

Konutlarda Odun Esaslı Malzemelerin Havanın Bağlı Nemine Etkisi – Analitik İnceleme

Kemal ÜÇÜNCÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

(Geliş / Received : 25.06.2015 ; Kabul / Accepted : 04.02.2016)

ÖZ

Bu makale, ısıtılan kapalı mekanlarda hava ve higroskopik esaslı odun malzemeler arasındaki nem transferine ilişkin bulguları sunmaktadır. Isıtılan bina içi koşullarda hava nemi insanların yaşam konforu, algılanan hava kalitesi ve insan sağlığı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle, bina içi iklim koşullarında uygun higroskopik odun esaslı malzemelerin uygulanması ile insanların yaşam kalitesi iyileştirilebilir. Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi (Trabzon/Türkiye) lojmanlarında, içerisinde odun kökenli malzemelerin bulunduğu ısıtılan bir dairenin salonunda nem transferi ve havanın bağlı nemi sayısal olarak incelenmiştir. Teorik hesaplamalarda ideal gaz ve sorpsiyon bağıntıları, istatistik analizlerde SPSS-22 istatistik programı kullanılmıştır. Sonuçlar, bina içi iklim koşullarında hava ve higroskopik odun esaslı malzemeler arasındaki nem transferinin genellikle bağlı nemi dengeleyici etki yaptığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nemli hava, Nem transferi, Kapalı ortam, Odun esaslı malzemeler.

Effects of Wood-Based Materials on the Air Humidity in the Buildings - Analytical Review

ABSTRACT

This paper presented the findings related to moisture transfer between indoor air and hygroscopic wood-based material in heated closed buildings. Humidity conditions inside the heated buildings have a significant impact on the people's living comfort, the perceived air quality and human health. Therefore, people's life quality may be improved with the implementation of appropriate hygroscopic wood-based materials which are suitable for indoor usage. In this study, moisture transfer of wood-based materials and relative humidity in the heated saloon of an apartment located at Karadeniz Technical University Housing (Trabzon / Turkey) were investigated numerically. In the theoretical calculations were used ideal gas and sorption equations. SPSS-22 statistical software were used for statistical analysis. The results showed that under the indoor climate conditions, the moisture transfer between the air and the hygroscopic wood-based materials usually provided balancing effect on the relative humidity.

Key words: Humid air, Moisture transfer, Indoor conditions, Wood-based materials.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hava, gerek iş yapan akışkan ve gerekse canlılara veya kullanılan malzemelere etkileri nedeniyle nem içeriği yönünden incelenmesi gereken bir akışkandır.

Hava nemi özgül nem, mutlak nem ve bağlı nem kavramları ile ifade edilmektedir [1]. Özgül nem [g/kg], birim ağırlıktaki havada bulunan su buharı ağırlığıdır. Mutlak nem [g/m³], birim hacim havada bulunan su buharı ağırlığıdır. Bağlı nem [%], havadaki nemin, aynı sıcaklıkta havanın taşıyabileceği maksimum neme oranıdır. Bir başka ifade ile bağlı nem, havadaki su buharının kısmi basıncının aynı sıcaklıktaki doymuş havanın kısmi basıncına oranıdır [2].

Bina içerisinde temiz ve ılıman bir havanın sağlık, konfor ve üretkenliği etkileyebileceğini ifade eden pek çok araştırma mevcuttur [3-7]. Bina içi koşullara yönelik projelerde genellikle sıcaklık analiz edilir, nem ölçümü ve hesabı ihmal edilir. Bununla birlikte, bina içi koşul-

larda oluşan nem aşağıda ifade edilen önemli etkilere sahiptir:

- Isıl konfor [8],
- İç hava kalitesi ve algısı [9],
- İnsan sağlığı ve yaşam kalitesi [10],
- Malzemelerin dayanımı [11-13],
- Malzeme emisyonları [14],
- Enerji tüketimi [15].

Ahşap malzeme, higroskopik özelliği nedeniyle içerisinde su alarak veya içerisindeki rutubetin bir kısmını havaya vererek belirli bir sıcaklık ve nem değerinde denge rutubetine ulaşır. Böylece, nem değişimi oranında rutubet alışverişi artarak önemli boyut değişimi sorunları ortaya çıkar [16]. Aşırı nemli ortamlarda ahşap malzemelerde küflenme, mantar üremesi ve çürüme gibi zararlar meydana gelir. Higroskopik özellikteki odun, bulunduğu ortam havasının nemi üzerinde etkilidir. Bu özelliği ile odun, kullanım yerindeki havanın nemini dengeleyici etki yapar [3, 17].

Korozyon, metallerin içinde buldukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucu, dışarıdan enerji vermeye gerek

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: kucuncu@ktu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.3 211-221

olmadan, doğal olarak meydana gelen tepkimedir. Metallerin üst yüzeyleri rutubetli ortamlarda ve açık havada bir oksit tabakası ile kaplanır. Bu durum metal eşyaların işlevlerinin ve değerlerinin düşmesine yol açar [11, 12].

Gıdaların çürümesi, küflenme, mantar üremesi, toz gıdaların topaklanması, gıdaların üzerinin kabuk bağlaması ve renk değiştirmesi gibi benzeri günlük problemler sıcaklık değişikliğinin yanında özellikle nem değişikliğinden kaynaklanan olgulardır.

Ortamda nem değişimi, solunum etkinliğinin azalmasına, cildin ıslanmasına, boğazlarda tahrişe neden olarak insanların yaşam kalitesini düşürmektedir. Yüksek miktardaki nem, eşyalar üzerinde tahrip edici etkiye sahipken, insan sağlığı ve canlı yaşamında da olumsuz etkilere neden olur. Yüksek nemli ortamlarda yaşamak zorunda kalan insanlarda nefes alma zorluğu, astım, üst solunum yolları enfeksiyonları, romatizma-eklem hastalıkları ve kalp-damar rahatsızlıkları adeta kaçınılmaz olmaktadır. İnsan sağlığı, metal korozyonu, higroskopik tahribat, mantar – küf ve bakteri üremesinin önlenmesi açısından yüksek nem ile mücadele zorunludur [18]. Nemin ve mevsimselliğin grip virüsü üzerindeki etkileri incelenen bir çalışmada laboratuvar denemeleri önerilmiştir [19] Laboratuvar deneyleri, nemin grip virüsünün havada hayatta kalma ve iletimi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir [20].

İnsanların konfor beklentileri değiştikçe ve havalandırma sistemleri geliştikçe ortam havasının nemi önem kazanmış, iç hava kalitesi kriterleri arasına nem kontrolü de girmiştir. İç hava kalitesini bozan sebeplerin büyük çoğunluğu iç kaynaklıdır. İç mekanda insan teri, parfümler, mutfak duman ve buharları, banyo ve çamaşırlardan yayılan buhar, endüstriyel ortamlardaki ürünlere bağlı nem çıkışları, vb. etkenler iç hava neminin sürekli artışına yol açar. İç mekanda istenilen sıcaklık derecesi sağlanmış olsa da yüksek nem insanları rahatsız edebileceği gibi, insanların kullandıkları malzemelerin niteliklerinin bozulmasına da yol açar.

Nem oranının yüksek olması, insan vücudunda terlemeyi önlemektedir. Kuru havada sıcaklık oranı yüksek olsa da rahatsızlık duyulmamaktadır. Ama nem oranı belli bir sınırı aştığında, kişi terleyemediği için ısı birikiminden dolayı rahatsızlık verici bir ortam oluşmaktadır. Nem oranı yüksek, merkezi sistem ısıtmalı, duvardan duvara halı kaplı, yeterli havalandırmanın sağlanmadığı evlerde eklem romatizması, yorgunluk ve astım hastalığı etkili olmaktadır [21].

İnsanın hem fiziksel, hem psikolojik olarak kendini rahat ve sağlıklı hissetmesi için havalandırma değerleri ve taze hava oranları dikkatli seçilmeli ve mahallerde iyi bir hava dağılımı sağlanmalı; hava sıcaklığı ve nem oranı, konfor şartları sınırları içinde tutulmalıdır [22].

Üretim için kullanılan kaynaklardan biri insan gücüdür. Isıl konfor donanımları eksikliği veya yetersizliği nedeniyle konfor bölgelerinden uzak iç hacim koşulları, insanın bedensel ve zihinsel performansını olumsuz etkilemekte ve böylece işgücünün verimsiz olarak kullanıl-

masına ve üretim maliyetinin artmasına neden olmaktadır [6, 23].

İnsanın yaşam koşullarının zorlaşması, insanların kullandığı malzemelerin ve gıdaların niteliklerinin bozulması gibi mal, para ve zaman kaybedilmesine sebep olan bu sorunlar özellikle yüksek nemden kaynaklanır. İklim ve hava koşullarına göre insan kontrolü dışında değişen nem, insan sağlığını ve eşya konforunu bozan en önemli etkidir. Sıcaklık ve nem iç hava kalitesi algısı üzerinde güçlü ve önemli bir etkiye sahiptir [9].

İnsanların yaşam kalitesi üzerinde buldukları ortam hava kalitesinin önemli etkileri vardır. Hava kalitesi ile hava içerisinde bulunabilecek karbondioksit (CO₂), solunabilir partikül maddeler, havada bulunan bakterilerin miktarı anlaşılrsa da havanın nemi de gerek doğrudan ve gerekse dolaylı olarak yaşam kalitesi için önemli bir faktördür. Kapalı mekamlarda hava bağıl nemi genellikle kış aylarında düşük (% 30-40), yaz aylarında yüksek (%50-60) değerler alır [24, 25]. Bakteri ve virüsler gibi organizmaların hayatta kalma ve enfeksiyon yapma etkileri %40-70 arasındaki bağıl nem değerlerinde minimize olmaktadır. Mantarların çoğu türü %60 bağıl nemin altında büyüyemez. Kapalı ortamlarda bağıl nemin olumsuz etkileri %40-60 arasında minimize olmaktadır [10].

Hohota vd. (2003), iç hava neminin sayısal tahmini ve kapalı mekandaki etkileri üzerine yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçların kapalı mekanda ısı konforu garanti etmek için literatürde önerilen %30-60'lık nem düzeyleri ile kıyaslanabileceğini göstermişlerdir [26].

Andersen ve Korsgaard (1986), iç hava neminin sağlık üzerine etkilerine yönelik çalışmada %45'in üzerindeki bağıl neme sahip ortamda bakterilerin yaşama şansının ve astım vakalarının arttığını, astım vakalarının yaklaşık %60'ının yüksek iç nemden kaynaklandığını göstermiştir. Bu nedenle, önleyici tedbirler olarak hava değişim oranının artırılmasını ve bağıl nemin düşük derecelerde tutulmasını önermiştir [27].

Wolkof, P. ve Kiaergaard (2007), havanın serin ve kuru olması mekan hava kalitesi açısından yararlı olabileceğini, ancak bir iş günü boyunca gözlerde ve üst solunum yollarında tahriş semptomları gelişimi hakkında dikkatli düşünülmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışmalar yaklaşık % 40 bağıl nemin gözler için, % 30'un altında bağıl nemin ise üst solunum yollarında daha iyi olduğunu göstermektedir [28].

Isıtılan bina içerisinde havanın bağıl nemi üzerinde iç hava sıcaklığı, dış hava sıcaklığı ve bağıl nemi, hava değişim oranı ve iç ortamdaki nem üretim kaynakları etkilidir. Bina içerisinde en önemli nem kaynakları genel olarak banyo, mutfak, içeride kurutulan çamaşırlar, süs bitkileri, insanların solunması ve terlemesi, higroskopik madde olarak odunda meydana gelen rutubet alışverişidir.

Konut iç sıcaklıkları, konutun bulunduğu iklim koşullarına, yapı – çevre ilişkilerine ve yapının özelliklerine göre projelendirilir [29].

Higroskopik özellikteki odunun rutubeti, bulunduğu ortam havasının sıcaklığına ve bağıl nemine bağlı olarak belirli bir dengeye ulaşır. Odunun bulunduğu ortamın sıcaklık ve bağıl nemi belirlenmişse, ulaşacağı denge rutubeti miktarı odun denge rutubetini veren tablo veya grafikler aracılığı ile belirlenebilir [30, 31].

Bağıl nemin iki yolla belirlenmesi mümkündür; ölçüm yapma veya analitik yolla hesaplama. Bağıl nemin ölçümü pratik ve ekonomik olmayacağı gibi, yeni tasarımlarda bağıl nemin belirlenmesinde en uygun ve pratik yol, bağıl nemi analitik yolla hesaplamaktır. Bina içi bağıl nemi, bina içi sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve bağıl nemi, yerleşik insan sayısı ile bina içinde bulunan higroskopik malzeme miktarı ve rutubetine göre değişir [32].

Odun denge rutubeti üzerinde dış kurutma faktörleri olarak nitelendirilen hava sıcaklığı, bağıl nemi ve hızının etkileri sözkonusudur [33]. Hava sıcaklığı mevsimlere ve coğrafik yörelere göre değişir. Isıtılan mahallerde sıcaklık kış aylarında sabit ve 20 °C'de tutulmakla birlikte, yaz aylarında dış ortam sıcaklığı seviyesinde seyrederek. Hava hızı dış koşullarda bina içi koşullara oranla daha yüksektir. Bu nedenle, dış koşullarda hava hızının ısı transferi üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle odun denge rutubetinin iklim koşullarına uyumu daha hızlı gerçekleşir.

Havanın bağıl nemi insanın yaşam kalitesini etkileyen önemli bir ortam faktörüdür. Odun esaslı malzemeler higroskopik özellikleri nedeniyle hava ile sürekli nem alışverişinde bulunarak dengeye ulaşırlar. Isıtılan kapalı mekanlarda havanın bağıl nemi sıcaklığın ve ortamda bulunan odun esaslı malzemelerin etkisine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle sıcaklık etkisinin yanında, odun esaslı malzemelerin de hava nemi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi önem taşıyan bir araştırma konusudur.

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi Lojmanlarında (Trabzon /Türkiye) merkezi sistemle ısıtılan bir bina içindeki bağıl nem değerleri bina içi ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve bağıl nemi ile hava değişim oranı ve bina içinde bulunan higroskopik malzeme miktarı ve rutubetinin fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Deney odası kış döneminde düzenli olarak ısıtılmakta, ölçüm amacı dışında deney odasına insan girmemektedir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi (Trabzon/Türkiye) yerleşkesindeki lojmanlarında merkezi ısıtmalı ve doğal yolla havalandırılan bir binanın salonu deney odası olarak kullanılmıştır. Deney odası olarak incelenen salonun uzunluğu 8.30 m, genişliği 3.90 m uzunluğu için 4.15 m ve 4.40 m uzunluğu için 4.72 m, yüksekliği 2.60 m'dir. Brüt hacim 95 m³, net hacim 80 m³'tür. Kuzeye bakan tek duvarda biri 1.10 m x 2.90 m ve diğeri 1.10 m x 2.20 m olmak üzere iki adet ahşap

pencere ile aynı duvarda 0.60 m x 2.00 m ahşap balkon kapısı bulunmaktadır. Pencerelede 3 adet 0.60 m x 1.00 m açılır kanat mevcuttur. Salonun, hole açılan 0.85 m x 2.00 m boyutlarında ve aralıklı bir iç kapısı ve batı duvarında 0.75 m x 2.00 m çelik yangın merdiveni kapısı vardır.

Araştırmada, deney odası iç kapısı ile bitişik bölmeler arasında hava hareketinin olmadığı varsayılmıştır. İç duvarlar saten alçı boya, tavan badana boya, döşeme ahşap masif parke ve dışa bakan iki tuğla duvar yüzeyi dekoratif dış cephe sıvası uygulanmıştır.

Mimari projesinde bina normal bölge, çok serbest ve ayırık nizam şeklindedir. Bina 1993 yılında yapılmıştır. Bu nedenle, mevcut binada, yeni binalardaki gibi kuruma nedeniyle ortama fazla miktarda su buharı salınmaz. Benzer şekilde, pencerelerin aşırı sızdırmaz olmaması ve duvarların hava geçirmez şekilde tasarlanmaması nedeniyle duvarlarda terleme sözkonusu olmamaktadır.

Deney odası olarak incelenen salon içerisinde 2 cm kalınlıkta doğu kayını parke döşeme mevcuttur. Salon standart mobilya donanımları ile tefriş edilmiştir.

Trabzon için ısıtma dönemi Ekim – Nisan ayları arasındadır. Havalandırma genel olarak enfiltrasyonla, zaman zaman açılır pencere kanatlarının ve balkon kapısının varsayımlara uygun ölçüde açılması ile sağlanmaktadır.

Deney odası sıcaklığı ve bağıl nemi değerleri ile dış ortam sıcaklığı ve bağıl nemi değerleri bir yıl boyunca termohigrografla ölçülüp kaydedilmiştir.

2.2. Metot (Method)

Dış sıcaklık ve bağıl nem günlük ortalamaları, Meteoroloji rasat sonuçları ile uyum sağlamak üzere günün 7, 14 ve 21 saatlerindeki değerleri kullanılarak aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır [34].

$$y = \frac{y7+y14+2 \times y21}{4} \quad (1)$$

Burada y, sıcaklık veya bağıl nem değerini ifade etmektedir.

Nemli hava içerisinde bulunan su buharının miktarı buharlaşma ve yoğunlaşma dolayısıyla değişir. Havanın ağırlığı her zaman sabit kalır. Nemli hava içerisindeki nem miktarının kuru hava miktarına oranı özgül nem olarak tanımlanır [35, 36].

$$x = \frac{m_b}{m_h} \text{ [g sb/kg h]} \quad (2)$$

Özgül nem 0 – ∞ arasında değerler alabilmesine rağmen 1 kg kuru havanın karışım teşkil edebileceği su buharı miktarı sınırlıdır. Genel olarak pratikte özgül nem değeri 0 < x < 0.2 arasında değişir. Bu koşullarda gaz karışımlarına uygulanan kanunlar nemli hava için de kullanılabilir. Bu durumda kuru hava ve su buharının karışımından oluşan nemli hava için aşağıdaki ideal gaz denklemleri yazılabilir.

Su buharı için

$$P_b V = m_b R_b T \quad (3)$$

Kuru hava için

$$P_h V = m_h R_h T \quad (4)$$

Basınç ilişkisi için

$$P = P_h + P_b \quad (5)$$

Verilen denklemler aracılığı ile özgül nem aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$x = 0.622 \frac{P_b}{P - P_b} \quad (6)$$

Hava – su buharı karışımı içerisinde su buharının kısmi basıncı (P_b), karışımın sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncının (P_{bd}) üzerine çıkamaz. Doyma halindeki özgül nem

$$x_d = 0.622 \frac{P_{bd}}{P - P_{bd}} \quad (7)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Nemli hava içerisindeki su buharı miktarının nemli hava hacmine oranına mutlak nem denir ve

$$\rho_b = \frac{m_b}{V} \quad (8)$$

eşitliği ile ifade edilir. Mutlak nem, su buharının nemli hava içerisindeki kısmi yoğunluğudur.

İdeal gaz denkleminde yararlanılarak mutlak nem

$$\rho_b = \frac{P_b}{R_b T} \quad (9)$$

doyma durumundaki mutlak nem ise

$$\rho_{bd} = \frac{P_{bd}}{R_b T} \quad (10)$$

eşitlikleri ile ifade edilebilir.

Birim hacimde hava içerisinde buhar ağırlığının havanın toplam basınçta ve sıcaklıkta taşıyabileceği maksimum buhar ağırlığına oranı bağıl nem olarak tanımlanır. Dalton'un kısmi basınç oranları kanunu gereğince bağıl nem basınç oranlarına veya ağırlık oranlarına göre belirlenebilir.

$$BN = \frac{\rho_b}{\rho_{bd}} \quad (11)$$

Diğer bir ifade ile bağıl nem nemli hava içerisindeki su buharı kısmi basıncının aynı sıcaklığa karşılık gelen doyma basıncına oranına eşittir.

$$BN = \left(\frac{P_b}{P_{bd}} \right)_{t=\text{sabit}} \quad (12)$$

Özgül nemin doyma durumundaki özgül neme oranına doyma derecesi denir ve $\psi = \frac{x}{x_d}$ (13)

şeklinde ifade edilir. Bağıl nem ile doyma derecesine ilişkin eşitliklerden de görüleceği gibi, aralarında fark vardır. Doyma derecesi için

$$\psi = \left(\frac{P_b}{P_{bd}} \right) \left(\frac{P - P_{bd}}{P - P_b} \right) \quad (14)$$

veya bağıl nem ile ilişkili olarak

$$\psi = \varphi \left(\frac{P - P_{bd}}{P - P_b} \right) \quad (15)$$

eşitlikleri ifade edilebilir. Su buharı kısmi basıncı doyma durumundaki su buharı kısmi basıncından küçük veya ona eşit olduğundan doyma derecesi bağıl nemden $\left(\frac{P - P_{bd}}{P - P_b} \right)$ oranında küçüktür. Havanın nemliliği ile ilgili hesaplarda bağıl nem yerine doyma derecesine ilişkin bağıntılardan yararlanılacaksa bu farkın dikkate alınması gerekir.

Isıtılan binalarda oluşacak bağıl nem dış hava sıcaklığı, bağıl nemi, hava yenileme oranı, iç hava sıcaklığı ve içeride bulunan higroskopik maddelerden etkilenir. Bu çalışmada deney odası için, gerek havalandırma tekniğinde ve gerekse ısı hesaplarında gözönüne alınan hava yenilenme katsayısı 1 olarak belirlenmiştir [29, 37].

Nemli hava içerisinde doyma durumunda bulunabilecek su buharı miktarı sadece sıcaklığın fonksiyonu olarak değişir. Buna göre birim hacimdeki nemli hava içerisinde bulunabilecek su buharı miktarı sıcaklığın fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir [38].

$$\rho_{bd} = 4.84 + 0.3738 T + 0.0044 T^2 + 0.00037 T^3 \quad (16)$$

Düşük sıcaklıktaki nemli hava ısıtılırsa, doyma durumunda, içerisine alabileceği nem miktarı artacağından bağıl nemi düşer. Örneğin, 20 °C sıcaklıkta doyma haldeki nemli havanın 1 m³'ü içerisinde 17 g, 30 °C'de ise 30 g su buharı bulunmaktadır. Buna göre 20 °C'de doyma haldeki hava 30 °C'ye kadar ısıtılırsa bu durumda bağıl nemi $\varphi = (17/30) \times 100 = 56.7\%$ derecesine düşecektir. Aksine, yüksek sıcaklıktaki hava soğutulursa içerisine alabileceği nem miktarı azalacağından çığ noktası sıcaklığının altında bir miktar su buharı yoğunlaşır.

Dış hava içerisinde doyma halindeki nem miktarı sıcaklığın fonksiyonu olarak (16) nolu eşitlikten hesaplandıktan sonra, dış havanın aynı sıcaklıktaki bağıl nemine bağlı olarak içerisinde bulunan mutlak nem miktarı

$$\rho_{b,d} = \varphi_0 \rho_{bd,d} \quad (17)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Dış hava için hesaplanan nem miktarı ısıtılan mahal için hesaplanan doyma durumundaki nem miktarına oranlanarak mekan içi başlangıç bağıl nemi hesaplanır.

$$BN_{ib} = \frac{\rho_{b,d}}{\rho_{b,i}} \quad (18)$$

Bu şekilde hesaplanan iç bağıl nem, içeride nem kaynağının olmadığı hal için geçerlidir. Mahal içindeki havanın nemliliği ve dolayısıyla denge rutubeti üzerinde, başta odun olmak üzere içeride bulunabilecek higroskopik maddelerin etkisi sözkonusudur. Odunun rutubeti, miktarı ve yüzeyinin korunma durumu havanın bağıl nemini ve denge rutubetini etkileyen özelliklerdir. Bu özellikler bir c sabiti ile ifade edilirse, bu durumda nemli hava içerisinde bulunabilecek nem miktarı

$$\rho_b = \rho_{b,d} + c \Delta W \quad (19)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada ΔW rutubet değişim miktarı olup, hesaplar iterasyonla yapılır. Denklemdaki c sabitinin belirlenmesinde

$$c = \frac{M_0}{V_i t n} \quad (20)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Buna göre odunun bulunduğu deney ortamındaki mutlak nem miktarı

$$\rho_b = \rho_{b,d} + 364.6 \Delta W \quad (21)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır.

Rutubet değişim miktarı

$$\Delta W = W_b - W_s \quad (22)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır.

Odun sonuç rutubeti

$$W_s = (W_b - a \text{ DRM}) e^{-\frac{bt}{\rho_0 e}} + a \text{ DRM} \quad (23)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır [34, 39, 40].

Odun denge rutubeti sıcaklık ve bağıl nemin fonksiyonu olarak (24) nolu bağıntı ile hesaplanmıştır [30, 31].

$$\text{DRM} = 0.383 + 0.190 \text{ BN} - 0.020 \text{ T}; R^2 = 0.986 \quad (24)$$

Isıtılan bina içinde odun esaslı malzemelerin bulunması hali için bağıl nem (25) nolu eşitlikle hesaplanmıştır.

$$BN_{im} = \frac{\rho_b}{\rho_{b,i}} \quad (25)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Trabzon için dış hava aylık sıcaklık ve bağıl nem verileri, iç hava sıcaklığı, bina içinde bulunan odun esaslı malzeme miktarı ve rutubetine göre hesaplanan bina içi bağıl nem aylık ortalamaları Tablo 1'de verilmiş, aylık ortalamaların değişimleri de Şekil 1'de gösterilmiştir.

Trabzon'da araştırma döneminde dış hava bağıl nemi yıllık ortalaması %76.7 olup, aylık bağıl nem ortalamaları %68.9 (Aralık ayında) ile %83.1 (Mart ayında) arasında değişmiştir. Yıllık ortalama dış hava sıcaklığı 14.7 °C olup, aylık ortalamalar 6.5 °C ile 23.8 °C arasında değişmiştir. Aylık sıcaklık ortalamalarının standart sapması 5.9 °C, bağıl nem ortalamalarının standart sapması ise % 4.1'dir. Özellikle bağıl nemin aylık ortalamaları arasındaki fark düşük olup, homojen bir dağılım gösterdikleri söylenebilir.

Bina içi havasının yıllık sıcaklık ortalaması 21.2 °C, aylık sıcaklık ortalamalarının standart sapması 1.7 °C'dir. Bunun iki nedeni, yaz aylarındaki aylık sıcaklık ortalamalarının 20 °C dolayında olması ve kış aylarında bina içinin ısıtılıyor olmasıdır. İç ve dış hava aylık sıcaklık ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark vardır (F = 12.383, p = 0.02).

Mahal içinde odun esaslı malzemelerin bulunmadığı hal

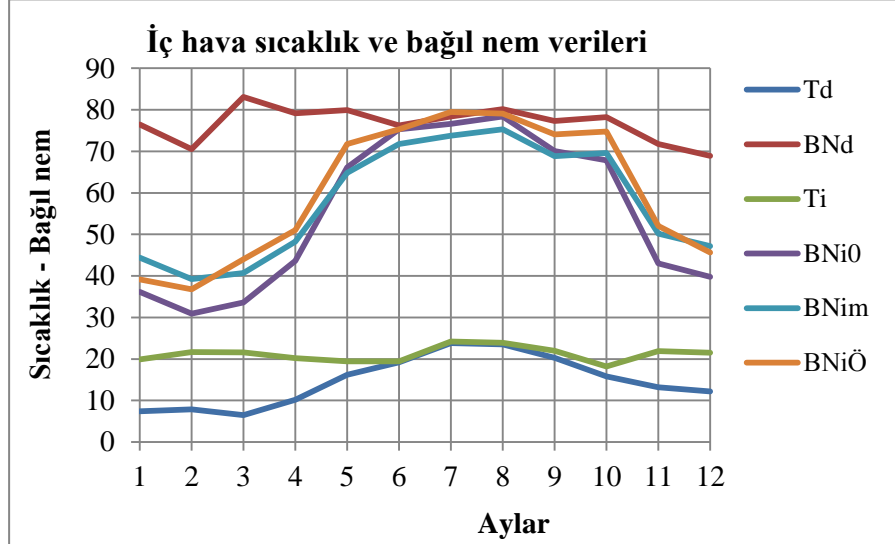
Çizelge 1. Trabzon için sıcaklık ve bağıl nem aylık ortalama değerleri (The monthly average temperature and relative humidity values for Trabzon)

Aylar	Dış hava		Bina içi				Bağıl nem farkları	
	Td	BNd	Ti	BNib	BNim	BNiö	BNd-BNib	BNd-BNim
Ocak	7.4	76.5	19.9	36.1	44.4	39.2	40.4	32.1
Şubat	7.9	70.5	21.7	30.9	39.3	36.8	39.6	31.2
Mart	6.5	83.1	21.6	33.6	40.7	44.0	49.5	42.4
Nisan	10.2	79.2	20.2	43.7	48.3	51.0	35.5	30.9
Mayıs	16.2	79.9	19.4	66.2	64.8	71.8	13.7	15.1
Haziran	19.2	76.2	19.4	75.3	71.7	75.3	0.9	4.5
Temmuz	23.8	78.4	24.2	76.6	73.8	79.5	1.8	4.6
Ağustos	23.5	80.2	23.9	78.4	75.3	79.1	1.8	4.9
Eylül	20.3	77.3	22.0	70.0	68.8	74.1	7.3	8.5
Ekim	15.8	78.2	18.2	67.9	69.6	74.8	10.3	8.6
Kasım	13.2	71.8	21.9	43.0	50.2	52.0	28.8	21.6
Aralık	12.2	68.9	21.5	39.8	47.2	45.6	29.1	21.7
Ortalama	14.7	76.7	21.2	55.1	57.8	60.3	21.6	18.8
Standart sapma	5.9	4.1	1.7	17.9	13.4	16.1	16.7	12.5
Kış ortalaması	10.5	75.5	20.7	42.1	48.5	49.1	33.3	26.9
Yaz ortalaması	20.6	78.4	21.8	73.3	70.9	76.0	5.1	7.5

için bina içi bağıl nem aylık ortalamaları % 30.9 ile % 78.4 arasında değişmiş ve yıllık ortalaması %55.1 olmuştur. Bu hal için bina içi bağıl nem aylık ortalamalarının standart sapması %17.9'dur. Bu farkın oluşmasında en önemli etken, ısıtılan kış aylarında iç bağıl nemin dış hava bağıl nemine oranla azalmasıdır.

bağıl nemin odun esaslı malzemenin etkisi ile dengelenmekte olduğunu göstermektedir.

Şekil 2'de, iç mekanda odun esaslı malzemelerin bulunması halinde ($m = 8,75 \text{ kg/m}^3$) kış aylarında bağıl nemi azaltıcı yaz aylarında ise artırıcı etki yaptığı ve böylece bağıl nemin dengelenmesinde önemli bir etkiye

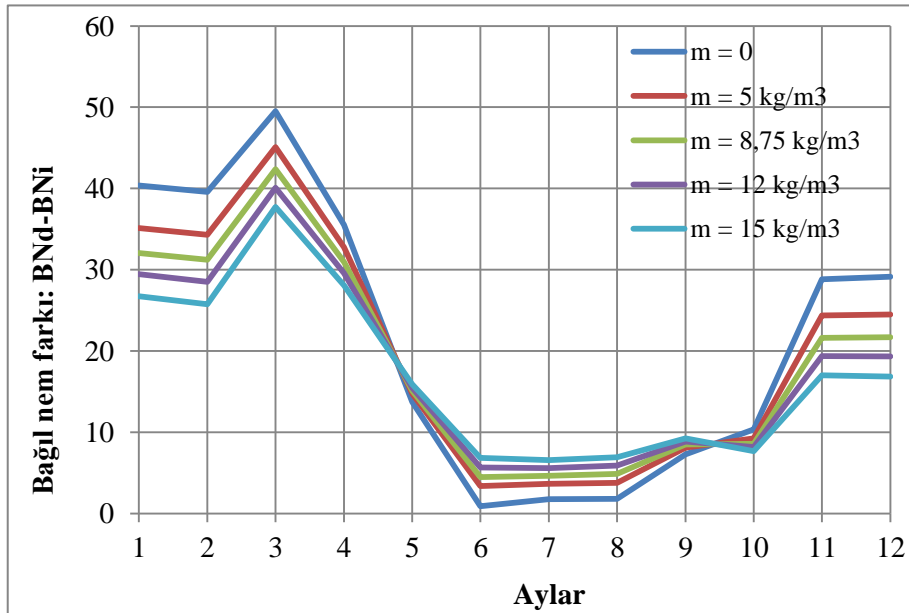


Şekil 1. Dış ve iç hava sıcaklık ve bağıl nem aylık ortalama değerleri (Outside and indoor air temperature and relative humidity monthly average values)

Mahal içinde birim hava hacmi başına bulunan odun esaslı malzeme miktarının 8.75 kg/m^3 olduğu durumda, en düşük bağıl nem aylık ortalaması % 39.1 ile Şubat

sahip olduğu görülmektedir.

Dış hava bağıl nemi aylık ortalamaları ile bina içi bağıl nem aylık ortalamaları arasında en büyük fark; odun



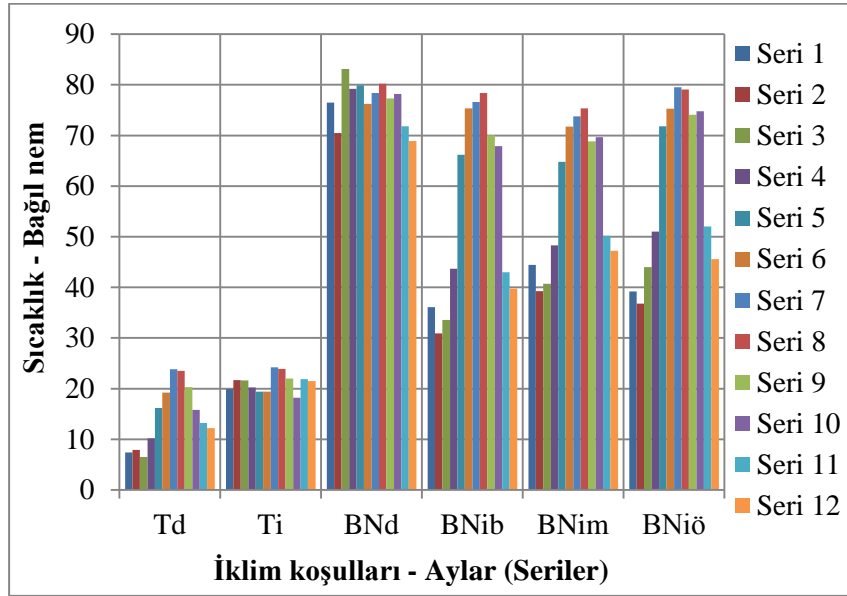
Şekil 2. Bağıl nem aylık ortalamalar farkı (The relative humidity monthly averages difference)

ayında, en yüksek bağıl nem aylık ortalaması ise % 75.4 ile Ağustos ayında meydana gelmiştir. Yıllık iç bağıl nem ortalaması %57.8, aylık iç bağıl nem ortalamalarının standart sapması % 13.4'dür. Bu veriler, aylık iç bağıl nem ortalamaları arasındaki farkın azaldığını ve iç

esaslı malzemenin bulunmadığı hal için %49.5 ile Mart ayında, en düşük fark ise %0.9 ile Haziran ayında meydana gelmiştir. Odun esaslı malzemelerin bulunduğu hal ($m = 8.75 \text{ kg/m}^3$) için dış ve iç bağıl nem aylık ortalamaları arasındaki fark %42.5 ile Mart ayında en yüksek, %4.4 ile Haziran ayında en düşük olmuştur. Benzer şe-

kilde, bağıl nem aylık ortalamaları $m = 5 \text{ kg/m}^3$ için %3.4 ile %45.1 arasında, $m = 12 \text{ kg/m}^3$ için %5,6 ile %40.1 arasında ve $m = 15 \text{ kg/m}^3$ için %6.5 ile % 37.7 arasında değişmektedir. Görüleceği gibi, bina içi aylık bağıl nem ortalamaları arasındaki farklar ısıtma döneminde (kış aylarında) yüksek, yaz aylarında düşüktür. Aynı şekilde bina içinde kullanılan odun esaslı malzeme

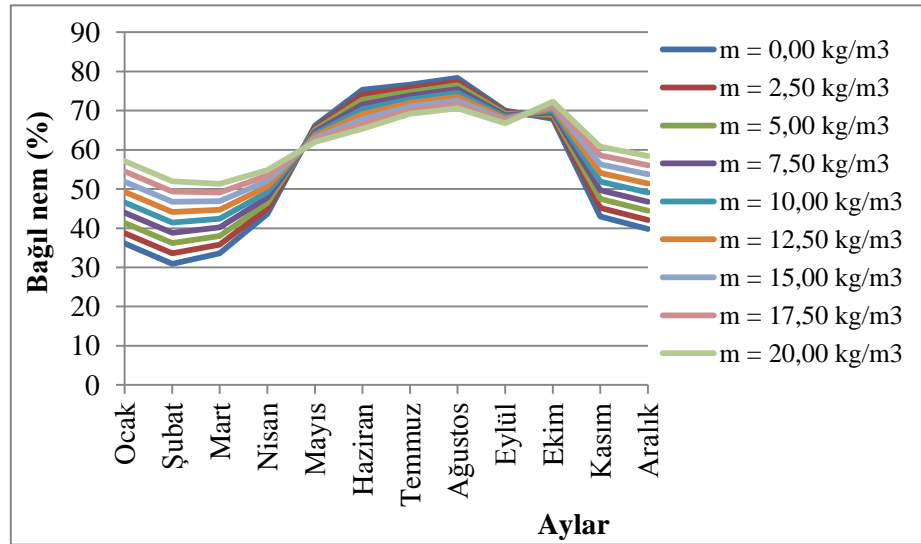
Isıtılan bina içi iklim koşullarında ortalama dış ortam sıcaklığı ve bağıl nemine bağlı olarak odun esaslı malzeme bulunmadığı halde, odun esaslı malzemenin bulunduğu halde hesaplanan ve ölçülen bina içi bağıl nem aylık ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ($F = 0.120$, $p = 0.887$).



Şekil 3. İç ve dış hava iklim verileri (Indoor and outdoor climate data)

miktarının artmasına bağlı olarak aylık bağıl nem ortalamaları arasındaki farklar azalmaktadır.

Bina içi bağıl nem aylık ortalamaları dış ortam bağıl nem aylık ortalamaya değerlerinin altında seyretmiştir. Bina içi bağıl nem aylık ortalamaları kış (ısıtma) aylarında yaz aylarına göre daha fazla azalma göstermektedir.

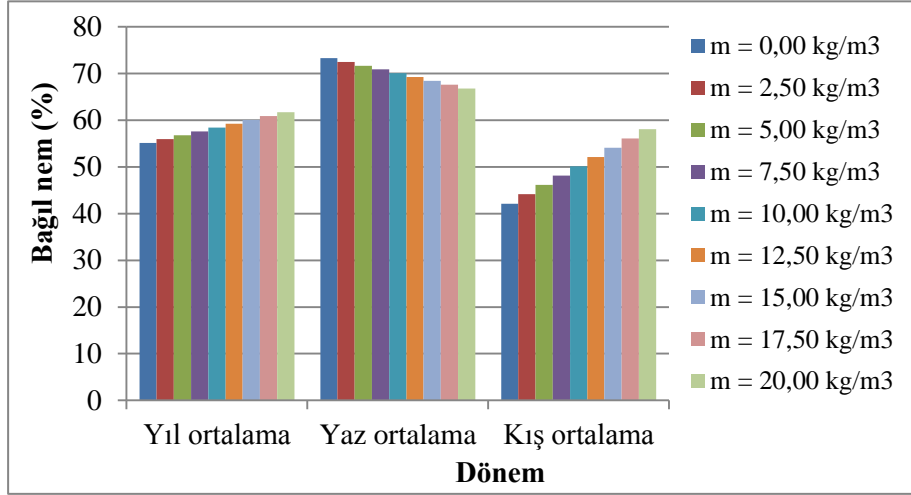


Şekil 4. Odun miktarına göre aylık ve mevsimlik bağıl nem değişimi (The monthly and seasonal change of the relative humidity considering the amount of wood)

Şekil 3'de iklim verilerinin aylık değişimleri gösterilmiştir. Dış hava sıcaklığının Ocak ayından Temmuz ayına kadar artış gösterdiği, bundan sonra aynı şekilde azaldığı görülmektedir.

Odun esaslı malzemenin mahal içi bağıl nemi üzerine etkilerini değerlendirmek üzere yapılan hesaplamalarda

yatırım ve işletme maliyetleri sözkonusudur. Bu makalede doğal yolla havalandırılan bir binanın salonuna



Şekil 5. Odun miktarına bağlı olarak mahal içi bağıl nemin mevsimlik değişimi (The seasonal variation of the relative humidity depending on the amount of wood)

belirlenen bağıl nem aylık ortalamaları Şekil 4’de, mevsimlik ortalamaları ise Şekil 5’de gösterilmiştir. Mahal içinde birim hacim başına odun miktarı arttıkça, yaz aylarında bağıl nemi azaltıcı, kış aylarında ise artırıcı olmak üzere, yıl ortalaması itibariyle toplamda artırıcı etki yapmaktadır. Mahal içinde odun esaslı malzemenin bulunmadığı halde bağıl nem aylık ortalamalarının standart sapma değeri %18.7 iken, 20 kg/m³ odunun bulunduğu halde %7.2 değerine düşmektedir. Bu bulgular, odun esaslı malzemenin bağıl nemi homojenleştirici etki yaptığını göstermektedir. Böylece, odun, kapalı mekanlarda kış aylarında bağıl nemi artırarak, yaz aylarında ise azaltarak yaşama konforuna yardımcı olmaktadır.

Bina içinde odun esaslı malzemenin bulunmadığı varsayımı halinde iç bağıl nem ile dış sıcaklık, dış bağıl nem ve iç sıcaklık arasındaki regresyon denklemi aşağıdaki

$$BN_{ib} = 11.410 + 3.105 T_d + 0.716 BN_d - 2.682 T_i; R^2 = 0.994 \quad (26)$$

gibi oluşmuştur.

Bina içinde birim hacim başına 8.75 kg/m³ odun esaslı malzemenin bulunduğu durumda iç bağıl nem ile dış sıcaklık, dış bağıl nem ve iç sıcaklık arasındaki regresyon denklemi aşağıdaki gibi oluşmuştur.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

İnsan sağlığı, konforu ve üretkenliği açısından ortam bağıl neminin %40 – 60 arasında olması uygun görül-

$$BN_{im} = 34.476 + 2.360 T_d + 0.427 BN_d - 2.086 T_i; R^2 = 0.992 \quad (27)$$

mektedir. Bu sınırlar arasında bulunan bağıl nem aynı zamanda patojenik ve alerjik organizmaların ürememesi açısından da uygun ortamlardır. İç hava kalitesi doğal veya teknik yöntemlerle sağlanırken, teknik yöntemlerin

ilişkin bağıl nem değerleri sayısal olarak incelenmiştir.

Trabzon’da ortalama dış ortam sıcaklığına göre bina içi aylık bağıl nem ortalamaları odun esaslı malzemelerin bulunmaması hali için %30.9 ile Şubat ayında en düşük, % 78.4 ile Ağustos ayında en yüksek bulunmuştur. Bu koşullarda iç bağıl nem gerek ısıtma döneminde ve gerekse ısıtma dönemi dışında dış ortam bağıl nem aylık ortalamalarının altında seyretmiştir. Kış aylarında bina içinde oluşan bağıl nem değerleri literatürde önerilen hava kalitesi ile uyumludur. Yaz aylarında ise bina içi bağıl nem aylık ortalamaları %66.2 ile %78.4 arasında değişmekte ve bu değerlerin hava kalitesi ile uyumlu olmadığı görülmektedir.

Bina içinde m = 8.75 kg/m³ odun esaslı malzemenin bulunduğu halde kış aylarında bağıl nem %39.3 ile %67.9 arasında değişmekte ve istenen hava kalitesi ile büyük ölçüde uyumludur. Yaz aylarında ise aylık bağıl nem or-

talamaları %64.8 ile %75.3 arasında değişmekte, odun esaslı malzemelerin bulunmadığı hale göre daha düşük değerler almaktadır.

Dış havanın sıcaklığı ve bağıl nemi düşük olduğu ölçüde mahal içi bağıl nemi düşmektedir. Kış aylarında mahal içine giren hava bina içi sıcaklığına kadar ısıtılmakta ve bu sıcaklıkta sabit tutulduğu varsayılmaktadır. Dış hava ile mahal içindeki sıcaklıklar arasındaki farkın ölçüsü olarak dış hava ve mahal içi havasının bağıl nemi

arasındaki fark kış aylarında artmakta, yaz aylarında ise azalmaktadır.

Künzel (2015), bina zarf sistemlerinin nem üzerine etkilerine yönelik yaptığı araştırmada Almanya iklim koşullarında bina içinde odun esaslı malzemelerin bulunduğu durum için bina içi bağıl nemin kış aylarında %30-40 arasında, yaz aylarında ise %50-60 arasında değiştiğini belirtmiştir. Mevcut çalışmada bina içi bağıl nemin kış aylarında düşük, yaz aylarında yüksek çıkması bu araştırmanın sonuçları ile uyumludur [24].

Künzel vd. (2005), ısıtılan oda içerisinde bitkiler ve mobilyalar aracılığı ile salınan nemin $0.5 - 2 \text{ g/m}^3\text{h}$ arasında olduğunu belirtmiştir. Mevcut araştırmada da odun esaslı malzemelerin nem salımı ve nem alma değerleri $- 0.23 \text{ g/m}^3\text{h}$ ile $1.57 \text{ g/m}^3\text{h}$ arasında değişmiş ve her iki araştırma sonuçları arasında uyum görülmüştür [25].

Isıtılan mahalde odun esaslı malzemenin bulunmadığı halde yıllık bağıl nem ortalaması %55.1 iken, odun esaslı malzemenin bulunduğu halde (8.75 kg/m^3) %57.8 olarak gerçekleşmiştir. Benzer şekilde, kış aylarında ortalama bağıl nem odun esaslı malzemenin bulunmadığı halde %42.1 iken odun esaslı malzemenin bulunduğu halde %48.5 olmuştur. Buna karşılık, yaz döneminde mahal içi bağıl nem ortalaması odun esaslı malzemenin bulunmadığı durumda %73.3 iken, odun esaslı malzemenin bulunduğu durumda %70.9 olmak üzere daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Ayrıca, mahal içi bağıl nem yıllık ortalamasının standart sapması boş halde % 17.9 iken, odun esaslı malzemenin bulunduğu halde %13.4 olarak bulunmuştur. Bu bulgular, ısıtılan bina içi koşullarda odun esaslı malzemelerin bulunması halinde bağıl nemin aylık ortalamaları arasındaki farkın azaldığını göstermektedir.

Mahal içinde odun esaslı malzemelerin bulunması durumunda aynı koşullarda bağıl nem değeri değişmektedir. Mahal içindeki odunun rutubeti normal koşullarda oluşan denge rutubetinden yüksekse havaya nem vererek rutubet kaybetmekte ve havanın neminin artmasına yol açmaktadır. Odun rutubetinin normal koşullardaki denge rutubetinden düşük olması halinde ise havadan nem alarak nemini artırırken havanın neminin azalmasına yol açmaktadır. Belirtilen her iki durumda da yıl boyunca gerçekleşen mahal içi denge rutubeti değerleri arasındaki fark azalmaktadır.

Mahal içinde odun bulunmadığı durumda yıllık bağıl nem ortalaması %55.9, standart sapması ise %18.7 olarak oluşurken, 20 kg/m^3 odunun bulunduğu durumda yıllık bağıl nem ortalaması %61.7 değerine yükselirken standart sapması % 7.2 değerine düşmektedir.

Bina içerisinde bulunan odun esaslı malzeme miktarı arttıkça aylık bağıl nem ortalamaları arasındaki farkın azaldığı ve odun esaslı malzemenin bağıl nemi dengeleyici etki yaptığı görülmüştür

Higroskopik özelliğe sahip olan odun esaslı malzeme, bina içi koşullarda bağıl nemin yüksek olduğu yaz aylarında bağıl nemi düşürücü, bağıl nemin düşük olduğu kış aylarında ise artırıcı etki yapmakta ve yaşam açısından uygun koşullar sağlamaktadır.

Odun-hava arasındaki nem difüzyonu üzerinde odun esaslı malzemelerin vernikli olmalarının olumsuz etkileri vardır. Bu nedenle, yaşanan mekanlarda havanın nem kalitesi ile ilgili bir talep sözkonusu ise; kullanılacak odun kökenli malzemelerin verniksiz veya sadece koruyucu boyalarla boyanmış halde kullanılmaları yararlı olabilir.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

x: Özgül nem, g/kg

x_d : Doyma halinde özgül nem, g/kg

m_b : Su buharı miktarı, g

m_h : Kuru hava miktarı, kg

P_b : Su buharı kısmi basıncı, N/m²

P_{bd} : Doyma halinde su buharı kısmi basıncı, N/m²

P_h : Kuru hava kısmi basıncı, N/m²

P: Karışım basıncı, N/m²

R_b : Su buharı gaz sabiti, J/kgK

R_h : Kuru hava gaz sabiti, J/kgK

V: Nemli hava hacmi, m³

T: Karışım sıcaklığı, °C

T_i : İç ortam sıcaklığı, °C

T_d : Dış hava sıcaklığı, °C

ρ_b : Mutlak nem, g/m³

$\rho_{b,d}$: Dış hava mutlak nemi, g/m³

ρ_{bd} : Doyma halinde mutlak nem, g/m³

$\rho_{bd,d}$: Doyma halinde dış hava mutlak nemi, g/m³

$\rho_{bd,i}$: Doyma halinde iç hava mutlak nemi, g/m³

BN : Bağıl nem

BND : Dış hava bağıl nemi

BNib : Odun esaslı malzeme bulunmadığı durumda iç bağıl nem

BNim : Odun esaslı malzeme bulunduğu durumda iç bağıl nem

BNiö : Mahal içinde ölçülen bağıl nem

Ψ : Doyma derecesi

Wb : Başlangıç rutubeti

Ws : Sonuç rutubeti

ΔW : Rutubet farkı

M_o : Tam kuru odun ağırlığı, g

m : Birim iç hava hacmi başına odun esaslı malzeme miktarı, kg/m³

V_i : Deney odası net (hava) hacmi, m³

n : Hava yenileme oranı, 1/saat

t : Zaman, saat

c : Sabit (M_o, V_i, n, t parametrelerinin fonksiyonu)

a, b : Sorpsiyon katsayıları

DRM : Odun denge rutubeti (%)

ρ_o : Tam kuru odun yoğunluğu, kg/m³

e : Odun kalınlığı, mm

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Akyazı, Ö., Usta, M. A. ve Akpınar, A. S., “Kapalı ortam sıcaklık ve nem denetiminin farklı bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmesi”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey, (2011).
- [2] Ekmekyapar, T., “Tarımsal yapılarda çevre koşullarının düzenlenmesinde ve bitkisel ürünlerin kurutulmasında, depolanmasında psikrometrinin önemi”, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3-4: 161-176, (1979).
- [3] Simonson, C. J., Salonvaara, M. ve Ojanen, T., “The effect of structures on indoor humidity – possibility to improve comfort and perceived air quality”, *Indoor Air*, 12: 243–251, (2002).
- [4] Dorgan, C. B., Dorgan, C. E., Kanarek, M. S. ve Wilman, A.J., “Health and productivity benefits of improved indoor air quality”, *ASHRAE Transactions*, 99: 1099-1103, (1998).
- [5] Fisk, V. J. ve Rosenfeld, A. H., “Estimates of improved productivity and health from better indoor environments”, *Indoor Air*, 7: 158-172, (1997).
- [6] Wargocki, P., Wyon, D. P., Baik, Y. K., Clausen, G. ve Fanger, P. O., “Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads”, *Indoor Air*, 9: 165-179, (1999).
- [7] Wargocki, P., Wyon, D. P. ve Fanger, P. O., “Productivity is affected by the air quality in offices”, *Proceedings Healthy Buildings*, 1: 635-640, (2000).
- [8] Olesen, B. W. ve Parsons, K. C., “Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730”, *Energy and Buildings*, 34, 6: 537–548, (2002).
- [9] Fang, L., Clausen, G. ve Fanger, P. O., “Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality”, *Indoor Air*, 8: 80–90, (1998).
- [10] Arundel, A. V., Sterling, E. M., Biggin, J. H. ve Sterling, T. D., “Indirect health effects of relative humidity in indoor environments”, *Environ Health Perspect.*, 65: 351–361, (1986).
- [11] Oesh, S. ve Faller, M. “Environmental effects on materials: The effect of the air pollutants SO₂, NO₂, NO and O₃ on the corrosion of copper, zinc and aluminium. A short literature survey and results of laboratory exposures”, *Corrosion Science*, 39, 9: 1505-1530, (1997).
- [12] Mendoza, A. R. Ve Corvo, F., “Outdoor and indoor atmospheric corrosion of carbon steel”, *Corrosion Science*, 41, 1: 75-86, (1999).
- [13] Kurtoğlu, A., “Malzemelerin işleme özellikleri”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B, 31, 2: 179-199, (1981).
- [14] Haghghat, F. ve De Bellis L., “Material emission rates: Literature review, and the impact of indoor air temperature and relative humidity”, *Building and Environment*, 33, 5: 261-277, (1998).
- [15] Besant, R. W. ve Simonson, C. J., “Air – to – air energy recovery”, *ASHRAE Journal*, 42: 31-42, (2000).
- [16] Kurtoğlu, A., “Hava kurusu odunda rutubet değişimleri ve Türkiye’de odunun muhtemel denge rutubeti miktarlarının dağılımı”, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No. 362. İstanbul, (1984).
- [17] Salonvaara, M., Ojanen, T. ve Simonson, C., “Indoor air quality in a wooden house”, www.researchgate.net/...Indoor_Air_Quality, (2004).
- [18] Rahle, U., “Desiccant kurutma ile nem kontrolü”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 95: 37-42, (2006).
- [19] Shaman, J. ve Kohn, M., “Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality”, *PNAS*, 106, 9: 3243 – 3248, (2009).
- [20] Shaman, J., Pitzer, V. E., Vibout, C., Grenfell, B. T. ve Lipsitch, M., “Absolute humidity and the seasonal onset of influenza in the continental United States”, *PloS Biology*, 8, 2 (2010) e1000316; www.plosbiology.org, (2010).
- [21] Türkteş H. ve Türkteş İ. “Astma”, Bozkır Matbacılık, Ankara, (1998).
- [22] Çölaşan, F., “Yapılarda hava kalitesi ve enerji ekonomisi”, II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt I, Ekim 1995, 9-11, İzmir, (1995).
- [23] Toksoy, M., “Isıl konfor ve üretkenlik”, II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt I, Ekim 1995, 31-38, İzmir, (1995)
- [24] Kunzel, H. M., “Indoor relative humidity in residential buildings – A necessary boundary condition to assess the moisture performance of building envelope systems”, <http://wufi.de/literatur/Kunzel>, 30.05.2015.
- [25] Kunzel, H. M., Holm, A., Zirkelbach, D. ve Karagiozis, A. N., “Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope”, *Solar Energy*, 8: 554-561, (2005).
- [26] Hohota, R., Rusaouen, G. ve Woloszyn, M., “Numerical prediction of indoor air humidity and its effect on indoor environment”, *Building and Environment*, 38, 5: 655-664, (2003).
- [27] Andersen, I. ve Korsgaard, J., “Asthma and the indoor environment: Assessment of the health implications of high indoor air humidity”, *Environment International*, 12, 1-4: 121-127, (1986).
- [28] Wolkof, P. ve Kiaergaard, S. K., “The dichotomy of relative humidity on indoor air quality”, *Environment International*, 33, 6: 850-857, (2007).
- [29] MMO, “Kalorifer tesisatı”, Makina Mühendisleri Odası Yayın No: 352, Ankara, (2010).
- [30] Simpson, W. T., “Drying and control of moisture content and dimensional changes, Wood handbook: wood as an engineering material”, Madison WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. General technical report FPL ; GTR-113, 12: 1-20, (1999).
- [31] Üçüncü, K., “Karadeniz bölgesinde bina içi iklim koşullarında odun denge rutubeti dağılımının analizi”, *KAÜ Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 6 (1-2): 46 – 58, (2005).

- [32] Lü, I., "Modelling heat and moisture transfer in buildings I. model program", *Energy and Buildings*, 34: 1033-1043 (2002).
- [33] Berkel, A., "Kerestenin doğal ve hızlandırılmış doğal kurutulması tekniği", İÜ Orman Fakültesi Yayınları No. 266, İstanbul, (1978).
- [34] Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, A., "Türkiye'nin 15 ili için bazı iklim verilerinin eşitliklerle ifadesi", TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 51, 48-56 (1999).
- [35] Ayhan, T., "Nemli hava termodinamiği: Ders notları", Karadeniz Teknik Üniversitesi Ders Notları No: 16, Trabzon, (1988).
- [36] Ji, X., "Thermodynamic properties of humid air and their application in advanced power generation cycles", KTH-Royal Institute of Technology Department of Chemical Engineering and Technology, Doktora Tezi, (2006).
- [37] Osborne, W.C. ve Turner, C.G., "Pratik havalandırma tesisleri kılavuzu", Cilt I, Çev.: U. Köktürk, Arpaz Matbaacılık, İstanbul, (1975).
- [38] Villiere, A., "Sechage des bois", Dunod, Paris, (1966).
- [39] Üçüncü, K., "Tam kuru doğu kayını (*Fagus orientalis*) odununun adsorpsiyon özellikleri", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B, 57, 2: 45-59, (2007).
- [40] Üçüncü, K., Aydın, A. ve Taşdemir, T., "Bazı ağaç türü odunlarının sorpsiyon özelliklerinin incelenmesi", Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje Kod No: 2006.113.002.3, Trabzon, (2010).