

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YAPI MALZEMELERİNDE KÜF BÜYÜMESİNİN TAHMİNİ VE
BÜYÜMESİNİN ENGELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Bahar TÜRK

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER

MAYIS 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YAPI MALZEMELERİNDE KÜF BÜYÜMESİNİN TAHMİNİ VE
BÜYÜMESİNİN ENGELLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Bahar TÜRK
(502132403)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER

MAYIS 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**PREDICTION AND PREVENTION OF MOULD GROWTH ON BUILDING
MATERIALS**

Ph.D. THESIS

**Bahar TÜRK
(502132403)**

Department of Architecture

Construction Science Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER

MAY 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 502132403 numaralı Doktora Öğrencisi Bahar TÜRK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm Şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YAPI MALZEMELERİNDE KF BÜYÜMESİNİN TAHMİNİ VE BÜYÜMESİNİN ENGELLENMESİ” baŐlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde baŐarı ile sunmuŐtur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri yeleri : **Prof. Dr. Prof.Dr. Nihal ARIOğLU**
Beykent Üniversitesi

Prof. Dr. Halit YaŐa ERSOY
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Prof. Dr. Dilek ŞATANA
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Seden Acun ÖZGÜNLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 28 Nisan 2023
Savunma Tarihi : 26 Mayıs 2023





Eşime, çocuğuma ve aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana rehberlik eden, tecrübe ve bilgi birikimini benimle paylaşan kıymetli hocam Prof. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER'e çok teşekkür ederim. Mikrobiyoloji çalışmalarında İstanbul Tıp Fakültesi, Mikrobiyoloji Ana Bilim Dalından, Prof. Dr. Dilek ŞANATA' nin destek ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Laboratuardaki malzeme kullanımında her zaman yardımcı olan teknisyen İbrahim ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Doktora çalışmam sırasında bana destek olan eşime Yaşar TÜRK'e ve varlığıyla bana moral ve enerji veren kıymetli kızıma, çocukluğumdan bu yana eğitim konusunda bana yön ve görüş kazandıran değerli aileme minnettarım.

Ocak 2023

Bahar TÜRK
(Yüksek Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
SEMBOLLER	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Çalışmanın Önemi.....	2
1.3 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi.....	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 İç Hava Kalitesi.....	5
2.1.1 İç hava kalitesinin tanımı	8
2.1.2 İç hava kalitesinin önemi ve insanlar üzerindeki sağlık etkileri	8
2.1.3 İç hava kalitesini etkileyen faktörler	9
2.1.4 İç ortam hava kalitesini etkileyen kirletici kaynakları ve türleri.....	10
2.1.5 Ortam dışındaki çevresel kirletici kaynakları ve türleri.....	11
2.2 İç Hava Kalitesinde Yapı Malzemelerinin Rolü	13
2.2.1 Gaz ve kimyasal kirleticiler	13
2.2.2 Parçacık ve lifler	14
2.2.3 Biyolojik kirleticiler	14
2.2.3.1 Yapı performansının bir göstergesi olarak küf ve akarlar.....	15
2.3 Yapı Nemi, Biyolojik Ve Biyolojik Olmayan Kirleticilerin Kapalı Alanda Maruz Kalma Üzerindeki Etkisi	17
2.3.1 İç nem oranının sıklığı	17
2.3.2 Nemin iç hava kalitesine etkisi	18
2.3.3 Nem ile ilgili iç mekân kirleticiler	20
2.3.4 Maruz kalma.....	22
2.3.5 Nem kaynakları	23
2.4 Nem Kontrolü Ve Havalandırma	24
2.4.1 Havalandırma performansı.....	24
2.4.2 Havalandırma sistemleri.....	24
2.4.3 Havalandırma ile ilgili açık ve diğer kirlilik kaynakları	26
2.4.3.1 Dış mekân kaynakları.....	26
2.4.3.2 Hava işleme ekipmanı ve sistemlerinden kaynaklanan kirleticiler	26
2.4.4 Havalandırma ve kirleticilerin yayılması	27
2.5 Küf Mantarlarının Biyolojisi.....	28
2.6 Mayalar ve Küfler	29

2.6.1 Hücre çeperi	29
2.6.2 İpliksi mantarlar ve ipliksi bakteriler	30
2.6.3 Hifal ve maya	30
2.6.4 Mantarlarda üreme	30
2.7 Mantarlar Ve Mantar Aktiviteleri	31
2.7.1 Mantar ve mantar benzeri organizmaların çeşitliliği.....	32
2.7.2 Mantar yapısı ve altyapısı	32
2.8 Mantarlarda Büyüme Koşulları	32
2.8.1 Mantar büyümesini etkileyen faktörler	33
2.8.2 Su.....	34
2.8.3 Sıcaklık.....	35
2.8.4 Pozlama süresi.....	36
2.8.5 Oksijen ve mantar gelişimi.....	37
2.8.6 Işık	38
2.8.7 PH değeri.....	38
2.8.8 Yüzey pürüzlülüğü	38
2.8.9 Sıcaklık ve nem etkileşimleri	39
2.8.10 Bağlı nem, sıcaklık ve besin etkileşimleri.....	39
2.9 Binalarda Küf Oluşumunun Nedenleri	40
2.10 Farklılaşma Ve Gelişme	41
2.10.1 Mantarların beslenmesi	42
2.10.2 Küf mantarlarının genetik, moleküler genetik ve genomik.....	42
2.11 Nem Ve Küf Mantarlarının Sağlığa Etkileri	42
2.11.1 Alerji.....	43
2.11.2 Nem sorunu	44
2.11.3 Patojenik mantarlar	44
2.11.4 Beta-1,3-D-Glukan.....	44
2.11.5 Mikotoksisite	44
2.12 Yapı Malzemelerin İç Hava Kalitesinde Ve İnsan Sağlığında Etkisi	45
2.12.1 Biyolojik kirleticiler	45
2.12.2 Yetersiz havalandırma.....	48
2.12.3 Elektromanyetik radyasyon.....	49
2.13 Binalarda Küf Oluşumu	49
2.14 Yapılarda Küf Varlığının Nedenleri.....	50
2.15 Mantarlar Ve İç Ortam	50
2.16 Ortak Mantar Kirleticileri ve İç Mekân Kirlenmesinden Sorumlu Faktörler..	51
2.17 İç Mekan Küfleri ve Sağlık	53
3. HİDROTERMAL MODELLER	55
3.1 Hidrotermal modellere genel bakış	55
3.2 Hidrotermal modellerinin geliştirilmesi ve özelliklerini açıklanması.....	56
4. MEVCUT KÜF BÜYÜME ANALİZİNDE YÖNTEMLERİNİN	
DEĞERLENDİRİLMESİ.....	59
4.1 Sıcaklık oranı.....	59
4.2 Nem süresi modeli.....	60
4.3 Latenite.....	60
4.4 ESP-R.....	63
4.5 Küf Mantar çimlenme grafik yöntemi.....	64
4.6 Biohidrotermal model	65
4.7 Küf Büyüme Standartları Ve İlkeleri	67

5. YAPI MALZEMELERİNDE KÜF BÜYÜMESİNİN KONTROL STRATEJİSİ	
İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR	69
5.1 Yöntem Tasarımında Ana Fikir	71
5.2 Matematiksel Yöntemler	73
5.2.1 İzoplet modelleri	73
5.2.2 Hidrotermal sistemi için hesap yöntemi.....	75
5.2.2.1 Transport denklemleri	77
5.2.2.2 WUFI Programı ile yapı ürünlerinin ısı ve nem davranışını hesaplamak için gerekli veriler	81
6. YÖNTEM ÖNERİSİ	83
6.1 Hesaplama Yönteminin Yapısı ve Prosedürü	83
6.2 Hidrotermal Büyüme Koşulları İçin Yeni Yaklaşım	83
6.3 İzoplet Modelinin İşlevselliği	84
7. DENEYSEL YÖNTEM	85
7.1 İç Ortamda Yaygın Olan Küf Mantar Türünün Belirlenmesi	85
7.2 Malzeme ve Yöntem: Seçilen Konuttaki Şüpheli Yerlerdeki Küflerden Numune Alma	85
7.2.1 Malzeme	85
7.2.2 Yöntem	85
7.3 Çapa Mikrobiyoloji Laboratuvarı Tarafından Analiz Edilen Örnekler.....	87
7.4 Yapı Malzemelerinin Kritik Bağıl Neminin Belirlenmesi	90
7.5 Yapı Malzemeleri Ve Test Numuneleri	91
7.6 Malzemeler.....	92
7.7 Mantar türler.....	92
7.8 Laboratuvar Çalışmaları.....	92
7.8.1 Spor süspansiyonunun hazırlanması	93
7.8.2 Aşılama	94
7.8.3 Kuluçka	95
7.8.4 Büyüme değerlendirmesi, test numunelerinin yatay olarak cam desikatör içinde inkübe edilmesi	95
7.8.5 Numuneler üzerinde değerlendirme sonucu.....	99
8. KÜF BÜYÜME VERİLERİNİ DEĞERLENDİRME VE İRDELENMESİ,	
İZOPLET MODELİN OLUŞTURULMASI	105
8.1 Farklı sıcaklıklarda kritik bağıl nemin hesaplaması.....	105
8.1.1 Küf büyüme sınır eğrilerinin oluşturulması	106
8.1.2 Yapı ürünlerinde küf mantarı oluşumu için izoplet sistemleri.....	106
8.1.2.1 Substrat kategorisi I için izoplet modeli.....	106
8.1.2.2 Substrat kategorisi II için izoplet modeli	107
8.2 İzoplet Sistemleri ve Yeni Modelin Arasındaki Karşılaştırma	109
8.2.1 İzoplet modelinin işlevselliği	110
8.2.2 Hidrotermal modelin işlevselliği.....	111
8.2.3 Modelleme ve simülasyon ile ilgili beklenen sonuç ve ön bilgiler.....	111
8.3 Geliştirilen Yöntemin Doğrulanması İçin Küf Problemi Olan Bir Binanın Araştırılması	111
8.3.1 Vaka konusu olan yapı için bir model ve senaryosu.....	113
8.3.2 Yapı ve Malzeme Dataları	114
8.3.3 İç yükler ve kullanım verileri.....	117
8.4 Duvar Köşesinde Termal Köprü Analizi	117
8.4.1 Sistem hesaplanmasında elde edilen sonuçlar.....	119
8.4.2 Duvarın alt köşesinde küf oluşumunun belirlenmesi	120

9. MODEL SINIRLAMALARI	121
10. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	123
KAYNAKLAR.....	127
ÖZGEÇMİŞ	142



KISALTMALAR

CFU	: Koloni Oluşturan Birimi
DHN	: Dihidroksinaftlin
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
HVAC	: Isıtma, Soğutma ve Havalandırma
IAQ	: İç Hava Kalitesi
PM	: Partikül Maddeler
PVC	: Polivinil Klorür
RNA	: Ribo Nükleik Asit
RH	: Bağıl Nem
TOW	: Islaklık Zamanı
UN	: Ultraviyole Işınları
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler
VOC	: Uçucu Organik Bileşenleri
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü



SEMBOLLER

g_v	: Buhar akışı
δ	: Su buharı geçirgenliği
p	: Buhar basıncı
d	: Malzemenin kalınlığı
v_{Oi}	: İç yüzey sıcaklığı
v_{Li}	: İç ortam havasının sıcaklığı
v_{La}	: Dış hava sıcaklığı
M	: Küf indeksi
RH	: Bağıl nem
$k_{1,2}$	: Modeli geçici koşullara ayarlamak için düzeltme faktörleri
t	: Zaman
T_M	: Küf indeksine 1 ulaşılana kadar geçen süre
t_v	: İlk miselyum büyümesine geçen süre kişinin gözüyle algılanabilir
SQ	: Yüzey kalitesi
W	: Ahşap türleri
H	: Toplam entalpi
Q	: Isı akışı yoğunluğu
S_h	: Isı kaynağı
H_S	: Kuru inşaat malzemesi entalpisi
H_W	:Yapı malzemesi nemi entalpisi
q	: Isı akısı yoğunluğu
λ	: Nemli yapı malzemesinin ısı iletkenliği
v	: Sıcaklık
S_h	: Yoğuşma / buharlaşma yoluyla ısı kaynağı / ısı emici
h_v	: Faz değişiminin gizli ısı
W	: Yapı malzemesi katmanının su içeriği
g_w	: Sıvı taşıma akısı yoğunluğu
g_v	: Buhar difüzyon akı yoğunluğu
S_w	: Nem kaynağı veya nem emici
D_ϕ	: Sıvı iletim katsayısı
Φ	: Bağıl nem



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : En fazla yayın sayısı olan ülkeler(Türk,2022).	8
Çizelge 2.2 : Malzemeye bağlı, bağıl nem ve sıcaklığın spor çimlenmesine ve ilk görünür miselyum büyümesine kadar geçen süre (Gertis , 2001).	37
Çizelge 2.3 : Küf Sorunlarının sebepleri.	41
Çizelge 4.1 : Küf indeksi.	63
Çizelge 4.2 : Mevcut küf gelişimi analiz yöntemlerine genel bakış.....	66
Çizelge 5.1: Bazı araştırmaların yapı malzemelerin üzerinde küf mantarın büyümesi için gereken bağıl nemin belirlenmesi (Johansson, 2014).	70
Çizelge 5.1 (Devamı): Laboratuvar testlerindeki şartlar ile bina yapısında karşılaşılan şartlar arasındaki karşılaştırma (Johansson, 2014).	71
Çizelge 7.1 : Mantar büyümesini test etme standartları.	91
Çizelge 7.2 : Küf türleri ve sıcaklık ile ilgili bireysel mantarlar için büyüme koşulların, çalışmada kullanılan bağıl nem değerleri.	94
Çizelge 7.3 : Kapsama alanına göre büyüme oranı.	96
Çizelge 7.4 : Deney sonuçlarına göre farklı bağıl nem değerlerinde küf indeksinin iki olması için gereken süre	99
Çizelge 7.5 : Yapılan deneylere göre malzemelerin kritik bağıl nem seviyesi(22 ° c sıcaklıkta) (Türk ve diğ,2022).	103
Çizelge 8.1 : Substrat kategori I için laboratuvar sonuçları ve literatür araştırmasından elde edilen bilgiler.	106
Çizelge 8.2 : Substrat kategori II için laboratuvar sonuçları ve literatür araştırmasından elde edilen bilgiler.	108
Çizelge 8.3 : Yapı malzeme özellikleri.....	115
Çizelge 8.4 : Genel WUFI sistem girdileri	117
Çizelge 8.5 : Detaylı çerçeve parametreleri.....	117



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İç Mekan Hava Kalitesi” ile ilgili yayınların Treemap'ı(Türk,2022).	6
Şekil 2.2 : Yayınların yıllarca dağılımı(Türk,2022).	7
Şekil 2.3 : İç mekan hava kalitesini etkileyen faktörleri inceleyen yayınların dağılımı(Türk,2022).	9
Şekil 2.4 : Belirli iç mekan türlerini inceleyen yayınların dağılımı (Türk,2022).	10
Şekil 2.5 : ..Küf mantarların Yaşam döngüsünün şematik bir resmi(Sedlebauer,2001).	29
Şekil 2.6 : Küf mantarı kültürünün büyüme eğrisinin şematik diyagram (Buchanan ve diğ, 1997).	33
Şekil 2.7 :Küf çimlenmesi için önemli faktörler (Moon,2005).	34
Şekil 2.8 : Grant'e göre sıcaklığa bağlı olarak çeşitli küf mantarlarının büyüme oranları.	36
Şekil 2.9 :Sıcaklık ve bağıl neme göre küf büyüme aralığı (Sedlebauer,2001).	39
Şekil 2.10 : Spor çimlenmesi için geliştirilmiş izoplet sistemi, I (üstte) ve II (altta) bir alt tabaka kategorisi için geçerlidir.....	40
Şekil 4.1 : f'nin çeşitli sıcaklık oranlarına sahip ısı köprü merkezine olan mesafesinin bir fonksiyonu olarak, küf türlerin bağıl büyümesi (Anon, 1991).	59
Şekil 4.2 : Küf mantarlarının büyüme aşamasını (Sedlebauer,2001).	60
Şekil 4.3 : Bağıl neme bağıl olarak hesaplanan küf endeksinin zaman akışı.	62
Şekil 4.4 : Clarke'a göre sıcaklık ve bağıl neme bağıl olarak farklı küf mantar kategorileri için ilgili büyüme aralığının (izopletler) eğrilerin temsili (sedlebauer,2001).	64
Şekil 4.5 : Farklı türlerin izopletlerinden LIM'nin gelişimi (Moon,2005).	65
Şekil 4.6 : Kağıt ve akıllı buhar geciktirici malzemelerin üzerin deki sporların içindeki su içeriği (Moon,2005).	66
Şekil 5.1 : Bir küf mantarın büyüme eğrisinin aşamaları, Sedlbauer (2001).	72
Şekil 5.2 : Küf mantarlarının ilk üç büyüme aşaması (bkz. Şekil 5.1) aralığında substrata bağıl büyüme süreçleri.	72
Şekil 5.3 : İzoplet sistemleri, sıcaklık ve bağıl neme bağıl olarak gün olarak çimlenme zamanlarını gösterir (Smith,1982).	74
Şekil 5.4 : Küf mantarlarının spor çimlenmesi için izoplet sistemleri (Sedlebauer,2001).	75
Şekil 5.5 : Kış aylarında ters yönde akan buhar basıncı ve bağıl nem gradyanları ile gözenekli higroskopik yapı malzemelerinde nem taşınmasını gösteren diyagram (Kunzel, 1995).	80
Şekil 5.6 : WUFI programının hesaplama tekniğinin akış şeması.	80

Şekil 5.7 : Duvar taş test parçasını su emme işlemi sırasında gösteren şema (Kunzel, 1995).	81
Şekil 7.1 : Petri kabının dibinde pamuklu çubuğunu ileri ve geri kaydırarak küf numunesinin dikkatlice petri kabına aktarılması.	86
Şekil 7.2 : Hazırlanan örnekler.	87
Şekil 7.3 : Petri kabından koloni alınması.	87
Şekil 7.4 : Hazırlanan lamalar.	88
Şekil 7.5 : Mantar Sporları ve hiflerin mikroskop altında incelenmesi.	88
Şekil 7.6 : Penicillium.....	89
Şekil 7.7 : Cladosporium	89
Şekil 7.8 : Chaetonium.....	89
Şekil 7.9 : Scopulariopsis.....	90
Şekil 7.10 : Aspergillus.....	90
Şekil 7.11 : Acremonium	90
Şekil 7.12 : Her santrifuj test tüpüne 10 mililitre saf su döküldü ve sonra yetmiş küf mantarları petri kaplarından pamuklu çubuk yardımıyla sporlardan alınarak test tüpüne eklendi.	93
Şekil 7.13 : Karışımın ölçülmesi.....	93
Şekil 7.14 : Küf türleri ve sıcaklık ile ilgili bireysel mantarlar için büyüme koşulları, çalışmada kullanılan bağıl nem.	95
Şekil 7.15 : Kartonlu alçı levhada, büyümenin ilk aşaması (indeks 2) bir hafta maruz (96% RH ve 22°C)kaldıktan sonra. (Mikroskop altında ve çıplak gözle değerlendirilmesi).	97
Şekil 7.16 : Kartonlu alçı levha da, indeks 3 (ilk görsel bulgular) testin başlangıcından 2 hafta sonra tespit edildi.	97
Şekil 7.17 : Taş yününde 2. ve 9.hafta değişimler	98
Şekil 7.18 : Su bazlı ve solvent bazlı boyalar üzerinde mantar büyümesi 8-10 hafta arasında çıplak gözle görülecek şekilde belirlendi	98
Şekil 7.19 : Haftalık inkübasyon sonuçlarına göre farklı bağıl nem değerlerine göre, iki yüzü kartonlu alçı levha için kritik nem seviyesi (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ,2022).	100
Şekil 7.20 : Haftalık inkübasyon sonuçlarına göre farklı bağıl nem değerleri göre, taş yünü için kritik nem seviyesi (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ,2022).	101
Şekil 7.21 : Haftalık inkübasyon sonuçları göz önüne alındığında; farklı bağıl nem değerlerine göre, su bazlı boya için kritik nem seviyesi değerleri (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ,2022).	101
Şekil 7.22 : Haftalık inkübasyon sonuçları göz önünde alındığında; farklı bağıl nemlere göre, solvent bazlı boya için kritik nem seviyesi (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ,2022).	102
Şekil 7.23 : Haftalık inkübasyon sonuçları gözönüne alındığında; farklı bağıl nemlere göre, cam ve kompozit için kritik nem seviyesi (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ,2022).	102
Şekil 7.24 : Kritik küf büyümesi için gereken sürenin grafiği belirtilen bağıl nemde. (Zaman haftalık olarak belirlenir) (Türk ve diğ,2022).	103
Şekil 8.1 : Kategori I için, küf mantarı büyüme izoplet sistemin eğrileri (Gün olarak (d) spor çimlenme zamanlarıdır).	107
Şekil 8.2 : ... Kategori II için, küf mantar büyüme izoplet sistemi (Gün olarak(d) spor çimlenme zamanlarıdır).	109

Şekil 8.3 : Çimlenme süresine göre yeni modelim, Sedlbauer'ın substrat kategorisi I ve II, orijinal VTT modeli ve ESP-r xerophilic modeli ile arasındaki karşılaştırma.	110
Şekil 8.4 :Vaka, beş katlı bir apartmanın bodrum kat dairesidir.	112
Şekil 8.5 : Duvarların alt kısmında küf mantarı istilası.	112
Şekil 8.6 : Vakanın, dış görünüşü, planı ve küf oluşumunun konumları.	113
Şekil 8.7 :Analiz edilen duvarın ve içindeki pencerenin ebatları.	114
Şekil 8.8 : Köppen iklim sınıflandırmasına göre, İstanbul iklimi.	114
Şekil 8.9 :Dış duvar detayı.	115
Şekil 8.10 : Pencere detayı	116
Şekil 8.11 : Balkon kapı detayı	116
Şekil 8.12 : Isı köprüsünden dolayı ısı tutuculuk kaybı, kararlı durum hesaplamasındaki doğrusal veya noktasal termal geçirgenlik katsayıları ile hesaplanır.	118
Şekil 8.13 : Analiz edilen bölgenin üç boyutlu çizimi.....	118
Şekil 8.14 : Hesaplama sırasında 3D Nesnenin görselleştirilmesi.	119
Şekil 8.15 : Duvar köşesinde ısı köprüsü nedeniyle daha düşük sıcaklık oluşumu.	119
Şekil 8.16 : ... WUFI Plus yazılımında 3 boyutlu duvar alt köşesinin iç yüzey sıcaklık değişiminin grafiği.	120
Şekil 8.17 : Duvar alt köşesinin yüzey bağıl neminin zamana bağlı değişimi.	120



YAPI MALZEMELERİNDE KÜF BÜYÜMESİNİN TAHMİNİ VE BÜYÜMESİNİN ENGELLENMESİ

ÖZET

İç ortamlarda mantar gibi mikroorganizmaların büyümesinin, bina yapısına ve insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Ne kadar yapı biliminde önemli gelişmeler olsa da, iç ortamda küf büyümesinin sistematik olarak inceleyip tasarım aşamasında önlenmesi ile ilgili etkili bir yöntem yoktur.

Ulusal ve uluslararası standartlar, yönergeler ve birçok araştırma projelerinde, küf büyümesinin önlenmesi için sadece bağıl nemin belirli bir sınırın altında tutulmasına odaklanılır. Oysaki birçok çevresel ve biyolojik faktörler, küf mantar oluşumunu etkileyebilir. Bu nedenle, iç ortamda mantarların büyümesini kontrol etmek için etkili faktörler ve bunların birbirleriyle etkileşimlerinin belirlenmesi bu çalışmada önemli bir yer almaktadır. Küf gelişimini önlemek için kullanılan, bir yöntem de biyosit kullanılmasıdır. Biyositlerin uygulanmasında, özellikle iç ortam kullanımında her zaman ek sağlık riskleri olabilir. Ayrıca, küf oluşumunu yalnızca sınırlı bir süre için önlemek mümkündür. Aslında, bu konuda bazı ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu bağlamda borat bazlı çok bileşenli sistemler insan sağlığına olumsuz etkisi olmayan ve uzun süreli koruma sağlayabilen bir ürün olarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda diğer biyositlere göre daha düşük maliyetli bir üründür. Bu konu ileride yapılacak ayrı bir çalışma olarak değerlendirilebilir.

Literatür çalışmalarının incelenmesi ve bu konuda yapılan bilimsel araştırmaların avantaj ve dezavantajlarını göz önünde bulundurarak mantarların büyümesinin öngörülmesi ve büyümeyi önlemek için sistematik bir plan tasarlanmıştır.

Araştırmalara göre, küf mantarlarının büyümesi için en önemli faktörler ise,

- Sıcaklık
- Bağıl nem
- Mantarların büyüdüğü yüzeylerin özellikleri (özellikle besin içeriği açısından)
- Aynı zamanda bu üç faktörün belli bir süre bir arada olması halidir.

İç ortamlarda, mantar türlerinin belirlenmesi ve bu türler arasındaki nem ve ısı koşullarına bağlı olarak farklı büyüme şartlarının incelenmesi, bu çalışmanın önemli aşamalarından biridir.

Mantar büyümesinin ön koşulları ve çevre koşullarını hesaplayan tüm modern yöntemlerin incelenmesi ile binalarda iç yüzeylerde küf mantarı oluşumunu önlemek için yeni bir analiz yöntemi geliştirilmiştir.

Bu yöntemde, ısı ve bağıl neme bağlı olarak küf spor çimlenme süreçlerin belirlenmesinde İzoplet sistemi kullanılmıştır. Yapı malzemelerinin küfe karşı dirençlerini hesaba katmak için, yapı malzemeleri dirençlerine göre üç farklı sınıfa

ayrılmıştır. İki sınıf için iki farklı izoplet sistemi tanıtılmıştır. Üçüncü sınıf ise küf mantarlarına dayanıklı olduğundan bir sistem belirlenmesine gerek kalmamıştır.

Aynı zamanda, binalarda iç yüzey hidrotermal koşullarının hesaplanmasında WUFI simülasyon programı kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmalardan ve literatür taramasından elde edilen sonuçlara göre, küf mantarı büyümesinin ilk belirtilerinin gözlemlenmesi (çıplak gözle) için gereken süre, substratların besin içeriğine bağlıdır. Buna göre, substrat ne kadar besin yönünden zengin ise, küf büyümesi için gereken sıcaklık ve bağıl nem o kadar düşük olur ve maruziyet süresi ise daha kısadır.

Bu nedenle, optimal kültür ortamında küf büyüme süresi diğer substratlara göre önemli derecede farklıdır.

Spor çimlenmesi ve görünme aşamasına gelmesi için sporun belirli bir nem içeriğine ulaşması gerekir. Bu nem değeri birçok araştırma projesinde yapı malzemelerinin kritik bağıl nemi olarak tanıtılmıştır. Bu çalışmada aynı terim kullanılmaktadır.

Bu bilgilere dayanarak, geçici iç ortam hidrotermal koşulları altında yapı malzemelerinde kritik bağıl nemin belirlenmesi, küf büyümesini tahmin etmek için yeterli olabilir. Yapı malzemelerinin nem içeriği bu değerlerin altında kalırsa iç ortamlarda küf oluşumu engellenebilir.

Bu çalışmada, yapı malzemelerinin kritik bağıl nemi ve bu değere ulaşması için gereken süre yapı malzemesine bağlı olarak tasarlanan izoplet sistemi ve WUFI simülasyonundan elde edilen data'lara göre belirlenir.

Yeni yöntem, pratik bir yöntem olarak, mimarların iç ortamda küf oluşumunu önlemek için uygun bir yapı tasarımına ve her bina katmanı için doğru malzemeleri seçmesinde yardımcı olur.

Bu tezde kullanılan simülasyon programı bina kusurlarında meydana gelen nem ve rutubet problemlerini (su kaçağı gibi) içermediği için çalışma dışı bırakılmıştır. İç mekanlarda küf mantarının büyümesi, çeşitli koşullardan etkilenir. pH seviyesi, oksijen içeriği ve ışık dahil olmak üzere bu elementlerden bazıları modelde dahil edilmemiştir. Bu konuları dikkate alan senaryolar ve ek mekanizmalar gelecekteki çalışmalar için bir konu olmaya devam edebilir.

Sonuç olarak, küf riski için bu tezde önerilen yeni yöntem, belirli durumlarda standart değerlendirmede gizli kalacak sebepleri başarıyla belirlemektedir. küf oluşumunu kontrol altına almak veya engellemek için bu problemin üzerinde önemli bir etkiye sahip olan faktörlerin tanımlanması en etkili adımdır. Geliştirilen yöntem, farklı bina türlerinde küflenmeyi önlemek için bina performans kriterlerinin düzenlenmesi için bir temel sağlayabilir.

PREDICTION AND PREVENTION OF MOULD GROWTH ON BUILDING MATERIALS

SUMMARY

The growth of microorganisms such as fungi in indoor environments has a negative effect on the building structure and human health. Although there are important developments in building science, there is no effective method to prevent mold growth in the indoor environment. National and international standards, guidelines and many research projects focus only on keeping the relative humidity below a certain limit to prevent mold growth. However, many environmental and biological factors can affect the growth of mold. Therefore, determining the effective factors to control the growth of fungi in indoor environments and their interactions with each other is an important part of this study. Biocides are one means of preventing mold development. There is always the possibility of extra health concerns associated with the use of biocides, particularly when used indoors. Additionally, it may temporarily suppress mold development. Indeed, progress has been made in this direction. In this regard, borate-based multi-component systems have been examined as a product that is nontoxic to humans and capable of providing longterm protection. Additionally, it is a less expensive product than others. This issue may be pursued in the future study.

A systematic plan was designed to predict and prevent the growth of fungi, taking into account the advantages and disadvantages of scientific researches and studies of the literature.

According to research, the most important factors for the growth of mold fungi are,

- Temperature
- Relative humidity
- The properties of the surfaces where fungi grow, especially in terms of nutritional content

At the same time, these three factors are together for a certain period of time.

Determination of fungal species in indoor environments and investigation of different growth conditions depending on relative humidity and temperature conditions among these species is one of the important stages of this study.

By examining all modern methods that calculate the prerequisites for fungal growth and environmental conditions, a new analysis method was developed to prevent the formation of fungus on the interior surfaces of buildings.

In this method, the Isopleth system is used to determine mold spore germination processes depending on temperature and relative humidity. Building materials were classified into three different classes according to their resistance to take into account their resistance to mold. Two different isopleth systems were introduced for the two

classes. Since the third group is resistant to fungi, there was no need to define a Isopleth System.

At the same time, WUFI simulation program was used to calculate interior surface hydrothermal conditions in buildings.

According to the results obtained from experimental studies and literature review, the time required to observe (with the naked eye) the first signs of growth of mold fungus depends on the nutrient content of the substrates.

Accordingly, the more nutrient rich the substrate, the lower the temperature and relative humidity required for mold growth and the shorter the exposure time.

Therefore, mold growth time in optimal culture medium is significantly different from other substrates.

In order for the spore to germinate and reach the stage of appearance, the spore must reach a certain moisture content. This moisture value has been introduced as the critical relative humidity of building materials in many research projects. The same term is used in this study.

Based on this information, determining the critical relative humidity of building materials under temporary indoor hydrothermal conditions may be sufficient to predict mold growth.

If the moisture content of building materials remains below these values, the growth of mold in indoor environments can be prevented.

In this study, the critical relative humidity of building materials and the time required to reach this value are determined according to the data obtained from the Isopleth system, which is designed depending on the building material and WUFI simulation.

The new method, as a practical method, helps architects to design a suitable building design and select the right materials for each building component to prevent mold growth in the interior environment.

Certain problems, such as water leakage, that result in moisture and humidity in the building are outside the purview of the simulation tool utilized in this study.

The growth of mold fungus indoors is influenced by a variety of other conditions. Some of these elements, including pH level, oxygen content, and light, were not included in the study. Scenarios and additional mechanisms that take these issues into account may continue to be a topic for future work.

As a result, the new method for mold risk can successfully identify causes that will remain hidden in the standard assessment.

The best way to limit or stop mold growth is to identify the factors that significantly affect this issue. The method developed can provide a basis for setting building performance criteria to prevent mold in different building types.

It is demonstrated that the developed model in this thesis substantially exceeds the state of the art when compared to previously accepted guidelines, preventative measures, and other prediction techniques.

The ability to forecast the growth of mould fungi allows researchers to address issues that, up until now, were not amenable to simple predictions or observations made with acceptable effort.

The novel method for predicting the production of mould fungus when planning building projects or redevelopment measures can be expected to be widely used as a result of these straightforward and entirely reasonable qualities.



1. GİRİŞ

Çok eski zamanlardan günümüze kadar, iç ortamda küf mantarların büyümesini önlemek için çeşitli önlemler alınmıştır. Alınan önlemlere göre bu konunun ne kadar önemli olduğu anlaşılabilir. Aynı zamanda bu mikroorganizmaların iç ortamda olumsuz etkileri de kayda değer düzeydedir. Bu nedenle, küf mantarların büyümesinde ön koşulların belirlenmesi ve iç ortamın geçici hidrotermal koşulları önem kazanır.

Küf mantarların büyümesini etkileyen önemli faktörler ise, sıcaklık, bağıl nem ve substrattin besin içeriğidir ve bu faktörlerin aynı zamanda bir arada olmasıdır.

Bu faktörlerin bir arada olması ve aynı zamanda birbirleriyle etkileşimleri ne kadar önem kazansa da, mevcut standartlarda ve yönergelerde, iç ortamlarda bağıl nemin belirli bir sınır altında tutulmasında odaklanır. Bu nedenle iç ortamda küf mantarların büyümesinde tüm ana faktörleri içeren etkili bir yöntem oluşturmak önemlidir.

Küf mantarların büyümesinin bina sakinlerinin sağlığı üzerinde olumsuz etkisi olması nedeniyle, bina bileşenlerinin yüzeyindeki küf mantarlarına karşı önlemler alınmalıdır. Bu nedenle farklı yapı malzemelerinin mantar oluşumuna karşı direncinin belirlenmesi bu konuda temel adımlardan biridir. Bu bilgi ile inşaat işlerinde ortam şartlara göre uygun malzemeler seçilebilir. Aynı zamanda iç ortamda mantar oluşumunu en aza indirilebilir.

1.1 Tezin Amacı

İç ortamlarda mantar gibi mikroorganizmaların büyümesinin, bina yapısında ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Her ne kadar yapı biliminde önemli gelişmeler olsada, iç ortamda küf büyümesinin önlenmesi ve bunun tasarıma yansması ile ilgili etkili bir yöntem yoktur.

Ulusal ve uluslararası standartlarda, yönergelerde ve birçok araştırma projesinde, küf büyümesinin önlenmesi için sadece bağıl nemin belirli bir sınırın altında tutulmasına odaklanılır. Oysaki birçok çevresel ve biyolojik faktör, küf mantarı oluşumunu

etkileyebilir. Bu nedenle büyümeyi etkileyen faktörler ve bu faktörlerin birbirleri üzerindeki etkileşimlerinin belirlenmesi, iç ortamdaki küf mantarı büyümesinin analizinde ilk adım olabilir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda çeşitli küf büyüme analiz yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu tezde literatürdeki küf analiz yöntemleri incelenmiştir. Daha sonra avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Son yıllarda yapılan tüm çalışmalara rağmen, iç ortamda küf mantarlarının büyümesi ve olumsuz etkileri engellenememiştir. İç ortamdaki mantarların büyümesinin önlenmesi için, en etkili yollardan birisi, tasarım aşamasında doğru bir yöntem ile mikroorganizmaların büyümesinin tahmin edilmesi, uygun tasarım yapılması ve malzeme seçilmesidir. Bu bilimsel çalışmanın amacı, yapı sektöründeki tasarımcılar ve uygulayıcılar için, küf mantarının oluşumunun tahmin edilmesinde pratik bir yöntem geliştirilmesidir.

1.2 Çalışmanın Önemi

İnsanlar zamanlarının %80'ini kapalı alanlarda geçirmektedirler. Bu nedenle iç ortamın hava kalitesinin yüksek olması ve insan sağlığı için bir tehlike oluşturmaması önemlidir. İç ortamın hava kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. En önemli faktörlerden birisi mikroorganizmalardır. İç ortamda en çok rastlanan mikroorganizmalardan biri küf mantarıdır. İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan bu mikroorganizmaların neden olduğu yapı elemanı ve malzeme bozulmalarının önlenmesi için küf mantar büyümesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve oluşumunun önlenmesi gerekmektedir.

Son zamanlarda, küf mantarlarının büyümesinin analizi ve tahmini için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu büyümeyi etkileyen tüm faktörleri hesaba katmamıştır. Yöntemlerden bazılarında tüm faktörlerin dikkate alınmasına rağmen yöntemin karmaşıklığından dolayı kullanılması zordur. Bu nedenle, mantarların büyümesini etkileyen tüm faktörleri içeren pratik bir yöntemin oluşturulması önemlidir. Bu kapsamda bu çalışma içerisinde küf mantarı büyümesinin ön koşullarını ve bu konuyla ilgili mevcut olan birçok yöntemi inceleyerek küf mantarı büyümesini etkileyen ana faktörleri içeren pratik bir yöntem önerilmiştir.

1.3 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Bu çalışma, on bir temel bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın amacı, önemi, kapsam ve yöntemine değinilmiştir. İkinci bölüm literatür araştırması bölümüdür. Literatür kısmında iç hava kalitesi, iç hava kalitesini etkileyen faktörler incelenmiştir. Üçüncü bölümde binalarda nem ve küf mantarı oluşumu problemleri ile kontrol stratejileri ve küf büyüme analiz yöntemleri ile ilgili yayınlanan makaleler, standartlar, yönergeler vb. kaynaklar incelenmiştir. Dördüncü bölümde, küf mantarının iç hava kalitesini olumsuz etkilemesi, küf büyümesini etkileyen faktörler ve küf büyümesini engelleyen yöntemlere değinilmiştir. Beşinci bölümde, yapı malzemelerinde küf büyümesinin kontrol stratejisi için yeni yaklaşımlara değinilmiştir. Altıncı bölümde, önerilecek model için sınırlamalar belirlenmiş, tezde kullanılan matematiksel yöntemler (izoplet ve hidrotermal modelleri) açıklanmıştır. Yedinci bölümde, İstanbul ve benzeri iklim bölgelerini temsilen İstanbul'dan alınan küf mantarı örneklerinin türlerinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışma verilmiştir. Yapı malzemeleri, küf mantarına karşı dirençlerine göre sınıflandırılması göz önünde bulundurularak laboratuvar çalışması için seçilmiştir. Bu malzemeler kategori I için kartonlu alçı levha, kategori II için taş yünü, su bazlı boya ve solvent bazlı boya, kategori III için cam ve alüminyum kompozit olarak seçilmiştir. Sekizinci bölümünde, laboratuvar çalışmasında elde edilen değerler yapı malzemelerin kategori I ve II için izoplet modellerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu bölümde izoplet modeli ve hidrotermal modelin işlevselliği anlatıldıktan sonra, yöntemin doğrulanması için küf problemi olan bir bina üzerinde araştırılması yapılmıştır ve WUFI simlasyon programının yardımı ile, bu binada küf probleminin nedeni açıklanmıştır. Sırası ile dokuz, on ve on birinci bölümlerde, bu tezde kullanılan yöntemin sınırlamaları, sonuçları ve öneriler yer almaktadır.



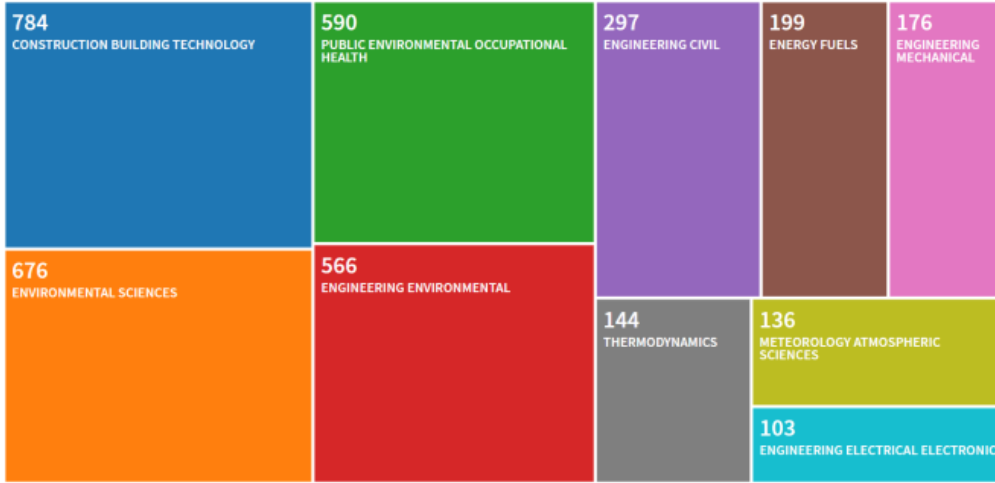
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hava yoluyla bulaşan hastalıklar, iç hava kalitesinin önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Bu tezde, iç hava kalitesini etkileyen faktörler ele alınmıştır. İç ortamlarda iç hava kalitesini etkileyen faktörler ve bu faktörlerin etkileri yayınlanmış çalışmaları incelenerek ortaya konmuştur. Faktörlerden bazıları mikroorganizmalardır. Bu tez çalışmasında bu mikroorganizmaların en önemlisi olan küf mantarları üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

2.1 İç Hava Kalitesi

İnsanların yüzde 80-90'ı zamanlarının çoğunu kapalı alanlarda geçirmektedir (Klepeis ve diğ, 2001). Yaşadığımız, çalıştığımız, eğlendiğimiz vb. mekânların tümü kapalı alandır, dolayısıyla kapalı alandaki konfor önem kazanmaktadır.

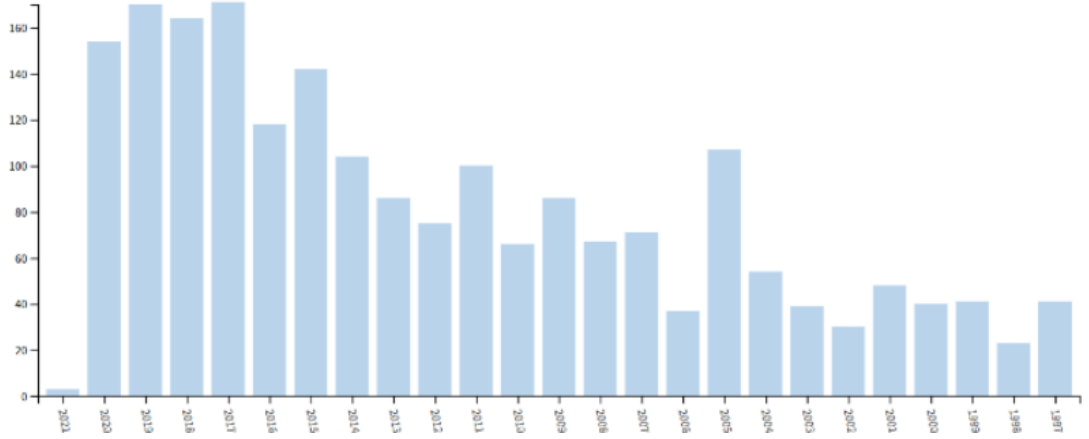
İç hava kalitesini etkileyen faktörler ve etkileri yayınlanmış çalışmaları incelenerek ortaya konulmuştur. 1975 ile 2020 yılları arasında iç mekan hava kalitesi ile ilgili akademik yayınlar bibliyometrik yöntemle analiz edilmiştir. Web of Science veritabanına kayıtlı 2398 akademik çalışması incelenmiştir. Şekil 2.1' de yıllara bağlı olarak iç mekan hava kalitesi üzerinde yayınlanan yayınların dağılımını göstermektedir. Bu bağlamda, 2010 yılından bu yana yayın sayısında önemli bir artış olduğu belirlenmiştir. En fazla yayına sahip yıl, 170 çalışmanın yapıldığı 2017 idi. Öte yandan, 2019 yılında 169 akademik çalışma sunulmuştur (Türk, 2022).



Şekil 2.1 : İç Mekan Hava Kalitesi ile ilgili yayınların Treemap'ı(Türk,2022).

Doğadaki hava sürekli yenilenmekte ve dönüşmektedir. Temiz hava fizyolojik olarak uygun miktarda coli basileus ve optimal oranlarda bulunan iyonları içerir (Wallne ve diğ, 2015). Zararlı gazlar içermez ve kokusu rahatsız edecek bir yapıda değildir. Yapı malzemeleri, mobilyalar, boyalar ve cilalardaki kimyasalların çoğu ve temizlik amacıyla iç mekânda kullanılan temizlik malzemelerinin çoğu her yıl zararlı gazlar yaymaktadır (Zhang and Smith, 2005; Bower, 2009; Apte and Salvi, 2015; Landrigan, 2017). Kapalı alanın yeterli şekilde havalandırılması, malzemelerden hava kirliliğinin yayılmasını önlemeye yardımcı olur. Bir insanın rahat hissetmesi için 30 m³/saat taze havaya ihtiyacı olduğu tahmin edilmektedir. Doğal yapı malzemeleri kullanılıyorsa yukarıdaki değer kişi başına 30 m³/saat, plastik malzemeler kullanıldığında ise kişi başına 60 m³/saat değerine kadar çıkabilmektedir (Seguel ve diğ, 2017).

Öte yandan, İnşaat Mühendisliği, Termodinamik, Enerji Yakıtları, Makine Mühendisliği, Meteoroloji ve Atmosfer Bilimleri, Elektrik ve Elektronik Mühendislik alanlarında çalışmalar yapıldığı gözlenmiştir (Şekil 2.2) (Türk, 2022).



Şekil 2.2 : Yayınların yıllarca dağılımı(Türk,2022).

Yayınların ülkeye göre dağılımı incelenmiştir ve yayınların toplam 65 farklı ülkede yapıldığı belirlenmiştir. Ancak, yayınların dörtte birinin sadece ABD'de yapıldığı tespit edildi. Öte yandan, çalışmaların% 67'si en çok yayınların yapıldığı 10 ülkede yayınlandı. Bu ülkeler Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Bu bağlamda, en fazla yayının yapıldığı ülkelerin geliştirildiği ve gelişmekte olan ülkeler olduğu gözlenmiştir(Türk, 2022).

Çizelge 2.1 : En fazla yayın sayısı olan ülkeler(Türk,2022).

Field: Countries/Regions	Record Count	% of 2,398	Bar Chart
USA	559	23.311 %	
Peoples R. China	330	13.761 %	
South Korea	125	5.213 %	
Canada	102	4.254 %	
England	100	4.170 %	
France	91	3.795 %	
Italy	81	3.795 %	
Portugal	87	3.628 %	
Germany	68	2.836 %	
India	63	2.627 %	

2.1.1 İç hava kalitesinin tanımı

Bireylerin zamanlarının büyük bir bölümünü iç mekanlarda geçirmeleri nedeniyle, iç ortam hava kirliliğine maruz kalma hem insan sağlığı hem de iş yeri performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (EPA).

"İç mekan havasının optimum kalitesi" terimi, rahatsızlık veya sağlık sorunları oluşturmeyen hava kalitesini ifade eder. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), daha iyi ve daha sağlıklı iç hava kalitesini yalnızca hastalık olmaması değil, aynı zamanda bireylerin yaşadığı tam bir rahatlık duygusu olarak tanımlamaktadır.

2.1.2 İç hava kalitesinin önemi ve insanlar üzerindeki sağlık etkileri

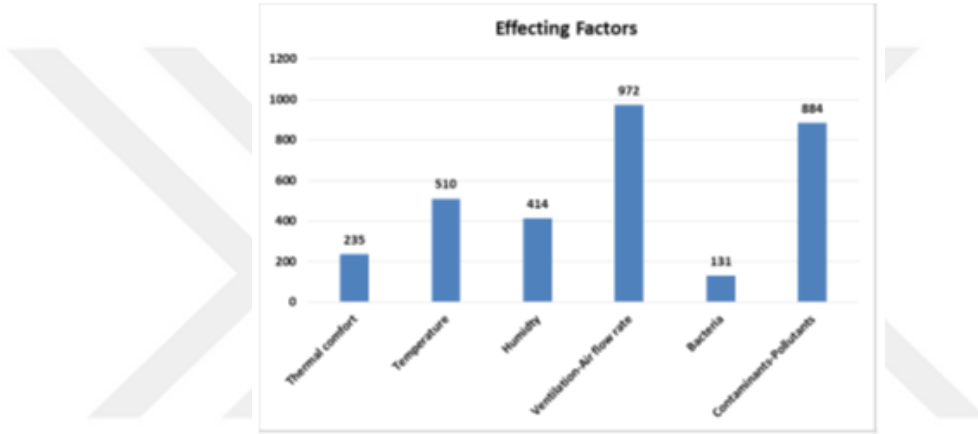
İç havadaki kirleticilerin miktarının artması, önemli sağlık problemlerine neden olabilir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, her yıl 4.3 milyon insan düşük iç hava kirliliğine maruz kalmanın bir sonucu olarak ölüyor(EPA).

İç hava kalitesini etkileyen kirleticiler belirli bir düzeye ulaştığında insanlar üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkilerinin nedenlerini belirlemek için bir çok sayıda çalışma yapılmıştır (Kosonen ve Tan, 2004).

Bu kirleticiler nefesimiz yoluyla vücudumuza girmeye çalışarak vücudumuzu onlara karşı savunmasız hale getirir (Wolkoff).

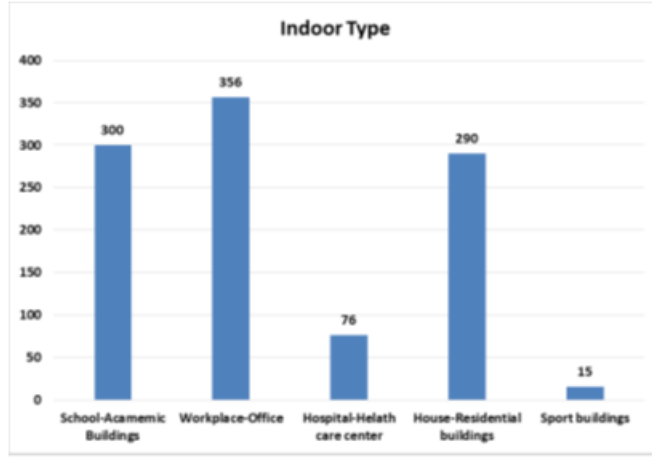
2.1.3 İç hava kalitesini etkileyen faktörler

İç mekan hava kalitesini etkileyen faktörlerle ilgili yayınların dağılımı incelenmiştir. Bu bağlamda, iç mekan hava kalitesini etkileyen faktörler arasında havalandırma ve hava akış hızının çoğunlukla incelendiği belirlenmiştir. Öte yandan, kirleticilerin etkilerini inceleyen önemli miktarda çalışma yapılmıştır(Türk, 2022). Ek olarak, sıcaklık, nem, bakteri ve termal konforla ilgili yayınların da ortaya çıktığı gözlenmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : İç mekan hava kalitesini etkileyen faktörleri inceleyen yayınların dağılımı(Türk,2022).

İç mekan hava kalitesinin incelendiği yerler göz önüne alındığında, iş yerleşimlerinin, ofislerinin ve çalışma ortamlarının çoğunlukla incelendiği bulunmuştur(Türk, 2022). Öte yandan, konut binalarında, evlerde, okullarda ve hastanelerde iç mekan hava kalitesi üzerine çalışmalar olduğu gözlenmiştir (Şekil2.4)



Şekil 2.4 : Belirli iç mekan türlerini inceleyen yayınların dağılımı (Türk,2022).

2.1.4 İç ortam hava kalitesini etkileyen kirletici kaynakları ve türleri

Amerikan Alerji Birliği, bir hastalığın oluşmasının ve yayılmasında iç mekân kirliliğinin neden olduğunu vurgulamakta ve bu oranın ise %50'e kadar ulaşabildiğini ifade etmektedir (Ashmore ve diğ, 2008; Guan, 2016 Holgate, 2017; Lee ve diğ, 2019). Alerji, kas ağrısı, yorgunluk, solunum yolu enfeksiyonları, hatta toksisite sağlık sorunlarının ortaya çıkmasında iç mekân havasının büyük önemi bulunmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 2012 yılında hazırlanan bir raporda, bazı ülkelerdeki iç mekân hava kirleticileri nedeniyle ölümlerin olduğunu ortaya koymaktadır.

Master'ın 1998'de yaptığı bir araştırmada, insanların yapı malzemelerinden kaynaklanan iç mekân hava kirliliğinden etkilendiklerini ortaya koymuştur. İç mekân hava kirleticileri, iç mekândaki fiziksel koşullar, binaların tasarımı, binada bulunan çevresel özellikler ve ayrıca orada yaşayan insanların davranışları nedeniyle farklılık göstermektedir. Araştırmalar, yeni gelişen veya iyileştirilmiş binalarda bile sağlıklı koşulların tam olarak uygulanamadığını göstermiştir. Ayrıca, binaların % 30'unun "Hasta Bina Sendromu" na neden olduğu bildirilmektedir.

Binalardaki hava kalitesini etkileyen başlıca hava kirleticileri şunlardır:

- Zararlı gazlar (Karbon dioksit, Karbon monoksit, Azot oksitler, Ozon, Kükürt oksitler, Radon)
- Biyoerosoller (Biyolojik Kirleticiler)
- Uçucu Organik Bileşikler (Formaldehit, Benzen, Kloroform, Toluen, Ksilen, Pestisitler)

- Partikül Madde
- Kurşun
- Asbest
- Toz
- Kokular

Bu maddelerin sağlık üzerindeki tehlikeli etkilerinden bazıları bilinmektedir; ancak, çoğu henüz detaylı arattırmaların konusu olmamıştır.

2.1.5 Ortam dışındaki çevresel kirletici kaynakları ve türleri

Dış hava kirletici maddeleri esas olarak NO₂, SO₂, O₃, CO, HC ve farklı parçacık boyutlarındaki partikül maddelerden (PM) oluşur. Kentsel alanlarda, bu kirletici maddeler çoğunlukla kara ve kara taşıtlarından yayılmaktadır, ancak aynı zamanda elektrik santralleri, endüstriyel kazanlar, yakma tesisleri, petrokimya tesisleri, uçaklar, gemiler ve buna bağlı olarak rüzgârlarla taşınması da katkı sağlamaktadır.

Kentsel hava kalitesi şehir tasarımından oldukça etkilenmektedir. Yoğun dağılmış ve derin sokak aralıkları (yüksek bina yüksekliği yol genişlik oranlarına sahip binalar) yaklaşan rüzgârı tıkayabilir ve zayıflatabilir, böylece hava dağılma kabiliyetini azaltabilir (Cheng ve diğ, 2009; Li ve diğ, 2009a, Li ve diğ, 2010b). Öte yandan, iyi kentsel tasarım hava kirletici maddeleri dağıtabilir ve hava kirletici birikimi sorunlarını hafifletebilmektedir (Li ve diğ, 2005, Li ve diğ, 2009; Santamouris, 2013).

Birçok çalışma, iç hava kalitesinin dış havadan etkilendiğini göstermektedir (Baek ve diğ, 1997; Jones ve diğ, 2000; Kuo ve Shen 2010; Meadow ve diğ, 2014; Fung ve diğ, 2014).

Kuo ve Shen (2010), bir toz fırtınası etkinliği sırasında hem iç hem de dış havadaki PM_{2.5} ve PM₁₀ yoğunlaşmalarında benzer bir artış bulmuş ve bunun nedenini binalarının havalandırma sisteminden dış havanın çıkarılması olarak yorumlamıştır. Baek ve diğ. (1997) Kore kentsel bölgelerinde G / Ç ilişkilerini incelemiş ve ortam havasının iç mekân havasının kalitesini belirlemedeki öneminin olduğunu doğrulamışlardır. Çalışmalarında, hem iç hem de dış ortamlarda ölçülen VOC'lerin çoğu dış mekân kaynaklarından elde edilmiştir.

Son zamanlarda, Fung ve diğ (2014), boşaltma kamyonlarından mekanik olarak havalandırılan bir binaya dizel egzozun yayıldığına dair kanıtlar bulmuşlardır. Bu, düşük seviyede tasarlanan temiz hava girişleri için oldukça yaygın bir olgudur. Jones ve diğ. (2000), İngiltere'nin Birmingham kentindeki farklı bölgelerinde bulunan evlerde PM'in iç ve dış ilişkileri konusunda bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmalarında, kimyasal bileşim incelenmiş, iç mekânda dışarıdan havanın içeri girdiğini gösteren ince kurşun ve sülfat parçacıklarının bulunduğunu tespit etmişlerdir. Literatürlerin çoğu dış mekân ortamlarının iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır (Raunemaa ve diğ, 1989; Freijer ve Bloemen, 2000; Cyrus ve diğ, 2004; Chen ve Zhao, 2011). Bununla birlikte, iç ortam hava kalitesi dış ortamları da etkilemektedir. Lonc ve Plewa, kümes hayvanı çiftliklerinde iç ve dış mekân biyoerosollerini karşılaştırmış ve çiftlik binalarının atmosferdeki insan sağlığını etkileyebilecek mikrobiyolojik kirleticileri yaydıklarını tespit etmişlerdir (Lonc ve Plewa, 2010, 2011). Bu sonuçlar, iç ve dış hava arasındaki etkileşimin varlığına dair güçlü kanıtlar sunmaktadırlar.

Bununla birlikte iç mekân havasının iç mekânlara girmesine ve etkilenmesine izin veren üç ana mekanizma vardır: mekanik havalandırma, doğal havalandırma ve sızma. Mekanik havalandırma, bir konutun havalandırma fanı veya klimasını içermektedir. Doğal havalandırma hâkim rüzgâr akışı ile tahrik edilir ve odanın / binanın kapıları ve pencereleri açık olduğunda meydana gelir. Bu havalandırmalar olmasa bile, iç ve dış ortamlar arasındaki hava değişimi, binaların zayıf sızdırmazlığı ve çatlak gibi sızıntılar nedeniyle oluşabilmektedir.

Bu üç mekanizma nedeniyle, dış ortamdaki hava kirleticiler iç ortama nüfuz edebilir ve havalandırma durumuna göre seyreltilebilir veya biriktirilebilir. Johnson ve diğ. (2004), trafikle ilgili hava kirleticilerin iç ve dış mekân konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. İç ortamın hem sıcaklık hem de rüzgar hızından etkilendiğini ve dışa bağlı açılan pencere ve kapı sayısının artmasıyla artış eğiliminde olduğunu bulmuşlardır.

Ayrıca, hem dış hem de iç mekân kirletici konsantrasyonlarının tahmin etmek için tercih edilen değişken olduğu öne sürülmüştür. Bu, iç mekân kirliliği kaynaklarının, havalandırma koşullarının ve hatta dış ortamın iç mekân hava kirliliğini etkileyebileceğini göstermektedir. Son yıllarda, farklı koşullar altında iç ve dış hava

kirletici madde konsantrasyonları arasındaki ilişki konusunda artan sayıda araştırma yapılmıştır.

2.2 İç Hava Kalitesinde Yapı Malzemelerinin Rolü

İnsanların hayati faaliyetlerini sürdürülmeleri için solunan havanın önemi oldukça büyüktür. 1999'da ASHRAE tarafından yayımlanan havalandırma standardına göre, kabul edilebilir iç hava kalitesi, zararlı maddelerin oranının sınır değerlerini aşmadığı ve maruz kalan kişilerin çoğunluğunun (en az% 80'i) memnun olduğu hava olarak tanımlanmaktadır. İstenen koşulları standartlarda sağlamak için gerekli sınır değerler verilmiştir. İnsanlar, doğası gereği, havaya bağımlıdır (Altun, 2015).

Hava zorunlu ve öncelikli bir gereklilik olduğundan, iç ve dış havanın kalitesi önemlidir. 1970'lerde ortaya çıkan petrol ve enerji krizi ile birlikte, İHK ve HBS kavramları öne çıkmıştır(Demirarslan ve Başak, 2018).

İç hava kalitesi, insanlara uygun konfor koşullarının sağlanmasında büyük öneme sahiptir. İnsanların zamanlarının çoğunu iç mekânlarda geçirdiği düşünülürse, çoğunlukla iç mekânlarda bulunan kirleticilerle etkileşime girdiği ve bu nedenle hava kalitesinin önemi daha iyi anlaşılacaktır.

Bazı kirletici maddeler temel olarak dışardan kaynaklanabilir, ancak iç mekân malzemelerinden, donanımdan, mobilyadan, sigaradan, etkinlikten, kullanılan kimyasal ürünlerden ve binanın kendisinden de kaynaklanabilir. Dış hava kirleticileri biyolojik kirleticiler, UOB, kükürt oksitler, ozon, çoğunlukla motorlu taşıtlar, hidrokarbonlar ve benzen, azot oksitler, karbon bileşenleri ve radonun neden olduğu kurşun bileşikler olarak sınıflandırılabilir(Elkoca,2003).

Bina içerisinden çıkan kirleticiler, yapı bileşenleri ve kullanılan malzemelerden salınan kimyasal maddeler, insan ve makine faaliyetlerinden kaynaklanan kirleticiler, dışardan sızan gazlar ve mantarlar, küf, ev tozu, evcil hayvanlar gibi biyolojik kirleticiler olarak listelenmiştir (Yurtseven, 2007; Kurutaş, 2009; Tatlı, 2011).

2.2.1 Gaz ve kimyasal kirleticiler

Gaz ve kimyasal kirleticiler normal sıcaklık ve basınç altında gaz ve buhar şeklindeki havada bulunan kirleticilerdir. En önemli gaz kirleticiler UOB, PVC, CO, CO₂, ozon, kükürt oksitler, azot oksitler, radon, formaldehit, pestisitler, organik gazlar ve

sigara dumanı olarak sıralanabilir. Bu kirletici maddeler yetersiz havalandırılan alanlarda ve iç mekân hava sirkülasyonunun düşük olduğu yerlerde, iklimlendirme sistemi ve kimyasalları serbest bırakan malzemeler kullanılır. Havalandırma, sigara dumanı, bina parçalarının toprakla temas eden kısımları, inşaat malzemeleri ve kaplama malzemeleri ile iç mekânlara yayılırlar (Kuş, 2007; Yurtseven, 2007). Kirleticilerin insan sağlığını tehdit etmemesi için belirli sınır değerleri aşmaması gerekir.

2.2.2 Parçacık ve lifler

Kompozit malzemelerin üretimi için doğal ve suni elyafların bağlayıcı malzemelerle birleştirilmesi inşaat endüstrisinde son zamanlarda yaygınlaşmıştır.

Partikül madde (PM), katı ve sıvı asitler, organik kimyasallar, metaller, toprak, toz, duman ve kurum gibi havada asılı olan küçük partiküllerin ve damlacıkların karışımıdır.

Parçacıklar sayı, çap, şekil, içerik, suda çözünürlük, yoğunluk, sağlık etkileri ve oluşum kaynaklarına göre değişir. Genellikle parçacıkların boyutlarına göre düzenlenmiş oldukları görülür.

Çıplak gözle 50 µm'den büyük parçacıklar görülebilir. Duman, tamamlanmamış yanmadan salınan 1 µm'den küçük karbon içeren parçacıkları ifade eder.

ciğerlerden geçer ve alveollere yapışır. İnce parçacıklar adı verilen 0,1 mikrondan küçük olanlar alveolleri tutabilir ve diğerlerinden daha uzun süre kalabilir (Yurtseven, 2007; Sağlık Bakanlığı, 2012; Güneş ve diğ, 2015).

Kirli havaya maruz kalan insanlarda görülebilecek rahatsızlıklar kuru ağız ve kuru burun, ateş, titreme, kas ağrısı ve kas seğirmesi, baş ağrısı, bulantı, alerji semptomları, dermatit, öksürük, balgam, göğüste sıkışma, soğuk algınlığı, bronşit olarak sıralanabilir. Çevre hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkileri literatürde pek çok deneysel ve epidemiyolojik yaklaşımla geniş çapta incelenerek kanıtlanmıştır.

2.2.3 Biyolojik kirleticiler

Biyolojik kirleticiler, mikrobiyolojik faktörler, virüs, bakteri, akar, küf, yosun, mantar, polen ve spor gibi alerjenlerden oluşur ve mikro organik parçacıklara “biyolojik aerosol” denir. Mevcut çevrenin etrafındaki bitki örtüsünden, ıslak yapı

elemanlarından, açıklıklardan, canlılardan, faaliyetlerden, klima sistemi bileşenlerinden, nem tutuculardan, su toplama kanallarından, drenaj kanallarından, kanallardan ve filtrelerden yayılabilirler (Kuş, 2007; Ceylan, 2011).

2.2.3.1 Yapı performansının bir göstergesi olarak küf ve akarlar

Mikrobik büyümenin sağlığı etkileyen tüm mekanizmalar henüz bilinmemekle birlikte, Küf oluşumunu önlemek için önlemler alınabilir. Daha önce açıklandığı gibi, küf oluşumunu kontrol etmedeki ana faktör nemdir, özellikle yapılarda bağıl nem bu nedenle önemli bir faktördür (Adan, 1994; Moon, 2005; Viitanen ve diğ., 2010; Othman ve diğ., 2015). Bir binadaki küf ve akarların varlığı, iç ortam havasının bağıl nemi ile ilişkilidir. Akarlar %45-50'den fazla bir bağıl nem gerektirir.

İç ortamdaki bağıl nem, havalandırma veya iklimlendirme yoluyla küf oluşumu veya akarlar için sınır değerlerin altında tutularak kolayca kontrol edilebilir. Bağıl nemin yapılarda kontrol edilmesi, iç mekânda olduğundan daha fazla zordur, çünkü genellikle dış iklim faktörlerinden etkilenmektedirler.

Küf ve nem problemlerinin önlenmesi için, küf gelişimi de dâhil olmak üzere, bina montajlarının hidrotermal performansına dikkat edilmelidir.

Bazı mantar türlerinin çimlenmesi için en düşük bağıl nem %62-65 olsa bile, bina ve kaplama malzemeleri üzerinde yapılan deneylerde, bağıl nem % 80'in altında tutulursa duyarlı yüzeylerin mantar büyümesinden arındırılabilceğini göstermektedir (Adan, 1994; Sedlbauer, 2001; Moon, 2005; Abe, 2012; Tiquia-Arashiro ve Grube, 2019). Küf mantarları 5 ile 40 ° C aralığında % 80 (Adan, 1994) bağıl nemin altında veya % 75'in altında büyümektedir (Viitanen, Ritschkoff, 1991).

Rowan ve diğ. (1999) yaptıkları analizler sonrasında elde ettikleri sonuçlara göre binalardaki mantar gelişimini sınırlamak için bağıl nemin % 75'in altında tutulması gerekmektedir.

Dinamik küf oluşumunu değerlendirmek için, incelenen yapı veya malzemedeki bağıl nem ve sıcaklık ile ilgili simülasyon programları kullanılarak ölçülebilen veya hesaplanabilen dinamik veriler gerekir.

Viitanen ve diğ. (2000), hidrodermal koşulları için bir denklem sağlamıştır. Denklem (ve buna dayanan model), 0 ile 6 arasında değişen M indeksinden küf oluşumunu

tahmin etmektedir. 1, bazı büyümelerin bir mikroskop altında tespit edilebileceğini, 2, bazı küf büyümelerinin görsel olarak tespit edilebileceğini ve 6 ise çok ağır, yoğun küf büyümesinin yüzeyin yaklaşık% 100'ünü kapladığını gösterir. Model sıcaklığı, yüzey bağıl nemini, ahşabın cinsini ve ahşabın kalitesini dikkate alır; geçici olarak düşük bağıl nem nedeniyle küf oluşumundaki gecikmeyi de hesaba katar. Denklem 2.1 aşağıdaki gibidir:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{7 \cdot \exp(\ln - 0.68RH + 0.14W - 0.33SQ + 66.02)} \cdot k_1 k_2 \quad (2.1)$$

M: küf indeksi,

T: zaman,

T: sıcaklık,

RH: bağıl nem (%),

W ise ahşap cinsi (çam = 0, ladin = 1) .

K₁ ve K₂ katsayıları uygun koşullar altında büyüme hızını ve küf büyüme endeksinin üst limitini tanımlar.

Yaygın olarak kullanılan küf büyüme modeli, izoplet modelidir. İzoplet sistemi, mantar büyümesi için hidrotermal ön koşulları açıklar. Yaygın izoplet sistemleri, binalarda en çok mantarlar üzerinden belirlenir.

İzoplet modellerinin dezavantajı, geçici iklim koşullarında, mantar sporların meydana gelen geçici bir nem azalması dikkate alınamamasıdır. VTT modelinde ve küf gelişiminde azalmasının değerlendirilmesine izin vermemesidir (Viitanen, 1999; Sedlbauer ve Krus, 2002).

Sedlbauer (2001), kullanılan modelinde, küf gelişmesinde spor büyümesinde gereken nemin belirlenmesi de göz önünde bulunarak değerlendirilr, böylece değişen hidrotermal koşulları sırasında mantar sporlarının nem almadığı dönemleride hesaba katar.

Küf büyüme modelleri, iç ortamın değişken hidrotermal koşulları altında bileşenler üzerindeki küf gelişimini değerlendirmede çok faydalıdır. Benzer şekilde, yüzeylerdeki spor yoğunlaşmasının ölçülmesi de küf problemlerin tahmini için çok etkilidir (Pasanen ve diğerleri, 2001). Bu konuda daha etkili bir çözüm bulmak için saha çalışmalarına da ihtiyaç vardır.

Numunelerdeki spor yoğunlaşması ve küf oluşumunun ölçülmesi, iç mekan yüzeylerinden daha kolay tahmin edilebilir. Aynı zamanda, bu işlemlerin iç mekanlarda yapılması hakkında daha az şey bilinmektedir. Dolayısıyla, küf büyütme modellerinin olanaklarını tam olarak gerçekleştirmek için, mantar sporu seviyelerini ve iç hava değerlerini hesaplamak için uygun yöntemler mevcut olmalıdır. Modeller çalışmamızın ilerleyen bölümlerinde daha detaylı ele alınacaktır.

2.3 Yapı Nemi, Biyolojik Ve Biyolojik Olmayan Kirleticilerin Kapalı Alanda Maruz Kalma Üzerindeki Etkisi

İç yapı nemi, biyolojik ve biyolojik olmayan kirleticilerin kapalı alanda maruz kalma üzerindeki etkisi, iç ortamda nem oranının sıklığı, nemin iç mekân kalitesine, nem ile ilgili iç mekân kirleticiler, nem kaynakları ve maruz kalma süresine bağlıdır.

2.3.1 İç nem oranının sıklığı

2004 yılında dünyanın birçok bölgesinde yapılan araştırmalarda, binaların en az% 20'sinin bir veya daha fazla rutubet belirtisine sahip olduğunu göstermiştir(Heseltine ve Rosen, 2009). Nem, su kaçağı veya hasarı, kabarcıklar veya zemin kaplamalarının renk bozulması ve duvarlarda, zeminlerde veya tavanlarda iç mekânlarda görünür küf oluşumu gibi bildirilen göstergeler temelinde tanımlanmıştır.

Mudarri ve Fisk (2007) ise Amerika Birleşik Devletleri'nde yaptıkları çalışmalarında evlerde rutubet veya küf sıklığının yaklaşık %50 olduğunu tahmin etmiştir. Düşük gelirli ülkeler için az veri olmasına rağmen, bazı çalışmalarda iç ortamlardaki nem problemleri dünyanın diğer bölgelerine göre daha yaygın olduğunu göstermektedir. Ayrıca aşırı kalabalık olan ve uygun ısıtma, havalandırma ve yalıtımı olmayan evlerde rutubet oluşması daha muhtemel olduğundan düşük gelirli topluluklarda iç ortam rutubeti yaygınlığı dünya ortalamasının oldukça üstünde olabilmektedir.

Yüksek enerji maliyetleri, kışın birçok evde yeterli ısınmanın sağlanamamasına neden olmakta bu ise, yoğunlaşma ve iç mekân nemliliğinin artmasına neden olmaktadır. Kalabalık ortamlarda, düzenli temizlik ve bakımın belirli aralıklarla yapılmadığı ortamlarda küf ve nem sorunları görülebilmektedir (Mudarri ve Fisk, 2007). Bu binadaki rutubete bağlı maruz kalma riskleri ile ilişkili sağlık risklerinin, nemli evlerdeki risklere benzer olması muhtemeldir.

2.3.2 Nemli iç hava kalitesine etkisi

Nemli iç ortamlarda mikroorganizmaların yoğunluğu daha fazladır ve bunların toksinler, alerjenler, uçucu mikrobiyal organik bileşikler nedeniyle bu ortamda yaşayan veya çalışan insanların sağlığını etkileyebilir. Özellikle, sağlık sorunlarında nemli ortamlar tarafından desteklenen toz akarlarının ve mantarların önemli bir rol oynadığı öne sürülmektedir (Mudarri ve Fisk, 2007).

Rutubet zayıf havalandırma göstergesidir ve bu da geniş bir potansiyel zararlı iç kirletici madde seviyesinin artmasına neden olabilmektedir. Kapalı ortamlarda nem seviyesi yükselirken yapıdaki bazı kaplamalarda kimyasal emisyonların artmasına ve aynı zamanda insan sağlığına zararlı ve alerjen kaynağı olan mikroorganizmaların çoğalmasına neden olur.

Nemli iç ortamlar (özellikle nemli toprak ve ahşap) yapılara önemli ölçüde zarar verebilecek, yapının bütünlüğüne ve yaşayanların sağlık ve güvenliğine önemli ölçüde zarar verebilecek termitlerin yaşamasına neden olabilmektedir.

Toz akarları: Nemli iç ortamlar ve toz akarları arasındaki yakın ilişki bulunmaktadır. Ev toz akarları sadece nemli iç ortamlara ilişkin olarak endişe kaynağı oluşturmaktadır.. Çoğu evde özellikle şiltelerde, halılarda veya kilimde bol miktarda bulunur. Toz akarı yaşam faktörün neme ihtiyaç duyduğunu göstermiştir, Aynı zamanda ne kadar nem miktarı yüksekse daha hızlı beslenir ve çoğalırlar (Arlian, 1992). Çeşitli saha çalışmalarında onaylandığı gibi ev tozu akarlarının varlığı ve yayılması üzerindeki ana etken bağıl nem olduğu belirlenmiştir (van Strien ve diğ, 1994; Andrade ve diğ, 1995; Simpson ve diğ, 2002).

Mantarlar: Mantarlar her yerde bol miktarda bulunan bir tür ökaryotik organizmadır. Hemen hemen tüm mantarlar kolayca doyunun altında (yani% 100'ün altında) ve %80 bağıl neme sahip substratlar üzerinde büyür. Yapı yüzeylerinde mantar büyümesi için gerekli olan minimum su aktivitesi 0,80'den ve 0,98'e kadar değişmektedir (Grant ve diğ, 1989).

Nem gereksinimleri açısından, iç mekân mantarları şöyledir:

1. Su aktivitesinde 0.80'den küçük veya ona eşit büyüeyebilen birincil kolonizer;
2. 0.80-0.90 su aktivitesi seviyesinde yetişen ikincil kolonizer ve

3. 0.90'dan büyük bir su aktivitesi gerektiren üçüncül kolonizatörler (Grant ve diğ, 1989).

Bu problemler, yetersiz izolasyon da dahil olmak üzere inşaat hataları veya sızıntı, sel ve yeraltı suyu girişinden kaynaklanan su hasarı olabilir. Bu organizmaların besin kaynakları ise, ev tozundaki bitki veya hayvansal maddeden yüzey ve yapı malzemelerine (duvar kâğıdı ve tekstil gibi), yemeklik yağların yoğunlaştırılması veya biriktirilmesi, boya ve tutkal, ahşap, depolanmış ürünler (gıda gibi), çeşitlilik arz eder.

Bu nedenle besinler genellikle iç mekân mantar büyümesi için sınırlayıcı bir faktör değildir. Aslında, mantarların seramik fayans gibi tesirsiz malzemeler üzerinde bile büyüdüğü bilinmektedir ve toz parçacıklarından ve suyun çözünür bileşenlerinden yeterli besin elde edebilir. İç mekân mantarlarının çoğu 10-35 ° C'de büyüebildiği için, genel iç ortam sıcaklıkları da sınırlayıcı bir faktör olmamaktadır; bu nedenle, sıcaklık ve besinler kritik olmamakla birlikte, büyüme oranını ve bazı alerjenlerin ve metabolitlerin üretimini etkileyebilmektedir (Nielsen ve diğ, 1999).

Birçok saha çalışmalarında belirtildiği gibi nem, evlerde yüksek sayıda mantar ve mantar sorununun büyümesinde en kritik faktör olmaya devam etmektedir (Gallup ve diğ, 1987; Waegemaekers ve diğ, 1989; Douwes ve diğ, 1999).

İç mekânlardaki rutubet mantar sporlarına, fragmanlarına ve alerjenlerine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Mantarların iç ortamlarda sadece insan sağlığı değil yapı malzeme üzerinde de yıkıcı tehripleri de görülmüştür. buna örnek olarak ılıman bölgelerde en yaygın ve yıkıcı ahşap çürüme mantarı kuru çürük mantarıdır (Kause Ayrıca aşırı duyarlılık pnömonisine (ekstrinsik alerjik alveolit) neden olduğu da belirtilmiştir.

Bakteriler: Bakteriler her yerde bulunan prokaryotik tek hücreli organizmalar olup, bol miktarda tür içerir. Nem sorunları olmayanlar da dahil olmak üzere her evin yüzeyinde, tozda bulunurlar. İç ortamdaki ana bakteri kaynakları dış ortam havası, insanlar ve iç ortamlarda bakteri üremesidir. Dış havadaki bakteriler ve insanlardan kaynaklananlar oldukça zararsız olarak kabul edilir; aktif bir şekilde büyüyen veya iç ortamda biriken bakteriler sağlığı etkileyebilir.

Protozoa: Bu mikroorganizma nemli iç ortamlarda insan sağlığı üzerinde etkisi olduğunu gösterilmiştir (Yli-Pirila ve ark. 2004).Yapılan bir araştırmada nemden

zarar gören binalardan alınan 124 malzeme örneğinin % 22'sinde amip tespit edilmiştir.

2.3.3 Nem ile ilgili iç mekân kirleticiler

Nemli iç mekân alanları ve buna bağlı sağlık etkileri ile ilişkilendirilmiş olan en önemli iç mekân kirleticileri arasında alerjenler, mantarlar, akarlar, bakteriler, küfler ve endotoksinler bulunmaktadır.

Alerjenler: Spesifik immün yanıtları indükleyebilen tüm ajanlar (spesifik antikorların üretilmesine neden olan) potansiyel alerjenlerdir. Sonuncular akar fekal partiküller gibi ölü materyaller veya bakteri veya küf sporları gibi uygun propagüller olabilir.

Toz akarları: Bu alerjenlerin yüksek seviyeleri, ev tozu, yatak tozu ve nemli evlerde yatak takımlarında tespit edilmiştir (Voorhorst ve diğ, 1964)

Sporlar: Sporlar genellikle 2-10 inm uzunluğundadır. Uzun süre havada kalabilirler ve solunum sisteminde birikebilirler (Eduard, 2006). Mantarlar ayrıca sporlardan ve haftalardan türetilen ve mikron altı parçacıklara (1 1m) kategorize edilebilen daha küçük mantar parçalarını da salgırlar. Mantar maddesinin aerosolleşmesi ve bunun müteakip inhalasyonu, sadece kısmen anlaşılmıştır, ancak iki mekanizmanın özel önem taşıdığına inanılmaktadır. Bunlar şöyledir:

1. Spor veya mantar fragmanlarının aktif deşarj, iç mekân hava hareketi veya insanlar veya evcil hayvanların neden olduğu fiziksel rahatsızlıklar;
2. İnsan faaliyetlerinden dolayı yerleşmiş mantar maddesinin tekrar süspansiyon haline getirilmesi.

Bu faktörler, sporların ve mantar fragmanlarının aerosol haline gelme oranlarını farklı şekilde etkileyebilir (Gorny, 2004).

Mantarlar en çok yatak odalarının, oturma odalarının ve mutfakların nemli duvarlarında bulunur. Döşekler, 103-107 spor / g toz konsantrasyonları ile ölçülmüş, mantar için önemli bir rezervuar oluşturur (Verhoeff vb., 1994).

Nemli iç mekân ortamlarında bulunan mantar türleri hakkında birçok kapsamlı inceleme yayınlanmıştır (Flannigan, 2001). İç mekanlarda havadaki canlı mantar konsantrasyonları genellikle metreüp hava başına birkaç ila birkaç bin koloni oluşturan birim (CFU) arasındadır. Belirli bir alanda, mantar konsantrasyonları

oldukça değişkendir. İklim, mevsim, mantar türü, yapı, binanın yaşı, kullanımı ve havalandırma oranı gibi faktörlere bağlıdır. Ayrıca, büyük ölçüde kullanılan örnekleme ve analitik yöntemlere dayanarak, çalışmalar arasındaki geçerli karşılaştırmaları zorlaştırır. İç mekan mantar fragmanları saha çalışmalarında yaygın olarak ölçülmez, ancak bir aerosol haline getirme odasına? yapılan bir çalışma, spor plakalarıyla aynı anda aerosolize edilmiş kültür plakalarından ve küfle kirlenmiş tavan döşemelerinden mikron altı mantar fragmanlarının sporlarla aynı anda fakat esasen daha yüksek konsantrasyonlarda (320-514 kat daha yüksek) olduğunu göstermiştir.

Bakteriler: Bu konuda da iç ortamlarda ve nemin fazla olduğu yerlerde bu mikro organizmalarının fazlasıyla bulunması ile ilgili daha az literatür çalışması bulunmuştur (Hyvärinen ve diğerleri, 2002; Rintala, Nevalainen, Suutari, 2002; Rintala ve diğerleri, 2004). Aktinobakter ise, çok çeşitli metabolitler ve toksinler üreten bakterilerdir (Andersson ve diğ., 1998). Üretikleri toksinler , kullandıkları besinlere bağlıdır (Hirvonen ve diğerleri, 2001; Roponen ve diğerleri, 2001; Murtoniemi ve diğerleri, 2001a, 2003). Mikrobiktekilerin nemli iç ortamlarda mantarlar kadar yapı malzemesine zarar vermektedir(Torvinen et al., 2006). Mikrobiktekilerin salığıda zararı olduğu bilinmektedir (Huttunen ve diğerleri, 2000, 2001). İç ortamlardaki bakteri yoğunluğu neme bağlı olarak değişebilir (Gorny, Dutkiewicz, Kryszka-Traczyk, 1999).

Mikotoksinler: mantarlar tarafından üretilen toksinlerdir ve bazıları hayvanlara ve insan sağlığına zararlıdır. Bazı mantar türleri, substrata bağlı olarak çeşitli mikotoksinler üretebilir.

Charpin-Kadouch ve diğ. (2006), *S. chartarum* veya *Chaetomium* ile kirlendiği bilinen 15 su basmış konuttan alınan örneklerdeki makrosiklik trichothecenelerin seviyelerini ve görünür bir küfü olmayan dokuz ev grubu ile karşılaştırmıştır. Makrosiklik trichothecenes'in seviyesi, küflü evlerden gelen zemin tozunda referans konutlardan daha yüksek bulunmuştur. Brasel ve diğ. (2005) *S. chartarum* ile kirlendiği bilinen yedi binada, havada taşınan makrosiklik trichothecenes seviyesinin dört kontrol grubunda yer alan binalardan (yani tespit edilebilir bir *S. chartarum* veya su hasarı öyküsü olmayan) anlamlı olarak daha yüksek buldu. Aynı yazarlar ayrıca *S. chartarum* trichothecene mikotoksinlerinin hem sağlam conidia hem de daha küçük

mantar fragmanları ile birlikte hava yoluyla taşınabileceğini göstermiştir (Brasel ve ark. 2005).

Bu çalışmalar, mikotoksinlerin iç ortamda bulunduğunu ve küf veya rutubetten etkilenen binalarda seviyelerin daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, nemli binalardaki havadaki mikotoksin seviyelerinin, olumsuz sağlık etkilerine neden olacak kadar yüksek olup olmadığı henüz açık değildir.

Mikrobiyal ve diğer uçucu organik bileşikler: Bugüne kadar, farklı mantarlardan türetilen çeşitli alkoller, aldehytler, ketonlar, terpenler, esterler, aromatik bileşikler, aminler ve kükürt içeren bileşikler gibi 200'den fazlası tanımlanmıştır (Wilkins ve diğ, 2000, 2003).

Virüsler: Yeterince yüksek neme sahip nemli iç ortamların, solunum yolu virüslerinin yaşamını uzattığı, böylece buralarda yaşayanların solunum yolu enfeksiyonu riski ve muhtemelen alerjik hastalığın ortaya çıkması riskinin daha yüksek olduğu varsayılmaktadır (Hersoug, 2005).

2.3.4 Maruz kalma

İç mekânlarda en çok kullanılan maruz kalma göstergeleri, anketlere verilen cevaplardan türetilmiştir.

Evlerin rutubeti ile ilgili sağlık problemlerinde spesifik maruziyetlerin rolü ile ilgili göreceli bilgi eksikliği, esas olarak maruziyeti değerlendirmede, özellikle biyoserosollerin değerlendirilmesinde geçerli, nicel yöntemlerin bulunmamasından kaynaklanmaktadır.

İç mekân sakinlerinin algıları, epidemiyolojik çalışmaların çoğunda evin rutubetini değerlendirmek için kullanmada temeldir ve bu nedenle anketler sıklıkla seçilen bir yöntem olmaktadır. Sorular genellikle, sızıntı, sel, ıslak bodrum, pencere yoğunlaşması, görünür mantar oluşumu veya küflü kokular gibi durumların olup olmadığı hakkında bilgi ortaya çıkarır.

İç mekân mikroorganizma konsantrasyonlarının değerlendirilmesi farklı zorluklar ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Mantar büyümesi anket formlarının, ilgili mantar bileşenlerine gerçek maruz kalma ile ne kadar ilişkili olduğu bilinmemektedir (Garrett ve diğ. 1998)

2.3.5 Nem kaynakları

Nem, bina hasarının ana nedenlerinden biri haline gelmiştir. Bina ile ilgili tüm sorunların% 75-80'nin nemden kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Bomberg ve Brown, 1993). Kanada'da yapılan bir çalışmada % 38 oranında evlerde nem veya küf varlığı bildirilmiştir (Dales ve diğ, 1991). Bu tahminler nem problemlerinin ciddi bir sorun olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kapsamlı sorunların onarımı pahalı olduğundan, güçlü bir ekonomik etkiye sahiptirler.

Ahşap yapıların çürümesi ve mikrobiyal üreme risklerine ek olarak, yapı malzemeleri de nemin neden olduğu kimyasal işlemlerle bozulabilir.

Binalarda nemle ilgili en sık karşılaşılan sorunlar arasında,

1. Küf oluşumu,
2. Boya soyulması,
3. Ahşap çürümesi
4. Korozyona neden olan sızan yağmur suyu
5. Yer altı suyu (çatı, duvarlar, pencereler veya temeller);
6. Sıhhi tesisat sızıntıları ve dökülmeleri;
7. Nemli bir kaynaktan (yağmur suyu veya su tesisatı suyu gibi) gözenekli yapı malzemelerine (beton veya ahşap gibi) su emilmesi (kılcal emme);
8. Bir malzemenin üst veya alt kısmı boyunca akan yağmur suyu,
9. Yoğuşma veya su tesisatı vb.

Su hasarı, rutubet veya nemin kontrol edilememesinin teknik nedenleri genellikle iklime yakından bağlıdır. Hâkim sıcaklık, nem, yağmur ve rüzgâr koşulları, inşaatın temelleri, yalıtımı, bina dış kabuğunun yapısı ve havalandırma sistemi gibi yapı ilkeleri ve uygulamalarını düzenler.

İç nem, dış iklim koşullarına fiziksel olarak bağlanır. Bu nedenle, bina nem ve rutubeti, mikrobiyal kirlenme, tamir ve kontrol problemleri iklim bölgelerine göre değişiklik göstermektedir.

2.4 Nem Kontrolü Ve Havalandırma

Havalandırma performansı nem kontrolünde ve nem ile bağlı kirleticilerin yayılmasında önemli bir rol oynar. Bu konu aşağıda ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

2.4.1 Havalandırma performansı

Havalandırma (binaya dış hava akışı), iç mekân hava kalitesini iyileştirmek için ilk alternatif kirletici kaynaklarının kontrolünde olmasına rağmen, iç mekânlarda oluşan kirletici maddeleri ve nemi gidermek ve seyreltmek için yeterli olmalıdır. Havalandırma, enerji verimli olmalı ve iç mekân hava kalitesini veya iklimi bozmayacak ve bina sakinlerine veya binaya zarar vermeyecek şekilde düzenlenmelidir (Wouters ve Delmotte, 2005; Clausen ve diğ, 2003; Singer ve diğ, 2020).

2.4.2 Havalandırma sistemleri

Havalandırma sistemleri doğal, mekanik veya her ikisinin karışımı olarak sınıflandırılabilir.

Doğal havalandırma: Doğal havalandırma, dış havanın herhangi bir fan kullanılmadan bir binanın içine ve dışına taşımak için doğal yolların kullanılmasıdır. Çok yüksek olan havalandırma oranlarından kaçınılmalıdır(Jiang ve Chen, 2001;Santamouris ve Wouters, 2006; Al-Obaidi ve diğ, 2014).

Çoğu zaman, doğal havalandırma terimi, binanın cam sızıntılarına (yapıların çatlaması veya gözeneklilik) dayanarak, kötü konfor ve kontrolsüz ısı kaybına neden olacak şekilde pencere açıklıkları ile bir araya getirilerek havalandırılan binalara uygulanır.

Doğal havalandırma, yeterli havalandırma oranları sağlamak için dikkatli bir tasarıma ve konstrüksiyona ihtiyaç duyar. Yetersiz havalandırma oranları ciddi nem sorunlarına neden olur ve sağlık sorunlarına yol açar.

Doğal havalandırmanın avantajları arasında,

- Ilıman iklimlerde birçok bina tipine uygunluğu;
- Özellikle hoş yerlerde ve ılıman iklimlerde popüler olan ilişkili açık pencere ortamı;

- Yeterli açıklık varsa soğutma ve temizleme için yüksek hava debisi;
- Sıcak havalarda kısa rahatsızlık dönemleri;
- Havalandırma tesisi için yer sağlamaya gerek olmaması;
- Asgari bakım; genellikle, mekanik havalandırmadan daha düşük kurulum ve işletme maliyeti ve fan veya sistem gürültüsünün olmaması sayılabilir.

Doğal havalandırmanın dezavantajları ise,

- Yoğuşmaya ve yüksek enerji kaybına neden olduğu şiddetli iklimler için uygunluğunun olmaması;
- Yetersiz iç hava kalitesi ve aşırı ısı kaybına yol açabilecek havalandırma hızı üzerinde yetersiz kontrol;
- Değişen hava debileri ve hava akımı düzenleri;
- Büyük, derin, çok odalı binalarda taze hava dağıtımı ve hava dağıtımının pratik olmaması;
- Yüksek ısı kazanımı durumlarında yetersizlik; gürültülü ve kirli yerlere uymaması;
- Havalandırma, açılabilir pencerelere bağlı ise güvenlik riski;
- Açıklıkları gerektiği gibi ayarlama yükümlülüğü;
- Gelen havayı filtreleme veya temizleme yetersizliği;
- Kanallı sistemlerde büyük çaplı kanallar ve yönlendirme havası üzerindeki kısıtlamalar ve nemli iklimlerde rutubet ve mantar oluşumu olaylarında artıştır.

Mekanik havalandırma:

Mekanik havalandırma, tüm hava koşullarında havalandırma oranının korunmasına dayalı bir sistemdir (Russell ve diğ, 2007; Ma ve diğ, 2019). Havalandırmanın enerji verimliliği, egzoz havasından ısı geri kazanımı, doluluk, nem veya hava kalitesi faktörlerine bağlı olarak talep kontrollü havalandırma ile daha da iyileştirilebilir(Seppänen, 2008).

2.4.3 Havalandırma ile ilgili açık ve diğer kirlilik kaynakları

Havalandırma için kullanılan dış ortam havası ayrıca partikül madde, biyolojik kökenli partiküller (örneğin mikroorganizmalar ve polen) ve çeşitli gazlar (örneğin nitrik oksitler ve ozon) içeren bir kirlilik kaynağı olabilir. Doğal olarak havalandırılan binalarda, dış havadaki tüm kirleticiler binaya girer. Mekanik olarak havalandırılan binalarda, havalandırma havası girmeden önce dış havadaki kirletici konsantrasyonlarını azaltmak mümkündür. Bununla birlikte, havalandırma sistemi aynı zamanda bir iç hava kirletici kaynağı da olabilir.

2.4.3.1 Dış mekân kaynakları

Dış hava girişleri bir binaya alınan havanın olabildiğince temiz ve yaz aylarında olabildiğince soğuk olacağı şekilde yerleştirilmelidir. Motorlu araçlardan çıkan egzoz, çöp toplama noktaları ve soğutma kuleleri dış ortam kirleticilerine örnektir(WHO, 2021).

Hänninen ve diğ. (2004), Helsinki'deki tüm trafik egzozu partiküllerinin elimine edilmesinde yaygın olarak kullanılan ince filtreli mekanik havalandırmaların 1990 öncesi binalara kıyasla $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ölçen partikül maddeye maruz kalmada% 27'lik bir azalma gösterdiğini bulmuşlardır.

2.4.3.2 Hava işleme ekipmanı ve sistemlerinden kaynaklanan kirleticiler

Bazı çalışmalar, hasta bina sendromu belirtilerinin yaygınlığını klimalı binalarda, doğal havalandırmalı binalara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir (Mendell ve Smith, 1990; Seppänen ve Fisk, 2002). Mendell ve diğ. (2007) düşük bakım nedeniyle olumsuz sağlık etkilerine neden olan soğutma bobinleri ve nemlendirme sistemleri gibi neme bağlı ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme bileşenlerinin, mikrobiyolojik kirletici kaynakları olabileceğini doğrulamıştır.

Büyük miktarda uçucu organik bileşik emisyonuna sahip malzemeler, kanal astarlarında, neopren contalarda, kanal bağlayıcılarında ve kanal sızdırmazlık maddelerinde kullanılırken, metal levha gibi yüksek yüzey alanlı malzemelerin emisyon oranlarında daha düşük oranlar vardır. Siber ve diğ. (1996), artmış çoklu solunum yolu semptomları riskinin, bu tür sistemlerin kötü temizliği (risk oranı $RR = 1.8$), kirli filtreler ($RR = 1.9$), hava girişindeki döküntüler ($RR = 3.1$) ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu bildirmiştir.

2.4.4 Havalandırma ve kirleticilerin yayılması

Havalandırma, baca etkisi ve rüzgâr bina yapıları üzerindeki basınç farklarını etkiler. Basınç farkı, su buharı ve gaz veya partikül kirletici maddeleri taşıyan hava akımları için itici bir güçtür. Sağlıklı binalar açısından en önemli konulardan biri yapıları kuru tutmak ve içlerinde ve üzerinde suyun yoğunlaşmasını önlemektir.

Hava ve nemin bina zarfindan geçirilmesi, yapılara şiddetli nem yükleri verebilir. Soğuk iklimlerde, havanın su içeriği genellikle iç mekânda olduğundan daha yüksektir. Basınç iç mekânda daha yüksek olursa, yüksek nem içeriğine sahip hava soğuk yapının içine akar ve su buharı yoğunlaşabilir. Sıcak iklimlerde bunun tersi geçerlidir.

Çok katlı platformdaki ahşap çerçeveli evlerde zeminlerin ve dış duvarların birleşme yerindeki bağıl nem yüksek olabilir; bu, binanın içinde pozitif hava basıncı olduğunda küf gelişimi ve çürüklük mantarları riski ile sonuçlanır (Kilpeläinen ve diğ., 2000).

Müstakil evlerin ve apartmanların bina zarflarında neredeyse her zaman pozitif ve negatif bir hava basıncı farkı vardır (Kalamees ve diğ., 2007).

Normal ve kaçak bulunan evlerde (hava kaçak oranı, saatte ≥ 4 hava değişikliği) 50 Pa'da havalandırma ile hava basıncı farklılıklarını kontrol etmenin zor olduğu sonucuna varmışlardır, çünkü hava akışında $\pm 15\%$ fark hava üzerinde çok az bir etkiye sahiptir.

Basınç sadece aşırı hava geçirmez evlerde havalandırma ile etkili bir şekilde kontrol edilebilir (bina kaçak oranı <50 Pa'da saatte 0,5 hava değişikliği). Dış ortam veya bitişik alanlarla ilgili olarak aşırı basınç için tasarlanmış belirli alanlarda (insan kullanımı için binalar dahil) basınç farklılıkları kullanılır. Temiz odalar, hassas elektronik bilgi işlem ekipmanı odaları ve hastanelerde ameliyathaneler bu alanlara örnek olarak verilebilir. Ağır kirlilik emisyonlarının olduğu alanlarda basınç koşulları sürekli izlenmelidir.

Küflü yapılardaki hava akımının içeriye zararlı kirletici maddeler taşıdığından şüphelenilmektedir (Backman ve diğ., 2000). Soğuk iklimlerde, girişler kışın sorunlar ve iç mekânda yüksek bir negatif basınç ile çatlaklardan zorla hava akışına neden olmaktadır.

Tipik olarak, mekanik egzoz havalandırması, girişler açıksa dairelerde 5-10 Pa negatif basınç oluşturur (Säteri ve diğ, 1999). Kurnitski (2000a) tarafından yapılan bir saha çalışmasında, taban katındaki sızıntılardan, egzoz fanının hızına bağlı olarak 6-15 Pa basınç farkından bir daireye sızan hava sızma oranlarının yüksek olduğu görülmüştür.

Pessi ve diğ. (2002), küf sporlarının, bir taban zeminden sürünme boşluğunda küf gelişimi olan bir evin içinde taşınabileceğini göstermiştir. Aktarım, egzoz havalandırmasına büyük ölçüde bağlıydı, çünkü çalışmayan havalandırma dış ve iç mekân konsantrasyonları 200-500 CFU / m³ idi, ancak egzoz havalandırması açıldığında, 5000 CFU / m³'lük bir iç mekân konsantrasyonunda ölçüldü. 10 konut binasındaki saha ölçümlerinde (Airaksinen ve diğ, 2004), tarama alanı içindeki mantar sporları ile iç mekan arasındaki korelasyon mikrobiyal türlere bağlıydı.

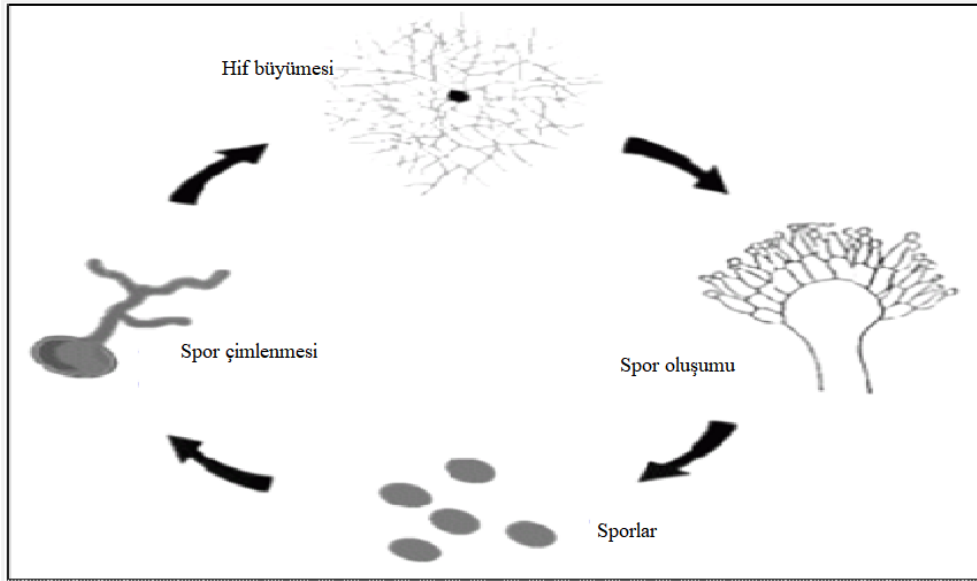
En yüksek küf gelişim genellikle ahşap esaslı levha ve ahşaplarda bulunur. Kurnitski (2000b) ve Airaksinen (2003), iyi havalandırılan alanlarında bile mikrobiyal büyüme için uygun olduğunu göstermiştir. Vette ve diğ. (2001), 0.5-2.5 m'lik parçacıklar için 0.5-0.8'lik penetrasyon faktörlerini (partikül sayısı başına) bildirmiştir. Mosley ve diğ. (2001), 5 Pa'lık bir basınçta, 2 mikron partiküllerin% 40'ının ve 5 mikron partiküllerin % 1'inden daha azının, 0,5 mm'lik bir yükseklikte yatay yarıklara girdiğini bulmuştur.

2.5 Küf Mantarlarının Biyolojisi

Küfler, ekosistemimizin önemli bileşenleri olmakla birlikte alerjenik açıdan insanları ve diğer hayvanları etkileyen geniş bir mikroskobik mantar grubudur. Küf mantarları olumsuz ortam koşullarında bile gelişir. Bu nedenle, genellikle birincil kolonizer olarak adlandırılır. Küf mantarları eğer uygun koşullar devam ederse, bir hif oluşacaktır. Bir hif kütlesi, miselyumdan oluşan mantarın thallüsünü (vegetatif gövdesi) oluşturur.

Mantarlar uygun koşullar mevcut olduğunda, malzeme yüzeyindeki sporlar, daha sonra bir miselyuma uzanan ve dallanan bir hif halinde büyüyen bir mikrop tüpüne çimlenir. Bazı hiflerden, conidioforlar gelişir ve onlardan, spor kütleleri havaya salınır(Barksdale, L., & Kim, 1997; Van Dissel ve diğ, 2014;Money, 2016).

Yaşam döngüsünün şematik bir resmi Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Küf mantarların Yaşam döngüsünün şematik bir resmi(Sedlebauer,2001).

Diğer yandan, makromoleküller ve çözünmeyen polimerler (örneğin, proteinler, glikojen, nişasta ve selüloz) mantar hücresi tarafından emilmeden önce ön sindirime tabi tutulmalıdır. Bu işlem, spesifik proteolitik, glikolitik veya lipolitik enzimlerin hif veya mayadan salgın masını, substrat (lar) ın hücre dışı parçalanmasını ve sindirim ürünlerinin mantar hücre zarfından difüzyonunu içerir.

2.6 Mayalar ve Küfler

Bu mantarlar, substratları ekstraselüler olarak parçalamak ve mantar hücresi zarfından sindirim ürünlerini emmek için spesifik proteolitik, glikolitik veya lipolitik enzimler kullanarak büyür.

2.6.1 Hücre çeperi

Tüm mantar türlerinde hücre duvarı yoktur, fakat bu hücrelerde hücre duvarı sentezi, mantar elementlerinin son morfolojisinin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Mantar duvarı ayrıca hücreleri mekanik yaralanmalara karşı korur ve toksik makro moleküllerin girişini engeller. Bu filtreleme etkisi, mantar patojenlerinin, konağın bazı mantar öldürücü ürünlerine karşı korunmasında özellikle önemli olabilir. Mantar hücre duvarı ozmotik lezzetin önlenmesi için de gereklidir. Mantar hücre duvarlarının bileşimi nispeten basittir ve tipik olarak hayvan ve bitki konaklarında bulunmayan maddeleri (örneğin, kitin) içerir.

2.6.2 İpliksi mantarlar ve ipliksi bakteriler

Bakteriler gibi mantarlar, bitkilerin ve hayvanların parazitlerinin yanı sıra, ayrıştırıcılar olarak ekolojikte önemlidir. Bu bileşikler, farmakolojik antibiyotikler (örneğin, *Penicillium chrysogenum*'dan penisilin, *Streptomyces noursei*'den nystatin, *S. niveus*'tan amfoterisin B) olarak geliştirilen zengin bir antimikrobiyal madde kütüphanesi oluşturur (Kuwahara, 2011).

Septat vejetatif hifler üreten küflerin çoğu, yalnızca aseksüel yollarla çoğalarak, konidia adı verilen havadaki propagüllere yol açar.

2.6.3 Hifal ve maya

Hifal büyümesi, uçlarda uzama ile oluşur. Hifal morfogenezinin belirgin sadeliğine rağmen, ultra strüktürel araştırmalar, uç büyümesine bağlı organellerin ve sitoskelet elemanlarının sofistike bir organizasyonunu göstermiştir. Chitin mikrofibrillerinin invajinasyon ve polimerizasyonunun, hifa'nın kubbesinde meydana geldiğine ve bu majör hücre çeperi ürününün biyosentezinin, zara bağlı chitin sentetaz aktivitesi ile kontrol edildiğine dair kanıtlar vardır. Fizyon bölgelerinde Chitin mikrofibrilojenezi başlatılır (Kuwahara ve diğ., 2011).

Ayrıca, esas olarak, *Saccharomyces cerevisiae* mayası çalışmalarından, iskelet polisakaritlerinin biyosentezinin, polisakarit sentetazlarla (örn, Chitin sentetaz ve katalizör içerisinde eşit olarak dağıtılmış olan, sitaz içinde are1- glukon sentetaz) katalizörlüğünü yaptığı çalışmalardan da bahsedilmiştir. Bu duvar sentezleyici, hücre zarına bağlı enzimler, zymogen veya aktif formlarda ortaya çıkar. Maya morfogenezinin modeli, syntetazın, duvarın büyüdüğü yerlerde ve durgun olduğu yerlerde aktif olmadığını gösterir. Bir olasılık, mikro-parçacıkların, duvar biyosentezinin (tomurcuk oluşum bölgelerinin ve septal oluşum bölgelerinin) belirli bölgelerinde plazmalemmaya aktive edici faktörleri (örneğin, proteazlar, ATP ve GTP) taşımasıdır. Bu iki mantar duvarı biyosentezinin fungal hifada ve mayalarda düzenlenmesi kavramları, kayda değer kanıt delilleriyle desteklenmiştir ve her ikisinin de doğru olması muhtemeldir.

2.6.4 Mantarlarda üreme

Mantarlarda cinsel üreme tipik olarak iki haploid çekirdeğin (karyogami) füzyonunu ve ardından ortaya çıkan diploid çekirdeğin mayotik bölünmesini içerir. Normal

olarak plazmogamiyi (çekirdeği aynı hücrede birbirine yakınlaştıran iki hiphal protoplastın birleşmesi) hemen hemen karyogami ile takip edilir. Bununla birlikte, Bazidiomycotina'nın bazı üyelerinde, bu iki işlem, zaman ve uzayda, tek bir hücrede bulunan bir çift çekirdeğe (dikaryon) neden olan plazmogamiyle ayrılır.

Karyogami, mantarların yaşam öyküsünde kayda değer ölçüde daha sonraya kadar gecikebilir. Bu arada, binucleate hücresinin büyümesi ve hücre bölünmesi meydana gelir. Dikaryotik miselyumun gelişimi, birbirine yakın iki çekirdeğin eşzamanlı bölünmesinden ve kardeş çekirdeklerin iki kız hücreye ayrılmasından kaynaklanır.

Bu işlemin ana olayları, plazmogamiden ve karyogamiden kaynaklanan heterokaryotik, haploid miselyumda diploid çekirdeklerin üretimini; heterokaryotik miselyumda diploidin haploid çekirdeklerle birlikte çoğalması; diploid bir homokaryondan ayrılma; mitozda geçerek segregasyon ve rekombinasyon; ve diploid çekirdeklerin haploidizasyonudur.

Cinsel olarak üreyen bazı mantarlar da aynı şekilde paraeksüellik sergilerler.

2.7 Mantarlar Ve Mantar Aktiviteleri

Tüm mantarların büyümesi için organik besinler ve karbon besinler gerektirir.

Birçok mantarın beslendiği bitkilerin bozulmasına veya yok olmasına neden olur. Birkaç örnekten bahsetmek gerekirse:

- Mantar benzeri organizmaların neden olduğu Patates mildiyözü Fitoftora infestans, 1840'larda İrlanda'nın patates mahsullerini tahrip ederek, bir milyon kişinin açlık çekmesine ve Avrupa'nın geri kalanına büyük çapta göç etmesine neden oldu. Bugün bile P. infestans ve yakın akrabalarının kontrolü, tüylü küf mantarları, dünya mantar ilacı satışlarının yaklaşık% 15'ini oluşturuyor.
- Ofiyostoma novo-ulmi ve O. ulmi'nin neden olduğu Hollanda karaağaç hastalığı, daha önceki Kuzey Amerika'da olduğu gibi, İngiltere ve Batı Avrupa'daki ortak karaağaç (Ulmus procera) ağaçlarının çoğunu da yok etti. 1900'lerde Benzer şekilde, Mantar Cryphonectria parasitica'nın neden olduğu kestane faresi, ABD'deki Amerikan kestane (Castanea dentata) popülasyonunu tahrip etti.

2.7.1 Mantar ve mantar benzeri organizmaların çeşitliliği

Büyük çoğunluğu, bazen Eumycota (eu = “true”) olarak adlandırılan gerçek mantarlar dört fileli yani Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota ve Basidiomycota olarak belirtilmiştir. Ancak 2001 yılında, beşinci bir Glomeromycota (arbusküler mikorhizal mantarlar ve akrabaları) oluşturuldu.

Fitoftora infestans (patates yanıklığı), Fitoftora ramorum (California'daki ani meşe ölümü), Fitoftora cinnamomi (Avustralya'daki Eucalyptus ormanının büyük izlerinin soyulması) ve diğer birçok önemli bitki patojenleri dahil olmak üzere en yıkıcı bitki patojenlerinden bazıları, Pythium ve Aphanomyces spp dahildir.

Belirsiz afiniteye sahip mantar benzeri organizmalar, dört çeşit organizmayı içerir: asrasit hücresel sümük kalıpları, diktiyostelid hücresel sümük kalıpları, plazmodial sümük kalıpları (Myxomycota) ve plazmodiofoidler. Yaşamlarının çoğu için bu organizmalar hücre duvarlarına sahip değildir ve sporülasyonun başlangıcında duvarlı bir forma dönüşerek ya çıplak bir protoplazmik kütle ya da amoeboid hücreler olarak büyürler.

2.7.2 Mantar yapısı ve altyapısı

Hifa, esasen hareketli bir protoplazma parçası içeren, sert duvarlı bir tüptür.

Hifaların büyüyen ucun arkasında, hif aşamalı olarak yaşlanır ve en eski bölgelerde otoliz ile parçalanabilir veya diğer organizmaların enzimleri tarafından parçalanabilir (heteroliz).

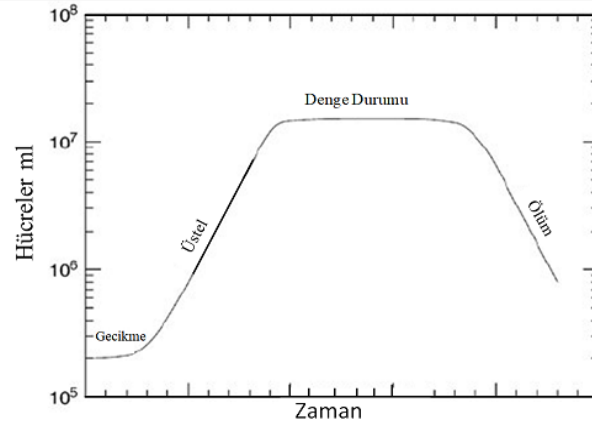
Mantarların çoğunun hifaları, oldukça düzenli aralıklarla çapraz duvarlara (septa; tekil septum) sahiptir. Septa, sitoplazmanın ve hatta çekirdeğin geçebileceği gözeneklere sahiptir.

Aynı zamanda, septat hifalar, bir trenin kompartmanları gibi hücrelerden değil, birbirine bağlı kompartmanlardan oluşur.

2.8 Mantarlarda Büyüme Koşulları

Eğer ortam koşulları uygunsa, genellikle büyüme sıralaması altı ana aşamayla tanımlanabilir. Tipik bir büyüme eğrisi Şekil 2.6'de verilmiştir (Buchanan ve diğ, 1997).

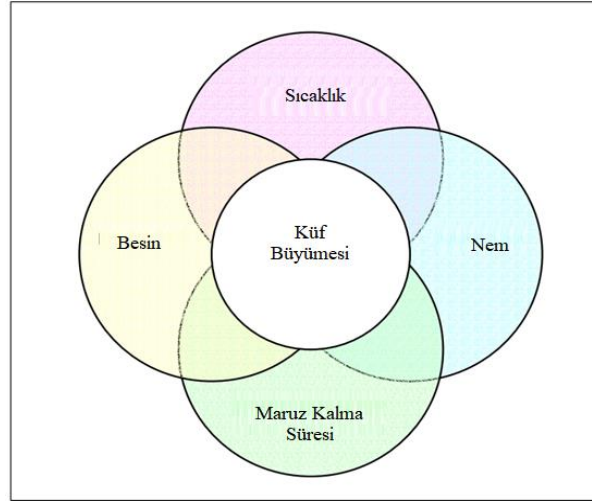
- i. Gecikme Fazı (lag phase), yeni ortamda aktif büyümeye adapte olduğu bir dönemi temsil eder. Ve çimlenme için gereken zamanı içerir.
- ii. Hızlanma aşaması, artan hücre sayısı arttıkça artan bir popülasyon büyüme oranına yol açar.
- iii. Üstel faz, hücrelerin üretim süresi sabittir ve yaygın koşullar için minimum üretim süresini temsil eder. Biokütle artış oranı mevcut biokütle ile orantılıdır.
- iv. Yavaşlama aşaması, olumsuz ortam koşulları nedeniyle üreme oranı düşüyor.
- v. Sabit faz, bu aşamada hücrelerin yeni oluşumu ve ölümü dengelenir.
- vi. Ölüm aşaması, mevcut besinler gittikçe daha az olur ve toksik metabolizma ürünleri oluşturulduğundan, mantar kültürü merkezinden hücreler ölmeye başlar.



Şekil 2.6 : Küf mantarı kültürünün büyüme eğrisinin şematik diyagramı (Buchanan ve diğ, 1997).

2.8.1 Mantar büyümesini etkileyen faktörler

Mantar büyümesini önlemek için biyotik faktörlerin mantar büyümesi üzerindeki etkilerinin bilinmesi şarttır. Küf çimlenmesi, büyümesi ve spor oluşumu için çevresel koşulların uygun bir kombinasyonunu gerektirir. Bu koşulların en önemlisi nem, sıcaklığı ve sporun oturduğu yüzeyde, besin maddesidir. Küf çimlenmesi için dört önemli koşul Şekil 2.7'te gösterilmektedir (Moon,2005).



Şekil 2.7 : Küf çimlenmesi için önemli faktörler (Moon,2005).

2.8.2 Su

Tüm yaşam süreçleri gibi, mantar büyümesi de suyun mevcudiyetini gerektirir. Antartların su ilişkisi genellikle su aktivitesi, a_w , veya bağıl nem, RH, olarak ifade edilir. (Adan,1994)

Genel olarak,% 100 Bağıl Nem veya 0.1 a_w doymuş bir ortam, mantar gelişimi için üst sınır olarak alınır. Bununla birlikte, Scott (1957) saf suda mantar büyümesinin imkansız olduğunu belirtti. Bundan sonra, bu çalışmada mantar büyümesinde su gereksinimi için bağıl nem terimi kullanılacaktır.

Snow (1949)'de, kaba mantarlarda su ilişkilerine dayanarak sınıflandırması önerdi,

- Xerophilic, % 85 bağıl nemin altında büyüeyebilen mantarlar.
- Mesophilic, büyümek için % 85 bağıl neme ihtiyacı var.
- Hydrophilic, sadece% 95 bağıl nemin üzerinde büyür.

RH büyüme döngüsünün ana aşamalarında büyük bir etkisi var. En düşük RH limiti genellikle dehidrasyon nedeniyle DNA molekülünün sarmal yapısının bozulmasına bağlıdır (Chen,1966).

Çimlenme için alt sınırın her zaman keskin bir şekilde tanımlanamaz, çünkü gözlem süresinin uzunluğuna bağlıdır. Ayrıca, alt sınırdaki RH mantar büyümesinde, substratların besin durumuna bağlıdır.

Ortamdan su alımına ek olarak, hücre metabolizması az miktarda su üretir, bu da daha fazla gelişmeye neden olabilir. Örneğin, karbonhidrat ve yağların parçalanması ile suyu serbest bırakır (Adan,1994).

2.8.3 Sıcaklık

Mantar büyümesini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de sıcaklıktır. Küf mantarları 0 ° C ila 50 ° C sıcaklık aralığında büyüebilir(Maheshwari, 2000).

Mantarlar genellikle ısıya göre, soğuğa karşı daha toleranslıdır. Lipitler hem sitoplazma zarının hem de iç zarın temel yapısal bileşenleridir(Bligh ve diğ, 1959). Yüksek sıcaklıklarda membran lipidleri eriyebilir ve küf mantar hücrelerinde yapısal bütünlüğü bozulmasına sebep olur. Ama düşük sıcaklıklarda membran lipiti zarar görmese de hücrelerde transfer sisteminde sıkıntılar meydana gelir. Bu da mantar büyüme oranını etkiler(Heseltine ve Rosen, 2009).

Sıcaklıktaki bir artış molekülün uzamsal düzenlemesini değiştirerek temel bir enzim fonksiyonunun kaybına, membran yapılarının değişmesine veya ribozom konformasyonunun değişmesine bağlı olarak protein sentezinin in aktivasyonuna neden olabilir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklar birçok temel işlemi devre dışı bırakabilir (Adan,1994).

Bazı mantarlar donma noktasının altında büyüebilse de, çoğu mantar için alt sınır genellikle 0-5 ° C'dir (Carpenter, 1972).

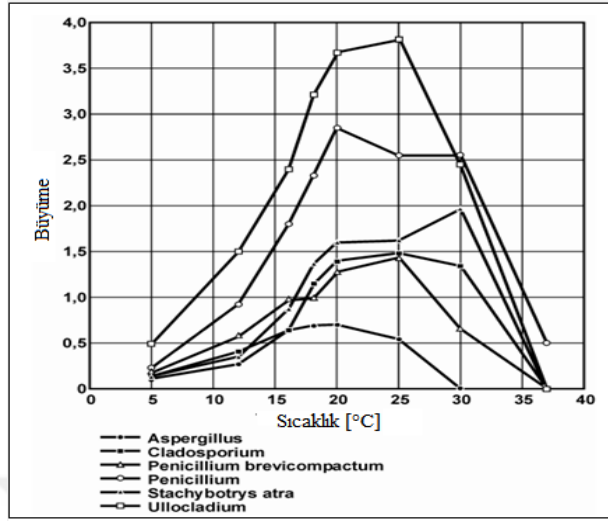
Buzdolabında yetişen *Cladosporium* spp gibi bazı türler daha düşük sıcaklıklarda büyür veya buna uyum sağlar.

Normalde, minimumun altındaki sıcaklıklar sadece büyümeyi etkiler, ancak canlılığı etkilemez, bu sıcaklık aralığında mantarlar önemli sürelerde uykuda kalabilir (Adan,1994).

Yaygın türlerin misel büyümesi için optimum sıcaklık genellikle 22 ° C ile 35 ° C arasındadır (Ayrest,1966; Panasenko, 1967; Carpenter,1972).

Binanın iç kısmında veya iç yüzeylerdeki sıcaklıklar genellikle 0 ° C ile 30 ° C arasında olduğundan, burada sıcaklık küf mantarların üzerinde öldürücü bir etkisi yoktur.

Şekil 2.8'de, optimum sıcaklığa bağlı olarak çizilen büyüme oranı görülebilir (Grant ve diğ, 1989).



Şekil 2.8 : Grant'e göre sıcaklığa bağlı olarak çeşitli küf mantarlarının büyüme oranları.

2.8.4 Pozlama süresi

Mantar büyümesini ve malzeme özelliklerini ilişkilerini incelemek için deneyler genellikle sabit durum koşulları altında yapılır, ancak bina uygulamalarında sıcaklık ve bağıl nem düzenli dalgalanmalara maruz kalır. Bu nedenle, yapı fiziki bakış açısına göre, bir küf mantarı oluşmadan önce, bir yapı bileşeni üzerinde hangi nem durumunun ne kadar süre ve ne sıklıkta etki edebileceği belirtilmelidir.

Viitanen kısa süreli dalgalanmalar uygulandığında (0.25 gün), büyümenin daha uzun sürelerle (1, 2, 7 ve 14 gün) kıyasla daha yavaş gerçekleştiğini göstermiştir.

Çizelge 2.2'de, mantar büyümesinin zamana ve substratlara ilişkin bazı literatür verilerinin bir listesini içerir.

Çizelge 2.2 : Malzemeye bağlı, bağıl nem ve sıcaklığın spor çimlenmesine ve ilk görünür miselyum büyümesine kadar geçen süre (Gertis , 2001).

Minimal Bağlı Nem [%]	Sıcaklık verileri [° C]	Süre [s / G]		Uyarılar	Literatür
		Günlük [s / G]	Günler [G]		
75	Veri yok	Veri yok	3	Malzeme çeşitleri	Kruppa,1993
	Veri yok	12	5		Richter,1999
6		Zöld,1990			
12		Her gün	Cziesielski ,1999		
80				Alçı levha	Adan,1994
95	14	<24	6 hafta	Kirlenmemiş Sıva ve boya katları	Gertis,1992
	18.5	6			
	14	<24		Hafif kirlenmiş alçı	
		6		Kirlenmiş Dispersiyon boya, alçıpan, ahşap ve duvar kağıdı	
	18.5	1			

Bu araştırmaların sonuçları, hidrotermal sınır koşullarına ve malzemeye bağlı olarak küf mantarlarının büyümesi için farklı sürelerin gerekli olduğunu göstermektedir. Bu, küf mantarı oluşumunun öngörülmesi için geliştirilecek olan hesaplama yönteminin sadece çeşitli yapı malzemeleri ve kirlilik yüzeylerinin etkisini, aynı zamanda geçici sınır koşullarını da göz önünde bulundurulmalıdır.

Diğer faktörler: pH değerini, oksijeni ve Yüzey pürüzlülüğü küf gelişimi için önemli olabilir.

2.8.5 Oksijen ve mantar gelişimi

Mantarları oksijen ilişkileri açısından dört kategoriye ayırabiliriz(Tabak ve Cooke, 1968; Ray ve Bhunia, 2001; Dekker, 2019).

Birçok mantar zorunlu aeroblardır. Kısmi oksijen basıncı havanınkinin altına düşürülürse, büyümeleri azalır (0.21). Örneğin, tahılların tamamının alınma mantarının büyümesi 0.18 oksijen kısmi basıncında bile azalır.

Birçok miselyel mantar, terminal elektron alıcısı olarak oksijen yerine nitrat kullanabilir. Bu anaerobik solunum, aerobik solunumdakilerden en az% 50 oranında enerji verimi sağlayabilir. Rumende zorunlu olarak birkaç anaerobik Chitridiomycota meydana gelir ve aşağıda tartışılmaktadır(Tabak ve Cooke, 1968).

Tüm binalarda olan mantar türü için genelde, büyüme koşulu olarak yeterli bir oksijen varlığı iç ortamlarda mevcuttur (Sedlebauer,2001).

2.8.6 Işık

Işığın, mantarın farklılaşması üzerinde çok daha derin bir etkisi vardır, aseksüel spor yapılarının veya birkaç (hepsi değil) mantarlarında cinsel üreme yapılarının üretimi için bir tetikleyici olarak işlev görür(Suzuki, 2018).

Örneğin, birçok Basidiomycota'nın mantarı ve benzer meyva gövdeleri ışığa tepki olarak, ancak genellikle düşük bir Karbondioksit seviyesi için ilave bir gereksinim ile oluşturulmaktadır.

Sonuç olarak, küf mantarları büyümek için ışığa ihtiyaç duymazlar, mantarların yapı bileşenlerin de büyüdüğü bu gerçeği ortaya çıkartır.

2.8.7 PH değeri

PH değeri küf mantarı üremesi için başka bir önkoşuldur. Küf mantarları, doğrudan ortamlarının pH değerini, büyümeleri için uygun olacak şekilde değiştirebilir. Ortak için PH sınırları, pH 2.2 ila 9.6 arasında büyük ölçüde farklılık gösterir (Carpenter, 1972). Genel olarak, çoğu mantar, pH5 ve 8 arasında en hızlı büyüyen, asidi nötr ortamları tercih eder (Carpetner, 1972).

Genel olarak Yapı malzemeleri, mantar büyümesi için yeterli pH sahip oldukları nedeniyle çalışmada pH faktörü büyüme koşulları için değerlendirilmeyecek.

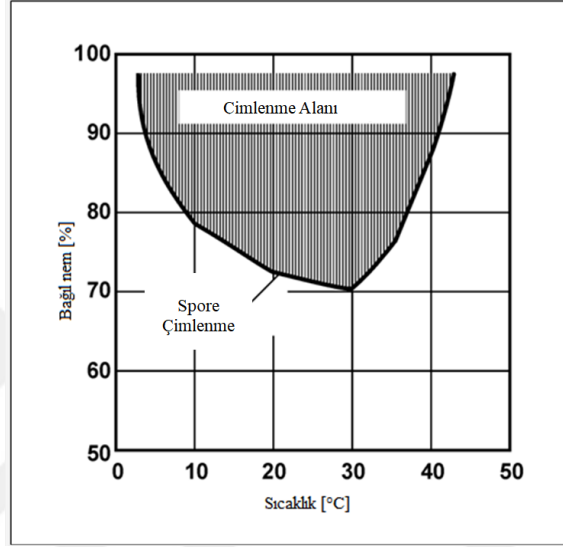
2.8.8 Yüzey pürüzlülüğü

Pürüzlülük ile bağlantılı olarak, yapı malzemelerinin gözenekliliği ya da gözenek yarıçapı dağılımı genellikle etki faktörü olarak gösterilmektedir. Bununla birlikte tek etkisi malzemede nemin depolanmasına neden olmasıdır.

Mantar büyümesi deneylerinin çoğu, küf gelişimi üzerindeki spesifik faktörlerin etkisine odaklanır. Çalışılan faktör tek değişkendir, diğer faktörler ise genellikle optimum seviyelerine yakın tutulur. Aynı zamanda faktörlerin eşzamanlı etkileri çalışılmalıdır. Etkileşim etkileri aşağıdaki gibi açıklanabilir.

2.8.9 Sıcaklık ve nem etkileşimleri

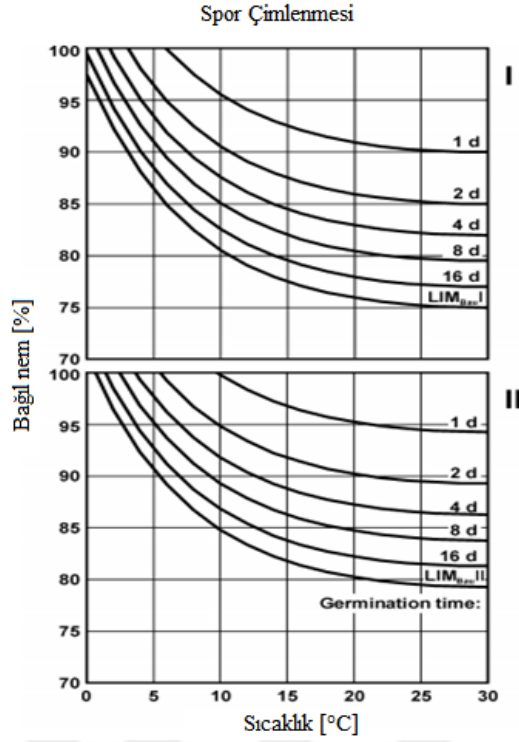
Mantarların büyüme hızındaki ısı ve bağıl nem arasındaki ilişkiyi, İzoplet sistemini oluşturan eğrilerle gösterilebilir. Optimum sıcaklıkta, mantarın büyümesinde minimum bağıl nem gereklidir (Clarke ve diğ., 1999; Hukka ve Viitanen, 1999; Sedlebauer, 2001). Bu miktardan uzaklaşarak bağıl nem eşit şekilde artar. Bu sistemde en düşük eğri, altında kalan koşullarda spor çimlenmesi veya mantar büyüme olmamasının göstergesidir (Şekil 2.5).



Şekil 2.9 : Sıcaklık ve bağıl neme göre küf büyüme aralığı (Sedlebauer,2001).

2.8.10 Bağıl nem, sıcaklık ve besin etkileşimleri

Besin konsantrasyonunun artırılması genellikle mantar gelişimi için minimum RH gereksinimini azaltır. Sedlbaouer (2001) tarafından mantar gelişimi için iki yüksek ve düşük besin maddesi içeren iki yapı malzemesi grubu için tanımlanan iki izoplet sistemi bulunmaktadır (Şekil 2.6). Bu sistemlere göre, yüksek besinlerdeki küf gelişimi için gereken minimum bağıl nem ve optimal sıcaklık düşüktür.



Şekil 2.10 : Spor çimlenmesi için geliştirilmiş izoplet sistemi, I (üstte) ve II (altta) bir alt tabaka kategorisi için geçerlidir.

2.9 Binalarda Küf Oluşumunun Nedenleri

Küf mantarı oluşumu tüm büyüme koşullarının ve en belirleyici faktör olan nemin olması koşuluyla ortaya çıkabilir. Literatür araştırmasında, binalarda nem problemleri ile mevcut binalarda mantar görünümü arasındaki ilişki detaylı olarak incelenmiştir (Adan, 1994; Clarke ve diğ., 1999; Hukka ve Viitanen, 1999; Sedlebauer, 2001; Moon, 2005; Johansson, 2014). İç mekânda mantarların ortaya çıkması genellikle sıvı veya su buharı şeklinde artan nemden kaynaklanır. Nem artışının sebebi de su sızıntısı, yoğunlaşma, yetersiz havalandırma vb. olabilir. Eski binalarda nem problemlerinin yeni binalardan daha sık olması nedeniyle, bu binalarda mantarların büyümesi önemli ölçüde artmaktadır.

İç ortamda aşırı nem sorununa neden olan etkenler genel olarak yetersiz yalıtım, ısı köprüsü, yetersiz havalandırma, dış hava şartlarına uygun olmayan dış duvarda kullanılan yapı malzemesi veya yetersiz drenajdır. (Baughman ve Arens 1996).

Başka rutubet sorunları, yetersiz ısıtma, bina duvarında sızıntı, dış duvarlara yağmur suyun nüfuz etmesi. Bunlara benzer bir sürü rutubet sorunu olan iç ortamda mantar büyümesine yol açar.

Literatürü inceliyerek, küf ve nem ile ilgili sorunların çok çeşitli nedenlerinin olması ve bu nedenle daha kapsamlı bir çalışma gerekir. Bu çalışmanın özeti Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Küf Sorunlarının sebepleri.

İç yüzeydeki İmikroklimatı etkileyen faktörler	İlgili Faktörler	Nedenler	Gerçek bina örnekleri
Kapalı iklim	Isıtma ve havalandırma	HVAC hatası	Nemli havanın doğrudan sızması Yetersiz nem giderme (dönüş kanalı) Yetersiz havalandırma Dış hava bariyerinin düşük geçirgenliği Yanlış yerde Buhar önleyici
	Planlama ve tasarım	Tasarım hatası	Yağış sızıntısı Arızalı drenaj Geçirimsiz yüzeyler (vinil döşeme, vinil duvar kağıdı)
		İnşaat hatası	Kötü saha drenajı Yer ve oryantasyon
	Doluluk davranışı	Bina kullanımı	Borularda, çatıda, bodrumda su sızıntısı Yüksek ikamet yoğunluğu Kullanım şekli, pişirme alışkanlıkları Düşük klima termostatu ayarı Odun, kağıt, kitap stoku
Bina dış yüzeyinin kalitesi	Isı köprüsü Hava sızdırmazlık	Bakım/İşlem	Ekipmanın yetersiz bakımı ve işletilmesi Temizlik Yapı malzemelerinin yaşlanması
		Dış yüzey boyunca negatif basınç ve yetersiz yalıtım	

2.10 Farklılaşma Ve Gelişme

Mantarların çoğu ya hif (misel, küf veya M-fazı) veya tek hücreli maya (Y-fazı) olarak büyür. Mayalar, selüloz veya proteinler vb. gibi polimerleri bozma yeteneğine sahip değildir veya çok azdır ve ayrıca bu yeteneklere sahip olan misel mantarlarının aksine nüfuz etme gücü yoktur (Baron, 1996). Bu dimorfik anahtar, düşük besin içeriğine sahip at serumunda *C. albicans* yetiştirilmesiyle deneysel

olarak uyarılabilir(Mayer, 2013). Benzer şekilde, genellikle böcekleri parazitleştiren *Metarhizium* ve *Beauveria* spp. gibi mantarlar, böcek kütikülüne hifle tarafından nüfuz eder, ancak daha sonra konağın sirküle eden akışkanlarında tek hücreli bir biçimde çoğalır.

İnsanların fırsatçı patojenleri, M fazında, bitki ve hayvanlarda saprotroflar kalır ve ayrıca 20-25 ° C'de laboratuvar kültüründe misel olarak büyüebilir. Anaerobik koşullarda tomurcuklanan mayalar olarak, düşük oksijen konsantrasyonlarında bile misel olarak büyürler.

2.10.1 Mantarların beslenmesi

Mantar büyüme ortamı genellikle hafif asidiktir (pH 5-6) ve karbonhidrat bakımından zengindir.

Birçok mantarın, çevresel koşulların yetersiz olduğu durumlarda, büyüme için ekstra besin gereksinimi vardır.

2.10.2 Küf mantarlarının genetik, moleküler genetik ve genomik

Mantarlar, 60 yıldan uzun bir süredir klasik genetik araştırmalar için önemli araçlardır çünkü diğer ökaryotlar ile eşleşmeyen özelliklerin bir kombinasyonuna sahiptirler:

- Laboratuvar koşullarında yetiştirilmeleri kolaydır ve yaşam döngüsünü kısa sürede tamamlarlar.
- Mantarların çoğu haploittir, bu nedenle mutasyonları ve mutantları seçmeleri kolaydır.
- Genlerin ayrılması ve rekombinasyonunun analizi için cinsel bir aşamaya sahiptir ve hapiosit cinsel sporlarında tüm mayoz ürünlerinin elde edilebilir.
- Aseksüel sporlar üretir, böylece genetik olarak homojen popülasyonlar birikebilir ve korunabilir.

2.11 Nem Ve Küf Mantarlarının Sağlığa Etkileri

İç mekanlarda bulunan bazı mantarlar solunabilecek kadar küçük olduklarında, üst solunum yollarında ve gözlerde birikerek çok sayıda spor üretirler. (Hardin, 2003).

Küflere ve diğer mantarlara ve bunların sporlarına kapalı alanlarda maruz kalınması, en katı hava filtrasyonunun veya diğer çevresel sanitasyon önlemlerinin gözlenmesi haricinde kaçınılmazdır. İç mekanlarda, uygun bir ortam olunca mantarlar büyümeye başlar .İnsanlar çoğu zamanlarını iç ortamlarda geçirdiği için bu mantarlarla herhangi bir şekilde maruz kaldığında sağlıklarını etkileyebilir. Bina sakinleri aşağıdaki şekillerde etkilenebilir.

1. Hasta bina sendromu (SBS) olarak ortaya çıkabilir.
2. Bina ile ilgili başka hastalıklar olabilir
3. Bazı insanlar alerjik bir tepki verebilir ve çevre ile ilgili sağlık sorunları olabilir (AEHP)
4. Bunların toplamı psikolojik ve psikosomatik sorunlara neden olabilir.

Binalardaki küf mantarı problemlerini gidermenin maliyeti oldukça yüksektir. Aynı zamanda konfor konusunda, baş arıları ve buna benzer sıkıntılıatının sık sık karşı karşıya gelmektedir. Binalarda küf ve mantarlarla ilgili sağlık problemlerinin belirlenmesi ve iç hava kalitesinin sorunları ile ilgili risk yönetimi karmaşıktır(Hardin, 2003).

İç ortam hava kalitesi ile ilgili, en yaygın sağlık sorunları, nemli ortamlarda, küf , ev tozu akarlarının sayısında bir artış ve diğer çeşitli mantar ve böcek gibi mikroorganizmalar ile ilgilidir (Hardin, 2003).

Mantarların ve küflerin çeşitliliği ve gelişebilecekleri çeşitli koşullar nedeniyle; Binalardaki küflenme, bina sakinlerinin sağlığını birçok yönden etkileyebilir.

Çoğu mantar genel olarak patojenik değildir, ancak küfler ve diğer mantarlar insan sağlığını enfeksiyon; alerji ve toksisite gibi süreçlerde olumsuz etkileyebilir (Hardin, 2003).

2.11.1 Alerji

Alerjilere, Ascomycetes ve Basidiomycetes sınıflarının üyeleri de dahil olmak üzere birçok mantar sınıfından kaynaklanan bazı organizmalar neden olur (Kauffman ve diğ, 1995; De, 2000 ; Bush ve diğ, 2006).

Bazı mayalar, tomurcuklanma ya da fisyonla üreyen tek hücreli mantarlar, alerjendir ve özellikle Candida olmak üzere önemli bir klinik öneme sahiptir(Womiloju ve diğ, 2003; Elbert ve diğ, 2007; Hock ve diğ, 2008; Fröhlich-Nowoisky, 2009).

2.11.2 Nem sorunu

Nemli (yükselen veya nüfuz eden nem) veya diğer nem problemlerinden maruz kalan binalarda çok daha fazla sayıda mikro organizma yaşar. Sonuç olarak, birkaç kişi sağlık sorunları yaşar. Çare olarak nemli bölgeleri kurutmak mümkündür. Bu yaklaşım zaman ve maddi kayıplara neden olur.

2.11.3 Patojenik mantarlar

Bu mantarlar, enfeksiyonları, aspergilloz, blastomikoz, histoplazmoz, kriptokok ve koksidioidomikozu üreten immün sistemi baskılanmayan bireyleri enfekte edebilir. Ciddi derecede immün fonksiyonu olan insanlar için , örneğin kemoterapi alan kanser hastalarıve AIDS hastaları gibi hastalar önemli risk altındadır (Hardin, 2003).

2.11.4 Beta-1,3-D-Glukan

Sporlar ve hifler dahil tüm mantar hücre duvarları beta-l, 3-D-glukanlar, immünosupresif, mitojenik (yani, mitoz veya hücre transformasyonuna neden olan) ve enflamatuar özelliklere sahip tıbbi olarak önemli glukoz polimerleri içerir. Pulmoner alveolar makrofajların ve bağışıklık sisteminin beta-l, 3-glukanlara tepkisi sadece kısmen anlaşılmıştır, ancak maruz kalmanın lenfositleri etkileyen lenfositlerde enflamasyon reaksiyonlarına neden olduğu bilinmektedir (**Verma** ve diğ 2018).

2.11.5 Mikotoksisite

Küfler ve sporları, mikotoksinler olarak bilinen bu biyolojik aktif molekülleri üretebilir. Bununla birlikte, doğru mikotoksin üreten bir küf mantarı bulunmalıdır. Ayrıca, bir kişiden mikotoksine maruz kalma yolu bulunmalıdır.

Nemli konutlarda, çok çeşitli kimyasal yapı ve biyolojik aktiviteler içeren çeşitli kalıplar tarafından üretilen çok sayıda toksik küf metabolitleri vardır.

Daha yakın zamanlarda, Stachybotrys chartarum, bu çok selülitik türlerin, ıslandığında duvar kağıdı ve sıva tahtasında yetişebilecekleri nemli evlerde yaşamaya bağlı hastalıklara neden olmuştur.

2.12 Yapı Malzemelerin İç Hava Kalitesinde Ve İnsan Sağlığında Etkisi

İç ortamlarda iç hava kalitesini ve insan sağlığını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Önemli faktörlerden biri de iç ortamlarda kullanılan yapı malzemeleridir. Bu konu aşağıda ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

2.12.1 Biyolojik kirleticiler

Yapı malzemelerini seçerken biyolojik yönleri dikkate almak önemlidir. Akman'a göre, iklim koşullarına göre farklılık gösteren malzemeler dışında, binalarda% 30-40 organik madde (yani odun, saman, kamış) ve% 60-70 inorganik malzeme (yani tuğla, fayans, doğal taş, kireç) kullanılmaktadır. Günümüzde, özellikle büyük şehirlerdeki modern binalarda, kullanılan malzemeler% 90-100 yapay, doğaya, hayata ve insan metabolizmasına yabancıdır. Yapı malzemelerinden kaynaklanan iç mekan hava kirliliği, malzeme yapısı, uygulaması, kullanımı ve kullanım ömrünü tamamlamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, seçim sırasında, yapı malzemeleri tüm özelliklerle, pozitif ve negatif olarak tanımlanmalıdır, böylece seçim yapanlar, malzemenin yaşam döngüsü boyunca çevreye zararı en aza indirebilir. Bu ise, insan sağlığını en az tehdit edecek bir ortam yaratır. Yapı Biyolojisi için düşünülen malzemelerin seçimi aşağıdakileri içermelidir:

- Dayanıklı malzemeler
- Biyolojik olarak ayrıştırılabilir malzemeler
- Uygulamalarında enerji tüketimini azaltan malzemeler,
- Düşük enerjili malzemelerin oluşumu
- En az çevresel etkiye sahip malzemeler
- Üreticilerden gelen malzemeler malzeme geri dönüşüm programları tarafından alınmıştır
- Kentsel ısı adası etkisini azaltan malzemeler
- Sertifikalı ahşap
- Çok düşük radyasyon yayan malzemeler
- Yerel topografide üretilen ve kullanılan malzemeler
- Uygulamalarında su tüketimini azaltan malzemeler

- Yenilenebilir kaynaklardan üretilen malzemeler
- Yeniden işlenmiş malzemeler
- Asgari işlenmiş gelecekteki malzemeler
- Geri dönüştürülebilen veya geri dönüştürülme potansiyeli olan malzemeler
- Pigment, kıvam verici, yangın geciktirici olarak zararlı kimyasal madde içermeyen malzemeler.

Ekolojik yapılar hakkında araştırma, 1982 yılında yapı malzemelerinin sınıflandırılması için Krusche ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Krusche ve arkadaşları kullanılması ve kullanılmaması gereken malzemeleri belirtmişlerdir.

Kullanılması gereken malzemeler:

- Cephe malzemesi olarak preslenmiş tuğla ve ahşap
- Duvar yapı malzemesi olarak ahşap, tuğla ve kerpiç
- Duvar kâğıdı, doğal ve suni ahşap paneller, kaporta, yüzey kumaş kaplamaları
- Kaplama olarak taş, ahşap ve muşamba
- Yün ve keten halılar
- Ahşap yünü ve yalıtım malzemesi olarak saman
- Su bazlı yağlı boya gibi doğal boyalar.

Kullanılmaması gereken malzemeler;

- Alüminyum, çinko, kurşun, metal levha, çimento, asbest tahtalar gibi mineral bazlı malzemeler
- Sentetik halılar
- Cam elyaf, genleşmiş perlit, polistiren köpük, sentetik köpük
- Sentetik reçine bazlı boyalar.

Rutubet ve küf geleneksel olarak yeterli ısınma, havalandırma ve yalıtım olmadan aşırı kalabalık barınma ile ilgilidir, dolayısıyla daha düşük gelir grubunda bu problemler daha belirgindir. Fırtına ve şiddetli yağışların daha sık meydana geldiği küresel ısınma gibi iklim değişiklikleri deniz seviyesinde kademeli bir artışa neden

olmaktadır. Daha sık taşkınlarla birlikte, özellikle nehirlerle yakın bölgelerde, rutubet ve küf etkilenen binaların yüzdesinde artışa neden olur.

Ayrıca, kimyasal kirlilik de teşvik edilmektedir, çünkü nemlilik, yapı malzemelerinin havaya salınmasını sağlayan yapı malzemelerinin bozulmasını hızlandırmaktadır. Çok sayıda çeşitli tür arasında, az sayıda iç mekan hava kirliliği için büyük öneme sahiptir ve bunların büyümesi doğrudan bağıl nem ile ilgilidir. Ayrıca, ılıman iklim koşullarında yaşayan ev tozu akarlarında nem, büyümelerinin artmasında önemli bir faktördür.

Hayatta kalma, gelişme ve çoğalma için, ev tozu akarlar % 45-50'yi aşan bağıl neme ihtiyaç duyarlar, ancak alan çalışmaları doğrulanan yüksek bağıl nem oranlarında beslenme ve olgunlaşma dahil olmak üzere etkinlikleri daha hızlıdır. Çünkü ev tozu akarları cilt kantarlarıdır, fakat diğer gıda kaynaklarını da kullanmaya adapte olmuşlardır. Ev tozu akarı alerjenleri genellikle *Dermatophagoides pteronyssinus* (proteolitik alerjenler Der p I ve Der p II) ve *Dermatophagoides farina* (Der f I) tarafından üretilir. Bu alerjenleri içeren fekal partiküller ağırlıklı olarak ev tozu, şiltelerdir.

İç mekân havadaki varlıkları, bina dış ortamından bina malzemeleri, halılar, mobilyalar, duvar kâğıtları vb. yoluyla taşınmasının bir sonucudur. Havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, mantarların binalara nüfuz etmesinin diğer bir yaygın yoludur. İkincil kolonizatörler substratlarında daha fazla nem gerektirirken, tersiyer kolonizatörler veya hidrofilik, çimlenme ve misel büyümeleri için %95 üzeri bağıl neme ihtiyaç duyarlar; Bu nedenle, sadece yoğun yoğunlaşma problemi olan binalarda bulunurlar.

Mantarlar için doğal gıda kaynağı, ev tozu içindeki bitki, yer ve duvar tekstil kaplamaları, mobilyalar, pişirme izlerinin kalıntısı, yiyecek depoları, kâğıt materyaller gibi yapı malzemeleri parçalarına kadar çeşitlilik gösterir. Bu malzemeler her binada yeterli olduğundan ve mantarların büyümesi için en uygun sıcaklığın 10–35 °C arasında değiştiğinden, mantar ve küf kontaminasyonunun gelişimi için tek sınırlayıcı faktör nemdir. Mantarlar insan sağlığına aşırı zararlı olabilir, ancak binanın kendisini, özellikle çatılar, kereste ve diğer malzemeler gibi ahşap parçaları tahrip edebilir. Bazı mantar türleri, immün reaksiyon tip I'i (IgE aracılı) başlatan güçlü alerjenler üretir. Örneğin, *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*

ve *Cladosporium* spp. İle iç mekân kirliliği astım ve diğer alerjik solunum hastalıkları ile ilgilidir (Verhoeff ve Burge, 1997).

Ana mantar alerjenler izole edilir ve tanımlanır (örneğin, *Cladosporium* herbarumundan *Clad h I*, *Alternaria alternata*'dan *Alt a II* ve *Aspergillus fumigatus*'tan *Asp f I* ve *Asp f III* gibi). Bunların çoğu, çimlenme sırasında üretilen ve sporlar ve hifler, yani canlı parçacıklar yoluyla salınan glikopeptit enzimleridir. Bununla birlikte, ölü parçacıklar bile, potansiyel olarak zararlı (1-3)-D-glukanlar içerebildiklerinden önemli sağlık riski taşırlar (Verhoeff ve Burge, 1997).

2.12.2 Yetersiz havalandırma

Bakım faaliyetleri, kirleticiler kaynağının varlığı (örneğin inşaat malzemeleri, mobilyalar ve ekipman), dış mekandaki kirlenme seviyeleri, mevsim, iç mekan nemi ve sıcaklık ve havalandırma oranları gibi birçok faktör etkilenir. İç ortam havasında spesifik kirleticilerin konsantrasyonları, genellikle dış ortamdaki konsantrasyon seviyelerinden oldukça yüksek olabilir. İç mekân kirleticileri formaldehit, uçucu organik bileşikler (VOC'ler), partiküller, böcek ilacı, radon, mantar, bakteri ve azot oksitleri içerir. İç mekân hava kirleticilere ek olarak, kullanıcılar iç mekân çevre faktörleri nedeniyle iç mekân kirleticilere atfedilenlere benzer sağlık ve benzerlik rahatsızlıkları yaşayabilirler. Genellikle, hem iç mekân kirleticilerin hem de diğer iç mekân çevre faktörlerinin varlığı, yolcu rahatsızlığının doğrudan nedenlerini ve sağlık semptomlarını tanımlamayı zorlaştırır. Genel olarak, HVAC sistemleri ve bina kabuğunda su hasarı, bina ile ilgili IAQ sorunlarının en yaygın kaynaklarıdır. IAQ sorunlarının diğer nedenleri, kötü yer seçimi, malzeme seçimi, çatı tasarımı, kötü inşaat kalitesi, uygun olmayan montaj veya diğer faktörlerin herhangi bir sayı veya kombinasyonu da dahil olmak üzere, inşaat sürecinin çeşitli aşamalarına atfedilebilir. Düşük ventilasyon oranları genellikle sağlık semptomları riskini artırır. Ayrıca sağlık belirtileri ile ventilasyon oranları veya CO₂ konsantrasyonları arasında tutarlı bir ilişki vardır (Verhoeff ve Burge, 1997).

Karbondioksit Konsantrasyonları: Karbondioksit konsantrasyonları, genellikle kişi başına düşen dış hava besleme oranının bir taşıyıcı olarak kullanılır. 1000 ppm'nin üzerindeki kapalı Karbondioksit konsantrasyonları genellikle vücut kokularına göre kabul edilemeyen havalandırma oranlarının göstergesi olarak kabul edilir. 1000 ppm'nin altındaki Karbondioksit konsantrasyonları, havalandırma oranının diğer

kirletici maddelerin iç mekân kaynaklarından uzaklaştırılması için yeterli olduğunu her zaman garanti etmemektedir. Her ikisi de zamanın bir fonksiyonu olarak değişen doluluk ve havalandırma oranının bir fonksiyonu olduğu için iç mekân Karbondioksit konsantrasyonlarını yeterli şekilde karakterize etmek zordur.

2.12.3 Elektromanyetik radyasyon

Sabit bir elektrik yükü, alanı çevreleyen bir elektrik alanı üretir. Ancak, eğer yük hareket ediyorsa, bir elektrik alanın yanı sıra manyetik bir alan da üretilir. Elektrik ve manyetik alanlar dalga boyları ve frekansları ile karakterize edilir ve bu alanların sahip olduğu enerjinin büyüklüğü, alanın dalga boyuna ve frekansına göre değişir. Elektromanyetik alan, elektrik ve manyetik dalgalar birbirine dik hareket ettiğinde üretilir. Üretilecek elektromanyetik alan için hızlandırılmış bir elektrik yükü gerekir. Manyetik alan, elektrik alanın olduğu yerde meydana gelir ve bunun tersi de geçerlidir. Elektromanyetik alan canlı organizmaları hem olumlu hem de olumsuz yönde etkiler(EMF, 2007; Grono ve diğ, 2008; Redlarski, 2015). Bu konuda çalışmalar klinik ortamlarda hücre ve hayvan modellerinde gerçekleştirilmiştir.

Binaları ve fiziki çevreyi etkileyen olaylardan biri de kirliliktir. Kirlilik, ekosistemde dengesizlik, bozukluk, zarar veya rahatsızlığa neden olan kirleticilerin birikmesi, yani fiziksel sistemler veya canlı organizmalar olarak tanımlanır. İçeride veya dışarıda oluşan doğal ve yapay elektriksiz kuşaklardan kaynaklanan kirletici maddeler doğal dengeyi ve düzeni bozarsa, buna “Elektromanyetik Kirlilik” denir. Elektromanyetik bir jenerasyonun kirlenmeye neden olması için, doğada normal seviyenin ötesine geçmek ve canlıların sağlığını olumsuz yönde etkilemektir. İnsanların yaşamlarını ve sağlığını sinsice etkileyen elektromanyetik kirlilik aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir:

- Binaların dışındaki elektromanyetik kirlilik
- Binaların içindeki elektromanyetik kirlilik.

2.13 Binalarda Küf Oluşumu

Epidemiyolojik çalışmalar nemli yaşam koşullarının çocuklarda solunum semptomlarının oluşmasında büyük bir risk olarak tanımlamıştır (Spengler ve diğ 2001). Ayrıca mantar ve ev tozu akarlarının nemli koşullarda gelişip gelişmediği de

tespit edilmiştir (Harving ve diğ, 1993) ve artan solunum yolu alerjisi ve astım sıklığı mantar maruziyetiyle ilişkili olabileceği bulunmuştur (Peat ve diğ, 1998; Tsuang ve diğ, 2003). Çalışmalar, bina yüzeyinde mantar büyümesinin toz akarı antijenlerine ve bakteriyel endotoksine maruz kalmaya neden olduğunu ve solunum ve spesifik olmayan semptomları ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Dales ve diğ, 1991). Tropikal ülkelerdeki havadaki mantar konsantrasyonları ılıman bölgelere göre daha yüksektir (Wu ve diğ, 2007). Bina malzemelerindeki mantar kirliliği, iç mekan hava kalitesinin düşüklüğüne katkıda bulunan bir kirlilik kaynağı olarak tanımlanmıştır (Ellringer ve diğ, 2000). Daha önce yapılan araştırmalar, iç mekân mikrobiyal konsantrasyonları ve seçilmiş ev özellikleri arasındaki ilişkiyi önermiş olmasına rağmen (Dharmage ve diğ, 1999), genel olarak yüksek iç mekân mikrop seviyelerinin gözlendiği bu bölgede bulunan ilişkilerin verileri ve modeli kesin değildir.

2.14 Yapılarda Küf Varlığının Nedenleri

Küfler kumaş, halı, deri, ahşap, duvar, ev tozu veya organik malzemeden yapılmış herhangi bir şey üzerinde büyüyebilir. Kalıcı küf gelişimi nem, organik materyal (bir besin kaynağı) ve genellikle 4°C ila 35°C aralığında uygun bir sıcaklık gerektirir. Kereste veya ahşap yapı bileşenlerinde önemli yüzey küfü büyümesi için yaklaşık bir hafta boyunca %90'un üzerindeki nem içeriği gereklidir. Kereste yüzeyindeki küf gelişimi, çoğu ahşap türünde, ağırlıkça nem içeriği % 80 ila % 88 arasında olduğunda gerçekleşir. Ahşap çürüklüğü mantarları, odun nem içeriği lif doyma noktasının üstünde (yani, ağırlıkça yaklaşık % 80, farklı türler için değişen % 82) bir haftadan fazla olması için daha yüksek nem seviyeleri gerektirir (Wu ve diğ, 2007).

2.15 Mantarlar Ve İç Ortam

Mantarlar, karbon kaynağı ve yeterli nem sağlayan herhangi bir malzemede büyüebilmektedirler. Mantarlar, tavan döşemeleri; ahşap ürünler; boya; duvar; halı; bazı mobilyalar; kitap / makale; alçı duvar kâğıdı (alçıpan); çamaşırlar; ve diğer kumaşlar (Dedesko ve Siegel, 2015) dahil olmak üzere bina ve diğer malzemeler üzerinde büyüyebilir. Küf, en çok pamuk, keten, ipek ve yün gibi doğal liflerde görülür. Bu aslında kumaşı çürütebilir. Küf ayrıca beton, cam elyaf izolasyonu ve seramik gibi nemli, kirli yüzeylerde de büyüyebilir.

Mantar büyümesi için büyüdüğü yüzeyin bağıl nemi, mevcut havadaki bağıl neme göre daha önemlidir. Mantar büyümesini sağlayan yapı malzemelerinin minimum nem içeriği%80 civarındadır. Ahşap, ahşap kompozitler (kontrplak, sunta) ve yüksek nişasta içeriğine sahip malzemeler, diğer yüzeylere nazaran en düşük yüzey bağıl nem içeriği ile mantar gelişimini destekleyebilir. Karton ve kâğıt liflerle takviye edilmiş alçıpan veya boya ile kaplanmış veya kolayca parçalanabilir bir karbon kaynağı sunan katkı maddeleri ile muamele edilmiş inorganik malzemeler, substrat bağıl nem içeriği% 85-90'a ulaştığında mantar gelişimi için mükemmel substratlardır (Pasanen ve diğ, 1992; Ayanbimpe ve diğ, 2012).

2.16 Ortak Mantar Kirleticileri ve İç Mekân Kirlenmesinden Sorumlu

Faktörler

Dünyanın çeşitli yerlerinde iç mekândan çok sayıda mantar izole edilmiştir ve farklı yerlerden gelen türlerle ilgili olduğu görülmektedir. İç mekan ortamlarında yaygın olarak kullanılan havadaki mantarlar şunlardır: *Alternaria* sp, *Aspergillus glaucus* grubu, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus fumigatus*, *Bir sydowii*, *Penicillium aurantiogriseum*, *Penicillium chrysogenum*, *Stachybotrys chartarum*, *Chaetom*, *glocos*, *clausus*, *cuma*, *fuma*. Diğerleri *Mortierella* sp. *Trichoderma* sp. *Trichoderma* sp. *Memnoniella* sp. *Epicoccum nigrum*, *Scopulariopsis fusca* ve *Chrysosporium queenslandicum*. Yılın farklı mevsimlerinde mantarların bolluğunda bazı farklılıklar var gibi görünmektedir (Shelton ve diğ, 2002; Mirabelli ve diğ, 2006; Sautour ve diğ, 2009), diğerleri de mevsimden bağımsız olarak gerçekleşmiştir.

Cladosporium türleri yaz aylarında bol miktarda bulunur, ancak yağışlı aylarda *Penicillium* konsantrasyonları daha yüksektir (Verhoeff, 1993; Flannigan, 1997; Dubey ve diğ, 2011). İçerdeki küf tipleri ve konsantrasyonları öncelikle dış mekân mantarlarının bir fonksiyonudur (Shelton ve diğ, 2002). Tüm ABD bölgelerinde açık ve kapalı atmosferlerin mikoflorasının kapsamlı bir çalışmasını sundular. Hem iç hem de dış ortamlarda 12.000'den fazla örnekleme yapıldı. Substratın nem içeriği (iç mekan nem seviyesi ile ilgili) da dikkate alınmıştır. Binanın dış duvarlarına yakın yerlerde ağaçlar, çalılar ve peyzaj sulamalarının yapıldığı dış küf ve diğer mantar konsantrasyonları daha yüksektir (McNeel ve Krautzer, 1996). Nem, iç mekân ortamlarında mantar büyümesini belirleyen en önemli faktördür (Got et al, 2003). Atmosferik bağıl nem, conidia'nın conidiophores'ten salınımını ve aynı zamanda

atmosferdeki sporların konsantrasyonunu doğrudan etkiler. Farklı mantar türleri için farklı olabilir. Pasanen ve arkadaşları, 1991, Cladosporium'un sporla serbest bırakılmasının Penicilium'dan farklı olarak düşük nem tarafından desteklendiğini, bunun tersi durumdaydı. Bu farklılıklar dış mekan mantarlarının mevsimsel modellerini etkiler. Genel olarak, iç hava kalitesini etkileyen küf tipleri ve konsantrasyonları dış havadakilere benzerdir ve küfler rutubet problemi olmayan evlerde meydana gelebilir (Gots ve diğ, 2003; Horner et al, 2004; O'connor ve diğ, 2004; Codina ve diğ, 2008).

Bununla birlikte, küf sayıları binalarda su biriktiğinde değişebilir. Taşkınların, tesisat kaçaklarının, nem dinamiğinin zayıf anlaşılması ve dikkatsiz bina tasarım ve yapımının neden olduğu hasar, su girişine daha duyarlı yapılara neden olur. Ayrıca, bazı binalarda iyi bakım uygulamalarının olmayışı, yalnız bırakıldığında mikrobiyal kontaminasyona ve daha yüksek seviyelerde biyoerosollere ve nem birikimlerine neden olabilir (BCBS, 2007; Stetzenbach ve diğerleri, 2004). Nemlilik genellikle iç mekân küflülüğü ve sağlıksız hastalıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Dales ve diğ, 1991; Oconnor ve diğ, 2004). Nemli binalar genellikle küflü bir kokuya veya belirgin küflenmeye sahiptir; bazı küfler insan patojenleridir (Kuhn ve diğ, 2003). Binaların fungal kolonizasyonu, binaların çevresel temizlik, kentsel planlama ve bina düzenlemeleri dikkate alınmadığı için gelişmekte olan ülkelerde düşük gelirli topluluklarda özellikle yaygındır (Ahiamba ve diğ, 2008; Ayanbimpe ve diğ, 2010).

Gelişmekte olan ülkelerdeki iç mekân hava kirliliğinden sorumlu faktörler arasında, çöplüklerin zayıf yerleri, ayakta duran su kütleleri, suya zarar veren malzemeler ve uygun şehirsiz planlamaması var. Nemli ve mikrobiyal üreme göstergeleri yüzeylerde veya yapılardaki yoğunlaşma varlığını, görünür küf, algılanan küf kokusunu ve su hasarı, sızıntı veya sızma geçmişini içerir. Kapsamlı inceleme ve gerekirse, iç mekân nemini ve mikrobiyal büyümeyi doğrulamak için uygun ölçümler kullanılabilir. Benzer şekilde, kirli hava taşıma sistemleri küfler ve küfler için üreme alanı olabilir ve ayrıca sporları evin her yerine dağıtabilir. Aşırı nem ve yapı malzemelerinin yüksek su içeriği, ısı yalıtımı eksikliği ve sakinlerin yanlış davranışları da katkıda bulunabilir (Ahiamba ve diğ, 2008).

2.17 İç Mekan Küfleri ve Sağlık

Sağlıklı bir iç ortam, her insan için bir zorunluluktur. Bazı araştırmalar iç mekandaki mantarların varlığına ilişkin sağlık risklerini incelemiş ve mantar seviyeleri ile sağlık sonuçları arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. İç ortamın küf kolonizasyonuna neden olan nemlilik problemleri hakkında kanıtlar mevcuttur (Málnási ve Páldy, 2007). Mantarların neden olduğu hastalıkları kontrol etmek için iç mekânlara girişlerinin birincil caddelerine dikkat edilmeli ve bu caddelerin bilgisi gerekmektedir. İç ortamdaki mantar varlığına katkıda bulunan koşulların belirlenmesi ve bunun düzeltilmesi, sağlıksız ve sonuçta ortaya çıkan kayıpların önlenmesi için gerekli bir adımdır. Bu etki için çeşitli önerilerde bulunulmuştur (Buck ve diğ, 2015).

İç ortamlarda yapılan araştırmalar, hava kaynaklı mantar ve ürünlerle ilişkili sağlıksızlık semptomlarının, küf ve küflü evlerde daha yüksek olduğunu ve nemli veya nemli yüzeyler, nemli duvarlar, ıslak yüzeyler, hasarlı malzemeler, durgun su ile karakterize olduğunu göstermiştir (Shelton ve diğ, 2002; Ahiamba ve diğ, 2008; Ayanbimpe ve diğ, 2010).

Patojenik enfeksiyonlar, öncelikle toprakta veya bitki örtüsünde bulunan, ancak insan ayağı giyen ayakkabı veya hayvanlarla evlere taşınan bazı küflerle ortaya çıkabilir. Bazı hava kaynaklı mantarların sporları immün sistemi baskılanmış kişiler tarafından solunduğunda, örneğin Aspergilloz ve histoplazmoz gibi hastalık süreçleri geliştirebilirler. Solunum hastalıkları, küflenerek kolonize olan evlerde yaşayan insanlar arasında bildirilen başlıca problemlerdir (Dales ve diğ, 1991). İç mekân hava mantar kolonizasyonunun etki riski daha yüksek olan kişiler, genç, yaşlı, bağışıklık sistemi baskılanmış bireyler, transplant hastaları gibi yoğun cerrahi prosedürler geçiren kişiler ve immünosüpresif tedavi alan kişilerdir (Simoni ve diğ, 2003). Patogeneizde yer alan mantar bileşenleri sporları; β -1,3-D-glukan; Hidrofobinler; Uçucu organik bileşikler (VOC) ve Dihidroksinaftlene (DHN) Melanin dir.



3. HİDROTERMAL MODELLER

İç mekanda mantarların büyümesini önlemek için, mantar büyüme koşullar hakkında tam bilgiye sahip olmalıdır. Ayrıca, iç yüzeylerin geçici hidrotermal koşulları ile ilgili olan bina fizikini incelemek de önem kazanır. İç yüzey hidrotermal koşullarını incelemenin önemi, Küf oluşumuna, ortamın bağıl nemi değil yapı malzemelerinin yüzeyindeki bağıl neme (veya nem içeriği) bağlı olmasıdır.

Yüzey koşullarının elde edilmesi gözenekli yapı malzemeleri ile bitişik hava arasındaki nem ve çok katmanlı yapı malzemeleri içindeki nem akışının hesaplanmasını gerektirir. Bu amaçla, enerji ve nem taşıma modellerine dayalı birçok ilk prensip geliştirilmiştir (Nakhi, 1995; Clarke ve diğ., 1999; Hens, 2002). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), binalar için ısı, hava ve nem (HAM) taşıma modellerini gözden geçirdi ve farklı karmaşıklıklara sahip 37 farklı model belirledi. IEA, HAM modellerini modelin karmaşıklığına göre çok basitten en sonuna kadar 9 tipe ayırmıştır (Hens, 2002).

3.1 Hidrotermal modellere genel bakış

İç mekan mantar büyüme değerlendirmesi için mevcut modellerin amaçları, avantajları ve dezavantajlarını tanımlamak gerekli gözüküyor. Bu nedenle, bu bölümde, mevcut gelişmiş altı hidrotermal modelin incelenmesi yapılmıştır. Özellikle bina dış kabuğunun bir parçası olarak, yapı malzemelerin içindeki nem davranışını tahmin eden bazı modeller, bina bileşenlerinin nem taşıma davranışını belirlemelerine yardımcı olur. Bazı çalışmalarda, bina ölçeğinde çalışan mevcut termal modellere, nem transfer modüllerini dahil ederek, tüm bina performansını simüle edilmiş. Bu modellerin amacı, termal ve nem davranışını aynı anda hesaplayarak doğru tüm bina performansını simüle etmektir.

Basit manuel analizden sofistike hesaplama modellerine kadar birçok nem taşıma hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Dış duvarlar için tasarım uygulamalarında geleneksel analiz yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, duvar

içindeki buhar basıncının ve duvardaki Glaser yöntemi gibi sıcaklıktaki doyma basıncının karşılaştırılmasına dayanır.

Bu analiz yöntemleri denklem 3.1'de gösterildiği gibi buhar difüzyon teorisini kullanır (Künzel, 1995);

$$g_v = \delta \frac{\Delta p}{d} \quad (3.1)$$

g_v : buhar akışı [kg m s / 2 ·]

δ : su buharı geçirgenliği [kg m s / ·]

p : buhar basıncı [Pa]

d : malzemenin kalınlığı [m]

Gözenekli yapı malzemelerinde sıvı kılcal taşıma ve nem taşıma işlevleri gibi diğer nem taşıma mekanizmaları hakkında bilgi eksikliği nedeniyle, bu modellerle doğru bir sonuç almamaktadır. Daha detaylı modeller, higroskopik malzeme özelliklerine sahip geçici hidrotermal hesaplama modelleridir. Deneysel verilerle doğrulanan bu modeller, sınır koşulu doğru biliniyorsa, bir duvar içindeki nem içeriğinin doğru sonuçlarını sağlamıştır. Yüzey çevre koşullarının belirlenmesi, gözenekli yapı malzemeleri ile bitişik hava arasındaki nem akışının ve çok katmanlı yapı malzemeleri içindeki nem akışının hesaplanmasını gerektirir (Moon, 2005).

3.2 Hidrotermal modellerinin geliştirilmesi ve özelliklerini açıklanması

Hidrotermal simülasyonunda, çok sayıda malzeme özelliği gerektirir. Önemli özelliklerden biri, çevrenin buhar basıncı (veya daha sık olarak bağıl nem (RH)) ile malzemedeki nem içeriği arasındaki ilişkiyi temsil eden emilim / desorpsiyon eğrisidir(Künzel, 1995). Kritik nem içeriği, her yapı malzemesi için sorpsiyon izotermi kullanılarak oluşturulur. Böylece, kritik nem içeriği, sıvı fazda nem taşınmasını başlatmak için gerekli en düşük nem içeriği olarak tanımlanabilir(Sedlbauer, 2001).

Özellikle bina dış kabuğunun bir parçası olarak, yapı malzemelerin içindeki nem davranışını tahmin eden bazı modeller, araştırmacılara veya uygulayıcılara bina bileşenlerinin nem taşıma davranışını belirlemelerine yardımcı olur. Künzel(1995) tarafından ısı ve nem taşınımı için açıklanan fiziksel temellerden, yapı sınırının çok

katmanlı yapı bileşenlerinin doğal iklim koşulları altında nem davranışını hesaplamaya izin veren kapalı bir diferansiyel denklem sistemi geliştirilebilir.

Bu araştırmada, bina dış kabuğunun iç yüzeyindeki küf oluşumuna odaklanmaktadır. Bu nedenle, ısı ve nem taşınımının hesaplanmasında WUFI simülasyon programını kullanıldı. Bu program, sonraki bölümlerde kısaca açıklandı. Daha sonra, bu programda istenen iklim ve malzeme verileri ve ilgili sınır koşulları ele alındı.

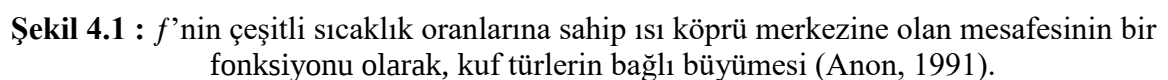




Küf mantarların iç ortamda büyümesini tahmin etmek için öncelikle bu alandaki mevcut modeller ayrı ayrı incelenmelidir. Bu modellerin avantaj ve dezavantajları da dikkate alınmalıdır. Bu şekilde, mümkün olan en iyi formda bir tahmin modeli tasarlanabilir.

Sıcaklık oranına bağlı olarak bir küf gelişimi değerlendirmesi önerir:

$$v_{Oi} : \text{İç yüzey sıcaklığı } [^{\circ}\text{C}]$$

$$v_{Li} : \text{İç ortam havasının sıcaklığı } [^{\circ}\text{C}]$$
$$v_{La} : \text{Dış hava sıcaklığı } [^{\circ}\text{C}] \text{ (Şekil 4.1).}$$


4.2 Nem süresi modeli

Adan (1991), küf mantarlarının başlangıç büyüme gecikmesi, hızlanma aşaması ve log büyüme aşamasını açıklar (Şekil 4.2).

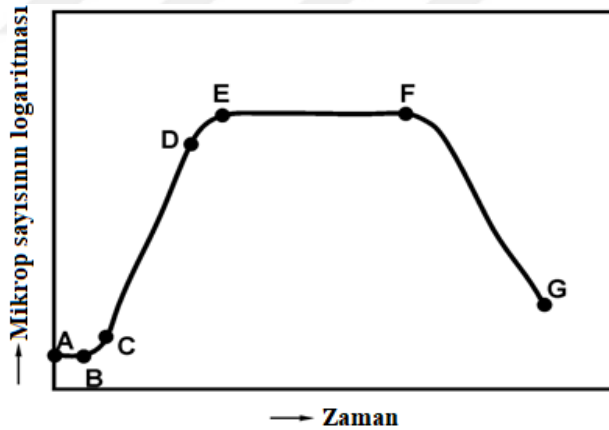
Laboratuvar çalışmasında, mantarların büyümesinde geçici bağıl nem koşullarını inceledi. Laboratuvar çalışmalarının sonuçlarına göre, mantarların çimlenmesinde kısa süreli yüksek bağıl nemin önemi gösterilmiştir.

Geçici koşullar altında, küf mantarların su gereksinimlerini göstermek için denklem 4.2 'i tanıttı,

$$TOW = \frac{cyclicwetperiod(RH \geq 0.8)}{cyclicperiod(wet + dry)} \quad (4.2)$$

0.5'in üzerindeki bir TOW, küf büyümesi ile TOW arasında doğrusal olmayan bir ilişki ile sonuçlanır. 0.5'in üzerinde olan sonuçta, küf hasarına sebep olur. 0.5'in altındaki bir TOW küf çimlenmesini önemli ölçüde geciktirir.

Araştırılan substrat türleri ve küf türlerinin sınırlı olması nedeniyle, Adan'ın deneylerine dayanarak genel bir sonuç çıkarılamamaktadır.



Şekil 4.2 : Küf mantarlarının büyüme aşamasını (Sedlebaaur,2001).

4.3 Latenite

VTT modeli, Hukka ve Viitanen (1999) tarafından geliştirilen ve ölçülen bir dizi verinin regresyon analizine dayanan bir deneysel küf büyüme tahmin modelidir (Viitanen, 1996; Viitanen ve diğ, 2010). Küf mantarı büyümesinin tanımı, ahşap türü yapı malzemelerden yapılmış numuneler üzerinde küf mantar sporların laboratuvar testlerine dayanmaktadır. Mantar büyüme değerlendirilmesi için bir küf indeksi

tanımlanmış. Küf büyüme gelişimi, 0 ile 6 arasında değişebilen küf endeksi (M) ile ifade edilir (Çizelge 4.1).

Bu indeks, bir tasarım kriteri olarak kullanılabilir. Genellikle $M = 1$ tolere edilebilir maksimum değer olarak tanımlanır, çünkü çimlenme sürecinin bu noktadan itibaren başlar.

Bu modelde kritik bağıl nem RH_{crit} (%) bulunabilir. RH_{crit} en düşük bağıl nemdir, eğer yapı malzemeler uzun süre bu koşul altında kalırsa malzeme üzerinde mantar büyümesi meydana gelir.

Bu araştırmada, Çam ve ladin için denklem 4.3'te küf endeksinde neme bağlı ulaşılabilir maksimum değeri:

$$TM_{max} = 1 + 7 \left(\frac{RH_{crit} - RH}{RH_{crit} - 100} \right) - 2 \left(\frac{RH_{crit} - RH}{RH_{crit} - 100} \right)^2 \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'te, kritik bağıl nemin küf büyüme seviyesine bağlı sıcaklığa bağımlılığını gösterir.

Küf mantar indeks (M) değeri denklem 4.4'e göre hesaplanması,

$$\frac{dM}{dt} = \frac{k_1 k_2}{7 \exp(-0.69 \ln \vartheta - 13.9 \ln RH + 0.14W - 0.33SQ + 66.02)} \quad (4.4)$$

Yukarıdaki denklemde gösterdiği gibi, küf büyümesinde gecikmesinde neden olan olumsuz koşullar, küf endeksinin düşmesine neden olur.

$$k_1 = \frac{2}{\left(\frac{t_v}{t_m - 1} \right)} \text{ if } M > 1, \text{ otherwise: } 1 \quad (4.5)$$

$$k_2 = 1 - \exp(2.3(M - M_{max})) \quad (4.6)$$

$$t_m = \exp(-0.68 \ln \vartheta - 13.90 \ln RH + 0.14W - 0.33SQ + 66.02) \quad (4.7)$$

$$t_v = \exp(-0.74 \ln \vartheta - 12.72 \ln RH + 0.06W + 61.50) \quad (4.8)$$

Burada;

M: küf indeksi [-]

RH: bağıl nem [%]

H : sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]

$k_{1,2}$: modeli geçici koşullara ayarlamak için düzeltme faktörleri [-]

t : zaman [d]

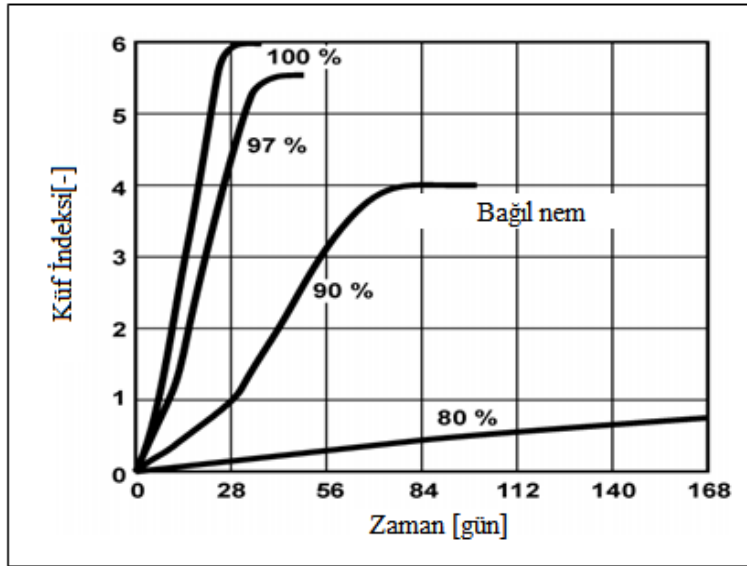
t_m : kalıp indeksine 1 ulaşılan kadar geçen süre [h]

t_v : ilk miselyum büyümesine geçen süre kişinin gözüyle algılanabilir [h]

SQ: yüzey kalitesi [-]

W: ahşap türleri [-]

VTT modeline bir gecikme dahil edilmesine rağmen, sınırlı sayıda deneye dayanılarak geliştirilmiştir ve 0°C 'nin altında veya uzun süreler (> 14 gün) altında hiçbir sıcaklık araştırılmamıştır. Olumsuz koşullar altında küf endeksinde bir azalma olduğunu da fark etmek gerekir. Olumsuz koşullar sırasında küf endeksindeki bir azalmanın görsel yüzey görünümünü mutlaka değiştirmedigine dikkat edilmelidir. Bununla birlikte, kuru bir dönemden sonra büyümede bir gecikme, sayısal tahminde açıkça görülebilir (Şekil 4.3) (Evy Vereecken,2012).



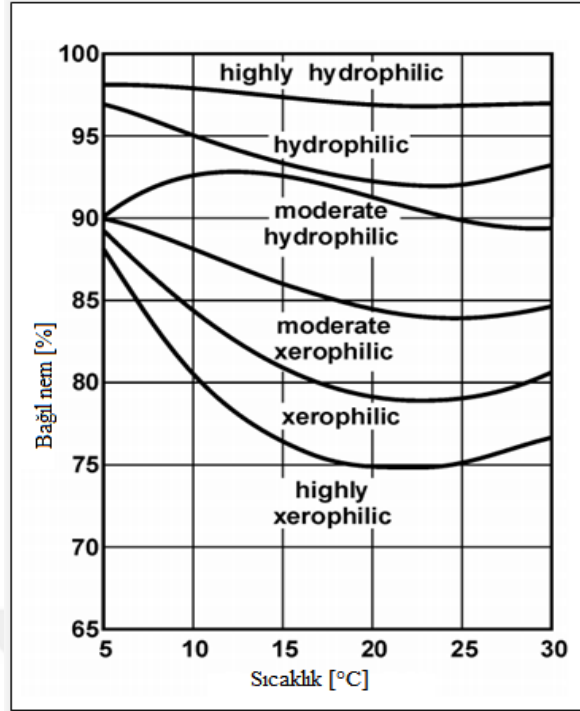
Şekil 4.3 : Bağıl neme bağlı olarak hesaplanan küf endeksinin zaman akışı.

Çizelge 4.1 : Küf indeksi.

İndeks	Büyüme oranı	Açıklama
0	Küf gelişimi yok	Sporlar aktif değil
1	Yüzeyde az miktarda küf	Büyümenin ilk aşamaları
2	<Yüzeyin % 10'u küf ile kaplanır	
3	Yüzeyde% 10-30 oranında veya <% 50 oranında küf bulunur (mikroskop)	Üretilen yeni sporlar
4	Yüzeyde% 30-70 veya >% 50 küf bulunur (mikroskop)	Orta büyüme
5	Yüzeyde >% 70 küf kalıbı bulunur	Büyüme bol
6	Çok ağır, yoğun küf gelişimi yüzeyin neredeyse% 100'ünü kapsar	% 100 civarında kapsama

4.4 ESP-R

Küf mantarı büyümesini öngörmek için, binada yüzey sıcaklıkları ve bağıl nemi belirlenir ve 6 sınıfta küf mantarlarının büyüme koşulları ile karşılaştırılır. Bu çalışmada mantarları su gereksinimlerine göre 6 farklı sınıflandırma yapılmış. Bu kategorilerin her biri için, sıcaklık ve neme bağlı olarak 1 eğri tanımlanmış. Bağıl nem ve sıcaklık kombinasyonu bu eğri aşıldığında, eşleşen mantarlarda küf büyüme riski vardır. Küf mantarların büyümesini tahmin etmek için, hesaplanan iklim verileri Şekil 4.4'de dahil etmiştir. Clarke ve Rowan (1999) tarafından önerilen yöntemle, yapı fiziği açısından bileşen yüzeylerindeki hidrotermal koşulları kesinlikle belirlenebilir, ancak bu yöntemle küf mantar büyüme tahminin dezavantajı, zaman unsuru dikkate alınmamasıdır (Şekil 4.4) (Sedlbauer,2001).



Şekil 4.4 : Clarke'a göre sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak farklı küf mantar kategorileri için ilgili büyüme aralığının (izopletler) eğrilerin temsili (sedlebauer,2001).

4.5 Küf Mantar çimlenme grafik yöntemi

Moon küf çimlenme grafik yöntemini oluşturdu. Bu yöntemde, izoplet sistemindeki her eğri, küf çimlenmesinin başlatılması için gereken belirli bir maruz kalma süresiyle gösterilir. Toplam maruz kalma süresi, gerekli maruz kalma süresine eşit veya daha büyük olduğunda, küf büyümesi başlayabilir. Bu yöntemi kullanarak, olumsuz koşullar sırasında bir gecikme uygulandığından, geçici koşullar da incelenebilir. Olumsuz koşullar sırasında bir küf gelişiminde gecikme olduğuna rağmen, bu modelde sporlardan kuru oldukları dikkate alınmaz. Ayrıca, uygun bir küf büyüme koşulu olumsuz bir duruma dönüştüğünde küf büyüme işlemi modelde durdurulur, oysa spor metabolizması uygun büyüme şartlarını uzatabilir. Ve aynı zamanda olumsuz bir durum uygun bir duruma dönüştüğü an, küf büyüme işlemi derhal başlanır, oysaki sporun etkinleştirilmesinden önce bir gecikme meydana gelir ve bu gecikme modelde belirlenmemiş (Vereecken ve Roels, 2012).

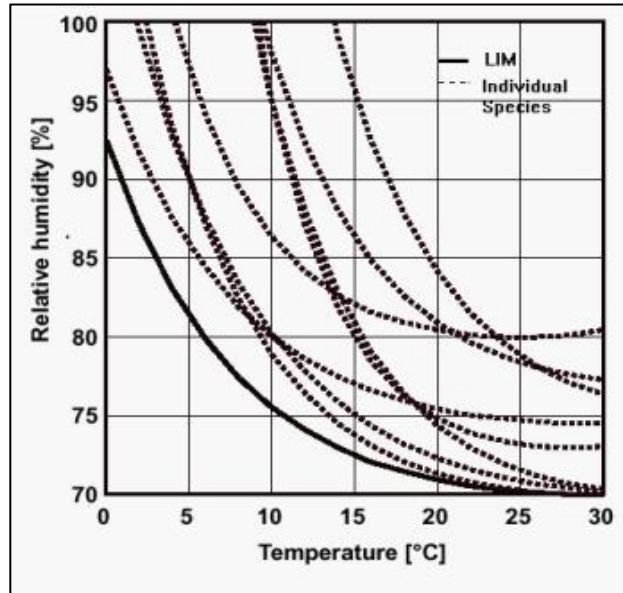
4.6 Biohidrotermal model

Biohidrotermal model Krus ve Sedlbauer tarafından geliştirilmiştir. Biohidrotermal prosedürü, Küf mantarı oluşumunu ve küf mantarlarının büyümesi ve binalarda meydana gelen geçici büyüme koşulları için üç biyolojik önkoşulun (nem, sıcaklık ve substrat) karşılaştırılmasına dayanan bir yöntemdir.

Bu yöntemde, İlk olarak, izoplet sistemleri geliştirdi. Isoplet modeli, küf mantarının oluşumunu tahmin etmek için substratın etkisini de göz önünde bulundurarak farklı izoplet sistemler temelinde sporların çimlenme süresini ve miselyum büyümesini belirler.

İzoplet sistemlerinde, spor çimlenmesi tahmin edildiğinde spor çimlenme süresini izolinler gösterir. Mantar aktivitesinin ortaya çıkan en düşük sınır çizgileri LIM olarak adlandırılır. Yani, küf mantar büyümesini gösteren en düşük eğrisidir (Şekil.4.5).

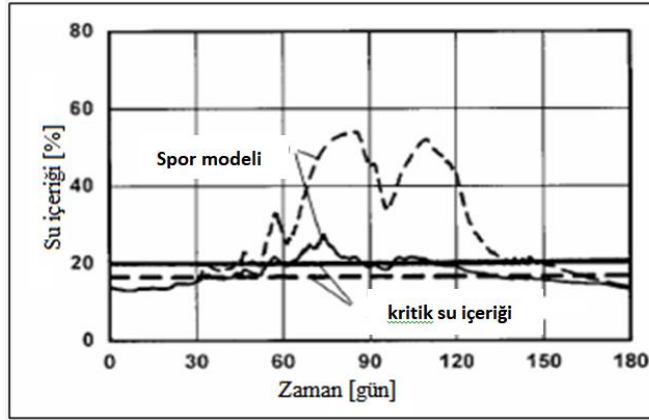
Hemen hemen diğer modellerde küf mantarların sporlarında nem olmadığı dönemlerde nasıl hayatta tutulması ve büyümeleri göz önünde bulunmamıştır. Bu modelde ise kuruluk dönemi sürecin bir kısmı olduğu nedeniyle daha etkili bir model olduğu söylenebilir



Şekil 4.5 : Farklı türlerin izopletlerinden LIM'nin gelişimi (Moon,2005).

Mantar sporu modellenmesinde “biyolojik duvar ” olarak düşünülebilir. Gerçek spor yapı malzemesine temas ederken, bu yüzeydeki hidrotermal sınır koşulları spordaki

hidrik süreçlerini etkiler. Biohidrotermal modelinde, hesaplamalar WUFI program ile gerçekleştirilir. Şekil 4.6’da biohidrotermalden elde edilen sonucun bir örneğini göstermektedir.



Şekil 4.6 : Kağıt ve akıllı buhar geciktirici malzemelerin üzerindeki sporların içindeki su içeriği (Moon,2005).

Bu çalışmada, küf mantar sporunun su gereksinimini elde etmek için ne kadar da onu bir biyolojik duvar olarak tanımlansa da, bir spor için gerekli nem özelliklerini elde etmek zor bir yöntemdir. Çizelge 4.2’te, mevcut küf gelişimi analiz yöntemlerinin özelliklerini ve sınırlamalarını göstermektedir.

Çizelge 4.2 : Mevcut küf gelişimi analiz yöntemlerine genel bakış.

Yöntem	Yaklaşım	Özellikler	Kısıtlamalar
IEA-Annex 14	Sıcaklık oranı için tasarım değeri	% 5’lik kabul edilebilir bir küf riski ile ilgili kriter olarak 0.7’lik bir sıcaklık oranı önerilmiştir. Daha düşük bir oran kabul edilemez bir yüksek küf riski oluşturur.	Sıcaklık oranına dayanan ölçüt, rutubeti ve ana etkileme parametresini sadece dolaylı olarak dikkate alan ilkel kriterdir.
Time-of wetness	Belirli bir TOW için TOW ve yüksek RH periyotlarının günlük frekansı (f)	0,5’in üzerindeki ATOW, TOW ile küf oluşumu ve artan bir küf hasarı arasında doğrusal olmayan bir ilişkiyle sonuçlanır	Sınırlı araştırılan substrat tipleri ve küf türleri, şu anda Adan’ın deneylerine dayanarak genel bir sonuç çıkarılamamaktadır.

Çizelge 4.2 (Devamı): Mevcut küf gelişimi analiz yöntemlerine genel bakış.

Yöntem	Yaklaşım	Özellikler	Kısıtlamalar
LATENITE	Küf indeksine dayalı kritik bağıl nem	Mümkün olan en büyük Küf endeksinin hesaplanması	Sınırlı sayıda denemeye dayanarak, uzun süreler (> 14 gün) araştırılmadı
Biohidrotermal Model	Küf ve biyo-hygrothermal model için en düşük İzoplet	Bir küf sporunda nem içeriğinin hesaplanması. WUFI'da biyolojik duvar olarak sporlar	Bir spor için gerekli nem özelliklerini elde etmek zor
ESP-r	Küf büyüme sınırlaması eğrisi	Küf büyüme sınırlama eğrileri üzerinde hesaplanan yüzey koşullarının üst üste bindirilmesi	Ölçülmüş sonuç yok

4.7 Küf Büyüme Standartları Ve İlkeleri

Birçok yayında, ulusal ve uluslararası standartlarda esas olarak bağıl nem küf mantar oluşumu için tek kriter olarak verilmiş ve sıcaklığa bağlı bağıl nem uluslararası uzmanlar tarafından bir neden olarak görülmektedir. Bu özellikler genellikle, substratın etkisini ayrı olarak göstermez. Küf gelişimi, önceki bölümde anlatıldığı gibi çeşitli faktörlerden etkilenmesine rağmen, mevcut araştırmalar küf oluşumunu önlemek için bağıl nem kriterine odaklanmıştır. Bu tür deneyler, malt agar besiyerinde sabit sıcaklık ve bağıl nem sağlayan çevresel ortamlar kullanılarak yapılmıştır (önceki bölümde gösterildiği gibi). Çizelge 4.3'te bu bağlamda bir özet ve değerlendirme gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : Küf mantarı istilasının önlenmesine atıfta bulunan standartlar

Standartlar	Nem Kriterleri	Amaç
IEA	Bağıl nemin % 80'i	Küf mantarlarının önlenmesi
ASHRAE	Bağıl nem oranının % 60 ~ 80'i	İnsan rahatlığına odaklı
DIN 4108	Bağıl nemin % 80'i	Küf mantarlarının önlenmesi
ISO	Bağıl nemin % 30 ~ 70'i	İnsan rahatlığına odaklı
Termal köprü atlasları	Bağıl nemin % 80'i	Termal köprüler alanında yüzey yoğunlaşma neminin önlenmesi
Isı yalıtımı kararname	Bağıl nemin % 80'i	Yıllık termal ısı gereksiminin kaydı

Bununla birlikte, bu deneyler, mantar türlerinin, substratların, sıcaklık ve maruz kalma süresinin kullanımına bağlı olarak farklı bağıl nem kriterleri üretmektedir. Standartların yalnızca bağıl neme dayanması ve küf gelişimi üzerindeki diğer

faktörlerin etkisi ve bu etkilerin aynı zamanda bulunması göz önünde bulundurmamasıdır.



5. YAPI MALZEMELERİNDE KÜF BÜYÜMESİNİN KONTROL STRATEJİSİ İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR

Küf büyüme ön koşulları ve modern hidrotermal modelleri göz önünde bulundurarak, binalarda küf mantar problemlerine konsantre olmak ve bu problemlerin tahmin etmesi için pratik bir model tasarlanması yeterli olabilir. Bu çerçevede ilk önce, küf mantar oluşumunu etkileyen faktörler analiz edilmesi ve değerlendirilmesidir. Bölüm 2.9'da açıklandığı gibi, küf mantarlarının büyümesini etkileyen ana parametreler ise, sıcaklık, bağıl nem ve substratlarda küf büyümesi için besinlerin mevcudiyetidir. Büyüme için bu üç faktörün, belirli bir süre boyunca aynı anda mevcut olmasıdır. Bu, zamanın en önemli etken faktörlerden biri olmasının nedenidir. Aynı zamanda küf mantarı oluşumu için iç ortamda geçici koşullar altında değerlendirilmesi gerekir. Birçok küf büyüme analiz yönteminde, küf büyümesi laboratuvarında ve kültür ortamında gerçekleştirilmiştir. Buda, optimal kültür ortamı besin içeriğinden zengin olması nedeni ile, küf büyüme süreci daha düşük olmasına sebep olur. Yapı malzemeleri besinler açısından optimal kültür ortamına nazaran zengin değildir ve büyüme için en düşük gereksinimi optimum kültür ortama göre biraz daha yüksektir (Miller, 2011).

Çok sayıda araştırmacı, farklı yapı malzemelerinin küflenmeye başladığı zaman nem içeriğini tanımlamak amacıyla, bazı örneklerde küf mantarın büyümesini araştırmıştır ve bunlardan bazıları çizelge 5.1'de sunulmuştur (Johansson, 2014).

Yapı malzemeleri küf büyümeye karşı dirençleri farklıdır. Bu nedenle, küf büyüme analizinde yapı malzemeleri küfe karşı dirençlerine göre sınıflandırılmalıdır.

Sedlbauer(2001) yapı malzemenin mantar büyümesinde etkisini göz önüne almak için deneysel incelemelerden türetilebilecek dört farklı kategoriye ayırmış,

1. Kategori 0: Optimal kültür ortamı
2. Kategori 1: Biyolojik olarak geri dönüştürülebilir yapı malzemeleri;
3. Duvar kâğıdı, alçı karton, biyolojik olarak parçalanabilir hammaddelerden yapılmış, yapı malzemeleri, kalıcı elastik derzler için malzemeler gibi.

4. Kategori 2: Gözenekli yapıya sahip yapı malzemeleri;
5. Kaplamalar, mineral yapı malzemeleri, bazı ahşaplar ve yalıtım malzemeler gibi
6. Kategori 3: Parçalanmaz ve herhangi bir besin içermez, cam ve metal gibi malzemeler.

Bu çalışmada, yapı malzemelerin küf büyümeye karşı direncini belirlemek amacıyla, İstanbul binalarında kullanılan yaygın yapı malzemeler incelenmiştir. Laboratuvar çalışmasında kullanılan yapı malzemeler küf dirençlerine göre sınıflandırılmasının göz önünde bulundurarak seçilmiştir.

Yapının birçok bölgesinde, mevsimsel ve kısa vadeli değişimler nedeniyle, bağıl nem ve sıcaklıkta bir dalgalanma vardır. Bu, bina iç yüzeyinde büyüyen küf mantarlara strese neden olur, bu sadece büyüme oranını değil aynı zamanda küf mantarların hayatta kalma sürelerini de etkiler.

Yapı malzemelerinde, uygun koşullar daha az uygun koşullarla değiştiğinde küflenme oranının daha yüksek ve büyümeye gereken süre daha düşük olduğu gösterilmiştir (Adan, 1994; Sedlebauer, 2001). Küf oluşumunu etkileyen koşullar, bu koşulların süresi de dahil olmak üzere, laboratuvar ve dış ortam arasında da değişiklik gösterir. Bazıları çizelge 5.1'te listelenmiştir (Johansson, 2014).

Çizelge 5.1: Bazı araştırmaların yapı malzemelerin üzerinde küf mantarın büyümesi için gereken bağıl nemin belirlenmesi (Johansson, 2014).

Yapı malzemesi	Kritik nem seviyesi	Referans
Beton	90-95%	Nielsen, Nielsen et al. 2000; Ritschkoff, Viitanen et al. 2000; Viitanen 2004
Mineral yün yalıtımı ve diğer yalıtım malzemeleri	90-95 %	Chang, Foarde et al. 1995; Nielsen 2002; Klamer, Morsing et al. 2004; Viitanen 2004

Çizelge 5.1 (Devamı): Laboratuvar testlerindeki şartlar ile bina yapısında karşılaşılan şartlar arasındaki karşılaştırma (Johansson, 2014).

	Laboratuvar testleri	Binadaki Koşullar
Mantar türleri	Test numuneleri testten önce sterilize edilmemişse, diğer mikroorganizmalar mevcut olabilir, ancak birkaç tür (1-6) yüzeye çıkmıştır.	Potansiyel olarak çok sayıda tür
Sporlaşma	Az ya da çok kontrollü; yüksek konsantrasyonlu spor	Bilinmeyen, sürekli tedarik, yıllara ve yerlere göre değişen
RH ve sıcaklık	Önceden tanımlanmış bir şemaya göre sabit veya değişken	Zaman içinde değişkenlik, bazen de yoğunlaşma
Maruz kalma süresi	Birkaç hafta ile sınırlı	Uzun yıllar
Diğer çevre faktörleri		Başka organizmaların, örneğin mantar yiyen akarların varlığı

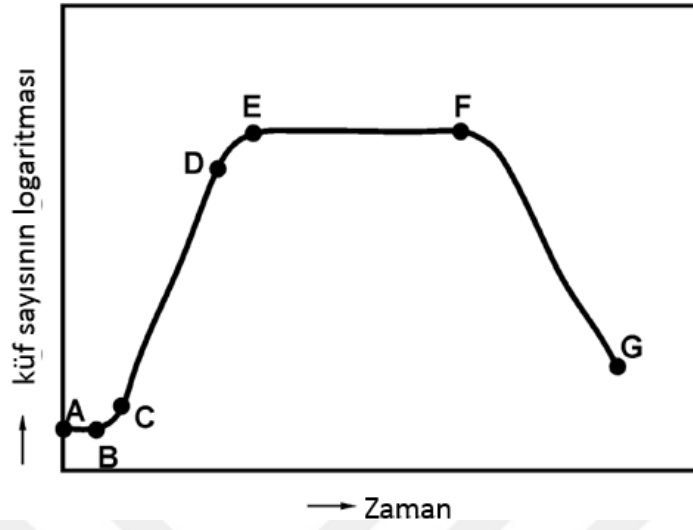
5.1 Yöntem Tasarımında Ana Fikir

Küf mantarlarının büyümesi belirli aşamalardan geçer (Şekil 5.1). Şekil 5.2’de küf gelişiminin ilk üç aşamasının substrattan (altlık) etkilendiğini göstermektedir. Küf sporu, ortam koşulları uygunsa ilk aşamada difüzyon yoluyla nemi emer. Bu işlem metabolizmanın başlaması için gerekli nem miktarına ulaşılan kadar devam eder. Bu noktadan sonra spor çimlenmesi alt tabakanın içeriğine bağlıdır. Bu nedenle sporu çimlenmesinin ilk görünümünden önce substratta olan besin içeriğinden ve neminden etkilenir. Küf mantarının metabolizmasının başladığı zaman ve ayrıca substratta bağlı olarak spor çimlenme süresi, küf oluşumunun ilk görünümü olarak tanımlanır. İzoplet sistemlerinde ise spor çimlenme başlangıcı tam olarak da bu zaman diliminden belirlenir (Sedlbauer, 2001).

Bu işlemde küf oluşumunun ilk görünüm aşamasına gelmesinden önce büyümesi için gereken nem değeri, malzemenin kritik bağıl nemi olarak tanımlanır. Bu nem içeriğine ulaştığı zaman, mantar metabolizmasını gerekirse çevre koşullarından bağımsız olarak, yani kendi başına düzenleyebilir.

Bu bilgilere bağlı olarak, küf büyüme analizinde; yapı malzemelerinin geçici iç ortam koşullarına göre kritik bağıl neminin bulunması yeterli olabilir. Bu durumda,

yapı malzemelerinin nem seviyesi bu değerin altında tutulursa yüzeylerde küf mantar oluşumu engellenir.



Şekil 5.1 : Bir küf mantarın büyüme eğrisinin aşamaları, Sedlbauer (2001).

A'dan B'ye kadar: İlk büyüme gecikmesi

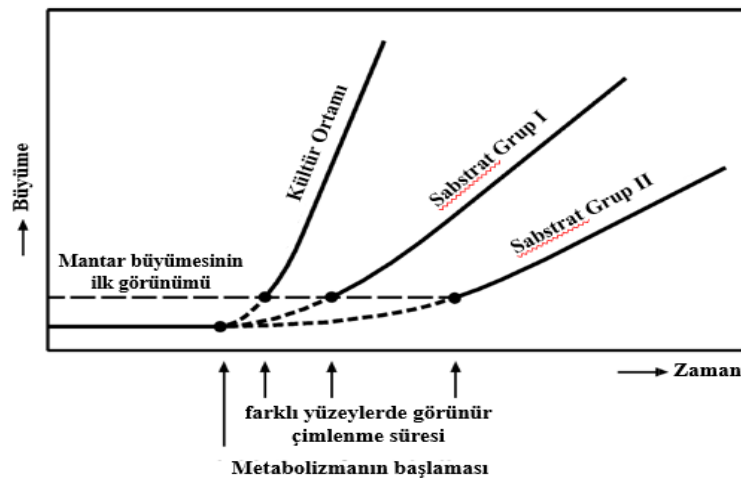
B'den C: Hızlanma aşaması

C'den D: Günlük büyüme aşaması

D'den E: Gecikme aşaması

E'den F: Sabit faz

F'den G: Büyümenin azalma aşaması



Şekil 5.2 : Küf mantarlarının ilk üç büyüme aşaması (bkz. Şekil 5.1) aralığında substrata bağlı büyüme süreçleri.

5.2 Matematiksel Yöntemler

Aşağıdaki paragraflarda, bu çalışmada birbirine dayalı ve küf mantarı oluşumunu tahmin etmek için kullanılan izoplet ve hidrotermal modelleri açıklanmaktadır.

5.2.1 İzoplet modelleri

İzoplet modelleri; İzoplet sistemlerini, küf spor çimlenme sürelerini sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak tanımlar. Genelde, literatürde izoplet sistemleri sadece bazı mantar türleri ve optimum kültür ortamı (besin olarak en uygun ortam) için belirtilmiştir. Bu nedenle, yeni izoplet sistemleri geliştirmek gereklidir. Bu izoplet sistemler, binalarda meydana gelen küf mantarlarının büyüme koşullarını kapsar. Uygun bir yöntem elde etmek için, mevcut birkaç ölçümün verileri değerlendirilmeli ve izoplet sistemleri mümkün olduğu kadar basit olacak bir işlemle oluşturulmalıdır.

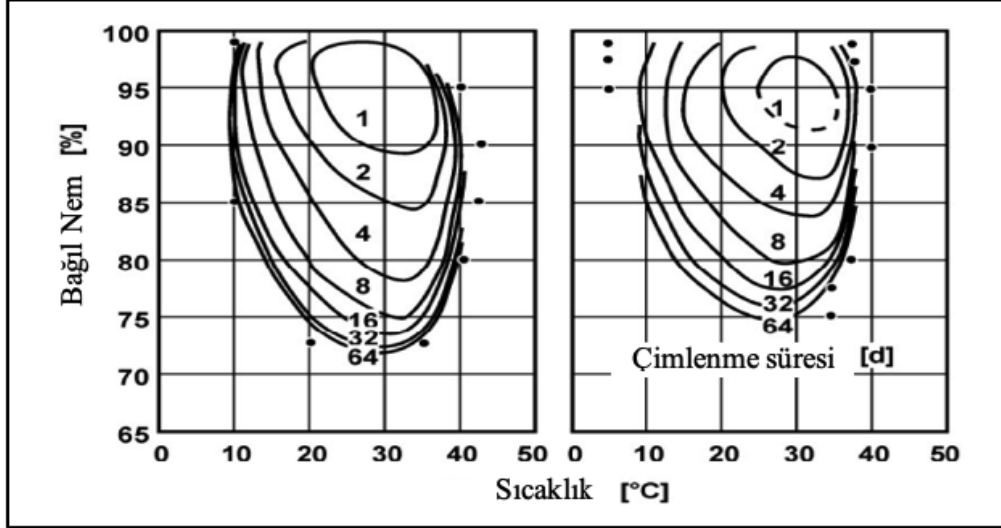
Model oluşturulurken; başda iç ortamlarda küf mantarların belirlenmesi ve ona göre izoplet sistemlerin geliştirilmesidir. Bu çalışmada, İstanbul ve aynı iklim bölgelerinde olan iç ortamlarda söz konusu olabilecek küf mantarları için izoplet sistemi tanımlanmıştır.

İzoplet modelini tasarlarken, Literatür araştırılması ve laboratuvar çalışmalarından, hidrotermal büyüme koşulları ile ilgili elde edilen tüm veriler göz önünde bulundurulmuştur. İzoplet sisteminde, sıcaklık aralıkları için mantar büyümesinde gerekli olan en düşük bağıl nem ve modelde belirlenen sıcaklık ve bağıl neme göre küf büyüme süresi belirlenir. Yalnızca iç ortamlarda bina fiziki açısından sıcaklık 0 ° C ile 30 ° C arasında olduğu için izoplet modeli bu sıcaklık aralığında tasarlanmıştır. İzoplet sisteminde, en düşük eğrinin altında kalan nem ve sıcaklık değerleri bir biyolojik büyüme olmadığını gösterir. Bir çok izoplet sisteminde, eğrilerin çizilmesinde bir hiperbolik fonksiyon kullanılan matematiksel yöntem kullanılır (Şekil 5.3).

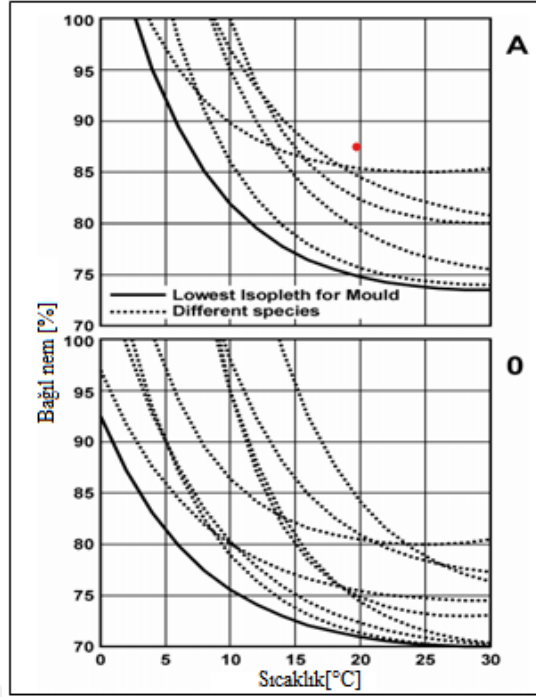
Bu çalışmada; eğrilerin 0 °C ile 30 °C aralığında olması nedeni ile bir hiperbolik fonksiyonun yarı eğrisi, yani şekil 5.3'de gösterdiği eğrinin solundaki değerler kullanılır (Şekil 5.4).

Küf mantar oluşmasında yapı malzemelerin etkisini dikkate almak için sistemde bir değişiklik gereklidir. Bu amaçla, yapı malzemeleri için geçerli olan izoplet sistemleri geliştirilebilir. İzoplet modeliyle mantar oluşumunun öngörülmesinde, substrat

kategori I için izoplet sistemlerinde, sadece birkaç eğrinin karşılaştırılması yeterlidir. Bu çalışmada, Sedlbauer (2001)'in araştırmasında kullandığı yapı malzeme sınıflandırılmasının da göz önünde bulundurularak kategori I ve II için izoplet sistemi oluşturulmuştur. Kategori III de olan yapı malzemeleri küf mantarlarına karşı dirençli olduğu için bu çalışmada bir izoplet sistemi tanımlanmamıştır.



Şekil 5.3 : İzoplet sistemleri, sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak gün olarak çimlenme zamanlarını gösterir (Smith,1982).



Şekil 5.4 : Küf mantarlarının spor çimlenmesi için izopleth sistemleri (Sedlebauer,2001).

5.2.2 Hidrotermal sistemi için hesap yöntemi

Eşzamanlı ısı ve nem için hidrotermal modellerin çoğu bir binadaki tüm fiziksel süreçlerin etkisini göz önünde bulundurmaz. Standartlarda, kılavuzlarda ve tasarım uygulamalarında kullanılan yöntemlerde, Glaser yönteminde olduğu gibi yalnızca buhar difüzyonu dikkate alınır. Bu yöntem tüm nem taşıma fonksiyonlarını (kılcal taşıma gibi) dikkate almadığından, bu sistemle doğru bir sonuç almak mümkün değildir.

Simülasyon sürecinden anlamlı bir sonuç elde etmek için, işlem sırasında binadaki tüm fiziksel süreçlerin etkisini de içermesi gerekir. Süreçlerin etkisini bulmak için küf mantar problemlerinin ana nedenleri ve küf oluşum yerlerinin de araştırılması yapılmıştır. İlk adım, meydana gelen ısı ve nem taşıma mekanizmaları ve potansiyellerinin nedenlerinin belirlenmesidir.

Isı transferinin gerçekleşmesinin dört farklı yolu vardır:

- Kondüksiyon
- Konveksiyon
- Radyasyon ısısı

- Özgöl gizli ısı

Nem transferi ise aşağıdaki gibidir:

- Toplu su (Bulk water)
- Hava kaçağı (Air leakage)
- Difüzyon
- Kılcallık

Yukarıda belirtilen taşıma mekanizmalarının nedeni ve potansiyelleri aşağıdaki gibidir,

- Sıcaklık
- Buhar difüzyonu
- Buhar basıncı
- Bağlı nem
- Yerçekimi
- Kılcal emme gerilimi

İç yüzey mikro iklim koşullarının belirlenmesi için, gözenekli yapı malzemeleri ile bitişik hava arasındaki nem akışının ve çok katmanlı yapı malzemelerinin içindeki nem akışının hesaplanması gerekir. Aynı zamanda sistemin doğru ve daha elverişli olması için, malzeme özelliklerin standard ölçülerde ve basit denklemler ile çalışmalıdır (Kunzel, 1995).

Isı ve nem taşınımı denklemi; tarif edilen fiziksel prensiplerinden çok, katmanlı yapı bileşenlerinin nem davranışının doğal iklim koşulları altında hesaplanabileceği kapalı bir gecikmeli denklem sistemi ile geliştirilebilir. Denklemin katsayıları, ısı ve nem potansiyellerine büyük ölçüde bağımlı olan doğrusal olmayan bir denklem sistemi olduğundan, analitik bir çözümü mümkün değildir (Kunzel, 1995).

Açıklanan denklemler, birleştirilmiş denklem sisteminin ve WUFI simülasyonu programının sayısal çözüm tekniğinin temelidir. Ayrıca, sayısal ızgarayı ve zaman aralıklarının nasıl seçileceğine dair talimatlar ve sayısal hesaplamaların doğruluğunu sağlamak için gerekli yakınsama kriterleri ve kontrolleri açıklanmaktadır. Basit ve fiziksel olarak uygun taşıma katsayıları, iki kuvvet, yani “buhar basıncı” ve “kılcal

basınçtan” meydana gelirler. Kılcal basınç hesaplaması zor olduğundan, hidrotermal hesaplamalarda onun yerine bağıl nem kullanılır. Fizikte yaygın olarak anlaşıldığından ve ölçülmesi basit olduğundan, buhar basıncı ve bağıl nem, en çok kullanılan iki nem taşıma potansiyelidir(Sedlbauer, 2001).

5.2.2.1 Transport denklemleri

Bir elementin yüzeyinden ısı veya nem akışı ve element içindeki ısı veya nem kaynakları, bir hacim elemanındaki entalpi veya nemdeki değişimi belirleyen şeylerdir. Isı söz konusu olduğunda, aşağıdaki denge denklemiyle sonuçlanır (Kunzel, 1995):

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\nabla q + S_h \quad (5.1)$$

Burada,

H: Toplam entalpi [J/m³]

q: Isı akışı yoğunluğu [W/m²]

S_h: Isı kaynağı [W/m³]

Bir yapı bileşeni katmanının toplam entalpisi, kuru yapı malzemesinin ve içinde bulunan suyun entalpisinden oluşur:

$$H = H_s + H_w \quad (5.2)$$

H_s : kuru inşaat malzemesi entalpisi [j/m³]

H_w: yapı malzemesi nemi entalpisi [j/m³]

Isı akışı yoğunluğu, nemli yapı malzemelerinin termal iletkenliği ve sıcaklık gradyanı ile orantılıdır:

$$q = -\lambda \nabla v \quad (5.3)$$

q: Isı akışı yoğunluğu [W/m²]

λ: Nemli yapı malzemesinin ısı iletkenliği [W/mK]

v: Sıcaklık [°C]

Isı kaynağı terimi aşağıdaki denklem ile belirlenir:

$$S_h = -h_v \nabla g_v \quad (5.4)$$

S_h : yoğuşma / buharlaşma yoluyla ısı kaynağı / ısı emici [j/m³s]

h_v : faz değişiminin gizli ısısı [j/kg]

g_v : buhar difüzyon akış yoğunluğu kg/m²s]

Buhar difüzyon akış yoğunluğu g_v , sıcaklık dengesi denkleminde benzer şekilde, aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\partial W / \partial t = -\nabla (g_w + g_v) + S_w \quad (5.5)$$

W : yapı malzemesi katmanının su içeriği [kg/m³]

g_w : sıvı taşıma akışı yoğunluğu [kg/m²s]

g_v : buhar difüzyon akı yoğunluğu [kg/m²s]

S_w : nem kaynağı veya nem emici [kg/m³s]

Sıvı taşıma akışı yoğunluğu g_w , bağıl nemin gradyanına bağlıdır:

$$g_w = D_\varphi \nabla \varphi \quad (5.6)$$

D_φ : sıvı iletim katsayısı [kg/ms]

φ : bağıl nem [-]

Buhar difüzyon akışı yoğunluğu g_v aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$g_v = -\delta_p \nabla p \quad (5.7)$$

δ_p : yapı malzemelerinin su buharı geçirgenliği [kg/msPa]

p : su buharı kısmi basıncı [Pa]

Isı denge denklemi (5.1) ve nem denge denklemi (5.5) birbirine bağlanabilir.

Eşzamanlı ısı ve nem taşınımı için aşağıdaki denklem elde edilir (Kunzel, 1995):

$$\frac{dH}{dv} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla v) + h_v \cdot \delta_p (\varphi p_{sat}) \quad (5.8)$$

$$\frac{dw}{d\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_\varphi \nabla \varphi + \delta_p \nabla (\varphi p_{sat})) \quad (5.9)$$

dH/dv :Nemli yapı malzemesinin ısı depolama kapasitesi [J/m^3K]

$\partial v/\partial t$:Yapı malzemelerinin nem depolama kapasitesi [kg/m^3]

Λ : Nemli yapı malzemesinin ısı iletkenliği [W/mK]

D_ϕ : Sıvı iletim katsayısı [kg/ms]

δ_p : Yapı malzemelerinin su buharı geçirgenliği [$kg/msPa$]

h_v : Faz değişiminin gizli ısısı [J/kg]

p_{sat} : Su buharı doyma basıncı [Pa]

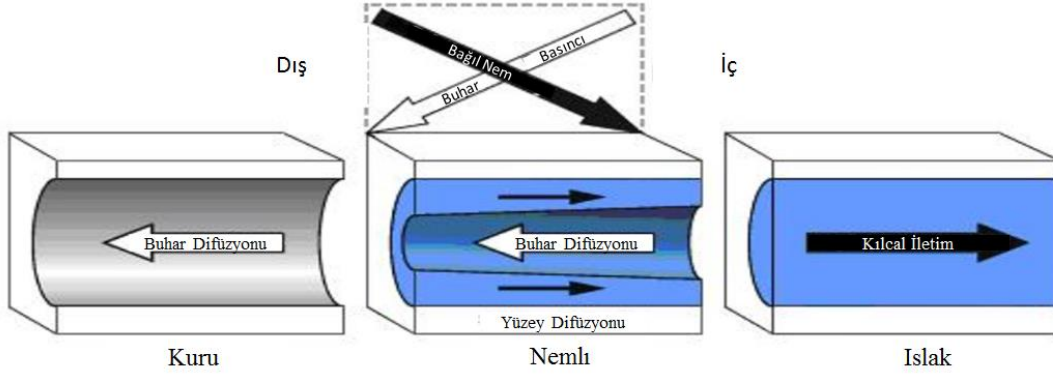
ϑ : Sıcaklık [$^{\circ}C$]

ϕ : Bağıl nem [-]

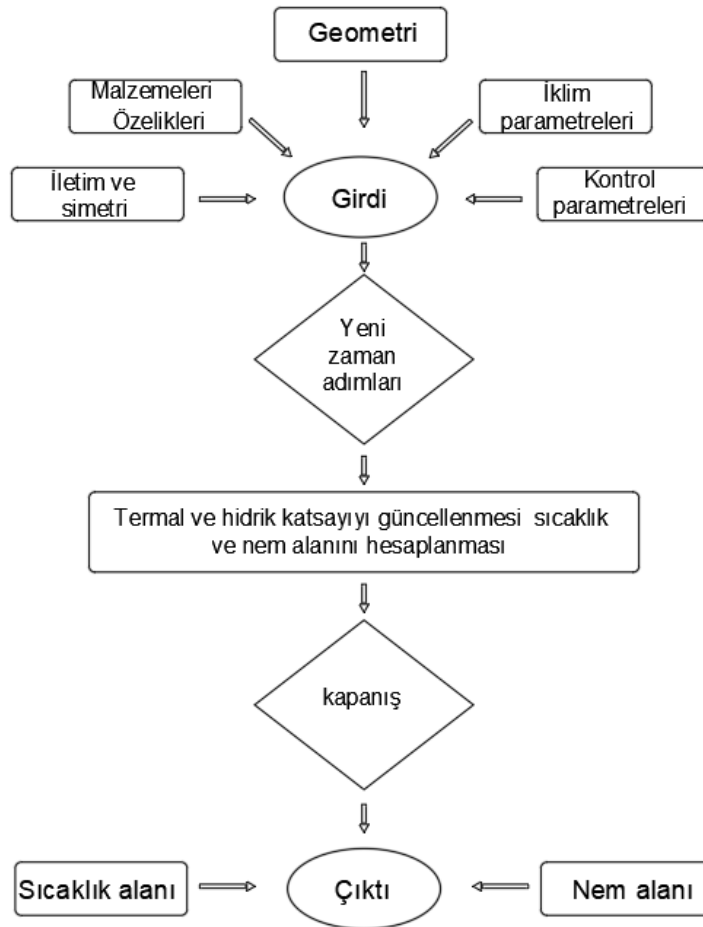
Her iki denklemin sol tarafı nem ve sıcaklık saklama terimlerinden oluşur. Isı depolama, kuru malzemenin ısı kapasitesini ve malzemedeki nemin ısı kapasitesini kapsar. Nem depolama, nem depolama fonksiyonunun türevi ile açıklanmaktadır (Künzel, 1995).

Denklemlerin sağ tarafında taşıma terimleri bulunur. Isı transferi, neme bağlı termal iletkenlik ve buhar entalpi akışının toplamıdır. Gözenekli yapı malzemelerinde baskın nem taşıma mekanizmaları buhar difüzyonu, yüzey difüzyonu ve kılcal iletimdir. Gözenekli olmayan malzemelerde ise, çözelti difüzyonu meydana gelir. Baskın nem taşıma mekanizmalarının birleşik etkisi, Şekil 5.5'te gösterilmektedir. Bu resimde örnek olarak bir yapı malzemesinde silindirik kılcal boru kullanıldığı varsayılmıştır. Genelde, kış aylarında iç tarafta buhar basıncı ve dış tarafta bağıl nem daha yüksektir. Bina bileşeni kuru ise, buhar difüzyonu içeriden dışarıya doğru gerçekleşir. Yapışma kuvveti nedeniyle, gözenek duvarında emilen su hareketsiz kalmır. Toplam nem yükseldiği zaman, gözenek duvarı su ile kaplanır ve dışarda bağıl nem daha yüksek olduğu nedeni ile dışardan daha kalın bir su tabakası oluşur. Bu durumda nem daha kalın bölümlerden daha ince bölümlere geçer. Bu olaya yüzey difüzyonu denir. Buhar difüzyonu esas olarak büyük gözeneklerde, sıvı taşınımı ise mikro gözenekler ve gözenek duvarlarında gerçekleşir. Sıvı taşınması, yani yüzey difüzyonu ve kılcal iletim, bağıl nem değişiminden dolayı çok küçük bir sıcaklık bağımlılığı gösterir. Buhar difüzyonu yanı sıra buhar taşınımı sıcaklık alanından büyük ölçüde etkilenir, çünkü doymuş buhar basıncı sıcaklık artması ile artar. Bu iki nem taşınımı birleştirilmiş denklem ile çözülebilir (Künzel, 1995).

Bu sistemde, Şekil 5.6’da gösterilen akış şemasına göre istenen bilgiler elde edilir.



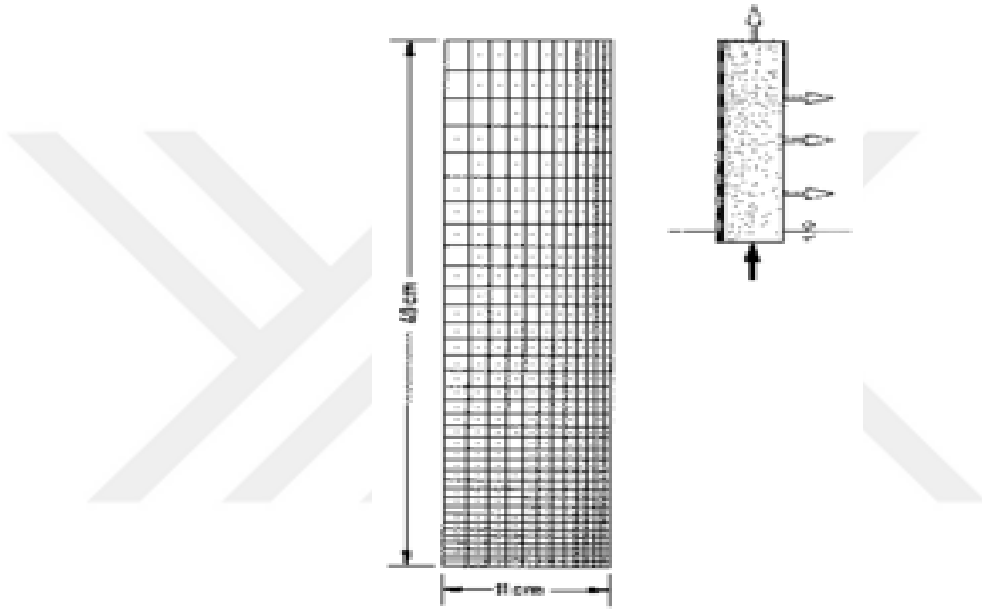
Şekil 5.5 : Kış aylarında ters yönde akan buhar basıncı ve bağıl nem gradyanları ile gözenekli higroskopik yapı malzemelerinde nem taşınmasını gösteren diyagram (Kunzel, 1995).



Şekil 5.6 : WUFI programının hesaplama tekniğinin akış şeması.

5.2.2.2 WUFI Programı ile yapı ürünlerinin ısı ve nem davranışını hesaplamak için gerekli veriler

İlk adım yapı bileşenlerin ve sayısal ızgaraların tasarımıdır. Sayısal ızgaranın şebeke boyutları, katman yapısına ve yerel iklimsel etkilerine göre ayarlanır. Bu konu ile ilgili Şekil 5.7’de bir test parçası gösteriliyor. Test parçası bir örme taş duvardır. 49 cm yüksekliği, 11 cm genişliği ve 7 cm kalınlığıdır. Duvarın sol tarafı sızdırmaz malzeme ile kaplanmıştır. Su emme alt taraftan ve buharlaşma üst ve sağdan gerçekleşiyor (Kunzel, 1995).



Şekil 5.7 : Duvar taş test parçasını su emme işlemi sırasında gösteren şema (Kunzel, 1995).

Tasarım parçası olan yapı malzemelerinin termal ve nem ile ilgili özellikleri ve gereç işlevleri, kütle yoğunluğu, gözeneklilik, özgül ısı kapasitesi, neme bağlı ısı iletkenliği, neme bağlı su buhar difüzyon direnci katsayısına bağlıdır. Higroskopik kılcal aktif yapı malzemelerinde, ayrıca emme işlemi için nem depolama ve sıvı taşıma fonksiyonlarının bilinmesi gereklidir.

İç ve dış iklimsel koşulları, aynı anda iklim verilerine ve gerekli hesaplama doğruluğuna bağlı zaman adımlarının önceden ayarlanması gerekmektedir.

Dış iklim parametreleri, sıcaklık, bağıl nem, güneş radyasyonu, normal ve şiddetli yağmur ve rüzgar hızı değerleridir.

İç iklim için birçok yaşam alan ölçümleri değerlendirilir. İç ortamın nem ve sıcaklık sürelerini ayarlamak mümkündür, böylece iç mekân yüklerini hesaplanması için daha yüksek doğruluk değeri sağlanmış olur.

Bileşen ara yüzeylerinde kontrol parametreleri, sırasıyla iletim ve simetri koşullarıdır.

Sisteme verileri girdikten sonra, sistem otomatik olarak hesaplamaya başlar. Sonuç olarak istenen herhangi bir mekân veya zamanda bileşendeki nem ve sıcaklık alanları belirlenir.



6. YÖNTEM ÖNERİSİ

Bu bölümde, yöntemin yapısı, küf gelişimi için tahmin modelinin prosedürü ve kullanılan izoplet ve hidrotermal modeller açıklanmaktadır.

6.1 Hesaplama Yönteminin Yapısı ve Prosedürü

Hesaplama yöntemi, açıklanan modellerin birbirini tamamladığı bir yapıya dayanır. Prosedürün bir şeması Şekil 6.1'de gösterilmiştir. İzoplet sisteminde öncelikle, malzeme kategorisine bağlı olarak, spor çimlenmesi için gereken süre belirlenir. Küf mantar oluşumunun öngörülmesi için gerekli olan mikro iklimsel sınır şartları WUFI yazılım aracın tarafından hesaplanır. Tüm şartlar mantar oluşumunu öngörüyorsa, prosedür de kullanılan malzeme veya yapı koşulları değiştirilerek yeniden hesaplama yapılır. Bu yöntemle farklı yapılar birbirleriyle karşılaştırılabilir.

Yöntem, binalarda hasara neden olan veya sağlık için tehlikeli olan küf mantarları ile sınırlı olacaktır. İzoplet modelinde, spor çimlenmesi, substrata özgü izoplet sistemlerine ve hidrotermal sınır koşullarına bağlı olarak belirlenir.

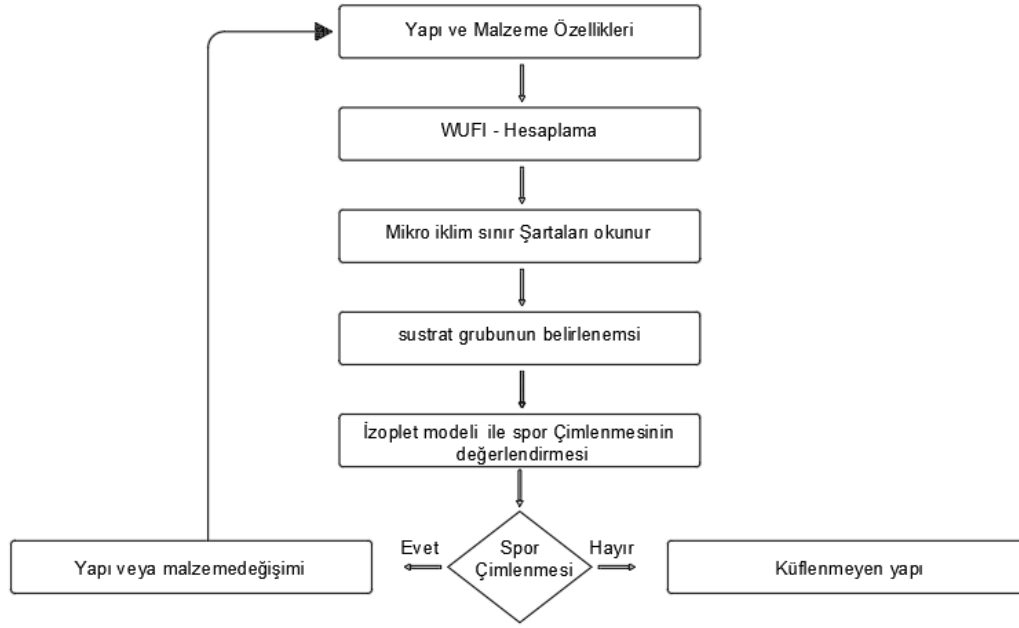
Hidrotermal modellemede iç ve dış iklimler saatlik olarak belirlenir. Bu çalışmada, malzeme özellikleri, malzeme onay sertifikasından veya sistemde bulunan malzeme veri bölümünden seçilir.

6.2 Hidrotermal Büyüme Koşulları İçin Yeni Yaklaşım

Bina bileşenleri üzerinde ve iç katmanlarında küf mantar oluşumunun tahmini için hidrotermal yönteminde yalnızca basit verileri kullanmak yeterlidir. Başta, substrat kategorilerin belirlenmesi için malzeme verileri gereklidir. Daha sonraki hesap adımında, yapılarda küf mantar büyümesi beklenen yapı elemanlarının (duvar, döşeme vb.) geçici sıcaklık ve bağıl nem akışlarının hesaplanmasıdır. Hidrotermal hesaplama programı olarak adlı WUFI ile yapılar modellenabilir ve herhangi bir iklimsel sınır koşulu hesaplanabilir. İç iklim, yani iç ortam koşulları mevcut veri kayıtları temelinde belirtilir. Daha karmaşık bina yapıları için, örneğin termal

köprülerin etkileri hesabı WUFI üç boyutlu ısı hesaplama programı yardımı ile belirlenir ve sonuçlar sınır koşulları olarak kabul edilir.

Küf mantarlarının çimlenmesi için malzeme yüzeyinin nemli olması yeterli olabilir. Bu nedenle, spor çimlenmesinin değerlendirilmesinde, bileşen yüzeylerindeki hidrotermal koşulların dikkate alınması yeterlidir.



Şekil 6.1 : Tezde geliştiren yöntemin metodik sürecin şematik diyagramı.

6.3 İzoplet Modelinin İşlevselliği

Belirli bir sıcaklık ve bağıl nem belirli bir süre devam ettiğinde spor çimlenmesi gerçekleşir. Zaman süreleri, substrata bağlı izoplet modellerindeki eğriler tarafından tanımlanır. Bu şekilde, malzeme türüne bağlı olarak, sabit hidrotermal büyüme koşullarında spor çimlenmesi olasılığının olup olmadığı belirtilebilir.

İzoplet modelinin tasarlanması için, laboratuvar çalışmasından elde edilen sonuçlarla ve bu sonuçların değerleri izoplet diyagramının çizilmesi için denklem 8.1'de kullanılır. Bu alanda deneysel çalışmaya başlamadan önce iç ortamdaki küf mantar türlerinin tanımlanması gerekir. Sonuca ulaşmak için çalışmanın hiyerarşisi aşağıdaki bölümlerde detaylandırılmıştır.

7. DENEYSEL YÖNTEM

Bu bölümde, yapı malzemeleri üzerinde 22 °C sıcaklıktaki kritik bağıl nemi belirlemek için gerçekleştirilen işlemler açıklanmıştır.

7.1 İç Ortamda Yaygın Olan Küf Mantar Türünün Belirlenmesi

Laboratuvar deneyi, bu aşamanın gerçekleştirilmesindeki ilk adımdır. Bu kapsamda İstanbul konutlarında yaygın olan altı mantar türünün sporlarının karışımı kullanılmıştır. Türler su ve nem gereksinimlerine göre değişmektedir.

7.2 Malzeme ve Yöntem: Seçilen Konuttaki Şüpheli Yerlerdeki Küflerden Numune Alma

Değişen iklim koşullarından dolayı mantar türleri dünyanın farklı bölgelerinde değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, İstanbul ve aynı iklimde olan bölgeler için yaygın türlerin tanımlanmasında, İstanbul'daki konut binalarındaki küf sorunu olan bazılarında, küf mantar örnekleri alınmıştır.

Bu işlem için prosedür aşağıdaki gibidir.

7.2.1 Malzeme

- Patates ve Dekstroza Agar içeren petri kabı (Mantarların büyümesi için kullanılan bir ortamdır. Kültürde bakteri üremesini önlemek için bir anti bakteriyel madde petri kabına işlenmiştir).
- Numune almak için pamuklu çubuk.

7.2.2 Yöntem

- Bir pamuklu çubuk kullanarak ve küf şüphesi olan yeri yeterli bir numune alana kadar pamuklu çubuk ileri geri sürüklemeye devam edilmiştir (4 cm² alan yeterli).

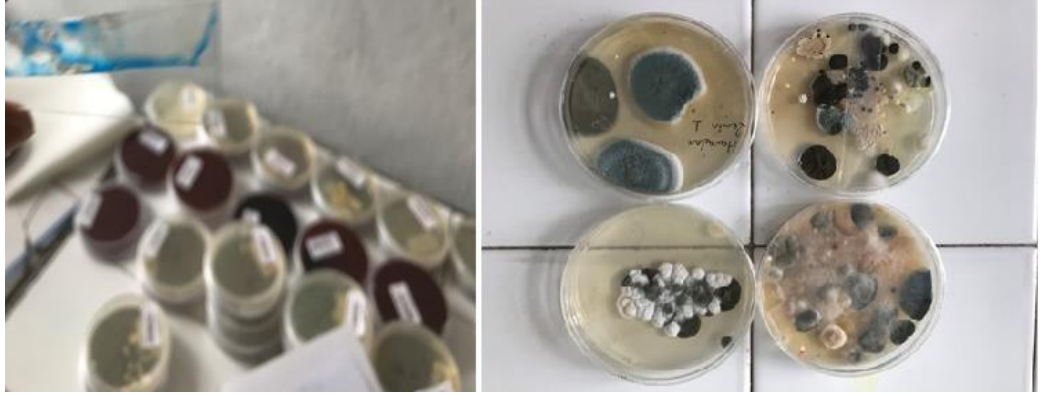
- Şüpheli yerden alınan küf içeren çubuğun ucunu, petri kabının dibinde ileri ve geri kaydırarak küf numunesi dikkatlice petri kabına aktarılmıştır (Şekil 7.1).
- Kabin kapağı takılıp ve üzeri bantla kapatılır. Kabin üzerine testin yapıldığı yer ve tarih yazılır.
- Örnek 5 gün boyunca inkübe edilir. Bu dönemde, petri kabı oda sıcaklığında karanlık bir yere yerleştirilir.
- Numuneler 5 gün sonra analiz için ilgili Laboratuvara (Çapa mikrobiyoloji laboratuvarı) transfer edilmiştir.



Şekil 7.1 : Petri kabının dibinde pamuklu çubuğunu ileri ve geri kaydırarak küf numunesinin dikkatlice petri kabına aktarılması.

7.3 apa Mikrobiyoloji Laboratuvarı Tarafından Analiz Edilen rnekler

- Analiz için hazırlanan örnekler (ekil 7.2).



Şekil 7.2 : Hazırlanan rnekler.

- Petri kabından gelen koloninin küçük bir kısmı bir bantla alınır (ekil 7.3).



Şekil 7.3 : Petri kabından koloni alınması.

Bant koloniye karşı hafifçe bastırılır, böylece hif ve sporların bazıları buna yapışır. Daha sonra, temiz ve kuru bir slayt üzerine bir damla Laktofenol Pamuk Mavisi reaktifi konulur. Leke, hif üzerine mavi bir renk verir ve böylece mantar türü daha belirgin hale gelir ve bantla alınan koloni mikroskop lamına aktarılır. Hazırlanan lamın üzerine bir lamel yerleştirilir ve yaklaşık 5 dakika beklenir (ekil 7.4).



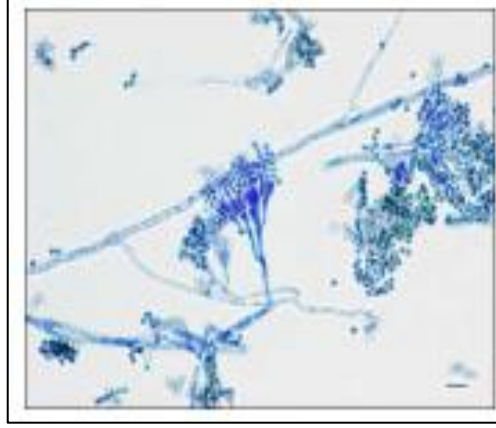
Şekil 7.4 : Hazırlanan lamalar.

Küf mantar türlerinin belirlenmesinde, yüksek büyütmeli (40X) objektif lens kullanılmıştır (Şekil 7.5).

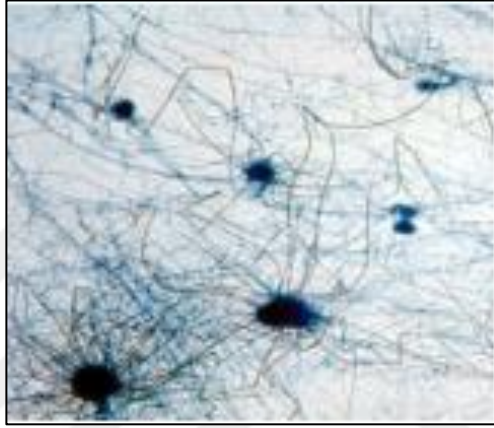


Şekil 7.5 : Mantar Sporları ve hiflerin mikroskop altında incelenmesi.

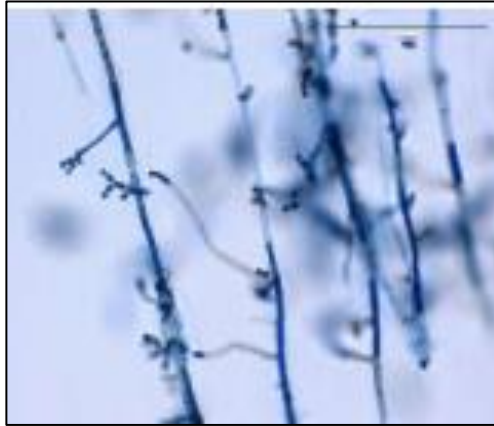
Laboratuvar sonuçlarından elde edilen mantarların şekilleri ve türleri aşağıda verilmiştir(Şekil 7.6, Şekil 7.7, Şekil 7.8, Şekil 7.9, Şekil 7.10, Şekil 7.11).



Şekil 7.6 : Penicillium.



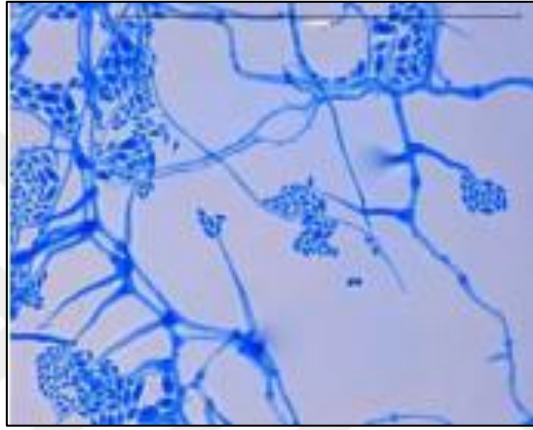
Şekil 7.7 : Cladosporium



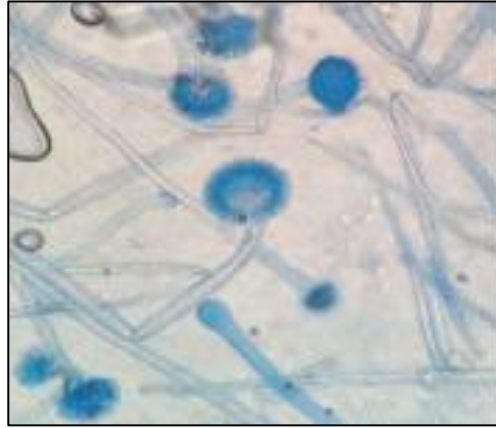
Şekil 7.8 : Chaetium



Şekil 7.9 : Scopulariopsis



Şekil 7.10 : Aspergillus.



Şekil 7.11 : Acremonium

7.4 Yapı Malzemelerinin Kritik Bağlı Neminin Belirlenmesi

Kritik bağli nemin belirlenmesinde, ilk aşamada laboratuvar çalışmalarında kullanılan farklı yöntemler analiz edilmiştir. Bazı örnek yöntemler Çizelge 7.1’de sunulmaktadır. Tezin bu aşamasının amacı, laboratuvar imkânlarına göre en uygun yöntemi kullanarak, daha sonra bölüm 7.6’ da özellikleri belirtilen yapı

malzemelerinin kritik bağıl neminin 22°C sıcaklık için elde edilmesidir. Sonuç olarak, SP MET 4927 yöntemi bu amaç için seçilmiştir.

SP MET 4927, bir yapı malzemesinin yüzeyi üzerindeki küf büyümesinin kritik nem seviyesini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Testler sabit inkübasyon koşulları altında, yani 22 °C ve % 80 RH, % 85 RH, % 90 RH ve % 95 bağıl nem de gerçekleştirilir. Sonuçlar, test dışındaki olan sıcaklıklar için kritik bağıl nem seviyesini tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu yöntem tasarlanırken bir kaç standart yöntem ve çeşitli İsveç araştırma projelerinden veriler ve pratik deneyimlerle birlikte göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlara ve gerekli kıyaslamalara dayanarak verilerin güvenilir olduğu vurgulanabilir (Johansson, 2014).

Çizelge 7.1 : Mantar büyümesini test etme standartları.

	CML yöntemi SP MET 4927	ATSM D3273-86 (1986)	ATSM G 21-96	BS 1982: Part 3:1990	ISO 846:1997
İklim koşulları	22±1 °C RH= 80±2.5% 85±2.5% 90±2.5% 95±2.5%	32.5±1 °C RH= 95-98%	28-30 °C RH= >95%	24±1 °C RH belirtilmemiş	24±1 °C 29±1 °C RH= >95%
Materyal	Yapı malzemeleri	Boya filmleri	Sentetik polimerik	Panel ürünleri	plastik maddeler
Testin amacı	Kritik nem seviyesi	Küf direnci	Küf direnci	Küf direnci	Küf direnci
Numune boyutu	50x100mm	Tanımlanmamış	50x50mm	40x40mm	Tanımlanmamış
Tür sayısı	7	3	3	3	5
Aşılama metodolojisi	Püskürtme	Püskürtme	Püskürtme	Püskürtme	Püskürtme veya pipetleme
Kuluçka süresi	12 hafta	4 hafta	28 gün	4 hafta	6 saat

Bu bölümde, laboratuvar testlerinin süreçleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

7.5 Yapı Malzemeleri Ve Test Numuneleri

Test edilecek malzemeler her biri 50x100 mm büyüklüğünde parçalar şeklinde kesilmiştir. Boyalar ise kesilmiş metal parçalarına (50x100 mm) sürülmüştür.

Kullanılan alçı levha, cam, metal kompozit (fırın boyalı alüminyum) ve taş yünü malzemeler bir alüminyum cephe sistem firmasından tedarik edilmiştir. Boyalar ise yerli bir mağazadan satın alınmıştır.

7.6 Malzemeler

İstanbul binalarında yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden; iki yüzü kartonlu alçı levha, taş yünü, su bazlı boya (organik), solvent bazlı boya (anorganik), cephe kompozit (fırın boyalı alüminyum) ve cam seçilmiştir.

4.5 bölümünde anlatıldığı gibi, yapı malzemeleri küf mantarlarına karşı dirençlerine göre gruplanması dikkate alınarak seçilmiştir;

Kategori 1: kartonlu alçı levha, biyolojik olarak geri dönüştürülebilir yapı malzemeleri;

Kategori 2: taş yünü, boyalar, gözenekli yapıya sahip yapı malzemeleri;

Kategori 3: kompozit (fırın boyalı alüminyum) ve cam, ne parçalanabilir, ne de herhangi bir besin içeren yapı malzemeleri,

Malzemeler 22°C sıcaklık ve dört bağıl nem kombinasyonu, sırasıyla 80 ± 5 , 85 ± 5 , 90 ± 5 , 95 ± 5 değerleri kullanılarak test edilmiştir.

Test süresi 12 hafta olarak belirlenmiştir.

7.7 Mantar türler

Gerçek hayattaki durumlara göre, çalışmada altı mantar türü sporlarının karışımı kullanılmıştır (Çizelge 7.2).

Bu türler genellikle İstanbul'daki nemli evlerin farklı yapı malzemelerinin üzerinde gözlemlenmektedir. Su gereksinimlerine göre değişirler ve art arda kolonileştirme düzeninde farklı grupları temsil ederler.

Küf mantarların sporülasyonu meydana gelinceye kadar malt agarı olan Petri kaplarında yetiştirilmişlerdir.

7.8 Laboratuvar Çalışmaları

Küf mantar numunelerinin deney örneklerinin üzerinde yetiştirilmesi için, prosedüre göre spor süspansiyonunun hazırlamasının ardından;

- 1) Başta hazırlanan süspansiyon, test numunelerinin bir yüzeyinde püskürtme yoluyla aşılanır.

- 2) Daha sonra numuneler, belirtilen bağıl nem ve $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık koşulları altında laboratuvar cam desikatör içinde yatay olarak inkübe edilir.
- 3) Test numunelerinin yüzeyinde küf gelişiminin değerlendirilmesi için belirli aralıklarla analiz edilir.

7.8.1 Spor süspansiyonunun hazırlanması

İlk önce her santrifüj test tüpüne 10 mililitre Saf su dökülmüş ve daha sonra yetişmiş küf mantarlarının kolonileri petri kaplarından pamuklu çubuk yardımıyla alınarak test tüpüne eklenmiştir.

Tüpler, sporların konidiofolarından serbest bırakılması için 3 kere çalkalanmıştır (Şekil 7.12).

Hazırlanan sıvı, sprey edilecek kabın üstüne steril cam yünü koyarak boşaltılmıştır.

İstenen ölçüyü elde etmek için, hazırlanan süspansiyon hassas bir terazi üzerinde ölçüldü (Şekil 7.13).



Şekil 7.12 : Her santrifüj test tüpüne 10 mililitre saf su döküldü ve sonra yetişmiş küf mantarları petri kaplarından pamuklu çubuk yardımıyla sporlardan alınarak test tüpüne eklendi.



Şekil 7.13 : Karışımın ölçülmesi

7.8.2 Aşılama

Çizelge 7.2’ de listelenen mantarları içeren bir spor süspansiyonunun püskürtülmesiyle test numunelerine sporlar eklenmiştir.

Türler, su gereksinimlerine göre değişir; altı tür arasında, bazıları yüksek nem seviyeleri gerektirirken diğerleri, küf gelişimi için daha düşük seviyelere ihtiyaç duyar (Bu yöntem, daha düşük RH' lerde de test etmeyi içerir.).

Spor süspansiyonu 5.4.1 bölümünde anlatıldığı gibi hazırlanmıştır. Mantarların her birinden sporlar, agar plakaları üzerinde aktif olarak büyüyen ve steril su içinde çözünen kültürlerden toplanmıştır.

0.4 ml süspansiyon, her bir test numunesinin bir yüzeyine püskürtüldü ve sporlar, test numunelerinin yüzeyine az ya da çok eşit şekilde dağıtıldı.

Çizelge 7.2 : Küf türleri ve sıcaklık ile ilgili bireysel mantarlar için büyüme koşulların, çalışmada kullanılan bağıl nem değerleri.

Küf türleri	Büyüme Koşulları									
	Sıcaklık [° C] ¹						Bağıl nem[%] ¹			
	Spor çimlenme			Miselyum büyümesi			Spor gr.		Miselyum gr	
	Min.	Opt.	Max.	Min.	Opt.	Max.	Min.	Opt.	Min.	Opt.
Penicillium	5	25	33	2	25	37	80	97	80	98
Cladosporium	2	2	2	-5	28	32	85		84	96
Chaetomium	2	2	2	35	2	2	2	2	2	2
scopulariopsis	2	2	2	5	30	37	2	2	85	94
Aspergillus	10	35	45	3	32	57	70	95	74	90
Acremonium	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

¹ Spor çimlenmesi ve miselyum büyümesi referans alınarak sıcaklık, bağıl nem ve pH değeri ile ilgili bireysel küf mantarlar için büyüme koşulları (Sedlebauer 2001).

² Literatur araştırmasında bu konuyla ilgili bir sonuç bulunamadı

7.8.3 Kuluçka

Test numuneleri yatay olarak cam desikatör içinde inkübe edildi ve ortam sıcaklığı $22 \pm 2^\circ\text{C}$ olarak ayarlandı. Her desikatör içerisinde bir sıcaklık ve bağıl nemölçer konuldu (Şekil 7.14).

Dört bağıl nemi ($80 \pm 5, 85 \pm 5, 90 \pm 5, 95 \pm 5$) elde etmek için silika jel, kalsiyum klorür ve karbonat, % 75'lik bir bağıl nem ortamını oluşturmak için ise, ponza taşı kullanılmıştır. Her gün düzenli olarak bağıl nem ve sıcaklık kontrol edildi (Türk ve diğ., 2022).



Şekil 7.14 : Kűf türleri ve sıcaklık ile ilgili bireysel mantarlar için büyüme koşulları, çalışmada kullanılan bağıl nem.

7.8.4 Büyüme değerlendirmesi, test numunelerinin yatay olarak cam desikatör içinde inkübe edilmesi

Her bir test numunesinin yüzeyindeki kűf gelişim incelenmesinde, Viitanan ve arkadaşlarının (1999) kullandığı kűf büyüme indeksi kullanıldı (izelge 7.3). Bu numuneler belirli aralıklarla (haftada bir kez) ve çıplak gözle değerlendirildi. Analiz sırasında yüzeylere dokunulmadığı için, tüm çalışma boyunca aynı test numunesi ile kűf oluşumunu takip edilmesi mümkündür. Bu değerlendirme, test numunelerinin

küf büyümesine karşı başarısız veya başarılı olmasının belirlenmesi ile, yani basitleşmiş kararlar sonuçlandırılmıştır.

Büyüme indeksi 2'den büyük veya 2'ise, test parçası başarısız olur ve iki den düşükse test parçasının küf mantarlarına karşı dirençli olduğunu gösterir.

Küf mantarlarının büyüme hızı, test edilen tüm malzemelerde farklı maruz kalma sürelerinden sonra belirlenmiştir. Numunelerde küf gelişimi çıplak gözle ve aydınlatmalı mikroskop kullanılarak tespit edilmiştir.

Kartonlu alçı levhada, büyümenin ilk aşaması (indeks 2) bir hafta maruz (96% RH ve 22°C) kaldıktan sonra (Şekil 7.15), indeks 3 testin başlangıcından iki hafta sonra ve indeks 4'ise 8 hafta sonra tespit edildi (Şekil 7.16). Maruz kalma süresi ilerleyince, taş yünü, su bazlı boya ve solvent bazlı boyalarda da küf oluşumu gözlemlendi. Taş yünün de, indeks 2, iki hafta maruz kaldıktan sonra ve indeks 3, test başlangıcından dört hafta sonra tespit edildi (Şekil.7.17). Diğer iki malzemede de maruz kalma süresinden 8-10 hafta arasında çıplak gözle gözükecek şekilde belirlendi (Şekil 7.18).

Küf büyüme ve yoğunluğu malzemeye bağlı olarak farklı belirtiler ile sonuçlanmıştır. Düşük nem koşullarında (≤ 80 RH) ikinci kategori malzemelerde küf mantar oluşumu tespit edilmemiştir. Birinci kategori malzemedeyse büyüme gecikmiş ve yüzeyi çok az kapsadığı, yanı yayıldığı görülmüştür(Türk ve diğ,2022).

Çizelge 7.3 : Kapsama alanına göre büyüme oranı.

İzlenme Oranı	Kapsama Alanı ³
0	Mantar büyüme yok
1	Kapsama $\leq 1\%$
2	$1\% < \text{Kapsama} \leq 10\%$
3	$10\% < \text{Kapsama} \leq 30\%$
4	$30\% < \text{Kapsama} \leq 70\%$
5	$70\% < \text{Kapsama}$

³ Görsel olarak algılanan malzeme yüzeyinin kapsama yüzdesi.



Şekil 7.15 : Kartonlu alçı levhada, büyümenin ilk aşaması (indeks 2) bir hafta maruz (96% RH ve 22°C)kaldıktan sonra. (Mikroskop altında ve çıplak gözle değerlendirilmesi).



Şekil 7.16 : Kartonlu alçı levha da, indeks 3 (ilk görsel bulgular) testin başlangıcından 2 hafta sonra tespit edildi.



Şekil 7.17 : Taş yününde 2. ve 9.hafta değişimler .



Şekil 7.18 : Su bazlı ve solvent bazlı boyalar üzerinde mantar büyümesi 8-10 hafta arasında çıplak gözle görülecek şekilde belirlendi .

7.8.5 Numuneler üzerinde değerlendirme sonucu

Malzemelerin duyarlılıklarına göre modellenmesinde ve sınıflandırılmasında ana parametre küflenme yoğunluğudur. Küf mantarlarına karşı en yüksek duyarlılığı gösteren malzemeler sırasıyla iki yüzü kartonlu alçı levha, taş yünü, su bazlı ve solvent bazlı boyalardır. Cam ve kompozit malzemelerde küf büyümesi gözlenmedi.

Haftalık kontrol ile 22 ° C'de ve %75 ± 5, %80 ± 5, %85 ± 5, %90 ± 5, %95 ± 5 bağıl nemde numuneler üzerindeki mantarların büyüme hızı Şekil 7.19- Şekil 23'de gösterilmektedir(Türk ve diğ,2022). Bu araştırmadaki önemli konulardan biri ve laboratuvar çalışmasının sonucu olarak, numunelerin farklı bağıl nemde küf büyümesi için gereken süredir. Bu konuda elde edilen sonuçlar Çizelge 7.4' de gösterilmiştir(Türk ve diğ,2022).

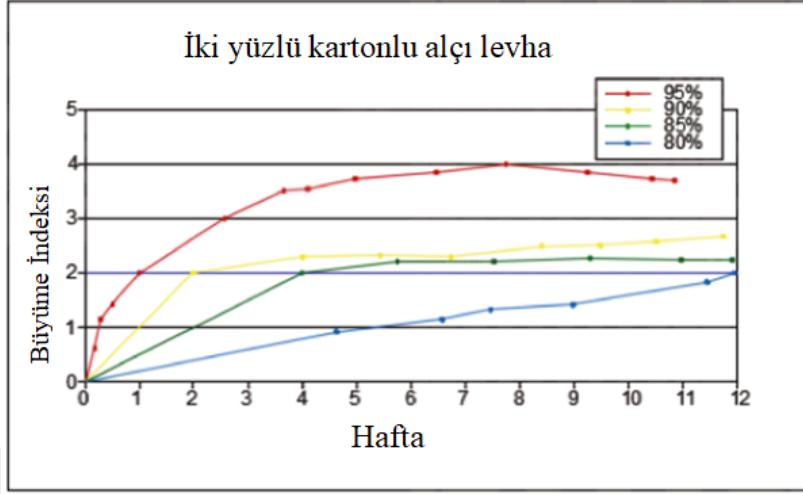
Elde edilen sonuçların değerleri, farklı sıcaklıklarda kritik bağıl nemin teorik olarak hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Çizelge 7.4 : Deney sonuçlarına göre farklı bağıl nem değerlerinde küf indeksinin iki olması için gereken süre .

Malzeme	Bağıl Nem				
	%95	%90	%85	%80	%75
Gereken Süre(Hafta)					
<i>İki yüzü kartonlu alçı levha</i>	1	2	4	9	12
Taş yünü	3	4	8	12	—
Su bazlı boya	5	7	10	—	—
Solvent bazlı boya	6	7	11	—	—
Cam	—	—	—	—	—
Kompozit	—	—	—	—	—

Şekil 7.19'da gösterildiği gibi; aynı süreler için bağıl nem değerlerinin arttığı veya aynı büyüme endeksi değerleri için bağıl nem değerleri azaldıkça sürenin arttığı

görülmektedir. Bu durum; bağıl nem ne kadar yüksek olursa, malzemenin küflenmeye karşı direncini de o kadar çok kaybettiğini veya belli bir bağıl nem derecesi için küflenmenin oluşması için daha uzun süreye ihtiyaç olduğunu gösterir.

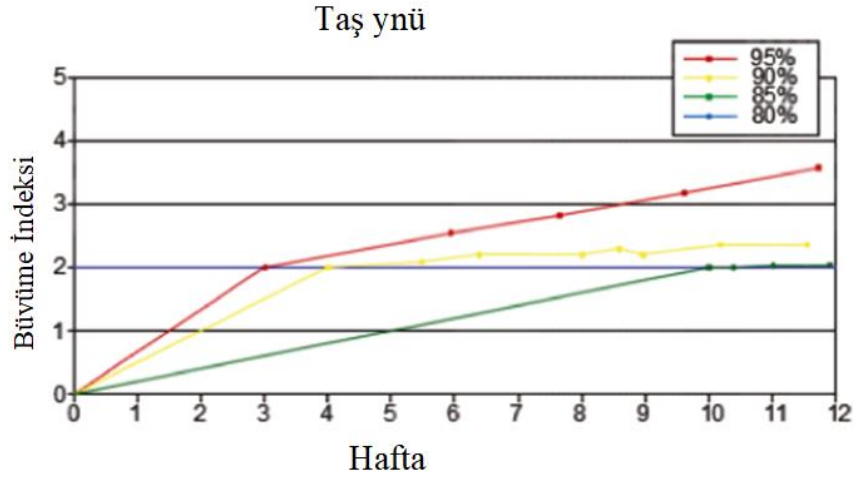


Şekil 7.19 : Haftalık inkübasyon sonuçlarına göre farklı bağıl nem değerlerine göre, iki yüzü kartonlu alçı levha için kritik nem seviyesi (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ.,2022).

Alçı levhanın, küflenmeye karşı duyarlılığının yüksek olması nedeniyle, alçı levha yüzeyinde 12 hafta içerisinde küf mantarlarının tüm büyüme aşamaları gerçekleşmiştir (Şekil 3.1).

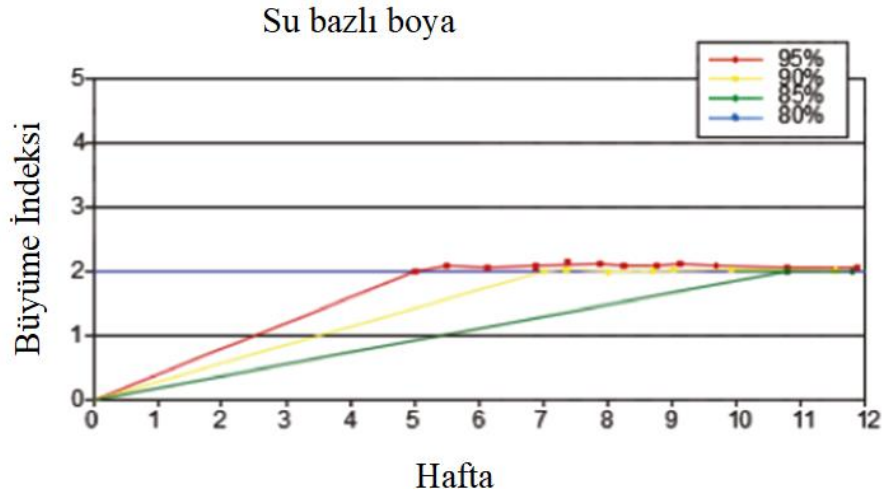
Şekil 7.19'de gösterildiği gibi, %95 bağıl nemde, substrat kategorisi I (Alçı levha) bir hafta sonra indeks iki'ye ulaşmış, yani substrat üzerinde çıplak gözle küf mantarı görülmeye başlamıştır. 2. haftanın sonunda indeks 3'e, 8. haftada ise indeks 4'e ulaşarak bu noktadan sonra küf gelişiminin durduğu ve zamanla azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre %80 bağıl nemde indeks iki sadece kategori I numunesinde gözlemlenmiştir. Bu değere ulaşmak için 12 hafta kadar bir süre gerekmektedir. %85 ve %90 bağıl nemde ise bu süre içerisinde indeks 3'e ulaşmamıştır.

Elde edilen sonuçlara göre taş yünü kategori II'de olan diğer iki örneklere göre küf mantarına karşı duyarlılığı daha düşüktür. Şekil 7.20'da görüldüğü gibi küf gelişme İndeksinin 2'ye ulaşması için en düşük bağıl nem %85'tir. Taşyünü numunesinde indeks 3'e ulaşmak için bağıl nemin %95'in üzerinde olması gerekir.



Şekil 7.20 : Haftalık inkübasyon sonuçlarına göre farklı bağıl nem değerleri göre, taş yünü için kritik nem seviyesi (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ.,2022).

Su bazlı boya, solvent bazlı boyadan organik besin yönünden daha zengin olduğu için küf mantarına karşı daha çok duyarlılık gösterir. Su bazlı boyanın küf gelişme İndeksinin 2'ye ulaşması için en düşük bağıl nem%85'tir. Gereken süre ise 10 haftadır. Bu malzemede, 12 haftalık test süresi boyunca belirlenen herhangi bir bağıl nemde indeks 2'yi geçmemiştir (Şekil 7.21).

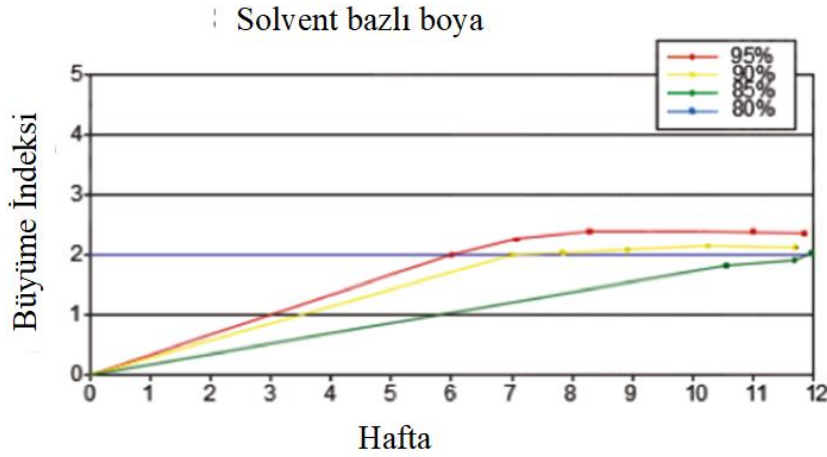


Şekil 7.21 : Haftalık inkübasyon sonuçları göz önüne alındığında; farklı bağıl nem değerlerine göre, su bazlı boya için kritik nem seviyesi değerleri (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ.,2022).

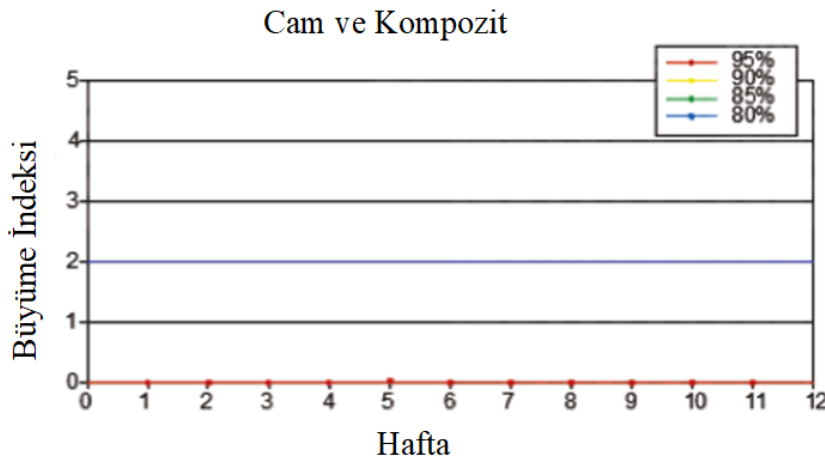
Solvent bazlı boyalarda ise su bazlı boyalar ve taş yünü ile karşılaştırıldığında, daha az organik besin maddesi içerdiği için küf mantarına karşı daha az duyarlılık gösterir. Bu nedenle, daha yüksek bir bağıl nemde ve daha uzun bir maruz kalma süresinde, yüzeyinde küf mantar çimlenmesi gerçekleşir. Boyanın küf gelişme indeksinin 2'ye ulaşması için en düşük bağıl nem%85'tir. Gereken süre ise 12 haftadır. Bu

malzemede, 12 haftalık test süresi boyunca belirlenen herhangi bir bağıl nemde indeks 2'yi geçmemiştir (Şekil 7.22).

Cam ve kompozit substrat III olarak ne parçalanırlar ne de herhangi bir besin içerirler, bu nedenle bu materyallerde küf oluşumu gerçekleşmemiştir (Şekil 7.23).



Şekil 7.22 : Haftalık inkübasyon sonuçları göz önünde alındığında; farklı bağıl nemlere göre, solvent bazlı boya için kritik nem seviyesi (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ.,2022).



Şekil 7.23 : Haftalık inkübasyon sonuçları gözönüne alındığında; farklı bağıl nemlere göre, cam ve kompozit için kritik nem seviyesi (22 ° C sıcaklıkta) (Türk ve diğ.,2022).

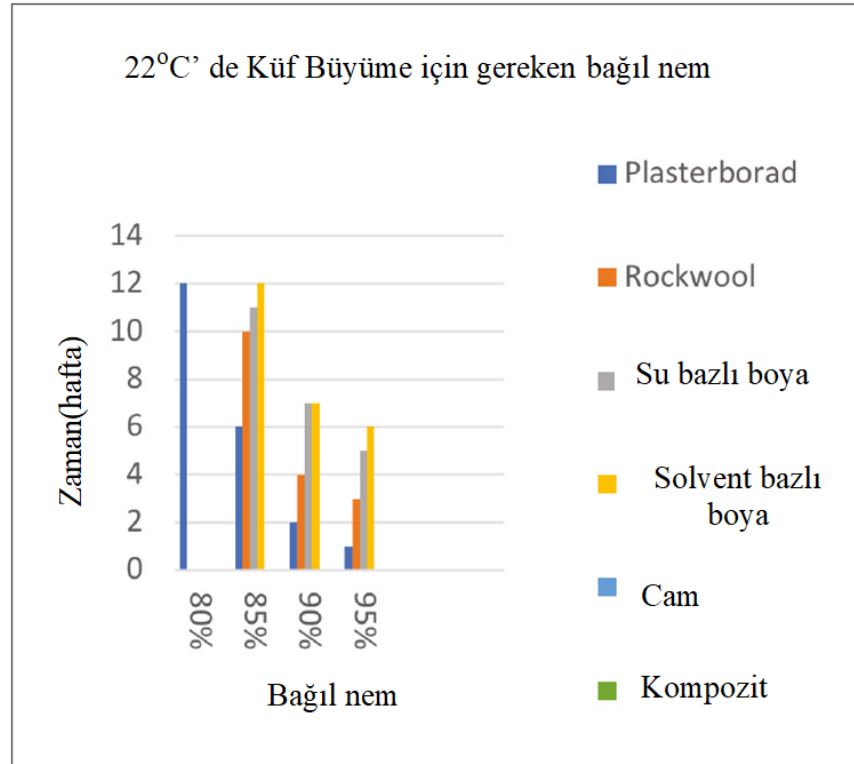
Küf gelişimi için kritik bağıl nem; küf gelişiminin görüldüğü en düşük bağıl nem olarak belirlenir. Örneğin, kritik küf gözlemlenmesine ilk olarak %80 RH'de karşılaşılsa, bu özel malzeme için kritik nem seviyesinin %80 olduğu varsayılır (Çizelge 7.5) (Türk ve diğ.,2022).

Çizelge 7.5 : Yapılan deneylere göre malzemelerin kritik bağıl nem seviyesi(22 ° c sıcaklıkta) (Türk ve diğ,2022).

Malzeme	Kritik Bağıl Nem (%)
Alçı levha	80
Taş yünü	85
Su bazlı boya	90
Solvent bazlı boya	95
Kompozit	—
Cam	—

22 °C dışındaki sıcaklıklar da kritik nem seviyelerini tahmin etmek için her malzeme grubunun büyüme limit eğrileri oluşturulur. Bu konu, aşağıdaki ilgili bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Sonuçlar, çevrenin bağıl nemi ne kadar yüksek olursa, substratta kritik küf büyümesi için gereken süre daha kısa olduğunu göstermektedir(Türk ve diğ,2022). Örneğin, alçı tahtadaki küf büyümesi,%80'den az bir bağıl nemle 12 hafta sürer, ancak%90'lık bir bağıl nemde sadece iki hafta sürer (Şekil 7.24).



Şekil 7.24 : Kritik küf büyümesi için gereken sürenin grafiği belirtilen bağıl nemde. (Zaman haftalık olarak belirlenir) (Türk ve diğ,2022).

Bir malzemenin gelişmeye karşı direncini değerlendirmeye yönelik bu yöntem, pratikte neyin kabul edilebilir davranış oluşturduğuna dair kriterlerin oluşturulmasını sağlar. Bu sonuçlar, yeni malzemelerin değişen nem miktarlarında küf direncini değerlendirmek için kullanılabilir. Yüzeyin kritik bağıl nemini belirledikten sonra, imalatçı veya mimarlar, beklenen sıcaklık ve bağıl nem koşullarını dikkate alarak küflenme riskini azaltmak için doğru malzemeyi seçebilir(Türk ve diğ,2022).

Sonuç olarak bu test, laboratuvarında belirtilen sürenin ötesinde bir maddeye maruz kalma süresini tahmin etmek için kullanılamaz. Bu tür tahminlerin daha fazla çalışılması gerekir. Bu değişkenlerin tümü, mantar, aşılama tekniği, sıcaklık, bağıl nem, süre, analitik yöntem ve analiz sıklığı dahil denemeler arasında değişiklik gösterir. Bu araştırmada amaçlanan sonuca ulaşmak için, bu alandaki önceki tüm çalışmaların ve çalışmaların avantaj ve dezavantajları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu bölümde tartışılan gerçeklere ve deneyimlere dayalı olarak bir malzemeye verilen kritik nem seviyesi üzerinde çok sayıda bu faktörün etkisi vardır(Türk ve diğ,2022)

8. KÜF BÜYÜME VERİLERİNİ DEĞERLENDİRME VE İRDELENMESİ, İZOPLET MODELİN OLUŞTURULMASI

İzoplet sistemi, I ve II kategorileri için tasarlanmıştır. Substrat kategorisi III için, küf mantarlarının oluşumunun mümkün olmadığı varsayılabilirliğinden, bu kategori için izoplet sistemi verilmemiştir. Spor çimlenmesi için iki izoplet sistemi geliştirilmiştir. Sistemlerin her biri, yapı malzemeleri dikkate alınarak belirlenen kapalı ortam iklim koşullarındaki küf mantar türleri için geçerlidir.

8.1 Farklı sıcaklıklarda kritik bağıl nemin hesaplaması

Laboratuvar çalışmasında test edilen 22°C sıcaklıktaki kritik nem değerleri yapı malzemelerinin kategorisine göre, farklı sıcaklıklarda teorik bir kritik nem seviyesinin hesaplaması için kullanılır ve hesaplanma için denklem 8.1 kullanılmıştır.

Bu yöntem SP Metot olarak Johnsson (2014) Tarafından kullanılan yöntemdir.

$$RH_{crit\ T_2} = 105 + c(T_2^2 - 54T_1^2) \quad (8.1)$$

$RH_{crit\ T_2}$: T_2 sıcaklığındaki elde edilen kritik bağıl nem

T_2 : ekstrapolasyon için seçilen sıcaklıktır

c: denklem 5.2 den hesaplanır.

T_1 :22 ° C (testin gerçekleştirildiği sıcaklık)

Prosedür, 0-30°C aralığında bir dizi sıcaklık için tekrarlanır. Bu değerler bir eğri olarak şekil 8.1 ve şekil 8.2’de gösterilmiştir.

Bu veriler, her substrat kategorisine bağlı izoplet sisteminde çizilen büyüme sınır eğrisinin çizimi için kullanılır.

8.1.1 Küf büyüme sınır eğrilerinin oluşturulması

Bu çalışmada, küf büyüme sınır eğrisini oluşturmak için deneysel çalışmadan elde edilen veriler, denklem 8.1'den elde edilen sonuçların sağlanması için kullanılmıştır.

8.1.2 Yapı ürünlerinde küf mantarı oluşumu için izoplet sistemleri

Yapı ürünlerinde küf mantarı büyümesini tahmin etmek için, farklı substratları hesaba katarak izoplet sisteminde bir dönüşüm gereklidir. Yapı ürünleri üzerinde küf mantar oluşumunun tahmini için, yalnızca birkaç ölçüm mevcut olduğundan, substrat kategorisini tanıtmak ve bu kategoriler için izoplet sistemi oluşturmak yararlı görünmektedir. Bu amaçla, kategori I ve II için iki farklı izoplet sistemi tanımlanmıştır. Kategori III mantar büyümesine karşı dirençli olduğu için, daha önce de açıklandığı gibi, bir izoplet sistemi belirlenmemiştir.

8.1.2.1 Substrat kategorisi I için izoplet modeli

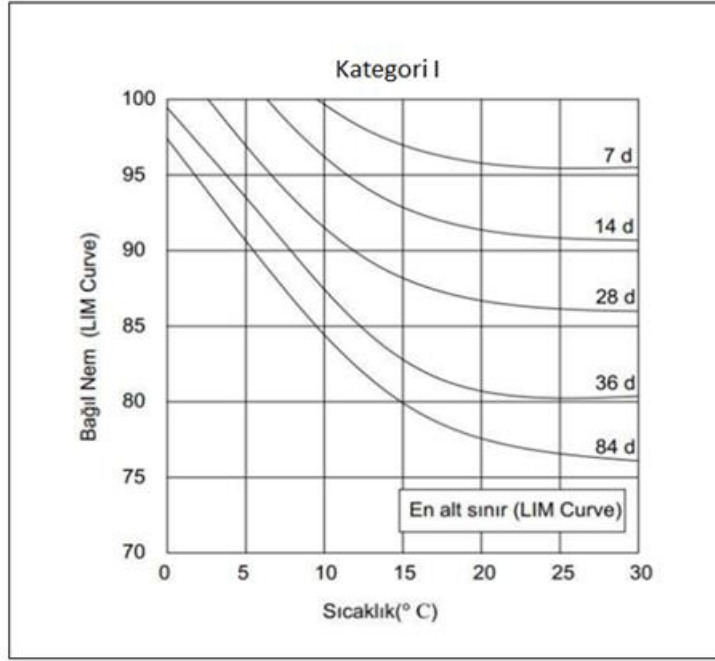
Yapı malzemelerinin üzerindeki küf büyüme koşulları incelenirse; substrat kategorisi I için LIM_{matI} eğrisi, yani izoplet sistemindeki en altta kalan eğri olduğu da gözönüne alınarak, bu eğrinin altında kalan değerlerin küf büyümesi için yetersiz olduğu görülmektedir.

İzoplet sisteminde eğrilerin çizilmesinde, bilgiler ve girdiler için, başta laboratuvar çalışmasında elde edilen sonuçlar ve literatür araştırmasına bağlı olarak elde edilen bilgiler kullanılmış ve gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen değerler, farklı sıcaklıktaki kritik bağıl nem değerlerinin hesaplanmasında kullanılmış ve sonuçlar izoplet sisteminin çiziminde değerlendirilmiştir. Substrat kategorisi I için laboratuvar incelenmesi sonuçları ve literatür araştırmasından elde edilen bilgiler çizelge 8.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1 : Substrat kategorisi I için laboratuvar sonuçları ve literatür araştırmasından elde edilen bilgiler.

Referans	Malzeme	Sıcaklık(°C)	Bağıl Nem(%)	Süre(gün)
Laboratuvar çalışması	Alçı Levha	22	75	12
Block (1953)	Alçı Levha	30	76	15
Zöld (1990)	Alçı Levha	20	75	---
Grant (1989)	Substrat kategorisi I	12	89	---

Bu çalışmada, spor çimlenmesi için elde edilen genelleştirilmiş kategori I izoplet sistemi, binalardaki tüm küf mantarları için geçerlidir. $\pm 5\%$ lik bir bağıl nem farkı için bir ölçüm belirsizliği de hesaba katılmıştır. Prosedür 0-30 °C aralığındaki farklı sıcaklıklar için tekrarlanmıştır. Böylece, sistemde elde edilen bilgiler ile iç alanlarda kategori I'e giren yapı malzemelerinin üzerindeki küf büyüme süreleri belirlenebilmiştir (Şekil 8.1).



Şekil 8.1 : Kategori I için, küf mantarı büyüme izoplet sistemin eğrileri (Gün olarak (d) spor çimlenme zamanlarıdır).

8.1.2.2 Substrat kategorisi II için izoplet modeli

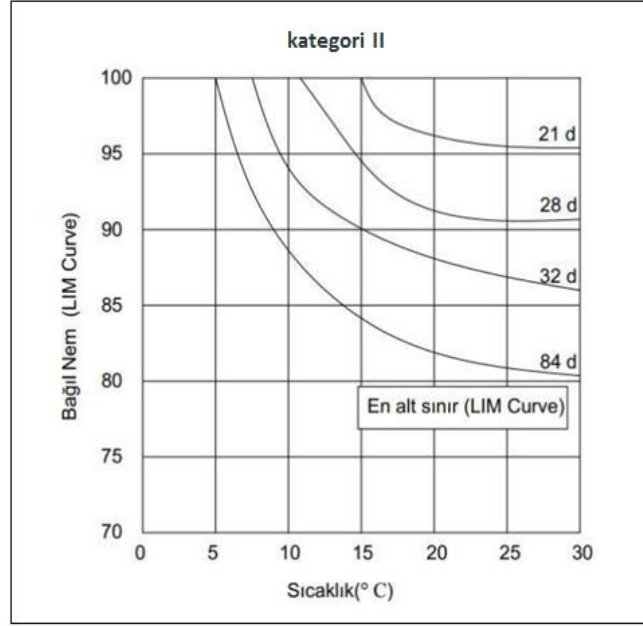
Yapı malzemelerinin üzerinde küf büyüme koşulları, substrat kategori II için LIM_{matII} eğrisi, yani izoplet sistemindeki en altta kalan eğri olduğu da gözönüne alınarak, bu eğrinin altında kalan değerlerin de küf büyümesi için yetersiz olduğu görülmektedir.

İzoplet sisteminde izolinlerin (eğriler) çizilmesinde, bilgiler ve girdiler için, başta laboratuvar çalışmasında elde edilen sonuçlar ve literatür araştırmasına bağlı bilgiler göz önünde bulundurulmuş ve gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen değerler, farklı sıcaklıktaki kritik bağıl nem değerlerinin hesaplanmasında kullanılmış ve sonuçlar izoplet sistemin çiziminde kullanılan denklemde değerlendirilmiştir. Substrat kategori II için laboratuvar sonuçları ve literatür araştırmasından elde edilen bilgiler çizelge 8.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2 : Substrat kategori II için laboratuvar sonuçları ve literatür araştırmasından elde edilen bilgiler.

Referans	Malzeme	Sıcaklık(°C)	Bağıl Nem(%)	Süre(gün)
Laboratuvar çalışması	Taş yünü	22	80	12
Laboratuvar çalışması	Su bazlı boya	22	85	8
Laboratuvar çalışması	Solvent bazlı boya	22	85	10
Block (1953)	Substrat kategori II	35	80	34
Ritschkoff (2000)	Çimento şap	23	97	24
Ritschkoff(2000)	Beton	23	97	56
Ritschkoff (2000)	Alçı	23	97	28

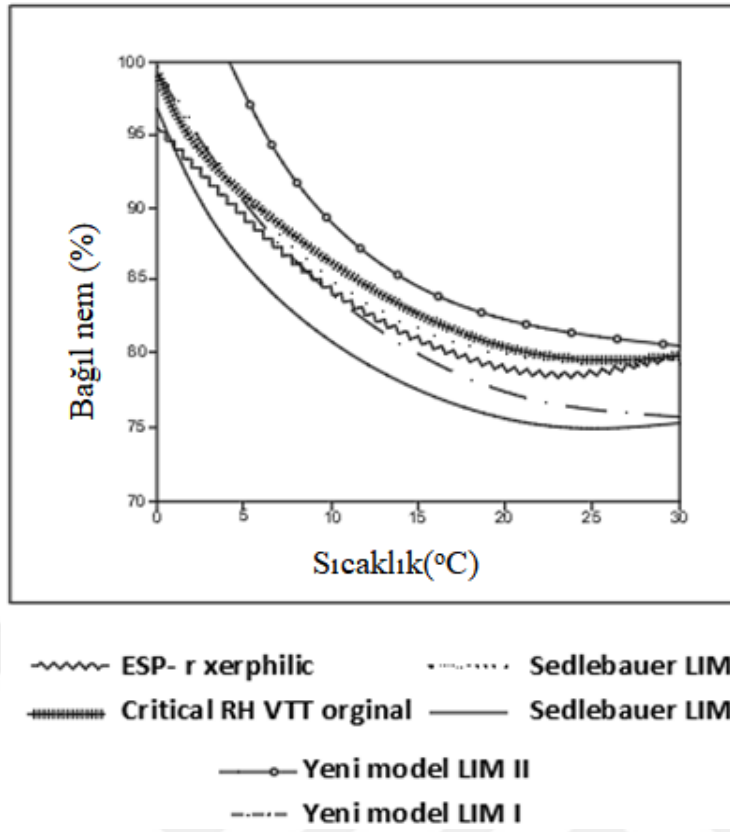
Bu çalışmada, spor çimlenmesi için geliştirilmiş kategori II izoplet sistemi, binalardaki tüm küf mantarlar için geçerlidir. $\pm\%5$ bağıl nem için bir ölçüm belirsizliği hesaba katılmıştır. Prosedür 0-30 °C aralığındaki farklı sıcaklıklar için tekrarlanır. Sistemden elde edilen bilgiler ile iç alanlarda kategori II' ye giren yapı malzemelerin üzerindeki küf büyüme süresi belirlenebilmiştir (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 : Kategori II için, küf mantar büyüme izoplet sistemi (Gün olarak(d) spor çimlenme zamanlarıdır).

8.2 İzoplet Sistemleri ve Yeni Modelin Arasındaki Karşılaştırma

Yeni model ve izoplet sistem modelleri arasında ilk karşılaştırmayı yapmak için çimlenme izopletleri çizilebilir. Şekil 8.3, yeni modelin kritik bağıl nemi için elde edilen izopletleri; Sedlbauer'in çimlenme izopletleri, xerofilik türler için ESP-r eğrisi ve VTT modeli ile karşılaştırılmıştır. Substrat kategori I çok hassas bir malzeme sınıflandırılmasında yer alsa da, yeni modele göre kritik bağıl nem, optimum sıcaklıkla, yani 25-30 C arasında substrat kategori I için Sedlbauer'in LIM eğrisine yakın olmak ile birlikte, sıcaklık düştükçe substrat kategorisi II nin LIM eğrisi ve xerofilik türler için ESP-r eğrisi ve VTT modeli ile oldukça uyumludur. Görülebileceği gibi, tipik bir iç ortam sıcaklığında, çimlenmeye başlamak için gerekli bağıl nem değeri, yeni modelde, substrat kategorisi I için Sedlbauer'in izopleti ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha büyüktür. Bu farkın her iki modelde de kullanılan çimlenme kriterlerinden kaynaklanabileceği dikkate alınmalıdır.



Şekil 8.3 : Çimlenme süresine göre yeni modelim, Sedlbauer'in substrat kategorisi I ve II, orijinal VTT modeli ve ESP-r xerophilic modeli ile arasındaki karşılaştırma.

8.2.1 İzoplet modelinin işlevselliği

Mantarların biyolojik büyüme koşullarını binadaki geçici sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak inceleyebilmek için ilk olarak, bir büyüme koşulları modeli geliştirilmelidir. Büyüme koşulları; bağıl nem, sıcaklık, yapı malzemelerin yüzeyinin besin açısından mantar büyümesi için uygun olup olmaması ve sporların büyümesi için gereken süredir. İzoplet sistemleri bu amaç için, şekil 8.4 ve şekil 8.5'de gösterildiği gibi kullanılabilir.

İzoplet sistemlerine mikro iklimsel sınır şartları girilir. Bunun için, izoplet sistemleri, denklem 8.1 temelinde tanımlanır. Buna benzeterek, tek tek izolinler çizilir. Eğriler arasındaki alanlar ise ara değerlerdir. Büyüme koşulları belirli bir süre için LIM eğrisinin üzerinde ise, substrat kategorisine bağlı olarak küf mantar aktivitesi gerçekleşebilir.

8.2.2 Hidrotermal modelin işlevselliği

İlk adım, geçici sıcaklık ve nem süreleri, ölçümler veya matematiksel yöntemlerle sınır şartlarının belirlenmesidir. Böylece, herhangi bir iklim verisini okuyarak, yapı fiziksel faktörlerinin, yapı bileşenlerinin ve bileşen yüzeylerinin geçici nem ve sıcaklık davranışları üzerindeki etkisi nedeniyle, Küf mantar oluşumunun öngörülmesi kolaylıkla sağlanır.

Her şeyden önce, WUFI simülasyon modelinde, mikro-iklimsel sınır koşulları olarak sıcaklık ve bağıl nem değerleri sonuç kısmından okunur.

Simülasyon modelinin mikro-iklimsel sınır koşulları süresi, substrata bağlı olarak izoplet modelinde spor çimlenmesinin gerçekleştiği kritik nem (RH_{crit}) süresi ile karşılaştırılır. Bu süre, mikro-iklimsel sınır koşulları limit değerini aşarsa, spor çimlenmesi başlar ve ardından hesaplama tekrar yapılır, gerekirse, yapı malzemesi veya katman yapısı modifiye edilerek hesaplama tekrar yapılır.

8.2.3 Modelleme ve simülasyon ile ilgili beklenen sonuç ve ön bilgiler

Amaç, modelleme prosedürünün sonunda, iç yüzeydeki özel konumların küf büyüme koşullarını simüle etmektir. Örneğin, sorunlu nokta mobilyanın arkasındaki köşe duvarları seçilirse, araştırmak için köşedeki yetersiz havalandırmanın küf büyüme riskini artırabilecek etkisinin göz önünde bulundurulmasıdır.

Simülasyon tipik olarak, belirli bir coğrafi konumda, bilinen (mikro) iklim koşullarında, bütün bina veya yeterince büyük bir bina bölgesi için gerçekleştirilir.

Simüle edilen bina bölgesi içinde, birkaç sorunlu nokta tanımlanır. Tipik olarak sorunlu noktalar genelde köşelerde, kenarlarda veya eksik bina detaylarının oluşturulduğu veya şüpheli noktalardır.

8.3 Geliştirilen Yöntemin Doğrulanması İçin Küf Problemi Olan Bir Binanın Araştırılması

Senelerdir küf problemi olan eski bir binada enerji konusunda iyileştirme yapmak ve sorunu çözmek amacıyla dış duvarın dışına ısı yalıtımı yapılmıştır. Ancak küf mantarları daha sonra tekrar görülmüştür. Bu vaka çalışmasının amacı, küf yayılmasını belirlemek ve sorunlu noktalarda küf büyüme riskine katkıda bulunan baskın parametrelerin tanımlanmasıdır.

Vaka çalışmasına konu olan mekan, Şekil 8.4’de gösterildiği gibi 1999 yılında inŐa edilmiş mevcut bir konut binasının bodrum katıdır.



Şekil 8.4 : Vaka, beş katlı bir apartmanın bodrum kat dairesidir.

Bu binada, uzun yıllardır dış duvarlarının i yüzeyinde kf istilası yaŐanmıŐtır. Şekil 8.5’de grldĞi gibi, mantolamadan sonra odanın alt köşesinde yoğun bir küflenme varken odanın orta kısımlarında hiç küflenme gözükmemektedir.

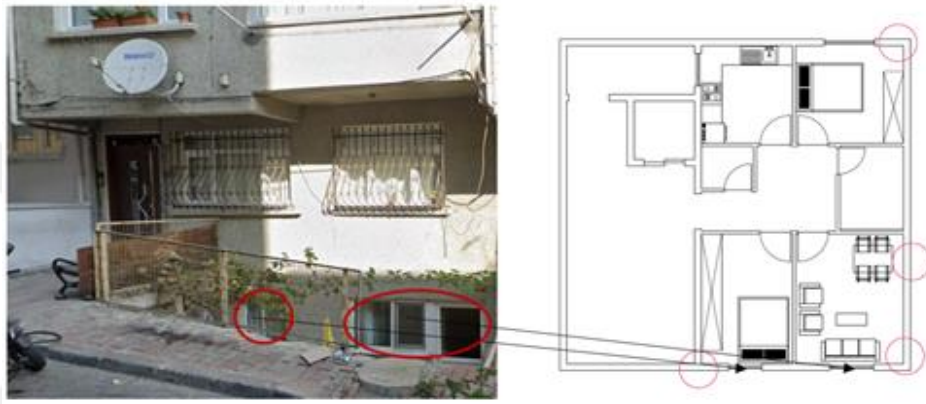


Şekil 8.5 : Duvarların alt kısmında kf mantarı istilası.

8.3.1 Vaka konusu olan yapı için bir model ve senaryosu

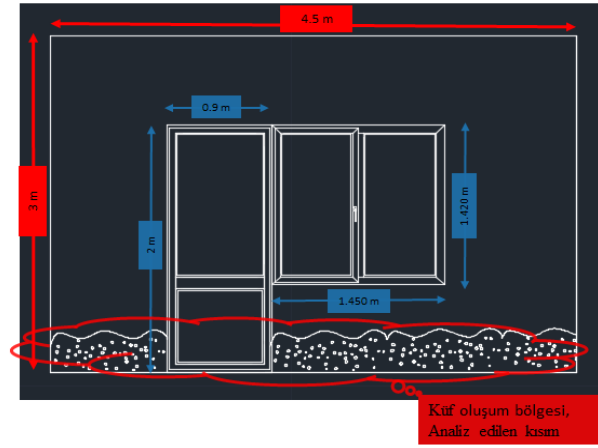
Problemi çözmek için, başta yapı modeli ve senaryosu hazırlanmıştır.

- Seçilen referans bina, İstanbul Şehri, Sefaköy ilçesinde, Şen sokağında bulunan beş katlı bir apartmanın bodrum kat dairesidir.
- Binanın mevcut konumu ise, ortalama 5 katlı binalarla çevrilmiş tipik bir kentsel ortama sahiptir.
- Şekilde 8.6, referans binanın dış görünüşü, planı ve küf oluşumunun konumları gösterilmiştir.

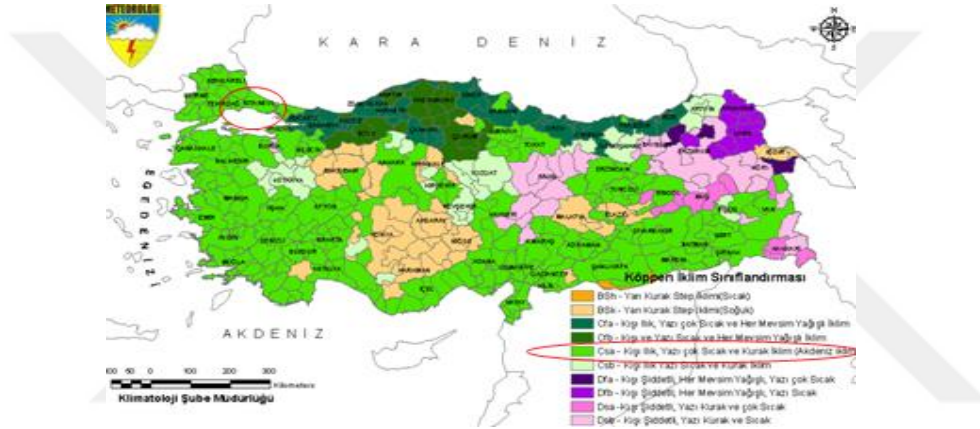


Şekil 8.6 : Vakanın, dış görünüşü, planı ve küf oluşumunun konumları.

- Hedef oda bodrum katta yer almaktadır ve sadece bir cephe dış ortam koşullara maruz kalmaktadır.
- Seçilen bölge, güney cephenin iç duvarıdır (Şekil 8.7).
- Küf oluşum analizinde, bu çalışmanın prosedürüne göre ilk adım şüpheli bölgenin mikro iklim koşullarına göre simüle edilmesidir
- Bu analizde, sızma veya çatlak akışının olmadığı gözönüne alınmıştır.
- Bu durumda analiz edilen bölge için, duvarın içindeki ısı ve nem akışı, fiziksel mekanizmaları yöneten ana unsurlar olarak kabul edilir.
- Simülasyon, İstanbul ikliminde bir yıllık süre için ayarlanmıştır.
- İstanbul iklim sınıflandırması ise; Köppen iklim sınıflandırmasına göre, Akdeniz iklimidir, yani bu iklimde kışlar ılık, yazlar ise çok sıcak ve kuraktır. (Şekil 8.8)



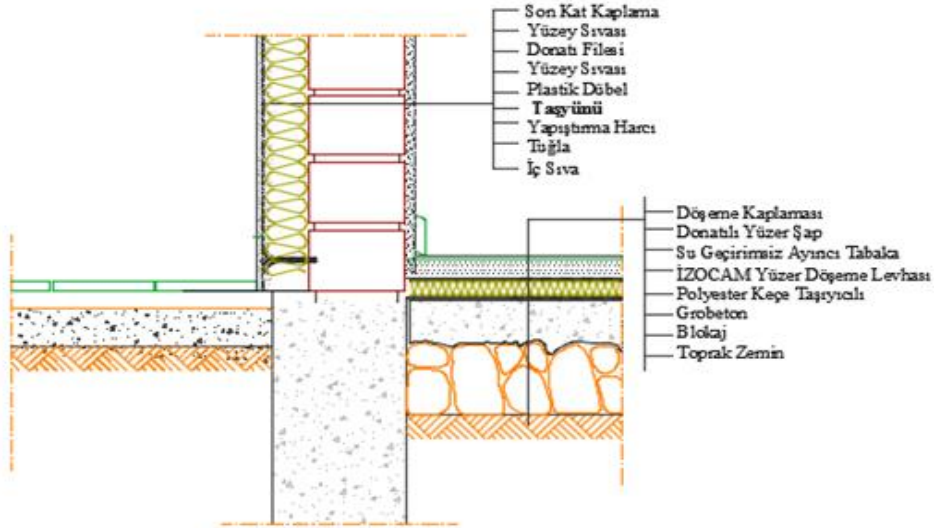
Şekil 8.7 : Analiz edilen duvarın ve içindeki pencerenin ebatları.



Şekil 8.8 : Köppen iklim sınıflandırmasına göre, İstanbul iklimi.

8.3.2 Yapı ve Malzeme Dataları

Simülasyona başlayabilmek için yapı katmanlaşması ve gerekli malzeme özelliklerinin bilgileri toplanmıştır. Binanın yapısı hakkındaki bilgi, ilgili binanın müteahhidinden alınmıştır. Bu bilgilere bağlı olarak yapı katmanmanlaşması çizilmiş ve her katmanın yapı malzemesi belirlenmiştir (Şekil 8.9).



Şekil 8.9 : Dış duvar detayı.

Yapı malzeme verileri ise, onay sertifikasından ve diğer bazı özellikler WUFI malzeme verileri bölümünden alınmıştır (Çizelge 8.3).

Çizelge 8.3 : Yapı malzeme özellikleri.

Özellikler	Değerler	Açıklama
Tuğla Yoğunluğu (kg/m^3)	1650	Malzeme Özellik tablosu
Tuğla ısı kapasitesi (J/mK)	0.41	Malzeme Özellik tablosu
Tuğla ısı iletkenliği (W/mK)	850	Malzeme Özellik tablosu
Tuğla difüzyon direnci (-)	0.6	Malzeme Özellik tablosu
Taş yünü yoğunluk (kg/m^3)	3.5	Malzeme Özellik tablosu
Taş yünü gözeneklilik (m^3/m^2)	0.95	Malzeme Özellik tablosu
Taş yünü ısı kapasitesi (J/mK)	700	Malzeme Özellik tablosu
Taş yünü ısı iletkenliği (W/mK)	0.035	Malzeme Özellik tablosu
Taş Yünü difüzyon direnci (-)	1	Malzeme Özellik tablosu
Diğer Malzemelerin Özellikleri WUFI malzeme veri bölümünden dir		

Pencere ve balkon kapı verileri ise ilgili firmadan sağlanmıştır (Şekil 8.10 ve Şekil 8.11).

Çizelge 8.4 : Genel WUFI sistem girdileri

Morötesi (UV) (W/m^2K)	2.73
Tüm pencerenin ısı transferi katsayısı (Frame Factor) (-)	0.7
Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenlik (SHGC)(-)	0.6
Dış yüzey emisyonu (emissivity of external surface)	0.85

Çizelge 8.5 : Detaylı çerçeve parametreleri

Tanımlama	Sol	Sağ	Üst	Alt
Çerçeve genişliği (Frame width)	0.75	0.75	0.75	1
U değeri (W/m^2k)	0.6	0.6	0.6	0.6
Cam Çerçeve Psi değeri (W/mK)	0.04	0.04	0.04	0.04
Çerçeve- Duvar Psi değeri(W/mK)	0.025	0.025	0.025	0.025

8.3.3 İç yükler ve kullanım verileri

İç yükler için gerekli dönemleri ve gün profilleri oluşturmak için bilgiler ise aşağıda verilmektedir:

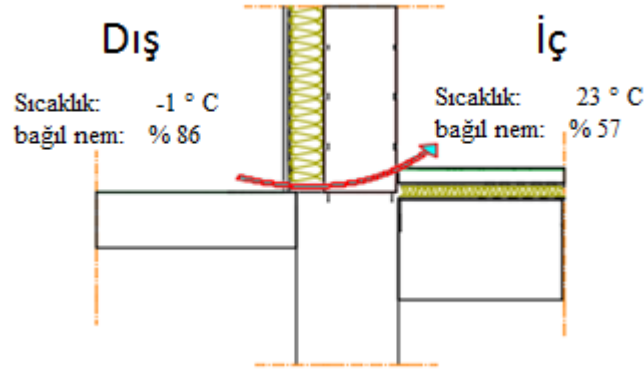
- Dairede 4 yetişkin yaşamaktadır.
- Hafta içi her sabah saat 8 de ta akşam saat 6 ye kadar 3 kişi evde yoktur.
- Genelde tüm aile hafta sonu evde bulunmaktadır.
- Yılın soğuk dönemlerinde her gün ısıtma sistemi çalışmaktadır.
- Kış dönemlerinde ortalama günlük sıcaklık $23^{\circ}C$ ve bağıl nem %57 civarındadır.
- Havalandırma doğal olarak ve camların açılması ile gerçekleşmektedir.

Bu bilgiler sistemde günlük ve yıllık profil verilerinin tamamlanması için kullanılmıştır.

8.4 Duvar Köşesinde Termal Köprü Analizi

Duvar köşelerinde olan ısı köprüsü, küf mantarlarının sık görüldüğü alanlardır. Bu vakada duvarın alt köşesi küf mantar oluşum bölgesi olması hakkındaki ilk tahmin, bu bölgede bir ısı köprüsünün olmasıdır. Elde edilen bilgilere göre, dış duvarın bina yapılmasından sonra dış mantolanması yapılmıştır. Bu nedenle, döşeme ve dış

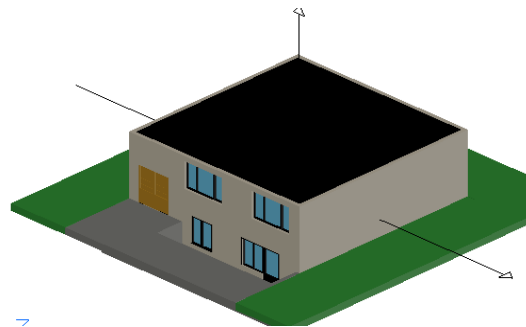
duvarın yalıtımlarının bitişik olamaması ve iki yalıtım arasında bir boşluk nedeniyle ısı köprüsü meydana gelmesidir (Şekil 8.12).



Şekil 8.12 :Isı köprüsünden dolayı ısı tutuculuk kaybı, kararlı durum hesaplamasındaki doğrusal veya noktasal termal geçirgenlik katsayıları ile hesaplanır.

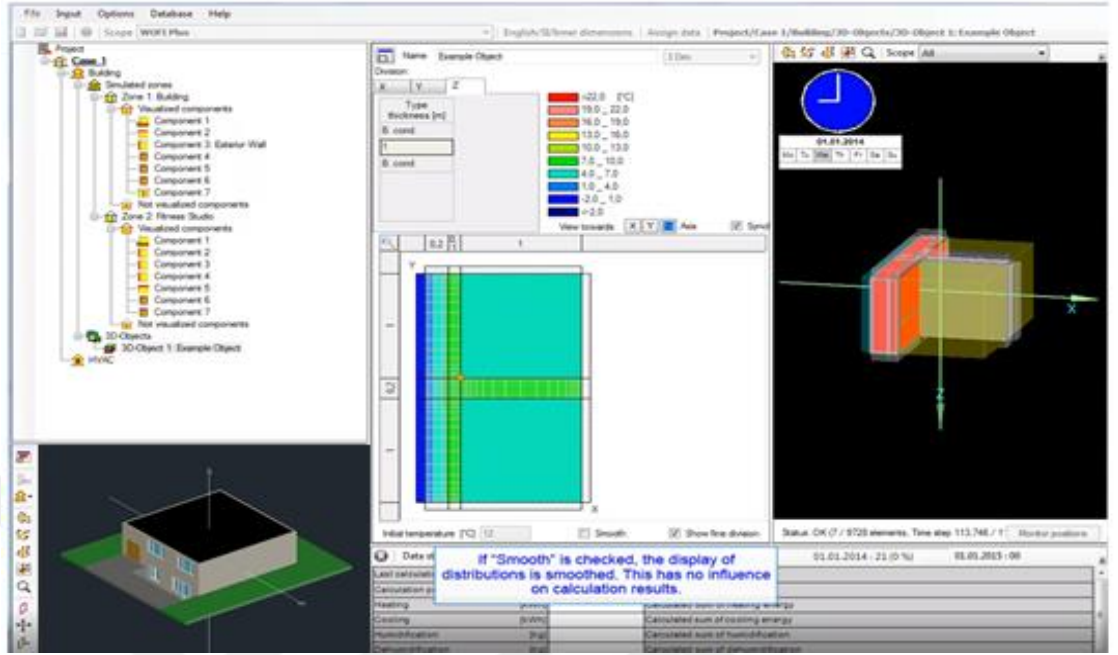
WUFI Plus yazılımına termal köprülerin eklenmesi, işlemin mümkün olduğunca kolaylaşması ve hesaplamaların doğru yapılmasını sağlar. WUFI 3-D objesi hesaplanmasında the finite volume (sonlu hacim) tekniği kullanılmaktadır (Eymard ve diğ. 2000).

WUFI sisteminde ısı köprüsünün hesaplanmasından önce binada inceleme yapılan bölgenin üç boyutlu çizilmesi ve bu çiziminin sisteme eklenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ise, binanın sadece bir bölgesinin değerlendirilmesi gerektiği için binanın iki katının üç boyutlu çizimi yapılmıştır (Şekil 8.13).



Şekil 8.13 :Analiz edilen bölgenin üç boyutlu çizimi

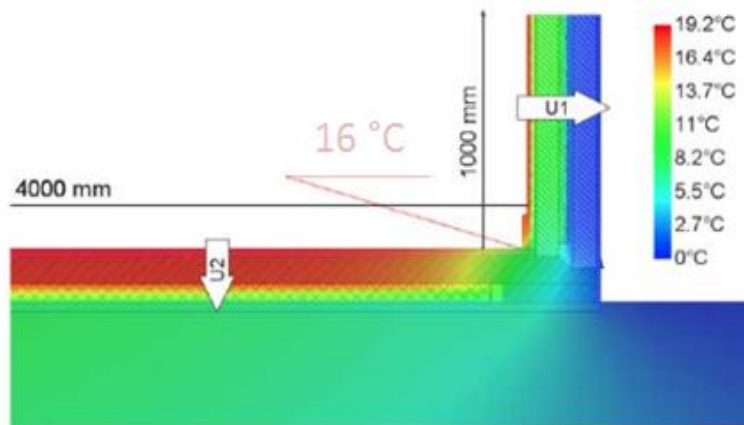
Daha sonra sisteme genel bilgiler ve en son olarak 3D obje bölümü için gerekli bilgiler girilmiştir (Şekil 8.14).



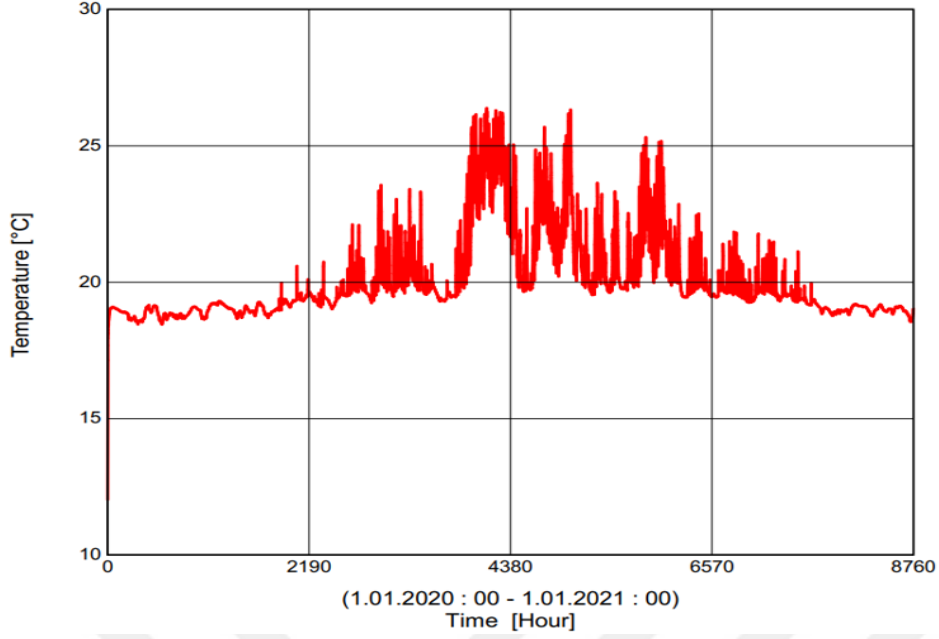
Şekil 8.14 : Hesaplama sırasında 3D Nesnenin görselleştirilmesi.

8.4.1 Sistem hesaplanmasında elde edilen sonuçlar

Elde edilen sıcaklık bilgilerine göre, duvar ve zeminin birleştiği yerde duvarın diğer bölümlerine göre daha düşük bir sıcaklık görülmektedir (Şekil 8.15) . Bu durum ise, burada bağıl nemin daha yüksek olduğunu ve küf büyümesine uygun bir ortam oluşmasına sebep olmuştur (Şekil 8.16).



Şekil 8.15 : Duvar köşesinde ısı köprüsü nedeniyle daha düşük sıcaklık oluşumu.



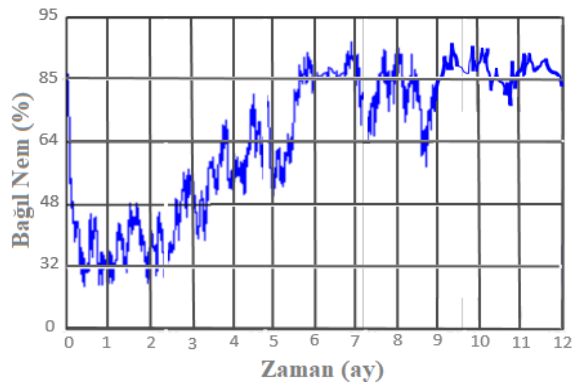
Şekil 8.16 : WUFI Plus yazılımında 3 boyutlu duvar alt köşesinin iç yüzey sıcaklık değişiminin grafiği.

8.4.2 Duvarın alt köşesinde küf oluşumunun belirlenmesi

Isı köprüsü nedeniyle, en düşük iç yüzey sıcaklık konumu olarak duvarın alt köşesi belirlenmiştir.

WUFI simülasyon programından bu bölgenin senelik bağıl nemi hesaplanmıştır.

Duvarın üst katmanı su bazlı, silikon katkılı boya olduğu nedeni ile kritik bağıl nemin hesaplamasında izoplet kategori II dikkate alınmıştır (şekil 8.16). Senelik bağıl nem hesaplamasında (şekil 8.17), bağıl nem 9. ayın başından ta 10. ayın ortasına kadar % 85'in üzerindedir. II. kategori izoplet sisteminde 15°C sıcaklıkta ve %85 bağıl nemde, 32 gün süre ile küf mantarı bu substrat üzerinde büyümeye başlar.



Şekil 8.17 : Duvar alt köşesinin yüzey bağıl neminin zamana bağlı değişimi.

9. MODEL SINIRLAMALARI

Yapı malzemelerinde küf oluşumunu değerlendirmek için bu modelde, bazı kısıtlamalar vardır:

En olumsuz küf çimlenme vakasına dayanarak küf riskinin değerlendirilmesi: Mantar sporları küf türlerine (örneğin, xerofilik veya higrofilik) bağlı olarak çimlenmek için farklı çevresel koşullar gerektirir. Bazı mantar türleri, mikotoksin üretiminde rol oynar ve bina kullanıcılarının sağlığı yönünden toksik olarak kabul edilirler.

Bu çalışma, her zaman en kötü durum senaryosunu aldığından ve mantar türlerinin gereksinimlere veya sağlık etkilerine göre sınıflandırılmasını dikkate almadığından, binalarda küf oluşumunun mantar sporlarının türünden bağımsız devam eder. Sonuç olarak, bina uygulamalarında, bir binada hangi tür mantar türlerinin bulunduğu tahmin edilmeyebilmektedir. Zehirli olan, ya da iskan edenlere, yani kullanıcılara zararlı olmayan mantar türleri bile yapılara zarar verebilmekte ve binanın ekonomik değerini düşürebilmektedir.

Bu yaklaşım bina kusurlarını kapsamaz: Kırık bir borudan su sızıntısı gibi bina sistemlerinde meydana gelen akut arızalar, mevcut binalardaki küflenme sorunlarının başlıca “özel” nedenlerindendir. Bu tür kusurlu bina performansı mevcut simülasyon kapasitesinde tahmin edilemez ve bu nedenle bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Bu konuları dikkate alan senaryolar ve ek mekanizmalar gelecekteki çalışmalar için bir konu olmaya devam etmekte ve incelenmesi önerilmektedir.

Bazı faktörler (oksijen, ışık gibi) modellerde dikkate alınmaz, ancak çimlenme ve büyümeyi engellemedikleri varsayılır. Bu sadeleştirmeler ile belirlenen sporun küflenmesinin olduğu sonucuna varılmaktadır.



10. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, mantar büyümesi geçici iç mekan koşulları altında incelenmiştir. İstanbul'daki konutların iç ortamındaki mantar problemlerinin fazla görülmesi, özellikle nemin depolanmasının sonuçları olan dinamiklerin önemini vurgulamaktadır.

Bu gündelik gerçekliği göz önünde bulundurarak, bu tezde açıklanan araştırmanın asıl amacı, konutların iç mekanlarında küf büyümesine neden olan sürecin anlaşılmasını geliştirmektir. Bu şekilde geliştirilmiş iç görü; çevre dostu, sağlıklı ve kalıcı bir iç mekân mantarı kontrol stratejilerinin geliştirilmesi yolunda ilk adım olmuştur. Temel süreci etkileyen pek çok parametrenin kontrol edilebilmesi için, bu tezdeki deneysel çalışma, İstanbul iç mekânlarında yaygın olan 6 mantar türü ve farklı yapı malzemeleri ile ilgili olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında malzeme sınıflandırmasında ana parametre olarak malzeme yüzeyindeki küf yoğunluğu belirlenmiştir. Buna göre, deneysel çalışmada küf mantarlarına karşı en yüksek duyarlılığı gösteren malzemeler sırasıyla;

- çift taraflı kartonlu alçı levha,
- taş yünü,
- su bazlı ve solvent bazlı boyalardır.
- Cam ve kompozit malzemelerde küf oluşumu gözlenmemiştir.

Deneysel çalışmalarda önemli konulardan biri, numunelerin farklı bağıl nemde küflenmeleri için gereken süredir.

Deney sonuçlarına göre;

Malzemelerin kritik bağıl nem, en düşük bağıl nemde substrat üzerinde indeks iki olması ile belirlenmiştir. Sonuçlara göre %80 bağıl nemde indeks iki sadece kategori I numunesinde gözlemlenmiştir. Bu değere ulaşmak için 12 hafta kadar bir süre gerekmektedir. Elde edilen sonuçlara göre taş yününün, kategori II'de olan diğer iki örneklere göre küf mantarına karşı duyarlılığı daha düşüktür. Bu malzemede, yani taş

yününde, küf gelişme İndeksinin 2'ye ulaşması için en düşük bağıl nem%85'tir. Deney sonuçlarına göre, substrat III olarak cam ve kompozit'de küf oluşumu gerçekleşmemiştir. Elde edilen sonuçların değeri, farklı sıcaklıklarda kritik bağıl nemi hesaplamak için kullanılmıştır.

Geliştirilen izoplet modelinde, spor çimlenme süreleri, sıcaklığa ve bağıl neme bağlı olarak iki farklı alt tabaka kategorisi için belirlenmiştir. Yukarıda sözü edilen endikasyonlar, mevcut bilgi durumuna göre bilindiği gibi, her zaman en düşük spor çimlenme zamanları ve en yüksek büyüme oranları göz önüne alındığında, binalarda meydana gelen mantar türleri için geçerli olur. Bu izoplet modeli, farklı yapısal durumlarda küf mantarlarının çimlenmesi için gereken minimum süreyi belirlemeye izin verir.

Sabit iklimsel sınır koşullarında, spor çimlenmesi için izoplet sistemlerinde belirtilen hidrotermal büyüme koşulları, alt-tabakaya bağlı olarak aşılmazsa, küf mantarı oluşumu izoplet modeline göre dışlanabilir, yani bir sonuç elde edilemez. İzoplet modeli, bina fiziki bakışı açısından önemli bir aralık olan 0 ° C ve 30 ° C aralığındaki en düşük mantar aktivitesi sınırını tanımlar.

Küf gelişimi için sıcaklık ve bağıl nemin aynı anda olması ve belirli bir sınırın altına düşmemesi, aynı zamanda optimum sıcaklıklarda minimum bağıl nemin yeterli olması ve optimum bağıl nemde minimum sıcaklığın olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bununla birlikte, bu tezde, labrtuvar çalışmalar ve kullanılan similasyon programın ışığında, küf mantar oluşumuna gösteren duyarlılığa göre farklı malzeme sınıflarından elde edilen sonuçlara bağlı olarak ilk kez ayrıntılı göstergeler oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, izoplet sistemin eğrilerin çizilmesinde, laboratuvar çalışmasında elde edilen sonuçlar ve literatür araştırmasına bağlı olarak elde edilen bilgiler kullanılmış ve gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen değerler, farklı sıcaklıktaki kritik bağıl nem değerlerinin hesaplanmasında kullanılmış ve sonuçlar izoplet sisteminin çiziminde değerlendirilmiştir.

İzoplet sisteminde; substrat kategorisine göre LIMmat eğrisinin, yani izoplet sistemindeki en altta kalan eğrinin altında kalan değerlerin küf büyümesi için yetersiz olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, spor çimlenmesi için elde edilen

genelleştirilmiş izoplet sistemi, binalardaki diğer tüm küf mantarları için de geçerlidir. $\pm\%5$ ' lik bir bağıl nem farkı için bir ölçüm belirsizliği de hesaba katılmıştır. Böylece, sistemde elde edilen bilgiler ile iç alanlarda yapı malzemelerinin üzerindeki küf büyüme süreleri belirlenebilmiştir.

Uygulama örnekleri ile kanıtlandığı gibi, ısı yalıtım seviyesinin iyileştirilmesi, dış yapı bileşenlerinin iç yüzeylerinde küf mantarı oluşum riskini azaltmak için en uygun önlemdir.

Amaç, iç yüzeydeki özel konumların küf büyüme koşullarını simüle etmektir. Örneğin, sorunlu nokta mobilyanın arkasındaki köşe duvarları seçilirse, araştırmak için köşedeki yetersiz havalandırmanın küf büyüme riskini artırabilecek etkisinin göz önünde bulundurulmasıdır.

Öte yandan, iç yüzey sıcaklığı ve ısı geçiş katsayısına bağlı olarak, 16°C ve 20°C iç hava sıcaklığı için farklı sabit dış hava sıcaklıkları söz konusu olabilir. Isı köprüleri değerlendirilirken, doğrudan ısı köprü konumunda belirlenen iç yüzey sıcaklığı temel olarak alınabilir veya basit olarak ısı köprü bölgesi için kurgusal bir ısı geçiş katsayısı belirlenebilir.

Herhangi bir iklim sınır koşulunda bina yapılarını değerlendirmek için, geçici sıcaklık ve bağıl nem süreleri, binadaki küflenme olasılığı olan yerlerde, hidrotermal hesaplama programı WUFI aracılığıyla hidrotermal model için girdi parametreleri kullanılarak hesaplama yapılabilir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar çerçevesinde bu alanda daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Test edilenler dışındaki sıcaklıklar için kritik nem seviyelerini değerlendirme yöntemini doğrulamak için, farklı testler ve bu testlere bağlı olarak öngörülen sonuçları karşılaştırılabilmek için bu amaçla başka testler de yapılmalıdır.

Bu tez çalışmasında, sadece yapı dış kabuğunun iç yüzeyindeki küf oluşumunun değerlendirilmesi yapılmıştır. Her ne kadar çeşitli sebeplerden dolayı, binanın farklı kısımlarında küf oluşumu varsa da, bunlar araştırma kapsamı dışında kalmıştır.

Bu nedenle, bu bölümlerin her biri ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu analizlere göre, tüm binadaki mantarların büyümesi hakkında genel bir bakış elde edilebilir.

Yapı malzemeleri üzerinde küf büyümesinin önlenmesi için gerekli önlemlerin tasarım aşamasında öngörülmesi ve malzemelerin hizmet ömrü boyunca küf oluşumu riskinin en aza indirilmesi en önemli adımdır. İkinci bir seçenek ise, yapı malzemeleri üzerinde biyosit kullanılmasıdır. Ancak, biyositlerin, toksik ve uçucu olmaması, çevresel koşullar ve kullanım yönünden güvenli olması gereklidir. Bu konuda, yapılan literatür araştırmasına göre, borat bileşiklerinin, çeşitli malzemelerin korunmasında düşük toksisite ve çok yönlülük gereksinimlerini karşıladığı anlaşılmaktadır. Bu konu gelecekteki çalışmaların bir konusu olarak ele alınabilir.



KAYNAKLAR

- Abe, K.** (2012). Assessment of home environments with a fungal index using hydrophilic and xerophilic fungi as biologic sensors. *Indoor Air*, 22(3), 173-185.
- Adan, O. C. G.** (1994). *On the fungal defacement of interior finishes*. Technische Universiteit Eindhoven.
- Ahiamba J.E., Dimuna, K.O. & Okogun, G.R.A.** (2008). Built Environment Decay and Urban Health in Nigeria. *Journal of Human Ecology*, Vol. 23 No. 3 pp. 259-265.
- Airaksinen, M.** (2003). Moisture and fungal spore transport in outdoor air ventilated crawl spaces in a cold climate [thesis]. Espoo, Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Laboratory of Heating, Ventilating and Air Conditioning.
- Akyazi, Ö., Usta, M. A., & Akpınar, A. S.** (2011). Kapalı ortam sıcaklık ve nem denetiminin farklı bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmesi. In *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* (pp. 16-18).
- Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Rahman, A. M. A.** (2014). A review of the potential of attic ventilation by passive and active turbine ventilators in tropical Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, 10, 232-240.
- Altun, S. H.** (2015). İç ortam hava kirliliğinin doğurabileceği sağlık etkileri. *On dokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*.
- American Society for Testing and Materials** (2000). ASTM C1338-00 Standard Test Method for Determining Fungi Resistance of Insulation Materials and Facings
- Antretter, F.** (2013). Coupling of Dynamic Thermal Bridge and whole Building simulation.
- Apte, K., & Salvi, S.** (2016). Household air pollution and its effects on health. *F1000Research*, 5.
- Arıcı, M., & Seçilmiş, M.** (2007). Kapalı Yüzme Havuzlarının Nem Kontrolü Ve Ekonomik Olarak İklimlendirilmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (98), 7-18.
- Ashmore, M. R., Vries, W. D., Hettelingh, J. P., Hicks, K., Posch, M., Reinds, G. J., ... & van Dobben, H. F.** (2008). Environmental and health impacts of air pollution.

- Ayanbimpe, G. M., Danjuma, W. S., & Okolo, M. O.** (2012). *Relationship between fungal contamination of indoor air and health problems of some residents in Jos* (Vol. 2012, pp. 1-20). London, England: IntechOpen.
- Ayanbimpe, G. M., Wapwera, S. D., & Kuchin, D.** (2010). Indoor air mycoflora of residential dwellings in Jos metropolis. *African Health Sciences*, 10(2).
- Ayerst, G.** (1969). The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi. *Journal of stored products research*, 5(2), 127-141.
- Backman E et al.** (2000). The effect of air leakage through the moisture damaged structures in a school building having mechanical exhaust ventilation. In: *Proceedings of Healthy Buildings 2000*. Vol.3. Espoo, Sisällmasto-seminarit :141–146.
- Barksdale, L., & Kim, K. S.** (1977). Mycobacterium. *Bacteriological reviews*, 41(1), 217.
- Baughman, A., & Arens, E. A.** (1996). Indoor humidity and human health--Part I: Literature review of health effects of humidity-influenced indoor pollutants. *ASHRAE transactions*, 102, 192-211.
- Bauman, F. And Webster, T.** (2001). Outlook for Underfloor Air Distribution. *ASHRAE Journal*, Volume: 43(6), Pp. :18-27, June (2001).
- Berberoğlu, U., & Motör, D.** (2011). Edirne’de Bir Dokuma-Konfeksiyon İşletmesinde İç Ortam Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi, *X. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13-16.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J.** (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8), 911-917.
- Bluyssen, P. M.** (2010). Towards new methods and ways to create healthy and comfortable buildings. *Building and environment*, 45(4), 808-818.
- Bomberg, M., & Brown, W.** (1993). Building envelope: heat, air and moisture interactions. *Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes*, 16(4), 306-311.
- Bower, J.** (2009). Indoor Air Pollutants and Toxic Materials. *Environmental Health*.
- Brasel, T. L., Douglas, D. R., Wilson, S. C., & Straus, D. C.** (2005). Detection of airborne *Stachybotrys chartarum* macrocyclic trichothecene mycotoxins on particulates smaller than conidia. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(1), 114-122.
- Bronsema, B. Seppänen, O., Björck, M., Carrer, P., Clausen, G., Fitzner, K., & Maroni, M.** (2002). Performance criteria of buildings for health and comfort. *ISIAQ-CIB TG*, 42, 59.
- Buchanan, R. L., Whiting, R. C., & Damert, W. C.** (1997). When is simple good enough: a comparison of the Gompertz, Baranyi, and three-phase linear models for fitting bacterial growth curves. *Food microbiology*, 14(4), 313-326.

- Buck, F., Brylka, B., Müller, V., Müller, T., Hrymak, A. N., Henning, F., & Böhlke, T.** (2015). Coupling of mold flow simulations with two-scale structural mechanical simulations for long fiber reinforced thermoplastics. In *Materials Science Forum* (Vol. 825, pp. 655-662). Trans Tech Publications Ltd.
- Bush, R. K., Portnoy, J. M., Saxon, A., Terr, A. I., & Wood, R. A.** (2006). The medical effects of mold exposure. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 117(2), 326-333.
- Can, E., Üzmez, Ö. Ö., Döğeroğlu, T., & Gaga, E. O.** (2015). Indoor air quality assessment in painting and printmaking department of a fine arts faculty building. *Atmospheric Pollution Research*, 6(6), 1035-1045.
- Carpenter, L. R., Nelson, E. E., & Stewart, J. L.** (1979). Development of dwarf mistletoe infections on western hemlock in coastal Oregon. *Forest Science*, 25(2), 237-243.
- Cavalier-Smith, T.** (1987). Evolutionary biology of the fungi. In *Symposium of the British Mycological Society*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ceylan, A.** (2011). İklimlendirme Sistemlerinin Yapı İçi Hava Niteliği Üzerindeki Olumsuz Etkileri. Yıldız teknik üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, yüksek lisans tezi, İstanbul.
- Charles, K.E.** (2003). Fanger's Thermal Comfort and Draught Models. Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, IRC Research Report RR-162, Ottawa, Canada, 10 October.
- Charpin-Kadouch, C., Maurel, G., Felipo, R., Queralt, J., Ramadour, M., Dumon, H., ... & Charpin, D.** (2006). Mycotoxin identification in moldy dwellings. *Journal of Applied Toxicology: An International Journal*, 26(6), 475-479.
- Chen, J., Augenbroe, G., & Song, X.** (2018). Evaluating the potential of hybrid ventilation for small to medium sized office buildings with different intelligent controls and uncertainties in US climates. *Energy and Buildings*, 158, 1648-1661.
- Chen, P. S.** (1966). Amino acid and protein metabolism in insect development. In *Advances in insect physiology* (Vol. 3, pp. 53-132). Academic Press.
- Claeson, A. S., Sandström, M., & Sunesson, A. L.** (2007). Volatile organic compounds (VOCs) emitted from materials collected from buildings affected by microorganisms. *Journal of environmental monitoring*, 9(3), 240-245.
- Clarke, J.A., Johnstone, C.M., Kelly, N.J., McLean, R.C., Anderson, J.A., Rowan, N.J., Smith, J.E.** (1999). A technique for the prediction of the conditions leading to mould growth in buildings, *Building and Environment* 34, pp. 515-521.
- Clausen, G., Fernandes, E. D. O., DeGids, W., Delmotte, C., Hanssen, S. O., Kephelopoulou, S., & Wouters, P.** (2003). Ventilation, good indoor air quality and rational use of energy.

- Codina, R., Fox, R. W., Lockey, R. F., DeMarco, P., & Bagg, A.** (2008). Typical levels of airborne fungal spores in houses without obvious moisture problems during a rainy season in Florida, USA. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 18(3), 156.
- Cole, G. T.** (1996). Basic biology of fungi. *Medical Microbiology*. 4th edition.
- Dales, R. E., Zwanenburg, H., Burnett, R., & Franklin, C. A.** (1991). Respiratory health effects of home dampness and molds among Canadian children. *American journal of epidemiology*, 134(2), 196-203.
- Dedesko, S., & Siegel, J. A.** (2015). Moisture parameters and fungal communities associated with gypsum drywall in buildings. *Microbiome*, 3(1), 1-15.
- Dehoog, G. S., Guarro, J., Gené, J., & Figueras, M. J.** (2000). *Atlas of clinical fungi* (No. Ed. 2). Centraalbureau voor Schimmelcultures (CBS).
- Dekker, W. J., Wiersma, S. J., Bouwknecht, J., Mooiman, C., & Pronk, J. T.** (2019). Anaerobic growth of *Saccharomyces cerevisiae* CEN. PK113-7D does not depend on synthesis or supplementation of unsaturated fatty acids. *FEMS yeast research*, 19(6), foz060.
- Dekoster, J.A., Thorne, P.S.** (1995). Bioaerosol concentrations in noncomplaint, complaint and intervention homes in the Midwest. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56:573–580.
- Demirarslan, K. O., & Başak, S.** (2018). Hasta bina sendromu kavramı literatür araştırması ve çeşitli mekânların iç hava kalitelerinin karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 190-20.
- Destailats, H., Fisk, W.H., Apte, M.G.** (2008). Are Ventilation Filters Degrading Indoor Air Quality In California Classrooms?. Environmental Energy Technologies Division Indoor Environment Department, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CEC-500-2009-054, October.
- Dharmage, S., Bailey, M., Raven, J., Mitakakis, T., Thien, F., Forbes, A., ... & Walters, E. H.** (1999). Prevalence and residential determinants of fungi within homes in Melbourne, Australia. *Clinical and Experimental Allergy*, 29(11), 1481-1489.
- Douwes, J., Van der Sluis, B., Doekes, G., van Leusden, F., Wijnands, L., van Strien, R., & Brunekreef, B.** (1999). Fungal extracellular polysaccharides in house dust as a marker for exposure to fungi: relations with culturable fungi, reported home dampness, and respiratory symptoms. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 103(3), 494-500.
- Douwes, J., Versloot, P., Hollander, A., Heederik, D., & Doekes, G.** (1995). Influence of various dust sampling and extraction methods on the measurement of airborne endotoxin. *Applied and environmental microbiology*, 61(5), 1763-1769.
- Dubey, S., Lanjewar, S., Sahu, M., Pandey, K., & Kutti, U.** (2011). The Monitoring of Filamentous Fungi in the Indoor Air Quality, and Health. *Journal of Phytology*.

- Duchaine, C., Thorne, P. S., Mériaux, A., Grimard, Y., Whitten, P., & Cormier, Y.** (2001). Comparison of endotoxin exposure assessment by bioaerosol impinger and filter-sampling methods. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(6), 2775-2780.
- Eduard, W.** (2006). The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals: 139. Fungal spores.
- Elbert, W., Taylor, P.E., Andreae, M.O., Po schl, U.** (2007) Contribution of fungi to primary biogenic aerosols in the atmosphere: Wet and dry discharged spores, carbohydrates, and inorganic ions. *Atmos Chem Phys* 7:4569–4588.
- Elkoca, E.** (2003). Hava kirliliği ve bitkiler üzerindeki etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(4), 367-374.
- Ellringer, P. J., Boone, K., & Hendrickson, S.** (2000). Building materials used in construction can affect indoor fungal levels greatly. *AIHAJ-American Industrial Hygiene Association*, 61(6), 895-899.
- Environmental Protection Agency(EPA).** (2013).Indoor Air Pollutoin and Health Report series No. 104.
- Environmental Protection Agency(EPA).** (1997). EPA, “An Office Building Occupants Guide to Indoor Air Quality, UnitedStatesEnvironmentalProtectionn Agency” Indoor Environments Division.
- Eymard, R., Gallouët, T., & Herbin, R.** (2000). Finite volume methods. *Handbook of numerical analysis*, 7, 713-1018.
- Flannigan, B.** (1997). Air sampling for fungi in indoor environments. *Journal of Aerosol Science*, 28(3), 381-392.
- Fisk, W. J.** (2002). How IEQ affects health, productivity. *ASHRAE journal*, 44(LBNL-51381).
- Flannigan, B.** (2001). Deteriogenic micro-organisms in houses as a hazard to respiratory health. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 48(1-4), 41-54.
- Fries, N.** (1973). Effects of volatile organic compounds on the growth and development of fungi. *Transactions of the British mycological society*, 60(1), 1-21.
- Fröhlich-Nowoisky, J., Pickersgill, D. A., Després, V. R., & Pöschl, U.** (2009). High diversity of fungi in air particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(31), 12814-12819.
- Gallup, J. M., Kozak, P., Cummins, L., & Gillman, S.** (1987). Indoor mold spore exposure: characteristics of 127 homes in southern California with endogenous mold problems. In *Advances in aerobiology* (pp. 139-
- Garrett, M. H., Rayment, P. R., Hooper, M. A., Abramson, M. J., & Hooper, B. M.** (1998). Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in

- children. *Clinical and experimental allergy: journal of the British Society for Allergy and Clinical Immunology*, 28(4), 459-467.
- Gertis, K.** (1992). Belüftete Wandkonstruktionen. Bericht aus der Bauforschung, H. 72. Ernst & Sohn-Verlag, Berlin.
- Gertis, K., & Mehra, S. R.** (2001). Bauphysik, Vorlesungsskript. *Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart*.
- Gots, R. E., Layton, N. J., & Pirages, S. W.** (2003). Indoor health: background levels of fungi. *AIHA journal*, 64(4), 427-438.
- Grant, C.; Hunter, C. A.; Flannigan, B.; Bravery, A. F.** (1989). The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings. *International Biodeterioration* 25, p. 259 – 284.
- Grono, A. J., Redlarski, G., & Niklas, P.** (2008). Selected aspects of testing of automatic synchronizers of power generators in the real time. *Przegląd Elektrotechniczny*, 84(4), 111-112.
- Guan, W. J., Zheng, X. Y., Chung, K. F., & Zhong, N. S.** (2016). Impact of air pollution on the burden of chronic respiratory diseases in China: time for urgent action. *The Lancet*, 388(10054), 1939-1951.
- Guarner, J., & Brandt, M. E.** (2011). Histopathologic diagnosis of fungal infections in the 21st century. *Clinical microbiology reviews*, 24(2), 247-280.
- Hardin, B. D., Kelman, B. J., & Saxon, A.** (2003). Adverse human health effects associated with molds in the indoor environment. *Journal of Occupational and Environmental medicine*, 45(5), 470-478.
- Harving, H., Korsgaard, J., & Dahl, R.** (1993). House-dust mites and associated environmental conditions in Danish homes. *Allergy*, 48(2), 106-109.
- Haverinen, U.** (2002). Modeling moisture damage observations and their association with health symptoms.
- Hänninen, O. O., Lebre, E., Ilacqua, V., Katsouyanni, K., Künzli, N., Srám, R. J., & Jantunen, M.** (2004). Infiltration of ambient PM_{2.5} and levels of indoor generated non-ETS PM_{2.5} in residences of four European cities. *Atmospheric Environment*, 38(37), 6411-6423.
- Hens, H.** (2002). Heat, air and moisture transfer in highly insulated building envelopes (Hamtie) (p. 22). FaberMaunsell Limited.
- Hersoug, L. G.** (2005). Viruses as the causative agent related to 'dampness' and the missing link between allergen exposure and onset of allergic disease. *Indoor Air*, 15(5), 363-366.
- Heseltine, E., & Rosen, J. (Eds.).** (2009). WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould.
- Hock N, et al.** (2008) Rural continental aerosol properties and processes observed during the Hohenpeissenberg Aerosol Characterization Experiment (HAZE2002). *Atmos Chem Phys* 8:603–623.

- Hocking, A. D.** (1993). Responses of xerophilic fungi to changes in water activity.
- Holgate, S. T.** (2017). 'Every breath we take: the lifelong impact of air pollution'—a call for action. *Clinical Medicine*, 17(1), 8.
- Hukka, A., & Viitanen, H. A.** (1999). A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology*, 33(6), 475-485.
- Identified Health Risks (SCENIHR).** (2007). Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health.
- Janssen, N. A., Schwartz, J., Zanobetti, A., & Suh, H. H.** (2002). Air conditioning and source-specific particles as modifiers of the effect of PM (10) on hospital admissions for heart and lung disease. *Environmental health perspectives*, 110(1), 43-49.
- Jiang, Y., & Chen, Q.** (2001). Study of natural ventilation in buildings by large eddy simulation. *Journal of Wind engineering and industrial aerodynamics*, 89(13), 1155-1178.
- Ji, Y., Lomas, K. J., & Cook, M. J.** (2009). Hybrid ventilation for low energy building design in south China. *Building and Environment*, 44(11), 2245-2255.
- Johansson, P.** (2011). Assessment of the risk for mold growth in a wall retrofitted with vacuum insulation panels. In *Proceedings of the 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland, 29 May-2 June, 2011*.
- Johansson, P.** (2014). *Determination of the critical moisture level for mould growth on building materials*. Lund University.
- Kalamees T et al.** (2007). Air pressure conditions in Finnish residences. In: Seppänen O, Säteri J, eds. *Clima 2007: WellBeing Indoors* [CD-ROM]. Helsinki, Finnish Association of HVAC Societies.
- Kalamees, T., Korpi, M., Eskola, L., Kurnitski, J., & Vinha, J.** (2008). The distribution of the air leakage places and thermal bridges in Finnish detached houses and apartment buildings. In *Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries* (pp. 16-18). Technical University of Denmark Copenhagen, Kgs. Lyngby.
- Kauffman, H. F., Tomee, J. F., Van Der Werf, T. S., De Monchy, J. G., & Koeter, G. K.** (1995). Review of fungus-induced asthmatic reactions. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 151(6), 2109-2115.
- Kauserud, H., Svegård, I. B., SÆTRE, G. P., Knudsen, H., Stensrud, Ø., Schmidt, O., ... & Högberg, N.** (2007). Asian origin and rapid global spread of the destructive dry rot fungus *Serpula lacrymans*. *Molecular Ecology*, 16(16), 3350-3360.
- Kaynaklı, Ö. and Yiğit, A.** (2003). İnsan Vücudu İçin Isı Dengesi ve Isıl Konfor Şartları. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt No:5, Sayı No:2, Sayfa No:9-17, Mayıs.

- Keskin, S.S. and Ekmekcioğlu, D.** (2011). Okul Binalarında İç Ortam Havası Pm Kütlesinin Konsantrasyonlarına Trafik Yükünün Etkileri. X. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi ve Sergisi/TESKON, İzmir, Sayfa No:1737-1747, Nisan.
- Kilpeläinen M et al.** (2000). Heat and moisture distribution at the connection of floor and external wall in multi-storey timber frame houses. In: Proceedings of the 6th World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia [CD-ROM]. Vancouver, Canadian Pension and Benefits Institute.
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., & Engelmann, W. H.** (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 11(3), 231-252.
- Kocahakimoğlu, C., Turan, D., Özeren, F., Sofuoğlu, A., Sofuoğlu, S.C.** (2009). İlköğretim Okullarında Binan İç Hava Ozon Derişimleri. IX. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi ve Sergisi/TESKON, İzmir, Sayfa No:697-703, Mayıs.
- Korur, S., Oğuzalp, E.H., Korkmaz, S.Z.** (2011). Yapı Biyolojisi ve Elektroiklimsel Kirlilik. e- Journal of New World Sciences Academy, Volume:6, Number:4, pp:882-899.
- Kosonen, R. and Tan, F.** (2004). Assessment Of Productivity Loss In Air-Conditioned Buildings Using PMV Index. *Energy and Buildings*, Volume:36, Pages: 987–993.
- Kuhn, D. M., & Ghannoum, M. A.** (2003). Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clinical microbiology reviews*, 16(1), 144-172.
- Kurnitski J** (2000a). Crawl space air change, heat and moisture behaviour. *Energy and Buildings*, 32:19–39.
- Kurnitski J** (2000b). Humidity control in outdoor-air-ventilated crawl spaces in cold climate by means of ventilation, ground covers and dehumidification [thesis]. Espoo, Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Laboratory of Heating, Ventilating and Air Conditioning (Report A3).
- Kuş, M.** (2007). Şanlıurfa İlindeki Yükseköğretim Kurumları Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin İncelenmesi ve Modellenmesi. Balıkesir üniversitesi fen bilimleri enstitüsü makine mühendisliği anabilim dalı, doktora tezi, Eylül.
- Künzel, H.** (1997). Indoor air humidity conditions in living spaces. IBP Communication 24.
- Künzel, H. M.** (1995). Simultaneous heat and moisture transport in building components. *One-and two-dimensional calculation using simple parameters. IRB-Verlag Stuttgart*, 65.
- Lamb, W.F.; Creutzig, F.; Callaghan, M.W.; Minx, J.C.** (2018). Learning about urban climate solutions. *Nat. Clim. Chang.*, 9, 279–287

- Landrigan, P. J.** (2017). Air pollution and health. *The Lancet Public Health*, 2(1), e4-e5.
- Lee, D., Robertson, C., Ramsay, C., Gillespie, C., & Napier, G.** (2019). Estimating the health impact of air pollution in Scotland, and the resulting benefits of reducing concentrations in city centres. *Spatial and spatio-temporal epidemiology*, 29, 85-96.
- Leech, J. A., Raizenne, M., & Gusdorf, J.** (2004). Health in occupants of energy efficient new homes. *Indoor air*, 14(3), 169-173.
- Li, C.S., Kuo, Y.M.** (1994). Characteristics of airborne microfungi in subtropical homes. *Science of the Total Environment*, 155:267–271.
- Liu, D.L., Nazaroff, W.W.** (2001). Modeling pollutant penetration across building envelopes. *Atmospheric Environment*, 35:4451–4462.
- Ma, Z., Ren, H., & Lin, W.** (2019). A review of heating, ventilation and air conditioning technologies and innovations used in solar-powered net zero energy Solar Decathlon houses. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118158.
- Maheshwari, R., Bharadwaj, G., & Bhat, M. K.** (2000). Thermophilic fungi: their physiology and enzymes. *Microbiology and molecular biology reviews*, 64(3), 461-488.
- Mayer, F. L., Wilson, D., & Hube, B.** (2013). *Candida albicans* pathogenicity mechanisms. *Virulence*, 4(2), 119-128.
- Mendell, M. J., & Fisk, W. J.** (2007). Is health in office buildings related only to psychosocial factors?. *Occupational and environmental medicine*, 64(1), 69-70.
- Mendell, M. J., & Smith, A. H.** (1990). Consistent pattern of elevated symptoms in air-conditioned office buildings: a reanalysis of epidemiologic studies. *American journal of public health*, 80(10), 1193-1199.
- Michael, L. and A.H.S. Chan, A.H.S.** (2006). Control and Management of Hospital Indoor Air Quality. *Medical Science Monitor Journal*, Volume:12(3), SR17-23
- Miller, J. D.** (2011). Health effects from mold and dampness in housing in western societies: early epidemiology studies and barriers to further progress. In *Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living* (pp. 183-210). Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Miller, S.L., Facciola, N., Toohey, D., Zhai, J.** (2008). Identification, Classification and Correlation of Ultrafine Indoor Airborne Particulate Matter with Outdoor Values. Department of Mechanical Engineering, University of Colorado, ASHRAE Research Project 1281-RP Final Report, March.
- Mirabelli, M. C., Wing, S., Marshall, S. W., & Wilcosky, T. C.** (2006). Asthma symptoms among adolescents who attend public schools that are located near confined swine feeding operations. *Pediatrics*, 118(1), e66-e75.

- Money, N. P.** (2016). Fungal cell biology and development. In *The fungi* (pp. 37-66). Academic Press.
- Moon, H. J.** (2005). Assessing mold risks in buildings under uncertainty. Georgia Institute of Technology.
- Mosley RB et al.** (2001). Penetration of ambient fine particles into the indoor environment. *Aerosol Science and Technology*, 34:127–136.
- Mudarri, D., & Fisk, W. J.** (2007). Abstract. *Indoor air*, 17(3), 226-235.
- Nakhi, A. E.** (1995). Adaptive construction modelling within whole building dynamic simulation. *University of Strathclyde, Glasgow, UK*.
- O'Connor, A. M., Llewellyn-Thomas, H. A., & Flood, A. B.** (2004). Modifying Unwarranted Variations In Health Care: Shared Decision Making Using Patient Decision Aids: A review of the evidence base for shared decision making. *Health Affairs*, 23(Suppl2), VAR-63.
- Othman, N. L., Jaafar, M., Harun, W. M. W., & Ibrahim, F.** (2015). A case study on moisture problems and building defects. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 170, 27-36.
- Öngel, K. and Mergen, H.** (2009). Isıl konfor parametrelerinin insan vücudundaki etkilerine yönelik literatür taraması. *S.D.Ü. Tıp Fakültesi Dergisi*, Sayı No: 16(1), Sayfa No: 21-25.
- Panasenko, V. T.** (1967). Ecology of microfungi. *The botanical review*, 33(3), 189-215.
- Paone, A.; Bacher, J.** (2018). The impact of building occupant behavior on energy efficiency and methods to influence it: A review of the state of the art. *Energies*, 11, 953.
- Pasanen, A. L.** (2001). Abstract. *Indoor Air: Review Article*, 11(2), 87-98.
- Pasanen, A. L., Heinonen-Tanski, H., Kalliokoski, P., & Jantunen, M. J.** (1992). Fungal microcolonies on indoor surfaces—an explanation for the base-level fungal spore counts in indoor air. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 26(1), 117-120.
- Peat, J. K., Dickerson, J., & Li, J.** (1998). Effects of damp and mould in the home on respiratory health: a review of the literature. *Allergy*, 53(2), 120-128.
- Pessi AM et al.** (2002). Microbial growth inside insulated external walls as an indoor air biocontamination source. *Applied and Environmental Microbiology*, 68:963–967.
- Prüss-Üstün, A.; Corvalán, C.** (2006). Preventing Disease Through Healthy Environments; World Health Organization: Genève, Switzerland,.
- Ray, B., & Bhunia, A. K.** (2001). Fundamental food microbiology.
- Redlarski, G., Lewczuk, B., Żak, A., Koncicki, A., Krawczuk, M., Piechocki, J., & Gradolewski, D.** (2015). The influence of electromagnetic pollution on living organisms: historical trends and forecasting changes. *BioMed research international*, 2015. 344-352.

- Russell, M., Sherman, M., & Rudd, A.** (2007). Review of residential ventilation technologies. *Hvac&R Research*, 13(2), 325-348.
- Sanders, M.D.** (2008). Assessment of Indoor Air Quality in Texas Elementary Schools. The University of Texas at Austin, PhDThesis, December
- Santamouris, M., & Wouters, P. (Eds.).** (2006). Building ventilation: the state of the art.
- Sautour, M., Sixt, N., Dalle, F., l'Ollivier, C., Fourquenet, V., Calinon, C., ... & Bonnin, A.** (2009). Profiles and seasonal distribution of airborne fungi in indoor and outdoor environments at a French hospital. *Science of the total environment*, 407(12), 3766-3771.
- Säteri, J., Kovanen, K., Pallari, M.L.** (1999). Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen [Improvements of indoor air quality and energy efficiency in high-rise residential buildings]. Espoo, VTT Technical Research Centre (VTT Research Notes 1945; in Finnish).
- Schulz, J., Bade, K., Guttman, M., Hahn, L., Janssen, A., Köhler, U., ... & Winkler, F.** (2004). Ensuring repeatability in LIGA mold insert fabrication. *Microsystem technologies*, 10(5), 419-422.
- Sedlbauer, K.** (2001). Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. *Fraunhofer Institute for Building Physics*, 75-141.
- Sedlbauer, K., & Krus, M.** (2002). Mold Growth on ETICS (EIFS) as a Result of "Bad Workmanship"? *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 26(2), 117-121.
- Seguel, J. M., Merrill, R., Seguel, D., & Campagna, A. C.** (2017). Indoor air quality. *American journal of lifestyle medicine*, 11(4), 284-295.
- Sekhar, S.C.** (2016). Thermal Comfort in Air-Conditioned Buildings in Hot and Humid Climates – WhyAreWe Not Getting it Right?. *IndoorAir*, Volume:26, Issue:1, Page:138-152, February
- Seppänen, O.** (2008). Ventilation strategies for good indoor air quality and energy efficiency. *International Journal of Ventilation*, 6(4), 297-306.
- Shan, H.P.** (2008). An Indoor Air Quality Monitoring and Assessment Protocol for Air-Conditioned Offices in Subtropical Climates. The Hong Kong Polytechnic University Department of Building Services Engineering, PhDThesis, November.
- Shelton, B. G., Kirkland, K. H., Flanders, W. D., & Morris, G. K.** (2002). Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Applied and environmental microbiology*, 68(4), 1743-1753.
- Simoni, M., Jaakkola, M. S., Carrozzi, L., Baldacci, S., Di Pede, F., & Viegi, G.** (2003). Indoor air pollution and respiratory health in the elderly. *European Respiratory Journal*, 21(40 suppl), 15s-20s.
- Singer, B. C., Chan, W. R., Kim, Y. S., Offermann, F. J., & Walker, I. S.** (2020). Indoor air quality in California homes with code-required mechanical ventilation. *Indoor air*, 30(5), 885-899.

- Sing, W.C.** (2007). A New Engineering Approach for Indoor Air Quality Management in Building. The Hong Kong Polytechnic University Department of Building Services Engineering, PhD Thesis, December. Senitkova, I.
- Singh, J. S.** (1994). Building Mycology: Management of Decay and Health in Buildings. Chapman & Hall, London.
- Snow, D.** (1949). The germination of mould spores at controlled humidities. *Annals of Applied Biology*, 36(1), 1-13.
- Sözen, M.** (2001). Yapı Kabuğunda Isı ve Ses Yönünden Denetim-Konfor İlişkisi. YTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Fiziği Bilim Dalı, Tesisat Mühendisliği, Şubat.
- Spengler, J.D., McCarthy, J.F., Samet, J.M.** (2001). Indoor Air Quality Handbook. New York, United States, Jan.
- Sun, Y., Wang, P., Zhang, Q., Ma, H., Hou, J., Kong, X.** (2015). Indoor Air Pollution and Human Perception in Public Buildings in Tianjin. China, *Procedia Engineering* Volume:121, Page: 552-557, July.
- Suzuki, T.** (2018). Light-irradiation wavelength and intensity changes influence aflatoxin synthesis in fungi. *Toxins*, 10(1), 31.
- Tabak, H. H., & Cooke, W. B.** (1968). The effects of gaseous environments on the growth and metabolism of fungi. *The Botanical Review*, 34(2), 126-252.
- Thornburg, J., Ensor, D. S., Rodes, C. E., Lawless, P. A., Sparks, L. E., & Mosley, R. B.** (2001). Penetration of particles into buildings and associated physical factors. Part I: model development and computer simulations. *Aerosol Science & Technology*, 34(3), 284-296.
- Thornburg, J. W., Rodes, C. E., Lawless, P. A., Stevens, C. D., & Williams, R. W.** (2004). A pilot study of the influence of residential HAC duty cycle on indoor air quality. *Atmospheric Environment*, 38(11), 1567-1577.
- Thorne, R., & Williams, P.** (1997). The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater biology*, 37(3), 671-686.
- Tiquia-Arashiro, S. M., & Grube, M. (Eds.).** (2019). *Fungi in extreme environments: ecological role and biotechnological significance*. Springer International Publishing.
- Toksoy, M.** (1993). Isıl Konfor. I. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, İzmir, Cilt No:1, Sayfa No:591-640 Nisan.
- Torres, L.R.** (2008). Determinacion de Material Particulado Fino en Escuelas Publicas Elementales del Distrito de CAGUAS II. Universidad de Puerto Rico, Tesis de Maestría, Diciembre.
- Tsuang, H. C. A., Su, H. J. J., Kao, F. F., & Shih, H. C.** (2003). Effects of changing risk factors on increasing asthma prevalence in southern Taiwan. *Paediatric and perinatal epidemiology*, 17(1), 3-9.

- Türk, B.** (2022). Important Factors Affecting the Quality of Indoor Air and a Bibliometric Analysis . *Sakarya University Journal of Science* , 26 (3) , 608-619.
- Türk, B. , Karagüler, M. E. & Şatana, D.** (2022). Determination of Critical Relative Humidity of Construction Materials for Mold Growth by Experimental Study . *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* , 12 (1) , 67-74 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen/issue/70131/993192>
- Ürge-Vorsatz, D.; Eyre, N.; Graham, P.; Harvey, L.D.D.; Hertwich, E.; Jiang, Y.; Kornevall, C.; Majumdar, M.; McMahon, J.E.; Mirasgedis, S.; et al.** (2012). Energy End-Use: Buildings. In *Global Energy Assessment—Toward a Sustain. Future*; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA,; pp. 649–760.
- Van Dissel, D., Claessen, D., & van Wezel, G. P.** (2014). Morphogenesis of *Streptomyces* in submerged cultures. *Advances in applied microbiology*, 89, 1-45.
- Vereecken, E., & Roels, S.** (2012). Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation. *Building and Environment*, 51, 296-310.
- Verhoeff, A. P., & Burge, H. A.** (1997). Health risk assessment of fungi in home environments. *Annals of allergy, asthma & immunology*, 78(6), 544-556.
- Verma, A., Weigel, K. S., Dexter, S. Y. K., & Dhawan, A.** (2018). Evolution in the management of invasive fungal infections in liver transplant recipients. *OBM Transplantation*, 2(2), 1-1.
- Verma, V. K., Rani, K. V., Sehgal, N., & Prakash, O.** (2015). Enhanced disease resistance in the Indian snakehead, *Channa punctata* against *Aeromonas hydrophila*, through 5% feed supplementation with *F. benghalensis* (aerial root) and *L. leucocephala* (pod seed). *Aquaculture international*, 23(5), 1127-1140.
- Vette AF et al.** (2001). Characterization of indoor–outdoor aerosol concentration relationships during the Fresno PM exposure studies. *Aerosol Science and Technology*, 34:118–126.
- Viitanen, H.** (1996). Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Dissertation, Swedish Univ. of Agr. Sci., ISBN 91-576-51 15-9. Pp. 8-20.
- Viitanen, H., Vinha, J., Salminen, K., Ojanen, T., Peuhkuri, R., Paaianen, L., & Lähdesmäki, K.** (2010). Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures. *Journal of Building Physics*, 33(3), 201-224.,
- Voorhorst, R., Spieksma-Boezeman, M. I. A. & Spieksma, F.T. M.** (1964). Is a mite (*Dermatophagoides* sp.) the producer of the house-dust allergen? *Allergie und asthma* 10: 329-334.

- Waegemaekers, M., Wageningen, N. V., Brunekreef, B., & Boleij, J. S. M.** (1989). Respiratory symptoms in damp homes: a pilot study. *Allergy*, 44(3), 192-198.
- Wallace, C. S. (2004).** Framing new research in science literacy and language use: Authenticity, multiple discourses, and the “Third Space”. *Science Education*, 88(6), 901-914.
- Wallace, L.** (1996). Indoor particles: a review. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46(2), 98-126.
- Wallner, P., Kundi, M., Panny, M., Tappler, P., & Hutter, H. P.** (2015). Exposure to air ions in indoor environments: Experimental study with healthy adults. *International journal of environmental research and public health*, 12(11), 14301-14311.
- Wechsler, M. E.** (2008). Bronchial thermoplasty for asthma: A critical review of a new therapy. In *Allergy & Asthma Proceedings* (Vol. 29, No. 4).
- Wilkins, K., Larsen, K., & Simkus, M.** (2000). Volatile metabolites from mold growth on building materials and synthetic media. *Chemosphere*, 41(3), 437-446.
- Wilkins, K., Larsen, K., & Simkus, M.** (2003). Volatile metabolites from indoor molds grown on media containing wood constituents. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(4), 206-208.
- Wolkoff, P.** (2018). Indoor air humidity, air quality, and health—An overview. *International journal of hygiene and environmental health*, vol. 221, no. 3, pp. 376-390.
- World Health Organization (WHO)** (2004). Regional Office for Europe. Declaration: fourth Ministerial Conference on Environment and Health, Budapest, Hungary, 23–25 June 2004; WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark.
- World Health Organization.** (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- World Health Organization.** (2021). *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. 2009. *WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark*.
- Wouters, P., & Delmotte, C.** (2005). Ventilation, good indoor air quality and rational use of energy. *Pollution atmosphérique*, 1, 65.
- Wu, Y. H., Chan, C. C., Rao, C. Y., Lee, C. T., Hsu, H. H., Chiu, Y. H., & Chao, H. J.** (2007). Characteristics, determinants, and spatial variations of ambient fungal levels in the subtropical Taipei metropolis. *Atmospheric Environment*, 41(12), 2500-2509.
- Yakut, Selbaş, R., Yakut, G.** (2013). Ofis Ortamında İklimlendirmenin Çalışanlara Etkisi. *S.D.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Büro Yönetimi Özel Sayısı, Sayı No:1, Sayfa No: 97-106*.

- Yurtseven, E. (2007).** İki Farklı Coğrafi Bölgedeki İlköğretim Okullarında İç Ortam Havasının İnsan Sağlığına Etkileri Yönünden Değerlendirilmesi. İstanbul üniversitesi sağlık bilimleri enstitüsü, halk sağlığı anabilim dalı, doktora tezi, İstanbul.
- Zhai, Z. J., Johnson, M. H., & Krarti, M. (2011).** Assessment of natural and hybrid ventilation models in whole-building energy simulations. *Energy and Buildings*, 43(9), 2251-2261.
- Zhang, J., & Smith, K. R. (2007).** Household air pollution from coal and biomass fuels in China: measurements, health impacts, and interventions. *Environmental health perspectives*, 115(6), 848-855.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Bahar TÜRK

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans :1996, Islamic Azad University, Tabriz, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans : 2000, Islamic Azad University, Tabriz, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2001 Tebriz’de çeşitli firmalarda mimarlık üzerine çalıştı.
- 2004 Reşt’de Mochtame Faniye Tehran Dersanesin de mimarlık hocası olarak çalıştı.
- 2006 Tahran’da mimarlık firmasında tasarımcı olarak çalıştı.
- 2017 İstanbul’da bir alüminyum cephe gidirme firmasında mimar olarak çalıştı.
- 2002-2021 11 bireysel mimari projesi tasarladı ve uyguladı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENT

- **Türk B.**, Karagüler M. E., Şatana, D. 2022. Determination of Critical Relative Humidity of Construction Materials for Mold Growth by Experimental Study. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 12(1), 67-74.
- **Türk B.** 2022. Important Factors Affecting the Quality of Indoor Air and a Bibliometric Analysis. Sakarya University Journal of Science, 26(3), 608-619, Doi: 10.16984/ saufenbilder.996443

- **Türk B.,** Karagüler M. E. 2021. Designs to Improve Indoor Air Quality (Insulation and Cleaning of Building Materials with borate). 1st International Architectural Sciences and Applications Symposium, Isparta, Turkey.
- **Türk B.,** Karagüler M. E. 2022. Mold Development Risk Assessment In The Inner Side of A building Envelope Under Climate Conditions. 5th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism, Alanya, Antalya, Turkey.

