

Bina İçi İklim Koşullarında Odun Türü, Kalınlık ve Enine Kesit Faktörlerinin Bazı Ağaç Türleri Odunlarının Rutubet Değişimi Üzerine Etkileri*

Kemal ÜÇÜNCÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon-TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 10.11.1998

Özet: Bu çalışmada Trabzon'da kaloriferle ısıtılan bina içi iklim koşullarında beş odun türüne ait örnekler üzerinde kalınlık, odun türü ve enine kesit faktörlerinin odun rutubetine etkileri araştırılmıştır. Günlük odun rutubeti miktarı üzerine odun türü, kalınlık ve enine kesit faktörlerinin etkili olduğu, ancak bu faktörlerin aylık odun rutubeti ortalamaları üzerinde etkili olmadığı görülmüştür.

Odun rutubeti ile odun denge rutubeti aylık ortalamaları arasında $r^2 = 0.9972$, odun rutubeti ile sıcaklık ve bağıl nem arasında ise $r^2 = 0.9926$ düzeyinde doğrusal ilişki bulunmuştur.

Uzun yıllar iklim verilerine göre Trabzon'da bina içinde odun denge rutubeti yıllık ortalaması %11.2, odun rutubeti yıllık ortalaması ise % 11.7 olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Odun, Odun rutubeti, Odun denge rutubeti, Bina içi, Kalınlık, Kesit

Effects of Wood Species, Thickness and Cross-Section Factors on Wood Moisture Change of Some Wood Species in the Indoor Climatological Conditions

Abstract: The effects of wood species, thickness and cross-section factors on wood moisture content under centrally heated indoor conditions in Trabzon. Factors of thickness, cross-section and wood species were found to affect daily wood moisture content variation, but these factors did not appear to affect the average monthly wood moisture content.

Strong relationship were found between average monthly wood moisture and wood equilibrium moisture contents ($r^2=0.9972$), and wood moisture content, temperature and relative humidity ($r^2= 0.9926$).

According to climatological data for earlier years for indoor conditions in Trabzon, it was estimated that the average annual wood moisture content was 11.7%, and the average annual wood equilibrium moisture content was 11.2%

Key Words: Wood, wood moisture, wood equilibrium moisture content, indoors, thickness, cross section.

Giriş

Yerleşim yerlerinde iklim koşulları aylar itibariyle önemli farklılıklar göstermekte, bina içi iklim koşulları ise dış iklim koşullarından önemli derecede etkilenmektedir. Diğer taraftan, odundaki rutubet değişimlerini kullanım yeri iklimi yanında odun özelliklerinden odun türü, kalınlık ve kesit yönü de etkilemektedir. Bu nedenle, bina içi iklim koşulları ve buna bağlı olarak odunun ulaşabileceği rutubet miktarları yanında odun türü, kalınlık ve kesitin odunun rutubeti üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Odun rutubeti ya tartı yöntemiyle deneysel olarak ya da meteoroloji istasyonları tarafından belirlenen ortalama sıcaklık ve bağıl nem verilerinden yararlanılarak grafikler (veya tablolar) aracılığıyla belirlenmektedir.

Türkiye'de Kurtoğlu (1) tarafından dış hava koşullarında odunun ulaşabileceği muhtemel denge rutubeti miktarları, Kantay (2) tarafından da kaloriferle ısıtılan bina içinde ısıtıcıya yakınlık derecesine bağlı olarak odunda rutubet değişimi incelenmiştir. Trabzon'da ısıtılan bina içi iklim koşullarında kullanılan ağaç malzemedeki oluşabilecek muhtemel odun denge rutubeti miktarları meteoroloji iklim verilerinden yararlanılarak 1996 yılı için teorik yöntemle belirlenmiş (3), kaloriferle ısıtılan bina içinde 1996 yılı sıcaklık ve bağıl nem değişimi deneysel olarak incelenmiştir (4).

Yurt dışında bir çok ülkede yapılan araştırmalarda odunda rutubet değişimi incelenerek odun rutubeti ile odun denge rutubeti, sıcaklık ve bağıl nem arasındaki ilişkilere yer verilmiştir (5-14).

* Bu çalışmayı KTÜ Araştırma Fonu desteklemiştir (95.113.002.5)

Bu araştırmada Trabzon'da (Türkiye) kaloriferle ısıtılan bina içi iklim koşullarında odun rutubeti ile odun türü, kalınlık ve enine kesitin odunun rutubet değişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırmada kullanılan odunlardan Adi Ceviz (*Juglans regia* L.) Akçaabat (Trabzon), Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Doğu ladini (*Picea orientalis* L.) Maçka (Trabzon), Okaliptus (*Eucalyptus camaldulensis* D.) Tarsus - Karabucak (Mersin) ve Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) Pazar (Rize) Orman İşletmelerinden temin edilmiştir. Her ağacın dip tarafından alınan 100 cm'lik kısmı üç eşit parçaya bölünüp, her parçadan 2 şer adet 1 x 10 x 25 cm radyal, 1 x 10 x 25 cm teğet, 2.5 x 10 x 25 cm radyal, 2.5 x 10 x 25 cm teğet ve 5 x 5 x 25 cm enine kesiti kare olmak üzere toplam 10, her ağaç türünden toplam 30'ar örnek hazırlanmıştır. Radyal yönü geniş yüzeylere dik olan örnekler "radyal", teğet yönü geniş yüzeylere dik olan örnekler ise "teğet" olarak tanımlanmıştır. Araştırmada kullanılan odun örneklerinin tipleri ve özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. O23 2.5 cm kalınlıktaki II ve III nolu teğet ve radyal örneklerin rutubet ortalamasını, O45 1 cm kalınlıktaki IV ve V nolu teğet ve radyal örneklerin rutubet ortalamasını, O15 I, II, III, IV ve V nolu örneklerin rutubet ortalamasını göstermektedir.

Yöntem

Odun örnekleri Karadeniz Teknik Üniversitesi (Trabzon) Lojmanlarında 36/6 nolu dairede kaloriferle ısıtılan bir odada ortalama iklim koşullarının hakim olduğu yerde Ocak 1996 ile Mart 1997 tarihleri arasında bekletilerek denemeler yapılmıştır. Denemelere başlanmadan önce odun örnekleri bina içi iklim koşullarına uyum sağlamak amacıyla yaklaşık 5 hafta bekletilmiş ve rutubet alışverişinin yüksek bulunduğu enine kesitlere parafin sürülerek bu yöndeki rutubet alışverişinin azaltılması sağlanmıştır. Çünkü örneklerin kısa

boyutlarda tutulmuş olması, enine yöndeki rutubet alışverişinin diğer yönlerle oranla daha fazla olmasına yol açmaktadır.

Ölçümlerin yapıldığı odanın döşemesi ahşap olup, oda içinde ayrıca higroskopik madde bulunmamaktadır. Bina içi sıcaklık ve bağıl nem termohigrografla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Dış hava koşulları Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMGM) rasat verilerinden alınmıştır (15). Bina içi bağıl neminin hesaplanmasında, nemli havanın mutlak nemi ρ_b ve doymuş nemli havanın mutlak nem miktarı ρ_{bd} (kg/m³) olmak üzere

$$\phi = \rho_b / \rho_{bd} \quad (1)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır (3,4,16). Nemli havanın doyma durumundaki mutlak nem miktarı sıcaklığın (t) fonksiyonu olarak

$$\rho_{bd} = 4.84 + 0.3738 * t + 0.0044 * t^2 + 0.00037 * t^3 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanabilir (3,4,16). Bina içerisine transfer olacak dış nemli havanın aynı sıcaklıktaki bağıl nemine (ϕ_o) bağlı olarak dış havanın mutlak nem miktarı ($\rho_{b,d}$) dış havanın doyma durumundaki mutlak nem miktarına ($\rho_{bd,d}$) oranlanarak hesaplanabilir.

$$\rho_{b,d} = \phi_o \rho_{bd,d} + c \quad (3)$$

Burada (c) ısıtılan mahaldeki higroskopik su alışverişini, dış hava akımlarını ve ısıtılan mahalde hava yenilenme özelliklerini kapsayan bir düzeltme katsayısıdır (17,18). Odunun ilk rutubeti r_b , son rutubeti r_s olmak üzere düzeltme katsayısı

$$c = 1.11 [-5.25 + 5.255 (r_b / r_s)] \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır (3,4,19). Burada r_b ve r_s değerleri tam belirgin olmadığından, hesaplamalarda sıcaklık ve bağıl nemin fonksiyonu olarak grafiklerden okunan odun denge rutubeti değerlerinden yararlanılarak iterasyon uygulanmıştır.

Dış havanın mutlak nem miktarı ($\rho_{b,d}$) ısıtılan mahal içi doyma durumundaki mutlak nem miktarına ($\rho_{bd,i}$)

Tablo 1. Deney örneklerinin boyut ve kesit özellikleri

Tip	Boyutlar	Enine Kesit	Üretilen değerler
I	5 x 5 x 25 cm	5x5 cm Kare	O23 II ve III nolu örneklerin ortalaması.
II	2.5 x 10 x 25 cm	2.5x10 cm Teğet	O45 IV ve V nolu örneklerin ortalaması
III	2.5 x 10 x 25 cm	2.5x10 cm Radyal	Bütün örneklerin ortalamaları.
IV	1 x 10 x 25 cm	1 x 10 cm Teğet	
V	1 x 10 x 25 cm	1 x 10 cm Radyal	

oranlanarak bina içi bağıl nem miktarı (ϕ_i) hesaplanmıştır.

$$\phi_i = \rho_{b,d} / \rho_{bd,i} \quad (5)$$

Odun örnekleri günün belirli saatlerinde, günlük ve haftalık olarak 0.01 g hassasiyetteki terazide tartılmış, denemelerin bitiminden sonra odun rutubeti kurutma metodu ile belirlenmiştir. Rutubetli ağırlığı (m_r) ve tam kuru ağırlığı (m_o) belirlenen odun örneklerinin rutubet miktarları aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$r = (m_r - m_o) / m_o \quad (6)$$

İstatistik analizlerde basit varyans analizi (Newman - Keuls testi) ve regresyon analizi kullanılmıştır. Varyans analizi % 95 güven düzeyinde uygulanmış ve önem düzeyi (significant level, SL) 0.05'den küçük ise faktörler arasında farkın olduğu, büyük ise farkın olmadığı kabul edilmiştir. Farklılık bulunması halinde Newman - Keuls testi uygulanarak sonuçlar verilmiştir. Odun rutubeti (r_k) ile odun denge rutubeti (r_d), sıcaklık (t) ve bağıl nem (ϕ) arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla regresyon analizleri yapılmış ve korelasyon katsayıları test edilmiştir (20).

Hesaplamalarda; 1- ısıtma dönemi Kasım - Nisan olarak alınmıştır. 2- Sadece rutubet kaybının havanın bağıl nemini artırıcı etkisi dikkate alınmıştır. 3- Isıtma döneminde bina içi sıcaklık ortalamaları 20°C olarak alınmıştır. 4- Isıtma dönemi dışındaki aylarda bina içi ve dış sıcaklık değerlerinin birbirine eşit olduğu varsayılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Sıcaklık ve Bağıl Nem ile İlgili Bulgular

Trabzon'da uzun yıllar (1960 - 1996) ve 1996 yılı bina içi ve dış ortam sıcaklığı aylık ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. Yıllık sıcaklık ortalaması 1996 yılında 14.7°C, uzun yıllar için 14.5°C olarak bulunmuştur. Bina içi yıllık sıcaklık ortalaması 1996 yılında 21.2°C, uzun yıllarda 19.8°C olmuştur. Isıtma dönemi dışındaki 6 aylık periyotta iç ve dış sıcaklık ortalamaları arasında 1.6°C'lik sıcaklık farkı gözlenmiştir. Bu farkın bina içinin dış koşullara oranla korunmuş olmasından ileri geldiği söylenebilir.

Trabzon'da 1996 yılı ve uzun yıllar aylık dış bağıl nem ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir fark bulunmuştur. Dış bağıl nem yıllık ortalamaları 1996 yılında % 76.7, uzun yıllarda ise % 72.1 olmuştur. Uzun yıllar ve 1996 yılı bina içi aylık bağıl nem ortalamaları arasında ise anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bina içi yıllık bağıl nem ortalaması 1996 yılında % 60.3, uzun yıllarda ise % 58.7 olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Trabzon'da sıcaklık ve bağıl nem aylık ortalamaları.

A y l a r	Sıcaklık (°C)				Bağıl nem (%)			
	1996 yılı		Uzun yıllar		1996 yılı		Uzun yıllar	
	ti	td	ti	td	ϕ_i	ϕ_d	ϕ_i	ϕ_d
Ocak	19.9	7.4	20.0	7.2	39.2	76.5	34.2	67.0
Şubat	21.7	7.9	20.0	7.1	36.8	70.5	37.8	68.4
Mart	21.6	6.5	20.0	8.1	44.0	83.1	42.2	71.8
Nisan	20.2	10.2	20.0	11.6	51.0	79.2	50.0	74.9
Mayıs	19.4	16.2	15.7	15.7	71.8	79.9	77.9	77.9
Haziran	19.4	19.2	20.0	20.0	75.3	76.2	75.1	75.1
Temmuz	24.2	23.8	22.7	22.7	79.5	78.4	74.5	74.5
Ağustos	23.9	23.5	23.0	23.0	79.1	80.2	73.7	73.7
Eylül	22.0	20.3	20.0	20.0	74.1	77.3	73.0	73.9
Ekim	18.2	15.8	16.4	16.4	74.8	78.2	72.9	72.9
Kasım	21.9	13.0	20.0	12.7	52.0	71.8	54.0	69.4
Aralık	21.5	12.2	20.0	9.4	45.6	68.9	38.5	65.9
Ortalama	21.2	14.7	19.8	14.5	60.3	76.7	58.7	72.1

Odun Rutubeti ile İlgili Bulgular

Odun Rutubetinin Günlük Değişimi

Odun rutubetinin günlük değişimi ile ilgili değerlendirmelerin yapılması amacıyla 21.12.1996 - 19.01.1997 arasında 30 gün süresince yapılan deney sonuçları kullanılmıştır.

Kalınlık testlerinde 1 cm, 2.5 cm ve 5 cm kalınlığındaki örneklerin günlük rutubet ortalamaları arasındaki farkın % 95 güven düzeyinde anlamlı olduğu görülmüştür.

Kesit testlerinde II, III, IV ve V nolu odun örneklerinin günlük rutubet ortalamaları kesit özellikleri itibarıyla karşılaştırılmış ve farklı kesite sahip odun örneklerindeki rutubet miktarları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir fark olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Kalınlık faktörü ile ilgili varyans analizi (günlük).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	2.63282	2	1.31641	65.086*	0.0000*
Varyans kaynağı	1.75963	87	0.02023		

Gruplar arası	4.39245	89
---------------	---------	----

Tablo 4. Kalınlık faktörü ile ilgili Newman - Keuls testi (günlük).

Faktör (Kalınlık)	Sayı	Ortalama	1	2	3
1 cm (1 x 10 x 25 cm)	30	8.13933	x		
5 cm (5 x 5 x 25 cm)	30	8.39033		x	
2.5 cm (2.5 x 10 x 25 cm)	30	8.55533			x

Tablo 5. Kesit faktörü ile ilgili varyans analizi (günlük).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	6.90786	3	2.30262	105.203*	0.0000*
Gruplar içi	2.53894	116	0.02189		
Toplam	9.44680	119			

Tablo 6. Kesit faktörü ile ilgili Newman - Keuls testi (günlük).

Faktör (Kesit)	Sayı	Ortalama	1	2	3	4
Radyal (1 x 10 x 25 cm)	30	8.00933	x			
Teğet (1 x 10 x 25 cm)	30	8.26933		x		
Radyal (2.5 x 10 x 25 cm)	30	8.44667			x	
Teğet (2.5 x 10 x 25 cm)	30	8.66367				x

Ceviz odunu örneklerinin günlük rutubet ortalamaları arasında % 95 güvenle fark bulunmakla birlikte, I ve V nolu odun örneklerinin günlük rutubet ortalamaları arasında farkın bulunmadığı görülmüştür.

Tablo 7. Ceviz odunu örneklerine ilişkin varyans analiz (günlük).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	13.89241	4	3.47310	88.556*	0.0000*
Gruplar içi	5.68678	145	0.03922		
Toplam	19.57919	149			

Tablo 8. Ceviz odunu örneklerine ilişkin Newman - Keuls testi (günlük).

Faktör (Örnek)	Sayı	Ortalama	1	2	3	4
V	30	7.94000	x			
I	30	7.98200	x			

IV	30	8.33300		x	
III	30	8.54133			x
II	30	8.71600			x

Doğu kayını odun örneklerinin günlük rutubet ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde farklılık bulunmakla birlikte IV ve V nolu örneklerin günlük rutubet ortalamaları arasında farklılık bulunmamıştır.

Kestane odunu örneklerinin günlük rutubet ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılık bulunmuş, ancak I ve III nolu odun örneklerinin günlük rutubet ortalamaları arasında fark bulunmamıştır.

Tablo 9. Doğu kayını odun örneklerine ilişkin varyans analizi (günlük).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	3.08450	4	0.77112	39.906*	0.0000*
Gruplar içi	2.80194	145	0.01932		
Toplam	5.88644	149			

Tablo 10. Doğu kayını odun örneklerine ilişkin Newman - Keuls testi (günlük).

Faktör (Örnek)	Sayı	Ortalama	1	2	3	4
V	30	7.77800	x			
IV	30	7.83467	x			
III	30	7.92567		x		
I	30	8.07033			x	
II	30	8.16200				x

Tablo 11. Kestane odunu örneklerine ilişkin varyans analizi (günlük).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	13.92242	4	3.48060	146.338*	0.0000*
Gruplar içi	3.44877	145	0.02378		
Toplam	17.37119	149			

Tablo 12. Kestane odunu örneklerine ilişkin Newman - Keuls testi (günlük).

Faktör (Örnek)	Sayı	Ortalama	1	2	3	4
V	30	8.35900	x			
V	30	8.80967		x		

III	30	8.96233	x
I	30	8.96867	x
II	30	9.29600	x

Doğu ladini odun örneklerinin günlük rutubet ortalamaları arasında fark bulunmakla birlikte; III ile IV ve I ile III nolu örnekler arasında farklılık bulunmamıştır.

Tablo 13. Doğu ladini odun örneklerine ilişkin varyans analizi (günlük).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	5.54214	4	1.38554	43.761*	0.0000*
Gruplar içi	4.59093	145	0.03166		
Toplam	10.13307	149			

Tablo 14. Doğu ladini odun örneklerine ilişkin Newman - Keuls testi (günlük).

Faktör (Örnek)	Sayı	Ortalama	1	2	3	4
V	30	8.07667	x			
IV	30	8.27467		x		
III	30	8.36400		x	x	
I	30	8.44633			x	
II	30	8.65997				x

Okaliptus odunu örneklerinin günlük rutubet ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde fark bulunmakla birlikte I, II ve III nolu örneklerin günlük rutubet ortalamaları arasında farklılık bulunmamış ve bunlar aynı grupta yer almışlardır.

5 odun türünün günlük rutubet ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde fark bulunmuş ve odun türleri

Tablo 15. Okaliptus odunu örneklerine ilişkin varyans analizi (günlük).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	8.66886	4	2.16722	68.413*	0.0000*
Gruplar içi	4.59335	145	0.03168		
Toplam	13.26221	149			

günlük rutubet ortalamaları bakımından 1. grupta Doğu kayını (%7.95), 2. grupta Doğu ladini (% 8.36), Ceviz (% 8.30) ve Okaliptus % 8.28), 3. grupta Kestane (% 8.90) olmak üzere 3 grupta toplanmıştır.

Odun Rutubetinin Aylık Değişimi

Trabzon'da 1996 yılında 5 odun türü üzerinde yapılan deneyler sonucunda farklı kalınlık ve kesit özelliklerine sahip odun örneklerinin rutubet miktarlarının yıllık

Tablo 16. Okaliptus odunu örneklerine ilişkin Newman - Keuls testi (günlük).

Faktör (Örnek)	Sayı	Ortalama	1	2	3
V	30	7.89667	x		
IV	30	8.09267		x	
III	30	8.43300			x
II	30	8.48067			x
I	30	8.48800			x

ortalamaları arasında en fazla % 0.1 miktarında bir farkın olduğu gözlenmiştir.

Tablo 17. Odun türlerine ilişkin varyans analizi (günlük).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	13.33665	4	3.33416	136.322*	0.0000*
Gruplar içi	3.54642	145	0.02446		
Toplam	16.88307	149			

Tablo 18. Odun türlerine ilişkin Newman - Keuls testi (günlük).

Faktör (Tür)	Sayı	Ortalama	1	2	3
Doğu kayını	30	7.95433	x		
Okaliptus	30	8.27800		x	
Ceviz	30	8.30267		x	
Doğu ladini	30	8.36400		x	
Kestane	30	8.87967			x

Farklı kalınlıktaki odun örnekleri üzerinde yapılan varyans analizi % 95 güven düzeyinde sözkonusu odun örneklerinin aylık rutubet ortalamaları arasında anlamlı bir farkın olmadığını göstermiştir. Benzer şekilde, kesit faktörünün de aylık rutubet ortalamaları üzerinde istatistiksel anlamda bir etkisi görülmemiştir.

Aylık rutubet ortalamaları arasındaki farklar I nolu örnekte % 9.5. II nolu örnekte % 8.7. III nolu örnekte % 9.3. IV nolu örnekte % 9.8 ve V nolu örnekte % 10.2 olmuştur. İnce ve radyal odun örneklerindeki rutubet değişimi kalın ve teğet odun örneklerine oranla daha yüksek bulunmuştur.

Odun türlerine ait odun örnekleri üzerinde yapılan varyans analizleri % 95 güven düzeyinde aylık rutubet ortalamaları arasında farkın olmadığını göstermiştir. Odun türlerinin aylık rutubet ortalamaları arasında da % 95 güven düzeyinde anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Tablo 19. Kesit ve ölçülere göre odun rutubeti 1996 yılı aylık ortalamaları.

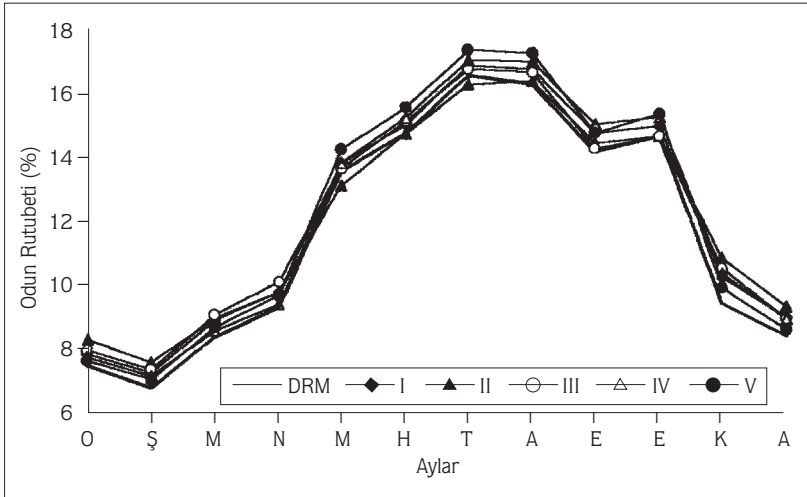
Aylar	İklim şartları						Odun Örnekleri ve Rutubeti (%)					
	t	φ	rd	I	II	III	O23	IV	V	O45	O15	
Ocak	19.9	39.2	7.5	7.9	8.3	8.0	8.2	7.8	7.7	7.8	7.9	
Şubat	21.7	36.8	6.8	7.3	7.6	7.4	7.5	7.2	7.1	7.2	7.3	
Mart	21.6	44.0	8.4	8.9	9.0	9.1	9.1	8.6	8.7	8.7	8.9	
Nisan	20.2	51.0	9.3	9.8	9.8	10.1	10.0	9.4	9.7	9.6	9.8	
Mayıs	19.4	71.8	13.5	13.8	13.1	13.6	13.4	13.8	14.2	14.0	13.7	
Haziran	19.4	75.3	14.7	15.0	14.7	15.1	14.9	15.2	15.5	15.4	15.1	
Temmuz	24.2	79.5	16.5	16.8	16.2	16.7	16.5	17.0	17.3	17.2	16.8	
Ağustos	23.9	79.1	16.2	16.7	16.3	16.6	16.5	16.9	17.2	17.1	16.8	
Eylül	22.0	74.1	14.1	14.7	14.4	14.2	14.3	15.0	14.7	14.9	14.6	
Ekim	18.2	74.8	14.6	14.9	14.6	14.6	14.6	15.2	15.3	15.3	14.9	
Kasım	21.9	52.0	9.4	10.2	10.8	10.5	10.7	10.3	9.9	10.1	10.4	
Aralık	21.5	45.6	8.4	9.0	9.3	8.9	9.1	8.9	8.6	8.8	8.9	
Ortalama	21.2	60.3	11.6	12.1	12.0	12.1	12.1	12.1	12.2	12.2	12.1	

Tablo 20. Kalınlık faktörü ile ilgili varyans analizi (aylık).

Varyans kaynağı	KT	SD	KT	F	SL
Gruplar arası	0.08167	2	0.04083	0.003	0.9968
Gruplar içi	417.36583	33	12.64745		
Toplam	417.44750	35			

Tablo 21. Kesit faktörü ile ilgili varyans analizi (aylık).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	0.14562	3	0.04854	0.004	0.9997
Gruplar içi	558.61417	44	12.69578		
Toplam	558.75979	47			



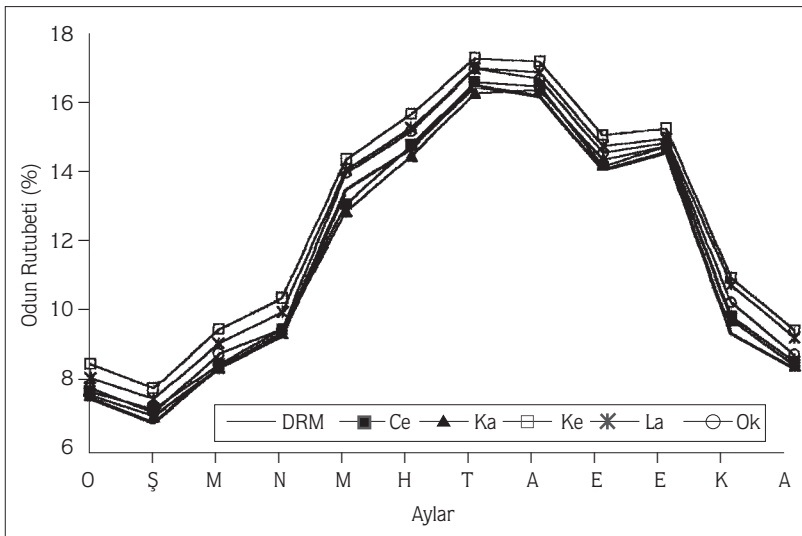
Şekil 1. Trabzon'da kaloriferle ısıtılan bina içi koşullarda odun örneklerinde 1996 yılı aylık rutubet dağılımı.

5 odun türünün aylık rutubet ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılık mevcut olup, aylık

rutubet ortalamaları 8 grupta toplanmıştır. En düşük aylık rutubet ortalamasından en yüksek aylık rutubet ortalamasına sıralamasına göre yapılan gruplandırma 1. grupta Şubat, 2. grupta Ocak, 3. grupta Mart ve Aralık, 4. grupta Nisan, 5. grupta Kasım, 6. grupta Mayıs, 7.

Tablo 22. Odun türlerinde rutubet miktarının 1996 yılı aylık ortalamaları.

Aylar (1996)	İklim koşulları				Odun Türleri ve Rutubeti (%)				
	t	ϕ	rd	Ce	Ka	Ke	La	Ok	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	9.5	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	16.8
Eylül	22.0	74.1	14.1	14.2	14.4	15.1	14.8	14.6	14.6
Ekim	18.2	74.8	14.6	14.8	14.8	15.3	15.0	14.9	15.0
Kasım	21.9	52.0	9.4	9.9	9.8	11.0	10.8	10.3	10.4
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



Şekil 2. Trabzon'da kaloriferle ısıtılan bina içi koşullarda odun türlerinde 1996 yılı aylık rutubet dağılımı.

Tablo 23. Odun türleri ile ilgili varyans analizi (aylık).

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	7.60433	4	1.90108	0.150	0.9622
Gruplar içi	697.22417	55	12.67680		
Toplam	704.82850	59			

Tablo 24. Aylık odun rutubeti ortalamalarına ilişkin varyans analizi.

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	696.13650	11	63.28514	349.481*	0.0000*
Gruplar içi	8.69200	48	0.18108		
Toplam	704.82850	59			

Tablo 25. Aylık odun rutubeti ortalamalarına ilişkin Newman-Keuls testi.

Faktör (Aylar)	Sayı	Ortalama	1	2	3	4	5	6	7	8
Şubat	5	7.32	x							
Ocak	5	7.94		x						
Mart	5	8.86			x					
Aralık	5	8.94			x					
Nisan	5	9.76				x				
Kasım	5	10.36					x			
Mayıs	5	13.70						x		
Eylül	5	14.62							x	
Ekim	5	14.96							x	
Haziran	5	15.10							x	
Ağustos	5	16.74								x
Temmuz	5	16.84								x

grupta Haziran, Eylül ve Ekim, 8. grupta ise Temmuz ve Ağustos ayları yer almıştır.

Odun Rutubeti İle Sıcaklık ve Bağlı Nem Arasındaki İlişki

Tablo 26'da örnek tipleri, Tablo 27'de ise odun türleri için odun rutubeti ile sıcaklık ve bağlı nem arasındaki ilişkiler verilmiştir.

Örnek tiplerinde odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasında kuvvetli doğrusal ilişki bulunmuş, ilişki katsayıları arasında belirgin bir farklılık bulunmamıştır.

Odun türleri üzerinde yapılan denemelerde odun rutubeti ile sıcaklık ve bağlı nem arasında doğrusal ve önemli bir ilişki bulunmuş ($r^2 = 0.9926$), korelasyon katsayıları test edilmiş ve bütün ilişkilerin rastlantı olmadığı görülmüştür. Odun rutubeti ile bağlı nem arasında da kuvvetli bir doğrusal bir ilişki ($r^2 = 0.9844$) gözlenirken, odun rutubeti ile sıcaklık arasında çok zayıf bir doğrusal ilişki ($r^2 = 0.0375$) görülmüştür. Mevcut denklemlerde odun rutubetinin sıcaklıkla artan bir ilişki göstermesi sıcaklığın düşük olması ve çok az bir değişim göstermesinden ($18.2\text{ }^\circ\text{C} - 24.2\text{ }^\circ\text{C}$ arasında) ileri gelmiş

Örnek tipi	Regresyon denklemi	SS (%)	r^2
I	$rk = -4.0440 + 0.1712 t + 0.2075 \phi$	0.3008	0.9941
II	$rk = -3.1327 + 0.1701 t + 0.1951 \phi$	0.3435	0.9914
III	$rk = -3.4482 + 0.1847 t + 0.1889 \phi$	0.3515	0.9903
IV	$rk = -4.9916 + 0.1765 t + 0.2248 \phi$	0.3623	0.9927
V	$rk = -4.7579 + 0.1651 t + 0.2197 \phi$	0.3884	0.9913
O23	$rk = -3.2151 + 0.1713 t + 0.1931 \phi$	0.3526	0.9907
O45	$rk = -4.8488 + 0.1728 t + 0.2216 \phi$	0.3755	0.9920

Tablo 26. Örnek tiplerinde odun rutubeti ile sıcaklık ve bağlı nem arasındaki ilişki.

Odun türü	Regresyon denklemi	SS (%)	r^2
Ceviz	$rk = -4.6240 + 0.1862 t + 0.2070 \phi$	0.4701	0.9857
Doğu kayını	$rk = -4.4648 + 0.1741 t + 0.2065 \phi$	0.4437	0.9872
Kestane	$rk = -3.2568 + 0.1655 t + 0.2057 \phi$	0.3022	0.9940
Doğu ladini	$rk = -3.8493 + 0.1781 t + 0.2058 \phi$	0.2791	0.9949
Okaliptus	$rk = -4.3107 + 0.1643 t + 0.2141 \phi$	0.3278	0.9934
Genel	$rk = -4.2186 + 0.1795 t + 0.2076 \phi$	0.3375	0.9926

Tablo 27. Odun türlerinde rutubet miktarı ile sıcaklık ve bağlı nem arasındaki ilişki.

olabilir.

Odun Rutubeti İle Odun Denge Rutubeti Arasındaki İlişki

Tablo 28'de örnek tipleri için, Tablo 29'da ise odun türleri için odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasındaki ilişkiler verilmiştir.

Örnek tiplerinde odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasındaki ilişki katsayıları arasında belirgin bir farklılık bulunmamıştır.

Odun türlerinde odun rutubeti ile odun denge rutubeti

arasındaki ilişki katsayıları arasında farklılık bulunmakla birlikte, bu farklılığa en düşük ilişkinin görüldüğü $r^2 = 0.9723$ ile sadece Kestane odununun yol açtığı anlaşılmıştır. Odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasında önemli ve doğrusal bir ilişki ($r^2 = 0.9972$) bulunmuş olup, ilişki katsayıları test edilerek rastlantı olmadıkları görülmüştür.

Trabzon'da Bina İçi Koşullarda Odun Rutubetinin Değişimi

Trabzon'da bina içi koşullarda odun denge rutubetinin

Örnek tipi	Regresyon denklemi	SS (%)	r^2
I	$rk = 0.6999 + 0.9799 rd$	0.1444	0.9985
II	$rk = 1.5170 + 0.9218 rd$	0.2545	0.9947
III	$rk = 1.4459 + 0.8949 rd$	0.2430	0.9949
IV	$rk = -0.0397 + 1.0615 rd$	0.1473	0.9987
V	$rk = -0.0777 + 1.0375 rd$	0.1287	0.9989
O23	$rk = 1.4400 + 0.9133 rd$	0.2376	0.9953
O45	$rk = 0.0050 + 1.0469 rd$	0.1315	0.9989

Tablo 28. Örnek tiplerinde odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasındaki ilişki.

Odun türü	Regresyon denklemi	SS (%)	r^2
Ceviz	$rk = 0.3818 + 0.9822 rd$	0.2273	0.9963
Doğu kayını	$rk = 0.3144 + 0.9772 rd$	0.2712	0.9947
Kestane	$rk = 1.7649 + 0.9231 rd$	0.6140	0.9723
Doğu ladini	$rk = 1.0430 + 0.9712 rd$	0.2387	0.9958
Okaliptus	$rk = 0.3363 + 1.0098 rd$	0.1721	0.9980
Genel	$rk = 0.6915 + 0.9814 rd$	0.1981	0.9972

Tablo 29. Odun türlerinde rutubet miktarı ile odun denge rutubeti arasındaki ilişki.

A y l a r	1996 yılı				Uzun yıllar			
	ti	ϕ_i	rd	rk	ti	ϕ_i	rd	rk
Ocak	19.9	39.2	7.5	7.9	20.0	34.2	6.7	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	11.7

Tablo 30. Trabzon'da 1996 yılı ve uzun yıllar odun rutubeti aylık ortalamaları.

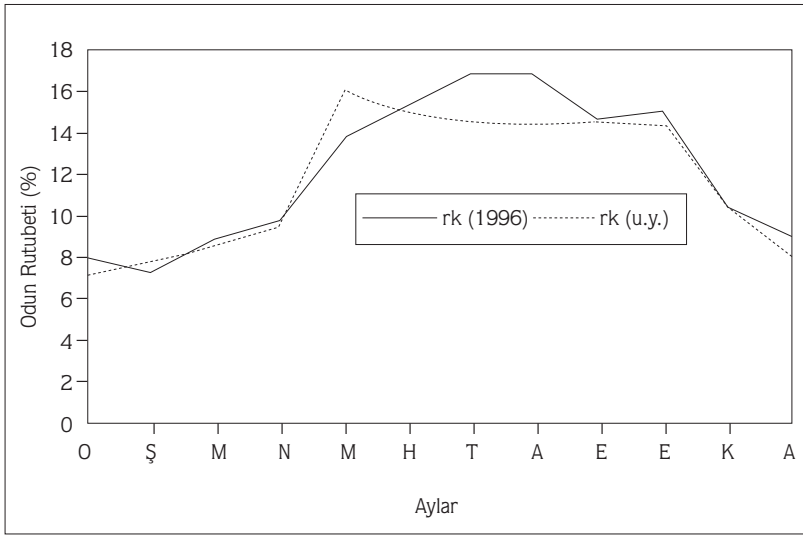
1996 yılı ortalaması % 11.6. uzun yıllar ortalaması ise % 11.2 olarak gerçekleşmiştir. Odun rutubeti yıllık ortalaması ise sırasıyla % 12.1 ve % 11.7 olmuştur. Tablo 30'da görüleceği gibi odun rutubeti (rk) ile odun denge rutubeti (rd) ortalama değerleri arasında yaklaşık % 0.5 fark bulunmaktadır. Odun rutubetinin uzun yıllar aylık ortalamalarının en düşük değeri % 7.2 ile Ocak ayında, en yüksek değeri de % 16.1 ile Mayıs ayında gözlenmiş, en yüksek ve en düşük aylık rutubet ortalamaları arasında % 8.9 fark bulunmuştur. Tablo 30'da bina içi sıcaklığı (ti) ve bina içi bağıl nemi (ϕ)

sembolleri ile gösterilmiştir.

Uzun yıllar ve 1996 yılı odun rutubeti ile odun denge rutubeti aylık ortalamaları arasında % 95 güven

Tablo 31. Uzun yıllar ve 1996 yılı odun rutubeti aylık ortalamaları varyans analizi.

Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F	SL
Gruplar arası	4.70000	3	1.56667	0.128	0.9432
Gruplar içi	539.66000	44	12.26500		
Toplam	544.36000	47			



Şekil 3. Trabzon'da kaloriferle ısıtılan bina içi şartlarda 1996 yılı ve uzun yıllar odun rutubeti aylık dağılımı.

Sonuçlar

Günlük odun rutubeti ortalamaları arasında yapılan varyans analizi kalınlık, enine kesit ve odun türünün odun rutubeti günlük ortalamaları üzerinde % 95 güven düzeyinde etkili olduğunu göstermiştir. Odun türleri günlük rutubet ortalamalarına göre 3 grupta toplanmış; 1. grupta Doğu kayını (% 7.95), 2. grupta Doğu ladini (% 8.36), Ceviz (% 8.30) ve Okaliptus (% 8.28), 3. grupta Kestane (% 8.90) yer almıştır.

Kalınlık, enine kesit ve odun türü faktörlerinin aylık odun rutubeti ortalamaları üzerinde % 95 güven düzeyinde etkili olmadıkları görülmüştür. Buna göre süre uzadıkça, odun denge rutubeti belirli aralıklarda değerler alacağından, odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasındaki uyum artmaktadır. Günlük ve aylık odun rutubeti ortalamaları ile ilgili analiz ve testler, değerlendirmelerde aylık ortalamaların kullanımının daha uygun sonuçlar vereceğini göstermiştir. Diğer taraftan

aylık ortalamaların genel değerlendirmelerde kullanımını pratik avantajlar sağlamaktadır.

Aylık odun rutubeti ortalamaları arasında istatistiksel anlamda farklar gözlenmiş ve aylar 8 farklı gruba ayrılmıştır.

Odun rutubeti ile odun denge rutubeti arasında $r^2 = 0.9972$, sıcaklık ve bağıl nem arasında ise $r^2 = 0.9926$ mertebesinde doğrusal ilişkiler bulunmuştur.

Odun rutubeti ile bağıl nem arasında yüksek mertebede doğrusal ilişki ($r^2 = 0.9847$) olmasına rağmen, odun rutubeti ile sıcaklık arasında çok zayıf bir doğrusal ilişki ($r^2 = 0.0375$) gözlenmiştir. Odun rutubeti ile sıcaklık arasındaki ilişkinin pozitif çıkması muhtemelen sıcaklığın ve sıcaklık değişiminin küçük olmasından ileri gelmiş olabilir.

Yıllık rutubet ortalamaları Ceviz odununda % 11.8, Doğu kayını odununda % 11.7, Kestane odununda % 12.6, Doğu ladini odununda % 12.3, Okaliptus odununda

% 12.0 olarak gerçekleşmiş ve aralarında istatistiksel anlamda farkın olmadığı görülmüştür. Aylık rutubet ortalamaları arasındaki en büyük farklar 5 cm kalınlıktaki örneklerde % 9.7, 2.5 cm kalınlıktaki örneklerde % 9.0 ve 1 cm kalınlıktaki örneklerde % 10.0 olmuştur. Örnek tiplerinde aylık rutubet ortalamaları arasındaki en büyük farklar II nolu örnekte % 8.7, III nolu örnekte % 9.3, IV nolu örnekte % 9.8, V nolu örnekte % 10.2 olmuştur. III ve V nolu radyal örneklerde rutubet değişimi II ve IV nolu teğet örneklerle oranla daha fazladır. Buna göre ince ve radyal biçilmiş odun örneklerindeki rutubet değişimi kalın ve teğet biçilmiş odun örneklerine oranla daha yüksek bulunmuştur.

Trabzon'da 1996 yılında bina içi koşullarda odun rutubeti yıllık ortalaması % 12.1, odun denge rutubeti yıllık ortalaması ise % 11.6'dır. Uzun yıllar ortalamalarına göre ise odun rutubeti yıllık ortalaması % 11.7, odun denge rutubeti yıllık ortalaması % 11.2'dir. Genel olarak

odun rutubeti odun denge rutubetinden % 0.5 daha yüksek değerler almıştır. Uzun yıllar iklim verilerine göre odun rutubeti aylık ortalamalarının en yüksek değeri % 16.1 ile Mayıs ayında, en düşük değeri ise % 7.2 ile Ocak ayında meydana gelmiştir. 1996 yılında ise odun rutubeti aylık ortalamalarının en yüksek değeri % 16.8 ile Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük değeri % 7.3 ile Şubat ayında meydana gelmiştir.

Trabzon'da bina içi iklim koşullarında kullanılan odunun aylık rutubet ortalamaları uzun yıllar iklim verilerine göre % 7.2 ile % 16.1 arasında değişmektedir. Ayrıca bina içi koşullarda odun rutubeti ortalaması ısıtma dönemindeki 6 aylık peryotta % 8.6, ısıtma dönemi dışındaki 6 aylık peryotta ise % 14.8 olmuştur. Buna göre, histerez etkisi de dikkate alınarak Trabzon'da kalorifer ile ısıtılan bina içi koşullarda kullanılacak odunun % 11 rutubete kadar kurutulması uygun görülmektedir.

Kaynaklar

1. Kurtoğlu. A., Hava Kurusu Odununda Rutubet Değişimleri ve Türkiye'de Odunun Muhtemel Denge Rutubeti Miktarlarının Dağılımı. İÜ. Orman Fakültesi Yayın no. 362. İstanbul. 1984
2. Kantay. R., Bir Binaların Klimatik Bakımdan Değişik Yerlerinde Ağaç Malzemede Meydana Gelen Denge Rutubeti Değişimine Ait Denemeler. İÜ. Orman Fakültesi Dergisi Seri A. Cilt 26. Sayı 2. İstanbul. 1976
3. Üçüncü. K., Isıtılan Binalarda Kullanılan Ağaç Malzemede Rutubet Değişiminin Teorik İncelenmesi. KTÜ. Orman Fakültesi. Seminer Serisi No.1. Trabzon. 150-158. 1996.
4. Üçüncü. K., Isıtılan Binalarda Sıcaklık ve Bağıl Nem Değişiminin Deneysel İncelenmesi. KTÜ. Orman Fakültesi. Seminer Serisi No. 4. Trabzon. 125-133. 1997.
5. Keylwerth. R., Dimensionsstabile Holzarten. Holz als Roh-und Werkstoff. 26.11. 413-416. 1968.
6. Kollmann. F., Freilufttrocknung und Beschleunigte Freilufttrocknung. Holzwirtschaftliches Jahrbuch Nr. 15. 51. 1965.
7. Peck. E.C., Moisture Content of Wood in Dwellings. U.S. Dept. Agr. Circ. Nr. 239. Washington D.C.. 1952.
8. Peck. E.C., Moisture Content of Wood in Use. U.S. Dept. Agr. Forest Serv. Forest Prod. Lab. Rep. Nr. R 1655. 1950.
9. Millet. S.R., Variation in Moisture Content in Wood Exposed to indoor Conditions Timber of Canada. 14. 7. 21 - 36. 1953.
10. Krzysik. T., Sobzak. K., Moisture Content of Wood in Centrally Heated Rooms. Sylwan 104. 9. 29 - 44. 1960.
11. Dimitrov. T., Climate and Naturel Wood Drying. Drvna ind. 43. 2. 1992. 62 -70.
12. Riba. R.R.M., Ricalde. C.M.O., Determination of the Equilibrium Moisture Content for Wood in Mexico. Nota Technica. Lab. de Ciencia y Tech. de la Madera. inst. Nacio. No.13.1987. 13p.
13. Wolf. F., Equilibrium Moisture Content of Wood for Northeastern Mexico. Rep. Cientifico. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables No.5. 1986. 14-85.
14. Dittrich. H., Einflüsse des Aussenklimas auf die Holzfeuchtigkeit von Verbautem Holz in Innenraumen. Holz - Zentralblatt. 95.8. 1969. 79.
15. Anonim. Türkiye'de Uzun Yıllar Sıcaklık ve Bağıl Nem Aylık Ortalama Değerleri. DMGM. Ankara. 1998.
16. Villière. A., Séchage des Bois. Centre Technique du Bois. Paris. 1966.
17. Anonim. Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları. Makina Mühendisleri Odası yayın no. 85. Ankara. 1977.
18. Osborne. W.C., Turner. C.G., Pratik Havalandırma Tesisleri Klavuzu Cilt 1. Çev. U. Köktürk. İTÜ Makina Bölümü. Arpaz Matbaacılık. İstanbul. 1975.
19. Örs. Y. ve Üçüncü K. 41° Kuzey Paralelinde Güneş Enerjisi İle Kereste Kurutma Olanakları Üzerine Araştırmalar. TÜBİTAK Doğa Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi. 16.1. 22-37. 1992.
20. Bowen. E. K. ve Starr. M. K., Basic Statistics For Business and Economics. McGraw-Hill Book Company. Literatür Yayıncılık. İstanbul. 1982.