

T.C İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**NEME KARŞI YAPI DAYANIKLILIĞIN ANALİZİ VE KAPILAR
NEM UZAKLAŞTIRMA YÖNTEMİYLE KÜTLESEL SU
AĞIRLIĞI DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

ERGÜN YAMAN

1700004183

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Proje Yönetimi**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet N. UĞURAL

OCAK 2024

T.C İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**NEME KARŞI YAPI DAYANIKLILIĞIN ANALİZİ VE KAPİLER
NEM UZAKLAŞTIRMA YÖNTEMİYLE KÜTLESEL SU
AĞIRLIĞI DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

ERGÜN YAMAN

1700004183

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Proje Yönetimi**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet N. UĞURAL

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Fatma Heyecan GİRİTLİ

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet TUZ

OCAK 2024

ÖNSÖZ

Yapılar, günümüz modern dünyasında sadece fiziksel mekanlar olarak kalmayıp aynı zamanda insan yaşamını doğrudan etkileyen bir dizi faktöre ev sahipliği yapmaktadır. Bununla birlikte, yapıları tehdit eden ve ciddi sonuçlara yol açabilen en büyük sorunlardan biri nemdir. Yapılardaki nem sorunları, bina malzemelerinin hasar almasına, sağlık sorunlarına neden olmasına ve enerji verimliliğini azaltmasına sebep olabilmektedir. Bu çalışma, yapı içindeki nem sorunlarına karşı etkili çözüm stratejilerini araştırmayı ve önermeyi amaçlamaktadır. Nem sorunlarına getirilecek çözümler, bina endüstrisinde sürdürülebilirliği artırma, sağlıklı iç mekân ortamları oluşturma ve enerji verimliliğini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Çalışmada, yapıların gelecekte sağlıklı, dayanıklı ve enerji dostu tasarımlarına ışık tutmayı ve inşaat sektöründeki ilgili paydaşlara değerli bir kaynak sağlamayı amaçlamaktadır.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca ilk günden son güne kadar bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, tezimin tamamlanmasında bana büyük katkıları olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Nurettin UĞURAL'a ve tez çalışmam sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, sorduğum tüm soruları cevaplayan, bana her konuda destek olup motive eden Doç. Dr. Alihsan KOCA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bugünlere gelmemde bana büyük emekleri olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her daim yanımda olan anneme, babama, tüm aileme ve en büyük destekçim canım Burcu'ya minnetlerimi sunarım.

Tez kapsamı boyunca hazırlamış olduğumuz alan çalışmasında verilerini bizlerle paylaşan MİR Holding şirket yöneticisi ve çalışanlarına, ayrıca bu çalışmanın ortaya çıkmasında doğrudan payı olan İstanbul Kültür Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi'ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ocak 2024

Ergün YAMAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
TABLO LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
SİMGE LİSTESİ.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Araştırma Sorusu ve Araştırmanın Hipotezleri.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Kavramsal Tanımlamalar	3
2.1.1. Nem Kavramı ve Genel Özellikleri.....	3
2.1.2. Yapılarda Nemliliğin Tespiti ve Etki Eden Faktörler	5
2.1.3. Donatı Korozyonu.....	6
2.1.4. Nem Kurutma.....	6
2.1.5. Radon Gazı.....	8
2.1.6. Tuz Kusması	9
2.1.7. Yapıları Tehdit Eden Unsurlar	10
2.1.8. Yapılarda Nem Çeşitleri.....	11
2.1.9. Yapı Nem Kurutma ve Takip İşlemleri.....	14
2.1.10. Mekanik Nem Kurutma Cihazları	15
2.1.11. Kurutma Sistemi Değerleme Kriterleri	17
2.2. Kapiler Nem İtme Cihazı Sistemi	18
2.2.1. Kapiler Nem İtme Cihazı Sistemi ve Yapı Elemanlarına Etkileri	

2.2.2. Kapiler Nem İtme Cihazı Projelendirmesi, Kurulum ve Çalışma Prensibi	23
2.2.3. Duvar Neminin Uzaklaştırılması Süreci	27
2.3. Literatür Taraması.....	28
2.3.1. Nem Kavramı ve Kapiler Su Emme Katsayısı.....	28
2.3.2. Yapı Malzemesinin Kapiler Su Emme Durumuna Etkisi	31
2.3.3. Yapılarda Nem Sorunu ve Çözüm Önerileri.....	32
3. KAPİLER NEM İTME SİSTEMİNİN PERFORMANSININ İNCELENMESİ: GÜL CAMİ UYGULAMASI	37
3.1. Yöntem.....	37
3.1.1. Yapının Kısa Tarihçesi.....	37
3.1.2. Kullanılan Sistem Teknik Özellikleri	39
3.1.3. Uygulama Sonrası Ölçüm ve Takip Süreci.....	40
3.2. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	42
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	44
5. BULGULAR VE ÖNERİLER.....	55
EK-1 NEM İTME CİHAZI ÖLÇÜM FÖYLERİ (ÖLÇÜM 1-6).....	61
EK-2 GANN DİĞİT DEĞERİ – SU KÜTLESEL ORANI DÖNÜŞÜM TABLOSU	67

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Malzeme katmanları, termal iletkenlik ve su buharı geçirgenliği (Gudmundsson ve Karami, 2013)	36
Tablo 4.1. Değerlendirilen ölçüm verileri	44
Tablo 4.2. Referans ölçüm noktasına göre yapılan hesaplamalar	45
Tablo 4.3. Ardışık ölçüm noktalarına göre yapılan hesaplamalar	46
Tablo 4.4. Farklı Ölçüm referans periyotlarına göre elde edilen kapiler nem itme katsayıları	47
Tablo 4.5. Her bir ölçüm aralığındaki kapiler su itme katsayısının değişimi. 48	
Tablo 4.6. Duvar bünyesindeki suyun kütleli oranının zamana bağlı değişimi	49
Tablo 4.7. Duvar bünyesindeki suyun kütleli oranının ölçüm periyotları arasındaki değişimi.....	49
Tablo 4.8. Kapiler su emme katsayısının elde edilmesi (Adan, 1994).....	50
Tablo 4.9. Birim kesit alanı için zamana bağlı nem itme performansı.....	51
Tablo 4.10. Kapiler su emme katsayısının bünyedeki kütleli su oranı ile değişimi	52

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Yapılarda Fiziksel Nem (URL-1)	13
Şekil 2.2. Yapılarda Higroskopik Nemin Etkisi (URL-1).....	14
Şekil 2.3. Nem uzaklaştırma cihazı (URL-1)	18
Şekil 2.4. Kapilerite etkisi ile yapıya tırmanan su (URL-1).....	19
Şekil 2.5. Su ve tuz moleküllerinin yapıya tırmanması (URL-1).....	19
Şekil 2.6. Yapıdaki çeliğin korozyonu (URL-1).....	20
Şekil 2.7. Yapıdaki çeliğin nem sonucu paslanması (URL-1).....	20
Şekil 2.8. Yapıdaki korozyon sonucu ortaya çıkan ve betona zarar veren ürün (URL-1).....	21
Şekil 2.9. Kapiler nem itme cihazının kurulumunun ilk aşaması (URL-1)....	21
Şekil 2.10. Kapiler nem itme cihazı kurutma işlemi sonrası yapıyı terk eden ve zemine geri gönderilen su ve tuz molekülleri (URL-1)	22
Şekil 2.11. Duvar neminin uzaklaştırılması süreci (URL-1).....	27
Şekil 2.12. Duvar tabanının periferik havalandırma sistemi prensibi (Torres ve Feritas, 2010)	33
Şekil 2.13. Mevcut yapının yeniden düzenlenmesi için önerilen teknik çözümün dikey kesiti (Gudmundsson ve Karami, 2013).	35
Şekil 3.1. Gül Cami (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)	37
Şekil 3.2. Cami içi genel görünümü (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)	38
Şekil 3.3. Camide sürekliliğini sürdüren nem ve rutubet problemi (Yazarın kendi resimlendirmesidir.).....	39
Şekil 3.4. Sistem yerleşim planı (URL-1)	40
Şekil 3.5. Kapiler nem itme cihazının montajı (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)	41
Şekil 3.6. Cihazın dikey eksenindeki elektrot montaj noktası (Yazarın kendi resimlendirmesidir)	41
Şekil 3.7. Örnek bir ölçüm noktası (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)	42

SİMGE LİSTESİ

U : Genel Isı Transfer Katsayısı

A : Duvar Alanı

ΔM = İlk Ölçüm Numune Ağırlığı

M_s : İkinci Ölçüm Numune Ağırlığı

A: Kesit Alanı

t= Zaman

w : Duvar Derinliği

L : Toplam Duvar Uzunluğu

A_c : Duvar Kesit Alanı

ΔM : Kütle Azalması

$\Delta M''$: Birim Kütle Azalması

C : Nem İtme Katsayısı

$t^{0.5}$: Zaman Faktörü

R^2 : Regrasyon katsayısı

V_w : Su kütlesinin hacimsel oranı (m^3/m^3)

U: Toplam ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)

k: Isı iletim katsayısı ($W/m.K$)

L: Duvar kalınlığı (m)

q: ısı kayıp/kazancı (kW)

Üniversite : İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitü : Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Programı : Proje Yönetimi
Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet N. UĞURAL
İkinci Danışman : Doç. Dr. Alihsan KOCA
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Ocak 2024

ÖZET

NEME KARŞI YAPI DAYANIKLILIĞININ ANALİZİ VE KAPİLER NEM UZAKLAŞTIRMA YÖNTEMİYLE KÜTLESEL SU AĞIRLIĞI DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

ERGÜN YAMAN

İnsanlık tarihinde, yapılar sadece mimari eserler değil, aynı zamanda kültürel miras ve yaşam alanları olarak da önemli bir role sahip olmuştur. Ancak, her yapı, zamanla çeşitli etkenlere maruz kalarak doğal olarak bir ömre sahip olur. Bir yapının ömrü, dayanıklılığı ve sürdürülebilirliğiyle doğrudan ilişkilidir. İnşa edilen bir bina, tasarımındaki malzeme seçiminden, yapı yöntemlerine kadar bir dizi faktöre bağlı olarak belirli bir süre boyunca dayanıklılığını koruyabilir. Ancak, çevresel faktörler, iklim koşulları, kullanım amacına bağlı aşınma ve yıpranma gibi etkenlerle bu süreç değişkenlik gösterir. Yapıların ömrü, tasarımından başlayarak inşa, kullanım, bakım ve nihayet yıkım aşamalarına kadar uzanan bir süreç içerir. Yapıların ömrü, sadece fiziksel dayanıklılıkla değil, aynı zamanda düzenli bakım ve yenileme çalışmalarıyla da şekillenir. Bakımın ihmal edilmesi, yapısal bütünlüğü tehlikeye atabilir ve kullanım ömrünü kısaltabilir. Diğer yandan, uygun bakım ve güçlendirme uygulamaları, bir yapının ömrünü uzatabilir ve sürdürülebilirliğini sağlayabilir.

Bu çalışmada, yapıların ömrünü ve insanların yaşam konforunu doğrudan etkileyen nem kavramı üzerinde durulmaktadır. Yapıların iç yapısında var olan nem seviyeleri, sadece konfor düzeyini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda yapı sağlığı üzerinde önemli etkiler yaratabilir. Nem, çeşitli yapısal sorunlara yol açabilir ve iç mekanlarda yaşayan insanların sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu tezin asıl

amacı, örnek bir nem kurutma cihazının çalışma prensipleriyle birlikte bir yapıya uygulanması ve uygulama sürecinin başından sonuna kadar olan sürecin yapının bileşenlerinin zarar görme ve işlevsiz hale gelmesinin önlenmesine, insan ve yapı sağlığının korunmasını sağlamaktır. Araştırmada, bir örnek tarihi eser incelemesiyle, nem kurutma cihazı uygulanması sonrasında yapıdan doğrudan uzaklaştırılan su kütlesinin ayrıntılı hesaplamaları yapılmış ve çeşitli değişkenler göz önünde bulundurularak analizler sayısal verilerle doğrulanmıştır.

Bu çalışmada, duvarlarında kılcal etkiyle emilen sudan kaynaklı yapısal problemler görülen Gül caminde, elektro-ozmos yönteminin temel alan kapiler nem itme cihazının, uzun süreli kurutma performansı incelenmiştir. Kapileritenin etkisiyle bina temelinde bulunan suyun binaya tırmanması sonucunda, nemliliği yüksek yapı elamanlarının, nem itme sistemi ile, yaklaşık 4,5 ayda, su moleküllerinin yürüdüğü kanallardan toprağa itilmesinin (kurutulması) sağlandığı, orta-uzun vadede duvar ve zemin arasında doğal bir bariyer (potansiyel bariyer) oluşturarak yapı elamanlarının kuru tutulduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İnşaat Proje Yönetimi, Elektro-ozmos, Nem, Yapı Sağlığı.

University : İstanbul Kültür University
Institute : Institute Of Graduate Studies
Department : Civil Engineering
Programme : Project Management
Advisor : Associate Prof. Dr. Mehmet N. UĞURAL
Second Advisor : Associate Prof. Dr. Alihsan KOCA
Thesis Type – Date : Masters Degree – January 2024

ABSTRACT

ANALYSIS OF STRUCTURAL RESISTANCE AGAINST MOISTURE AND INVESTIGATION OF MASSIVE WATER WEIGHT CHANGE WITH CAPILLARY MOISTURE REMOVAL METHOD

ERGÜN YAMAN

Throughout human history, structures have played a crucial role not only as architectural works but also as cultural heritage and living spaces. However, every structure naturally has a lifespan as it is exposed to various factors over time. The lifespan of a building is directly related to its durability and sustainability. From the material selection in its design to construction methods, a building can maintain its durability for a specific period based on a range of factors. However, environmental factors, climate conditions, wear and tear depending on the purpose of use, among other elements, introduce variability to this process.

The lifespan of structures encompasses stages from design to construction, usage, maintenance, and finally, demolition. The lifespan is shaped not only by physical durability but also by regular maintenance and renewal efforts. Neglecting maintenance can jeopardize structural integrity and shorten the lifespan. On the other hand, proper maintenance and reinforcement practices can extend a structure's lifespan and ensure its sustainability.

This study focuses on the concept of moisture, which directly affects the lifespan of structures and the comfort of occupants. The moisture levels within the internal structure of buildings not only impact comfort levels but also have significant effects on building health. Moisture can lead to various structural problems and

adversely affect the health of occupants. The main objective of this thesis is to apply the principles of an exemplary moisture removal device to a structure, preventing damage and dysfunction of its components throughout the application process, and ensuring the preservation of human and structural health. The research involves a detailed calculation of the water mass directly removed from the structure after the application of a moisture removal device in a historic building. Various variables are considered, and the analyses are validated with numerical data.

In this study, the long-term drying performance of a capillary moisture-pushing device based on the electro-osmosis method is examined in the Rose Mosque, where structural problems due to water absorption through capillary action in the walls were observed. As a result of capillarity causing water to rise in the building foundation, the moisture in the high-moisture structural elements is pushed (dried) to the ground through channels where water molecules walk, using the moisture-pushing system, approximately within 4.5 months. In the medium to long term, it is observed that a natural barrier (potential barrier) is formed between the walls and the ground, keeping the structural elements dry.

Keywords: Construction Project Management, Electro-osmos, Moisture, Structural Health.

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu araştırma, yapılardaki nem sorunlarına karşı etkili çözüm stratejilerini belirlemeyi ve geliştirmeyi amaçlamaktadır. Yapılarda meydana gelen nem sorunları; yapı malzemelerinin bozulmasına ve buna bağlı olarak bina ömürlerinin kısalmasına, mahaller içerisinde iç hava kalitesinin bozulmasına ve buna bağlı sağlık sorunlarına ve yapı kabuğunun ısı iletim katsayısını arttırmasından dolayı yüksek enerji tüketimine yol açarak sürdürülebilir yaşam alanlarının oluşturulmasını zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda araştırmanın temel amaçları: i) Yapılardaki nem sorunlarına karşı yenilikçi ve uygulanabilir çözüm stratejilerini tanımlamak, ii) Toprakta kılcal etkilerle, beton içerisinde mikro kanallarda yükselen su moleküllerinin elektro-osmoz prensibiyle itilmesiyle çalışan bir nem uzaklaştırma sisteminin incelenmesi, iii) Bu sistemin, tarihi bir yapıda gerçek ölçekli olarak uygulanması ve sonucunda elde edilen ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi, iv) İlgili sistemin nem itme performansının ve v) Kapiler suya maruz kalan yapı elamanlarının kısa vadede kurutması ve orta/uzun vadede yapı elamanlarını kuru tutma performansının incelenmesidir. Araştırmanın sonucunda elde edilen bulgular, yapı sektöründeki profesyoneller, araştırmacılar ve karar vericiler için değerli bilgiler sağlamayı hedeflemektedir.

1.2. Araştırma Sorusu ve Araştırmanın Hipotezleri

Yapı elamanlarında tespit edilen nemin varlığı, çeşitli sebeplerden kaynaklanan ve göz ardı edilemeyecek sorunlara yol açar. Bu yüzden yapılardaki nem sorunlarına karşı etkili çözüm stratejileri geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. Bu çalışma, yapılardaki nem sorunlarına karşı etkili çözüm stratejilerini araştırarak, daha dayanıklı, sağlıklı ve enerji verimli binaların tasarımını desteklemeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın hipotezi, kapileritenin etkisiyle bina temelinde bulunan suyun binaya tırmanması sonucunda, nemliliği yüksek yapı elamanlarının, elektro-osmoz prensibiyle çalışan nem itme sistemi ile, kısa vadede su moleküllerinin yürüdüğü kanallardan toprağa itilmesi (kurutulması), orta-uzun vadede duvar ve zemin arasında

doğal bir bariyer (potansiyel bariyer) yapı elamanlarının kuru tutulmasının sağlanmasıdır.

Bu hipotezi test etmek için, kapileritenin etkisiyle duvarlarında yüksek nemlilik olan tarihi bir yapıya önerilen sistem kurulmuş ve sistemin; zamana bağlı nem itme ve duvarları kapiler suya karşı koruma performansı incelenmiştir. Bu hipotezin başarılı olması, daha dayanıklı, enerji verimli ve sağlıklı binaların tasarımına yönelik önemli bir adım olabilecektir. Yapılardaki nem sorunlarına karşı etkili çözüm stratejileri, inşaat endüstrisinin sürdürülebilirliği, tarihi eserlerin korunması, insanların yaşam kalitesinin artması ve çeşitli sağlık sorunlarının da ortadan kalkmasına yardımcı olacağı değerlendirilmektedir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Kavramsal Tanımlamalar

2.1.1. Nem Kavramı ve Genel Özellikleri

Nem, havanın içindeki su buharı miktarını ifade eden bir terimdir. Havanın doymuş su buharı kapasitesine göre içerdiği su buharı miktarı nem olarak adlandırılır. Nem, atmosferdeki su buharının varlığını belirtir ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Yeryüzündeki okyanuslar, denizler, göller, akarsular ve hatta buz ya da toprak yüzeylerinden buharlaşarak atmosfere geçen su tanecikleri, hava kütesinin içine karışarak atmosferdeki nem miktarını artırır. Bu süreçle birlikte nem, sadece gaz ortamlarında değil, aynı zamanda katı ortamlarda da varlık gösterebilir. Ayrıca, nemin sınırsız bir kapasitesi yoktur; ortama bağlı olarak maksimum doymuşluk noktasına ulaştıktan sonra, gözenekler arasında boşluk kalmadığı için bu noktayı aşamaz (Çoşkun, 2003).

Nemin genel özellikleri şunlardır:

- Nem Oranı: Nem genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu oran, bir hacmin içindeki su buharı miktarını bu hacmin doymuş su buharı kapasitesine göre gösterir.
- Hava Sıcaklığı ile İlişkisi: Sıcak hava, daha fazla su buharını tutma kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, sıcak hava genellikle daha yüksek nem içerir.
- Bulutlu hava ve Yağış: Yüksek nem, genellikle bulutlu havalar ve yağış ile doğrudan ilişkilidir. Havanın doymuşluk seviyesine yaklaştıkça, su buharı yoğunlaşarak su damlacıklarını oluşturabilir.
- İklim ve Coğrafya Bağlamında Nem: İklim bölgelerine ve coğrafi konumuna bağlı olarak nem seviyeleri değişir. Nem, okyanuslar gibi su kaynaklarına yakın bölgelerde genellikle daha yüksektir.
- İnsan Sağlığına Etkileri: Yüksek nem, insanlar üzerinde rahatsız edici bir etki yapabilir. Özellikle yüksek sıcaklıkla birleştiğinde, aşırı nem, vücuttan ısıyı uzaklaştırmayı zorlaştırabilir ve sıcaklık hissini artırabilir.
- Bitkiler ve Doğada Nem: Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için uygun nem seviyeleri önemlidir. Çok yüksek veya çok düşük nem bitkiler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir.

Nem, birçok doğal süreçte ve günlük yaşamda önemli bir rol oynar. Örneğin, inşaat malzemelerinin kuruması, enerji transferi, hava durumu ve bitki büyümesi gibi birçok alan bu konuda etkilenir. Nem, inşaat sektöründe bir dizi olumsuz etkiye neden olabilir. İnşaat sürecinde ve sonrasında nem kontrolü, yapıların dayanıklılığı, iç hava kalitesi ve yapı malzemelerinin uzun ömürlülüğü açısından kritik bir öneme sahiptir. Nem kavramının inşaat sektörüne etkileri şöyle sınıflandırılabilir:

- **Malzeme Bozulması:** Yapı malzemeleri, özellikle ahşap, kontrplak ve diğer organik malzemeler, aşırı nemle karşı karşıya kaldığında çürüme ve bozulma eğilimindedir. Bu durum, yapı elemanlarının zayıflamasına ve dayanıklılığının azalmasına yol açabilir.
- **Küf ve Mantar Oluşumu:** Yüksek nem seviyeleri, iç mekanlarda küf ve mantar oluşumuna neden olabilir. Bu hem yapısal hasara hem de iç hava kalitesinin bozulmasına yol açabilir. Küf ve mantarın solunması sağlık sorunlarına neden olabilir.
- **Isı İzolasyonunun Azalması:** Yüksek nem, ısı yalıtım malzemelerini etkileyebilir. Özellikle korozyona neden olabilecek metal elemanlarda sorunlara yol açabilir. Bu durum, enerji verimliliği ve ısı kontrolü açısından sorunlara neden olabilir.
- **Yapısal Deformasyonlar:** Ahşap malzemelerde aşırı nem, malzemenin şişmesine ve büzülmesine neden olabilir. Bu durum, çatlamalara, deformasyonlara ve yapısal problemlere yol açabilir.
- **İzolasyon Malzemelerinde Sorunlar:** Yalıtım malzemeleri, özellikle su emici olanlar, yüksek nem seviyelerinde performans kaybına uğrayabilir. Bu da ısı kaybına ve enerji verimliliğinde azalmaya yol açabilir.
- **Elektrik ve Elektronik Ekipmanlarda Çeşitli Arızalar:** Aşırı nem, elektrik ve elektronik ekipmanlarda korozyona ve arızalara neden olabilir. Bu durum, bina içindeki elektrik sistemleri ve cihazları için sorunlara yol açabilir.

Bu nedenlerden dolayı, inşaat sürecinde nem kontrolü büyük önem taşır. İnşaat sırasında su yalıtımı, uygun havalandırma sistemleri, su sızdırmazlığı ve nem seviyelerini düzenleyici önlemler almak, yapıların dayanıklılığını artırabilir ve uzun ömürlülüklerini sağlayabilir.

2.1.2. Yapılarda Nemliliğin Tespiti ve Etki Eden Faktörler

Yapılarda nem tespiti, yapısal hasarları önlemek ve iç mekân hava kalitesini korumak için önemlidir. Nem tespiti için kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. İşte ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan nem tespit yöntemlerinden bazıları şu şekilde uygulanmaktadır;

Nem Ölçme Cihazları: Elektronik nem ölçer cihazlar, malzemelerin yüzeyindeki nem oranını ölçmek için kullanılır. Bu cihazlar, ahşap, duvarlar, zemin kaplamaları ve diğer malzemelerin nem içeriğini hızlı ve doğru bir şekilde ölçebilir. İnşaat malzemelerini doğrudan test edebilir veya malzemenin üzerine yerleştirilen sensörler aracılığıyla ölçüm yapabilirler.

Termal Kameralar: Termal kameralar, yüzey sıcaklıklarındaki farklılıkları tespit ederek nemin belirlenmesine yardımcı olabilir. Nem içeren bölgeler genellikle diğer bölgelere göre daha soğuk olabilir. Termal görüntüler, nemle ilgili potansiyel sorun alanlarını belirlemekte yardımcı olabilir.

Nem Dedektörleri: Nem dedektörleri, genellikle belirli bir alandaki nem seviyesini ölçen sensörlere sahip cihazlardır. Duvarlara, zeminlere veya diğer yüzeylere yerleştirilebilirler. Bu dedektörler genellikle sesli veya görsel uyarılarla kullanıcıyı nem sorunlarına karşı uyarır.

Görselleştirme: Nem genellikle su lekeleri, küf oluşumu veya malzeme deformasyonu gibi belirtilerle görsel olarak tespit edilebilir. Duvarların, tavanların veya zeminlerin dikkatlice incelenmesi, nemle ilgili potansiyel sorun alanlarını belirlemekte yardımcı olabilir.

Higrometreler: Higrometreler, genellikle iç mekanlardaki hava nemini ölçmek için kullanılır. Yüksek higrometre okumaları, iç mekanlardaki yüksek nem seviyelerine işaret edebilir.

Bu yöntemler, yapı içindeki nem sorunlarını belirlemekte kullanılabilir. Eğer bir yapıda nem tespiti yapılmak isteniyorsa, uzman bir nem tespit uzmanından veya inşaat profesyonelinin yardım almak genellikle önerilir. Profesyoneller, daha karmaşık durumları değerlendirebilir ve doğru bir analiz yapabilirler. Bunun sonucunda doğru teknikle birlikte yapının zarar görmesi engellenir.

2.1.3. Donatı Korozyonu

Beton ve çelik çubuklardan oluşan yapı elemanları, betonarme özellik kazanabilmesi için çubukların betona etkin bir şekilde kenetlenmesi gerekmektedir. Bu kenetlenmeyi sağlayan çelik çubuklar ile beton arasındaki kayma gerilmelerine "aderans" adı verilmektedir. Donat ve beton aderansı, korozyonun olumsuz etkisi altında kalabilir; ilerleyen hasar durumunda aderans tamamen ortadan kalkabilir. Genellikle Portland çimentosu ile üretilen betonlar, içerisine gömülü donatıları kimyasal ve fiziksel açıdan etkili bir şekilde korurlar. Kimyasal koruma, çeliğin elektrokimyasal olarak pasif hale geldiği yüksek alkaliniteye sahip boşluk suyu tarafından sağlanır. Beton, fiziksel koruma ile birlikte çelik donatıya zarar verebilecek klor ve karbondioksit gibi maddelerin etkilerini geciktirerek koruma sağlar (Aköz ve Çakır, 2004).

Korozyona karşı uzun süreli dayanıklılığın korunması, pasif tabakanın gereksinimlerini karşılamakla ilgilidir. Betonun hızla bozulmasını önlemek için yüksek kalitede ve dayanıklı beton üretmek önemlidir, ancak zararlı iyonların betona girişi, örneğin klor iyonları, çelik donatının yüzeyinde doğal pasiviteyi bozabilir ve sıklıkla donatının korozyonuna neden olabilir. Betondaki çelik donatının korozyonu çatlaklara yol açabilir, aderans dayanımını azaltabilir ve betonun çürümesini hızlandırabilir (Aköz ve Çakır, 2004).

Çeşitli koruyucu önlemler alınarak aderans dayanımlarındaki kayıpların azaltılması hedeflenmektedir. Bu önlemler arasında çeliği galvanizleme, epoksi ile kaplama, beton kaplama, katodik koruma, süper akışkanlaştırıcı ve korozyon inhibitörlerinin kullanımı bulunmaktadır. Ayrıca, beton üretiminde çimento yerine F ve C tipi uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi mineral katkı maddeleri ekleyerek betonun korozyona karşı dayanıklılığını artırmaya yönelik çalışmalar da yapılmaktadır (Aköz ve Çakır, 2004).

2.1.4. Nem Kurutma

Nem kurutma süreci, yalnızca yüzeydeki nemin kazıyarak veya badana-boya uygulamalarıyla çözilemeyen bir sorundur. Bu tür basit yöntemler, aslında nemin daha fazla yayılmasına ve sorunun büyümesine neden olabilir. Nemle mücadelede daha etkili ve kesin bir yöntem bulunmaktadır. Bu, kapiler nem itme cihazları aracılığıyla gerçekleştirilen nem alma veya nem kurutma işlemidir. Nem kurutma cihazları, temelde nemin yoğunlaştırılması yoluyla suya dönüştürülerek ortamdan

uzaklaştırılmasını sağlar. Bu yöntem, nem sorunlarına karşı daha etkili bir çözüm sunar ve basit nem giderme yöntemlerinden daha kalıcı ve verimli bir sonuç elde edilmesini sağlar (URL-2).

Nem kurutma süreci, uzman bir ekip tarafından titiz adımlarla gerçekleştirilir. İlk olarak, higrometre aracılığıyla ortamın nem seviyesi ölçülerek profesyonel bir değerlendirme yapılır. Elde edilen nem verilerine göre, nem alma işleminin süresi belirlenir ve etkili bir planlama yapılır. Ardından, tüm önemli ölçümler tamamlandığında, nem giderme işlemi başlatılır. Bu süreçte, özel ekipmanlar ve teknikler kullanılarak ortamdaki nemin kontrol altına alınması sağlanır. Profesyonelce uygulanan bu adımlar, nemle mücadelede etkili ve kalıcı sonuçlar elde etmek için önemli bir aşamayı temsil eder (URL-2).

Nemle mücadele, ortamdaki nemin kontrolü için atılan bir adımdır ancak bu süreç, sorunun tamamıyla çözümü anlamına gelmez. İlk haftalarda gerçekleştirilen nem alma işlemi, sadece o anki nem miktarını ele alır ve gelecekteki nem oluşumunu engellemez. Bu noktada, nem alma işlemi sonrasında ortamın dengeli bir nem seviyesine kavuşturulması önemlidir. İnsanlar ve diğer canlı organizmalar, yaşamlarını sürdürebilmek için belirli bir nem düzeyine ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, hava içindeki nemin doğru seviyede korunması, sağlıklı bir yaşam ortamının sürdürülebilirliği açısından hayati önem taşır. Nem kontrolü, mekanik müdahaleleri içermekle birlikte, aynı zamanda doğru nem seviyelerinin sürdürülebilir bir şekilde korunması için bütünlük gerektiren bir süreçtir (URL-2).

Nem kurutma işlemi, yalnızca rutubeti ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda küf mantarı, akarlar gibi zararlı mikroorganizmaların da yok edilmesiyle hijyenik bir ortam sağlar. Bu işlem, nemin oluşumunu tetikleyen koşulları ortadan kaldırdığı için etkisini uzun süre korur. Özellikle kapalı mekanlarda, nemin neden olduğu sorunlarla mücadelede oldukça etkilidir. Nem kurutma işlemi, mikroorganizmaların üremesine engel olarak iç mekanlardaki nemin kontrol altına alınmasını sağlar. Bu sayede sağlıklı bir yaşam ortamı elde edilir. Bu işlem, sadece rutubetin giderilmesi değil, aynı zamanda mikropların ve zararlı organizmaların ortadan kaldırılmasıyla da öne çıkar. Bu da kullanıcıları, nem kaynaklı sorunlarla mücadelede etkili ve uzun vadeli bir çözüme yönlendirir. Kapalı mekanlarda nem kontrolü ve hijyen standartlarının artırılması için nem kurutma işlemi önerilir. Sağlıklı bir yaşam ortamının sürdürülmesi, bu işlemin kapalı mekanlarda tavsiye edilmesini

haklı çıkarır ve nemle ilgili sorunların kalıcı bir çözümü olabilir. Nem kurutma sisteminin kullanılması için önerilen kapalı alanlar şu şekilde sıralanabilir (URL-2):

- Arşivler
- Depolar
- Nem çeken alt katlar
- Tarihi Eserler
- Yapı malzemesi satan yerler
- Müzeler
- Zemin katlar

Nem kurutma işlemi, yeni rutubetleri de engeller. Bu bakımdan tavsiye edilen, rutubet oluşumu yaşanmadan nem giderme işlemi yapılmasıdır.

2.1.5. Radon Gazı

Radon, doğal süreçlerin bir yan ürünü olarak ortaya çıkan ve insan sağlığına potansiyel olarak zarar verebilen bir çevresel etkidir. Yerkürenin varlığından beri mevcut olan doğal radyoaktif elementler, kısa yarı ömürlü olanlarının kaybolmasına rağmen, uzun yarı ömürlü olanlar hala varlıklarını sürdürmektedir. Yapılardaki radonun büyük bir kısmı, evin inşa edildiği bölgedeki topraktan kaynaklanmaktadır. Zemin doğal toprak içeriyorsa, radon kolayca sızabilir. Eğer zemin çimentoluysa, radon zaman içinde oluşan çatlaklardan geçebilir. Ayrıca, su boruları ve tesisat duvar aralıkları da radonun sızmasını kolaylaştırabilir. Radon gazı, yapıların içine, toprak ve kayalardan, evin zemin katından kapiler etkiyle, yeraltı sularının erimesi yoluyla, kuyular aracılığıyla veya radon içeren malzemelerden yapılmış briket gibi yapı malzemeleri ile birlikte girebilir. Bu durum, yapıların çeşitli bölgelerinde radonun potansiyel olarak tehlikeli seviyelere ulaşmasına neden olabilir. Bu nedenle, radonun kontrolü ve önlenmesi, sağlıklı iç mekân kalitesi için kritik bir faktördür (Hacıosmanoğlu, 2017).

Radonun sağlam çimento duvarlardan yayılmasında temel mekanizma genellikle difüzyondur. Bu yayılım süreci, kullanılan çimento karışımına bağlı olarak radon miktarında değişikliklere neden olabilir. Radon, yapı içine sızdığında ev içinde birikme eğilimindedir. Gazın ağırlığı nedeniyle genellikle yerde, yaklaşık 50 santimetre yükseklikte birikme eğilimindedir. Ayrıca, özel bir mekanizma olmadığı sürece, ev içindeki basınç genellikle dışarıdaki basınçtan biraz daha düşük olma eğilimindedir, bu da kapalı ortamdaki havanın binada kalmasına yol açar. Ancak yapı

sırasında doğal havalandırma mekanizmalarının kurulması ve etkili bir havalandırma sağlanmasıyla bu durum önlenabilir. Doğru bir uygulama ile bu önlemler, radon birikimini engelleyerek iç mekân hava kalitesini iyileştirebilir ve radon kaynaklı sağlık risklerini azaltabilir. Bu, yapısal tasarımda ve inşaatla radon kontrolünün önemini vurgular, aynı zamanda doğru havalandırma önlemlerinin radonun zararlı etkilerini azaltmada kritik bir rol oynayabileceğini gösterir (Hacıosmanoğlu, 2017).

Solunum yoluyla alınan radon gazı, radyoaktif parçacıklara ayrışır ve akciğerde birikir. Bu parçacıklar sürekli olarak parçalanır ve yayılan alfa parçacıkları, bir yüzeye çarptıklarında enerjilerini yüzey tarafından emer. İnsan derisi, alfa parçacıklarının etkisinden korunur, ancak bu parçacıklar akciğer hücrelerine zarar verebilir. Bu durumda hücre hasarı meydana gelir ve ilerleyen dönemde akciğer kanseri gelişebilir. Radon maruziyetinin, tüm akciğer kanserlerinin yaklaşık çeyreğinden sorumlu olabileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle, radon gazına maruziyeti azaltmak ve bu potansiyel sağlık riskini minimize etmek için radon kontrol önlemleri almak önemlidir (Hacıosmanoğlu, 2017).

2.1.6. Tuz Kusması

Yapıdaki boyada meydana gelen çatlama veya açıklıklardan sızan nem, kurudukça boyanın yüzeyinde tuzun çıkmasıyla birlikte tuz kusması olarak adlandırılır. Zaman içinde, yapı iyonlara doyararak kutupsal kararlılığını kaybeder. Nem ve tuz içeren yapı, buharlaşma sürecinde aldığı nemi bulunduğu ortama salarken iç ortamın nem seviyesini artırır; aynı zamanda duvarlarda küf, mantar ve çeşitli bakterilerin çoğalması için uygun bir ortam sağlar. Bu durum hem yapı sağlığı hem de insan sağlığı açısından ciddi sorunlara neden olur. Mantar, küf ve bakterilerin salgıladığı kimyasallar ve sporlar, alerjik reaksiyonlara, solunum enfeksiyonlarına ve çeşitli fiziksel semptomlara yol açabilir. Kapiler nem, sadece yapı sağlığını değil, aynı zamanda insan sağlığını da olumsuz etkiler.

Nem ve tuz kusmaları, boya ve sıvada hasara neden olduğundan, yapı içindeki insan sağlığını her dönemde olumsuz etkiler. Ayrıca, rutubet kokusu ortamın yaşanabilirliğini azaltabilir. Bu nedenle, yapı malzemelerinde ve izolasyon sistemlerinde nem kontrolüne öncelik vermek, yapı sağlığını ve iç ortam kalitesini korumak için kritik bir adımdır. (URL-3)

2.1.7. Yapıları Tehdit Eden Unsurlar

Yapıları tehdit eden unsurlar geniş bir yelpazede bulunmaktadır ve bu unsurlar yapıların genel dayanıklılığını, güvenliğini ve sürdürülebilirliğini etkileyebilecek çeşitli doğal ve insan kaynaklı faktörleri içermektedir. Doğal afetler, yapıların en savunmasız olduğu ve ciddi zararlara neden olabilecek durumları içerir. Özellikle depremler, sel olayları, fırtınalar ve tsunami riski taşıyan bölgelerdeki yapılar, bu tür doğal afetlere karşı dayanıklı olmalıdır. Yapı malzemelerinin seçimi, tasarım özellikleri ve inşaat yöntemleri, doğal afetlere karşı direnci artırmak için önemlidir.

Su ve nem, yapı malzemeleri üzerinde uzun vadede ciddi etkilere neden olabilir. Yağış, yapı çatılarından sızan su, yüksek nem seviyeleri ve su birikintileri, çeşitli yapı malzemelerinde çürüme, küf oluşumu ve malzeme çatlaklarına yol açabilir. Su yalıtımı, drenaj sistemleri ve uygun malzeme seçimi gibi önlemler alınarak yapıların su hasarına karşı direnci artırılabilir. Yangın ise yapıları tehdit eden bir diğer önemli unsurdur. Yangın güvenliği önlemleri olmaksızın, yangın yapı içindeki malzemeleri tahrip edebilir ve yapısal bütünlüğü tehlikeye atabilir. Yangına karşı dayanıklı malzemelerin kullanımı, yangın söndürme sistemlerinin kurulması ve yangın kaçış yollarının düzenlenmesi gibi önlemler alınarak, yangın riski en aza indirilebilir.

İklim değişikliği günümüzde giderek artan bir endişe kaynağıdır. Yapıları etkileyen bu unsurlar arasında artan sıcaklık, yoğun yağışlar, deniz seviyesindeki yükselme ve ekstrem hava olayları bulunmaktadır. İklim değişikliği ile başa çıkma, yapı tasarımında iklim değişikliğine uygun stratejilerin benimsenmesini gerektirir. Diğer bir unsur ise yaygın olarak görülen korozyon problemidir. Özellikle demir ve çelik gibi metal yapı elemanlarını etkileyen bir diğer önemli unsurdur. Korozyon, yapısal elemanların zayıflamasına ve dayanıklılığının azalmasına neden olabilir. Bu durumun önüne geçmek için malzeme kaplamaları, düzenli bakım ve korozyon önleyici önlemler alınabilir. Yerel inşaat yöntemleri ve malzeme kalitesi, bir yapının dayanıklılığını belirleyen temel unsurlardır. Kalitesiz malzeme kullanımı veya uygun olmayan inşaat teknikleri, yapıların güvenliğini azaltabilir. Yapı malzemelerinin seçimi, dayanıklılık testleri ve yerel inşaat normlarına uygunluk, yapıların uzun ömürlülüğünü artırmak adına önemlidir.

Ayrıca günümüzde teknolojik sorunlar, yapı içindeki sistemlerin güvenilirliğini etkileyebilir. Elektrik, su ve ısıtma sistemlerindeki arızalar, yapı

sakinlerini günlük yaşamlarında olumsuz etkileyebilir. Güvenlik sistemlerinin yetersiz olması da yapıları hırsızlık veya diğer güvenlik tehditlerine karşı savunmasız bırakabilir. Yapı içindeki teknolojik sistemlerin düzenli bakımı ve güncellenmesi bu tür sorunları önlemeye yardımcı olabilir.

Sonuç olarak, yapıları tehdit eden unsurların geniş bir yelpazesi bulunmaktadır ve bu unsurların yönetimi, yapı tasarımı, malzeme seçimi, inşaat yöntemleri ve düzenli bakım gibi faktörlere dikkat edilerek gerçekleştirilmelidir. Bu önlemler, yapıların daha güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir olmasına katkıda bulunabilir.

2.1.8. Yapılarda Nem Çeşitleri

2.1.8.1. Yapılarda Kimyasal Nem

Bu tür nem, yapı malzemesinin doğal nemi olup yapı çevresinin nemlilik derecesine bağlıdır. Kimyasal nem terimi, inşaat sektöründe kullanılan malzemelerin üretimi, depolanması ve kullanımı sırasında suyun malzeme içindeki kimyasal yapıya etkilerini ifade eder. Bu etkileşimler genellikle su moleküllerinin malzeme içinde bulunan kimyasal bileşenlerle reaksiyona girmesi veya malzeme içinde belirli kimyasal değişikliklere neden olması şeklinde ortaya çıkar. İnşaat malzemeleri, genellikle su içerir ve bu su, malzemenin içinde çeşitli kimyasal süreçlere yol açabilir. Özellikle beton, yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan en temel malzeme olduğu için su ile olan etkileşimi önemlidir. Betonun içindeki su, çimento ile reaksiyona girerek hidrasyon sürecini başlatır. Hidrasyon süreci, betonun sertleşmesini ve dayanıklılığını artırarak yapısal özelliklerini kazanmasına katkıda bulunan bir kimyasal reaksiyondur. Ancak, su miktarının kontrolsüz bir şekilde artması veya azalması, betonun kalitesini etkileyebilir ve uzun vadede yapısal sorunlara yol açabilir. Diğer yandan, kimyasal nem terimi, suyun bir malzeme içindeki minerallerle reaksiyona girmesi sonucu oluşan kristalizasyon veya çözünürlük gibi kimyasal süreçleri de kapsar. Özellikle tuzlu topraklardan gelen su, bir yapı malzemesi ile etkileşime girdiğinde, içinde bulunan tuzlar malzeme içinde çeşitli kimyasal değişikliklere ve hasara neden olabilir.

Kimyasal nem, bir malzemenin dayanıklılığına, bütünlüğüne ve uzun ömürlülüğüne etki edebilir. Bu nedenle, inşaat malzemelerinin üretimi, depolanması ve kullanımı sırasında, kimyasal nemin kontrol altında tutulması ve malzemenin özelliklerini olumsuz yönde etkilemesinin engellenmesi büyük bir öneme sahiptir.

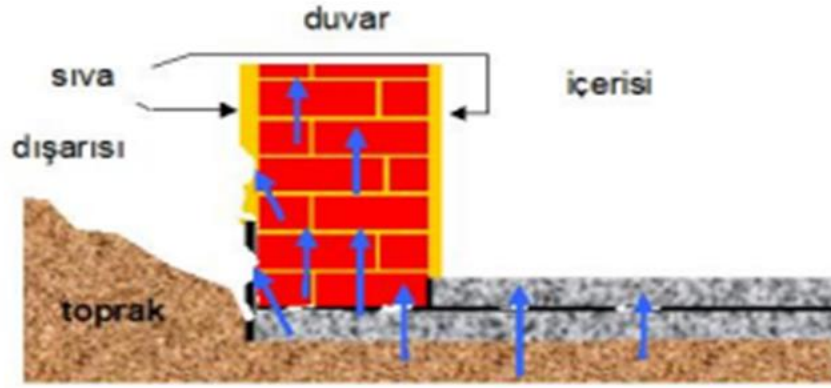
İnşaat sektöründe faaliyet gösteren profesyoneller, malzemelerin üretimi ve depolanması sırasında nem kontrolüne özel dikkat gösterirler. Ayrıca, kullanılan malzemelerin özelliklerini anlamak ve nemin malzemeye etkilerini değerlendirmek, yapısal dayanıklılığın ve uzun ömürlülüğün sağlanması açısından kritik bir rol oynar. Bu bağlamda, malzeme üreticileri, inşaat mühendisleri ve mimarlar, kimyasal nemin kontrol altında tutulması için gerekli önlemleri alarak yapısal bütünlüğü ve kaliteyi denetlemeleri ve korumaları gerekir.

2.1.8.2. Yapılarda Fiziksel Nem

Bu tür nem, sorpsiyon suyudur. Aynı terim altında higroskopik nemlilik ve terleme suyu da bulunur. İkisi de atmosferik nem oranının fazla yüksek olmasından kaynaklanır. Özellikle yoğunlaşma suyu yapı içindeki nem oranının yüksek olmasından, yani yetersiz veya yanlış havalandırmadan kaynaklanır. Higroskopik nemlilik yapı malzemelerindeki yüksek tuz miktarından ve yüksek atmosferik nem oranından kaynaklanır. Bu duruma da yine hatalı havalandırma sebep olabilir.

2.1.8.3. Yapılarda Kılcal Nem (Kapiler Nem)

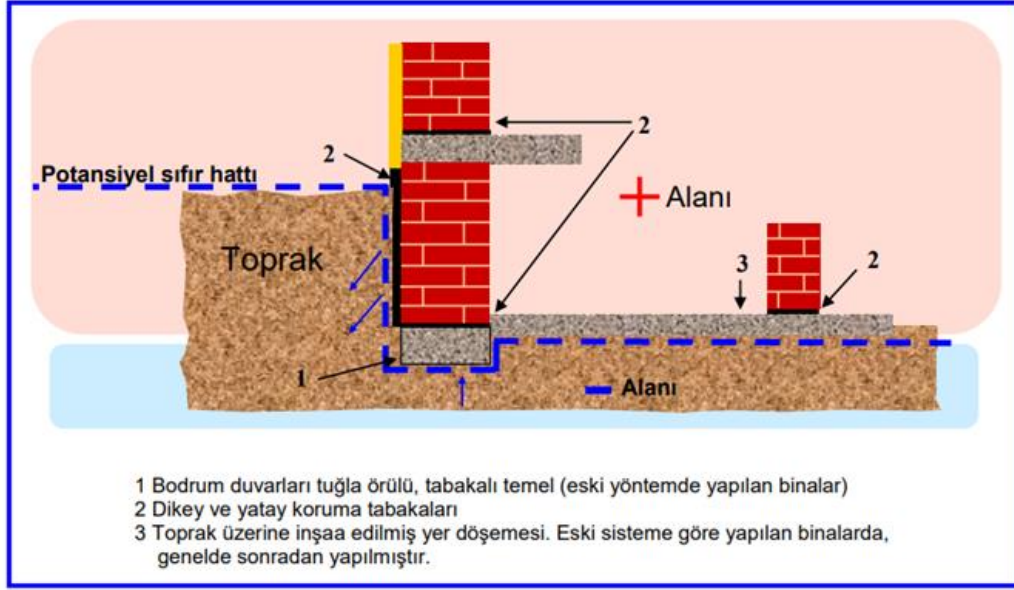
Bu tür nem kaynağında, nem zeminden kılcal büyüklükteki ince çizgilerden ilerleyerek yapılara kalıcı zararlar verir (Şekil 2.1). Nemin yayılarak yükselmesi de buna bağlıdır ve bu nem türünün yapısal önlemler ile gidermek oldukça zordur. Sonradan yerleştirilmiş metal, plastik, duvar değişimi veya enjektajlar biçiminde yatay yalıtım maddesinden dolayı altında su birikir. Bu da yalıtımın alt kısmında duvar malzemesinde (ara duvar) ve duvarda daha kuvvetli bir şekilde suyun yayılarak malzemeye işlemesine neden olur. Aynı zamanda yatay yalıtımın altında oluşabilecek dolaylı zararlar durdurulamaz. Çünkü daha çok nemin ve tuzun nüfuz etmesi ile yapı malzemesinde ve yalıtım tabakasının altında bozulmalara, nem birikimine ve çoğalmış tuz birikimine sebep olur. Tabanı kazıyarak nem yalnız bir taraftan önlenemez. Ancak duvarın sünger etkisinden dolayı, yüzeysel buharlaşmaya göre alttan bir o kadar daha nem çeker. Tabanın kazılıp çukurlaştırılması ve bir drenajın yerleştirilmesi veya tamiri, elektronik-fiziksel bir kurutma ile bağlantılı olarak gerçekleştirildiğinde elbette etkili olacaktır (URL-1).



Şekil 2.1. Yapılarda Fiziksel Nem (URL-1)

Koruyucu tabakaların iki taraflı bir yapıya sahip olması, suyun etkili bir şekilde sızamayacağı ve yayılamayacağı bir bariyer oluşturur (Şekil 2.2). Bu sayede su, yukarı yönlü ilerleyip yayılma eğiliminde olmadan, koruyucu tabakanın içerisinde hapsolür. Ancak, bu durumun koruyucu tabakanın bulunmadığı yerlerde sızmalara neden olabileceği unutulmamalıdır. Bu sebeple, dikey yalıtım tabakalarının binanın içine yerleştirilmesi önerilmez. Aynı zamanda, kurutma işlemi sırasında bu tabakaların dışarıdan eklenmesinden kaçınılmalıdır. Çünkü dışarıdan eklenen tabakalar, suyun içeride hapsolmesine engel olabilir ve kuruma sürecini olumsuz etkileyebilir. Bunun yerine, kurutma işlemi için daha etkili olan kalafatlama ve drenaj sistemlerinin kullanılması daha uygun olacaktır. Bu yöntemler, suyun etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar ve yapıya zarar veren nemin kontrol altına alınmasına yardımcı olur. Bu nedenle, su yalıtımı ve kurutma stratejilerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, yapıların dayanıklılığını artırmak adına kritik bir öneme sahiptir (URL-1).

Higroskopik nemin iki nedeni olabilir. Nedenlerden biri kötü veya tuzlu yapı malzemesi, diğeri yükselerek yayılan nem olabilir. İki durumda da yapısal önlemler alınmalıdır. Yükselerek yayılan nem durumunda yapının büyük bir kısmı söküldükten sonra moderleştirme işlemlerine başlanmalıdır. Yükselerek yayılan nemi önlemek için en etkili yöntem Elektro-Osmoz'dur. Bu işlem yıllardır başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yüzden 1975 yılından bu yana bu yöntem kendisini gittikçe kabul ettirmiştir. İşte bu durumlarda kapiler nem itme cihazı kullanılması gereklidir. Kapiler nem itme cihazının kullanımıyla birlikte istenilen kuruluğa ulaşılabilir (URL-1).



Şekil 2.2. Yapılarda Higroskopik Nemin Etkisi (URL-1)

2.1.9. Yapı Nem Kurutma ve Takip İşlemleri

Sadece koruyucu tabakalar uygulamakla, çukur kazmakla, drenaj veya yatay yalıtım tabakaları ile bir binanın kuru kalması garanti edilemez. Bu gibi önlemler ancak kısmi bir kurutmadır ve kuru kalmada büyük yardımlar sağlayabilir ve ek önlem olarak nazarı itibara alınmalıdırlar. Çünkü bu geleneksel işlemlerde nemlilik ancak kısa bir süre için önlenecektir, bu da sonradan konmuş ve yerleştirilmiş yalıtım tabakasında olacaktır. Bu bölümlerin altında veya yalıtım tabakalarının bulunduğu bölümlerde ve yerleştirilmiş olan tabakaların etrafından su yayılmanın yolunu bulacaktır.

Yapılarda nem kontrolü, nemin kurutulmasından sonra yapı süreçlerinde devam eden bir takip ve kontrol sürecini içermektedir. Bu süreç, yapıdaki nemin kontrol altında tutulması ve olası sorunların erken aşamada tespit edilerek çözüme kavuşturulması amacını taşır. Yapılarda, nemle mücadele önlemleri sadece nemin kurutulması ile sınırlı kalmamakta; bunun yanında düzenli takip ve kontrol adımlarıyla sürekli bir izleme sağlanmaktadır.

Nem ölçüm cihazları, yapıdaki farklı bölgelerdeki nem seviyelerini sürekli olarak izlemek ve kaydedilen verileri analiz etmek için kullanılır. Bu cihazlar, duvarlarda, zeminlerde veya havada bulunan nemi ölçerek nem seviyelerinde meydana

gelen değişiklikleri belirleme konusunda oldukça etkilidir. Düzenli aralıklarla yapılan nem ölçümleri, nemin potansiyel olarak birikmeye başladığı noktayı belirlemede yardımcı olur. Bu yöntemin hemen ardından termal kameralar, yapı elemanlarının arkasındaki gizli nemin tespiti konusunda önemli bir rol teşkil eder. Yüzey sıcaklıklarındaki farklılıkları gösteren bu kameralar, nemin birikme eğiliminde olduğu bölgeleri belirleyerek müdahale gerektiren noktaları hızlı bir şekilde ortaya çıkarır. Bu adımlardan sonra uygulanacak olan görsel inceleme ise su lekeleri, küf oluşumu, çatlaklar veya bozulma gibi görsel belirtileri değerlendirme sürecini içerir. Bu inceleme, yapı içindeki potansiyel sorunları erken aşamada tespit etme ve çözme amacını taşır. Görsel inceleme, yapı içindeki su hasarı veya nemle ilgili problemlerin görsel belirtilerini anlama konusunda önemli bir rol oynar. Ayrıca, yapıdaki hava akışını ve havalandırmayı düzenlemek de nem kontrolünde önemlidir. İyi bir havalandırma sistemi, iç mekanlardaki nem seviyelerini kontrol altında tutar ve yapı içinde sağlıklı bir hava dolaşımı sağlar. Havalandırma sistemlerinin düzenli bakımı, filtre değişimleri ve tesisat kontrolleri, bu sistemlerin etkin bir şekilde çalışmasını sağlar.

Tüm bu yöntemler, ülkemizde ve dünyada yapıların nemle mücadelesinde kullanılan etkili stratejilerdir. Nem kontrolü, yapıların dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü artırarak sağlıklı iç mekân koşullarının sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Bu nedenle, nemle mücadelede uygulanan takip ve kontrol süreçleri, yapıların güvenliğini ve dayanıklılığını artırmak adına kritik bir öneme sahiptir.

2.1.10. Mekanik Nem Kurutma Cihazları

Mekanik kurutma cihazları, kısa sürede etkili sonuçlar elde etme yetenekleriyle öne çıkar. Bu cihazlar, nemin fazla olduğu bir alandaki havadaki ve yapı elemanlarında ki nemi seviyelerini hızla düşürerek, yapı içindeki malzemelerin daha kısa sürede kurumasını sağlar. Nem kurutma cihazları, yapı malzemelerini kurutarak ve nemin birikmesini önleyerek yapısal bütünlüğü koruma amacını taşır. Yapı elemanlarındaki nemle mücadelede bir diğer önemli avantaj, elektrikli cihazların ve elektronik ekipmanların korunmasıdır. Yüksek nem seviyeleri, elektronik cihazlara zarar verebilir. Nem kurutma cihazları, elektronik ekipmanların nemden kaynaklanan hasar riskini azaltarak bu cihazların performansını ve ömrünü artırır. Sağlıklı iç mekân koşulları yaratma avantajı da önemlidir. Yüksek nem, iç mekanlarda rahatsız edici bir

atmosfer yaratabilir ve solunum sorunlarına neden olabilir. Nem kurutma cihazları, iç mekanlarda daha sağlıklı bir atmosfer oluşturarak bu olumsuz etkileri azaltır.

Mekanik kurutma cihazların kullanımıyla ilgili bazı dezavantajlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu dezavantajlar, kullanıcıların doğru cihazı seçmeleri, düzenli bakım yapmaları ve uzun vadeli kullanım sonuçlarını değerlendirmeleri açısından önemlidir. Öncelikle, nem kurutma cihazlarının enerji tüketimi göz önüne alınmalıdır. Bu cihazlar genellikle elektrikle çalışır ve sürekli olarak çalıştıklarında enerji faturalarını artırabilir. Bu durum, kullanıcıların maliyetleri artırarak uzun vadeli kullanım sırasında ekonomik bir düşünce yapısı oluşturmalarını gerektirir. Gürültü seviyesi, bir diğer dikkat edilmesi gereken unsurdur. Özellikle yoğun olarak kullanıldığı alanlarda, nem kurutma cihazlarının üretebileceği gürültü seviyesi rahatsız edici olabilir. Bu nedenle, düşük ses seviyesine sahip modellerin seçilmesi önemli bir detaydır. Bakım gereksinimi, nem kurutma cihazlarının etkili bir şekilde çalışabilmesi için düzenli olarak temizlenmeleri ve bakımlarının yapılması gerektiği anlamına gelir. Filtre değişimleri, su haznesinin düzenli olarak boşaltılması gibi bakım işlemleri, cihazın performansını artırmak ve uzun ömürlü olmasını sağlamak adına önemlidir. Ayrıca, nem kurutma cihazlarının ısı üretebileceği unutulmamalıdır. Bu durum, özellikle küçük ve iyi havalandırılmayan alanlarda iç mekân sıcaklıklarını artırabilir. Bu durum, özellikle yaz aylarında ek bir ısı kaynağı oluşturabilir. Hava kuruluğu da dikkate alınması gereken bir diğer faktördür. Nem seviyelerini çok düşük tutmak, iç mekanlarda hava kuruluğuna neden olabilir. Bu durum, solunum yollarındaki kuruluğa, deri problemlerine ve diğer sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle, cihazın kullanımı sırasında nem seviyelerinin dengede tutulması önemlidir. Son olarak, mekanik arızalar da bir risk oluşturabilir. Nem kurutma cihazları uzun süreli kullanımda mekanik arızalara maruz kalabilir. Fanlar, kompresörler veya sensörlerde oluşabilecek arızalar, cihazın düzgün çalışmasını engelleyebilir ve onarım maliyetlerini artırabilir.

Bu dezavantajlar, nem kurutma cihazlarını kullanmadan önce dikkate alınmalıdır. Kullanıcılar, ihtiyaçlarına uygun bir cihaz seçerken enerji etkinliği, bakım kolaylığı ve performans gibi faktörleri göz önünde bulundurarak doğru bir karar vermeye çalışmalıdırlar.

2.1.11. Kurutma Sistemi Değerleme Kriterleri

Nem kurutma cihazlarının kullanımı, bir yapının özellikleri ve ihtiyaçlarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu, nem kontrolünün sağlanması ve iç mekân kalitesinin iyileştirilmesi için uygun cihazın seçilmesini gerektirir. Değerlendirme süreci, yapının spesifik özellikleri, iklimsel koşullar, kullanım amacı ve malzeme türleri gibi çeşitli faktörleri içerir.

Yapının büyüklüğü ve hacmi, nem kurutma cihazının kapasitesini etkileyen temel bir faktördür. Geniş bir yapı, daha fazla hava hacmini kontrol etme ihtiyacı duyar, bu nedenle daha yüksek kapasiteli ve fonksiyonlu bir nem kurutma cihazı gerekebilir. Hacim, cihazın nem seviyelerini etkili bir şekilde düzenleme kapasitesini belirlemede kritik bir rol oynar. İklimsel koşullar, nem seviyelerini etkileyen temel bir faktördür. Bölgesel iklim, nem kurutma cihazının kullanım sıklığını ve etkinliğini belirler. Özellikle nemin baskın olduğu veya belli bir mevsimde yoğunlaştığı durumlarda, nem kurutma cihazlarının daha sık ve etkili kullanılması gerekebilir. Yapı inşasında veya çevredeki diğer yapıların sebep olduğu olumsuz aksiyonlar, nem kurutma cihazlarının kullanımını kaçınılmaz bir gereklilik haline gelir. Bu durumda, yapı içindeki nemin kontrol altına alınması, yapısal hasarın önlenmesi ve inşaat malzemelerinin kurutulması için nem kurutma cihazları önemli bir değere sahiptir. Yapının kullanım amacı ve fonksiyonları da nem kontrolünü etkileyen bir diğer önemli faktördür. Örneğin, bir depo, müze, cami veya laboratuvar gibi özel amaçlı yapılar, belirli nem seviyelerine ihtiyaç duyabilir. Bu tür yapılar için nem kurutma cihazları, spesifik gereksinimlere uygun olarak seçilmelidir. Bunlarla birlikte yapının içinde kullanılan malzemelerin özellikleri, nemin emme kapasitesini belirleyen kritik bir faktördür. Ahşap, beton, kumaş gibi malzemeler, nemin absorbe edilme şeklini etkiler. Doğru nem kurutma cihazı, kullanılan malzemelerin özelliklerine uygun olarak seçilmelidir. Bina içindeki sirkülasyon ve havalandırma sistemi de nem kontrolünü etkileyen bir diğer önemli faktördür. Doğru bir havalandırma sistemi, nem kurutma cihazının etkinliğini artırabilir. Cihazın konumlandırılması ve hava akışını etkileyebilme yeteneği, genel nem kontrolü üzerinde büyük bir etki yapabilir.

Tüm bu verilerden yola çıkılarak, nem kurutma cihazlarının seçimi sırasında bütçe ve maliyet de göz önünde bulundurulmalıdır. Yapının bütçesi, kullanıcıların nem kurutma cihazı seçiminde uygun bir denge kurmalarını gerektirir. Maliyet ve etkili bir çözüm hem etkin nem kontrolü sağlamak hem de bütçe dostu bir yaklaşım

benimsemek için önemlidir. Bu faktörlerin tümü, nem kurutma cihazının etkili bir şekilde kullanılması ve yapının nem kontrolü ihtiyaçlarını karşılaması için değerlendirme sürecinde dikkate alınmalıdır. Yapının spesifik gereksinimleri ve kullanım koşulları, doğru nem kontrol cihazının belirlenmesinde ve kullanıma başlanılmasında kritik öneme sahiptir.

2.2. Kapiler Nem İtme Cihazı Sistemi

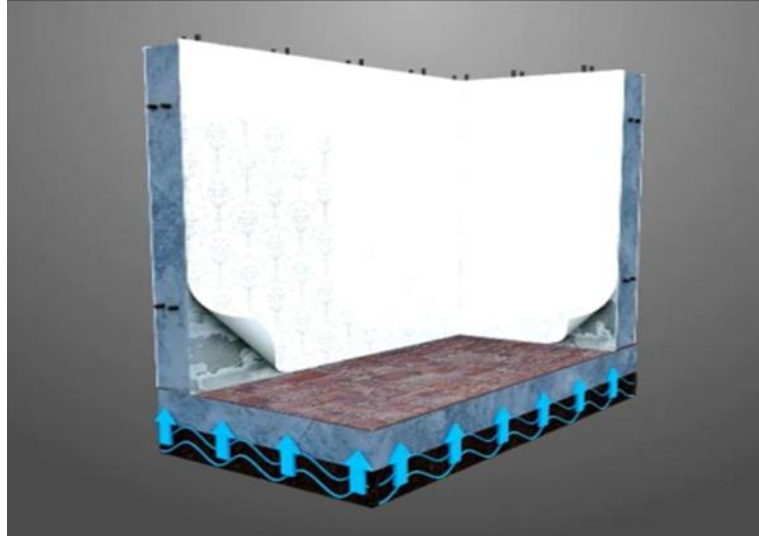
Bu çalışmada, kapiler nem itme sisteminin (Şekil 2.3) saha uygulamasından elde edilen ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Bu bölümde sistemin tanıtımı, yapı elemanlarına etkisi, uygulaması ve çalışma prensibi gibi bilgiler paylaşılmıştır. Aşağıda verilen bu bilgiler araştırmada kullanılan cihazın teknik dokümanlarından, kataloglarından derlenmiştir (URL-1).



Şekil 2.3. Nem uzaklaştırma cihazı (URL-1)

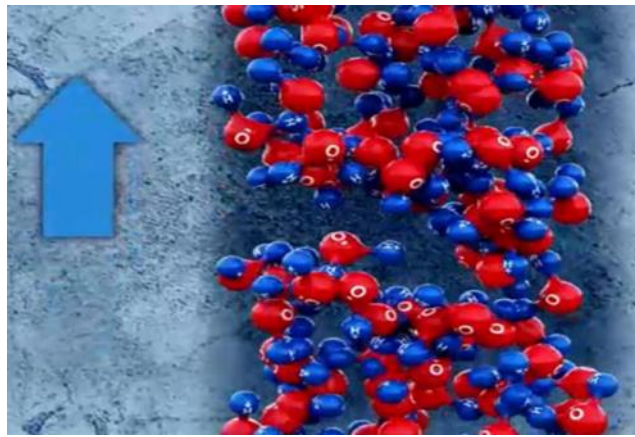
2.2.1. Kapiler Nem İtme Cihazı Sistemi ve Yapı Elemanlarına Etkileri

Kapiler nem itme cihazları, yapıların ömrünü uzatmak, sağlıklı ve güvenli yaşam alanları oluşturmak için geliştirilmiştir. Yapıları tehdit eden en tehlikeli unsurların başında topraktan tırmanan su molekülleri gelmektedir. Su, yapının ömrünü azaltmasının yanında sağlık problemlerine ve sonu gelmeyen tadilat masraflarına sebep olmaktadır. Kapileritenin etkisiyle bina temelinde bulunan suyun binaya tırmanması, problemin temelini oluşturur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Kapilerite etkisi ile yapıya tırmanan su (URL-1)

Yerçekimi kuvvetine rağmen suyun yukarıya doğru tırmanmasının tek sebebi kapileritedir. Yapı elemanlarının içerisinde de birbiriyle irtibatlı milyonlarca kılcal borucuklar bulunmaktadır. Kılcal borucuklar nedeniyle zemindeki su, yapıya sürekli olarak tırmanmaktadır. Toprağın bünyesinde yapıya tırmanabilecek çok miktarda su bulunmaktadır. Yapının tahrip olmasını arttıran ana etken suyun içinde bulunan tuz molekülleridir. Su molekülleri kapiler etkiyle birlikte yapıya tırmanırken toprakta bulunan tuzları da beraberinde taşırlar. Bina taşıyıcılarına ve duvarlarına tırmanan su buharlaşırken, tuz betondaki boşluklar arasında depolanmakta hem de potansiyel farkından dolayı yeni tuzlu suyun tırmanmasına zemin hazırlamaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Su ve tuz moleküllerinin yapıya tırmanması (URL-1)

Donatı çeliğinin ve betonun korozyonu, betonarme yapılarda mali kayıplara ciddi güvenlik risklerine ve çevresel etkiye yol açan çok önemli bir sorundur. Çelik

ömrü boyunca kararlı değildir. Çelik oksitlenme ve orijinal doğasına dönme potansiyeline sahiptir. Betona gömüldüğünde ise betonun yüksek alkaliliği tarafından pasifleştirilerek korozyona karşı dirençli hale gelir ancak topraktaki su yapıya tırmanırken toprakta bulunan tuzu da beraberinde taşır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Yapıdaki çeliğin korozyonu (URL-1)

Klorür ve karbondioksit girişi oluşan bu pasif tabakayı parçalar. Karbon, magnezyum, nitrat ve sülfat benzeri tuzlar beton ile çelik arasındaki aderansın bozulmasına sebep olur ve korozyonu başlatır. Çelik korozyonu, çeliğin kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girmesi sonucu oluşan bozulmasıdır. Ortaya çıkan korozyon ürünü çelikten daha yüksek bir hacme sahiptir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yapıdaki çeliğin nem sonucu paslanması (URL-1)

Bu ürün betonun çatlamasına ve parçalanmasına neden olacak gerilmeler oluşturur. Tuzlu su sonucu sadece çeliğin değil, basma kuvvetlerini taşıyan betonun da

dayanımını düşürür ve beton korozyonu oluşturarak aderans bozulur. Bu durumda deprem yükleri altında yapıların yıkılması kaçınılmaz bir hal alır (Şekil 2.8).



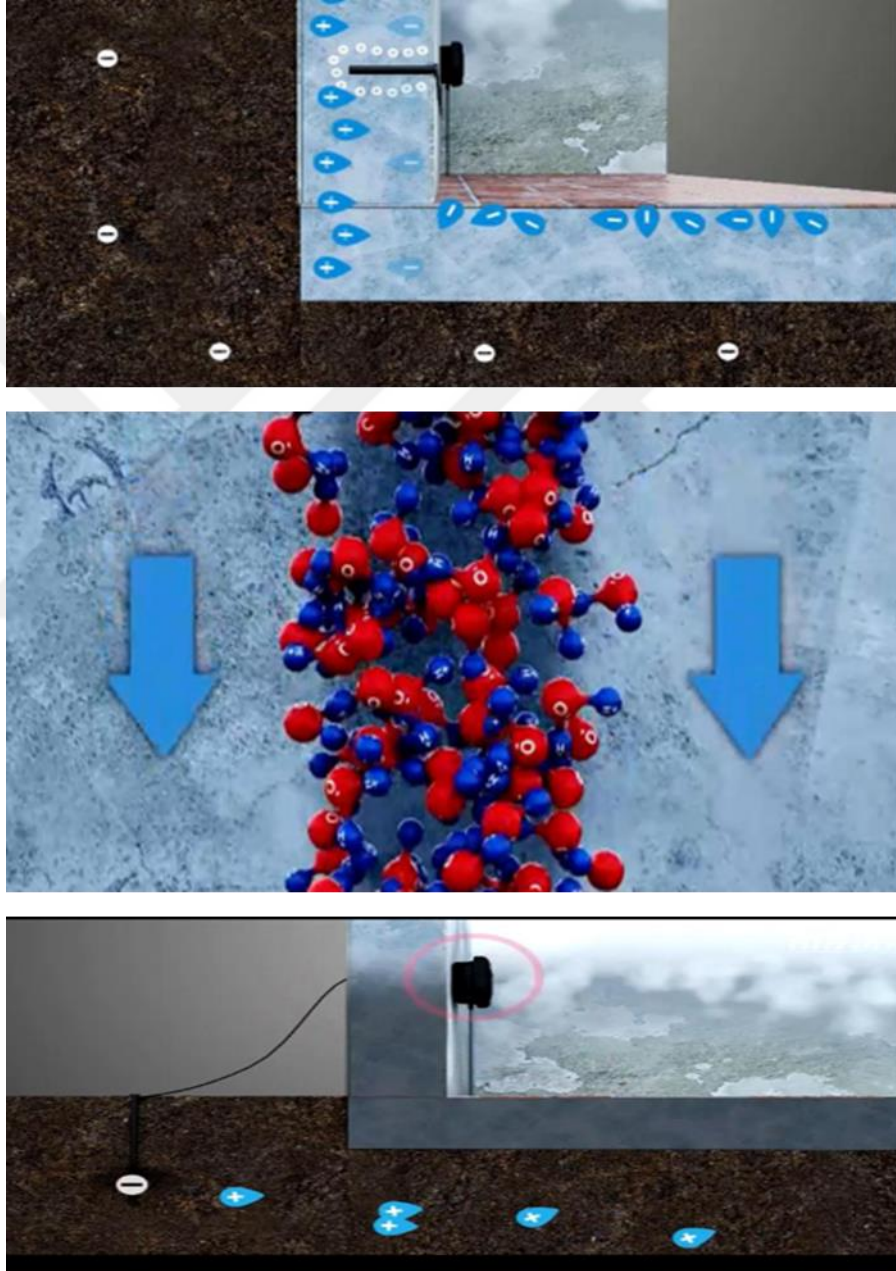
Şekil 2.8. Yapıdaki korozyon sonucu ortaya çıkan ve betona zarar veren ürün (URL-1)

Kapiler nem itme cihazı, kurulumun ardından çalışmaya başlar. Sistem yapıya tırmanmaya çalışan zemin suyunu elektro-osmoz prensibiyle geri iter. Cihazın kurulumun ardından hasta olan yapının iyileşme süreci başlar. Şekil 2.9’da cihaz ve duvarlara konumlandırılan elektrotların temsili görselleri verilmiştir.



Şekil 2.9. Kapiler nem itme cihazının kurulumunun ilk aşaması (URL-1)

Yapının elemanlarının türüne ve kullanım süresine göre belli bir süre içerisinde standartlara uygun bir şekilde kuruma sağlanır. Kuruma sağlandıktan sonra sıva ve boya uygulamaları tekrardan yapılmalıdır. Kapiler etki ile tırmanan tuzlu suyun sebep olduğu kötü kokular sistem çalıştıktan sonra tamamıyla engellenir. Şekil 2.10'da kapiler nem itme cihazı kurutma kurulumu sonrası yapıyı terk eden ve zemine geri gönderilen su ve tuz moleküllerinin temsili görselleri verilmiştir.



Şekil 2.10. Kapiler nem itme cihazı kurutma işlemi sonrası yapıyı terk eden ve zemine geri gönderilen su ve tuz molekülleri (URL-1)

Kapiler etki ile sadece kötü kokulara sebep olmaz ve beraberinde görsel bozukluklara, korozyona, küf ve mantar oluşumuna ve radon gazının insan sağlığına olumsuz etki etmesine sebep olur. Tüm bu negatif etkiler kapiler nem itme cihazının yapıyı kurutmasından sonra sonlanır. Kapiler nem itme cihazı öncesi sık sık tadilat gereken yapı uzun yıllar tadilat gerektirmez. Beton ve çelik arasındaki korozyonun durması sayesinde yapının ömrü uzatılmış olur.

2.2.2. Kapiler Nem İtme Cihazı Projelendirmesi, Kurulum ve Çalışma Prensibi

Elektro-Ozmos prensibine göre çalışan nem itme sisteminin, projelendirme, uygulama aşamaları ve çalışma prensibi aşağıda özetlenmiştir:

2.2.2.1. Analiz ve Değerlendirme

Yapısal sorunların doğru teşhisi ve etkili çözümler bulabilmek için analiz ve değerlendirme süreci büyük bir öneme sahiptir. Bu değerlendirmenin temel hedefi, duvarların durumunu belirlemede çeşitli teknolojileri kullanmaktır. İlk aşamada, duvarın nem içeriği, iletkenlik ve direnç ölçümleri gibi yöntemlerle, duvara zarar vermeden tahribatsız bir şekilde bilgi elde edilir. Bu sayede, yapısal sorunların kökeni anlaşılır ve en uygun çözüm yöntemi belirlenir. Analiz ve değerlendirme süreci, yapısal bütünlüğü koruma açısından kritik bir adımdır, çünkü doğru teşhis, uzun vadeli dayanıklılığı sağlamak için önemlidir.

Analiz 1: Numune alındıktan sonra, tuzların analizi yapılır:

Yarı kantitatif veya fotometrik yöntemlerle belirlenir. Temel inceleme sonrasında, kapiler nem itme cihazının sorunu tek başına çözebilecek mi, buna dair bir değerlendirme yapılabilir. Bu analitik süreç, yapıya özgü tuz sorunlarını belirleyerek uygun çözümleri geliştirmeye yönelik kritik bilgiler sağlar. Bu aşama, etkili bir nem kontrol stratejisinin belirlenmesinde önemli bir adımdır, çünkü yapısal bütünlüğü koruma açısından doğru ve kapsamlı bir analiz gereklidir.

Analiz 2: Kurulumdan sonra farklı ölçüm yöntemleri kullanılır.

Bu adımda, duvardaki nem içeriğini belirlemek için kuru ve ıslak bölgelerin farklı dirençlerinden kaynaklanan ölçüm eksenleri duvara sabitlenir. Ayrıca, duvardaki nemin davranışını izlemek ve düzenli aralıklarla ölçüm yaparak nemin nasıl azaldığını gözlemlemek amacıyla ölçüm eksenleri kontrol edilir. Bu ölçümler, duvarın nem

düzeyinin tam bir anlayışını sağlamak ve etkili bir nem kontrol stratejisi geliştirmek için kritik öneme sahiptir.

Kapiler nem itme cihazı, yapı ve zemin arasındaki ilişkiyi detaylı bir şekilde inceleyen bir sistemdir. Zemin durumu, zemin hareketleri, zemin dayanımı ve yeraltı su seviyesi ile ilgili ölçümler gerçekleştirir. Yapının bodrumundan itibaren taşıyıcı elemanların durumunu görmek amacıyla röntgen çekilir ve donatılardaki korozyon miktarını, olası uygulama hataları incelenir. Ayrıca, kolonlardaki beton kalitesi ve dayanım gücünü belirlenir ve temel betonu ile kolonlara yerleşmiş nem ve tuz miktarları ölçülür. Bu elde edilen bilgiler ışığında, sağlıklı ve güvenli bir yaşam alanı için gereken uygulama adımları belirlenir. Sonuçlar değerlendirilerek, yapının durumuna uygun sistem ve gerekirse ek önlemleri içeren bir rapor oluşturur. Bu raporun içeriğinde aşağıdaki hususlar yer alır:

- Temel hedef, yapının mevcut durumunu açığa çıkarmaktır. Zemin durumu, zemin hareketleri ve yeraltı su seviyesiyle ilgili ölçümler gerçekleştirilir. Donatılardaki korozyon miktarı, uygulama hataları, kolonlardaki beton kalitesi ve dayanım gücü belirlenir.
- Yapıda nemle ilgili görsellerin kaydedilir.
- Nem yoğunluğunun belirlendiği noktalardan ilk ölçümler alınır.
- Yapı projesinin oluşturulması veya mevcut projede sistemin montaj planının çizilir.
- Teklif hazırlanır ve kullanıcılara sunulur.
- Hazırlanan rapor ve bütçe doğrultusunda, uygulama ile ilgili karar değerlendirilir.

2.2.2.2. Sistemin Yapıya Uygulaması

Kapiler nem itme cihazının kullanımıyla birlikte, yapının kurumasının sağlanması ve bu kuru durumun sürekli olarak korunmasına yönelik güvence sağlanabilmektedir. Nem, küf ve rutubet sorunlarına karşı etkili bir çözüm sunabilen bu cihazlar, kullanılmayan alanları yaşanabilir hale getirebilmektedir. Aynı zamanda, yapının ömrünü uzatma ve değerini arttırma avantajları da oluşabilecektir. Kapiler nem itme cihazları, nemin yapının içine sızmasını önleyerek sağlıklı bir iç mekân ortamı oluşturabilir. Bu da yapının dayanıklılığını artırır ve uzun vadede bakım maliyetlerini azaltacaktır. Yapıdaki nemi etkili bir şekilde kontrol etmek, konforlu ve güvenli bir yaşam alanı sağlar. Bu nedenle, kapiler nem itme cihazları, yapıların nemle

m¼cadelesinde ¼nemli bir rol oynayarak, yapı sahiplerine bir dizi avantaj sunabilmektedir.

Yapının duvarları, nem ve tuzların sünger gibi suyu toplamasına benzer bir şekilde duvara nüfuz eder. Artan nem, duvar ve zemin arasındaki doğrudan temas nedeniyle ortaya çıkar. Eski yapılar için bu durum tipiktir, ancak yeni yapılar yapısal kusurlar nedeniyle kilitleme eksikliğinden muzdarip olabilir. Gözenekli yapı malzemeleri, suyu sünger gibi emer. Zemindeki tuzlar suda çöz¼l¼r¼k duvarın içine suyla birlikte taşınarak karışır. Yıllar geçtikçe, duvarın içinden yüzeye doğru hareket eden ve biriken bir tuz taşınması söz konusudur.

Duvar nemi, duvar yüzeyinde buharlaşır ve tuz kristallerini geride bırakır. Bu tuz birikimi, sıva ve duvarın kimyasal olarak ayrışmasına neden olabilir, hatta yapı dokusunu tahrip edebilir. Bu sorunun kalıcı çöz¼m¼, dışarıya atılmış tuzun temizlenip boyanması değildir, çünkü duvarın içindeki tuzlar tekrar yüzeye çıkacaktır. Nem itme cihazı sistemi, duvarın içindeki tuzları toprağa geri göndererek duvarı nem ve tuzdan arındırır, kalıcı bir kuruluk sağlar.

Kapiler nem itme cihazı kurulduktan sonra, yapının nem ve tuzdan arındırma işlemi başlar. Hasarın kesin teşhisi ve ölç¼m noktalarının belirlenmesinden sonra, kapiler nem itme cihazı kurulur. Duvar üzerinde birkaç dön¼ştürülebilir elektrot kullanılır. Bu elektrotlar, kapiler nem itme cihazı kontrol ünitesi aracılığıyla toprağa yerleştirilmiş veya mevcut elektrik sistemindeki topraklama hattına bağlanarak bir referans elektrotla birleştirilir.

Yapının aktif tuzdan arındırılması ve nem alma işlemi, harici bir elektrik gerilimi uygulanarak çalışır. Kapiler nem itme cihazı, tuz taşınmasını kontrol eden ve elektro-ozmos olarak adlandırılan bir yöntemle kılcal sıvı taşınmasını engelleyen elektrik potansiyelleri oluşturur. Düzenli ölç¼mlerle duvarlardaki nem miktarları düzenli olarak kontrol edilir.

Kapiler nem itme cihazları, nemin tekrar içeri girmesini önleyerek sürekli bir bariyer oluşturur. Başarılı bir nem alma ve tuzdan arındırma işleminden sonra, kapiler nem itme cihazının yapıda kalmaya ve çalışmaya devam etmesi gereklidir. Duvar ve zemin arasında doğal bir bariyer olan potansiyel bariyer, kapiler nem itme cihazının duvarların kuru kalmasını garanti etmesini sağlar.

2.2.2.3. Sistemin Çalışma Prensibi

Kapiler nem itme cihazı, temelinde geliştirilen yazılım ile tamamen akıllı bir otomasyon sistemine sahiptir. Nem ve tuz moleküllerini, hiçbir sıva ve boya benzeri inşaat çalışması gerektirmeksizin, geldikleri yoldan binanın en dışına, yani temelin çok ötesine üzere iter. İlk hız vermek için kullandığı ~2 volt enerji, binada stres oluşturan statik elektriksel kararsızlığı da önler. Kapiler nem itme cihazı, analiz ve değerlendirme çalışmalarından sonra binaya özel dizayn edilen ana kumanda merkezi ve sistem komponentlerini iki saat içinde yapıya monte edilmiş olur. Artık koruma süreci başlamıştır.

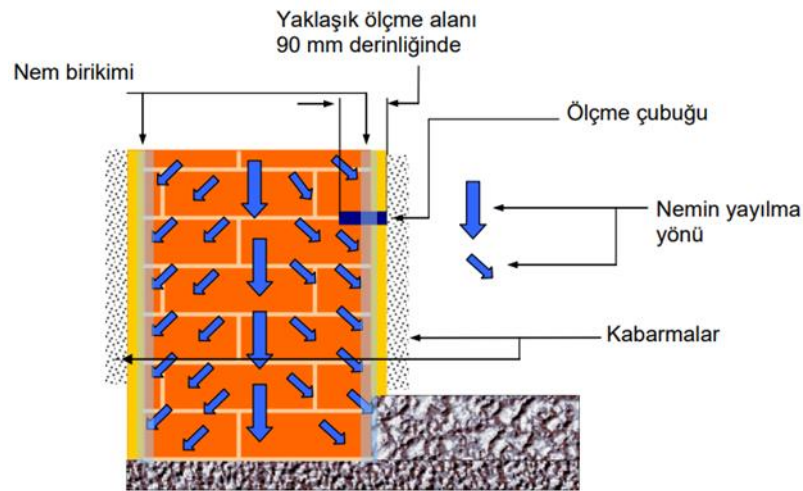
Kapiler nem itme cihazı bir yapı kimyasalı değildir. Hiçbir inşaat çalışmasına, tadilat ve tamirata, fiziksel izolasyona ihtiyaç duymaz. Kapiler nem itme cihazı, radyo dalgası enerjisini kullanarak su moleküllerini geldiği yöne doğru itmeye dayalı bir otomasyon sistemidir. Yapının toprak alana temas eden duvarlarının yükünü, topraktaki mineralli su ile aynı yöne getirir. Aynı kutupların birbirini itme prensibinden hareketle, betonun içine yerleşmiş nem, geldiği boşluktan uzaklaştırılır.

2.2.2.4. Ölçüm ve Değerlendirme

Sistem kurulumundan sonra, ara-ara nem ölçümlerinin alınarak geriye dönük kıyaslamaların yapılması önemlidir. Bu ölçümler, müşteri veya vekilin bilgisi dahilinde gerçekleştirilmelidir. Servis anlaşmasına uygun olarak, bundan sonraki kontrol ölçümleri ve bakım taahhütleri zamanında eksiksiz bir şekilde yerine getirilmelidir. Bu süreç, sistem performansını sürdürmek ve olası sorunları önceden belirleyerek çözümlmek açısından büyük bir öneme sahiptir.

2.2.3. Duvar Neminin Uzaklaştırılması Süreci

Duvarlardaki nemin uzaklaştırılması sürecinde su dışarı çıkmak için en kısa yolunu arar. Duvar neminin yaklaşık üçte ikisi duvar yüzeyinde buharlaşırken, geri kalan kısmı toprağa geri döner (Şekil 2.11). Özellikle geniş duvarlarda, yüzeydeki buharlaşma miktarı, toplam su birikiminden daha fazla olabilir. Bu nedenle, geniş duvarlarda ilk aylarda nem uzaklaştırma ölçümlerinin sınırlı olabileceği gözlemlenebilir. İyi ve doğru bir havalandırma, buharlaşma sürecini hızlandırarak duvarın daha hızlı kurumasına yardımcı olur. Genelde azalmanın istikrarlı hale gelmesi, başlangıçta görülen sınırlı azalmanın ardından yaklaşık üç ay sonra beklenir. Kabarmalar, su akışının ve buharlaşmanın bir işareti olarak ortaya çıkabilir. Kabarmaların sıkça temizlenmesi, suyun duvarda nasıl hareket ettiği ve buharlaştığı konusunda bilgi sağlayabilir. Geniş duvarlarda derinlik ölçümü, duvarın ortasında gerçekleştirildiğinde, azalmanın nerede olduğu daha kesin bir şekilde tespit edilebilir. Duvarın derinlik ölçümü için yerleştirilen ölçme çubukları, genellikle en fazla 100 mm'lik duvar derinliğinde ölçüm yapabilirler. Bu, dışarı sızan suyun en yoğun toplandığı yerde tüm ölçümlerin gerçekleşeceği anlamına gelir. Bu ölçümler, duvarın içerisindeki su hareketini ve dağılımını anlamak adına önemlidir. Uzaklaştırma sürecinin etkili bir şekilde yönetilmesi için düzenli olarak ölçümler yapılmalı ve kabarma gibi belirtiler izlenmelidir. Ayrıca, bu süreçte iyi bir havalandırma sağlamak, duvarın kuruma sürecini hızlandırarak yapısal sağlığı korumada önemli bir rol oynar. Uzaklaştırma sürecinin izlenmesi ve doğru müdahalelerin yapılması, bina sağlığını uzun vadeli olarak sürdürmek için kritiktir.



Şekil 2.11. Duvar neminin uzaklaştırılması süreci (URL-1)

2.3. Literatür Taraması

2.3.1. Nem Kavramı ve Kapiler Su Emme Katsayısı

Malzemeler arasındaki etkileşimler ve kendi içerisindeki özelliklerin zamanla kaybolmasından dolayı, uzun süre önce inşa edilmiş yapılar zaman içinde tahribatlara uğrayabilir. Bu tahribatlar ve dış etkenlerin minimum seviyede tutulması, bir yapının uzun ömürlü olması açısından büyük önem taşır. Bireylerin veya toplumların gösterdiği önem, bu yapıların sürdürülebilirliği ve korunmasına yönelik çabalara dayanmaktadır. Geçmiş medeniyetlerin izlerini sürmek için ise genellikle onlardan geriye kalan yapıları incelemekteyiz. Bu yapılar, tarih boyunca yaşamış toplulukların kültürlerini, mimari anlayışlarını ve teknolojik becerilerini yansıtarak geçmişle bağlantı kurmamıza olanak tanır. Bu nedenle, geçmiş yapıların korunması ve restorasyonu, kültürel mirasın sürdürülebilir bir şekilde gelecek nesillere aktarılmasını sağlar (Ustaoglu ve Bektaş, 2022).

Zemindeki yükselen nemle mücadele etmek için son yüzyılda çeşitli malzemeler ve teknolojiler önerilmiştir. Bu yöntemler, mimari mirasın korunmasında en önemli sorunlardan biri olan yükselen nemle başa çıkmak için farklı işletme prensiplerini ve stratejilerini içerir (Franzoni, 2018). Tüm bu maddelerle birlikte nem kontrolü, uzun vadede binaların servis ömrünü ve enerji etkinliği performansını sürdürülebilir kılmaktadır (Esmailpour, 2011).

Herhangi bir transfer sürecinin gerçekleşebilmesi için bir kuvvet veya potansiyel farklılık gerekir. Sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transferi (Fourier kanunu) ve gerilim farkından kaynaklanan elektron transferi (Ohm kanunu), bu genel ilkenin bilinen örnekleridir. Nem transferi de bu temel kurala uygun bir şekilde meydana gelir. Genellikle, nemin yoğun olduğu ortamdan yoğun olmayan ortama doğru bir nem transferi gerçekleşir; bu durum zemin ile yapı arasında da geçerlidir. Zeminler, sıvı haldeki zemin sularını ve bu suların buharlaşması sonucu oluşan gaz (buhar) halindeki zemin sularını içeren nem transferini yapıdan zemine doğru gerçekleştirir (Gönül ve Çelebi, 2003). Yapı tasarımcılarının, uygulayıcılarının sonrasında kullanıcıların bu etkilerden dolayı oluşabilecek sorunlarla karşılaşmamaları amacıyla ya da karşılaştıkları sorunların çözülmesi ve çözümleme aşamalarında sorunların nedenlerine dikkat etmeleri gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Yavan, 2017). Bu nedenle, kapiler yükselme kinetiğini incelemek, binaların davranışını anlama ve

dayanıklılıklarını artırma konusunda çok faydalı olabilir, böylece hizmet ömürlerini uzatmaya katkıda bulunabilir (Karagiannis et al., 2019).

Su, tavan, taban veya yan yüzeylerden yapı içine nüfuz ederek yapı malzemesinin nem içeriği ve sıcaklığını değiştirir. Bu değişim, malzemede hacimsel deformasyonlara, özellikle büzölmeye ve şişmeye neden olur. Isıanmayla oluşan deformasyon oranları, normal yoğunluktaki betonda %0.03, mermer ve kireçtaşında %0.001, kumtaşında ise %0.07'dir. Bu hacimsel deformasyonlar, zamanla malzemede mikro çatlaklara yol açabilir. Oluşan mikro çatlaklardan su girişı, yapı malzemesinde hareketi kolaylaştırabilir. Özdemir tarafından yürütölen çalışmada, kapiler su emme deneylerinde, 2cm x 5cm x 10 cm prizmatik örneklerin en büyük yüzeyleri (50cm²), 24 saat boyunca suyla temas ettirilerek su emme değeri ölçölmüştür. Kurutulmuş örnekler üzerinde yapılan deneylerde, su emmeyle oluşan örnek kütle-si-zamanın karekökü grafiğıyle, su emmenin sabit kaldığı zaman (t) ve buna karşılık gelen örnek kütle-si (M) belirlenmiştir. $M = A \cdot t^{0.5}$ formölüne göre, kapiler su emme katsayısı yüksek olan yapı malzemelerinde kütlece kapiler su emme değeri yüksek; kapiler su emme katsayıları ile kütlece su emme değeri arasındaki fark yoğun malzemelerde daha az, hafif yapı malzemelerinde ise daha fazla olarak gözlemlenmiştir (Özdemir, 2012).

Torres ve Feritas yaptıkları çalışmada, yapıların yüzeyleri ile su arasındaki teması önlemek mümkün olmadığından, duvarların tabanında su buharlaşma koşullarını iyileştiren ve su seviyesini daha düşük bir oranda azaltan bir higro-regöle mekanik havalandırma sistemi önermişlerdir. Bu yeni tekniğın deneysel doğrulaması, laboratuvarında, iki üst tarafı su geçirmez olan ve bu yönde neme karşı koruma sağlamak amacıyla 0,01 m kalınlığında kireç harcı derzleri bulunan 0,30 m x 0,20 m x 2,00 m ölçülerinde kalker levhalardan oluşan duvarları olan, 1,58 m x 2,00 m x 0,20 m ölçülerindeki prizmatik bir sistem modeli kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, duvarların özellikleri ve sınır koşullarının tanıtıldığı simölasyonlar aracılığıyla sayısal olarak doğrulanmıştır. Diğer doğal taş türleri veya farklı kalınlıklarda yapılmış duvarların nem içeriğindeki değışiklikleri değeriendirmek ve duvar kalınlığı ile kompozisyonunun duvar tabanının havalandırma verimliliğı üzerindeki etkisini bulmak için sayısal simölasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Malzemelerin özelliklerinin etkisiyle ilgili olarak, en önemli parametre suyun emilme katsayısı olduğunu belirtmişlerdir. Bu beklenen bir durumdur çünkü bu parametre, inşaat malzemeleri içinde sıvı fazdaki suyun hareketini en iyi şekilde tanımlayan parametredir. Suyun emilme katsayısı arttıkça, kuşkusuz ki kapiler yükselmenin

arttığını, ancak tedavi sisteminin verimliliğinin büyük ölçüde değişmediğini vurgulamışlardır (Torres ve Freitas, 2010).

Çitiloğlu nemin yapılardan uzaklaştırılması için çeşitli yöntemleri tartışmıştır. Ancak, ülkemizde ve dünya genelinde yapılarda yapılacak olan tadilatlarda bina dış kabuğunun binanın enerji ve dayanım performansını olumsuz etkileyecek değişiklikler yasaklanmıştır. Bu yasağın birçok ülkede uygulanması tarihin eserlerin ve mimari dokunun korunmasını sağlamıştır (Çitiloğlu, 2019).

Kapiler nem emme katsayısıyla alakalı literatürde yer alan diğer çalışmalar:

Doğal taşta su geçirgenliğini değerlendirmenin en iyi yollarından biri kılcal su emmedir (Peruzzi, v.s., 2003). Yüksek gözeneklilik nedeniyle su emilimi ve suyun kılcal emilimi birçok doğal taşın fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Kılcal hareketle emilen su, soğuk iklimlerde donarak buza dönüşür. Buz kristallerinin büyümesi ve hacminin artması nedeniyle gözeneklerde basınç oluşur ve kayanın mukavemeti önemli ölçüde azalır. Bu aynı zamanda doğal taşlara su ile nüfuz eden tuzların kristalleşmesi için de geçerlidir (Tomašić, v.d., 2011).

Doğal yapı taşlarının kılcal suyu absorbe etme özelliği üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Tomašić v.d. iki farklı tipte kireç taşı kullanarak türbülanslı sularda kılcal su emilimini test etmiş ve taşın yapısal özelliklerinin kılcal su emilimini artırabildiğini veya azaltabildiğini raporlamışlardır (Tomašić, v.d., 2011). Mosquera v.d. üç farklı granit çeşidinin kılcal su emme kapasitesinin $0,24 - 1,24 \text{ kg/m}^2\text{s}^{0,5}$ aralığında değiştiğini bulmuşlardır (Mosquera v.d., 2000).

Lu vd. yürütmüş oldukları çalışmada, kapiler nem emme katsayısının tayini için iyileştirilmiş bir sürekli ölçüm metodu geliştirmişlerdir. Bu yöntemi, kesikli ölçüm prensibine dayanan geleneksel ölçüm yöntemiyle kıyaslamıştır. Önerdikleri yöntem ile, standart yönteme göre, daha hassas ve tekrarlanabilir ölçüm yapılabildiğini belirtmişlerdir (Lu vd., 2020).

Çelik ve Sert hem kültürel mirasların hem de modern binalarda yapısal problemlere yol açan ve yaygın olarak görülen su emilimi ve tuz kristalleşmesi üzerine çalışmışlardır. Bu bağlamda Afyonkarahisar yer alan antik Döğler bölgesindeki tuf malzemenin su emilimi üzerine inceleme yapmışlardır. Bu amaçla, farklı tuzlarda ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaCl , ve KCl) ve konsantrasyonlarda (2, 5, 10 ve %14) kimyasal, mineralojik (polarizasyon mikroskobu, XRD, SEM analizleri ve gözenek boyutu dağılımı) ve fiziko-mekanik özelliklerinin analizleri yapılmıştır. Ayrıca bu malzemelerin kılcal su emme deneyinde bozulma davranışları incelenmiştir.

Döğer tufünün kılcal emme değerleri tüm tuz ve konsantrasyon oranlarında 3 kg/m²'den büyük olup bu nedenle güçlü bir kılcal su emme özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre numunelerde bazı fiziksel ve mekanik değerlerin azaldığı görülmüştür (Çelik ve Sert, 2021).

Çelik ve Yılmaz, Afyonkarahisar bölgesinde yapı taşı olarak bulunan farklı tuf türleri (Seydiler, Ayazini ve andezit) için, asidik, tuzlu ve statik şartlarda kapiler su emme özelliklerini tayin etmek için deneysel karakterizasyon çalışmaları yürütmüşlerdir. Deneysel sonuçlara göre; Seydiler tüfleri için nem emme katsayısı 7,05 – 9,30 kg/m²s^{0.5} aralığında iken, bu değer Ayazini ve Andezitlerde sırasıyla 21,18 – 22,46 kg/m²s^{0.5}, 21,18 – 22,46 kg/m²s^{0.5} olarak elde edilmiştir. Ayrıca, asidik ortamlarda en yüksek su emme katsayısının elde edildiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen diğer önemli bir çıkarım ise, her üç malzemenin de kapiler su emme katsayısı 3,0 kg/m²s^{0.5} değerinden büyük olduğu için, güçlü kapiler su emme potansiyeli yüksek olan malzemeler olarak değerlendirilebileceğidir (Çelik ve Yılmaz, 2018).

2.3.2. Yapı Malzemesinin Kapiler Su Emme Durumuna Etkisi

Basit bir günümüz yapıları, tarihi eserlere oranla nem düzenleme konusunda başarılı olabilir, ancak ani nem yüklemesine tepkiyi temsil etmede daha az başarılıdır. (Barclay v.d. 2014). Zaman içinde kullanılan birçok doğal taş, atmosfer etkilerinden daha fazla ya da daha az etkilenebilir. Su, tek başına veya diğer çevresel etkilerle birleşerek, yapı malzemeleri üzerinde önemli bir bozulma faktörüdür. Doğal yapı taşlarında ayrışmayı hızlandıran birçok kimyasal reaksiyonun temel nedeni genellikle sudur. Mikro çatlaklar ve boşluklar, suyun taşınmasına ve yer değiştirmesine neden olan etmenleri ortaya çıkarabilir; bu da su emilimi, kılcal su emilimi, organizmaların gelişimi, tuz taşınması ve kristalleşmesi gibi bozunmayı hızlandırıcı faktörlerdir. Doğal taşların yapı malzemeleri olarak kullanılması, zemin veya yüzey suları ile temas ettiğinde, gözeneklilik özelliklerine bağlı olarak su emme eğilimi gösterebilir. Bu olay, doğal taşın içindeki gözeneklerin kontrol ettiği kılcal emme kuvveti ile ilişkilidir. Kılcal su emme olayı, doğal taşın gözenek sisteminin geometrisine, büyüklüğüne ve gözeneklerin birbiri ile bağlantılı olup olmamasına bağlı olarak, akışkan sıvının yüzey gerilimi ile gözenek duvarının emme kuvveti arasındaki denge ile gerçekleşir. Doğal taşların su içine nüfuz etme yeteneğini değerlendirmenin bir yolu, kılcal su emme potansiyelidir. Yüksek gözeneklilik ve kılcal su emilimi, birçok doğal taşın fiziksel ve

mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilir. Kılcal emilim etkisiyle emilen sular, soğuk iklimlerde donarak taşın dayanımını önemli ölçüde azaltabilir. Bu durum, su ile birlikte doğal taşların içine giren tuzların kristalleşmesi için de geçerlidir (Çelik ve Yılmaz, 2017). Basit bir günümüz yapıları, tarihi eserlere oranla nem düzenleme konusunda başarılı olabilir, ancak ani nem yüklemesine tepkiyi temsil etmede daha az başarılıdır (Barclay ve Holcroft, 2014).

Tüm bu bilgiler ışığında nem sorununa karşı günümüz yapılarında ve tarihi eserlerde çözüm önerilerini incelenmesi gerekir. Sürdürülebilir mimarlık yaklaşımı, yapı sektörü kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasında en önemli stratejilerden biri olarak görülmektedir. Bu yaklaşımın, yapısal olarak ve çevreye dost uygulanmasına yardımcı olan çeşitli yöntem ve araçlar bulunmaktadır (Duru ve Koç, 2021). Tarihi yapıların işlevsel sistemlerin hem kullanıcı hem onarımları yapan ekipler tarafından tanınmaması, yapının özenli kullanılmaması, bu sistemlere zarar verilmesi ya da çalışmasını fark etmeden bile olsa önleyecek durumların oluşması gibi sebeplerden nem problemi oluşabilmektedir (Eroğlu ve Halaç, 2022).

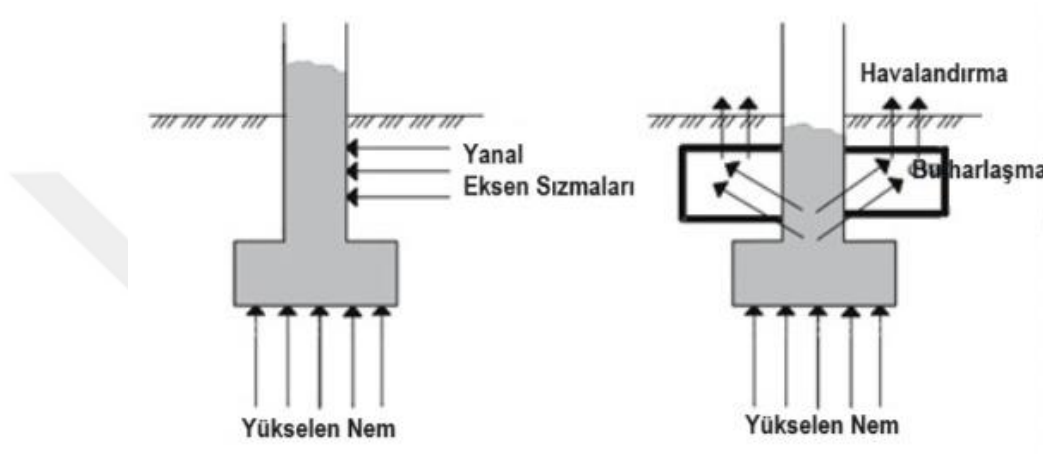
2.3.3. Yapılarda Nem Sorunu ve Çözüm Önerileri

Son yüzyıl içinde, binaların nemden korunması çok daha etkili hale gelmiş ve iç mekân konforuyla ilgili genel beklentiler değişmiştir. Duvarlardaki yüksek nem seviyeleri kabul edilemez olarak kabul edilir ve birçok onarım sistemi, yükselen nemle başa çıkmak için önerilmiştir. Ancak, bu sistemlerin yaygın olarak kullanılmasına rağmen ve dünya genelinde birçok binada uygulanmasına rağmen, bunların gerçek tuğlada nasıl çalıştığını ve başarı veya başarısızlık oranlarını anlama konusunda derin bir anlayışa henüz ulaşamadık. Bu nedenle, bu onarım sistemlerinin işleyişini, etkinliğini ve sınırlamalarını, aynı zamanda sahada başarı veya başarısızlık nedenlerini sağlayan deneysel sonuçlara olan güçlü bir ihtiyaç hala devam etmektedir (Franzoni, 2018).

2.3.3.1. Duvar Tabanının Havalandırılması Yöntemi

Bu yöntemde, bütün dış duvarların iç yüzeyine ve iç duvarların her iki yüzeyine bir mekanik havalandırma sistemi (Şekil 1) yerleştirilir. Duvarların tabanına 0.20 x 0,20 m ölçülerinde delikli bir boru eklenir. Hava dolaşımı, iki bağıl nem ve sıcaklık probu, iki bağıl nem ve sıcaklık vericisi, bir kontrol modülü ve veri toplama sistemi içeren bir higro-regüle mekanik sistem tarafından garanti edilir. Problardan biri dış

hava giriş ızgarasının yanına, diğeri ise havalandırma borularının içine yerleştirilir. Her prob, bir bağıl nem ve sıcaklık vericisine bağlanmıştır. Vericiler, iki prob tarafından verilen verileri karşılaştıran ve emiş cihazını etkinleştirip devre dışı bırakan bir kontrol modülüne bağlıdır. Kontrol modülü iki kritere göre çalışmaktadır: (1) Eğer dış hava, borulardaki havadan daha yüksek bir bağıl nem gösteriyorsa, sistem devre dışı bırakılır. (2) Eğer dış hava, borulardaki havadan daha düşük bir bağıl nem gösteriyorsa, sistem etkinleştirilir (Torres ve Feritas, 2010).



Şekil 2.12. Duvar tabanının periferik havalandırma sistemi prensibi (Torres ve Feritas, 2010)

2.3.3.2. Gravimetrik (Fırınlayarak Kurutma) Yöntemi

Gravimetrik yöntem (fırınlayarak kurutma), malzeme nem içeriğini belirleme konusunda en kesin tanımlama yöntemidir. Gravimetrik test, nem sorununun kılcal nemden mi yoksa hidroskopik nemden mi kaynaklandığını belirleyebilir. İşlem, bir agrega örneği almayı, onu tartmayı, uygun bir sıcaklıkta (100 °C) fırında sabit ağırlığa kadar kurutmayı ve ardından tekrar tartmayı içerir. Nem, malzemenin fırın-kuru ağırlığına göre kurutma ile elde edilen ağırlık kaybı olarak yüzde olarak ifade edilir. BRE Digest 245'te belirtilen yöntem, gravimetrik test için bir kılavuz olarak hizmet eder. Analiz için prosedür şu şekildedir (Pratiwi v.d., 2020):

i. İncelenecek örnekler, nem hasarı seviyesinin en az 30 cm yukarısındaki bir duvardan alınmalıdır.

ii. Örnek, duvarın merkezine kadar olan 30 cm'lik bir merkez etrafındaki bir harç yolunda delme yoluyla alınmalıdır. İç örneğin sıklıkla alçı ve harçtan kaynaklanan örnekleri analiz etmek istenildiğinden, iç örneğin dışındaki örneğin alınması önerilir.

iii. Örnek, düşük hızda delme yaparak, çapları yaklaşık 0,9 ila 1,5 cm olan delikler oluşturularak elde edilir. Örnekler, hava geçirmez bir kapta toplanır ve örnek pozisyonlarının detayları kaydedilir.

iv. Toplanan örnek laboratuvara götürülür. Yaklaşık olarak 2 gramlık örnek hassas bir şekilde tartılır (W_w), ardından en az 12 saat boyunca %75 nem oranına sahip bir konteynırda maruz bırakılır. Yeniden tartılma ($W_{75\%RH}$) sonrasında örnek, fırında 100 °C'ye kadar kurutulur, ardından tekrar tartılır (W_d). Hesaplama prosedürü şu şekildedir (Pratiwi ve Putri, 2020):

$$\text{Hidrokopik Nem İçeriği: \%75 RH (HMC)} = \frac{100 W_{75} - W_D}{W_{75} - W_0} \times \% \text{ Islak Ağırlık}$$

v. Bu hesaplamanın ardından toplam nem içeriği hesaplanır (TMC):

$$\frac{100 W_w - W_D}{W_w - W_0} \times \% \text{ Islak Ağırlık}$$

vi. Nem türünü belirlemek için gravimetrik yöntemin yorumu ise şu şekildedir;

* Eğer $HMC > CMC$ ise, bu kılcal veya yükselen nem olmadığını doğrular.

* Eğer $CMC > HMC$ ise, bu kılcal veya yükselen nem olduğunu doğrular.

Ayrıca, yükselen nem tedavisi uygulanan duvarlar, yüzey neminin buharlaşma soğutmasındaki azalmadan dolayı kontrol örneklerine göre daha sıcaktır (Zhang ve Rirsch, 2021). Bununla paralel olarak, kondensasyon veya buharlaşma sürecinin bir sonucu olarak duvarın iç yüzeyinde salınan veya emilen enerji için aylık değerler hesaplandığında dış duvarlardaki çeşitli kaplama katmanlarının, kullanımın ilk birkaç yılında bina enerji performansı üzerindeki teknolojik nem kurumasının etkisini Pratiwi'nin hesaplamalarıyla doğrudan ilişkili olduğu görüldü (Gawin ve Kosny, 2016).

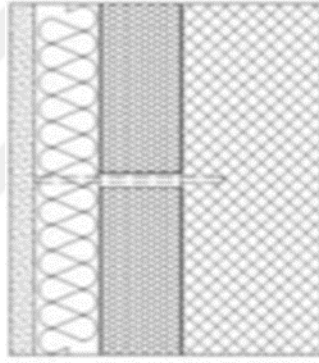
2.3.3.3. Vakum Yalıtım Panelleri Yöntemi

Yapılarda ki ısı kayıplarının, binaların duvarları, zeminleri ve çatıları aracılığıyla azaltılması, enerji kullanımını azaltma çabalarının bir parçası olmalıdır, bu da çevre ve ekonomiye faydalı olacaktır. Eğer geleneksel yalıtım malzemeleri kullanılacaksa, bunun sonucunda iklim kabuğunun kalınlığında önemli bir artış olacaktır. Örneğin, İsveç'teki bir evin pasif ev standartlarını karşılaması gerekiyorsa, duvarda 0.10 ($W \cdot m^{-2} K^{-1}$) U-değerini karşılamak için 330 mm'den fazla bir yalıtım kalınlığına sahip olması gerekecektir. Bu nedenle, önemli bir yaşam alanı kaybına

neden olabilir ve mimari olanaklar üzerinde kısıtlamalar getirilebilir. Yenileme açısından, genellikle binanın iç kısmında yeterli alan bulunmaz ve dış yalıtım uygulaması cephenin mimari değerlerini tehdit edebilir ve detaylar açısından sorunlar yaratabilir. Kesim ve dolgu işlemlerini dengeleme baskısı arttıkça, bu teknik yüksek kaliteli vakum malzemesi ithal etme ve düşük kaliteli malzemelerden kurtulma ihtiyacını ortadan kaldırdığından önemli fayda sağlayabilir. (Jone BARCLAY s, 2004)

Panellerin bir araya geldiği boşluktaki malzemenin ısı iletim katsayısı tarafından nasıl etkilendiği ve ayrıca ısı akışının bitişik yalıtımın ısı iletkenliği ve bağlantı elemanlarının ısı iletkenliği tarafından nasıl etkilendiği daha ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir. Ayrıca duvar yapısındaki nem dağılımı ve bağıl nem, uzun süreli aşırı koşullara maruz kalma ve referans kabul edilen iklim için de araştırılmaktadır.

Gudmundsson ve Karami, hem nem hem de ısı bariyeri oluşturması açısından kompozit bir panel yapısı önermiştir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Mevcut yapının yeniden düzenlenmesi için önerilen teknik çözümün dikey kesiti (Gudmundsson ve Karami, 2013).

Ayrıca, önerilen teknik çözümün ısı ve su buharı geçirgenliği Tablo 2.1'deki malzeme özellikleri kullanılarak elde edilmiştir. Panellerin bir araya geldiği yerlerde termal iletkenliği göreceli olarak düşük bir malzemenin kullanılması, yapısal üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yan yalıtım tabakasının termal iletkenliği, ısı akışı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir, ancak bağlantı elemanları için malzeme seçimi, sonuçta elde edilen üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip değildir. Yapının nem performansı, malzemede adsorpsiyonu ve yüksek nispi nemde artan nem taşınımına izin veren geçici bir difüzyon modeli ile değerlendirilmiştir. Bağıl nemin bir hesaplaması, vakum yalıtımının duvarın dışına yerleştirilmesinin yapıya nem sorunu oluşturmadığını

göstermektedir. Ayrıca, panellerin birleşim yerlerinde yüksek bağıl nem riski olmadığı gösterilmiştir. (Gudmundsson ve Karami, 2013).

Tablo 2.1. Malzeme katmanları, termal iletkenlik ve su buharı geçirgenliği
(Gudmundsson ve Karami, 2013)

Malzeme Katmanı	Kalınlık (mm)	Termal İletkenlik ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Su Buharı Geçirgenliği ($10^6 m^2 \cdot s^{-1}$)
Sıva (Rendering)	15	1,0	1
Mineral Yün	45	0,04	20
Çekirdek (Core)	50	0,005	20
Zarf (Envelope)	0,0003	200	$1,1 \times 10^{-5}$
Paneller Arası	50	0,1	20
Malzeme			
Hafif Agregata	160	0,14	4
Beton			
Paslanmaz Çelik	20	-	-
Civata (Çapı 5mm)			
Bağlantı Noktası	-	0,02-0,1	-
Mineral Yün	-	0,02-0,04	-

3. KAPİLER NEM İTME SİSTEMİNİN PERFORMANSININ İNCELENMESİ: GÜL CAMİ UYGULAMASI

3.1. Yöntem

Bu çalışmada, elektro-osmoz yöntemiyle çalışan kapiler nem kurutma sisteminin, Gül Cami'ne uygulanması sonucu elde edilen veriler doğrultusunda sistemin performansı incelenmiş ve yapıda gerçekleşen değişimler analiz edilmiştir. Bu yöntemle, caminin yapı elemanlarında ve duvarlarında bulunan kütleli su ağırlığının değişimi ispatlanmış, sistem uygulanması sonucu kütleli suyun yapıdan uzaklaştırılmasıyla birlikte duvarlardan iletimle ısı kaybı/kazancına bağlı olarak yapının enerji tüketiminde önemli miktarda azalma tespit edilmiştir.

3.1.1. Yapının Kısa Tarihçesi

İnşa tarihi kesin olarak bilinmeyen yapı aslen Bizans kilisesi iken fetihten sonra bir müddet tersane deposu olarak kullanılmış, Sultan II Bayezid-i Veli zamanında camiye çevrilmiştir (Şekil 3.1). Sultan II. Selim zamanında minare ilave edilmiş ve diğer ihtiyaçları karşılanmıştır (TDV İslam Ansiklopedisi, 1996).



Şekil 3.1. Gül Cami (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)

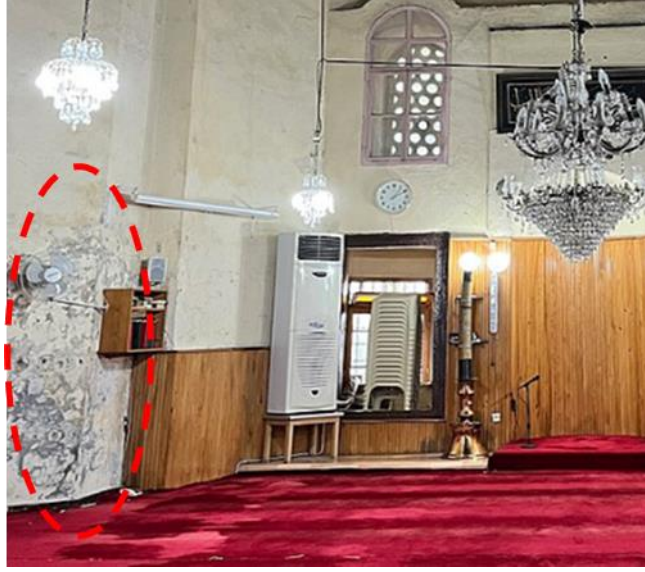
Sultan II. Mahmud devrinde hünkâr mahfili eklenen cami Bizans ve Osmanlı mimarisi izlerini net bir şekilde yansıtır (TDV İslam Ansiklopedisi, 1996). Türk döneminde bu kilisenin dış mimarisinde önemli değişiklikler yapılmıştır. İki yan cephe

çok pencereli olarak inşa edilmiş, bunların mahya hattı bazı Osmanlı eseri camilerde olduğu gibi kademeli olarak taçlandırılmıştır. Son derece basık, sekizgen kasnaklı sağır kubbeleri de Türk yapısıdır. Böylece eski kilisenin, Türk mimarisinin klasik döneminde gerek yan cepheleri gerek taşıyıcı büyük kemerleri ve ana kubbesinin yenilendiği açıkça belli olmaktadır. Yüksek bir bodrum üzerine oturduğu gibi kendi başına esasen orantıları çok yüksek olan bu kilise, yüksek kasnaklı olması gereken kubbesiyle herhalde aslında daha da heybetli bir görünüm arz ediyordu. Caminin minaresi, şerefe çıkmasının barok profilli biçimiyle 1766 zelzelesinden sonra inşa edilen minarelerin bir benzeridir (TDV İslam Ansiklopedisi, 1996).

Gül Cami, almasıık üsluplu, yonu taş ve klasik tuğla örgülü, horasan derzli bir yapıdır (Şekil 3.2). Caminin toplam dış duvar alanı: 1560 m²'dir. Caminin toplam dış duvar hacmi: 312 m³'dür. Cami denize çok yakın bir konumda bulunduğu için uzun süredir zemininden kaynaklı olarak nem ve rutubet problemleri yaşanmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Cami içi genel görünümü (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)



Şekil 3.3. Camide sürekliliğini sürdüren nem ve rutubet problemi (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)

3.1.2. Kullanılan Sistem Teknik Özellikleri

Uygulamada piyasada kullanılan kapiler nem itme cihazı kullanılmıştır. Nem itme cihazının teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir (URL-1):

- **Dış gövde:** Plastikten üç parçadır.
- **Malzeme:** Polikarbon
- **Ölçüler:** $G \times Y \times D = 480 \times 120 \times 120\text{mm}$
- **Ağırlığı:** 2,8kg
- **Şebeke bağlantısı:** Potansiyelsiz 230V 50/60Hz
- **Doğru akım:** 18 / 12 / 5V
- **Sarfiyat:** 0,59 W/h
- **H:** = 30.6667mA/cm ;
- **Frekans:** 50 / 100 / 500 Hz / 130 bis 141 kHz – Sinus titreşimli / modüle edilmiş
- **Gücü:** 10 ile 24 m Watt arası Tipler: ME – 9501 ile 9510-S arası
- **Potansiyel:** Yalnızca kendi potansiyel denkleşmesinde (Toprak Çubuğu) Max.: + 250mV
- **Tarifi:** Dağıtım kutusu (Duvar kurutması için potansiyel denkleşimi)
- **Bağlantı:** min. 4qmm / Tip: NYM J 1 x 4 bzw. NYM J 1 x 6
- **Oda sıcaklığı ölçüm birimi:** °C
- **Odadaki nem oranı ölçüm birimi:** % (X)



Şekil 3.5. Kapiler nem itme cihazının montajı (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)

Şekil 3.4'deki yerleşim planında (1) numara ile gösterilen dört noktadaki duvarlara cihazın elektrotları monte edilmiştir. Elektrotlarından yerden yüksekliği 290 cm'dir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Cihazın dikey eksenindeki elektrot montaj noktası (Yazarın kendi resimlendirmesidir)

Daha sonra duvarlardaki bünye suyu ölçmek amacıyla 8 ayrı noktaya (3.1 – 3.8) ölçüm noktaları bırakılmıştır. Her bir ölçüm noktasında, üç farklı yükseklikten (Alt: 50 cm, Orta: 120 cm ve Üst: 200 cm) ölçümler alınmıştır (Şekil 2). Toplamda ise 24 noktadan ölçümler alınmıştır. Şekil 3.7'de örnek bir ölçüm noktası (Şekil 3.4 – (3.2)) görseli verilmiştir.



Şekil 3.7. Örnek bir ölçüm noktası (Yazarın kendi resimlendirmesidir.)

Ölçüm noktalarından alınan GANN Dıgit değeri daha sonra malzeme içerisinde ağırlıkça ve hacimce su miktarının hesaplanmasında kullanılmıştır. İlgili dönüşüm tablosu EK-2’de verilmiştir.

Cihaz montajı yapıldıktan hemen sonra (t_0), ve sonrasında farklı tarihlerde 5 adet (t_1 - t_6) daha ölçüm alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir. İlgili ölçüm tarihleri ve ölçüm föyleri EK-1’de verilmiştir. Ölçümler tez çalışması öncesinde firma personeli tarafından alınmıştır.

3.2. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bina duvarlarında ve kaplamalarında kullanılan gözenekli yapı blokları yağmur veya yeraltı suyuyla temas ettiğinde suyu emer. Bu emilim süreci genellikle suyun kılcal emilimi yoluyla gerçekleşir. Kılcal su emme, çapı 1 mm'ye kadar olan gözenekler içerisinde tipik olarak kılcal emmeyi içeren kendiliğinden bir işlemdir. Gözenek yüzeyindeki suyun karakteristik bir ıslanma açısı vardır ve bunun sonucunda suyun gözenek sistemine nüfuz etme eğilimine kılcal etki veya kılcal emme denir. Kılcal su emme mekanizması esas olarak gözenek boyutuna ve gözenek şekline bağlıdır (Çelik ve Köken, 2023).

Literatürde kılcal su emme miktarları, TS EN 1925 standardına göre belirlenmiş ve Eşitlik 3.1’de verilen formüle göre kılcal su emme katsayısı hesaplanmıştır. Kılcal su itme mekanizması da fiziksel olarak kılcal su emmeye benzediğinden, bu çalışmada Eşitlik 3.1’de tanımlanan ifade kapiler su itme sisteminin performansını değerlendirmek amacıyla, su itme katsayısı olarak ifade edilmiş ve

kullanılmıştır. Sistemin kapiler su itme dinamiği bu ifade üzerinden değerlendirilmiştir.

$$C = \frac{\Delta M}{A_c \times \sqrt{t}} \quad (3.1)$$

Burada; $\Delta M = M_i - M_s$ olup, M_i : ilk ölçüm numune ağırlığı (kg), M_s : Bir sonraki ölçüm adımıdaki numune ağırlığı (kg), A : suya temas eden yüzey (kesit) alanı (m^2), t : zaman olarak verilmiştir.

Diğer bir değişken ise kütle azalmasıdır. Bu ifade toplam kütle azalmasının suya temas eden kesit yüzeyine oranı olarak tanımlanmıştır.

$$\Delta M'' = \frac{\Delta M}{A_c} \quad (3.2)$$

Hesaplamalarda; duvar derinliği $w = 0,55$ m, toplam duvar uzunluğu $L = 120$ m, duvar kesit alanı $A_c = 66$ m^2 ve duvar malzemesinin yoğunluğu 2300 kg/m^3 olarak tanımlanmıştır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde yukarıda detaylandırılan yönteme göre elde edilmiş ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Her bir ölçüm adımında, yatayda 8, düşeyde 3 farklı noktada olmak üzere toplam 24 adet Gann Digit ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Aşağıdaki tablo ve grafiklerde ise her bir ölçüm zamanı (t) için bu verilerin ortalaması olarak tek bir Gann Digit değeri dikkate alınmıştır. Ortalama Gann Digit ölçüm verileri kullanılarak elde edilen diğer değişkenler Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Nem ölçüm cihazından elde edilen Gann Digit değeri EK-2’deki dönüşüm tablosu kullanılarak yapının tüm duvarları içerisindeki suyun ağırlıkça yüzdesi, birim yapı hacmindeki su kütlesi ve toplam su elde edilmiştir. Bu hesaplamalar her bir zaman adımı için tekrarlanmış sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablodaki kütle azalması iki ölçüm aralığındaki bünyedeki toplam su kütlesindeki değişimden hesaplanmıştır. Birim kütle azalması ise, toplam kütle azalması miktarının duvarların kapiler su yürüme doğrultusuna dik kesit alana (A_c) bölünmesiyle elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Değerlendirilen ölçüm verileri

Ölçüm Zamanı	GANN Digit değeri	Ağırlıkça su kütlesi (%)	Birim su kütlesi (kg/m^3)	Toplam su kütlesi, M (kg)	Kütle Azalması, ΔM , (kg)	Birim Kütle Azalması, $\Delta M''$ (kg/m^2)
t_0 (24.01.2017)	88.24	14.48	333.0	103,896	-	-
t_1 (7.06.2017)	78.81	5.20	119.7	37,346	66,550	1,008
t_2 (28.10.2017)	72.50	3.75	86.3	26,926	10,421	157.9
t_3 (25.03.2018)	68.30	3.28	75.3	23,494	3,432	52.0
t_4 (24.09.2018)	65.20	3.02	69.4	21,653	1,841	27.9
t_5 (20.03.2019)	63.10	2.94	67.5	21,060	593	8.9
t_6 (2.08.2022)	61.85	2.90	66.6	20,779	281	4.2

Tablo 4.2’de ise, referans ölçüm noktası (t_0) ile diğer ölçüm zamanları (t_1 - t_6) arasındaki periyot dikkate alınarak kapiler nem itme katsayıları elde edilmiştir. Örneğin referans periyot t_0 - t_6 için; iki ölçüm notası arasındaki periyot 2016 gün, bu periyottaki toplam su kütle azalması 83,117 kg, birim kütle azalması ise 1,259

kg/m²'dir. Bu değerler referans alınarak t_0 - t_6 ölçüm periyodu için, farklı zaman faktörlerine göre (sn, saat, gün) kapiler nem itme katsayıları hesaplanmıştır.

Tablo 4.3'de ise referans ölçüm noktası (t_0) ile diğer ölçüm zamanları arasındaki periyotlar yerine ardışık ölçüm noktasındaki periyotlar ve bu noktalar arasındaki ölçüm sonuçları dikkate alınarak kapiler nem itme katsayıları hesaplanmıştır.

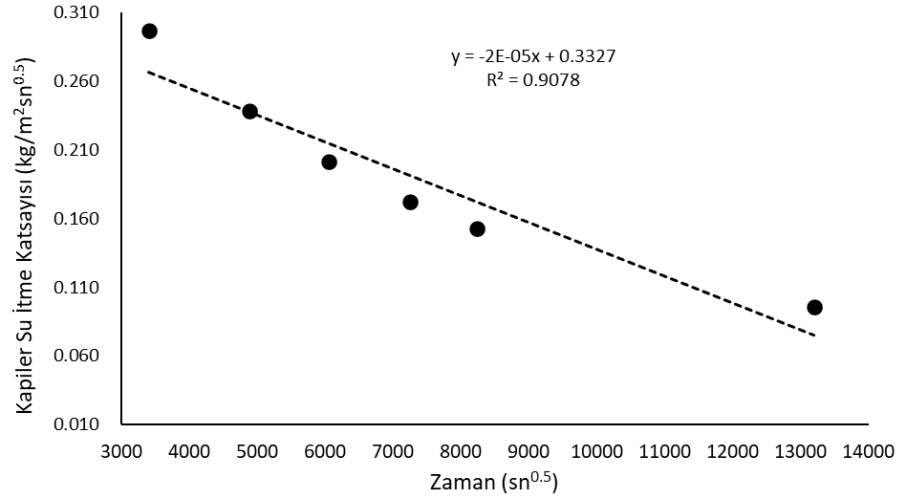
Tablo 4.2. Referans ölçüm noktasına göre yapılan hesaplamalar

Değişkenler		Ölçüm Periyodu					
		t_0-t_1	t_0-t_2	t_0-t_3	t_0-t_4	t_0-t_5	t_0-t_6
Kütle Azalması, (ΔM)	kg	66,550	76,970	80,402	82,243	82,836	83,117
Kesit Alanı, (A_C)	m ²	66	66	66	66	66	66
Birim Kütle Azalması ($\Delta M''$)	kg/m ²	1,008	1,166	1,218	1,246	1,255	1,259
İki ölçüm arasında geçen zaman (t)	gün	134	277	425	608	785	2016
	saat	3,216	6,648	10,200	14,592	18,840	48,384
	sn	11,577,600	23,932,800	36,720,000	52,531,200	67,824,000	174,182,400
	sn ^{0.5}	3403	4892	6060	7248	8236	13198
Zaman Faktörü ($t^{0.5}$)	saat ^{0.5}	56.7	81.5	101.0	120.8	137.3	220.0
	gün ^{0.5}	11.6	16.6	20.6	24.7	28.0	44.9
	kg/m ² sn ^{0.5}	0.296	0.238	0.201	0.172	0.152	0.095
Nem itme katsayısı (C)	kg/m ² saat ^{0.1}	17.78	14.30	12.06	10.32	9.14	5.73
	kg/m ² gün ^{0.5}	87.11	70.07	59.09	50.54	44.80	28.05

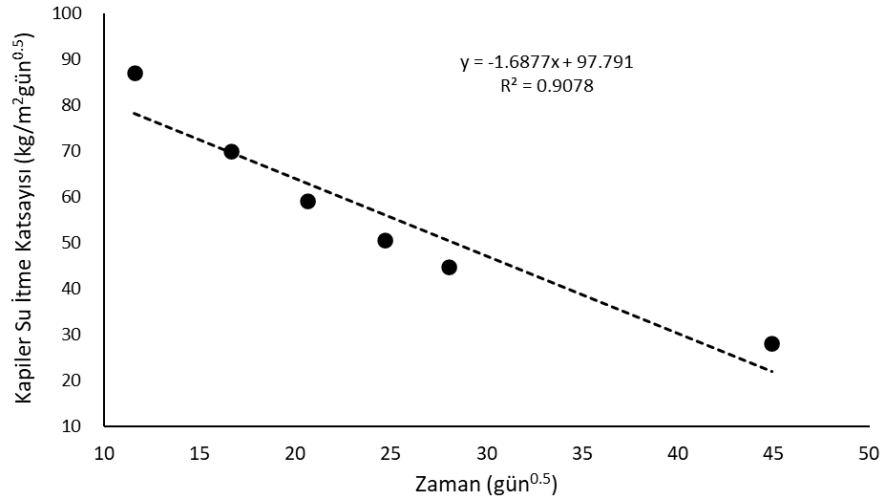
Tablo 4.3. Ardışık ölçüm noktalarına göre yapılan hesaplamalar

Değişkenler		Ölçüm Periyodu					
		t_0-t_1	t_1-t_2	t_2-t_3	t_3-t_4	t_4-t_5	t_5-t_6
Kütle Azalması, (ΔM)	kg	66,550	10,421	3,432	1,841	593	281
Kesit Alanı, (A_C)	m ²	66	66	66	66	66	66
Birim Kütle Azalması ($\Delta M''$)	kg/m ²	1,008	157.9	52.0	27.9	8.9	4.2
İki ölçüm arasında geçen zaman (t)	gün	134	143	148	183	177	1,231
	saat	3,216	3,432	3,552	4,392	4,248	29,544
	sn	11,577,600	12,355,200	12,787,200	15,811,200	15,292,800	106,358,400
	sn ^{0.5}	3403	3515.0	3575.9	3976.3	3910.6	10313.0
Zaman Faktörü ($t^{0.5}$)	saat ^{0.5}	56.7	58.6	59.6	66.3	65.2	171.9
	gün ^{0.5}	11.6	12.0	12.2	13.5	13.3	35.1
Nem itme katsayısı (C)	kg/m ² sn ^{0.5}	0.296	0.04	0.01	0.007	0.002	0.0004
	kg/m ² saat ^{0.5}	17.78	2.70	0.87	0.42	0.14	0.02
	kg/m ² gün ^{0.5}	87.11	13.20	4.27	2.06	0.68	0.12

Tablo 4.4’de sonuçları Tablo 4.2’de verilen, referans ölçüm noktası (t_0) ile diğer ölçüm zamanları (t_{1-6}) arasındaki periyot dikkate alınarak hesaplanan kapiler nem itme katsayıları verilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere cihazın kurulumundan sonra, referans alınan periyoda göre zamanla kapiler nem itme katsayısı, doğrusal eğilimde azalmaktadır. t_0-t_1 ölçüm periyodunda $C = 0.296 \text{ kg/m}^2.\text{sn}^{0.5}$ iken bu değer t_0-t_6 ölçüm periyodu referans alındığında $C = 0.095 \text{ kg/m}^2.\text{sn}^{0.5}$ değerine kadar düşmektedir. Dolayısıyla referans alınacak zaman periyodu kapiler nem itme katsayısının tayininde önemli bir yol oynamaktadır.



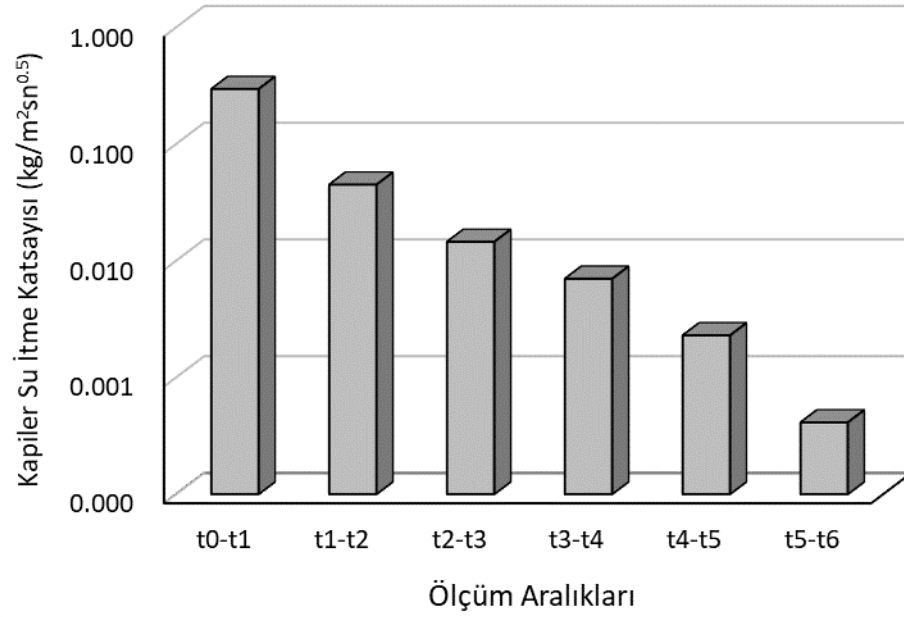
(a)



(b)

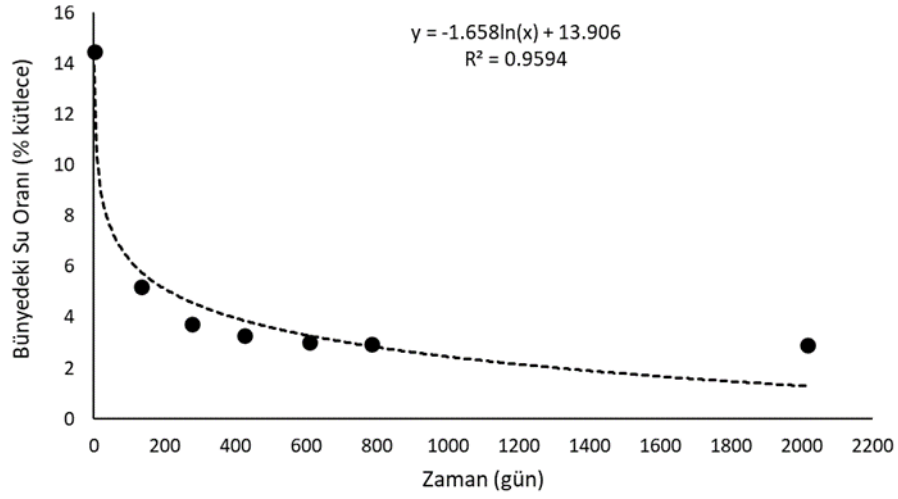
Tablo 4.4. Farklı Ölçüm referans periyotlarına göre elde edilen kapiler nem itme katsayıları

Tablo 4.5’de ise, iki ölçüm periyodu arasındaki süre referans alınarak elde edilen kapiler nem itme katsayıları verilmiştir. Nem itme katsayısı beklendiği üzere zamanla duvar bünyesindeki azalmaya bağlı olarak azalmıştır. t_0-t_1 ölçüm periyodunda $C = 0.296 \text{ kg/m}^2.\text{sn}^{0.5}$ iken, bu değer yaklaşık %99 oranında azalarak t_5-t_6 ölçüm periyodunda $C = 0.0004 \text{ kg/m}^2.\text{sn}^{0.5}$ olarak hesaplanmıştır.

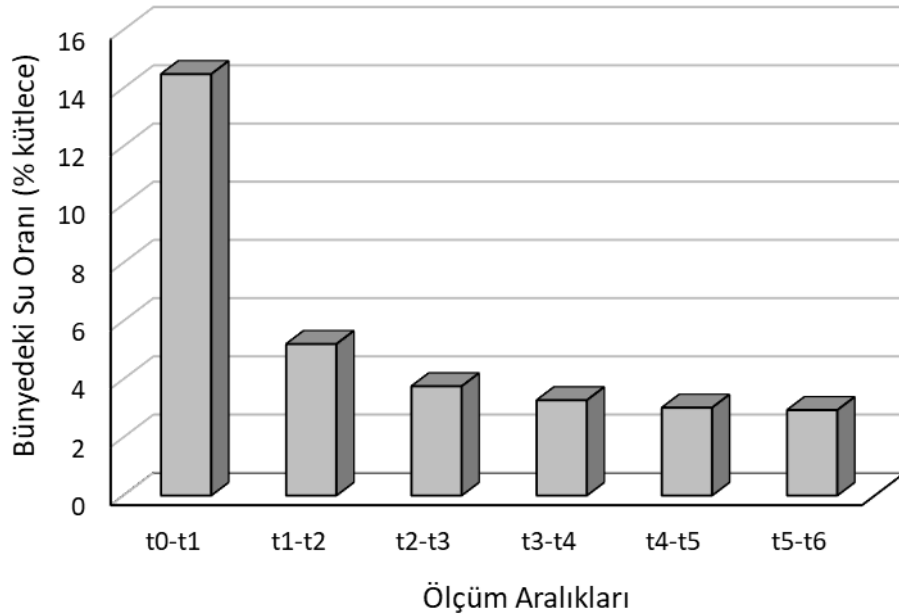


Tablo 4.5. Her bir ölçüm aralığındaki kapiler su itme katsayısının değişimi

Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de zamana bağlı duvarlardaki suyun kütleli oranı sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzere, nem itme cihazının devreye girmesiyle yapı bünyesindeki nem hızlı bir şekilde mevcut kılcal kanallardan toprağa itilmekte, bünyedeki su kütleli oranı zamanla azalmasına bağlı olarak nemin uzaklaştırılma hızı zamanla azalmaktadır. Su kütleli oranının zamana göre $R^2 = 0,96$ tanımlama düzeyinde logaritmik azalan bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Başlangıçtaki (t_0) yapıdaki su kütleli oranı %14,48 iken (Çok Islak), t_1 (134. Gün) anında bu değer %5,2’ye kadar düşmekte, t_2 (277. Gün) ölçüm noktasında kritik kuruluk değerinin (%4) altında (%3,75) düşmektedir. Buradan anlaşılıyor ki nem itme cihazı yaklaşık 9 ay içerisinde duvarlardaki nem miktarını ‘Çok Islak’ seviyesinden ‘Kuru’ seviyesine getirmektedir. Bu kritik noktadan sonra ise su kütleli oranı çok fazla değişmemektedir; 3. Ölçüm noktasında (t_3) bünye su kütleli oranı %3.28’e, 4. Ölçüm noktasında (t_4) bünye su kütleli oranı %3.02’ye, 5. Ölçüm noktasında (t_5) bünye su kütleli oranı %2,94’e, 6. Ölçüm noktasında (t_6) bünye su kütleli oranı %2,90’a düşmektedir. ($t_5 - t_6$) ölçüm aralığındaki periyot 1,231 gün olmasına rağmen bu aralıkta suyun yapıdaki kütleli oranı sade %0.04 değişmiştir.

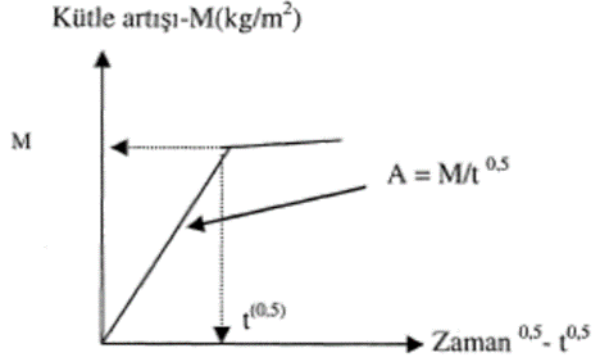


Tablo 4.6. Duvar bünyesindeki suyun kütle oranının zamana bağlı değişimi



Tablo 4.7. Duvar bünyesindeki suyun kütle oranının ölçüm periyotları arasındaki değişimi

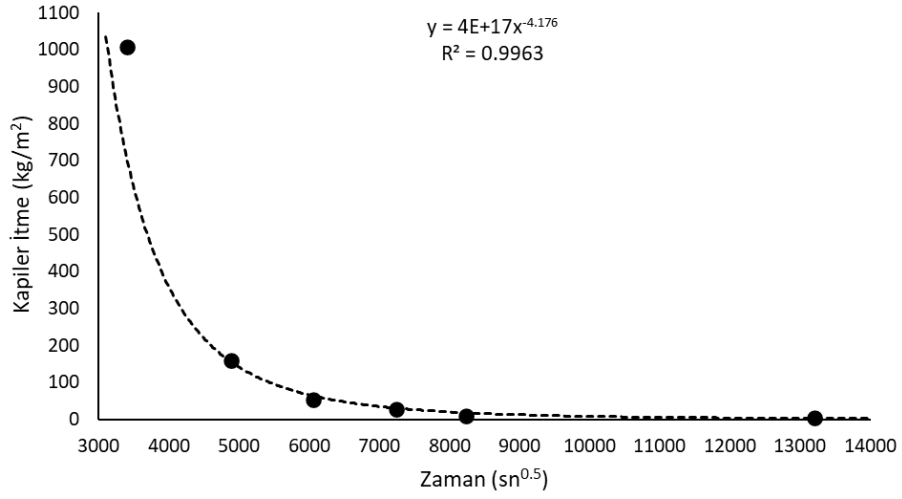
Literatürde su emme katsayısının tayininde, belli ölçülerde hazırlanan ve kurutulan numuneler, kontrollü bir biçimde su emmeleri sağlanmakta ve zamana bağlı olarak ne kadar su emdikleri ölçülmektedir. Daha sonra su emmenin sabit kaldığı zaman (t) ve buna karşılık kütle artışı tayin edilerek malzemenin su emme katsayısı belirlenmektedir (Tablo 4.8). Benzer metodoloji su itme katsayısının tespitinde de kullanılmıştır.



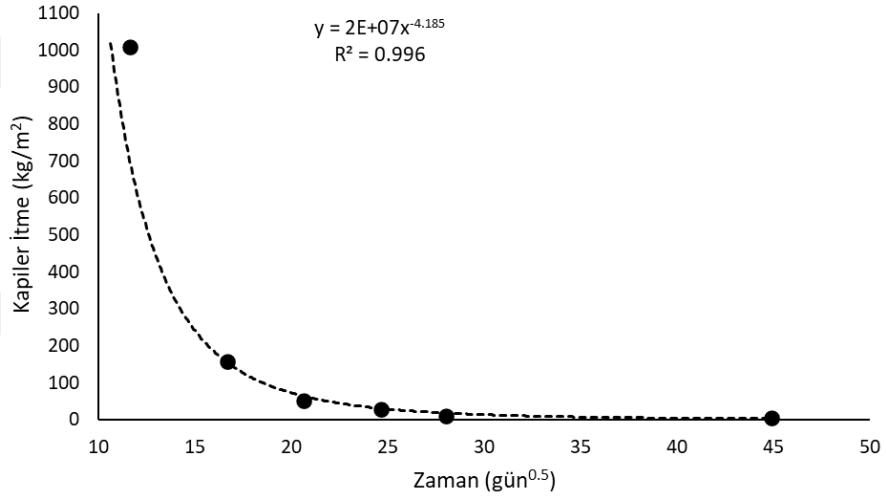
Tablo 4.8. Kapiler su emme katsayısının elde edilmesi (Adan, 1994)

Yapılan ölçümlerde kapiler itme etkisiyle meydana gelen birim alandaki kütle azalması ile itilen suyun kuru kütleyle oranlarının zamanla değişim grafikleri incelendiğinde, yapıdaki suyun büyük bir bölümünün t_{0-1} periyodunda itildiği tespit edilmiştir. Bu ölçüm noktaları arasında geçen 134 günde, bünyedeki toplam 103,896 kg suyun, 66,550 kg'ı toprağa itilmiştir. Geri kalan t_{5-6} periyodundaki 1882 günde 16,617 kg su toprağa itilmiştir.

Tablo 4.9'daki sonuçlar incelendiğinde t_{0-1} aralığında birim kesit alanı için nem itme değeri $\Delta M'' = 1008 \text{ kg/m}^2$, t_{1-2} aralığında $157,9 \text{ kg/m}^2$, t_{2-3} aralığında 52 kg/m^2 , t_{3-4} aralığında $27,9 \text{ kg/m}^2$, t_{4-5} aralığında $8,9 \text{ kg/m}^2$, t_{5-6} aralığında $4,2 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. T_{5-6} aralığında süre diğer ölçüm periyotlarına göre çok fazla olmasına rağmen nem itme değeri bir önceki periyoda göre çok değişmemiştir. Bu yüzden, su itmenin neredeyse sabit kaldığı ölçüm noktası (t_5) nihai nem itme katsayısının tayininde kullanılmıştır. Birim zamanın saniye alınması durumunda kapiler nem itme katsayısı $0.152 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}^{0.5}$ iken, birim zaman gün olarak belirlendiğinde bu değer $44,8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{gün}^{0.5}$ olarak hesaplanmıştır.



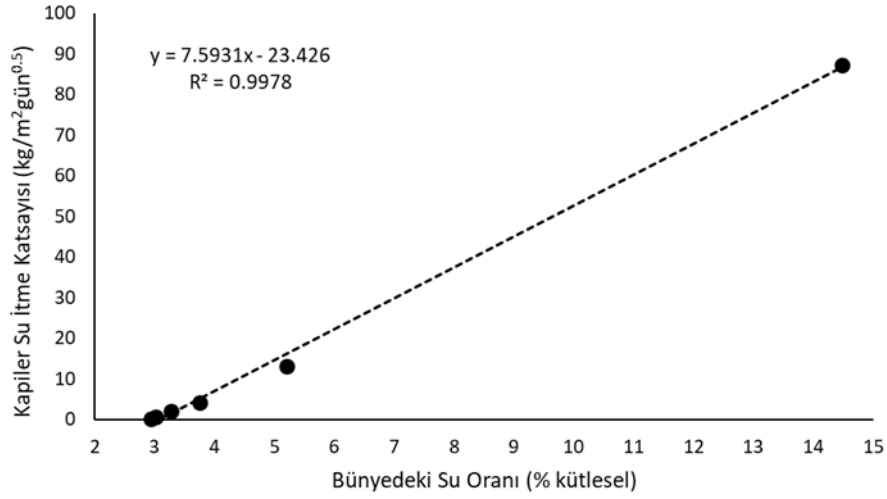
(a)



(b)

Tablo 4.9. Birim kesit alanı için zamana bağlı nem itme performansı

Tablo 4.10'da Kapiler su emme katsayısının bünyedeki kütleli su oranı ile değişimi verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, duvar bünyesindeki su kütlesinin ile kapiler nem itme katsayısı değişiminde $R^2 = 0,99$ gibi yüksek tanımlama düzeyinde lineer artan doğrusal bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir.



Tablo 4.10. Kapiler su emme katsayısının bünyedeki kütleli su oranı ile değişimi

Literatürde yer araştırmalara göre, yapı elamanlarının bünyelerindeki su miktarlarının artması yapı elamanlarının ısı iletim katsayılarını arttırmakta ve buna bağlı olarak ısı kaybı artmaktadır. California iklim şartları için yapılan bir deneysel çalışmada, nemli duvar, kuru duvara kıyasla, Aralık ve Ocak Aylarında %19'a kadar fazla enerji tüketimine yol açarken, yaz aylarında ise duvar içerisindeki su soğutma ihtiyacını %18'e kadar azalttığı tespit edilmiştir (Gawin v.d., 2002).

Bu çalışmada duvardaki bünye suyunun azaltılmasının duvarlardan gerçekleşen ısı kaybı ve buna bağlı olarak enerji tüketimine etkisi genel bir çerçevede incelenmiştir. Yapı elamanlarındaki bünye suyuna bağlı olarak ısı iletim katsayısının değişimi hususunda literatürde yer alan bir deneysel çalışma (Taoukil, 2013) referans alınmıştır ve aşağıdaki kabuller doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır:

- Sadece duvarlardan iletimle olan ısı kaybı/kazancı dikkate alınmıştır. Duvar yüzeylerindeki taşınım dirençleri ve diğer ısı transfer mekanizmaları ihmal edilmiştir.
- Cami içerisinde salon tipi klima kullanılmaktadır.
- Klima sezonluk ortalama performans katsayısı (COP) 3 olarak kabul edilmiştir.
- Elektrik birim fiyatı: 1,34 TL/kWh (Kasım 2023 elektrik faturasından alınmıştır).
- Kurutulan toplam dış duvar yüzey alanı (A_{duvar}): 360 m² (3 metre yüksekliğe kadar kurutma sağlanacağı kabul edilmiştir).
- Ortalama duvar kalınlığı (L): 0,55 cm
- Senede 180 gün ısıtma, 90 gün soğutma yapıldığı varsayılmıştır.
- Günlük çalışma süresi 5 saat olarak alınmıştır.

- Isıtmada iç hava konfor sıcaklığı ($T_{iç}$) 18 °C, soğutmada 24 °C olarak belirlenmiştir.
- Ortalama dış hava sıcaklıkları Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1950-2022 yıllarında arasındaki ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Isıtma durumu için, Ekim-Kasım-Aralık-Ocak-Şubat-Mart aylarının ortalama sıcaklıkları alınarak, ısıtma sezonu için tek bir ortalama dış hava sıcaklığı hesaplanmıştır. Benzer şekilde soğutma durumu için, Haziran-Temmuz-Ağustos aylarının ortalama sıcaklıkları alınarak soğutma sezonu için tek de bir ortalama dış hava sıcaklığı kabul edilmiştir. Isıtma ve soğutma sezonu için hesaplanan ortalama dış hava sıcaklıkları sırasıyla, $T_{d-kış}:10\text{ °C}$, $T_{d-yaz}:26,7\text{ °C}$.
- Isı iletim katsayısının bünyedeki su miktarına bağlı değişimini elde etmek için, literatürdeki beton için yapılan deneysel çalışma (Taoukil, 2013) sonuçları dikkate alınmıştır.
- Kurumanın dış duvarlarda eşit şekilde gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Isı kayıp/kazanç hesabı:

$$q = U \times A \times (T_{iç} - T_{dış}) \quad (4.1)$$

Burada A toplam duvar yüzey alanı, $T_{iç}$ iç ortam konfor sıcaklığı ve $T_{dış}$ ise yaz ve kış ayları için hesaplanan ortalama dış hava sıcaklığıdır. U toplam ısı transfer katsayısı ($\text{W/m}^2.\text{K}$) olup aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$1/U = \frac{1}{(L/k)} \quad (4.2)$$

Yukarıda denklemde L duvar kalınlığı (m), k ise duvar ısı iletim katsayısıdır (W/m.K). Isı iletim katsayısı, duvar bünyesindeki su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim için Taoukil v.d.'nin yapmış olduğu deneysel çalışma sonuçları referans alınmıştır. Yaptıkları deneysel çalışmada ısı iletim katsayısının, hacimsel su oranına bağlı olarak değişimi aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$k = 0.4196e^{0.048V_w} \quad (4.3)$$

Burada V_w su kütlesinin hacimsel oranıdır.

Yapılan ölçümlere göre; t_0 'da $V_{w-t_0} = \%36,6$, t_6 'da $V_{w-t_6} = \%6,7$ 'dir. Buna bağlı olarak; başlangıçtaki ısı iletim katsayısı: $k_{t_0} = 2.43\text{ W/m.K}$, son ölçüm anındaki

ısı iletim katsayısı: $k_{t6} = 0.58 \text{ W/m.K}$ olarak hesaplanmıştır. Toplam ısı transfer katsayısı ise; başlangıçta: $U_{t0} = 4.42 \text{ W/m}^2.\text{K}$, son ölçüm anında: $U_{t6} = 1.05 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

Kış ve yaz dönemi için ısı kayıp/kazanç hesabı (kW) yapıldıktan sonra, kabuller kısmında belirtilen sürelerle çarpılarak toplam enerji ihtiyacı (kWh), oradan da klima performans katsayısı değeri kullanılarak ısı kayıp/kazancına bağlı olarak klimaların elektrik tüketimleri hesaplanmıştır.

Yukarıdaki kabuller ve hesaplamalar sonucunda: Cihaz takılmadan duvardan iletimle ısı kayıp/kazancına karşılık elektrik sarfıyatı 4.086 kWh/yıl, kuruma gerçekleştikten sonra ise (son ölçüm anı), bu değer 973 kWh/yıl'e düşmesi beklenmektedir. Tüketim bedeli açısından ise, 5.476 TL elektrik faturası gelmesi beklenirken, son durumda bu tutar 1.304 TL'ye kadar düşmesi beklenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre duvarlardan iletimle ısı kayıp/kazancına bağlı enerji tüketiminde ciddi miktarda azalma görülmektedir. Fakat ısı kaybı/kazancı sadece duvarlardan iletimle değil, örneğin; cami üst yüzeylerinden-zeminden iletimle, infiltrasyonla, ısınımla da gerçekleşmektedir. Bu yüzden enerji tüketiminde öngörülen bu dramatik azalma, toplam ısı/kayıp hesabında daha düşük gerçekleşmesi beklenir. Toplam tüketimlerin de dikkate alınmayan diğer kayıplara bağlı olarak daha yüksek olması beklenmektedir.

5. BULGULAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, duvarlarında kılcal etkiyle emilen sudan kaynaklı yapısal problemler görülen Gül caminde, elektro-ozmos yöntemini temel alan kapiler nem itme cihazının, uzun süreli kurutma performansı incelenmiştir. Cihazın ilk montajı 24.01.2017 tarihinde yapılmış, 02.08.2022 tarihine kadar belli periyotlarda toplam 6 adet ölçüm alınmıştır. Ölçümler, yatayda ve dikeyde toplam 24 noktadan alınmıştır. Bu ölçümlerde, yapının tüm duvarları içerisindeki suyun ağırlıkça yüzdesi, birim yapı hacmindeki su kütlesi ve toplam su miktarı elde edilmiştir. Elde edilen bulgular özetlenecek olursa:

- Su kütleli oranının zamana göre $R^2 = 0,96$ tanımlama düzeyinde logaritmik azalan bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Başlangıçtaki (t_0) yapıdaki su kütlesi %14,48 iken (Çok Islak), t_1 (134. Gün) anında bu değer %5,2'ye kadar düşmekte, t_2 (277. Gün) ölçüm noktasında kritik kuruluk değerinin (%4) altında (%3.75) düşmektedir. Buradan anlaşıyor ki nem itme cihazı yaklaşık 9 ay içerisinde duvarlardaki nem miktarını 'Çok Islak' seviyesinden 'Kuru' seviyesine getirmektedir. Bu kritik noktadan sonra ise su kütlesi çok fazla değişmemektedir. Buradan da görülüyor ki sistem duvardaki suyu toprağa itmekle kalmıyor, nemli toprağa temas eden yapı elamanlarının korumaya alarak, kapiler su emmenin emişini engelliyor.
- Cihazın kurulumundan sonra, referans alınan periyoda göre zamanla kapiler nem itme katsayısı, doğrusal eğilimde azalmaktadır. t_0 - t_1 ölçüm periyodunda $C = 0.296 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}^{0.5}$ iken bu değer t_0 - t_6 ölçüm periyodu referans alındığında $C = 0.095 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}^{0.5}$ değerine kadar düşmektedir.
- t_0 - t_1 ölçüm periyodunda $C = 0.296 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}^{0.5}$ iken, bu değer yaklaşık %99 oranında azalarak t_5 - t_6 ölçüm periyodunda $C = 0.0004 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sn}^{0.5}$ olarak hesaplanmıştır
- Yapıdaki suyun büyük bir bölümünün t_0 -1 periyodunda itildiği tespit edilmiştir. Bu ölçüm noktaları arasında geçen 134 günde, bünyedeki toplam 103,896 kg suyun, 66,550 kg'ı toprağa itilmiştir. Geri kalan t_5 -6 periyodundaki 1882 günde 16,617 kg su toprağa itilmiştir.
- Su itmenin neredeyse sabit kaldığı ölçüm noktası (t_5) nihai nem itme katsayısının tayininde kullanılmıştır. Birim zamanın saniye alınması

durumunda kapiler nem itme katsayısı $0,152 \text{ kg/m}^2.\text{sn}^{0.5}$ iken, birim zaman gün olarak belirlendiğinde bu değer $44,8 \text{ kg/m}^2.\text{gün}^{0.5}$ olarak hesaplanmıştır.

- Yapılan genel enerji tüketim hesaplarına göre, cihaz takılmadan duvardan iletimle ısı kayıp/kazancına karşılık elektrik sarfıyatı 4.086 kWh/yıl olarak gerçekleşmesi beklenirken, kuruma gerçekleştikten sonra ise (son ölçüm anı), bu değer 973 kWh/yıl düşmesi beklenmektedir.

Sonraki bilimsel çalışmalarda kapiler nem itme sisteminin bina enerji tüketimine etkilerinin ürün yaşam döngüsü analiziyle değerlendirilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- ADAN, A., (1994).** On The Fungal Defacement Of Interior Finishes, *Ph. D. Thesis*, Eindhoven Technical University, Holland.
- AYDIN, Ö., (2019).** Binalarda Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılan Projelerin Değerlendirilmesi: *Türkiye Örneği*, *Mimarlık Ve Yaşam Dergisi*, 4(1), 55-68.
- BARCLAY, M., HOLCROFT, N., SHEA, A.,(2014).** Methods To Determine Whole Building Hygrothermal Performance Of Hemp-lime Buildings, *Building and Environment*, doi: 10.1016.
- COMAN, G., UZUNEANU, PARASCHIV, S.,(2017)** The Influence of Moisture on Thermal Conductivity for Building Materials, *Galati Fascicle IX. Metallurgy and Materials Science*, 29-33.
- COŞKUN, M., (2003)** Coğrafya Öğretiminde Nem Konusundaki Kavram Yanlışlıkları ve Giderilmesine Yönelik Öneriler, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 23,147-158.
- ÇELİK, M., KÖKEN, İ., (2023).** The Effect of Temperature and Salty Water on the Capillary Water Absorption Capacity of Volcanic Rocks Used as Building Stones, *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 5(1), 17-47.
- ÇELİK, M., Y., SERT, M., (2021).** An Assessment Of Capillary Water Absorption Changes Related To The Different Salt Solutions And Their Concentrations Ratios In The Döğer Tuff (Afyonkarahisar-Turkey) Used As Building Stone Of Cultural Heritages, *Journal of Building Engineering*, Vol.35, 1-16.
- ÇELİK, M., YILMAZ, S., (2018).** Influence Of The Static, Salty, Acidic Hydrous Environments On The Capillarity Potential Of The Porously Building Stone, *Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi*, 33:2, 611-628.
- ÇİTİLOĞLU, C., (2012).** Kültür Merkezlerinde Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Binanın Enerji Performansına Etkisi, Kullanım Ömrü ve Üretim Şekli Bakımından Karşılaştırılması, *Uzmanlık Tezi*, Ankara.

- DURU, M.O., KOÇ, İ., (2021).** Sürdürülebilir Yapı Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) Hesaplamalarının Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) İle Entegrasyonuna Yönelik Bir Araştırma, *Sanat Ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, 107-121.
- EROĞLU, Ü., HALAÇ, H., (2022).** İnce Minareli Medresedeki Nem Problemi ve Çözüm Önerileri, *Vakıflar Dergisi*, 158-174.
- ESMAEILPOUR, M., (2011).** Measurement, Prediction And Simulation Methods of Moisture Content In Buildings, *Master's Thesis*, Cyprus.
- FRANZONI, E., (2018).** State Of The Art On Methods For Reducing Rising Damp In Masonry, Department of Civil, *Journal Of Cultural Heritage*, p. S3-S9, Italy.
- GAWIN, D., KOSNY, J., DESJARLAIS, A., (2002)** Effect of Moisture on Thermal Performance and Energy Efficiency of Buildings with Lightweight Concrete Walls, *Commercial Buildings: Journal of Technologies, Design and Performance Analysis*, 149-159.
- GAWIN, D., KOSNY, J. (2016).** Effect of Initial Moisture Content and Type of Surface Finish Layers on the Energy Performance of a Residential House with Cellular Concrete Walls, *Buildings VIII/Walls II—Principles 9*, 5-11.
- GÖNÜL, İ., ÇELEBİ G., (2003).** Binalarda Zeminden Kaynaklanan Nemlenmeyi Önleme Yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara.
- GUDMUNDSSON, K., KARAMI, P., (2013).** Simulations of Heat and Moisture Conditions in a Retrofit Wall Construction with Vacuum Insulation Panels, *Journal Of Civil Engineering And Architecture*, 781-788.
- HACIOSMANOĞLU, T., (2017).** Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Kişisel Doza Katkıları, Derleme, *Gülhane Tıp Fakültesi Dergisi*, Ankara.
- JONES, C., (2004).** Innovative Electro-osmosis Technique Trial, *Technical Paper*, 16-28.
- KARAGINANNIS, N., KAROĞLOU, M., BAKOLAS A., KROKİDA, M., MOROPOULOU, A., (2019).** The Influence Of Dynamic Environmental

Conditions On Capillary Water Uptake Of Building Materials, *Journal of Building Physics*, Greece.

LU, J., WANG, K. Qu M., (2020). Experimental Determination On The Capillary Water Absorption Coefficient Of Porous Building Materials: A Comparison Between The Intermittent And Continuous Absorption Tests, *Journal of Building Engineering*, 91-101.

ÖZDEMİR, A. (2012). Bazı Yapı Malzemelerin Kapiler Su Emme Potansiyelleri, Selçuk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Konya.

PEK, L., KETELAARS, A., ADAN, A., WELL, A., (1993). Determination Of Moisture Diffusivity In Porous Media Using Scanning Neutron Radiography, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 36(5):1261-7.

PRATIWI S., Wijayanto P., Putri C., (2015). Diagnosis Of Capillary Rise In Heritage Building, Faculty of Civil Engineering and Planning, Universitas Trisakti, Indonesia.

RIRSCH, E., ZHANG Z., (2010). Rising Damp In Masonry Walls And The Importance Of Mortar Properties, *Construction and Building Materials*, 1815–1820.

SUMAN, B., AGARWAL N., VERMA, V., (1999). Moisture Influence In Building For Thermal Comfort In Hot Humid Region, *Journal Of Scientific & Industrial Research*, 229-234.

TAOUKİL, D., BOUARDI, A., SICK, F., MIMET, A., EZBAKHE, H., AJZOUL, T., (2013). Moisture Content Influence On the Thermal Conductivity And Diffusivity of Wood–Concrete Composite, *Construction and Building Materials*, 105-113.

TORRES, I., PEIXOTO, V., (2010). The Influence Of The Thickness Of The Walls And Their Properties On The Treatment Of Rising Damp In Historic Buildings, *Construction and Building Materials*(Vol. 24, Issue 8), Civil Engineering Department, Faculty of Science and Technology of Coimbra University.

USTAOĞLU, S.T., BEKTAŞ, E.,(2022). Yapılarda Bozulma ve Nem Hasarının Dijital Görüntü İşleme Yöntemi ile Tespiti, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (39), 103-108.

YAVAN, Y. (2017). Yapılarda Nem ve Isı Değişkenliğinin Malzeme Üzerindeki Etkileri ve Yapı Elemanlarının Uğradıkları Deformasyonlar, *Yüksek Lisans Tezi*, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ZHANG, X., NOWAMOOZ, H., (2021). Effect of Rising Damp in Unstabilized Rammed Earth (URE) Walls, *Construction and Building Materials*, 1772-1779.

İNTERNET KAYNAKLARI

URL-1: (<https://www.mirline.com/sistemimiz/uygulama-sureci-nasildir>). 7 Mart 2021.

URL-2: (<https://nemkom.com/hizmetler/rutubet-giderme-kurutma-cihazı>). 25 Nisan, 2019.

URL-3: (<https://nemizolasyonu.com/portfolio-items/tuz-kusmasi-nedir-nasil-cozulur>).

2 Kasım 2019.

URL-4: (<https://www.dydturktek.com.tr/makale/nem.kurutma.cihazlari>). 3 Haziran, 2022.

URL-5: (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>). 10 Ocak, 2024.

EK-1 NEM İTME CİHAZI ÖLÇÜM FÖYLERİ (ÖLÇÜM 1-6)

Ölçüm-1		Uygulamadan Önce Tarih: 24.01.2017			1. Kontrol Ölçümü Tarih: 07.06.2017		
Ölçüm Noktaları		GANN Digit	Litre su (m ³ betonda)	Ağırlıkça su (%)	GANN Digit	Litre su (m ³ betonda)	Ağırlıkça su (%)
Yatay	Düşey						
1	Üst	86.0	253.0	11.00	73.2	88.9	3.87
	Orta	86.5	264.5	11.50	76.0	103.5	4.50
	Alt	70.0	78.6	3.42	43.0	51.8	2.25
2	Üst	89.8	404.8	17.60	80.0	126.5	5.50
	Orta	90.4	432.4	18.80	85.8	246.1	10.70
	Alt	87.0	276.0	12.00	74.7	96.0	4.18
3	Üst	92.0	506.0	22.00	81.0	138.0	6.00
	Orta	83.9	181.7	7.90	59.2	64.6	2.81
	Alt	87.1	280.6	12.20	75.6	101.2	4.40
4	Üst	92.9	547.4	23.80	87.5	299.0	13.00
	Orta	92.5	529.0	23.00	88.5	345.0	15.00
	Alt	92.8	542.8	23.60	86.5	264.5	11.50
5	Üst	92.3	519.8	22.60	87.0	276.0	12.00
	Orta	92.5	529.0	23.00	87.0	276.0	12.00
	Alt	91.9	501.4	21.80	87.3	289.8	12.60
6	Üst	83.7	177.1	7.70	71.0	80.5	3.50
	Orta	84.2	190.9	8.30	81.0	138.0	6.00
	Alt	88.3	335.8	14.60	81.1	139.2	6.05
7	Üst	88.5	345.0	15.00	76.5	106.4	4.63
	Orta	88.0	322.0	14.00	75.7	101.8	4.43
	Alt	87.7	308.2	13.40	74.7	96.0	4.18
8	Üst	92.2	515.2	22.40	87.0	276.0	12.00
	Orta	84.5	201.3	8.75	84.5	201.3	8.75
	Alt	93.0	552.0	24.00	87.7	308.2	13.40
Ortalama		88.2	333	14.48	78.8	119.7	5.20

Ölçüm-2		Uygulamadan Önce Tarih: 24.01.2017			2. Kontrol Ölçümü Tarih: 28.10.2017		
Ölçüm Noktaları		GANN Digit	Litre su (m³ betonda)	Ağırlıkça su (%)	GANN Digit	Litre su (m³ betonda)	Ağırlıkça su (%)
Yatay	Düşey						
1	Üst	86.0	253.0	11.00	68.1	74.9	3.26
	Orta	86.5	264.5	11.50	68.1	74.9	3.26
	Alt	70.0	78.6	3.42	43.1	51.9	2.25
2	Üst	89.8	404.8	17.60	72.6	86.8	3.77
	Orta	90.4	432.4	18.80	76.7	107.6	4.68
	Alt	87.0	276.0	12.00	68.2	75.1	3.27
3	Üst	92.0	506.0	22.00	75.1	98.6	4.28
	Orta	83.9	181.7	7.90	54.5	60.9	2.65
	Alt	87.1	280.6	12.20	70.5	79.5	3.46
4	Üst	92.9	547.4	23.80	81.4	143.2	6.22
	Orta	92.5	529.0	23.00	81.6	145.3	6.32
	Alt	92.8	542.8	23.60	79.3	122.6	5.33
5	Üst	92.3	519.8	22.60	79.8	125.2	5.44
	Orta	92.5	529.0	23.00	79.6	124.2	5.40
	Alt	91.9	501.4	21.80	80.2	129.3	5.62
6	Üst	83.7	177.1	7.70	64.5	68.6	2.98
	Orta	84.2	190.9	8.30	74.5	94.8	4.12
	Alt	88.3	335.8	14.60	75.3	99.6	4.33
7	Üst	88.5	345.0	15.00	71.2	81.4	3.54
	Orta	88.0	322.0	14.00	69.5	77.6	3.37
	Alt	87.7	308.2	13.40	67.0	72.8	3.16
8	Üst	92.2	515.2	22.40	81.3	141.0	6.13
	Orta	84.5	201.3	8.75	76.3	105.5	4.59
	Alt	93.0	552.0	24.00	81.4	143.2	6.22
Ortalama		88.2	333	14.48	72.5	86.3	3.75

Ölçüm-3		Uygulamadan Önce Tarih: 24.01.2017			3. Kontrol Ölçümü Tarih: 25.03.2018		
Ölçüm Noktaları		GANN Digit	Litre su (m ³ betonda)	Ağırlıkça su (%)	GANN Digit	Litre su (m ³ betonda)	Ağırlıkça su (%)
Yatay	Düsey						
1	Üst	86.0	253.0	11.00	67.5	73.7	3.21
	Orta	86.5	264.5	11.50	67.2	73.2	3.18
	Alt	70.0	78.6	3.42	45.5	53.8	2.34
2	Üst	89.8	404.8	17.60	69.5	77.6	3.37
	Orta	90.4	432.4	18.80	70.2	78.9	3.43
	Alt	87.0	276.0	12.00	64.3	68.5	2.98
3	Üst	92.0	506.0	22.00	71.2	81.3	3.54
	Orta	83.9	181.7	7.90	56.3	62.3	2.71
	Alt	87.1	280.6	12.20	65.0	69.0	3.00
4	Üst	92.9	547.4	23.80	73.3	89.3	3.88
	Orta	92.5	529.0	23.00	74.5	95.0	4.13
	Alt	92.8	542.8	23.60	70.8	80.1	3.48
5	Üst	92.3	519.8	22.60	73.0	88.3	3.84
	Orta	92.5	529.0	23.00	71.9	84.0	3.65
	Alt	91.9	501.4	21.80	72.8	87.3	3.80
6	Üst	83.7	177.1	7.70	63.0	67.5	2.93
	Orta	84.2	190.9	8.30	70.0	78.6	3.42
	Alt	88.3	335.8	14.60	70.9	80.2	3.49
7	Üst	88.5	345.0	15.00	67.3	73.4	3.19
	Orta	88.0	322.0	14.00	66.7	72.2	3.14
	Alt	87.7	308.2	13.40	64.9	69.0	3.00
8	Üst	92.2	515.2	22.40	75.5	100.5	4.37
	Orta	84.5	201.3	8.75	72.3	85.3	3.71
	Alt	93.0	552.0	24.00	75.7	101.5	4.41
Ortalama		88.2	333	14.48	68.3	75.3	3.28

Ölçüm-4		Uygulamadan Önce Tarih: 24.01.2017			4. Kontrol Ölçümü Tarih: 24.09.2018		
Ölçüm Noktaları		GANN Digit	Litre su (m³ betonda)	Ağırlıkça su (%)	GANN Digit	Litre su (m³ betonda)	Ağırlıkça su (%)
Yatay	Düşey						
1	Üst	86.0	253.0	11.00	63.5	67.9	2.95
	Orta	86.5	264.5	11.50	62.7	67.3	2.92
	Alt	70.0	78.6	3.42	40.8	50.0	2.17
2	Üst	89.8	404.8	17.60	67.4	73.6	3.20
	Orta	90.4	432.4	18.80	67.2	73.3	3.19
	Alt	87.0	276.0	12.00	63.6	67.9	2.95
3	Üst	92.0	506.0	22.00	67.3	73.4	3.19
	Orta	83.9	181.7	7.90	47.1	55.1	2.40
	Alt	87.1	280.6	12.20	61.9	66.7	2.90
4	Üst	92.9	547.4	23.80	69.1	76.8	3.34
	Orta	92.5	529.0	23.00	71.7	83.2	3.62
	Alt	92.8	542.8	23.60	70.2	79.0	3.43
5	Üst	92.3	519.8	22.60	70.0	78.7	3.42
	Orta	92.5	529.0	23.00	70.0	78.7	3.42
	Alt	91.9	501.4	21.80	70.7	80.0	3.48
6	Üst	83.7	177.1	7.70	59.9	65.1	2.83
	Orta	84.2	190.9	8.30	67.4	73.6	3.20
	Alt	88.3	335.8	14.60	66.9	72.6	3.16
7	Üst	88.5	345.0	15.00	64.5	68.6	2.98
	Orta	88.0	322.0	14.00	64.2	68.4	2.97
	Alt	87.7	308.2	13.40	62.5	67.1	2.92
8	Üst	92.2	515.2	22.40	71.9	83.9	3.65
	Orta	84.5	201.3	8.75	70.8	80.2	3.49
	Alt	93.0	552.0	24.00	72.9	87.9	3.82
Ortalama		88.2	333	14.48	65.2	69.4	3.02

Ölçüm-5		Uygulamadan Önce Tarih: 24.01.2017			5. Kontrol Ölçümü Tarih: 20.03.2019		
Ölçüm Noktaları		GANN Digit	Litre su (m³ betonda)	Ağırlıkça su (%)	GANN Digit	Litre su (m³ betonda)	Ağırlıkça su (%)
Yatay	Düşey						
1	Üst	86.0	253.0	11.00	64.7	68.7	2.99
	Orta	86.5	264.5	11.50	64.6	68.7	2.99
	Alt	70.0	78.6	3.42	43.2	51.9	2.26
2	Üst	89.8	404.8	17.60	64.6	68.7	2.99
	Orta	90.4	432.4	18.80	64.3	68.5	2.98
	Alt	87.0	276.0	12.00	64.8	68.8	2.99
3	Üst	92.0	506.0	22.00	63.8	68.1	2.96
	Orta	83.9	181.7	7.90	57.9	63.6	2.76
	Alt	87.1	280.6	12.20	63.6	67.9	2.95
4	Üst	92.9	547.4	23.80	65.1	69.2	3.01
	Orta	92.5	529.0	23.00	64.5	68.6	2.98
	Alt	92.8	542.8	23.60	64.5	68.6	2.98
5	Üst	92.3	519.8	22.60	64.3	68.5	2.98
	Orta	92.5	529.0	23.00	64.5	68.6	2.98
	Alt	91.9	501.4	21.80	64.3	68.5	2.98
6	Üst	83.7	177.1	7.70	64.6	68.7	2.99
	Orta	84.2	190.9	8.30	64.2	68.4	2.97
	Alt	88.3	335.8	14.60	64.2	68.4	2.97
7	Üst	88.5	345.0	15.00	63.8	68.1	2.96
	Orta	88.0	322.0	14.00	63.8	68.1	2.96
	Alt	87.7	308.2	13.40	65.1	69.2	3.01
8	Üst	92.2	515.2	22.40	63.4	67.8	2.95
	Orta	84.5	201.3	8.75	63.6	67.9	2.95
	Alt	93.0	552.0	24.00	63.7	68.0	2.96
Ortalama		88.2	333	14.48	63.1	67.5	2.94

Ölçüm-6		Uygulamadan Önce Tarih: 24.01.2017			6. Kontrol Ölçümü Tarih: 02.08.2022		
Ölçüm Noktaları		GANN Digit	Litre su (m³ betonda)	Ağırlıkça su (%)	GANN Digit	Litre su (m³ betonda)	Ağırlıkça su (%)
Yatay	Düşey						
1	Üst	86.0	253.0	11.00	39.6	49.0	2.13
	Orta	86.5	264.5	11.50	60.0	65.2	2.83
	Alt	70.0	78.6	3.42	62.0	66.7	2.90
2	Üst	89.8	404.8	17.60	46.7	54.8	2.38
	Orta	90.4	432.4	18.80	60.5	65.6	2.85
	Alt	87.0	276.0	12.00	68.0	74.8	3.25
3	Üst	92.0	506.0	22.00	60.0	65.2	2.83
	Orta	83.9	181.7	7.90	60.0	65.2	2.83
	Alt	87.1	280.6	12.20	59.5	64.8	2.82
4	Üst	92.9	547.4	23.80	60.0	65.2	2.83
	Orta	92.5	529.0	23.00	63.0	67.5	2.93
	Alt	92.8	542.8	23.60	64.0	68.2	2.97
5	Üst	92.3	519.8	22.60	61.0	65.9	2.87
	Orta	92.5	529.0	23.00	65.0	69.0	3.00
	Alt	91.9	501.4	21.80	69.0	76.7	3.33
6	Üst	88.5	345.0	15.00	66.0	70.9	3.08
	Orta	88.0	322.0	14.00	69.0	76.7	3.33
	Alt	87.7	308.2	13.40	69.5	77.6	3.38
7	Üst	92.2	515.2	22.40	61.0	65.9	2.87
	Orta	84.5	201.3	8.75	66.0	70.9	3.08
	Alt	93.0	552.0	24.00	69.0	76.7	3.33
Ortalama		88.2	333	14.48	61.8	66.6	2.90

EK-2 GANN DİĞİT DEĞERİ – SU KÜTLESEL ORANI DÖNÜŞÜM TABLOSU

GANN - DIGIT	Ağır. %
9	1
23	1.5
36	2
50	2.5
65	3
71	3.5
74	4
76	4.5
78	5
80	5.5
81	6
82	6.5
83	7
84	8
85	9.5
86	11
87	12
88	14
89	16
90	18