

## KAPALI MEKANLARDA İNSAN FAKTÖRÜ VE ODUN ESASLI MALZEMELERİN HAVANIN BAĞIL NEMİNE ETKİSİ

Kemal UÇÜNCÜ\*, Aytaç AYDIN, Sebahattin TİRYAKİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Soluma  
Terleme  
Odun  
Nem transferi  
Kapalı ortam*

### Özet

Bu bildiri, kapalı mekanlarda hava ile insan faktörü ve higroskopik esaslı odun malzemeler arasındaki nem transferine ilişkin bulgular sunulmuştur. Isıtılan bina içi koşullarda havanın 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 deney odası olarak kullanılan bir dairede insanların soluması, terlemesi ve odun kökenli malzemelerin nem transferi ile havanın bağıl nemi sayısal olarak incelenmiştir. Deney odası kış aylarında Ekim-Nisan arasındaki aylarda ısıtılmaktadır. Araştırma periyodunda dış ortam ve kapalı mekanın bağıl nemi ve sıcaklıkları termohigrografla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Odunda rutubet değişimi denge rutubeti, sıcaklık, odun kalınlığı, odun yoğunluğu ve sorpsiyon katsayılarının fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Kapalı mekan için hava değişim oranı bir kez/saat olarak belirlenmiştir. Kapalı mekanda ikamet eden insanların mekanda kalış süreleri simüle edilerek terleme ve solumaları ile havaya bıraktıkları nem miktarı belirlenmiştir. Kapalı mekanda odun esaslı malzemelerle soluma ve terleme sonucu nemli havaya katılan su buharı miktarına bağlı olarak oluşan bağıl nem hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, bina içi iklim koşullarında hava ile insan faktörü ve higroskopik odun esaslı malzemeler arasındaki nem transferinin genellikle bağıl nemi dengeleyici etki yaptığını göstermiştir.

## HUMAN FACTOR IN INDOOR ENVIRONMENTS AND EFFECT OF WOOD BASED MATERIALS ON RELATIVE HUMIDITY OF AIR

### Keywords

*Inhalation  
Perspiration  
wood  
Moisture transfer  
Indoor environment*

### Abstract

In this paper, the findings related to moisture transfer between hygroscopic wood-based materials and human factor with air in indoors has been presented. Air humidity in the heated building interior conditions has a significant impact on people's living comfort, perceived air quality and human health. Therefore, life quality of people can be improved with the implementation of appropriate hygroscopic wood-based materials in building in-house climate conditions.

In this study, inhalation and perspiration of the people, moisture transfer of wood based materials and the relative humidity of the air in an apartment used as the experimental room in the lodgings of Karadeniz Technical University (Trabzon / Turkey) were numerically investigated. The test room is heated in the winter months from October to April. In the research period, relative humidity and temperature of outdoor and indoor environment were measured and recorded using termohigrograf. The moisture change in wood was calculated as a function of equilibrium humidity, temperature, thickness of wood, wood density and sorption coefficients. The air exchange rate for indoor environment was determined as 1 time/h. By simulating the duration of stay in space of the people residing in the indoor, the amount of moisture that they left the air by inhalation and perspiration were determined. The relative humidity which occurs depending on the amount of

\* İlgili yazar: [kucuncu@ktu.edu.tr](mailto:kucuncu@ktu.edu.tr), +90-462-377-1506

water vapor participating humid air as a result of the inhalation and perspiration with wood-based materials in indoor environment was calculated and evaluated. Results showed that the moisture transfer between the human factor and hygroscopic wood-based materials with the air in the indoor climate conditions generally makes a balancing effect on the relative humidity.

## 1. Giriş

Hava, gerek iş yapan akışkan ve gerekse canlılara veya kullanılan malzemelere etkileri nedeniyle nem içeriği yönünden incelenmesi gereken bir akışkandır. Havanın nemi, niteliğini tanımlayan önemli bir parametredir. Hava nemi özgül nem, mutlak nem ve bağıl nem kavramları ile ifade edilmektedir. Özgül nem [g/kg], birim ağırlıktaki havada bulunan su buharı ağırlığıdır. Mutlak nem [g/m<sup>3</sup>], birim hacim havada bulunan su buharı ağırlığıdır. Uygulamada daha çok kullanılan bağıl nem [%] kavramı, havadaki nemin aynı sıcaklıkta havanın taşıyabileceği maksimum neme oranı olarak tanımlanmaktadır (Ayhan, 1988).

Bina içerisinde temiz ve ılıman bir havanın sağlık, konfor ve üretkenliği etkileyebileceğini ifade eden pek çok araştırma mevcuttur (Simonson vd., 2002; Dorgan vd., 1998; Fisk ve Rosenfeld, 1997; Wargocki vd., 1999; Wargocki vd., 2000). Bina içi koşullara yönelik projelerde genellikle sıcaklık analiz edilir, nem ölçümü ve hesabı ihmal edilir. Bununla birlikte, bina içi koşullarda oluşan nem ısı konfor, iç hava kalitesi ve algısı, insan sağlığı ve yaşam kalitesi, malzemelerin dayanımı, malzeme emisyonları ve enerji tüketimi gibi faktörler üzerinde önemli etkilere sahiptir (Olesen ve Parsons, 2002; Fang vd., 1998; Arundel vd., 1986; Oesh ve Faller, 1997; Mendoza ve Corvo, 1999; Kurtoğlu, 1981; Haghighat ve De Bellis, 1998; Besant ve Simonson, 2000; Salonvaara vd., 2004; Rahle, 2009; Shaman ve Kohn, 2009).

Odun, higroskopik özelliği nedeniyle içerisine su alarak veya içerisindeki rutubetin bir kısmını havaya vererek belirli bir sıcaklık ve nem değerinde denge rutubetine ulaşır. Higroskopik özellikteki odun, bulunduğu ortam havasının nemi üzerinde etkilidir. Aşırı nemli ortamlarda ahşap malzemelerde küflenme, mantar üremesi ve çürüme gibi zararlar oluşur (Simonson vd., 2002; Salonvaara vd., 2004).

Metallerin üst yüzeyleri rutubetli ortamlarda ve açık havada bir oksit tabakası ile kaplanır. Bu durum metal eşyaların işlevlerinin ve değerlerinin düşmesine yol açar (Oesh ve Faller, 1997; Mendoza ve Corvo, 1999).

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

Ortamda nem değişimi, solunum etkinliğinin azalmasına, cildin ıslanmasına ve 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 bakteriyel üremesinin önlenmesi açısından yüksek nem ile mücadele zorunludur (Rahle, 2009; Shaman ve Kohn, 2009; Shaman vd., 2010).

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 ve solunması, 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 (Türktaş ve Türktaş, 1998).

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 (Çölaşan, 1995).

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 kullanılmasına ve üretim

maliyetinin artmasına neden olmaktadır (Wargocki vd., 1999; Toksoy, 1995).

Kapalı mekanlarda hava bağlı nemi genellikle kış aylarında düşük (%30-40), yaz aylarında yüksek (%50-60) değerler alır (Künzel, 2005; Künzel vd., 2005). Bakteri ve virüsler gibi organizmaların hayatta kalma ve enfeksiyon yapma etkileri %40-70 arasındaki bağlı nem değerlerinde minimize olmaktadır. Mantarların çoğu türü %60 bağlı nemin altında büyüyemez. Kapalı ortamlarda bağlı nemin olumsuz etkileri %40-60 arasında minimize olmaktadır (Arundel vd., 1986).

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

Andersen ve Korsgaard (1986), iç hava neminin sağlık üzerine etkilerine yönelik araştırmada %45'in üzerindeki bağlı 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 bağlı nemin düşük derecelerde tutulmasını önermiştir (Andersen ve Korsgaard, 1986).

Wolkof 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 bağlı nemin gözler için, %30'un altında bağlı nemin ise üst solunum yollarında daha iyi olduğunu göstermektedir (Wolkof ve Kiaergaard, 2007).

Isıtılan bina içerisinde havanın bağlı nemi üzerinde iç hava sıcaklığı, dış hava sıcaklığı ve bağlı nemi, hava değişim oranı ve iç ortamdaki nem üretim kaynakları etkilidir. Bina içerisinde en önemli nem kaynakları olarak insanların solunması ve terlemesi, higroskopik madde olarak odunda meydana gelen rutubet alışverişi değerlendirilmiştir.

Konut iç sıcaklıkları, konutun bulunduğu iklim koşullarına, yapı - çevre ilişkilerine ve yapının özelliklerine göre projelendirilir (MMO, 2010).

Higroskopik özellikteki odunun rutubeti, bulunduğu ortam havasının sıcaklığına ve bağlı nemine bağlı olarak belirli bir dengeye ulaşır. Odunun bulunduğu ortamın sıcaklık ve bağlı nemi belirlenmişse, ulaşacağı denge rutubeti miktarı odun denge rutubetini veren tablo veya grafikler aracılığı ile belirlenebilmektedir (Simpson, 1999; Üçüncü, 2005).

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi lojmanlarında (Trabzon/Türkiye) merkezi sistemle ısıtılan bir bina içindeki bağlı nem değerleri bina içi ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve bağlı nemi, hava

değişim oranı, bina içinde bulunan higroskopik malzeme miktarı ve rutubeti ile insanların solunma ve terlemesinin fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi (Trabzon/Türkiye) Kanuni yerleşkesindeki lojmanlarında merkezi ısıtılı ve doğal yolla havalandırılan bir binanın salonu deney odası olarak kullanılmıştır. Deney odası salonun brüt hacmi 95 m<sup>3</sup>, net hacmi 80 m<sup>3</sup>'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. Pencereelerde 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 uygulamalıdır.

Mimari projesinde bina normal bölge, çok serbest ve ayrık nizam şeklindedir. Bina 1993 yılında, denemeler ise 2013 yılında yapılmıştır. Bu nedenle deneme dönemi için mevcut binada, yeni binalardaki gibi kuruma nedeniyle ortama fazla miktarda su buharı salınmaz. Pencereelerin aşırı sızdırmaz olmaması ve duvarların hava geçirmez şekilde tasarlanmaması nedeniyle duvarlarda terleme söz konusu 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. Binada 6 kişi ikamet etmekte, havalandırma genel olarak enfiltrasyonla, zaman zaman açılır pencere kanatlarının ve balkon kapısının açılması ile sağlanmaktadır. Deney odası sıcaklığı ve bağlı nemi değerleri ile dış ortam sıcaklığı ve bağlı nemi değerleri bir yıl boyunca termohigrografla ölçülüp kaydedilmiştir.

### 2.2. Yöntem

Dış sıcaklık ve bağlı nem günlük ortalamaları, Meteoroloji rasat sonuçları ile uyum sağlamak üzere günün 7, 14 ve 21 saatlerindeki değerleri kullanılarak aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır (Bulut vd., 1999).

$$y = \frac{y_7 + y_{14} + 2y_{21}}{4} \quad (1)$$

Burada y, sıcaklık veya bağlı nem değerini ifade etmektedir.

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

$$\rho_b = \frac{m_b}{V} \quad (2)$$

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

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.

$$BN = \frac{\rho_b}{\rho_{bd}} \quad (3)$$

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 göz önüne alınan hava yenilenme katsayısı 1 olarak belirlenmiştir (MMO, 2010; Osborne ve Turner, 1975).

Nemli hava içerisinde doyma durumunda bulunabilecek su buharı miktarı sadece sıcaklığın fonksiyonu olarak değişir. Buna göre doyma halindeki mutlak nem aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir (Villiere, 1966).

$$p_{bd} = 4.84 + 0.3738T + 0.0044T^2 + 0.00037T^3 \quad (4)$$

Dış hava içerisinde doyma halindeki nem miktarı sıcaklığın fonksiyonu olarak Eşitlik (4) ile hesaplandıktan sonra, dış havanın aynı sıcaklıktaki bağıl nemine bağlı olarak içerisinde bulunan mutlak nem miktarı

$$\rho_{b,d} = \varphi_0 \rho_{bd,d} \quad (5)$$

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

$$BN_i = \frac{\rho_{b,d}}{\rho_{bd,i}} \quad (6)$$

Bu şekilde hesaplanan iç bağıl nem, içeride nem kaynağının olmadığı hal için geçerlidir. Mahal içindeki havanın nemliliği ve dolayısıyla denge rutubeti üzerinde, içerideki odun malzemelerle insan faktörünün etkileri söz konusudur. Odunun rutubeti, miktarı ve yüzeyinin korunma durumu havanın bağıl nemini ve denge rutubetini etkileyen özelliklerdir. Benzer şekilde soluma ve terleme ile havaya nem verilmektedir. Odun esaslı malzeme bulunan ve insanların yaşadığı kapalı ortamda nemli hava içerisinde bulunabilecek mutlak nem miktarı

$$\rho_b = \rho_{b,d} + c_1 W + c_2 W_{sol} + c_3 W_{ter} \quad (7)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada,  $W$  odun rutubeti değişim miktarı,  $W_{sol}$  soluma ve  $W_{ter}$  terleme miktarı;  $c_1$  odun rutubeti,  $c_2$  soluma ve  $c_3$  terleme sabitidir. Bu denklemden sabitler;  $M_0$  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

$$c_1 = \frac{M_0}{v_i t n} \quad (8)$$

$$c_2 = \frac{M_s}{v_i t n} \quad (9)$$

$$c_3 = \frac{M_t}{v_i t n} \quad (10)$$

eşitlikleri ile hesaplanmıştır. İnsanın soluması ve terlemesi ortam koşullarına ve insanın yapmış olduğu etkinliklere bağlı olarak değişir. Denemelerde insan büyük oranda oturmakta ve çok az miktarda hareke etmektedir. Dış ortam faktörlerinden sıcaklık çok az değişirken bağıl nem değişimi daha fazladır. Bununla birlikte her iki parametrenin sabit olduğu varsayılmıştır. İnsanların deneme odasında kalış oranı  $8/24 = \%33$ 'tür.

Rutubet değişim miktarı

$$\Delta W = W_b - W_s \quad (11)$$

odun sonuç rutubeti

$$W_s = (W_b - a \text{ DRM}) e^{-\frac{bt}{\rho_0 e}} + a \text{ DRM} \quad (12)$$

bağıntıları yardımıyla hesaplanmıştır (Bulut vd., 1999; Üçüncü, 2007; Üçüncü vd., 2010).

Odun denge rutubeti sıcaklık ve bağıl nemin fonksiyonu olarak

$$\text{DRM} = 0.383 + 0.190BN - 0.020T; R^2 = 0.986 \quad (13)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır (Simpson, 1999; Üçüncü, 2005).

### 3. Bulgular

Trabzon için dış hava aylık sıcaklık ve bağıl nem verileri, iç hava sıcaklığı, bina içinde bulunan odun esaslı malzeme miktarı ve insan faktörüne 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  $\%69.7$  olup, aylık bağıl nem ortalamaları  $\%62.1$  (Ocak ayında) ile  $\%79.1$  (Nisan ayında) arasında değişmiştir. Yıllık ortalama dış hava sıcaklığı  $16.1$  °C olup, aylık ortalamalar  $7.8$  °C (Aralık) ile  $25.2$  °C (Ağustos) arasında değişmiştir. Aylık dış sıcaklık ortalamalarının standart sapması  $6.0$  °C, bağıl nem ortalamalarının standart sapması ise  $\%5.3$  olarak

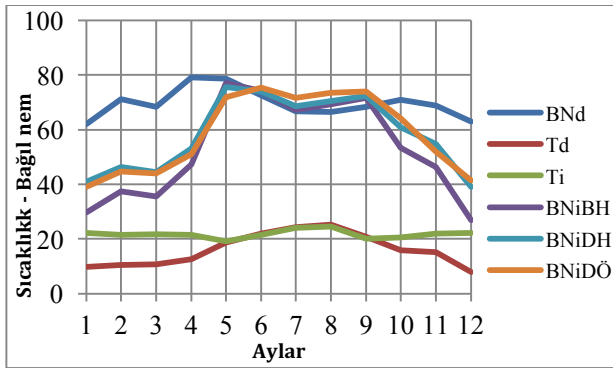
gerçekleşmiştir. Dış hava bağıl nem aylık ortalamaları sıcaklık ortalamalarına göre daha homojen bir dağılım göstermiştir.

Bina içi havasının yıllık sıcaklık ortalaması 21.7 °C, aylık sıcaklık ortalamalarının standart sapması 1.5 °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 ( $F = 9.845$ ,  $p = 0.005$ ). Benzer şekilde, iç ve dış bağıl nem aylık ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı fark bulunmuştur ( $F = 7.186$ ,  $p = 0.014$ ).

Mahal içinde insan ve odun esaslı malzemelerin bulunmadığı hal için bina içi bağıl nem aylık ortalamaları %29.7 (Ocak) ile %77.0 (Mayıs) arasında değişmiş ve yıllık ortalaması %53.0 olmuştur. Bu hal için bina içi bağıl nem aylık ortalamalarının standart sapması %18.3'tür. Bu farkın oluşmasında en önemli etken, ısıtılan kış aylarında iç bağıl nemin dış hava bağıl nemine oranla azalmasıdır.

**Tablo 1.** Trabzon için sıcaklık ve bağıl nem aylık ortalama değerleri

Aylar	Dış hava		Bina içi iklim koşulları				Bağıl nem farkları	
	Td	BNd	Ti	BNiBH	BNiDH	BNiDÖ	BNd - BNiBH	BNd - BNiDH
Ocak	9,7	62,1	22,1	29,7	40,9	39,2	32,4	21,2
Şubat	10,5	71,3	21,4	37,3	46,4	44,8	34,0	24,9
Mart	10,8	68,4	21,8	35,6	44,6	44,0	32,8	23,8
Nisan	12,7	79,1	21,4	47,3	53,2	51,0	31,8	25,9
Mayıs	18,8	78,8	19,2	77,0	75,5	71,8	1,8	3,3
Haziran	21,9	72,6	21,5	74,3	74,1	75,3	-1,7	-1,5
Temmuz	24,3	66,8	24,2	67,2	68,6	71,7	-0,4	-1,8
Ağustos	25,2	66,6	24,5	69,3	70,4	73,6	-2,7	-3,8
Eylül	20,9	68,4	20,1	71,7	72,4	74,1	-3,3	-4,0
Ekim	15,8	70,9	20,6	53,5	60,9	64,2	17,4	10,0
Kasım	15,2	68,8	21,9	46,4	54,8	52,0	22,4	14,0
Aralık	7,8	62,9	22,1	26,8	39,0	41,4	36,1	23,9
$\bar{x}$	16,1	69,7	21,7	53,0	58,4	58,6	16,7	11,3
$\sigma$	5,7	5,1	1,4	17,5	13,1	13,8	16,0	11,8



**Şekil 1.** Bağıl nem ve sıcaklık aylık ortalama değerleri

Bina içi koşullarda ölçülen ve hesaplanan bağıl nem aylık ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $F = 0.5$ ,  $p = 0.829$ ).

Yıllık bağıl nem ortalamasının ölçülen değeri %58.6, hesaplanan değeri ise %58.4 olarak bulunmuştur. Aylık bağıl nem ortalamaları standart sapması ölçülen değerler için %14.5, hesaplanan değerler için %13.6 olarak belirlenmiştir.

Bina içinde insan ve odun esaslı malzemelerin bulunduğu (8.75 kg/m<sup>3</sup>) durumda, en düşük bağıl nem aylık ortalaması %39.2 ile Ocak ayında, en yüksek bağıl nem aylık ortalaması ise %75.3 ile Haziran ayında meydana gelmiştir. Boş mahal ile insan ve odun esaslı malzemelerin bulunduğu iki ayrı halde aylık bağıl nem ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $F = 0.668$ ,  $p = 0.423$ ). Bununla birlikte, boş mahal içinde yıllık bağıl nem ortalaması %53.0 olarak hesaplanmış, aylık bağıl nem ortalamaları %17.5 sapma göstermiştir. Benzer şekilde insan ve odun esaslı malzemelerin bulunduğu hal için mahal içi aylık bağıl nem ortalamaları arasında %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $F = 0.001$ ,  $p = 0.974$ ). Bu veriler, aylık iç bağıl nem ortalamaları arasındaki farkın azaldığını ve iç bağıl nemin odun esaslı malzemenin etkisi ile dengelenmekte olduğunu göstermektedir.

İç mekanda insan ve odun esaslı malzemelerin bulunması, kış aylarında bağıl nemi artırıcı, yaz aylarında ise azaltıcı etki yaptığı ve böylece bağıl nemin dengelenmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Dış hava bağıl nemi aylık ortalamaları ile bina içi bağıl nem aylık ortalamaları arasında en büyük fark; odun esaslı malzemenin bulunmadığı hal için %36.1 ile Aralık ayında, en düşük fark ise -%3.3 ile Eylül ayında meydana gelmiştir. İnsan ve odun esaslı malzemelerin bulunduğu hal ( $m = 8.75 \text{ kg/m}^3$ ) için dış ve iç bağıl nem aylık ortalamaları arasındaki fark %25.9 ile Nisan ayında en yüksek, -%4.0 ile Eylül ayında en düşük olmuştur.

Bina içi aylık bağıl nem ortalamaları arasındaki farklar kış (ısıtma) aylarında yüksek, yaz aylarında düşüktür. Aynı şekilde yapılan hesaplar, bina içinde kullanılan odun esaslı malzeme miktarının artmasına bağlı olarak aylık bağıl nem ortalamaları arasındaki farkların azaldığını göstermiştir. Bina içi bağıl nem aylık ortalamaları dış ortam bağıl nem aylık ortalama değerlerinin altında seyretmiştir. Bina içi bağıl nem aylık ortalamaları kış (ısıtma) aylarında yaz aylarına göre daha fazla azalma göstermektedir.

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 ( $F = 0.120$ ,  $p = 0.887$ ).

Tablo 1'de, dış hava sıcaklığının Ocak ayından Ağustos ayına kadar artış gösterdiği, bundan sonra aynı şekilde azaldığı görülmektedir. Bina içinde ölçülen bağıl nem değerlerinin bazı aylarda hesaplanan değerlerin

üzerinde oluşunun muhtemel nedenleri bina içinde ikamet eden insanların solumaları ve terlemeleri ile diğer nem kaynakları olabilir.

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

$$\text{BNiBH} = 11.410 + 3.105\text{Td} + 0.716\text{BNd} - 2.682\text{Ti}; R^2 = 0.994 \quad (14)$$

Bina içinde birim hacim başına 8.75 kg/m<sup>3</sup> odun esaslı malzemenin bulunduğu durumda iç bağıl nem ile dış sıcaklık, dış bağıl nem ve iç sıcaklık arasındaki regresyon denklemi aşağıdaki gibi oluşmuştur.

$$\text{BNiMH} = 34.476 + 2.360\text{Td} + 0.427\text{BNd} - 2.086\text{Ti}; R^2 = 0.992 \quad (15)$$

Bina içinde birim hacim başına 8.75 kg/m<sup>3</sup> odun esaslı malzeme ve 6 insanın günde ortalama 8 saat bulunduğu durumda iç bağıl nem ile dış sıcaklık, dış bağıl nem ve iç sıcaklık arasındaki regresyon denklemi aşağıdaki gibi oluşmuştur.

$$\text{BNiDH} = 64.293 + 2.372\text{Td} + 0.201\text{BNd} - 2.687\text{Ti}; R^2 = 0.989 \quad (16)$$

Burada insan faktörünün soluma ve terlemesi insan ve dış parametrelerden bağımsız ve sabit olduğu varsayılmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

İnsan sağlığı, konforu ve üretkenliği açısından ortam bağıl neminin %40 - 60 arasında olması uygun görülmektedir. 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 yatırım ve işletme maliyetleri söz konusudur. Bu makalede doğal yolla havalandırılan bir binanın salonuna 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 %29.7 ile Ocak ayında en düşük, %77.0 ile Mayıs 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 %67.2 ile %77.0 arasında değişmekte ve bu değerlerin hava kalitesi ile uyumlu olmadığı görülmektedir.

Bina içinde insan ve m = 8.75 kg/m<sup>3</sup> odun esaslı malzemenin bulunduğu halde kış aylarında bağıl nem %39.0 ile %60.9 arasında değişmekte ve istenen hava kalitesi ile büyük ölçüde uyumludur. Yaz aylarında ise aylık bağıl nem ortalamaları %68.6 ile %75.5 arasında değişmekte, odun esaslı malzemelerin bulunmadığı hale göre daha düşük değerler almaktadır.

Kapalı mekanda odun esaslı malzeme ve insan faktörünün bulunduğu durumda yaz döneminde bağıl nem ölçüm değerleri aylık ortalamaları %71.7 ile %75.3 arasında kış döneminde ise %39.2 ile %64.2 arasında değişmektedir. Bina içinde insan faktörünün bulunduğu durumda da kış dönemindeki bağıl nem değerleri yaşam kalitesi için gerekli uygunlukta bulunmuştur.

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.

Künzel vd. (2005), ısıtılan oda içerisinde bitkiler ve mobilyalar aracılığı ile salınan nemin 0.5 - 2g/m<sup>3</sup>h arasında olduğunu belirtmiştir. Mevcut araştırmada da odun esaslı malzemelerin nem salımı ve nem alma değerleri - 0.23g/m<sup>3</sup>h ile 2.36g/m<sup>3</sup>h arasında değişmiş ve her iki araştırma sonuçları arasında uyum görülmüştür.

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.

Bina içerisinde bulunan odun esaslı malzeme miktarı arttıkça aylık bağıl nem ortalamaları arasındaki fark azalmakta ve odun esaslı malzemeler bağıl nemi dengeleyici etki yapmaktadır. Buna karşılık, insan soluması ve terlemesi ise her durumda iç koşullarda havanın bağıl nemini artırıcı etki yapmaktadır.

Araştırmada insanın soluma ve terlemesi oturan insan için sabit varsayılmıştır. Soluma ve terlemenin insan ve dış faktörler (sıcaklık, bağlı nem, beslenme, vb.) açısından değerlendirilerek iç bağlı nem üzerine etkileri daha hassas biçimde belirlenebilir.

## 5. Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors

## 6. Kaynaklar

Ayhan, T., 1988. Nemli Hava Termodinamiği: Ders Notları. Karadeniz Teknik Üniversitesi Ders Notları No: 16, Trabzon.

Simonson, C. J., Salonvaara, M. ve Ojanen, T., 2002. The Effect of Structures on Indoor Humidity – Possibility to Improve Comfort and Perceived Air Quality. *Indoor Air*, 12, 243–251.

Dorgan, C. B., Dorgan, C. E., Kanarek, M. S. ve Wilman, A. J., 1998. Health and Productivity Benefits of Improved Indoor air Quality. *ASHRAE Transactions*, 99, 1099-1103.

Fisk, V. J. ve Rosenfeld, A. H., 1997. Estimates of Improved Productivity and Health From Better Indoor Environments. *Indoor Air*, 7, 158-172.

Wargocki, P., Wyon, D. P., Baik, Y. K., Clausen, G. ve Fanger, P. O., 1999. Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office With Two Different Pollution Loads. *Indoor Air*, 9, 165-179.

Wargocki, P., Wyon, D. P. ve Fanger, P. O., 2000. Productivity is Affected by the Air Quality in Offices. *Proceedings Healthy Buildings*, 1, 635-640.

Olesen, B. W. ve Parsons, K. C., 2002. Introduction to Thermal Comfort Standards and to the Proposed New Version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings*, 34 (6), 537–548.

Fang, L, Clausen, G. ve Fanger, P. O., 1998. Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality. *Indoor Air*, 8, 80–90.

Arundel, A. V., Sterling, E. M. Biggin, J. H. ve Sterling, T. D., 1986. Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments. *Environ Health Perspect.*, 65, 351–361.

Oesh, S. ve Faller, M., 1997. Environmental Effects on Materials: The Effect of the Air Pollutants SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO and O<sub>3</sub> on the Corrosion of Copper, Zinc and Aluminium. A Sort Literature Survey and Results of Laboratory Exposures. *Corrosion Science*, 39 (9), 1505-1530.

Mendoza, A. R. ve Corvo, F., 1999. Outdoor and Indoor Atmospheric Corrosion of Carbon Steel. *Corrosion Science*, 41 (1), 75-86.

Kurtoğlu, A., 1981. Malzemelerin İşlenme Özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B, 31 (2), 179-199.

Haghighat, F. ve De Bellis L., 1998. Material Emission Rates: Literature Review and the Impact of Indoor Air Temperature and Relative Humidity. *Building and Environment*, 33 (5), 261-277.

Besant, R. W. ve Simonson, C. J., 2000. Air – to – Air Energy Recovery. *ASHRAE Journal*, 42, 31-42.

Salonvaara, M., Ojanen, T. ve Simonson, C., 2004. Indoor Air Quality in a Wooden House. [www.researchgate.net/...Indoor\\_Air\\_Quality](http://www.researchgate.net/...Indoor_Air_Quality).

Rahle, U., 2009. Desiccant Kurutma ile Nem Kontrolü. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 95, 37-42.

Shaman, J. ve Kohn, M., 2009. Absolute Humidity Modulates Influenza Survival, Transmission, and Seasonality, *PNAS*, 106 (9), 3243 – 3248.

Shaman, J., Pitzer, V. E., Vibout, C, Grenfell, B. T. ve Lipsitch, M., 2010. Absolute Humidity and the Seasonal Onset of Influenza in the Continental United States. *PloS Biology*, 8 (2). e1000316; [www.plosbiology.org](http://www.plosbiology.org), (2010).

Türktaş H. ve Türktaş İ., 1998. *Astma, Bozkır Matbacılık*, Ankara.

Çölaşan, F., 1995. Yapılarda Hava Kalitesi ve Enerji Ekonomisi. II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt I, Ekim 1995, 9-11, İzmir.

Toksoy, M., 1995. Isıl konfor ve üretkenlik. II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt I, Ekim 1995, 31-38, İzmir.

Künzel, H. M., 2005. 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.

Künzel, H. M., Holm, A., Zirkelbch, D. ve Karagiozis, A. N., 2005. Simulation of Indoor Temperature and Humidity Conditions Including Hygrothermal Interactions With the Building Envelope. *Solar Energy*, 8, 554-561.

Hohota, R., Rusaouen, G. ve Woloszyn, M., 2003. Numerical Prediction of Indoor air Humidity and its effect on indoor environment. *Building and Environment*, 38 (5), 655-664.

Andersen, I. ve Korsgaard, J., 1986. Asthma and the Indoor Environment: Assessment of the Health Implications of High Indoor Air Humidity. *Environment International*, 12 (1-4), 121-127.

- Wolkof, P. ve Kiaergaard, S. K., 2007. The Dichotomy of Relative Humidity on Indoor Air Quality. *Environment International*, 33 (6), 850-857.
- MMO, 2010. Kalorifer Tesisatı. Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 352, Ankara.
- Simpson, W. T., 1999. 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.
- Üçüncü, K., 2005. Karadeniz Bölgesinde Bina İçi İklim Koşullarında Odun Denge Rutubeti Dağılımının Analizi. *KAÜ Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 6 (1-2), 46 – 58.
- Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, A., 1999. Türkiye'nin 15 İli İçin Bazı İklim Verilerinin Eşitliklerle İfadesi. *TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 51, 48-56.
- Osborne, W.C. ve Turner, C.G., 1975. *Pratik Havalandırma Tesisleri Kılavuzu*. Cilt I, Çev.: U. Köktürk, Arpacı Matbaacılık, İstanbul.
- Villiere, A., 1966. *Sechage des Bois*, Dunod, Paris.
- Üçüncü, K., 2007. Tam Kuru Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) Odununun Adsorpsiyon Özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B, 57 (2), 45-59.
- Üçüncü, K. Aydın, A. ve Taşdemir, T., 2010. Bazı Ağaç Türü Odunlarının Sorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi*, Proje Kod No: 2006.113.002.3, Trabzon.