içi ve dış ortam aylık bağıl nem ortalamalarının değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bina içi ve dış ortam aylık ortalamaları yaz aylarında yaklaşık aynı değerlerdedir.



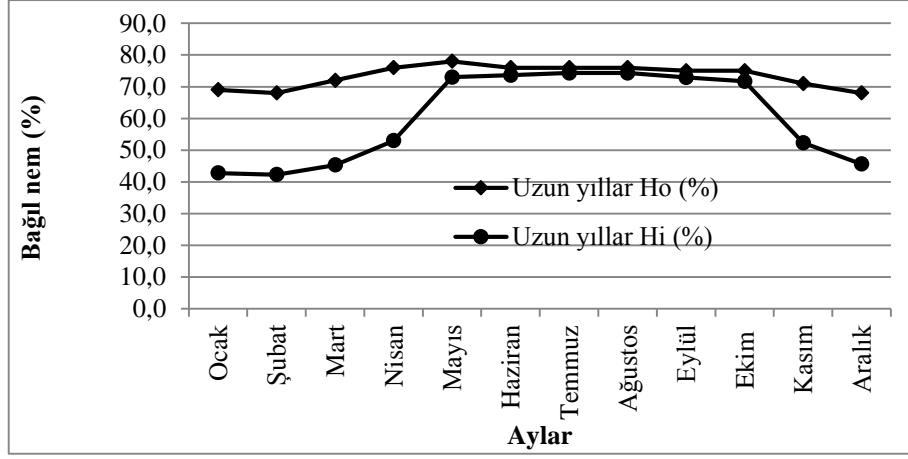
Şekil 4. Bina içi ve dış ortam deneysel bağıl nem aylık ortalamaları (Monthly averages of indoor and outdoor experimental relative humidity)

Şekil 5'de uzun yıllar bağıl nem ortalamaları gösterilmiştir. Bina içi bağıl nemin yaz aylarındaki değerleri dış ortam bağıl nem aylık ortalamalarına yakın değerler almıştır.

Bina içi bağıl nemi hesap ve deneysel değerler arasında yapılan varyans analizi, %5 yanılma olasılığı ile farkın olmadığını göstermiştir ($p = 0.696$). Bina içi bağıl nemin hesaplanan aylık

ortalamları ile deneysel aylık ortalamaları arasında $r^2 = 0.972$ düzeyinde kuvvetli ilişki bulunmuş ve aşağıdaki regresyon denklemi elde edilmiştir.

$$H_{\text{hesap}} = 8.051 + 0.825 H_{\text{deneysel}}, r^2 = 0.972$$



Şekil 5. Uzun yıllar bağıl nem aylık ortalamaları (Relative humidity monthly average for long-years)

3.2. Odun Rutubeti İle İlgili Bulgular

Günlük odun rutubeti deneysel bulgularına ilişkin istatistik analizler

Odun türü etkisi: Odun türlerinin 30 günlük rutubet ortalamalarının istatistiksel dağılımı Tablo 5’de verilmiştir. Odun türlerinin günlük deneysel rutubet miktarları arasında %5 yanlış olasılığı ile anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0.000$). Odun türlerinin günlük rutubet ortalamaları Duncan testine göre 4 gruba ayrılmıştır (Tablo 6). Odun türlerinde en yüksek rutubet ortalaması %8.88 ile Kestane odununda, en düşük rutubet ortalaması ise %7.95 ile Doğu kayınında meydana gelmiş, aralarında %0.93 fark bulunmuştur.

Tablo 5. Odu türlerinin günlük rutubet ortalamalarının dağılımı (Distribution of daily moisture averages of odu species)

Odun türü	N	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalamalar için 95% Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır	Üst sınır		
Ceviz	30	8.3027	0.18196	0.03322	8.2347	8.3706	7.90	8.67
Doğu kayını	30	7.9543	0.12886	0.02353	7.9062	8.0025	7.68	8.23
Kestane	30	8.8793	0.14503	0.02648	8.8252	8.9335	8.51	9.17
Doğu ladini	30	8.3640	0.17184	0.03137	8.2998	8.4282	7.89	8.72
Okaliptus	30	8.2780	0.14859	0.02713	8.2225	8.3335	7.95	8.56
Total	150	8.3557	0.33653	0.02748	8.3014	8.4100	7.68	9.17

Tablo 6. Odun türlerinin günlük rutubet ortalamaları test sonuçları (Daily moisture average test results of wood species)

Test metodu	Odun türü	N	$p < 0.05$ için gruplar			
			1	2	3	4
Duncan	Doğu kayını	30	7.9543			
	Okaliptus	30		8.2780		
	Ceviz	30		8.3027	8.3027	
	Doğu ladini	30			8.3640	
	Kestane	30				8.8793

	Sig.		1.000	0.542	0.131	1.000
--	------	--	-------	-------	-------	-------

Kesit etkisi: 10 mm kalınlıkta teğet ve radyal kesitli odun örneklerinin günlük ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0.000$). Aynı şekilde 25 mm kalınlıktaki odun örneklerinin teğet ve radyal kesitlerine göre günlük rutubet ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0.000$).

Kalınlık etkisi: 10 mm, 25 mm ve 50 mm kalınlıktaki odun örneklerinin günlük rutubet ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0.000$), kalınlık homojenlik grupları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Kalınlığa göre odun rutubeti grupları (Wood moisture groups according to thickness)

Test metodu	Kalınlık	N	p < 0.005 için gruplar		
			1	2	3
Duncan ^a	25 mm	30	8.1393		
	50 mm	30		8.3903	
	10 mm	30			8.5553
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Aylık odun rutubeti deneysel bulgularına ilişkin istatistik analizler

Odun türü etkisi: Odun türlerinin aylık deneysel rutubet ortalamaları Tablo 8’de, istatistiksel dağılımı Tablo 9’da verilmiştir. Odun türleri deneysel aylık rutubet ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0.962$).

Tablo 8. Odun türlerinin aylık deneysel rutubet ortalamaları (Monthly experimental moisture averages of wood species)

Aylar	İklim şartları			Odun türleri					
	t	H	DRM	Ceviz	D.Kayını	Kestane	D.Ladini	Okaliptus	Ort
Ocak	19.9	39.2	7.5	7.7	7.6	8.5	8.1	7.8	7.9
Şubat	21.7	36.8	6.8	7.2	7.0	7.8	7.5	7.1	7.3
Mart	21.6	44.0	8.4	8.5	8.4	9.5	9.1	8.8	8.9
Nisan	20.2	51.0	9.3	9.5	9.4	10.4	10.0	9.6	9.8
Mayıs	19.4	71.8	13.5	13.1	12.9	14.4	14.1	14.0	13.7
Haziran	19.4	75.3	14.7	14.8	14.5	15.7	15.3	15.2	15.1
Temmuz	24.2	79.5	16.5	16.6	16.3	17.3	17.0	17.0	16.8
Ağustos	23.9	79.1	16.2	16.5	16.4	17.2	16.9	16.7	16.7
Eylül	22.0	74.1	14.1	14.2	14.5	15.1	14.8	14.6	14.6
Ekim	18.2	74.8	14.6	14.7	14.8	15.3	15.0	14.9	14.9
Kasım	21.9	52.0	9.4	9.8	9.8	11.0	10.8	10.3	10.3
Aralık	21.5	45.6	8.4	8.6	8.5	9.5	9.3	8.8	8.9
Ortalama	21.2	60.3	11.6	11.8	11.7	12.6	12.3	12.1	12.1

Tablo 9. Odun türlerinin deneysel aylık rutubetinin istatistiksel dağılımı (Statistical distribution of experimental monthly moisture of wood species)

Odun türü	N	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalamalar için %95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır	Üst sınır		
Ceviz	12	11.7667	3.54666	1.02383	9.5132	14.0201	7.20	16.60
Doğu kayını	12	11.6750	3.55352	1.02581	9.4172	13.9328	7.00	16.40
Kestane	12	12.6417	3.51735	1.01537	10.4068	14.8765	7.80	17.30
Doğu ladini	12	12.3250	3.52243	1.01684	10.0870	14.5630	7.50	17.00
Okaliptus	12	12.0667	3.65845	1.05610	9.7422	14.3911	7.10	17.00
Total	60	12.0950	3.45604	.44617	11.2022	12.9878	7.00	17.30

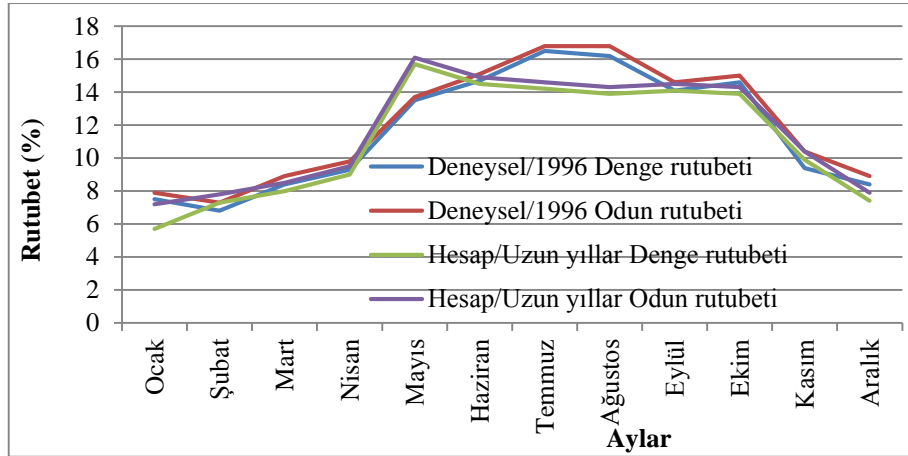
Kesit etkisi: 10 mm kalınlıkta radyal ve teğet kesitli odun örnekleri deneysel aylık rutubet ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0.976$). 25 mm kalınlıkta radyal ve teğet kesitli odun örnekleri deneysel aylık rutubet ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0.979$).

Kalınlık etkisi: Kalınlığa göre odun örnekleri deneysel aylık rutubet ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0.998$). Aylık rutubet ortalamalarına göre yapılan analizlerde odun türü, kalınlık ve kesit faktörlerinin %95 güvenle odunun rutubet değişimi üzerinde etkili olmadıkları anlaşılmıştır. Buna göre, odun rutubeti denge rutubetindeki ani değişimlerle yavaş değişmekte, süre uzadıkça denge rutubeti ile odun rutubeti arasındaki uyum artmaktadır.

Trabzon için yapılan bir yıllık deneyler sonucunda ve uzun yıllar sıcaklık ve bağıl nem verilerinden yararlanılarak elde edilen odun rutubeti ve odun denge rutubeti aylık ortalamaları Tablo 10'da verilmiştir. Deneysel ve uzun yıllar odun rutubeti ve odun denge rutubeti aylık ortalamalarının değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Trabzon'da sıcaklık, bağıl nem ve odun rutubeti aylık ortalamaları (Temperature, relative humidity and wood moisture monthly averages in Trabzon)

Aylar	Deneysel değerler/1996				Teorik değerler/Uzun yıllar			
	T_d	φ_d	DRM_d	RM_d	T_t	φ_t	DRM_t	RM_t
Ocak	19.9	39.2	7.5	7.9	20.0	34.2	5.7	7.2
Şubat	21.7	36.8	6.8	7.3	20.0	37.8	7.3	7.8
Mart	21.6	44.0	8.4	8.9	20.0	42.2	8.0	8.5
Nisan	20.2	51.0	9.3	9.8	20.0	50.0	9.0	9.5
Mayıs	19.4	71.8	13.5	13.7	15.7	77.9	15.7	16.1
Haziran	19.4	75.3	14.7	15.1	20.0	75.1	14.5	14.9
Temmuz	24.2	79.5	16.5	16.8	22.7	74.5	14.2	14.6
Ağustos	23.9	79.1	16.2	16.8	23.0	73.7	13.9	14.3
Eylül	22.0	74.1	14.1	14.6	20.0	73.0	14.1	14.5
Ekim	18.2	74.8	14.6	15.0	16.4	72.9	13.9	14.3
Kasım	21.9	52.0	9.4	10.4	20.0	54.0	9.9	10.4
Aralık	21.5	45.6	8.4	8.9	20.0	38.5	7.4	7.9
Ortalama	21.2	60.3	11.6	12.1	19.8	58.7	11.2	12.0



Şekil 6. Odun rutubeti aylık ortalamalarının değişimi (Change monthly averages of wood moisture)

Trabzon iklim koşullarında bina içi odun rutubeti yıllık ortalaması % 11.6 olarak gerçekleşmiş, uzun yıllar iklim ortalamalarına göre ise % 11.2 olarak hesaplanmıştır. Odun denge rutubeti yıllık ortalaması deney periyodunda % 12.1 olarak bulunmuş, uzun yıllar için % 12.0 olarak hesaplanmıştır. Deney periyodunda odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasında % 0.5 (oransal olarak % 4.3) fark bulunurken, uzun yıllar odun rutubeti ile odun denge rutubeti yıllık ortalamaları arasında % 0.8 (oransal olarak % 7.1) fark bulunmaktadır. Deney döneminde en

düşük aylık odun rutubeti ortalaması % 7.3 ile Şubat ayında, en yüksek aylık odun rutubeti ortalaması ise % 16.8 ile Temmuz ve Ağustos aylarında meydana gelmiştir. Uzun yıllar odun rutubeti aylık ortalamalarının en düşük değeri % 7.2 ile Ocak ayında meydana gelirken, en yüksek değeri ise % 14.9 ile Haziran ayında gerçekleşmektedir.

Odun örneklerinde aylık rutubet miktarı ile sıcaklık ve bağıl nem arasında yüksek derecede doğrusal ilişki bulunmuş ve rutubet miktarı ile sıcaklık ve bağıl nem arasında doğru denklemleri elde edilmiştir. Sıcaklıkla odun rutubetinin ters yönlü ilişkili olmasına karşın, elde edilen regresyon denklemlerinde doğrusal ilişkinin bulunması sıcaklığın ve sıcaklık değişim aralığının küçük değerlerde kalmasından kaynaklanmış olabilir.

$$RM = -4.2186 + 0.1795 T + 0.2076 H, r^2 = 0.9926, S = 0.3375$$

$$RM = 0.6915 + 0.9814 DRM, r^2 = 0.9972, S = 0.1981$$

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Odun, estetik görünümü ve esnek bir yapı malzemesi olmasının yanında, rutubet alışverişi ile özellikle kullanıldığı iç mekanlarda bağıl nemi dengeleyerek iklimik bir etki meydana getirir. Bununla birlikte, rutubet alışverişinin miktarına uygun olarak boyutlarını üç ayrı yönde (boyuna, teğet ve radyal) farklı miktarda olmak üzere değiştirir. Bu değişim sırasında odunda, çatlama, çarpılma, eğilme vb. gibi kullanım fonksiyonlarını olumsuz etkileyen kusurlar oluşur. Bu nedenle, odunun kullanım yerindeki rutubet değişiminin bilinmesi önemlidir.

Ceviz, Doğu kayını, Kestane, Doğu ladini ve Okaliptus odunları üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama aylık odun rutubeti miktarı ile sıcaklık ve bağıl nem arasında yüksek derecede doğrusal ilişki bulunmuş ($r^2 = 0.9926$), korelasyon katsayıları test edilerek bu ilişkilerin rastlantı olmayacağı görülmüştür. Bu ilişki, elde edilen eşitliklerin başka yerleşim yerleri için de pratik olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Odun rutubeti ile bağıl nem ve sıcaklık arasındaki ilişkiler ayrı ayrı analiz edilmiş, odun rutubeti ile bağıl nem arasında yüksek derecede ilişki ($r^2 = 0.9984$) gözlenirken, odun rutubeti ile sıcaklık arasında oldukça zayıf bir ilişkinin ($r^2 = 0.0375$) olduğu görülmüştür. Odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasında yüksek derecede doğrusal ilişki bulunmuş odun türü, kalınlık ve kesit faktörlerinin ilişki katsayıları üzerinde etkili olmadıkları görülmüştür. Odun türlerinde Kestane odununun dışındaki odunlarda odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasındaki ilişki katsayıları 0.99'un üzerinde değerler almıştır. Odunların ortalama rutubet miktarı ile odun denge rutubeti arasındaki ilişki katsayısı $r^2 = 0.9972$ olarak elde edilmiş ve sözkonusu eşitliklerin pratik amaçlar için kullanılabilceği anlaşılmıştır. Trabzon'da yapılan deneyler sonucunda, bina içi iklim koşullarında odun rutubeti aylık ortalamalarının odun denge rutubeti aylık ortalamalarından % 0.5 ile % 0.6 arasında daha yüksek değerler aldığı görülmüştür.

Bu çalışmada, ısıtılan kapalı mekanda odunun rutubet değişimi deneysel yolla incelenerek, iklim verilerinin (sıcaklık, bağıl nem) bilindiği durumlarda odun denge rutubetinin sayısal yöntemle hesaplanabileceği ortaya konulmuştur.

Odun rutubetinin günlük ortalamaları ve Hailwood-Horrobin modeli ile hesaplanan odun denge rutubeti arasında anlamlı farklar bulunmasına rağmen, aylık odun rutubeti ve odun denge rutubeti miktarları arasında bir uyumun olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, odun rutubetinin uzun vadede dengeye ulaşabileceğini ve aylık odun denge rutubetinin Hailwood – Horrobin modeli kullanılarak yüksek bir doğruluk derecesinde belirlenebileceğini göstermiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Wiemann, M.C., (2010). Wood handbook - Wood as an engineering material, Chapter 2: Characteristics and Availability of Commercially Important Woods. General Technical Report FPL-GTR-190. United States Department of Agriculture, Forest Service, Madison, Wisconsin.
2. Kollmann, F.F.P., and Cote, W.A., (1968). Principles of wood science and technology (I), Solid Wood. Springer-Verlag. Berlin. p. 592.
3. Siau, J.F., (1984). Transport processes in wood, Springer, New York.
4. Dietsch, P., Franke, S., Franke, B., Gamper, A., and Winter, S., (2015). Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5 (2), 115-127.
5. Bergman, R., (2010). Wood Handbook – Wood as an Engineering Material, Chapter 13: Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes, General Technical Report FPL-GTR-190, United States Department of Agriculture, Madison, Wisconsin.
6. Kaleta, A., and Gornicki K. 2010. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 891–898.
7. Philipp, D., Franke, S., Franke, B., Gamper, A., and Winter S., (2015). Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5(2): 115-127.
8. Hailwood, A. J., and Horrobin, S., (1946). Absorption of water by polymers: analyses in terms of a simple model. *Transactions of Faraday Society*. 42B, 84-92; 94–102.
9. Deliiski, N., (2011). Evaluation of wood sorption models and creation of precision diagrams for the equilibrium moisture content, *Drvna Industrija*, 62(4): 3001-309.
10. TS2470, 1976. Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
11. TS 2471, 1976. Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
12. TS 2472, 1976. Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
13. Bozkurt, Y., (1966). Odun su münasebetleri, *İÜ Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 14(1), 109–127
14. Bozkurt, Y., (1980). Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi Cilt 1., İÜ Orman Fakültesi yayın no. 259, İstanbul.
15. Bulian, F, and Graystone, J.A., (2009). Wood coatings, theory and practice, Elsevier Radarweg 29, POBox 211, 1000 AE Amsterdam.
16. Kurtoğlu, A., (2000). Ağaç malzeme yüzey işlemleri: Genel bilgiler, Cilt I. İÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
17. Malkoçoğlu, A., (2005). Yüzey işlemleri, Ders Notları (Yayımlanmamış), KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
18. Bulut, H, Büyükalaca, O., ve Yılmaz, A., (1999).Türkiye'nin 15 ili için bazı iklim verilerinin eşitliklerle ifadesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 51:48–56.
19. Üçüncü, K., (1997). Isıtılan binalarda sıcaklık ve bağıl nem değişiminin deneysel incelenmesi, KTÜ Orman Fakültesi, Seminer Serisi No. 4, 125 – 133, Trabzon.
20. Ayhan, T., (1988). Nemli hava termodinamiği, Karadeniz Teknik Üniversitesi Ders Notları No: 16, Trabzon.
21. Üçüncü, K., (1996). Isıtılan binalarda kullanılan ağaç malzemede rutubet değişiminin teorik incelenmesi, KTÜ Orman Fakültesi, Seminer Serisi No. 1, 150 – 158, Trabzon.
22. Üçüncü, K., Aydın, A., ve Tiryaki, S. (2015). Kapalı mekanda insan faktörü ve odun esası malzemelerin havanın bağıl nemine etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3):533–540.
23. Simpson, W.T., (1973). Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models, *Wood and Fiber*, 5: 41–49.

24. DMGM, (2015). Türkiye'de uzun yıllar sıcaklık ve bağıl nem aylık ortalama değerleri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
25. MMO, (2010). Kalorifer tesisatı, Makina Mühendisleri Odası Yayın No:352, Ankara.