

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP DIŞ DUVARLARIN İSTANBUL'DAKİ UYGULAMALAR
ÜZERİNDEN İNCELENMESİ, ISIL VE NEMSEL PERFORMANSIN
BENZETİM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Begüm SAMANCI

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yüksek Lisans Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP DIŞ DUVARLARIN İSTANBUL'DAKİ UYGULAMALAR
ÜZERİNDEN İNCELENMESİ, ISIL VE NEMSEL PERFORMANSIN
BENZETİM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Begüm SAMANCI
(502151524)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof Dr. Hülya KUŞ

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502151524 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Begüm SAMANCI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “AHŞAP DIŞ DUVARLARIN İSTANBUL'DAKİ UYGULAMALAR ÜZERİNDEN İNCELENMESİ, ISIL VE NEMSEL PERFORMANSIN BENZETİM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Hülya KUŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cem ALTUN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Filiz UMAROĞULLARI
Trakya Üniversitesi

Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 18 Haziran 2019





Canum Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitiminden itibaren emeği geçen ve bu tez çalışmasının yürütülmesinde konu seçiminden itibaren bana her konuda yol gösteren değerli bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan farklı bakış açıları sunan ve her zaman sabırla dinleme zahmeti gösteren tez danışmanım Prof.Dr. Hülya KUŞ hocama tüm yardımları, destekleri ve anlayışları için teşekkür ederim.

Bu tezi, bugüne kadar tüm maddi ve manevi desteklerinden dolayı beni destekleyen annem Hamide SAMANCI'ya, babam Mustafa SAMANCI'ya ve canım ikizim Betül SAMANCI'ya gönülden teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2019

Begüm SAMANCI
(Mimar-Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Kapsamı	2
1.3 Tezin Yöntemi	3
2. AHŞAP VE AHŞAP DIŞ DUVARLAR	5
2.1 Ahşap Yapı Malzemesi ve Genel Özellikleri	5
2.1.1 Ağacın yapısı ve ağaç türleri	6
2.1.2 Ahşap ürünler	10
2.2 Ahşap Dış Duvarlar	15
2.2.1 Masif ahşap dış duvar sistemleri	16
2.2.1.1 Ahşap yığma (kütük) dış duvarlar	17
2.2.1.2 Çapraz tabakalı ahşap dış duvarlar	19
2.2.2 Ahşap iskeletli dış duvar sistemleri	22
2.2.2.1 Payandalı ahşap iskelet duvarlar	22
2.2.2.2 Payandasız ahşap iskelet dış duvarlar	24
2.2.3 Ön yapım ahşap dış duvarlar	25
2.3 Ahşap Dış Duvarları Koruma Teknikleri	26
2.3.1 Ahşabın kurutulması	26
2.3.2 Ahşabın emprenye işlemi	27
2.3.3 Ahşap yüzey koruyucuları	28
3. AHŞAP DIŞ DUVARLARDA ISIL VE NEMSEL PERFORMANS	31
3.1 Dış Duvarlarda Isıl ve Nemsel Performans	31
3.1.1 Dış duvarlarda nem	32
3.1.2 Dış duvarlarda ısı geçişi	34
3.2 Isıl ve Nemsel Performansın Değerlendirilmesi	35
3.2.1 Elle yapılan hesaplama	35
3.2.2 Bilgisayarlı benzetim aracıyla hesaplama	36
3.2.2.1 WUFI-2D benzetim aracı	37
3.3 Ahşap Dış Duvarlarda Isıl ve Nemsel Performans	39
3.3.1 Ahşap iskeletli dış duvarlarda ısı ve nem geçişi	42
3.3.2 Çapraz tabakalı ahşap (CLT) ahşap dış duvarlarda ısı ve nem geçişi	43
3.4 Ahşap Dış Duvarlarda Isıl ve Nemsel Performans ile İlgili Bilimsel Çalışmalar ...	44

4. AHŞAP DIŞ DUVARLARIN ISIL VE NEMSEL PERFORMANSININ BENZETİM ÇALIŞMASI.....	49
4.1 Alan Çalışması.....	49
4.2 Benzetim.....	51
4.2.1 Ahşap duvar tiplerinin belirlenmesi	53
4.2.2 Ağ sayısının belirlenmesi	55
4.2.3 Ahşap duvar sistemlerindeki malzeme bileşenlerinin seçimi.....	55
4.2.4 Dış ortam ve iç ortam koşullarının belirlenmesi	57
4.2.5 Başlangıç koşullarının belirlenmesi	58
4.2.6 Benzetim süreci	59
4.3 Ahşap Dış Duvar Sistem Bileşenlerinin Belirlenmesi ve Doğrulanması.....	59
4.3.1 Ahşap iskeletli dış duvar sistem bileşenleri.....	59
4.3.2 Çapraz tabakalı ahşap dış duvar sistem bileşenleri	69
4.4 Benzetim Sonuçları ve Değerlendirme	72
4.4.1 Dış duvar kaplamalarının mevcut durumlarının ısı ve nemsel performansının değerlendirilmesi	73
4.4.1.1 Dış duvar kaplamalarının ağaç türüne göre değerlendirme.....	73
4.4.1.2 Dış duvar kaplamalarının ağaç lif yönlenmesine göre değerlendirme .	76
4.4.1.3 Dış duvar kaplamalarının yüzey işlem ve boya kullanım durumuna göre değerlendirme	78
4.4.2 Hava tabakasının olup olmamasına göre ısı ve nemsel performansın değerlendirilmesi	82
4.4.3 Bağlı nemi yüksek iç ortam koşullarında duvarların ısı ve nemsel performansının değerlendirilmesi.....	84
4.4.4 Çapraz tabakalı ahşap duvarların yapıştırıcı kullanımında ısı ve nemsel performansın değerlendirilmesi.....	87
4.4.5 Ahşap dış duvarlarda hava kesici ve buhar kesici örtü kullanımında ısı ve nemsel performansın değerlendirilmesi	89
5. GENEL SONUÇLAR	93
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	109

KISALTMALAR

CLT: Cross Laminated Timber (Çapraz Tabakalı Ahşap)

OSB: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha)

SWP: Solid Wood Panels (Masif Ahşap Panel)

GLT: Glued Laminated Timber (Tutkallı Tabakalı Ahşap)

MC: Moisture Content (Nem İçeriği)

VOC: Volatile Organic Components (Uçucu Organik Bileşikler)





SEMBOLLER

C : Santigrat
c : Özgöl Isı
d : Malzeme Kalınlığı
K : Kelvin
kg : Kilogram
m : Metre
mm : Milimetre
 λ : Isı İletkenlik Katsayısı
 μ : Su Buharı Direnç Faktörü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ahşap yapılarda kullanılan ağaç türleri.....	9
Çizelge 3.1 : Nem geçiş mekanizmaları.	33
Çizelge 4.1 : Benzetim çalışmalarının kapsamı.....	52
Çizelge 4.2 : Ahşap duvar tipleri, Tip1 ve Tip2.	53
Çizelge 4.3 : Ahşap duvar tipleri, Tip3 ve Tip4.	54
Çizelge 4.4 : Ahşap duvar tipi, Tip 5.....	54
Çizelge 4.5 : Benzetim veritabanından seçilen malzemeler ve özgün özellikleri ..	56
Çizelge 4.6 : 140mm kalınlıkta ahşap dış duvar sistemlerinin ahşap kesitleri.	59
Çizelge 4.7 : Ahşap iskelet duvarın dikmeden geçen kesitlerinin özellikleri.....	60
Çizelge 4.8 : Benzetimi yapılan ahşap iskeletli duvarların çalışılan sistem kesitleri.	62
Çizelge 4.9 : 3 katmanlı CLT (duvar gövdesi) malzeme özellikleri.....	69
Çizelge 4.10 : Ahşap dış duvar yüzey koruyucuların malzeme özellikleri.	78
Çizelge 4.11 : Hava tabakalı ahşap duvar tipleri.	83
Çizelge 4.12 : Çapraz tabakalı ahşap dış duvarlarda hava kesici ve buhar kesici kullanımı.	90



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Ahşabın hiyerarşik düzeyleri.	7
Şekil 2.2: Ağacın iç yapısı.	7
Şekil 2.3: Ağaç malzemenin anatomik kesit yönleri.	8
Şekil 2.4: Ahşap malzemenin üretim süreçleri.	12
Şekil 2.5: Tomruğun biçilme yöntemleri.	12
Şekil 2.6: Ahşap kompozit malzeme sınıfları.	15
Şekil 2.7: Ahşap dış duvar sistemlerinin sınıflandırılması.	16
Şekil 2.8: Masif tabakalı yapısal ahşap sistemler.	17
Şekil 2.9: Ahşap kütük duvar sistemi.	18
Şekil 2.10: Ahşap kütük duvar sistemleri.	19
Şekil 2.11: Çapraz tabakalı ahşap panel düzeni.	20
Şekil 2.12: Çapraz tabakalı ahşap (CLT) üretimi.	21
Şekil 2.13: Çapraz tabakalı ahşap panel oluşumu.	22
Şekil 2.14: Geleneksel payandalı ahşap iskelet yapı sistemi.	23
Şekil 2.15: Payandasız ahşap iskelet yapı sistemleri.	25
Şekil 3.1 : Nemin dış duvar bünyesine girişi.	33
Şekil 3.2 : WUFI benzetim aracı modelleme akışı.	38
Şekil 3.3 : Nem içeriği ve bağıl nem ilişkisi.	40
Şekil 4.1 : Tip1 CLT ev.	49
Şekil 4.2 : Tip2 çapraz tabakalı ahşap duvar detayı.	50
Şekil 4.3 : Tip3 CLT ev.	50
Şekil 4.4 : Tip4 ahşap iskelet duvar.	51
Şekil 4.5 : Tip5 ahşap kütük ev.	51
Şekil 4.6 : Ağ sayısı deneme grafiklerinden bir örnek.	55
Şekil 4.7 : WUFI veritabanına aktarılan İstanbul iklim verileri.	57
Şekil 4.8 : WUFI veritabanında esas alınan iç ortam koşulları.	58
Şekil 4.9 : Başlangıç koşullarına göre % su içeriği.	58
Şekil 4.10 : Çam ağacı (radyal yönde) kullanılan ahşap duvarlarda % su içeriği. ..	60
Şekil 4.11 : İskelet ahşap duvarın farklı kaplama malzemelerine göre % su içerikleri.	61
Şekil 4.12 : Masif ahşap duvarlarda ağaç türlerine göre bağıl nem oranları.	61
Şekil 4.13 : Ahşap dikmeden geçen kesit (DK-ÇM-OSB) % su içeriği 1. nokta (hava kesici örtü arkası).	63
Şekil 4.14 : Ahşap dikmeden geçen kesit (DK-ÇM-OSB) % su içeriği 2. nokta (dikmenin ortası).	63
Şekil 4.15 : Ahşap dikmeden geçen kesit (DK-ÇM-OSB) % su içeriği 3. nokta (buhar kesici örtünün arkası).	63
Şekil 4.16 : Payandadan geçen kesit (PY-ÇM-OSB) % su içeriği 1. nokta (hava kesici örtü arkası).	65
Şekil 4.17 : Payandadan geçen kesit (PY-ÇM-OSB) % su içeriği 2. nokta	

(payandanın ortası).	65
Şekil 4.18 : Payadadan geçen kesit (PY-ÇM-OSB) % su içeriği 3. nokta (buhar kesici örtü arkası).	65
Şekil 4.19 : Dikmeler arası boşluktan geçen kesit (DAB-ÇM-OSB) % su içeriği 1. nokta (hava kesici örtü arkası).	67
Şekil 4.20 : Dikmeler arası boşluktan geçen kesit (DAB-ÇM-OSB) % su içeriği 2. nokta (yalıtım katmanının ortası).	68
Şekil 4.21 : Dikmeler arası boşluktan geçen kesit (DAB-ÇM-OSB) % su içeriği 3. nokta (buhar kesici örtü arkası).	68
Şekil 4.22 : CLT duvar kesitinin malzeme özelliklerine göre % su içeriği.	70
Şekil 4.23 : CLT duvarında farklı yalıtım katmanına göre % su içeriği.	70
Şekil 4.24 : Hava tabakalı ahşap duvar kesitinde hava değişim hızına göre ahşap yün yalıtım katmanı için (hava kesici örtünün arkası) % su içeriği.	71
Şekil 4.25 : Hava tabakalı ahşap duvar kesitlerinde % bağıl nem oranı.	71
Şekil 4.26 : Hava tabakalı ahşap duvar kesitinde taş yünü yalıtım katmanına göre % su içeriği.	72
Şekil 4.27 : Dış duvar kaplama türlerine göre % su içeriği.	74
Şekil 4.28 : Ağaç türü ve ağaç yoğunluğuna göre % su içeriği.	74
Şekil 4.29 : Masif ahşap duvar tiplerinde ağaç yoğunluğuna göre % su içeriği.	75
Şekil 4.30 : Ahşap dış duvar kaplamasında ağaç lif yönleme durumuna göre % su içeriği.	76
Şekil 4.31 : Masif ahşap duvar tiplerinde ağaç lif yönleme durumuna göre % su içeriği.	77
Şekil 4.32 : Ahşap duvar kaplamalarında yüzey koruyucu uygulama durumuna göre % su içeriği.	79
Şekil 4.33 : CLT ahşap duvar kaplamalarında lif yönlenme ve yüzey koruyucu uygulama durumlarına göre % su içeriği.	79
Şekil 4.34 : Kütük ahşap duvar kaplamalarında lif yönlenme ve yüzey koruyucu uygulama durumlarına göre % su içeriği.	80
Şekil 4.35 : CLT ahşap duvar kaplamalarında yüzey koruyucu uygulama durumlarına göre % su içeriği.	81
Şekil 4.36 : Havalandırmalı duvar modeli.	82
Şekil 4.37 : Hava tabakalı CLT Tip3 duvarın hava tabakasının kalınlığına ve hava değişim hızına göre % su içeriği.	83
Şekil 4.38 : Hava tabakalı CLT Tip2 ahşap duvar için hava tabakasının kalınlığına ve hava değişim hızına göre % su içeriği.	84
Şekil 4.39 : Bağıl nem oranı yüksek iç ortam koşullarında % su içeriği.	85
Şekil 4.40 : EN13788 iç ortam koşulları.	86
Şekil 4.41 : Bağıl nem oranı yüksek iç ortam koşullarında % su içeriği.	86
Şekil 4.42 : Benzetimde kullanılan iç ortam koşulları.	87
Şekil 4.43 : CLT panel yapıştırıcı kullanımı.	88
Şekil 4.44 : Çapraz tabakalı ahşap duvarların yapıştırıcı kullanımında 1.nokta (yapıştırıcı katmanının arkası) % su içeriği.	88
Şekil 4.45 : Çapraz tabakalı ahşap duvarların yapıştırıcı kullanımında 2.nokta (CLT ortası) % su içeriği.	89
Şekil 4.46 : Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda hava ve su kesici örtü kullanımına göre 1.nokta (hava kesici örtünün arkası) % su içeriği.	90
Şekil 4.47 : Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda hava ve su kesici örtü kullanımına göre 1.nokta (hava kesici örtünün arkası) % su içeriği.	91
Şekil 4.48 : Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda hava ve su kesici örtü kullanımına göre	

2.nokta (buhar kesici örtünün arkası) % su içeriği.....	92
Şekil 4.49 : Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda hava ve su kesici örtü kullanımına göre	
2.nokta (buhar kesici örtünün arkası) % su içeriği.....	92





AHŞAP DIŞ DUVARLARIN İSTANBUL'DAKİ UYGULAMALAR ÜZERİNDEN İNCELENMESİ, ISIL VE NEMSEL PERFORMANSIN BENZETİM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzün önemli terimlerinden ekolojik malzeme, sürdürülebilirlik ve enerji etkin yapı kavramlarının öneminin ortaya konulması için öncelikle bina kabuğunun performans etkinliğinin araştırılması gerekmektedir. Enerji etkin bina için yapı kabuğunun özellikle ısı ve nemsel performansı dikkate alınarak doğru tasarlanması ve uygulanması büyük önem taşımaktadır. Binayı dış atmosferik çevreden ayıran yapı kabuğunun tasarlanıp inşa edildikten sonraki uzun dönem performansı, enerji, ekonomi ve ekolojiyi kapsayan sürdürülebilirlik yaklaşımında önemli bir yer tutar. Bu tez çalışmasında, yapı kabuğunun atmosferik etmenlere maruz kalan özellikle ahşap dış duvarları ve bileşenlerinin ısı ve nemsel performansı incelenmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde tezin amacı, içeriği ve yöntemi ele alınmaktadır.

İkinci bölümde, ahşap yapı malzemesi ve genel özellikleri tanıtılmakta, günümüzdeki ahşap yapıların dış duvarları taşıyıcı sistemine göre ahşap iskeletli dış duvarlar ve masif ahşap dış duvarlar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu duvar sistemlerinin bileşenleri, birleşimleri ve katmanlaşma örnekleri ile birlikte koruma teknikleri yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, nem ve ısı geçişi kavramlarıyla ahşap dış duvarlarda ısı ve nemsel (higrotermal) performans konuları ele alınarak bu alandaki bilimsel çalışmalar incelenmektedir. Literatürde yer alan akademik çalışmaların kısa özet bilgileri verilmektedir. Bu araştırmalarda, genellikle, ahşap iskeletli dış duvar yapıları ile son yıllarda az/yüksek katlı yapılarda kullanılan çapraz tabakalı ahşap yapı malzemesinin atmosferik dış etkenlere bağlı olarak ısı ve nemsel performansları benzetim araçları kullanılarak çalışılmıştır.

Dördüncü bölümde, ahşap dış duvarların seçimi ve seçilen duvar kesitlerinin ısı ve nemsel performansının benzetim ile değerlendirmesi yer almaktadır. Isı ve nemsel benzetim araçları, tasarımcının bina kabuğunda seçtiği malzemeye, atmosferik iç ve dış etkenlere, yapı içindeki hava kalitesine bağlı olarak zaman içinde oluşabilecek nem

ve sıcaklığa bağılı problemleri tanımasına ve bu problemlere uygun çözümlerin bulunmasına yardımcı olmaktadır. Bina kabuğunun performansının değeriendirilmesi deneysel ölçmeler, benzetim yolu ile hesaplama veya her iki yöntem bir arada kullanılarak yapılmaktadır. Tez çalışmasında WUFI-2D benzetim aracı kullanılmıştır. Bu benzetim aracıyla, tez kapsamında ele alınan ahşap duvar sistemlerinin belirli iklim bölgesinde ve belirli zaman aralığında sıcaklık, ısı ve nem performansı çalışılmıştır. WUFI benzetim aracı ile hesaplanarak elde edilen sayısal veriler Excel ortamına alınarak zamana bağılı grafikler oluşturulmuştur.

Tezin son bölümünde, ahşap duvarların ısı ve nemsel performansının genel bir değeriendirmesi yapılmıştır. İstanbul Riva bölgesindeki bazı mevcut ahşap duvar uygulamaları incelenerek ısı ve nemsel benzetim hesaplama yönteminde etkin değeriendirme yapılabilmesi için dikkat edilmesi gereken ölçütler araştırılmıştır. Bu çalışma ile özellikle tasarımcı ve uygulayıcılara örnek oluşturmak amacıyla, ahşap dış duvarların kullanım sırasındaki ısı ve nemsel performansının tasarım aşamasında (daha doğru) tahminine yönelik benzetim araçlarının etkin kullanılması ve böylece mevcut şartlar altında istenen performansa en uygun duvar kesitlerinin tasarlanarak belirlenebilmesine olanak sağlanması öngörülmektedir.

Sonuçlar bölümünde, elde edilen veriler doğrultusunda genel değeriendirmeler yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

EXAMINATION OF WOODEN EXTERNAL WALLS THROUGH IMPLEMENTATIONS IN ISTANBUL, AND EVALUATION OF HYGROTHERMAL PERFORMANCE BY SIMULATION.

SUMMARY

Today's important terms are ecological material, sustainability and energy efficient to reveal the importance of building concepts, it is necessary to investigate the performance effectiveness of the building envelope. Furthermore, the energy efficient building for the correct design and application of the building envelope is of great importance.

After designing and constructing the building envelope that separates the building from the external atmospheric environment plays an important role in long-term performance, energy, economy and ecology.

In this thesis, thermal and moisture performance of building walls exposed to atmospheric factors, especially wooden walls and components, are examined under five main headings.

In the first chapter of this study, the aim, content and method of the thesis are discussed.

In the second chapter of today's wooden structures according to use and load-bearing system timber frame exterior walls and solid wooden exterior walls.

In the third chapter, the study of the concepts of moisture and heat transfer, thermal and moisture (hygrothermal) performance on the wooden exterior walls and the academic studies in this field are examined. Hygrothermal analysis is a tool for evaluating the temperature and moisture conditions that might occur within a building envelope assembly over time. Such analysis can improve the understanding of how the building envelope responds to the interior and exterior environment and can identify potential moisture performance problems. Hygrothermal loads include initial moisture levels in building materials; indoor temperature and humidity levels; outdoor conditions such as temperature, humidity, wind, rain, and solar radiation; and air

pressure differences across the building envelope.

In recent years, light timber frame systems and cross-laminated wood building material used in high-rise buildings depending on atmospheric external factors on thermal and moisture performance simulation tools are used. Moisture performance is a key consideration in building envelope design. The occurrence of moisture problems in Istanbul climatic conditions resulting from poor design, construction, or unexpected interactions of new building materials can lead to a host of undesirable consequences: wood decay, mold growth, poor indoor air quality, infestation and degradation by insects, corrosion of metals, loss of thermal resistance in wet insulation, damage to materials and finishes from expansion or contraction, and loss of strength in building materials to the point of structural failure. Building repairs and litigation incur considerable costs.

Moisture performance is a multi-faceted issue; desirable performance includes avoiding moisture accumulation from bulk water intrusion, air leakage, and vapor diffusion. Designers have many options in contemporary wooden wall construction when it comes to selecting materials such as exterior various wooden wall insulation, and vapor retarders. This issue involves many considerations, and moisture performance can depend strongly on the climate and the type of wooden wall. A number of properties of wood depend on moisture content, such as dimensional shrinkage and swelling, strength, moisture transfer, and thermal properties.

Heat capacity and heat transfer, including effects of phase change, Moisture storage and moisture transfer, including vapor diffusion and liquid flow, Material properties as a function of moisture content and temperature, Boundary conditions including indoor temperature and humidity, outdoor temperature, humidity, solar radiation, cloud cover, wind speed and direction, rainfall, and wind driven rain, Wind-driven rain penetration at a specified material layer. Moisture accumulation from air exfiltration at a specified material layer, the periodic measurements are taken from various types of timber walls during one year, Determine wall construction, geometry of components, and material properties of component. Finally, the estimated cost in increased energy consumption due to the presence of moisture annually in Istanbul.

In the fourth chapter, the selection of the wooden exterior walls and the thermal and

moisture performance evaluation of the selected wall sections. Thermal and moisture simulation tools, help the designer to identify the problems related to the material selected in the building envelope, internal and external atmospheric factors, depending on the air quality in the building recognize the problems related to humidity and temperature that may occur in time and it helps to find suitable solutions to these problems. The impact of the building envelope performance measuring experimental, simulation or both methods are performed. In the thesis, simulation tool are used WUFI 2D 4. This study focuses on comparing the hygrothermal performance of various wooden wall assemblies. For this application, a transient one-dimensional model with an hourly time step is sufficient. This simulation tool with the wooden wall systems discussed in the thesis specific climate zone and temperature and in specific time, heat and moisture performance are studied. WUFI with simulation tool are obtained numerical data by calculating time-dependent graphs are created by importing into Excel.

In the last part of the thesis, a general evaluation of thermal and moisture performance of wooden walls. In this study, the wall sections designed for performance in accordance with the data obtained from the heat and moisture simulation tool in today's usage of wooden wall system are determined, become an example for users and applicators and this simulation tool in the selection of suitable wood wall system and material in this field, the designer helps determine the heat-moisture performance of the wooden wall system in the early stage of the design and saves time and cost without the need for experimental study.

Thermal and moisture performance of external timber walls is critical considered energy saver design approach. Considering the environmental impact and economic cost, energy consumption for heating. This study will help design and construction professionals, and building owners understand moisture issues related to the design and construction of wooden wall (CLT panels, ventilated timber walls) in Istanbul climate conditions and learn provides various wooden wall in Istanbul of the potential moisture performance risks. Finally, This analysis is to compare the moisture performance of different wooden wall constructions and to examine how their performance depends on certain environmental and material parameters.



1. GİRİŞ

Ahşap hafif, yenilenebilir, ekolojik, doğa ve enerji dostu bir yapı malzemesidir. Ahşap yangına, depreme ve doğal etkenlere karşı dayanıklıdır. Özellikle ve öncelikle ahşap teknolojisi Kuzey Amerika, Uzakdoğu ve Kuzey Avrupa ülkelerinde gerek geleneksel gerekse modern az katlı, geniş açıklıklı ve yüksek katlı ahşap yapıların tasarımı ve uygulamaları bilimsel ve deneysel çalışmalarla desteklenerek yaygın bir şekilde çalışılmaktadır. Türkiye’de geçmişteki ahşap kullanımına genellikle İstanbul’da Boğaziçi yalılarında, tarihi köşklerde ve konaklarda, eski evlerde; Anadolu’nun bazı bölgelerindeki geleneksel ahşap evlerinde sıkça rastlamaktayız. Günümüzdeki ahşap uygulamaları ise modern villa ve konutlarda, küçük veya büyük açıklıklı yapılarda, az da olsa giderek artan bir şekilde, gerek restorasyon alanında gerekse yeni tasarımlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye’nin ahşap yapı geçmişine baktığımızda ahşap yapılara verilen önemin yeniden canlandırılması amaçlanırken, günümüzde ahşabın etkin tasarımı ve doğru kullanımı ile birlikte, özellikle nem ve rutubet ile ilişkili problemlerin çözümü açısından ahşap duvarların ısı ve nemsel performansının iyileştirilmesi çalışmaları önemli görülmektedir.

Bu çalışmada, ahşap iskeletli duvar ve masif ahşap duvar sistemleri araştırılmıştır. Ahşap duvarların farklı ahşap duvar katmanlaşma düzeni, ısı ve nemsel performansı için uygun malzeme seçimi ve özellikleri, ahşap duvarlarda ısı köprüsü ve meteorolojik verilerin seçimine bağlı olarak enerji korunumu ve etkinliğinin değerlendirilmesi ve binanın inşa edildikten sonraki kullanım sırasındaki performansı için nem ilişkisine bağlı olarak ısı ve nemsel performans durumları bilgisayar benzetim aracı kullanılarak incelenmiştir.

Ahşap duvarların nem ile ilişkili performansı hesaplama yöntemi dışında ayrıca ahşap nem ölçüm sensorları ile yerinde ölçüm veya gelişmiş laboratuvarlarda hızlandırılmış deneyler ile belirlenebilmekte ancak bu tür çalışmalar uzun zaman ve yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle, ahşap duvarların ısı ve nemsel performansının belirlenmesinde benzetim araçlarının kullanımı tercih edilmektedir. Bu çalışmada,

geleneksel ve modern ahşap yapılardaki duvar sistemlerinin performans etkinliğini araştırmak amacıyla, öncelikle ahşabın ana unsuru ağaç ve özellikleri incelenmiş, ahşap yapılar ve ahşap duvar sistemleri sınıflandırılarak işlenmiştir. Ulusal ve uluslararası standartlara bağlı olarak duvar kesitini oluşturan malzemelerin özellikleri, ahşap yapıların ısı ve nemsel performansına etki eden faktörler araştırılmıştır. Tez çalışmasında ahşap dış duvarlar, kullanıcılarının sağlıklı, güvenli ve konforlu bir şekilde yaşamlarını sürdürmeleri için, yapı fiziğinin önemli konu başlıklarından biri olan ısı ve nemsel (higrotermal) performansı açısından ele alınmıştır. Bina kabuğunu oluşturan çok katmanlı bir duvar sisteminde malzemelerin özgün özellikleri ve bileşenlerin bir araya gelişleri ile birlikte iç ve dış koşullara bağlı olarak ısı ve nem geçişi bütüncül bir yaklaşımla irdelenmiştir. Isı ve nemsel benzetim programlarının doğru ve etkin kullanımı sayesinde, bina kabuğunda tasarlanan duvar sisteminde zamanla oluşabilecek ısı-nem ve sıcaklık koşulları daha doğru tahmin edilebilmekte ve yapının bulunduğu iç-dış ortam koşulları altında davranışı önceden belirlenerek gerekli önlemler daha yapım aşamasında alınabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Tez çalışmasında, son yıllarda yapımı giderek artan gerek modern gerekse tarihi yapıların restorasyonunda uygulanan ahşap iskeletli duvar ve çapraz tabakalı masif ahşap duvarların kullanım sırasında ve mevcut şartlar altında göstereceği higrotermal performansın benzetim aracı kullanılarak hesaplanması amaçlanmıştır. Mimari tasarımın daha erken evrelerinde doğru malzeme seçimi, katmanlaşması ve uygulamaları ile daha iyi/uzun performans gösterecek enerji etkin ahşap dış duvarların tasarlanmasına olanak sağlanarak, pratikteki olası uygulamaların sonucunda ahşap duvarlar daha sağlıklı ve sürdürülebilir bir nitelik kazanacaktır. Ayrıca, tasarım evresinde mimarların benzetim araçlarını daha doğru ve etkin kullanımına örnek oluşturmak hedeflenmektedir.

1.2 Tezin Kapsamı

Tezin kapsamı, farklı ahşap dış duvar uygulamalarının ısı ve nemsel performansının araştırılması, ahşap duvar tiplerinin tespiti ve bilgisayar benzetim aracı ile ısı ve nemsel performans değerlendirme çalışmalarının yapılmasını içermektedir. Farklı yapım tekniğindeki ahşap dış duvarlar olarak ahşap iskeletli dış duvar sistemleri ile

masif ahşap duvar sistemlerinin ısı ve nermal performansının kısıtlı bir alan çalışmasıyla değerdendirilmektedir. Ahşap duvar tiplerinin tespiti olarak İstanbul-Riva bölgesinde yapılmış olan kütük (yığma) ahşap, çapraz tabakalı ahşap (CLT) ve ahşap iskeletli yapılar belirlenmiştir. Benzetim çalışmasının kapsamında incelenen akademik çalışmalardaki ahşap yapıların ısı ve nermal performansının içeriğini belirleyecek sorunun tespiti ve bu konunun değerdendirilmesi için önemli noktalara bakılmıştır. Bu kapsamda, mevcut belirlenen duvar tiplerindeki dış duvar kaplamasında kullanılan ağaç türünün farklı seçilmesi, ağaç lif yönlenmesindeki değışim, ahşap duvarlara yüzey koruyucu etkisi, ahşap dış duvarlarda hava tabakası kullanılıp kullanılmama durumuna göre ısı ve nermal performansı, havalandırılmalı ahşap duvar tiplerinde havalandırma katman kalınlığı ve havalandırma hızının etkisi ve ahşap dış duvarlarda bağıl nemi yüksek iç ortam şartlarının ısı ve nermal performans durumları incelenmiştir. Mevcut ahşap duvar uygulama örneklerinin detay tasarımları, bulunduğu İstanbul iklim koşulları altında ısı ve nermal performans açısından davranışları ve olası problemleri WUFI-2D benzetim aracı kullanılarak ayrıntıda çözümlenerek değerdendirilmiştir.

1.3 Tezin Yöntemi

Bu tez çalışmasında, öncelikle ahşap duvarlar ve higrotermal performans konularında literatür taraması yapılarak bir altyapı oluşturulmuştur. Literatür kaynaklarının arasında, referans kitaplar, akademik makaleler, bilimsel bildiriler, standart ve yönetmelikler yer almaktadır. Benzetim çalışmaları öncesinde, İstanbul ilinin Riva bölgesinde sınırlı bir alan çalışması yapılarak, bazı firmaların ahşap uygulamalarının gözleme dayalı incelemeleri sonucunda mevcut ahşap duvar tiplerine karar verilmiştir. Ayrıca, bazı ahşap firmaların kataloglarından referans uygulamaları internet ortamında araştırılarak bu duvar tiplerine ait katmanlaşma malzemeleri ve özellikleri belirlenmiştir. Alan çalışmasında belirlenen tip duvarların higrotermal performansı, mevcut uygulamaların teknik özellikleri WUFI 2D benzetim aracına girilerek hesaplanmış, Excel ortamına alınan sayısal verilerin grafikler üzerinden karşılaştırma yöntemiyle değerdendirmesi yapılmıştır. Ayrıca, sonuçların güvenilirliği için özellikle benzetim programının doğru ve etkin kullanımına yönelik tüm değışkenlerin etkisi araştırılmış, sonuçlar ve genel değerdendirmeler bunun üzerine kurgulanmıştır.



2. AHŞAP VE AHŞAP DIŞ DUVARLAR

Ahşap, eski çağlardan beri medeniyetlerin yerleşim bölgesi olan, orman varlığı bakımından zengin Anadolu’da insanların barınmak için yapılarında kullandıkları doğal bir hammadde malzemesidir (Özçelik, 1965). Ahşabın yapıda kullanımında yöresel ve iklimsel özelliklere bağlı olarak gerektiğinde taş, kerpiç, tuğla gibi geleneksel malzemeler de birlikte yer almıştır. İstanbul’un ahşap yapı geçmişi incelendiğinde Büyüka’daki Rum Yetimhanesi, boğazdaki yalılar, ahşap köşkler ve konaklar ve tarihi yarım adada Süleymaniye Camisi çevresindeki ahşap evler örnek gösterilebilir (Eldem, 1984). Geleneksel Türk mimarisinde özellikle Türk evinde asırlarca kullanılan ahşap malzeme, gelişen ve değişen teknolojiyle günümüzde modern projelerde de yer almaya devam etmektedir. Beykoz Riva’daki ahşap konut uygulamaları, geniş açıklıklı çeşitli diğer uygulamalar bu kapsamda sayılabilir.

2.1 Ahşap Yapı Malzemesi ve Genel Özellikleri

Ahşap, canlı bir organizma olan ağacın gövdesinden elde edilen lifli, boşluklu, heterojen ve anizotrop bir dokuya sahip organik esaslı geleneksel bir yapı malzemesidir (Bozkurt ve Erdin, 1997). Ahşap, üretim ve kullanım aşamalarında insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyen, geri dönüşüm özelliği olan, karbon salımı ve atık miktarı az olan çevreci bir üründür. Ahşap Arapça kökenli “haşep” yani odundan imal edilen eşya anlamına gelir (Eriç, 2002). Ahşap malzeme özelliklerine göre TS 647’de ‘Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları’ standardında 4 sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma yapıda kullanılan ağacın anatomik özellikleri, ahşap malzemenin fiziksel özellikleri, ahşabın mekanik özellikleri ve ahşabın kimyasal özellikleri olmak üzere sınıflandırılmaktadır (TSE 647, 1979).

Ahşabın kimyasal özellikleri: Ahşap çeşitli kimyasal bileşenlerden oluşur. Bunlar hücre duvarının ana bileşenleri; karbon (C) %50, oksijen (O) %43, hidrojen (H) %6, azot (N) %1 olarak sıralanabilir. Odun kısmını; yumuşak madde olan selüloz %40-50, hemiselüloz %15-35, lignin %20-35, ekstraktif %1-3, kül %0,1-0,5 meydana getirir

(Herzog ve diğ., 2004). Ahşabın hücre duvarları ahşaba çekme dayanımı veren selülozdan oluşur ve selüloza basınç direnci kazandıran sert yapılı lignin maddesi ile birbirine bağlanır (Kocataşkın, 1966).

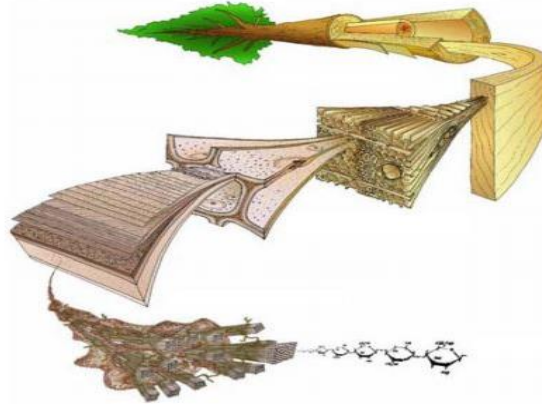
Ahşabın fiziksel özellikleri: Ahşap malzemenin fiziksel özellikleri; ahşabın özgül ağırlığı, yoğunluğu, içindeki nem miktarı, boşluk oranı, mikroorganizma etkileri, atmosferik etkenler, genleşme-büzülme, renk-koku, ısı, ses, elektrik iletkenliği ve ahşabın dayanıklılığıdır. Ahşap malzemenin özgül ağırlığı genel olarak direncini, işlenmesini, kurutulmasını, çalışmasını, ısı, nem, akustik ve elektriksel özelliklerini etkilemektedir. Nem değişikliği sonucunda ahşap yapısında şişme ve büzülme davranışı gösterir. Ahşabın çalışması yıllık halkalara teğet doğrultuda en fazla, lifler doğrultusunda ise en azdır (Duman ve Ökten, 1988). Lif doğrultusuna göre ısı iletkenlik özelliği de değişmektedir. Ahşabın ısı iletkenlik katsayısı oldukça düşük olduğundan ısıyı az iletir ve yalıtım özelliği sağlar (Berkel, 1970). Ahşabın ses ve ısı tutuculuk özelliği kullanılan ahşabın türüne ve ağaç lif yönlerine göre değişir (Şimşek, 2003). Ahşap olumsuz atmosferik etkenlerden dolayı mikroorganizma etkileri açısından çürüyebilen veya böcek saldırılarına uğrayabilen bir malzemedir. Ahşabın yapısında oluşan olumsuz etkiler mekanik dayanım ve taşıyıcılık özelliklerinde sorunlara yol açar.

Ahşabın mekanik özellikleri: Ahşap malzemenin başlıca mekanik özellikleri; elastisite modülü, basınç dayanımı, eğilme direnci, çekme direnci ve ahşabın sertlik derecesidir. Ahşap yapı malzemenin ortotropik özelliklerinden dolayı, mekanik özellikleri uzunlamasına (L), teğetsel (T) ve radyal (R) yönlerde farklılık gösterir (Herzog ve diğ., 2004). Ahşabın mekanik dayanımı liflere paralel doğrultuda liflere dik doğrultuya göre daha yüksektir (Güngör, 1961). Ahşap içindeki su miktarına göre şişen ve daralan bir malzeme olduğundan mekanik özellikleri de değişmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997). Ortamdaki rutubet artışı, ahşabın mekanik dayanımını azalttığı için kuru olan ahşabın mekanik dayanımı daha yüksektir (Eriç, 1978).

2.1.1 Ağacın yapısı ve ağaç türleri

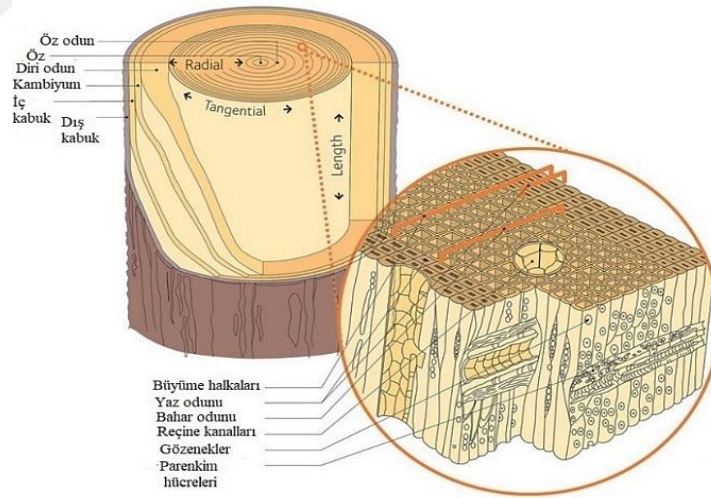
Ağacın yapısı hiyerarşik olarak gövde yapısı, makroskopik yapı, mikroskobik yapı, nanoskopik yapı ve moleküler yapı düzeylerinde ele alınabilir (Şekil 2.1). Makro düzeyde yumuşak odun ve sert odundan yapılmış yapısal kereste, mikro düzeyde odun hücre duvarı, öz odun, diri odun, yıllık halkalar, mikro-alt düzeyde lümen, fibril, damar

gibi hücre yapısı ve moleküler düzeyde hücre duvarı polimerleri (selüloz, lignin ve hemiselülozlar) ve inorganik bileşikler olarak sayılabilir (Wimmer, 2002).



Şekil 2.1: Ahşabın hiyerarşik düzeyleri (Wimmer, 2002).

Ağaç, farklı biyolojik ve mekanik işlevlere sahip kök, gövde, dal ve yapraklardan oluşur. Ağacın makroskopik yapısı optik mikroskop (10×) altında veya çıplak gözle incelenebilir. Ağacın mikroskopik gövde yapısı, hücrelerin şekli, büyüklüğü, dağılışları ve doku yapılarının incelenmesiyle tespit edilir (Fröbel, 2004).



Şekil 2.2: Ağacın iç yapısı (Fröbel, 2004).

Şekil 2.2’de ağacın mikro düzeyde iç yapısı görülmektedir. Öz, enine kesitte ağacın merkez bölümündeki yuvarlak köşeli süngerimsi bir dokudur. Özden çevreye doğru uzanan öz ışınları besin maddelerini ileterek depolamaya yardımcı olmaktadır. Öz odun, özün çevresindeki ağacın gövdesinin merkez noktasında canlılığını yitirmiş ve odunlaşmış hücrelerden oluşan koyu renkli iç kısımdır. Besin ile su geçişinde görev almazlar. Diri odun, öz odun ile kabuk arasındaki ağacın gövde en kesitin paransim

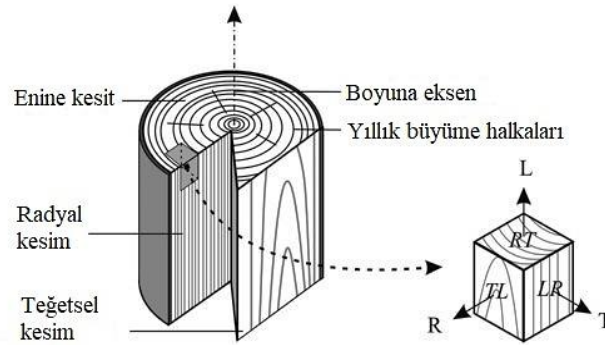
hücrelerinden oluşan dayanıksız ve açık renkli dış kısmıdır. Diri odunun işlevleri destek, iletim ve depolamadır (Herzog ve diğ., 2004).

Ağacın kabuğu iç ve dış kabuk olarak ikiye ayrılmaktadır (Duman ve Ökten, 1988). İç kabuk iç dokuyu korur ve iç kabuktaki hücreler dış kabuğa dönüştüğünden kısa ömürlüdür. Dış kabuk ağacın gövdesini saran ve nem kaybını kontrol eden en dış tabakadır. Ağacı, böcek saldırıları, yangın, vurma, çarpma gibi fiziki etkilerden ve değişen iklim koşullarından (sıcaklık, yağmur, rüzgar) korur (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Kambiyum, kabuk ile dış odun kısmı arasında bulunan, ince zarlı, enine genişlemeyi sağlayan, yeni kabuk ve hücreleri oluşturan ağacın büyüme merkezidir.

Yıllık büyüme halkaları, odun kısmında bulunan özden dışa doğru öz etrafında iç içe geçmiş halkalardır. İlkbahar halkası (odunu) Nisan - Eylül ayları arasındaki büyüme mevsiminde oluşur ve su iletimi görevi yapar (Duman ve Ökten, 1988). Geniş lümenli, ince çeperli hücrelerden oluşan, gevşek yapılı ve açık renkli iç halka kısmıdır. Yoğunluğunun az olması nedeniyle yumuşak ve dayanımı düşüktür. Sonbahar halkası, Ağustos - Eylül aylarında oluşur. Dar lümenli, daha az boşluklu ve kalın çeperli, koyu renkli ve sık yapılı dış halka kısmıdır. Yoğunluğu daha fazla olduğu için dayanımı yüksektir (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Ağaç malzemenin anatomik kesit yönlerinin farklı fiziksel özellikleri vardır. Şekil 2.3'de odunun kesim yönüne bağlı olarak üç ana yönde (enine, radyal, teğet) kesit düzeni gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Ağaç malzemenin anatomik kesit yönleri (Herzog ve diğ., 2004).

Enine kesit, ağacın gövdesinin boyuna ve liflere dik yönde kesilmesiyle elde edilir. Bu yüzey, öz odun, özışınlar, diri odun ve yıllık halkaları açığa çıkarmaktadır. Radyal kesit, ağaç gövde eksenine boyunca ve yarıçap yönünde, öz ışınlarına paralel yönde,

gövdeyi uzunlamasına özden ayırır. Teğetsel kesit, ağaç gövde eksenini boyunca ve yıllık halka sınırına teğet yönde kesilerek elde edilmektedir (Berkel, 1970).

Çizelge 2.1’de Türkiye’de ahşap yapılarda kullanılan ağaç türleri sınıflandırılmıştır (OGM, 2013). İğne yapraklı (kozalaklı) ormanlar sahilde veya dağlık bölgelerde 100m - 2000m yükseklerde yetişir. Bu ağaçlar metrede 1cm - 1,5cm kadar daralarak uzanır ve boyları 30 metredir. İğne yapraklı (kozalaklı) ağaçlar tek hücre tipine sahip ve bu hücre tipi yönetme, depolama ve besi öz suyunu iletme özelliği vardır (OGM, 2013). İğne yapraklı ağaç odunları kolay büyür ve hızlı üretim aşaması vardır. Bu ağaçlar açık tohumlu, yumuşak odunlu, yıl boyunca yapraklarını dökmezler (Can, 2013). İğne yapraklarının yüzey alanı çok küçük ve reçineli olması bu ağaçların soğuk ve kuraklığa karşı dirençli olmalarını sağlar (İlhan, 1973). İğne yapraklı ağaçların reçinesi dış etkenlere ve böceklere karşı koruyucu, dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Yapıda genellikle iğne yapraklı ağaçların kerestesi, atmosferik etkilere açık kısımlarda çırallılar (çamlar), iç kısımlarda ise köknar ve ladin türleri kullanılır (Dinçel ve diğ., 1977).

Geniş yapraklı ormanlar, yağışların yıl içinde düzenli dağılışı gösterdiği ılıman bölgelerde yetişir. Geniş yapraklı ağaçlar kapalı tohumlu, sert odunlu ve kışın yapraklarını dökerler. Geniş yapraklı ağaçlar; yönetici ana hücreler, depolayıcı hücreler, ve besi öz suyunu iletici hücreler olarak üç ayrı hücre tipine sahiptir (OGM, 2013). Geniş yapraklı ağaç odunları yavaş büyür ve su ihtiyacı çok yüksektir. Bu ağaçların odunu sert, yoğunlukları yüksek, işlenmesi zor olduğundan dayanımları fazladır. Yapıda genelde meşe ve kayın tercih edilir (Can, 2013).

Çizelge 2.1: Ahşap yapılarda kullanılan ağaç türleri (OGM, 2013).

Geniş Yapraklı Ağaçlar	İğne Yapraklı Ağaçlar
Kızılağaç, Titrek Kavak, İhlamur Ağacı, Kayın, Gürgen, Huş Ağacı, Kiraz Ağacı, Karaağaç, Akçaağaç, Meşe Türleri, Çınar, Ceviz Ağacı, Sarı Kavak, Kestane, Dişbudak, Kavak, Kiraz, Mahlep, Maun, Tik.	Sedir Türleri, Köknar, Douglas Köknarı, Karaçam, Kızılçam, Sarıçam, Yerel Çam Türleri, Ladin, Servi, Ardıç, Porsu Doğu Ladini, Fıstıkçamı, Ardıç, Porsuk, Servi, Amerikan Çamı, Amerikan Kızılçamı.

Karaçam: İğne yapraklı (kozalaklı) ağaçlardan olan karaçam ülkemizin hemen hemen her bölgesinde görülür. Coğrafi olarak geniş yayılışa sahip çam türü olan karaçam ülkemizde 400m-2100m yükseltilerde yer alır. Boyu 40m'ye, çapı 1m'ye kadar genişleyen, düzgün gövdeli, sarı-kahverengi ve kırmızımsı kahve renkli ağaç türüdür. Güneş ışınlarının etkisiyle karaçamın yüzeyinden reçine çıktığından yapıyı dış etkenlere karşı koruyan bir tabaka oluşturur. Karaçamın odunları sert, don ve kuraklığa karşı dayanıklı, reçineli ve iyi kaliteli bir ağaçtır (OGM, 2013).

Ladin: Kuzey yarım kürenin ılıman ve soğuk bölgelerinde, Doğu ve Kuzey Asya, Orta Asya, Avrupa'da görülürken ülkemizdeki yayılışı Doğu Karadeniz kıyılarında görülmektedir. Ladin, odunu kolay işlenebilen az reçineli, saman sarımsı, kırmızımtırak, beyaz renklerde 60m boylarında ve 2m'den fazla çap yapabilen düz ve dolgun gövdeli bir ağaçtır (OGM, 2013).

Kırmızı Sedir: İğne yapraklı ağaçlardan olan kırmızı sedir, ülkemizde Ege, Akdeniz, Karadeniz bölgelerinde görülür. Akdeniz ikliminin hakim olduğu Toros Dağları'nda kalkerli kayalık yamaçlarda yetişir. Kırmızı sedir, kırmızımsı kahverengi renkte, hızlı büyüyen ve dayanıklı oduna sahip bir ağaçtır (OGM, 2013).

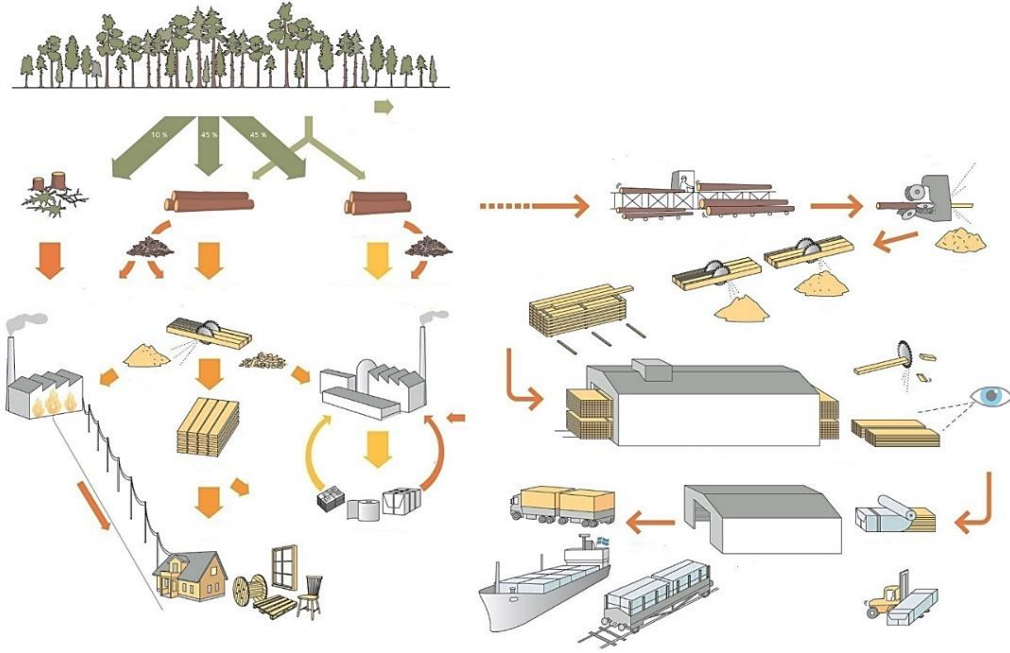
Meşe: Geniş yapraklı ağaçlardan meşe ülkemizin hemen her bölgesinde türlerine bağlı olarak yayılış göstermektedir. Yurdumuzda 18 türü bulunan meşe ağaçları; odunlarının yapıları, meyvelerinin olgunlaşma süresi, yaprak ve kabuk özelliklerine göre üç gruba ayrılır. Bunlar; ak meşeler, kırmızı meşeler ve her dem yeşil meşelerdir. Dış odunu dar, iç odunları çok belirgin ve geniş olan meşe ağacı beyaz, sarımsı kahverengi renktedir. Meşe ağacının kaliteli odun kerestesi sert, ağır, pahalı ve rutubete dayanıklı olduğundan su altında ömrü uzundur (OGM, 2013).

2.1.2 Ahşap ürünler

Ahşap ürünler doğal ahşap ürünler ve ahşap esaslı ürünler olmak üzere iki grupta sınıflandırılır. Doğal ahşap malzeme, yapıda tercih edilen ahşap yapı malzemesinin malzeme özelliklerinin değiştirilmeden kullanımıdır. Yapma ahşap malzeme ise yapıda tercih edilen ahşap yapı malzemesinin özelliklerinin iyileştirilmesiyle yapıda kullanım amaçlarına bağlı olarak farklı boyutlarda ve özelliklerde üretilmesidir.

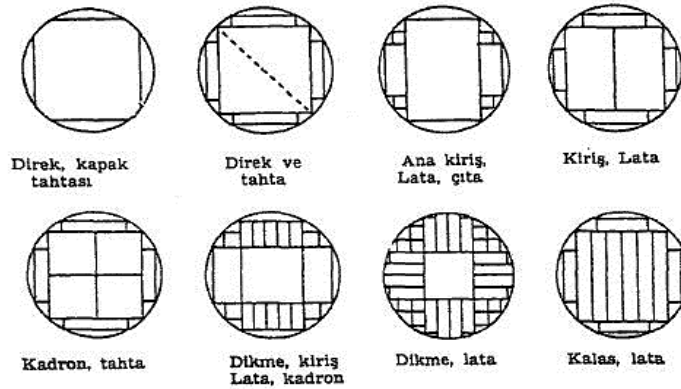
Ahşabın üretiminde ilk işlem hammadde seçimi ve sınıflandırılmasıdır. Ağaçlar, besi suyunun en az olduğu dönemde, büyümenin sona erdiği sonbaharda veya kış ayında kesilmelidir. Ağaçlar kesilerek devrilmesinden hemen sonra dal ve budakları temizlenir, kabukları elle veya makine ile soyulur, tomruklar kereste fabrikalarında özel makinalarda, özel tekniklerle kesilir. Kereste, yapıda kullanım yerine göre boyutsal ve biçimsel değişiklik gösterir. Elde edilen keresteler kullanım amaçlarına ve kurallarına uygun olarak ayrı ayrı istiflenir. Ahşaptaki nem miktarının belirli düzeye indirilmesi için açık havada doğal olarak veya kurutma fırınında nem içerik oranları %10-12 arası olacak şekilde kurutulmalıdır (Herzog ve diğ., 2004).

Keresteler görsel kalite özelliklerine göre sınıflandırılır. Türkiye’de ahşap görsel kalite açısından üç sınıfa ayrılmaktadır. Birinci sınıf ekstra mal budaksız, ikinci sınıflandırma kuşgözü budaklı (çok küçük) ve son sınıflandırma orta budaklı ve estetik önem taşımayan alanlarda kullanılan lekeli kereste türleridir (OGM, 2016). Ahşap kerestelerin taşıyıcılık işlevi, ahşap ürünün ebatlarındaki kısıtlı olma durumu ve kullanım şartlarına bağlı olarak ek işlem yapılarak farklı boyutlar kazandırılır ve uç uca eklenerek tutkallama işlemi yapılır. En çok kullanılan tutkal çeşitleri resorsinol, fenol veya üre formaldehit reçineleri, melaminüre formaldehit reçineleri, kazein, epoksi veya poliüretan bileşikleridir (TS 93, 1994). Günümüzde bunların bazıları kanserojen risk taşıdığından yavaş yavaş kullanımdan kaldırılmaktadır. Her yüzeyi tamamıyla tutkallanan tabakalar hidrolik veya el ile basınç altında preslenir. Tutkallama işlemi sonucundaki pürüzlerin giderilmesi için yüzey temizleme işlemi yapılır. Ahşaba dayanıklılık kazandırılması için kurutma sonrası fırınlama ve emprenye işlemleri yapılmalıdır. Emprenye işlemi tamamlandıktan sonra ahşap yüzey boyama ve cilalama işlemi yapılır (İlhan, 1973). Ahşap ürünlerin fabrikalarda kalite kontrol, maliyet hesaplama, stok kontrolü yapıldıktan sonra sahaya nakliye edilir. Ürünün nakliyesi sırasında zarar görmemesi, ortam şartlarından etkilenmemesi ve kirlenmemesi için fabrika ortamında paketlenir. Ahşabın hafif bir yapı malzemesi olması, taşımacılıkta önemli avantajlar getirmekle birlikte, uzun ebatlı yapı elemanlarının taşınması karayolu ve deniz yoluyla yapılmaktadır (Dinçel ve diğ., 1977). Şekil 2.4’de ahşap malzemelerin yapıda taşıyıcı, bölücü, kaplama, kalıp, pano elemanı, mobilya ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılma süreçleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Ahşap malzemenin üretim süreçleri (Fröbel, 2004).

Ahşap yapı malzemesinin sınıflandırılması kullanım yerlerine, ağacın cinsine göre çeşitli boyutlarda ve özel isimlerde ahşap elemanlar ile yapılmaktadır (Gedik, 1987). Farklı ağaç türlerinden kesilerek elde edilen tomruklardan, dikme, kiriş, kadron, kalas, lata, tahta ve çıta gibi ahşap yapı bileşenleri üretilmektedir (Herzog ve diğ., 2004). Şekil 2.5’de tomruğun biçilme yöntemleri görülmektedir (Güngör, 1961).



Şekil 2.5: Tomruğun biçilme yöntemleri (Güngör, 1961).

Tomruk: Orta çapı en az 21cm, boyu 1,5m ve daha uzun olan kabuksuz yuvarlak odundur (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Kapak tahtası: Tomrukların biçilmesi sırasında çıkan, bir yüzü kavisli olan tomruğun dış kısmına denir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Kereste: Sanayide, yapılarda ve daha birçok alanda kullanılmak üzere belli ölçülerde ağaç tomruklarından kesilen ahşap malzemedir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Kalas: Kalınlıkları 4cm-10cm, genişlikleri 15cm-40cm, uzunlukları 3m-6m arasında değişen uzun dikdörtgen kesitli kerestelerdir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Direk: Boyutları 14cm×14 cm ile 24cm×24cm arasında değişen yuvarlak köşeli pahlı veya kare kesitli kerestelerdir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Kiriş: Dar kenarı 7cm'den küçük olmayan dikdörtgen kesitli ve kenarlar arasındaki oranı 1/3 ve 1/5 arasında değişen (8×12, 8×20, 10×14, 14×18, 16×22) kerestelerdir. Kalınlıkları 8cm-28 cm, yükseklikleri 10cm-30cm, uzunlukları 2,5m-4,0m'dir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Tahta: Kalınlıkları 1cm-3,5cm, genişlikleri 15cm-32cm, uzunlukları 3m-6m arasında değişen kerestedir (TS EN 844-3, 2000).

Levha: Orman kaynaklarının en verimli bir şekilde kullanılması, ahşap malzeme atıklarının değerlendirilmesi ve ahşap malzemenin bazı olumsuz özelliklerinin (lif kıvrıklığı, budak, çatlaklar, anizotropik, heterojen ve higroskopik özellikleri gibi) en aza indirgenmesi amacı ile maliyeti düşük ve geniş ebatlarda üretilebilen ahşap ürünlerdir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Panel: Aynı ağaç türünden çıta veya lata boyutlarındaki masif ahşap malzemelerin uc uca ekli veya tek parça halindeyken (çoğunlukla dar yüzeylerinden) yanyana yapıştırılması ile elde edilen ahşap levha ürünüdür (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Sunta: Odun talaşının belli kimyasal birleştiriciler ile karıştırılarak preslenmesi sonucu elde edilen levhadır (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Takoz: Tomruk ve kereste başlarının kesilmesi sırasında yuvarlak veya köşeli olarak oluşan ve boyu en çok 20cm olan parçadır (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Kadron: Kalınlık ve genişlikleri 4cm×4cm, 12cm×12cm arasında, uzunlukları 3m-5m arasında değişen kare kesitli kerestelerdir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Lata: Kalınlıkları 2,5cm-6,0cm, genişlikleri 8cm-12cm, uzunlukları 2,5cm-4,0m arasında değişen küçük dikdörtgen kesitli kerestelerdir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Çıta: Kenarlar arasındaki oranı 3/5'den küçük boyutlarda dikdörtgen veya kare kesitli kalınlıkları 1,5cm-3,0cm, genişlikleri 2cm-5cm, uzunlukları 0,5cm-4m olan ahşap ürünlerdir (Güngör, 1969; Binan, 1986).

Endüstriyel ahşap ürünler: Ahşabın organik bir malzeme oluşundan ve homojen yapısından kaynaklanan bazı yapısal kusurları (anizotropik davranışı, boyutsal kararsızlığı, vb.) göz önünde bulundurularak ve doğal kaynakların tükenmesini azaltmak amacıyla gelişen laminasyon teknolojisiyle beraber yapma endüstriyel yapma ahşap ürünler geliştirilmiştir.

Endüstriyel ahşap ürünler, kereste, levha, yonga, lif, talaş gibi ahşap malzemelerin yapıştırıcı, bağlayıcı maddeler ile farklı şekillerde bir araya gelmesiyle oluşur. Endüstriyel ahşap ürünler; kaplamalık levhalar, kontrplak, kontrtabla, yonga levhalar, lif levhalar, talaş levhalar, tabakalı ahşap kaplama (laminated veneer lumber/LVL), tabakalı yonga ahşap (laminated strand lumber/LSL), yönlendirilmiş yonga ahşap (oriented strand lumber/OSL), paralel yonga ahşap (parallel strand lumber/PSL), tutkallı tabakalı ahşap (glued laminated timber/Glulam), çapraz tabakalı ahşap (cross laminated timber/CLT) olarak sayılabilir (European Committee for Standardization, 2004).

Çapraz tabakalı ahşap (CLT): Ahşap panellerin 3-7 arası veya daha fazla katmanların 90°'lik açıyla çapraz biçimde yapıştırılarak bir araya getirilmesiyle oluşan üründür (Mallick, 1997).

Kontrplak: Ağaç gövdelerinin (tomruk) özel makine ile soyulması ile elde edilen ince soyma levhaların tek sayıda ve lif yönleri birbirine dik olmak üzere üst üste konularak basınç altında (presle) yapıştırılmasıyla elde edilen en az üç tabakalı ahşap kaplama malzemesidir (TS 2128 EN 313-2, 2005).

Kontrtabla: Çیتالardan elde edilen bir orta katmandan ve orta tabakanın her iki tarafına ve lif doğrultusuna dik olarak kaplama levhaların basınç altında tutkalla yapıştırılmasıyla üretilmektedir (TS 1047, 1972).

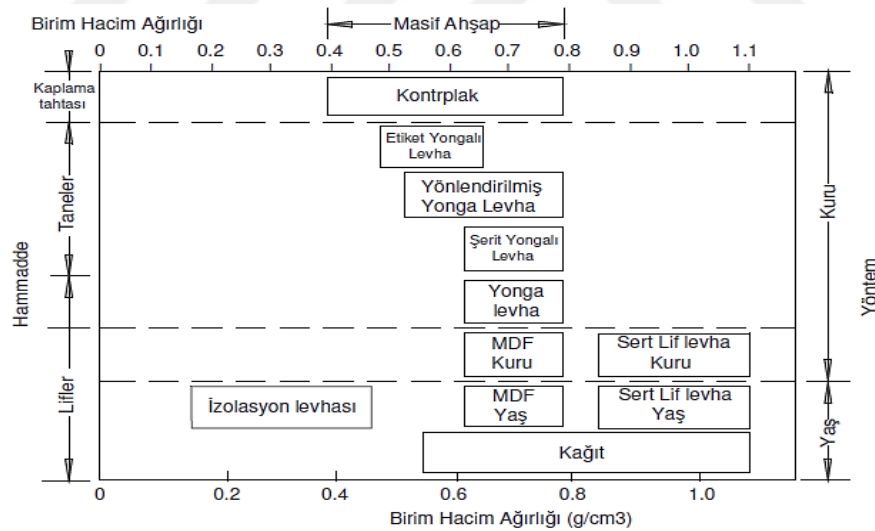
Yonga levha: Odun parçalarından (odun parçaları, yonga, testere talaşı, rende talaşı vb.) ve/veya lignoselülozik malzemelerden (keten, kenevir ipliği, kendir ipliği, suyu çıkarılmış şeker kamışı posası vb. odunlaşmış bitkilerden) elde edilen kurutulmuş

yongaların tutkalandıktan sonra yüksek sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle elde edilen geniş yüzeyli levha şeklindeki malzemedir (TS 1617, 1974).

Lifli levha (fiber board): Lifli levhalar; odun veya lignoselüloz içeren odunlaşmış hammaddelerin liflerinin, doğal yapışma veya keçeleşme özelliğinden yararlanılarak veya içerisine yapıştırıcılar katılarak yüksek basınç ve sıcaklık altında sıkıştırılması sonucu elde edilen levhalardır. Yaş ve kuru olmak üzere iki yöntemle üretim teknolojisi vardır (Ross, 2010).

Lifli levhalar yoğunluklarına göre MDF (Orta yoğunlukta lifli levha) ve HDF (Yüksek yoğunlukta lifli levha) olarak sınıflandırılmaktadır. Yumuşak lifli levhalar birim hacim ağırlıkları 350kg/m^3 'e kadar olan lifli levhalardır. Orta yoğunlukta lifli levhalar birim hacim ağırlıkları $350\text{-}800\text{kg/m}^3$ arasında olan lifli levhalar dır. Sert lifli levhalar birim hacim ağırlıkları 800kg/m^3 'ten fazla olan lifli levhalardır (Haygreen ve diğ., 1996).

Şekil 2.6'da yoğunluk, hammadde ve üretim yöntemine göre sınıflandırma yapılmıştır (Suchsland ve Woodson, 1987).

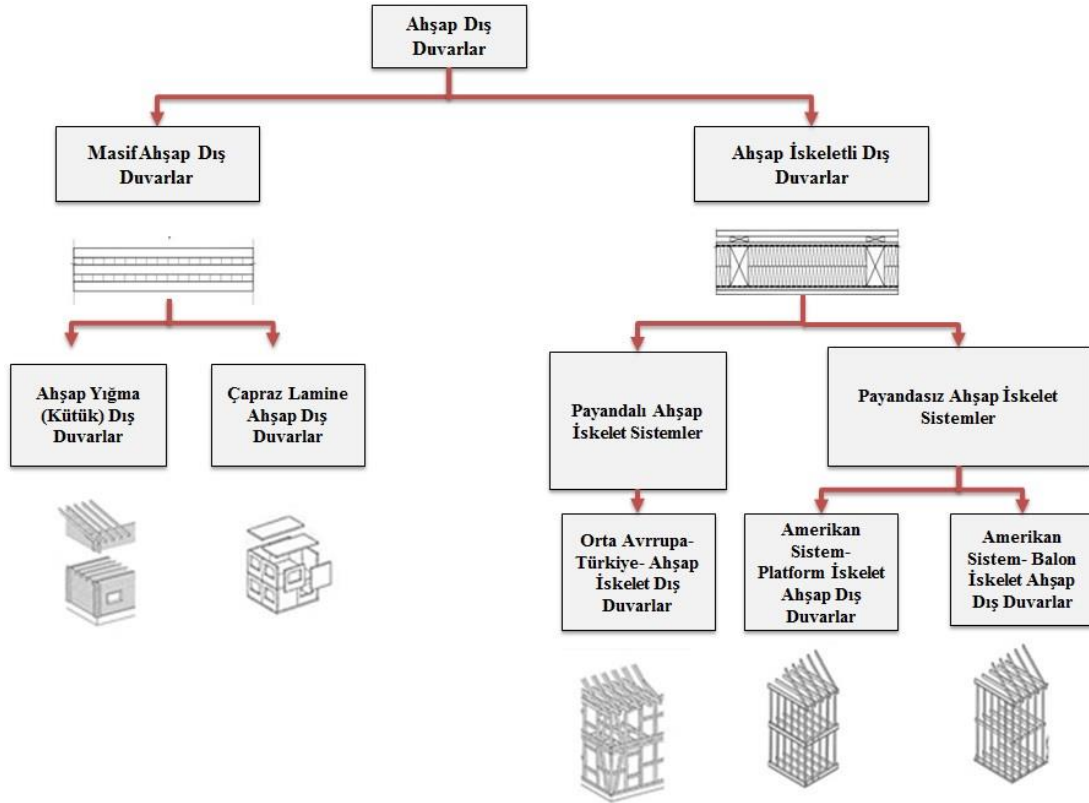


Şekil 2.6: Ahşap kompozit malzeme sınıfları (Suchsland ve Woodson, 1986).

2.2 Ahşap Dış Duvarlar

Türkiye'deki ahşap malzemenin ahşap duvarlarda kullanılışı geleneksel yöntem ile, genellikle Kuzeybatı Anadolu ve İstanbul boğazı çevresindeki yalı ve ev örneklerinde olduğu gibi, daha çok payandalı (dikmeli) ahşap iskelet duvar sistemi olarak, Doğu

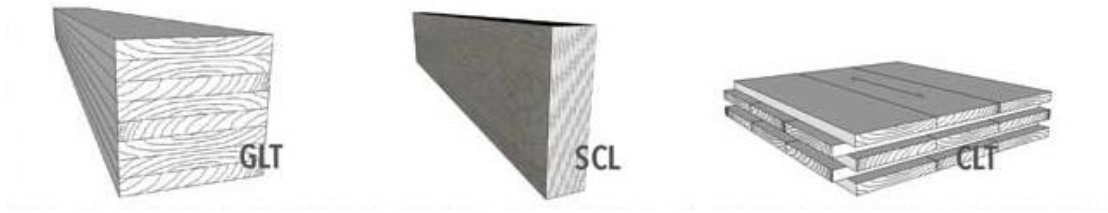
Karadeniz ve bazı yüksek dağlık bölgelerde masif kütük sistem olarak, günümüzde genellikle ahşap teknolojisinin gelişmesiyle beraber modern yöntem ile yeni gelişime açık bir malzeme olan çapraz tabakalı ahşap masif sistem duvar uygulamaları ve payandasız (dikmeli) ahşap iskelet duvar sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ahşap duvarlar, masif ahşap ve ahşap iskelet duvarlar olarak kendi içlerinde ayrıca Şekil 2.7’deki gibi sınıflandırılabilir.



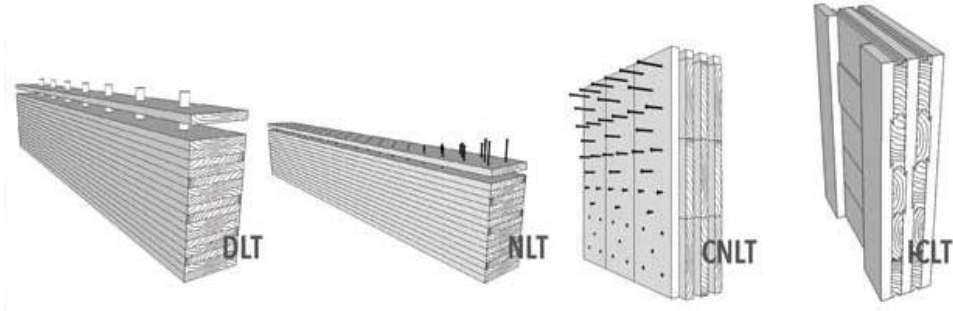
Şekil 2.7: Ahşap dış duvar sistemlerinin sınıflandırılması.

2.2.1 Masif ahşap dış duvar sistemleri

Masif ahşap duvar sistemleri kütük veya blok sistemler ve tabakalı ahşap sistemler olarak incelenebilir. Kütük sistemler, ahşabın en doğal hammadde haline sahip, herhangi bir mekanik veya kimyasal şekilde bünyesine katkı maddesini almadan ve başka ahşap malzemeler ile kesilip biçilip birleştirilmeden elde edilen ahşaptır. Masif tabakalı ahşap sistemler, Şekil 2.8’de görüldüğü gibi; (i) yapıştırılmış (tutkallı) tabakalı ve (bağlayıcı) kompozit masif ahşap; (ii) yapıştırılmamış (mekanik bağlantılı ve geçmeli) tabakalı masif ahşap olarak ikiye ayrılmaktadır (Kolb, 2008). Masif tabakalı ahşap sistemler, küçük boyutlarda doğrusal elemanlar veya hacimsel geniş boyutlu düzlemsel elemanlardan oluşabilir.



a) Yapıştırılmış (tutkalı) tabakalı ve (bağlayıcı) kompozit ahşap ürünler



b) Yapıştırılmamış (mekanik bağlantılı ve geçmeli) tabakalı ahşap ürünler

Şekil 2.8: Masif tabakalı yapısal ahşap sistemler (Kolb, 2008).

Yapıştırılmış masif ahşap sistemler: Tutkalı tabakalı ahşap (GLT: glued laminated timber) kereste liflerinin birbirine paralel olarak tutkal yardımıyla yapıştırılmasıdır; Yapısal kompozit kaplama (SCL: structural composite lumber) ahşap elemanların suya dayanıklı yapıştırıcılarla kereste şeklinde birleştirilmesidir; Çapraz tabakalı ahşap (CLT: cross laminated timber) birbirlerine çapraz şekilde yapıştırılmış çok tabakalı ahşap bir yapı malzemesidir (Kolb, 2008).

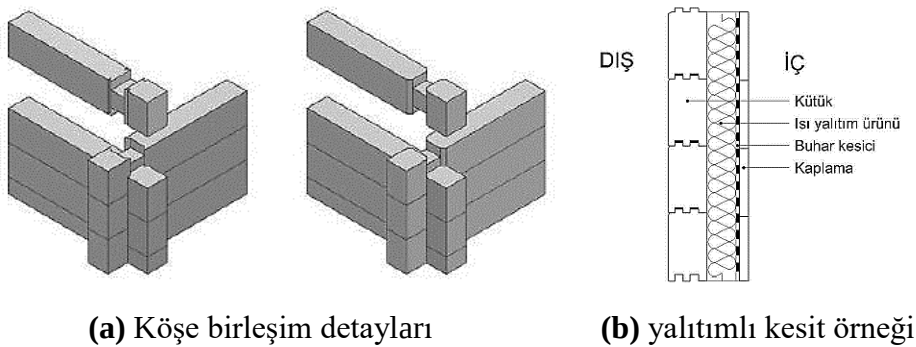
Yapıştırılmamış masif ahşap sistemler: Dübelli tabakalı ahşap (DLT: dowel laminated timber) çivi veya vida yerine tabakaları birleştirmek için ahşap dübellerin kullanılmasıdır; Çivili tabakalı ahşap (NLT: nailed laminated timber) tabakaları birleştirmek için çivilerin kullanılmasıdır; Çapraz çivili tabakalı ahşap (cross nailed laminated timber) çapraz tabakalı ahşapların çivi ile birleşimidir; Birbirine kenetli çapraz tabakalı ahşap (ICLT: interlocking cross laminated timber) CLT'ye benzer şekilde, daha küçük kereste parçalarının tabakalarını birbirine bağlamak için kırlangıç kuyruğu gibi geçme birleşimlerin kullanılmasıdır (Kolb, 2008). Masif ahşap dış duvar sistemleri, ahşap yığma (kütük) ve çapraz tabakalı ahşap olarak ikiye ayrılabilir.

2.2.1.1 Ahşap yığma (kütük) dış duvarlar

Masif ahşap yapı elemanları ile kütük ev tarzında geleneksel ahşap taşıyıcı duvar yapma geleneği çok eski ve köklüdür. Türkiye’de Anadolu’nun dağlık ve ormanlık

bölgelerinde, özellikle kereste yönünden zengin Kuzey kesimlerinde (Karadeniz, Bolu, Gerede yörelerinde) kullanılan kütük sistem genelde yerleşim yerlerinin tek katlı yapılarında veya yayla evlerinde kullanılmıştır. Dünyada ahşap yığma (kütük) yapı sistemi, soğuk iklim koşullarına sahip ormanlık bölgelerde, örneğin Rusya, İskandinavya ve Orta Avrupa'nın dağlık bölgelerinde karşımıza çıkmaktadır (Kolb, 2008). İsveç, Finlandiya, Norveç, Baltık ülkeleri ve Rusya'da düz ve uzun boylu iğne yapraklı çam ve ladin ağaçları kullanılmıştır (Goetz, 1978).

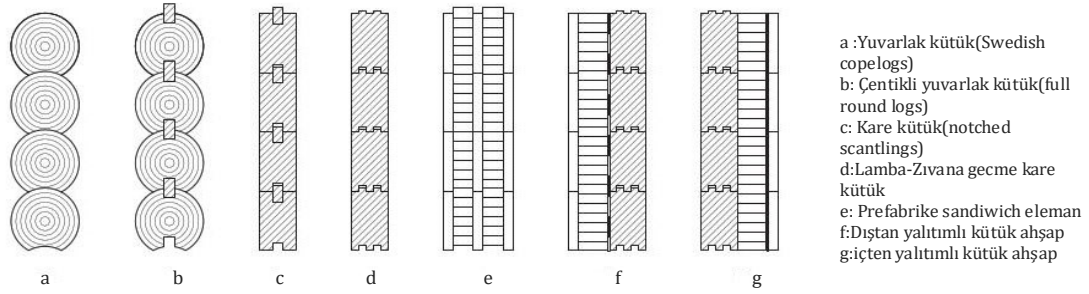
Ahşap yığma sistemler, ağaç gövdelerinden elde edilen tomruklar ve işlenmiş kare ve dikdörtgen kesitli ahşap elemanlar ile oluşturulan kütük ve blok yığma duvarlar olarak sınıflandırılabilir. Kütük yığma duvarlar, ağaçların taşıyıcı ve atmosferik dış etkenlere karşı koruyucu nitelikte olan gövdelerinin hiçbir işleminden geçirilmeden birbirleri üzerine yarım geçmeli olarak yığılmasıyla üretilen, yüzeyi kabaca temizlenmiş (kabuğu soyulmuş) doğal haldeki geleneksel üretim yöntemidir (Erenman, 1973). Blok yığma duvarlar, kısmen veya tamamen işlenmiş ahşabın (gelişmiş üretim yöntemi) yatayda üst üste getirilerek köşelerinde Şekil 2.9 (a)'da görüldüğü gibi çeşitli geçmelerle birbirlerinin üzerine bindirilmesi ile oluşturulur. Ahşap yığma yapımında kullanılan kütüklerin kalınlıkları 5cm-20cm, genişlikleri 10cm-30cm, uzunlukları 3m-13m aralığındadır. Duvarların köşe birleşimlerinde 30cm kadar çıkıntı yapılabilir. Duvarlarda ladin, sedir, karaçam ve sarıçam, dış kapı ve pencerelerde sedir, iç bölümlerde ladin, köknar ve kızılçam kullanılmaktadır (Goetz, 1978). Ahşap kütük duvarların enerji etkinliğini arttırmak için Şekil 2.9 (b)'de görüldüğü gibi, (içten veya dıştan) ısı yalıtımı ve buhar kesici uygulamaları yapılabilir.



Şekil 2.9: Ahşap kütük duvar sistemi (Kolb, 2008).

Şekil 2.10'da çeşitli ahşap kütük duvar sistemlerinin ısı yalıtımsız ve ısı yalıtımlı katmanlaşma örnekleri ile geçme ve birleşimleri gösterilmektedir. Geleneksel ahşap yığma sistemde genellikle mekanik bağlantı elemanları birbirlerine ahşap kavelalar

veya metal çiviler/vidalar ile bağlanır, istenirse aralarına yalıtım malzemesi konur (Kolb, 2008).

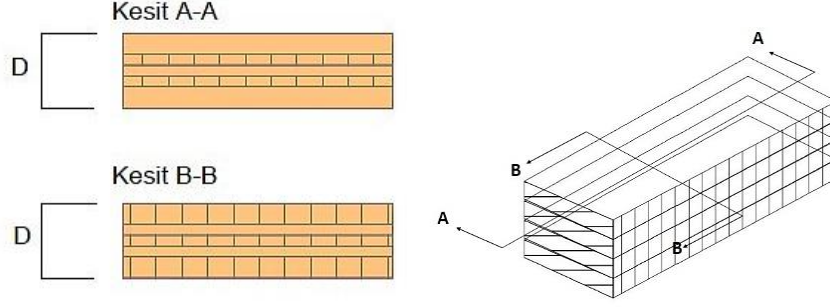


Şekil 2.10: Ahşap kütük duvar sistemleri (Kolb, 2008).

2.2.1.2 Çapraz tabakalı ahşap dış duvarlar

Çapraz tabakalı ahşap yapıların gelişimi 19. yüzyılın sonlarından 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. Günümüzde ise modern çapraz tabakalı ahşap (CLT) teknolojisi ile çok katlı veya geniş açıklıklı yapılar daha çok Avrupa ülkeleri ve Kuzey Amerika’da karşımıza çıkmaktadır. CLT ilk olarak 1900’lü yıllarda İsviçre’de başlamış, 1996 yılında Avusturya endüstri ve akademisinde çeşitli araştırma ve uygulamalarla geliştirilerek Avrupa, Almanya ve Avusturya’da yaygınlaşmıştır. İsviçre (1993), Almanya (1995) ve Avusturya’da (1998) CLT’den inşa edilen ilk binalar zamanla yapı yüksekliği artarak gelişen ahşap teknolojisiyle birlikte ilerlemiştir (Harris, 2015).

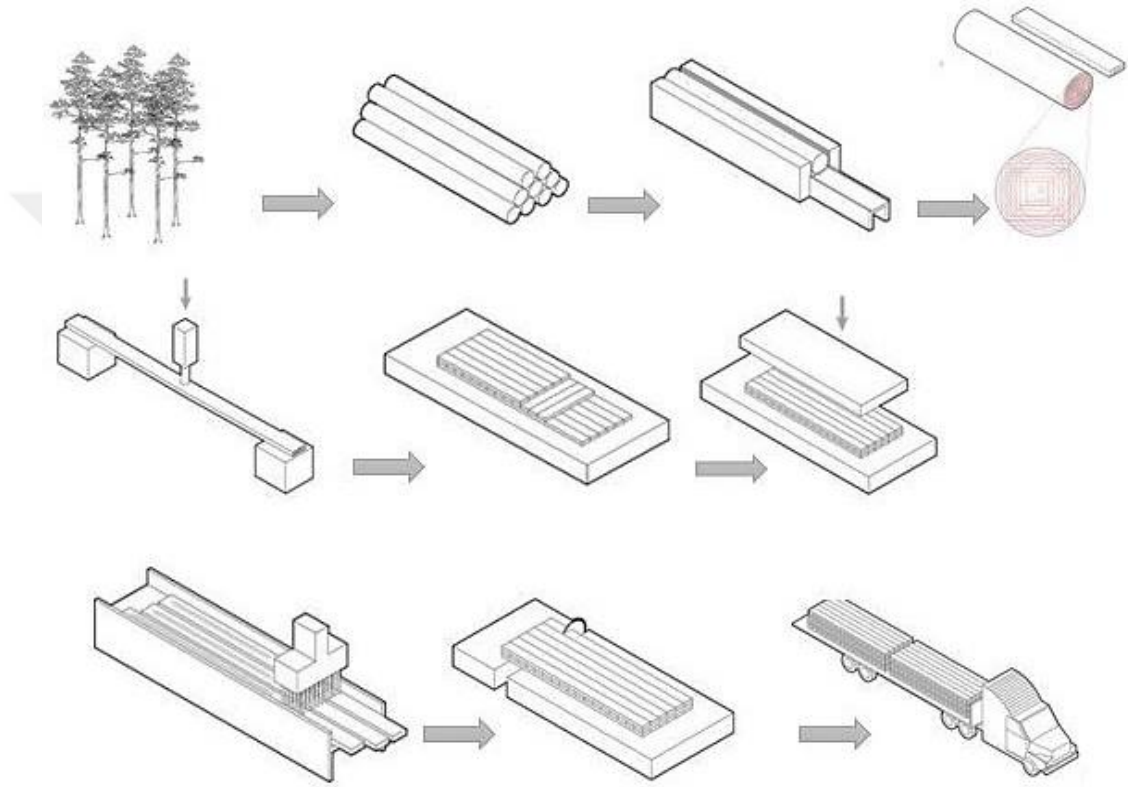
Çapraz tabakalı ahşap (CLT) lif yönlerinin ortogonal şekilde birbirine dik olarak yapıştırılmasıyla veya mekanik tutturucularla birleştirilmesiyle oluşan endüstriyel bir ahşap kompozit panel üründür (AWC, 2012). Şekil 2.11’deki gibi CLT panellerde tabakalar üç, beş, yedi veya daha fazla tek sayıdan oluşur. Böylece, üst ve alt katmanlar merkez tabaka etrafında yapı statîği açısından simetrik olur (Augustin, 2008). Çapraz tabakalı ahşap (CLT) panel boyutları genellikle en fazla 2,95m genişliğinde ve 16m uzunluğundadır. C24 kalitesindeki paneller 3 katmandan 9 katmana kadar oluşturulabilir. Panel kesitleri 60mm-400mm arasında değişen kalınlıklardadır ve ağaç türleri olarak ladin, köknar, çam, karaçam veya Douglas köknarı tercih edilir. CLT paneller kavisli veya düz olarak üretilir (Crosslam, 2014; Stora Enso, 2015).



Şekil 2.11: Çapraz tabakalı ahşap panel düzeni (Stora Enso, 2015).

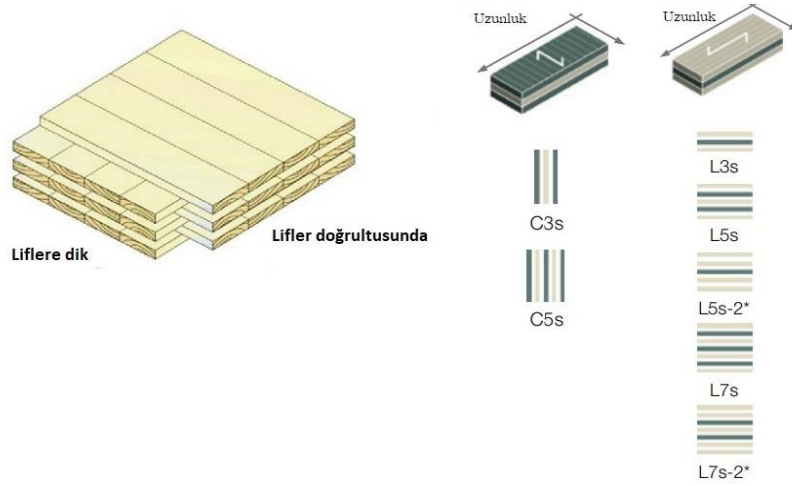
Çapraz tabakalı ahşap (CLT) üretimi: CLT panellerin prefabrikasyon olarak üretilmesi ve önceden montaja hazır hale getirilmesi aşamaları; birincil kereste seçimi, kereste gruplaması, kereste planlaması, kereste kesimi, yapıştırıcı uygulaması, panel düzenin yapılması, montaj presleme, kalite kontrol ve son olarak pazarlama ve nakliye olarak sıralanabilir (Stora Enso, 2015; Binderholz, 2010). Şekil 2.12’de görüldüğü gibi, üretim aşamasında ilk olarak seçilen kereste için uygun ahşap kütükler keskin dişli makine yardımıyla istenilen standart uzunluklarda kesilerek gruplanır. Hammadde ahşap seçiminden sonra kurutulma aşamasına geçilir. Ahşap levhalar fırınlama işleminde $12 \pm 3\%$ nem içeriğine kadar kurutulur. Ahşap için uygun nem içeriği, levhaların düzgün yapışmasını sağlar ve boyutsal değişimleri ve yüzey çatlamalarını önler. Mekanik dayanım ve görsel kaliteye göre de büyük budaklar ve reçine gibi kusurlar giderilir. Çeşitli kategorilerin kerestesi birlikte gruplanır. Yapıştırıcıların tabakalar arasındaki performansını arttırmak üzere planya işlemi ile kerestenin yüzeyleri iyileştirilir. Panel boyutları üreticiye ve uygulamaya göre değişir (Binderholz, 2010). Masif ahşap katmanları oluşturmak için (istenilen uzunluk ve genişliğe ulaşmak için) parmak eklemli levhalar yan yana yerleştirilerek monte edilir. Çapraz tabakalı ahşap panellerin birleşim noktalarında kurtağzı - parmak eklemli genellikle yapıştırma yolu veya çivileme tekniği ile ahşap kama, ahşap dübeller, veya alüminyum mekanik bağlantı elemanları kullanılır (Url-7). Fabrika üretimi sırasında (CLT) panelin iç katmanları için düşük kaliteli kereste, dış katmanları için daha yüksek kaliteli kereste kullanılmaktadır. Kerestenin istenilen boy ve kalite de olmaları için kesim ve derz açma işlemi gerçekleştirilir. Bu derzler ahşapta zaman içinde karşılaşılabileceğimiz çalışmalar sonucu oluşabilecek olası deformasyonların kontrolünü sağlar. Ayrıca, bu derzler bina hareketlerinden kaynaklanabilecek çatlamaları da engeller. Vakum veya hidrolik pres teknikleri kullanılarak paneller

preslenir. Montajı tamamlanmış paneller pürüzsüz bir yüzey elde edebilmek için çeşitli rende ve zımparalama işlemlerinden geçirilir. Böylelikle ahşabın üzerine uygulanacak diğer malzemeler için uygun yüzey hazırlanmış olur (Stora Enso, 2015; Binderholz, 2010). CNC freze ahşabın net formunun verilmesinde yüksek hassasiyet sağlar. Ahşabın yapı strüktüründe kullanımının uygunluğu mekanik dayanım deneyleri (basınç ve çekme, kesme, bükülme, eğilme) yapılarak kontrol edilir. Paneller daha sonra kamyon veya gemi ile sahaya nakledilir (Crespell ve Gagnonev, 2010).



Şekil 2.12: Çapraz tabakalı ahşap (CLT) üretimi (Stora Enso, 2015).

Panellerin üretim aşamasında tabaka sayısı ve kalınlıkları önemli rol oynamaktadır. Şekil 2.13’de görüldüğü gibi, panelin dar yönüne paralel kısa kapak tabakalarından oluşan C tipi panellerde panel kalınlıkları 60mm-160mm arasında olup, 20mm-40 mm kalınlığındaki tabakalar genellikle 3-5 katmanlı olarak tutkallanmakta iken; uzun yöne paralel uzun kapak tabakalarından oluşan L tipi panellerde ise tabaka kalınlıkları 20mm-30mm-40mm olup 3-5-7-9 katmanlı olarak yapılmaktadır. Her katmanda tabakaların yönleri değişirken bazen kalınlıkları da değişebilmektedir (Stora Enso, 2015; Binderholz, 2010).



Şekil 2.13: Çapraz tabakalı ahşap panel oluşumu (Stora Enso, 2015).

2.2.2 Ahşap iskeletli dış duvar sistemleri

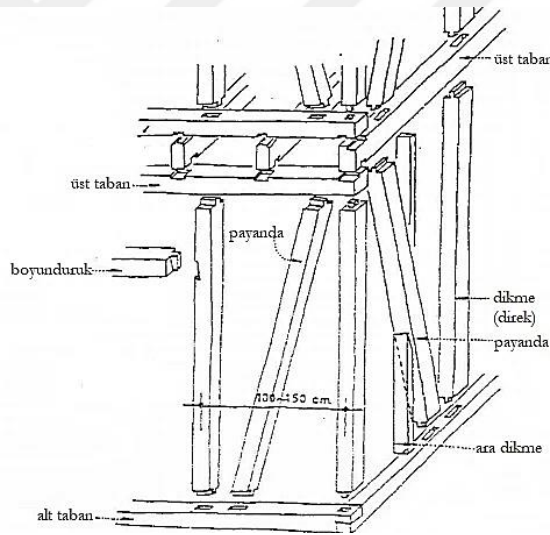
Ahşap iskeletli sistemler literatürde çatma, ahşap iskelet, ahşap karkas sistemler şeklinde farklı isimlerde kullanılmaktadır. Ahşap iskelet duvar sistemini oluşturan elemanlar; düşey bileşenler olarak dikmeler, yatay bileşenler olarak alt taban ve üst başlık elemanlarıdır. İskelet sistemin oluşturulması için iki farklı yapım yöntemi vardır; genellikle Orta Avrupa ve Türkiye’de yaygın olarak bulunan (i) çapraz destek elemanları bulunan (payandalı) iskelet duvarlar; Kuzey Amerika ve Kuzey Avrupa’da daha yaygın olarak bulunan (ii) çapraz destek elemanları bulunmayan (payandasız) iskelet duvarlar (Doğangün, 2004; Yücesoy, 2007). Ahşap iskelet duvar sistemleri yüksek dayanım değerlerinde ve ısı performans özelliklerine sahip olması için kontraplak kaplama, ahşap yünü veya taş yünü ısı yalıtımı, su ve buhar kesici örtüler ile bütünleşik bir sistem olarak tasarlanmaktadır (Sherwood ve Stroh, 1989).

2.2.2.1 Payandalı ahşap iskelet duvarlar

Ahşap payandalı iskelet duvarlar; taşıyıcı gövde, dolgu ve kaplama olarak 3 ana bölümde incelenmiştir.

Taşıyıcı (gövde) bölümü, Ahşap iskelet sistemi meydana getiren esas kısımdır. Geleneksel ahşap iskelet sistem oluşturulurken, binanın yükleri 50cm kalınlığında yığma taş temellerine veya bodrum katının taşıyıcı duvarlarına aktarılır (Deprem Yönetmeliği, 1998). Şekil 2.14’de görüldüğü gibi geleneksel ahşap iskelet sistem; dikmelerin oturduğu genellikle 15cm×15cm kesitinde, rijit olması ve eklemeler yapılabilmesi için iki parçadan meydana gelen bir alt taban (kirişi); eşit aralıklarla alt

taban üzerine, köşelere, duvarların kesiştikleri yerlere, pencere ve kapı boşluklarının kenarlarına gelecek şekilde yerleştirilen taşıyıcı ana dikmeler; dikmelerin üstünde yatay konumda ve geçme detaylarla birleşerek sistemi kapatan üst başlık (kirişi) ve dikmelerin arasındaki çapraz destek elemanlarından (payandalar) oluşur. Ağaç türleri olarak genellikle meşe, çam, kestane ve ladin kullanılmıştır (Deprem Yönetmeliği, 1998). Ahşap duvar iskeletlerinde taşıyıcı dikmeler genellikle 8cm×12cm, 10cm×12cm, 10cm×14cm kesitlerindedir ve en çok 1,5m ve en az 60cm aralıklarla yerleştirilir. Ahşap dikmeler arasına çaprazlama konan, genellikle en az 10cm×10cm kare kesitli payandaların görevi özellikle deprem sırasında oluşacak yatay yüklere karşı alt taban ve üst başlık arasındaki stabiliteyi sağlamaktır. Dikmeler ve çaprazlar, alt taban ve üst başlık kirişlerine geçmeli şekilde veya çivi gibi bağlantı elemanlarıyla bağlanır (Deprem Yönetmeliği, 1998). Dikmelerin ve payandaların arasına yatay olarak 'boyunduruk' adlı yapı elemanı yerleştirilir (Yücesoy, 2007).



Şekil 2.14: Geleneksel payandalı ahşap iskelet yapı sistemi (Önel, 1975).

Dolgu bölümü, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki geleneksel ahşap sistemlerde iskelet duvar gövdesi içindeki boşluklara taş, tuğla, kerpiç vb. farklı yapı malzemeleriyle dolgu işlemi uygulanmıştır. Dolgu malzemeleri ısı performansını arttırmakla birlikte içten ve dıştan uygun ve düzgün, estetik bir görünüm sağlamayı amaçlar. Kullanılan malzemeye, yapım tekniklerine ve dolgu çeşitlerine göre farklı uygulamalar vardır (Güngör, 1961). **Taş dolgu** yapım tekniğinde boşluklara 10-15 cm büyüklüğünde toplama taşlar yerleştirilir ve taşlar arasındaki boşluklar çamur harçla doldurulur. Doğu Karadeniz bölgesinde taş dolgunun uygulandığı özel yapım sistemleri vardır

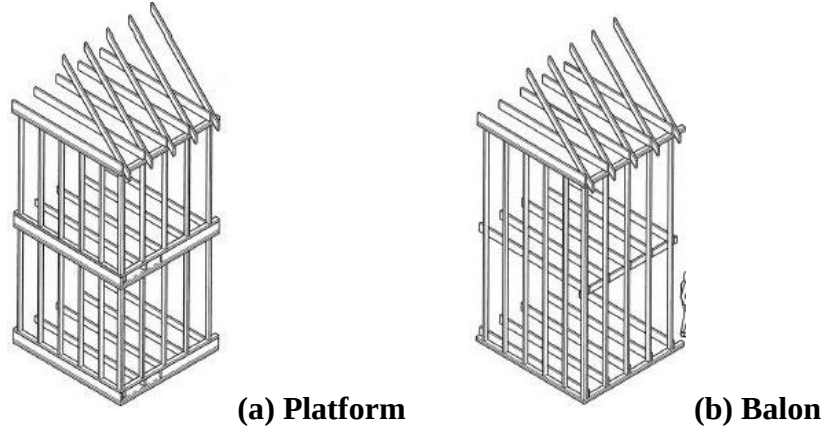
(Sözen, 1992). **Göz dolma** kare veya dikdörtgen modüllere bölünen ahşap iskelet içine yerleştirilmiş taş dolgu yapım tekniğidir. **Muska dolma** kare veya dikdörtgen modüllerin köşegenlerinden bölünerek üçgen şekillere ayrılmasıdır. En ilkel, hafif dolgulu, ucuz ve kolay işçiliği olan yuvarlak ahşap dolgu yapım tekniği kabuğu soyulan ağaç parçaların ahşap iskelet sistem içine doldurularak her iki yüzeyinin saman karışımı killi çamur ile sıvanmasıdır (Kafescioğlu, 1955). **Kerpiç veya hıms dolgu** yapım tekniği ahşap iskelet arasına kerpiç veya hıms doldurularak ahşap iskeletin üzerine 1,5-2cm aralıklarla bağdadi çıtaları çakılarak üzerine sıva yapılır (Türkçü, 2000). **Tuğla dolgu**, ahşap iskelet arasına değişik şekillerde uygulanmasıyla (balıksırtı) farklı desenler oluşturulur (Kafescioğlu, 1955). **İnce dal örgü ile iskelet boşluklarının kapatılması** yapım tekniğinde ana dikme ve payandalar arasında kalan boşluklar 2-3cm'lik ince dallarla örülerek kapatılır (Sözen, 1992). Günümüzde ahşap iskelet sistemde ısıl konfor açısından dolgu malzemesi olarak genellikle daha hafif olan taş yünü gibi ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır.

Kaplama bölümü, Dikmeler arasında kalan boşluklar kerpiç, tuğla, (günümüzde gaz beton) gibi bir malzeme ile doldurulduktan sonra üzerine sıva yapılabilmekte veya ahşap tahtalarla dış yüzeyler kaplanarak dış etkenlere karşı istenen yalıtım ve koruma sağlanmaktadır. 19. yüzyıldan itibaren Anadolu'da çok yaygın olarak kullanılmış **bağdadi kaplama yöntemi**, iç ve dış duvarlarda, içi dolu veya boş iskeletin iki yüzüne 2,5-3,5cm genişliğinde ince çıtalar çakılarak üzerlerinin sıvanması uygulamasıdır. Çıtası ile birlikte sıva kalınlığı 5-6 cm'yi bulur (Kafescioğlu, 1955). **Pedavra** veya **hartama** (shingle) kaplama tekniğinde balta ile yarılarak elde edilen 6cm, 8cm ve 10cm genişliğinde, 6mm-7mm kalınlıklarında ve 50cm yüksekliğindeki ince tahtalar ile iskeletin genellikle dış yüzeyi kaplanmaktadır (Kafescioğlu, 1955). 18. Yüzyıl sonunda daha çok İstanbul evlerinde yaygın olarak görülen **yalı baskı kaplama** tekniği, birbiri üstüne bindirilen, genellikle 1,5cm kalınlığında ve 15cm genişliğinde tahtaların çivi ile tespit edildiği uygulamadır (Kafescioğlu, 1955).

2.2.2.2 Payandasız ahşap iskelet dış duvarlar

19. yüzyılın başlarından itibaren Kuzey Avrupa'da kullanılan ve zamanla Kuzey Amerika'da yaygınlaşan, günümüzde ülkemizdeki yeni yapımlarda da tercih edilen, payandasız ahşap iskelet duvar sisteminde, yatay ve düşey ahşap elemanlar kullanılarak yapılan çerçevenin her iki yanına uygulanan kontrplak kaplamalar, yatay

yüklere karşı stabiliteyi sağlamaktadır. Şekil 2.15’de görüldüğü gibi, platform ve balon iskelet sistem olmak üzere iki farklı teknik ile yapılabilmektedir (Kolb, 2004).



Şekil 2.15: Payandasız ahşap iskelet yapı sistemleri (Dickson, 2014).

Platform iskelet yapı sistemi; günümüzde kullanımı oldukça yaygın ahşap iskelet yapım sistemidir (Deplazes, 2005). Amerikan ahşap yapı geleneğinden gelen ve 1870’lerden beri kullanılan platform çerçeve yapı sisteminde 40cm–60cm aralıklarla konulan dikmeler kat yüksekliğindedir ve alt katın üst başlığı ile üst katın alt tabanı arasında konumlanmakta olan kirişler tek parça halinde boydan boya uzanmaktadır (Burchell ve Sunter, 1987). Sistemde yaygın olarak 5cm×10cm ve 5cm×15cm boyutlarında ahşap elemanlar kullanılmaktadır (Knaack ve diğ., 2012; Smith, 2010; Staib, 2008).

Balon iskelet yapı sistemi, Kuzey Amerika’da kullanılan ilk ahşap çerçeve sistemidir. Balon çerçeve yapım yönteminde, duvar dikmeleri 2 kat yüksekliğinde sürekli devam eder ve düşey taşıyıcı sistemi oluşturan duvar dikmeleri aynı zamanda üzerlerine kaplanan duvar panellerini taşıma ve duvar gövdesinin oluşturulmasını sağlar. Her kat düzeyinde duvar dikmelerine döşeme kirişleri yaslanır. Ana kirişlere oturtulan döşeme kirişleri aynı zamanda dikmelerin yanından çivilenmektedir. 40cm - 60cm aralıklarla düzenlenen dikmelerin boyutları genellikle 5cm×10cm ve köşelerde 10cm×10cm’dir (Smith, 2010; Staib, 2008).

2.2.3 Ön yapım ahşap dış duvarlar

Fabrikada önceden üretilen ön yapım ahşap yapı elemanları ile taşıyıcı özellikleri bulunan duvar panelleri gibi ürünlerin kullanılmasıyla ön yapım ahşap yapılar oluşturulmaktadır. Duvar panelleri fabrika ortamında ön birleşimli şekilde ve şantiye

ortamında proje tasarımına göre kolayca kurularak monte edilmektedir (Staib ve diğ., 2008). Genellikle fabrika ortamında üretilen panellerin birleşimlerinde lamba-zıvanalı geçme, çivi veya metal levhalar kullanılmaktadır (Staib ve diğ., 2008). Panel duvar sistemleri işlevlerine, düzenleniş şekline göre taşıyıcı ve taşıyıcı olmama ve havalandırılmalı ve havalandırmasız olma durumlarına göre farklılık göstermektedir. Ön yapım ahşap duvar panelleri taşıyıcı veya bölücü eleman olarak kullanılabilirler. Duvar elemanlarının boylarına göre, küçük ve geniş taşıyıcı duvar panelleri, oda üniteleri, taşıyıcı olmayan küçük ve geniş duvar panelleri olarak üretimleri yapılmaktadır (Goetz ve diğ., 1989).

2.3 Ahşap Dış Duvarları Koruma Teknikleri

Güneş, yağışlar ve rüzgar gibi dış etmenler ahşaba zamanla zarar verir. Yağışlar ve şiddetli rüzgarlar ahşap yüzeyin yavaş yavaş aşınmasına, güneşin UV ışınları ise ahşabın renginin solmasına, grileşmesine ve kararmasına neden olmaktadır. Böcek ve kurtlar ahşap içinde kanallar açarak ahşabın kesitini zayıflatır ve böylece taşıyıcılık özelliklerini etkiler. Ahşabın ve her çeşit ürünlerinin özelliklerini bozan veya zarar veren etmenler ve zararlılara (çürüme, çatlama, renk bozuklukları, yıpranma, yangın vb.) karşı uygulanan her türlü önleyici veya onarıcı işlemler ahşabın korunmasıdır (TS EN 1001-2). Ahşabı tahrip eden veya ahşabın şeklini bozan organizmaların (mantarlar, böcekler, deniz oyucuları) ahşap ve ahşap esaslı ürünlere zarar vermesini önlemek veya bunların yapmış oldukları zararı azaltmak amacıyla ahşap malzemeyi koruma yöntemleri vardır (TS EN 1001-2). Ahşabın korunmasında kullanılan yöntemler: (i) ahşabın kurutulması, (ii) ahşabın bünyesine emprenye ile koruyucu malzeme emdirilmesi, (iii) ahşap dış yüzeyin koruyucu bir katman ile kaplanmasıdır (Eriç, 2002). Ahşap dış duvarlara yapılan koruyucu işlemler ile yapının mekanik dayanımı ve yangın dayanımı artar, yapının ömrü uzar ve dolayısıyla orman kaynaklarının daha verimli kullanılması sağlanmış olur.

2.3.1 Ahşabın kurutulması

Kurutma, yeni kesilmiş bir ağacın kullanılacağı yere göre yapısındaki nem içeriğini belli bir oranda azaltmak için yapılan fazla suyun uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma işlemi için malzeme kalitesinin korunması, kurutma süresinin az olması ve ahşapta kabul edilen ortalama nem içeriğinin %20 olması gerekmektedir. Kurutma sayesinde

ahşabın yapışma, direnç, sertlik gibi özellikleri artar, ahşap bünyesindeki mantar ve böcek saldırıları azalır ve ahşabın çalışma durumu için gerekli dayanıklılık sağlanır. Ahşabın kurutulması, (i) açık havada kurutma ve (ii) fırında kurutma işlemi olarak iki şekilde yapılmaktadır. Ahşabın cinsine ve kurutulduğu mevsime göre, ahşabın açık havada kurutulması için gerekli olan istifleme kurallarına ve istif sürelerine uyulmalıdır. Açık havada kurutulacak olan kerestelerin istiflenmesinde; alt taraftan hava akımına uygun bir boşluk sağlanarak toprakla temasının kesilmesine dikkat edilmelidir. Açık havada kurutma çok uzun zaman gerektirdiği için kurutma fırınları genellikle tercih edilmektedir (Bozkurt ve diğ., 1993).

2.3.2 Ahşabın emprenye işlemi

Ahşap malzemenin mantarlara, termitlere ve böceklerle karşı korunmasında kullanılan tuzlar ve yağlı maddeler ile yangına karşı korunmasında kullanılan koruyucu kimyasal maddelerin çeşitli yöntemlerle ahşabın bünyesine emdirilmesine “emprenye” işlemi denir (TS 788, 1969). Emprenye uygulama yöntemleri; (i) basınç uygulanmayan, (ii) basınç uygulanan, (iii) besi suyu çıkartma, (iv) difüzyon ve (v) yerinde bakım olmak üzere beş ana grupta sınıflandırılabilir (Örs ve Keskin, 2001). Ahşap koruyucular ise üç genel sınıfa ayrılır; (i) Yağlı ve yağda çözünen kimyasal bileşikli koruyucu maddeler, (ii) Suda çözünen kimyasal bileşikli koruyucu maddeler, (iii) Organik çözücülü kimyasal bileşikli koruyucu maddeler (Bozkurt ve diğ., 1993).

Yağda çözünen kimyasal bileşikli koruyucu maddeler: Maden kömürü ve türevlerinden elde edilen maddeler ve bazı petrol ürünleridir. En önemli örneklerden kreozot yağı, kömür katranının destilasyon yöntemiyle oluşturulan ve bünyesinde ana maddeler olarak katran asitleri (fenol, kresol, ksilenol), katran bazları (püridin, kinolin, akridin) ve nötr yağlar (naftalin, antrasen ve diğer nötr hidrokarbonlar) içeren koruyucu bir maddedir (Bozkurt ve diğ.,1993). Kreozot yağı endüstride, atmosferik dış etkenlere maruz kalınan şartlarda ve tuzlu su içerisinde kullanılacak ürünlerde tercih edilir. Kötü kokulu olması ve uygulandıktan sonra ahşaba koyu bir renk vermesi olumsuz yönleridir.

Organik çözücülü kimyasal bileşikli koruyucu maddeler: Petrol destilasyon ürünleri olarak elde edilen organik çözücülerde çözülmüş fungusit ve insektisit özelliklere sahip kimyasal bileşikli koruyucu maddelerdir. Bu bakımdan yüzlerce bileşik içeren ve çözücü bulunmayan kreozottan tamamen farklıdır (Bozkurt ve diğ.,

1993). Organik çözücülü emprenye maddeler fırça ile sürme, püskürtme, daldırma, batırma ve çift vakum yöntemleri ile uygulanmaktadır. Binalarda mantar ve böceklerle karşı koruma yapmak amacıyla yerinde bakım yapılacaksa fırça ile sürme ve püskürtme yöntemleri tercih edilebilir. Organik çözücülü emprenye maddeleri suda çözünmediklerinden uzun süreli koruma görevi yaparlar. Emprenye işleminden sonra organik çözücü buharlaşır, geriye aktif kimyasal maddeler kalır (Feist, 1994).

Suda çözünen kimyasal bileşikli koruyucu maddeler: Suda çözünen emprenye maddeleri, emprenye işlemleri sonucu ahşabın yapısı ile reaksiyona girme veya çökelme yolu ile bünyesine bağlanmakta ve bu reaksiyonlar sonucu yıkanmaya karşı dirençli hale gelmektedirler. Kokusuz olan ve yanıcı özellikte olmayan bu koruyucu maddelerin emprenye işleminden sonra ahşap malzeme yüzeyi kuru kalır, leke bırakmaz ve boyanabilir (TS EN 1001-2).

2.3.3 Ahşap yüzey koruyucuları

Ahşap yüzey koruyucuları, boya, vernik, cila gibi yüzeyde film tabakası oluşturan maddeler ile su iticiler gibi ahşapta derine nüfuz eden çeşitli kimyasal ürünlerdir (Cowan, 1991; Feist, 1983; Feist, 1994). Ahşap yüzey koruyucular, estetik ve hijyenik amaçları sağlamak, atmosferik dış etmenlerden özellikle güneş ışığının UV radyasyonundan, sıcaklık ve nem geçişini kısmen de olsa engelleyerek mantara, darbe, ve aşınma gibi mekanik etkilere karşı yüzeyi koruyan malzemelerdir. Boya ve vernik uygulama tekniklerinde; (i) cila topu, fırça ve silindirli sürme makineler gibi yüzeye temas ederek ve (ii) püskürtme, daldırma (batırma) ve dökme (perde) gibi yüzeye temas etmeden uygulanan yüzey işlemleri söz konusudur (Williams ve Feist, 1999).

Film oluşturan yüzey koruyucu maddeler: Film oluşturan yüzey koruyucu maddelerden boya ve vernik uygulamaları ile ahşabın dış veya iç yüzeyi su geçirmez bir tabaka ile kaplanarak boyutsal ve dış atmosferik şartların oluşturduğu değişimler ve mantarların oluşumu önlenir. Boya ve verniklerin özelliklerine göre farklı kuruma, katman ve uygulama özellikleri vardır. Boyalar kapatıcı, dekoratif ve koruyucu özellikleri ile birlikte geniş renk seçeneği ile en iyi korumayı sağlar. Boyalar genel olarak yağlı veya çözücülü sistemler ve suda çözünen sistemler olarak ayrılmaktadır (Feist, 1983). Lateks boyalar ise inorganik pigmentlerle çeşitli lateks reçinelerin sudaki süspansiyonundan meydana gelmektedir (Feist, 1990).

Vernikler, katman oluşturma özelliğindeki katı veya jel kıvamındaki doğal veya yapay reçinelerin eritilerek yüzeye sürülmesini sağlayan çözücü sıvıların buharlaşmasıyla sertleşen saydam ve renksiz sıvılardır (Eriç, 2002). Saydam bir malzeme olan vernik sentetik ve selüloz esaslı olmak üzere iki çeşitir. Verniğın parlaklık verme dışında etkili bir koruyuculuğu yoktur. Ahşabın en doğal görünümü açık renkli vernikler ile sağlanmaktadır. Vernikler suya karşı fazla dayanıksız olduklarından kolaylıkla çatlar ve boyaya göre kullanım ömürleri daha kısadır. Boya ve vernik üretiminde çözücü olarak kullanılan solventlerin günümüzde çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlardan dolayı ve ayrıca boya uygulamalarında ortaya çıkan uçucu organik bileşiklerin (VOC) azaltılması ve kullanım oranının düşürölmesi amacıyla su çözücölü vernik ve boyaların önemi artmıştır (Feist, 1983). Günümüzde boya endüstrisinde kullanılan su bazlı boyalar, “suyla seyrelebilen”, “lateks”, “dispersiyon”, “emölسیون” gibi isimler ile ifade edilmektedir. Su bazlı vernikler; alkid, poliester, akrilik ve poliüretan yanında daha birçok reçineden üretilen vernik türüdür (Johnson, 1997). Yağ veya alkid esaslı katı-renkli yüzey koruyucu maddeleri, yüzeyde boyalar gibi ince bir film tabakası oluşturmaktadır (Williams ve Feist, 1999). Boya uygulamaları güneş ışığına karşı etkili bir koruma sağlamalarına karşın çatlama sonucu soyulmaktadır ve boya tabakasından dolayı buharlaşıp çıkamayan nem mantarların oluşumuna neden olmaktadır. Dış yüzeyde ahşabın üzerine macun sürölmemeli ve buhar geçirgen yüzey koruyucu kaplamalar kullanılmalıdır.

Derine nüfuz eden koruyucu maddeler: Ahşabın yüzeyine uygulandığında emilerek derine nüfuz eden çeşitli yağlar, su iticiler ve örtücü boyalar yüzeyde bir film tabakası oluşturmazlar. Bezir yağı ve modifiye bazı yağlar geleneksel olarak uzun zamandır kullanılan koruyuculardandır (Cassens ve Feist, 1991). Su iticiler, genel olarak reçine, çözücü, mum ve koruyucu içeren formölasyonlardır (Feist, 1990).

Örtücü boyalar; pigmentlerin su itici koruyucu çözeltilerine veya benzer özellikteki nüfuz eden şeffaf ahşap yüzey koruyucu maddelere ilave edilmesiyle oluşan pigmentli, yarı geçirgen karışımlardır. UV ışını kısmen engellendiğinden pigmentler bu yüzey koruyucu maddelerin dayanıklılığını önemli ölçüde artırır. Örtücü boyalar pürüzlü ve düz yüzeyler için uygun maddelerdir (Kropf ve diğ., 1994).



3. AHŞAP DIŞ DUVARLARDA ISIL VE NEMSEL PERFORMANS

Bina kabuğunun ısı ve nemsel performansı, bulunduğu yerdeki mevcut dış şartlar altında, enerji etkinliğine ilişkin gösterdiği davranışında belirleyici rol üstlenmektedir. Bina kabuğunu oluşturan en önemli elemanlardan dış duvar sistemlerinde, özellikle sistemi oluşturan bileşenlerin malzemeleri ve özgün özellikleri, birleşim derzleri ve tespitleri ile birlikte, bileşenlerin kalınlıkları, yan yana gelişleri ve dizilişleri ile ortaya çıkan katmanlaşma modeli, ısı, nem ve suyun geçişini düzenleyerek ve kontrol ederek ısı ve nemsel performansın düzeyinde etkili olur (Kuş, 2013).

3.1 Dış Duvarlarda Isıl ve Nemsel Performans

Dış duvar sistemleri, taşıma, destekleme, ayırma gereksinimleri ile birlikte dış duvarlardan beklenen performans özellikleri olarak öncelikle ısı yalıtımı, su ve nemden koruma, buhar geçirgenliği, ses yalıtımı ve yangından koruma gibi temel işlevleri yerine getiren tek katmanlı veya çok katmanlı bileşenlerdir (Hegger, 2013). Dış duvar sistemleri, basitçe, dış katman, duvar gövdesi ve iç katman şeklinde yapısal bileşenlere ayrılır. Dış katman, atmosferik çevresel dış etkenlere karşı duvar gövdesini koruyan ve dış yüzeyi oluşturan dış kaplamadır. Duvar gövdesi, duvarın (kendi ve/veya binanın) taşıyıcılığını sağlayan strüktürel katmandır. İç katman ise iç ortam şartlarına ve kullanım işlevine göre farklı malzemelerin kullanılmasıyla oluşturulan iç yüzey kaplamasıdır (Toydemir ve diğ., 2004). Çok katmanlı duvar sistemlerinde, ısı ve nem ile ilişkili etkilere bağlı olarak, malzemelerde ve birleşimlerinde yüzeysel terleme, iç yoğuşma ve donma gibi ortaya çıkan bazı sorunlar duvarın ısı ve nemsel performansını dolayısıyla enerji etkinliğini önemli ölçüde etkilemekle birlikte bileşenlerin bünyesinde bozulmalar ve hasar meydana getirmektedir. Malzeme seçiminde, farklı malzeme özelliklerine bağlı olarak, mevsimsel ve günlük ısı ve nemsel değişken ortam şartlarında bulunan duvar bileşenlerinde gerçekleşen fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu duvarda hasar ile sonuçlanabilen durumlar oluşabilmektedir (Van Vlack, 1990). Çok katmanlı duvar sisteminde malzemelerin

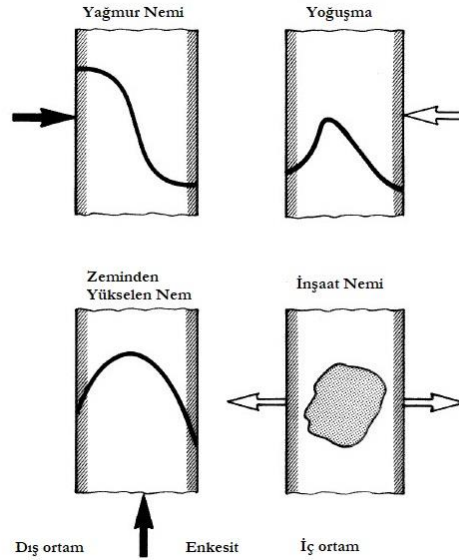
kalınlık ve özelliklerine göre birbiriyle etkileşimi sonucu bu malzemelerin katmanlaşma sırası; ısı direnç etkisi için sıcaktan soğuğa doğru artırılarak; buhar geçiş direnci için ise sıcaktan soğuğa doğru azaltılarak oluşturulmalıdır. (Eriç, 2002). Dış duvarların ısı ve nemsel performansını etkileyen faktörler genel olarak yapı elemanına ait özellikler ve çevresel etmenlerdir. Çevresel etmenler; hava sıcaklığı, havadaki bağıl nem, güneş ışıınımı, rüzgar yönü ve hızı, yağış tipi ve miktarı olarak sayılabilir (Karagiozis ve Salonvaara, 2001). Yapı elemanına ait özellikler ise; elemanı oluşturan katmanların bir araya gelişleri ile birlikte, gözenekliliği (porozite), su emiciliği, buhar difüzyon direnci, sorpsiyon eş sıcaklık eğrileri, ısı iletkenliği, yoğunluğu ve ısı kapasitesi gibi katmanlarda kullanılan malzemelerin özgün özellikleridir (Umaroğulları, 2011).

3.1.1 Dış duvarlarda nem

Bina kabuğunda; rüzgarla itilen yağış sularının çatlaklar ve derzler arasındaki hareketi, hava sızıntıları, zeminden kapilarite ile yükselen nem, iç ortamdaki işlevlere bağlı oluşan rutubet, bina içinden duvar dışına doğru hareket eden su buharının yapı malzemesi bünyesinde yoğunlaşması gibi olası olumsuz fiziksel durumlar sonucunda duvar bünyesinde oluşan istenmeyen nem birikimi dışarı atılamazsa duvarın ısı performansı önemli ölçüde düşmekle birlikte duvarda çeşitli bozulmalara yol açar (Künzel, 2005).

Yapı bileşeninde nem; gaz (buhar), sıvı (su) ve katı (buz) olarak üç farklı fazda bulunur (Kumaran, 1994). Nemin, farklı kaynaklara bağlı olarak, dış duvar bünyesine girmesi Şekil 3.1’de grafiksel olarak verilmiştir (Künzel, 1995). Dış duvarlarda en önemli nem ve su kaynağı özellikle rüzgar ile itilen yağmur sularıdır. Rüzgarın şiddetine ve yağış miktarı ve süresine bağlı olarak dış yüzeyleri ıslanan duvarlarda nem duvar bünyesinden iç ortama doğru miktarı azalarak ilerler (Kuş, 2002). Duvar bünyesine giren gaz halindeki su buharı ise soğuk katmana rastladığı arayüz veya bölgede yoğunlaşarak nem birikmesine neden olur. Yapıların zemin bölgesinde su ve nem oluşturan farklı özellikteki sular; adsorbe su, birikme suyu, kapiler su, yeraltı suyu olarak sayılabilir (Özer, 1982). Yeraltı ve sızıntı suları, toprak nemi ve yerüstü suları yapıyı dışardan, kullanma suyu ise yapıyı içinden etkilemektedir (Trechsel, 1994). Yaş yapım yöntemlerinde, örneğin beton ve örme kargir duvarlarda yapım sırasındaki inşaat nemi/suyu özellikle yapımdan sonra kullanım sırasındaki ilk yıllarda, kuruma

süresine de bağlı olarak, duvarların ısıl ve nemsel performansında etkili olur (Kuş ve diğ., 2013).



Şekil 3.1 : Nemin dış duvar bünyesine girişi (Künzel, 1995).

Su ve nem taşınmasında izlenen yollar buhar difüzyonu ve sızıntısı, yüzey difüzyonu, kapiler taşınma ve osmoz halidir. Nem akışında suyun durumu gaz halinde, adsorbe edilmiş ve sıvı halindedir. Hava basıncı sabit iken, iki farklı nemi harekete geçiren etkenler; sıcaklık ve su buharı basıncı veya sıcaklık ve bağıl nemdir (Künzel, 1995). Farklı bağıl nem durumlarına göre nem akış mekanizmaları Çizelge 3.1’de (Straube ve Burnett, 2005) listelenmiş ve Şekil 3.1’de gözeneklerde veya kılcal boşluklarda ilerleyişi görsel olarak ifade edilmiştir (Künzel, 1995).

Çizelge 3.1 : Nem geçiş mekanizmaları (Straube ve Burnett, 2005).

Nem geçişinde izlenen yol	Suyun durumu	Harekete geçiren etken
Buhar Difüzyonu	Gaz Hali	Su Buharı Konsantasyonu
Buhar Sızıntısı (Efüzyon)	Gaz Hali	Su Buharı Konsantrasyonu
Yüzey Difüzyonu	Yüzeye Tutunma (Adsorbe)	Bağıl Nem
Kapiler Taşınma	Sıvı Hali	Kılcal Emme Basıncı
Osmoz	Sıvı Hali	Çözünmüş Madde Konsantrasyon

Nem akışını modellemek için gerekli parametreler; sıcaklık, bağıl nem, su buharı basıncı, su buharı yoğunluğu, sıvı kılcal basıncı, emme basıncı, nem miktarıdır (Claesson, 1993; Hens, 1996). Nem geçişi için en etkili mekanizma, gözenekli

malzemenin sıvı suya doyması sonucu suyun kılcal yolla taşınmasıdır. Buhar difüzyonunda ise kış aylarında; duvarın iç ve dış yüzeyinde etkili olan su buharı kısmi basınçlarının yüksek olan (sıcak) iç ortam tarafından düşük olan (soğuk) dış ortam tarafına doğru geçişi söz konusudur. Yaz aylarında soğutma yapılan binalarda buhar akışı dışarıdan iç ortama doğru gerçekleşmektedir. İç ve dış ortamlardaki farklı sıcaklık ve bağıl nem oranlarına bağlı olarak kısmi basınçlar eşitlenene kadar su buharı molekül geçişi devam eder. Buhar difüzyonu, gözenek büyüklüğü su buharı moleküllerinden daha büyük olan malzemelerde gerçekleşir (Künzel, 1995). İç ortamdan dış ortama doğru gerçekleşen buhar difüzyonu, malzemenin bünyesindeki nemlilik oranı arttıkça ve gözenek çeperleri suya doyarak gözenek içi hareketli su molekülleri ile dolduğunda kapiler iletim yoluyla dış ortamdan iç ortama doğru tersine çevrilir (Künzel, 1995). Yüzey difüzyonu, buhar difüzyonu yoluyla değil malzemenin bağıl nemine bağlı sıvı iletim yoluyla taşınmaktadır. Buhar difüzyonu daha büyük gözeneklerde gerçekleşirken, yüzey difüzyonu mikro gözenek çeperlerinde de gerçekleşir. Hesaplamalarda yüzey difüzyonu genellikle ayrı ele alınmaz, kapiler iletim veya su buharı difüzyonu ile birlikte kabul edilir (Künzel, 1995).

3.1.2 Dış duvarlarda ısı geçişi

Hava sıcaklıkları farklı iç ve dış ortam arasında yüksek sıcaklıktaki enerji seviyesinden düşük sıcaklıktaki enerji seviyesine doğru ısı geçişi meydana gelmektedir (Toydemir ve diğ., 2004). Duvardan ısı geçişi malzemelerin özgün özelliklerine ve detay tasarımına bağlı olarak iletim, taşınım, ve ışıınım olarak üç yolla gerçekleşir.

Çok katmanlı duvar kesitinde etkileşim halinde olan farklı ısıdaki farklı malzemelerin moleküler yapısındaki kinetik enerjinin iletimi, malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı, kalınlığı, yoğunluğu, gözenek yapısı ve içerdiği nem miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Eriç, 2002; Toydemir ve diğ., 2004). Taşınım yoluyla ısı geçişinde; sıcak sıvı ve gaz gibi akışkan moleküllerden enerji kazanılması söz konusu olur (Eriç, 2002). Isı enerjisinin, belirli bir ara taşıyıcı ortam olmadan, kısa ve uzun dalga boyu aralıklarındaki elektromanyetik dalgalar ile yayılması sonucu gerçekleşen ısı geçişi ise ısı ışıınımı olarak tanımlanmaktadır (Eriç, 2002). Isı ışıınımında, iç/dış yüzey sıcaklığı, ışıınım katsayısı, emicilik, yansıtıcılık gibi malzemelerin yüzey özellikleri önemli rol oynar.

Duvar katmanlaşmasında boşluklu veya aralarında hava boşluğu bulunacak malzemeleri yan yana getirerek ve ısı yalıtım malzemesini soğuk yüzeye yakın olarak yerleştirerek duvarın ısıl performansı iyileştirilebilir (Toydemir ve diğ., 2004).

3.2 Isıl ve Nemsel Performansın Değerlendirilmesi

Yapı elemanlarının ısıl ve nemsel performansının değerlendirilmesinde kullanılan temel araştırma yöntemleri; alan ölçümleri, laboratuvar testleri ve elle yapılan hesaplamalar ve bilgisayar ile sayısal analizlerdir. Günümüzde bina kabuğunun ısıl ve nemsel performansının değerlendirilmesinde, yapı fiziği alanında geliştirilen matematiksel modeller ve bu modellemelere bağlı olarak teknolojik gelişmeler ile birlikte sayıları giderek artan bilgisayar benzetim araçlarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bilgisayarlı benzetim araçlarının kullanılmasıyla, modern ve yeni yapıların tasarımında, tarihi yapıların restorasyonunda veya mevcut binaların yenileme çalışmalarında önceden uzun dönem performansın tahmini yapılabilmekte ve hizmet ömrü planlanmasına olanak sağlanabilmektedir.

3.2.1 Elle yapılan hesaplama

Elle yapılan hesaplama; sabit ortamda, belirli iç ve dış çevre sıcaklık ve bağıl nem koşullarında, duvar sistemini oluşturan malzemelerin su buharı geçişine gösterdikleri direnç ve katmanlaşma sırasına bağlı olarak duvar kesitinde, arayüzlerde veya bölgesel yoğunlaşma olup olmayacağını ortaya koyan grafiksel yöntemlerdir. Çiğlenme Noktası Yöntemi, Glaser Diagramı ve Kieper Diagramı elle yapılan hesaplama araçlarına örnek gösterilebilir. Buhar difüzyonu teorisine dayanan bu yöntemler denklem ve grafik ilişkisi açısından farklılık gösterir. Her üç yöntemde de, basit buhar difüzyon denklemleriyle yapı kabuğu içindeki sıcaklıklara dayanan doyma basınçları ve buhar basınçları karşılaştırılmaktadır (Altun, 1997). 1959'da buhar basınçlarının bir yapı içerisindeki dağılımını belirlemek için geliştirilmiş grafiksel bir yöntem olan Glaser diagramında DIN 4108 Almanya standardı verileri kabul edilmiştir. TS 825 "Binalarda ısı yalıtım kuralları" standardında yapı elemanlarındaki ısı ve nem kontrolü ve yoğunlaşma/buharlaşma sürecinin belirlenmesinde Glaser yöntemi kullanılmaktadır. Glaser grafiğinde doyma basınç eğrisi ile kısmi su buharı basınç eğrisinin kesişme durumunda yoğunlaşma ortaya çıkarken, kesişmediği durumda yoğunlaşma oluşmamaktadır. Grafiksel hesaplama ve incelemeler ile yapı elemanı içinde olası

yoğuşmanın yeri ve yoğuşma miktarı belirlenebilmektedir. 1976'da geliştirilen Kieper yönteminde yoğuşma olup olmadığı, nemin en fazla hangi noktada biriktiği grafiksel yöntemle belirlenebilirken, aynı zamanda nem biriktirme hızı da tahmin edilebilmektedir. Kieper diyagramında, buhar basınçları ve doyma basınçları yerine duvar katmanlaşmasındaki malzemelerin ısı geçirgenlik dirençleri ve buhar difüzyon dirençleri grafiksel olarak işlenerek yoğuşma kontrolü yapılmaktadır (Altun, 1997; Ten Wolde ve Bomberg, 2008).

3.2.2 Bilgisayarlı benzetim aracıyla hesaplama

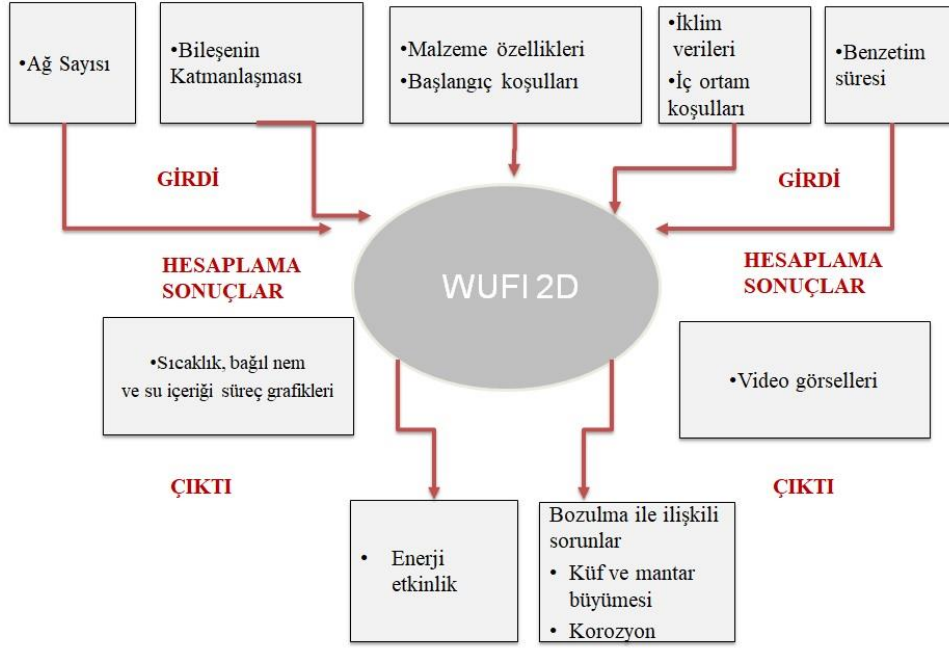
Benzetim yazılım programları, ayrıntıda tanımlanan ve hesaplanan yapı elemanları sistemlerinin ve yapım tekniklerinin ileri düzeylerde analiz edilerek öngörülen şartlar altında davranışının daha doğru tahmin edilmesine ve değerlendirilmesine olanak sağlar. Çeşitli benzetim programlarıyla, detay tasarımı aşamasında veya mevcut binaların kullanımı sırasında, değişken (dinamik) ortam koşulları altında bina kabuğunun uzun dönem ısı ve nemsel performansı tahmin edilebilmektedir. Isıl ve nemsel benzetim yazılım araçlarının kullanım amacı, tasarımcının malzeme seçimi ve bina kabuğu tasarımında, maruz kalınacak atmosferik dış etmenlere ve iç mekandaki hava kalitesine bağlı olarak zaman içinde oluşabilecek nem ve sıcaklığa bağlı olası problemleri önceden belirlemesine ve bu problemlere karşı uygun çözüm alternatiflerini üretmesine yardımcı olmaktır. Son yıllarda sayısı artan ve kullanımı yaygınlaşan ısı ve nemsel benzetim araçları ile çok katmanlı bir yapı kabuğu bileşeninde bir ve iki boyutlu ısı ve nem geçişlerinin sayısal hesaplama yöntemiyle modellenmesi yapılmaktadır (Künzel, 1995; BS EN15026, 2007). Bilgisayarlı benzetim araçları ile yapılan analizler, aynı zamanda, uzun süreli ve (yüksek) maliyetli laboratuvar deneyleri veya alan ölçmelerinin değerlendirilmesinde ve yorumlanmasında destekleyici bir araştırma yöntemidir (Hens, 1996; Trechsel, 1994). Isıl ve nemsel benzetim araçlarının hesaplama ve sayısal model tipleri bazı farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar sonucu benzetim modelleri tek boyutlu ve durağan veya iki boyutlu ve dinamik şekilde hesaplama yapmaktadır (Delgado ve diğ., 2010). Nemsel ve ısı performansını ele alan yazılımlar kullanım amacı ve ölçek açısından çeşitlilik göstermektedir. CHMC (Canada Mortgage and Housing Corporation)'nin yaptığı bir araştırmada 45 farklı bilgisayar benzetim programı incelenmiş ve aralarından seçilen MATCH, WUFI ve MOIST adlı üç yazılım aracı ile farklı duvar bileşenlerinin ısı ve nemsel performansı değerlendirilmiştir. Yapıların uzun dönem

performansının değerlendirilmesinde laboratuvar ölçümlerinin zamansal ve ekonomik nedenlerle yapılamamasından dolayı daha ekonomik ve hızlı olan benzetim araçlarının kullanımı tercih edilmektedir (Brock, 2005).

3.2.2.1 WUFI-2D benzetim aracı

WUFI-2D (Wärme und Feuchte Instationär) benzetim aracı günümüzde kullanılan en gelişmiş sayılı ısı ve nemsel analiz programlarından biridir (Url-8). Fraunhofer Institute of Building Physics (Almanya) ve Oak Ridge National Laboratory (ABD) tarafından oluşturulan, CEN EN 15026 'Hygrothermal performance of building components and building elements — Assessment of moisture transfer by numerical simulation' standardına göre hesap yapan yazılım çok katmanlı yapı elemanlarının ısı ve nemsel davranışını iki boyutlu ele alır. Bu yazılım programının amacı mimarlar, mühendisler ve yapı fizikçilerinin tasarladıkları yapı elemanlarının çevresel şartlar altında ısı ve nem ile ilişkili performans durumlarını analiz etmek ve benzetim verileri sonucu karşılaşılabilecek olası sorunlara karşı çözümler üreterek tasarımlarının iyileştirilmesini sağlamaktır (Url-8).

Isıl ve nemsel yükler hesaplanırken yapı malzemelerindeki başlangıç sıcaklık ve nem düzeyleri; iç ortam hava sıcaklığı ve bağıl nem oranı; dış hava sıcaklığı, bağıl nem oranı, rüzgar hızı, yağış miktarı ve güneş radyasyonu gibi dış ortam koşulları ve bina kabuğundaki hava basıncı farkları dikkate alınmaktadır. Yapı elemanları ve bileşenlerinin gerçek iklim koşulları altındaki davranışlarının incelenmesi amacıyla meteoroloji istasyonlarında ölçülmüş iklim verileri kullanılır. Nemsel-ısı benzetim modelinde, ayrıca, malzeme özgün özelliklerine (yoğunluk, ısı iletkenlik, özgül ısı, su/buhar geçirgenlik vb.) gereksinim duyulmaktadır. Yapı kabuğu detay tasarımında yağmur etkisi, yoğuşma riski, kuruma süreçleri gibi farklı parametrelere bağlı olarak ısı ve nemsel performans değerlendirilir (Url-8).



Şekil 3.2 : WUFI benzetim aracı modelleme akışı (Url-8).

Çok katmanlı yapı elemanlarının WUFI-2D benzetim aracı ile analizinde girdiler ile hesaplama modeli sonucu oluşan çıktılar üzerinden değerlendirme yapılır. WUFI-2D benzetim aracının girdileri sırasıyla yapı geometrisi, ağ sayısı, malzeme seçimi ve özellikleri, iklim ve yüzey koşulları, hesaplama değişkenleri olarak sayılabilir (Url-8). Şekil 3.2’de WUFI benzetim aracının modelleme akışı incelenmiştir (Url-8).

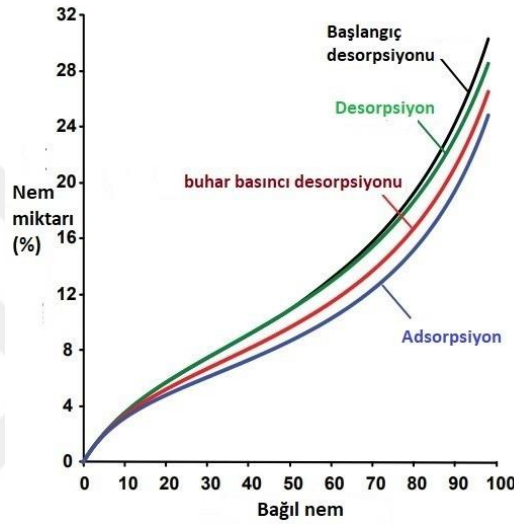
Yapı kabuğu geometrisinin modellenmesinde, geometri sekmesinde oluşturulan eleman kesitinin katmanlarının biçimi, boyutları (kalınlık, yükseklik) ve x- ve y-eksenlerindeki koordinat bilgileri girilmektedir. WUFI-2D’de CAD çizimlerinin geometri sekmesine aktarılması olanaklıdır. Modelleme yaparken ‘grid’ panelinde yapı bileşeni kesiti için ağ sistemi oluşturulmaktadır. Yapı bileşeni katmanları x- ve y-ekseni doğrultusunda genişleyen veya daralan şekilde küçük ağ elemanlarına bölünebilmektedir. Her katmanın ağ sayısı üç farklı hassasiyet derecesinde ayarlanabilmektedir. Benzetim programları ile çalışma yaparken uygun ağ seçimi için gerekli optimizasyonun yapılması gerekir. Yapı elemanının katmanlaşmasının x- ve y-eksenlerindeki dağılım seçimi benzetim sonuçlarını etkilediğinden, hassasiyet analizi çalışmaları önemli bir konudur. İklim ve yüzey koşullarının verileri program içinde yer alan harita ile seçilir. WUFI-2D benzetim aracı Avrupa, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Japonya ve Okyanusya’da yer alan yaklaşık 149 konum için gerçekçi iklim verilerini içermektedir. Programın veri tabanında bulunmayan iklim verileri için ulusal

ve uluslararası diğer kaynaklar kullanılabilir. WUFI-2D'nin kütüphanesinde gerekli iklim dosyası bulunmadığında ek seçenek olarak “Try”, “Dat”, “Wac”, “Iwc”, “Wbc” formatlarında iklim dosyaları yüklenerek kullanılabilir. Geometrik yapı bileşeninin sol ve sağ (dış ve iç) her bir yüzey için ilgili sınır koşulları girilir. WUFI kütüphanesinde yer alan iç ortam koşulları EN 13788, EN 15026, ASHRAE 160 standartlarına dayanmaktadır. Veri tabanı dışında, iç veya dış ortam koşulları için istenen değerler kullanıcı tarafından el ile girilebilir. Ayrıca, binayı etkileyen yönlenme, kısa dalga radyasyon emiciliği (-), uzun dalga radyasyon yayılımı (-), azimut, yağmur suyu emicilik faktörü, rüzgarla itilen yağmur katsayısı (s/m) gibi diğer iklimsel parametrelerin de seçilerek girilmesi gerekir. WUFI Yazılım kütüphanesi veri tabanından yapı malzemeleri ve özgün özellikleri seçilebilmektedir. Çok katmanlı elemanlarda malzemeler x- ve y- ekseninde farklı özelliklere sahip olabilir (ahşabın liflerinin boyuna kılcal iletkenliğinin radyal iletkenlikten çok daha büyük olması gibi). Bu nedenle, WUFI-2D iki yönde farklı özellikler atamaya izin verir. Veri tabanında istenen bir malzeme bulunmuyor ise yeni bir malzeme tanımlanabilir. Yapı malzemesi üreten firmaların teknik kataloglarından, standartlardan veya referans kitaplardan, hatta deneysel ölçmelerle elde edilen özgün malzeme verileri kullanıcı tarafından eklenebilmektedir. WUFI veri tabanında yapı malzemesi özellikleri için tanımlanan parametreler; hacim yoğunluğu [kg/m^3], gözeneklilik [m^3/m^3], özgül ısı kapasitesi [$\text{J}/(\text{kg K})$], ısı iletkenlik [$\text{W}/(\text{m K})$] ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ değeri) [-] vb. olarak sayılabilir. İnşa nemi gibi koşullar dikkate alınarak malzemenin kesitindeki çok katmanlı tabakaların başlangıç için bağıl nem ve sıcaklık bilgileri benzetime başlamadan önce tanımlanmalıdır. Hesaplamanın yapılacağı zaman aralığı başlangıç tarihi belirtilerek istenen performans parametrelerini değerlendirmek üzere benzetim başlatılır. Hesap sonuçları, duvar katmanlarındaki seçilen bir noktada, arayüzde, tanımlı bir bölgede veya tüm kesit alanında sıcaklık, bağıl nem ve su içeriği değerlerindeki değişimi saatlik, günlük ve yıllık süreçte grafiksel olarak vermektedir. WUFI sonuçlarında animasyon video görüntüler de oluşturulabilmektedir (Url-8).

3.3 Ahşap Dış Duvarlarda Isıl ve Nemsel Performans

Gözenekli yapıya sahip ağaç, bünyesinde iki farklı şekilde su tutar. Lümen adı verilen hücre boşluklarında tutulan suya “serbest su”, hücre çeperi yapısında fibriller ve miseller arası boşluklarda bulunan suya “bağlı su” adı verilir (Güngör, 2001).

Ahşapta nem içeriği (Moisture Content), belirli bir ahşabın içindeki suyun ağırlığının ahşabın tamamen kurduğundaki ağırlığına oranıdır. Ahşaptaki nem içeriği ortamın bağıl nemine, hava sıcaklığına, neme maruz kalma süresine, ahşabın boyutlarına ve ahşabın (ağacın türüne göre) nem emme kapasitesine bağlıdır. Ahşapta nem emilimi (sorpsiyon); nem alma “adsorpsiyon” ve nem verme “desorpsiyon” olarak gerçekleşir. Şekil 3.3’de ahşapta adsorpsiyon izotermi ve desorpsiyon izotermi ilişkisi ve arada oluşan fark (histerezis) görülmektedir (Ross, 1961).



Şekil 3.3 : Nem içeriği ve bağıl nem ilişkisi (Ross, 2010).

Ahşabın nem içeriği ile bulunduğu ortamın hava sıcaklığı ve bağıl nemi arasında meydana gelen dengeye higroskopik denge denir. Örneğin, Şekil 3.3’te de görülebileceği gibi, 21C° sıcaklıkta ve %65 bağıl nemde ortalama denge nem içeriği yaklaşık olarak %12’dir; %30 bağıl nem oranında %6’ya düşer ve bağıl nem %90’a çıktığında yaklaşık %20’nin üzerine yükselir. Bağıl nem %98 ile %99’da çam ağacının denge nem içeriği lif doyma noktasına yakın veya nem içeriği yaklaşık %28 ile %30’dur (Ross, 2010). Ahşap kurumaya başladığında önce hücre boşluklarındaki serbest suyu kaybeder. Serbest su buharlaştığında hücre duvarlarının olabildiğince fazla su tuttuğu nem içeriği seviyesi lif doygunluk noktasına gelir. Avrupa’da yetişen yumuşak ağaçlar için lif doygunluk noktasındaki nem içeriği genellikle %27 ile %33 oranları arasındadır. Literatürde genellikle lif doygunluk noktasındaki nem içeriği oranı %28 olarak kabul edilir (A.Y. Bozkurt, 1980; A. Kurtoğlu, 1984).

Havanın bağıl neminin yükselmesi ahşabın genleşmesine, bağıl nemin düşük olduğu

kuru hava ise ahşabın büzülmesine neden olur. Lif doygunluğu noktasının altındaki değerlerde ahşap bünyesine su alarak genişmekte veya su vererek büzülerek rötre etkisi oluşturmaktadır. Hacimsel veya boyutsal bu değişimlere “ahşabın çalışması” denir. Higroskopik davranışa sahip bir malzeme olan ahşap, bağıl nem ve sıcaklık şartlarına bağlı olarak uzun süreli (yıllık, mevsimsel) veya kısa süreli (günlük, saatlik) değişimlere uğrar (Herzog, 2012).

Anizotropik bir yapıya sahip ağaç malzemesinin lif yönlenme durumuna göre nemin etkisi önemli bir konudur. Odunun kesiliş yönüne bağlı olarak üç ana yönde (enine, radyal, teğet) kesit düzlemlerinde farklı fiziksel özellikler gösterir. Farklı yönlerdeki %1’lik nem miktarındaki boyutsal değişikliklerin yaklaşık değerleri; boyuna 0,0001, radyal olarak 0,0015, teğetsel olarak 0,0030’dır. Ladin ağacının ortalama büzülmesi lif doyma noktasından fırında kuruma durumuna göre (nem içeriği %30 ile %0 arasında değişiyorsa) teğet yönde yaklaşık %7-8, radyal yönde %4 ve boyuna yönde %0,1-0,2’dir (Güngör, 1961). Üç eksen boyunca farklı büzülen ahşap kurudukça şekil değiştirir. Bu şekil değiştirmeler genellikle ahşabın en fazla teğet, en az aksiyal yönünde görülmekte ve geniş yapraklı ağaçlarda iğne yapraklı ağaç türlerine oranla daha fazla olmaktadır (Ross, 2010). Ahşap malzemedeki değişen nem içeriği ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerini, biyolojik bozulmaya gösterdiği dayanımı ve boyutsal kararlılığını etkiler. Aşırı nemli ortamlarda ahşap malzemelerde küflenme, mantar üremesi ve çürüme gibi hasarlar meydana gelir.

Ahşabın bünyesinde barındırdığı nem içeriği yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Genel olarak, düşük yoğunluklu ahşap ağır ahşaptan daha az boyutsal değişime sahiptir. Ahşabın yoğunluğu çoğu ahşap türleri için 320kg/m^3 ile 720kg/m^3 arasındadır. Ancak, bazı tropikal ağaç türleri için yoğunluk aralığı yaklaşık 160kg/m^3 (balsa) ile 1000kg/m^3 arasındadır (Berkel,1970). Nem içeriği %0 olan ahşap tam kuru haldedir. Yapay kurutulan ahşabın nemi yaklaşık %12’dir. İlkbahar kesme mevsiminde kerestenin ilk nemi %100’den fazla iken kurutma süresi 200 gün; Yaz, Sonbahar, Kış aylarında kesilen kerestenin ilk nemi %80-90 aralığındadır. Yaz ayında kurutma süresi 120 gün, Sonbahar ayında kurutma süresi 360 gün ve Kış ayında kurutma süresi 280 gündür. Her mevsimde kurutma sonrası kerestenin istenilen nem içeriği %12-20 aralığındadır (Güngör, 1961).

Ahşap, içinde bulunan selüloz maddesinden ve gözenekli hava boşluklu yapısından

dolayı ısıyı az iletir. Ahşap malzemenin ısı iletkenlik değeri çoğu yapı malzemesine göre düşüktür. Bu değerler ağaç türlerine ve lif yönlerine göre değişmektedir. Liflere paralel yönde ısı iletkenliği, liflere dik yöndekinden 2,25 ile 2,75 kat daha büyüktür (Herzog, 2012). Isı iletkenlik katsayısı radyal yönde teğet yöndekinden yaklaşık %5-10 daha büyüktür. En yüksek ısı iletkenlik ahşap lif yönüne paralel olduğunda gerçekleşirken, en iyi yalıtkan olduğu durum ahşap liflere dik yönde olduğundadır. Örneğin; masif ağacın ısı iletkenlik katsayısı (λ) 0,12-0,18W/mK, yönlendirilmiş yonga levha 0,04-0,06 W/mK, ahşap yünü 0,04 W/mK'dir. Ahşabın sıcaklık faktörüne bağlı değişimleri sonucu oluşan boyutsal değişimlere ısıl genleşmesi denir. Isıl genleşme katsayıları paralel yönde $2,55-5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, radyal yönde $15-45 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, teğet yönde $30-60 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 'dir (Herzog, 2012).

3.3.1 Ahşap iskeletli dış duvarlarda ısı ve nem geçişi

Ahşap duvarların ısıl ve nemsel davranışlarını belirleyici faktörler doğru malzeme seçimi, detay tasarımı ve uygulamasıdır. Ahşap iskeletli duvarların katmanlaşması, genel olarak, ahşap dış kaplama, havalandırma boşluğu, hava kesici örtü, kontrplak, ısı yalıtımı, kontrplak, buhar kesici örtü ve iç kaplama şeklinde sıralanmaktadır. Isı yalıtım malzemesi seçilirken ısı ve nem ile ilişkili özellikler ile birlikte yangın ve akustik özelliklere de dikkat edilir. Ahşap iskelet duvar uygulamalarında dikmeler arasındaki boşluklara yerleştirilmek üzere genellikle taş yünü, cam yünü, ahşap yünü gibi ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır (CWC, 2010). Dış cephe kaplamalarında yüzeyleri atmosferik dış etkenlere karşı dayanıklı malzemeler tercih edilmektedir (Trechsel, 2001). Isısal konfor ve enerji verimliliği açısından ahşap yüksek ısı depolama kapasitesi olan bir yapı malzemesidir. Yalıtım katmanının dışa yakın kısmında su ve hava geçirimsiz bir örtü ve iç kaplamaya yakın tarafında ise buhar difüzyon kesici bir örtü uygulanması yalıtım katmanının kuru kalmasını sağlar (CWC, 2010). Isı köprüsünü engellemek için riskli bölgelere ilave yalıtım yapılmaz (Güngör, 1961). Ahşap iskeletli duvarlarda önemli nem problemlerinden biri buhar difüzyon kontrolü ile ilgili yoğuşmadır (CWC, 2010). Yoğuşma duvar bünyesinde iç ortam içindeki sıcak hava ile duvar dışındaki soğuk havanın kesiştiği noktada meydana gelir. Yoğuşma genellikle ahşap dış cephe kaplaması (OSB, kontrplak) malzemesinde oluşur. Bu problemin çözüm yöntemleri duvar kesitinde dış kaplamasının arkasında havalandırma boşluğu bırakmak veya içeriden buhar kesici örtü kaplamasının uygulanmasıdır. Yapı fiziği açısından duvar kesitini oluştururken yoğuşma problemi

olmaması için buhar difüzyon direnç faktörü (μ) değeri dış katmandan iç katmana doğru sıralanmalıdır. Buhar dengeleyici ve buhar kesici kullanımı, malzemelerin arasından su buharı akışını sınırlar ve yoğuşma kontrolü için önemlidir (Trechsel, 2001). Ahşap çerçeve duvar bileşenlerine su ulaştığı zaman çürüme, korozyon, küf benzeri bozulmalar ortaya çıkabilir. Küf ve mantar gelişimi için en uygun sıcaklık aralığı 18C° - 35C° arasındadır. Mantarlar, ahşabın nem içeriği %35 ile %50 arasında olduğunda çimlenir ve gelişir. Bu aralığın üstünde büyüme azalır ve yaklaşık 38C°'de durur. Büyüme, sıcaklık düştükçe yavaşlar. Soğuk kış aylarında düşük sıcaklıklarda mantarlar uykuda olur, ancak havalar ısındığında tekrar aktif olurlar. Mantar oluşumu, ahşap iskelet sistemde ve dış kaplama bileşenlerinde fiziksel hasara neden olabilir (Karacabeyli, 2013).

3.3.2 Çapraz tabakalı ahşap (CLT) ahşap dış duvarlarda ısı ve nem geçişi

Çapraz tabakalı ahşap (CLT) panellerde tercih edilen ağaç türleri ladin, çam ve köknardır. Kullanılan yumuşak ağaç türlerinin özgül ağırlıkları 300 kg/m³ – 600 kg/m³ arasında değişir. CLT duvar panellerinin dış katmanları genellikle, uygulanan yükler lif yönüne dik olarak yönlendirilir. C tipi panellerde ahşap lif yönleri alt ve üst katmanlarının üretiminde daima genişliğe paralel yöndedir. L tipi panellerde ahşap lif yönleri alt ve üst katmanlarının üretiminde daima genişliğe dik yöndedir. CLT panel üretiminde en önemli özelliklerden biri nem-yoğunluk ilişkisidir. CLT imalat standardına (APA, 2011) göre CLT panel üretiminde kerestenin nem içeriğinin %12 ±%3 olması gerekir. CLT panelleri kurulum sırasında aşırı düşük veya yüksek neme maruz kalabilir. Bu durum CLT panellerde boyut ve stabilitede değişikliğine neden olur. CLT panel üretiminde nem içeriği %12'ye düşünceye kadar kurutulması ile oluşabilecek şişme büzülme gibi durumlar azaltılır (Stora Enso, 2013). Fabrika şartlarında fırınlama işlemi sırasında çabuk kuruma, değişken iklim koşulları ve diğer nedenlerden dolayı çatlaklar, derzlerin ve tabakaların ayrılması meydana gelebilir. Panellerin şekil değiştirme oranı ahşap nem içeriğinin % değişimine bağlı olarak panel düzleminde %0,01, panel düzlemine dik yöndeki (panel kalınlığındaki) değişim oranı %0,24'dür. Bazı ortam şartlarında, örneğin inşaat neminden kaynaklanan çimento kaynaklı zeminden CLT bünyesine nemi depolayabilir. Nem içeriği %20'den daha yüksek olduğunda CLT yüzeyinde küf oluşumu gözlemlenebilir (Kolb, 2008). CLT dış katmanında olası yüzey çatlaklarına karşı suya dayanıklı koruyucu önlemler

alınmalıdır. CLT elemanlar nakliye, depolama ve inşaat sırasında, CLT bina kabuğu uygulama aşamasında yağmur ve yüksek nemden korunmalıdır (Herzog, 2012).

Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda ısı etkisi: CLT imalatında kullanılan ağaç cinsinin boşluklu yapısı, panellerin ısı kapasiteleri ve ısıl dirençlerini belirler. CLT panellerin kalınlıklarını arttırarak ısıl konfor değerlerini yükseltmek olanaklıdır.

3.4 Ahşap Dış Duvarlarda Isıl ve Nemsel Performans ile İlgili Bilimsel Çalışmalar

Ahşap binalarda ısı kayıplarının azaltılması ve enerji korunumu için yapı kabuğunda ısı ve nem geçişi ile ilgili çok sayıda bilimsel araştırma bulunmaktadır. Aşağıda bu çalışmalarla ilgili bilgiler kısaca özetlenmiştir.

Pehlevan ve diğ. (2011) havalandırmasız ve yalıtımlı ahşap iskelet bir duvarın ısıl ve nemsel performansını WUFI-ORNL/IBP ve MOIST bilgisayar programlarını kullanarak değerlendirmişler ve sonuçları karşılaştırmışlardır. WUFI bilgisayar programı kullanılan diğer program MOIST'e göre grafiksel ve görsellik açısından daha yararlı bulunmuştur.

Edis ve Kuş (2014) nemsel ve ısıl performansı değerlendiren WUFI 2D benzetim programında gerekli parametreleri örnek bir duvar üzerinden ayrıntılı ele alarak çalışmışlar, gerek duvar sisteminin özelliklerine gerekse benzetim girdilerinin etkinliğine bağlı olarak sonuçları tartışmışlardır.

Künzel ve diğ. (2005) çalışmalarında bina kabuğundaki ısıl ve nemsel süreçlere bağlı olarak oluşabilecek problemler WUFI programı kullanılarak ele alınmıştır. Benzetimde iç ve dış ortam koşulları için hesaba katılması gerekli nem kaynakları araştırılmıştır.

Künzel (1998) duvar sisteminde dış taraftan ve iç taraftan yapılan farklı ısı yalıtım malzemelerinin ısıl ve nemsel davranış üzerindeki etkisini WUFI 2D bilgisayar programı aracılığıyla analiz etmiştir. Dıştan yalıtımın duvarın kurumasını, yalıtım sisteminin buhar geçirgenliğine ve dış yüzey kaplamasına bağlı olarak kuruma hızını kolaylaştırdığı belirlenmiştir. Mineral yün yalıtım malzemesinin organik esaslı EPS'ye oranla daha hızlı kuruma performansı gösterdiği ifade edilmiştir.

Vydra (2007) akademik çalışmasında ladin ağacından yapılmış ahşap iskelet yapı

sisteminde oluşan ısı köprülerini araştırmış ve Glaser yöntemi ile bağıl nem dengesini hesaplamıştır. Çalışmanın sonuçları yoğunlaşma ve kapiler emme durumuna göre mevzuatlarla değerlendirilmiştir.

Teasdale ve diğ. (2007) çalışmalarında Montreal iklim koşulları altında ahşap iskeletli yapının farklı duvar tiplerinde rüzgarla itilen yağmur etkisinde nemsel ve ısı performansını WUFI 2D benzetim aracı ile değerlendirmiştir. Ayrıca, havalandırılmalı ahşap duvar sisteminde, farklı nem içeriğine sahip ahşap kaplamalar ile farklı test duvarlarında ölçümler yapılmıştır. Ahşabın radyal, teğetsel ve uzunlamasına yönlerdeki nem alma etkisini hesaba katmak için benzetimde iki farklı kesit modellenmiştir. OSB ve kontrplak levha ahşap kaplamaların nem etkisine bakılmıştır. Duvar tiplerindeki farklılıklar incelenirken su yalıtımı ve buhar kesici örtü durumuna göre test ve benzetim araçlarıyla sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçlar arasındaki uyumsuzluklara göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Capener ve diğ. (2014) çalışmasında Münih ve Oulu iklim bölgelerindeki binaların cephelerinin ısı ve nemsel davranışını WUFI-2D benzetim aracı ile modellemiştir. Bu araştırmada duvarlarda ayrıca nem ölçümleri yapılmış, sensörlerin bulunduğu noktalar benzetim ile de değerlendirilmiştir. Münih ve Oulu bölgesinden elde edilen benzetim sonuçlarının ölçüm sonuçları ile uyumlu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, ahşap dikmelerin dışına yerleştirilen ekstra yalıtım katmanı uygulamasının duvar bünyesindeki sıcaklık ve bağıl nem için olumlu etkisi vurgulanmıştır.

Kalamees ve diğ. (2003) kuzey ülkelerin iklim koşulları altında ahşap çerçeveli dış duvarların ısı ve nemsel performansını 1D-HAM, MATCH ve WUFI-2D benzetim programları kullanarak ve laboratuvar ölçmeleri ile değerlendirerek karşılaştırmıştır. Bu değerlendirmede gözlemlenen durumlar sonbahar koşullarında küflenme riski, kış koşullarında yoğunlaşma ve ilkbaharda kuruma etkinliğidir.

Fedorik ve diğ. (2013) Oulu/Finlandiya’da bulunan düşük enerjili bir ahşap ev için küf oluşma riskini analiz ettikleri çalışmalarında WUFI-2D kullanmış, benzetim sonuçlarını deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Fedorik ve diğ. (2017) çalışmalarında çapraz tabakalı ahşap binanın duvar-zemin birleşim yerinin ısı ve nemsel performans analizini yapmıştır. Benzetimde güneydoğu Finlandiya’daki Joensuu bölgesinin iklim verileri kullanılmıştır. Sıcaklık ve nem

durumuna bağılı küf gelişim riski değerlendirilmiştir.

Chang ve diğ. (2015) ahşap iskeletli duvar ve beton duvar yapıların Kore Seul bölgesinin iklim koşulları altında ısı ve nemsel performansını nem içeriği, yoğunlaşma riski ve küf büyüme açısından araştırmıştır. WUFI PRO 5.3 benzetim programı kullanılarak yapılan değerlendirmede ahşap iskelet duvarda bağılı nemin yaklaşık %78'den daha fazla olduğunda küf gelişme riski oluştuğu, beton duvarda ise küf gelişme riskinin %89 bağılı nemden daha fazla durumda olduğu belirtilmiştir.

Kang ve diğ. (2016) akademik çalışmasında, iki farklı iç yalıtım ve dış yalıtım uygulamasının yapıldığı ahşap iskelet duvar kesitlerinin Seul iklimindeki ısı ve nemsel performansını WUFI Pro5.3 ve WUFI Bio benzetim aracı kullanarak su içeriği ve küf gelişim riski açısından analiz etmişlerdir. Benzetim sonuçlarında, duvar katmanlaşmasında yalıtım yerinin küf büyüme riskini etkilemediği gözlemlenmiştir.

Hägerstedt ve diğ. (2011) araştırmalarında ahşap iskeletli binanın kuzey cephesindeki yalıtılmış ve havalandırılmalı duvarlarında ölçümler yapmışlar ve WUFI ile nem performansını hesaplayarak sonuçlarda bağılı nem ve sıcaklık değerlerini karşılaştırmışlardır.

Glass ve diğ. (2010) akademik çalışmalarında Houston, Texas iklim koşullarında ahşap iskeletli ve çapraz tabakalı ahşap duvarların karşılaştırmalı ısı ve nemsel analizini yapmışlardır. Ahşap bina tasarımında ısı ve nemsel performansın tahmininde belirli model girdilerine ve malzeme duyarlılığı ile benzetim programlarının yararını göstererek farkındalık yaratılmak istenmiştir.

Thiis ve diğ. (2015) Norveç iklim bölgesinde sekiz katlı CLT yapıda küf büyümesini 1D Ham ve WUFI benzetim programlarıyla incelemiştir. Mevcut durumda aynı yapının duvarlarını sıcaklık ve nem sensörleriyle de sürekli olarak izlenmiştir. İklim koşullarının küf gelişimi üzerindeki etkisi ahşap kaplamalar üzerinde analiz edilmiştir. Benzetimler sonucunda rüzgarın küf oluşumunda ve ahşabın performansı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Corcoran ve diğ. (2013) İrlanda'nın ılıman deniz iklimi koşulları için en kötü şartlara sahip referans yılı belirleyerek WUFI-2D programında dört farklı tipte ahşap iskeletli duvarın ısı ve nemsel performansını benzetimle modelleyerek değerlendirmiştir.

Ayrıca, benzetim sonuçlarının Delphin programı ile doğrulaması da yapılmıştır.

Pasztory ve diğ. (2012) Kuzey Amerika ve Avrupa’da ladin ağacından yapılmış ahşap iskeletli evlerin enerji verimliliğini ve nem direncini WUFI Pro5 ısı ve nem benzetim programını kullanarak karşılaştırmıştır.

Gasparri ve diğ. (2018) Avusturalya’nın farklı iklim bölgelerinde hava boşluklu ve yalıtımlı ahşap iskelet duvarların ve masif CLT duvarların ısı ve nemsel performansını WUFI-2D yazılımı ve küf gelişimini WUFI-BIO yazılımı ile araştırmıştır. Benzetim sonuçlarına göre CLT duvarın nemsel ve ısı performansının ahşap iskelet duvara göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, ahşap duvarlara yanlış uygulanan buhar kesici örtü yerleşimlerinin ahşap bina performansına olumsuz etkilerine bakılmıştır.

Yoo ve diğ. (2019) Kore’nin kötü iklim koşullarındaki bölgelerde CLT evlerin uzun süreli dayanıklılığını sağlamak için duvarların ısı ve nemsel performansını ve bina enerjisinin analizlerini WUFI PRO5.3 programı ile yapmıştır. Çalışma öncesinde ve sırasında yapılmış malzeme testlerinin sonuçları benzetimde veri olarak kullanılmıştır. Benzetimde farklı yalıtım malzemeleri ve kalınlıkları, buhar geçiren su geçirmez örtünün konumu çalışılmıştır.

Straube (2014) araştırmasında Güney Ontario iklimi altında deneysel bir binanın kurulumu, ölçümler ve benzetim sonuçları arasındaki farkları karşılaştırmalı incelemiştir. İki tip suya dirençli koruyucu örtü, iki tip ısı yalıtımı ile birlikte beş ahşap türü ve on altı adet CLT panelde ısı ve nemsel performans deneysel olarak ve benzetimle araştırılmıştır. CLT panellerin farklı derinliklerinde nem içerikleri izlenmiş ve ıslak panellerin kuruma davranışları analiz edilmiştir.



4. AHŞAP DIŞ DUVARLARIN ISIL VE NEMSEL PERFORMANSININ BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu bölümde, öncelikle benzetim çalışmalarına veri oluşturmak amacıyla yapılan alan araştırması ele alınmaktadır. Benzetim programının etkin çalıştırılması için önce benzetim sürecindeki girdiler tek tek ele alınarak deneme yöntemiyle doğrulaması yapılmıştır. Alan çalışmasında belirlenmiş olan beş tip ahşap duvar sistemi ve bileşenlerinin bazı özelliklerinin etkinliği araştırılarak doğrulaması yapılmıştır. Tüm bu hazırlık aşamalarından sonra değerlendirme parametreleri belirlenerek benzetim sonuçları karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

4.1 Alan Çalışması

Tez kapsamında, önce bir alan çalışmasıyla İstanbul Riva'daki bazı ahşap projeler incelenmiş, mevcutta kullanılan ahşap duvar tipleri belirlenmiştir. Gözlemlenen uygulamalardan seçilen beş örnek Şekil 4.1'den Şekil 4.5'e kadar verilmiştir.

Şekilde 4.1'de görülen proje geniş bir çiftlik arazisinde tekil konut yapısı olarak tasarlanmıştır. Yapıyı oluşturan tüm parçalar ayrı ayrı tasarlanmış, yapının taşıyıcı sistemi dış duvar panelleri üzerine oturan alın panellerinin oluşturduğu çerçeve sistem ve iç duvar panellerinin üzerine oturan kirişler ile oluşturulmuştur. Uygulama aşamasında şantiyeye getirilen malzemenin çizimlere uygun olarak montajı tek seferde ek malzeme gerektirmeden kısa sürede yapılmıştır (Url-2). Bu ahşap yapıya ait "Tip1" duvar kesiti 5 katmanlı 140mm kalınlığında çapraz tabakalı ahşap yalın duvardır. Bu duvarın dış katmanında çam, iç katmanında ladin ağacı kullanılmıştır. Dış katman ve iç katman tabaka kalınlığı 40mm ve ara katmanlarda tabaka kalınlıkları 20mm'dir.



Şekil 4.1 : Tip1 CLT ev.

Şekil 4.2’de görülen “Tip2” duvar detayı firmaya ait özel bir sistemdir. 5 katmanlı 70mm çapraz tabakalı ahşap gövde ile birlikte 25mm kırmızı sedir ahşap dış kaplama, 20mm hava boşluğu, hava kesici ve buhar kesici örtü katmanları ile 30mm ahşap yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır (Url-2).



Şekil 4.2 : Tip2 çapraz tabakalı ahşap duvar detayı.

Şekil 4.3’te görülen projenin tasarım fikri yapının taşıma işlemini vinçler yardımıyla istenilen alana kurulması üzerine kurgulanarak konteyner ahşap ev konseptinde oluşturulmuştur (Url-2). Bu konteyner ev projesindeki “Tip3” duvar örneğinde, 70mm CLT duvar gövdesi ile birlikte 25mm karaçam ahşap kaplama, 5mm havalandırma boşluğu, hava ve buhar kesici örtüler, 30mm kalınlıkta taş yünü yalıtım katmanı bulunmaktadır.



Şekil 4.3 : Tip3 CLT ev.

Şekil 4.4’de görülen konut örneğine ait “Tip4” ahşap iskelet duvar 225mm kalınlıktadır. Bu ahşap duvarda 140mm dikmeler olup, sırasıyla 25mm kalınlığında çam ağacı dış kaplama, 20mm hava boşluğu, hava kesici örtü, dikmeler arasında 140 mm ahşap yünü ısı yalıtımı, buhar kesici örtü ve 20 mm kalınlığında masif ahşap panel (SWP) iç kaplama vardır (Url-2).



Şekil 4.4 : Tip4 ahşap iskelet duvar.

Şekil 4.5’de görülen ahşap kütük ev projesinin duvarları, tavan yüksekliğinde 120 cm aralıklı dizilen 20cm kalınlığındaki kirişler ile birbirlerine kilitlenerek bağlanmışlardır. Çatı kirişleri üzerine ses geçirmeyen CLT çatı panelleri monte edilmiştir (Url-2). Bu yapıya ait “Tip5” yalın duvar örneği 140mm kalınlıktadır.

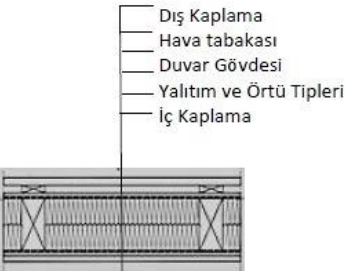
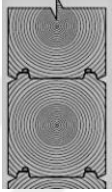
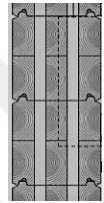


Şekil 4.5 : Tip5 ahşap kütük ev.

4.2 Benzetim

Benzetim çalışmalarının kapsamı; WUFI ısı ve nemsel performans benzetim programının girdileri, benzetim süreci ve çıktıları; örnek yapıların duvar sistemlerine ait ahşap malzeme özellikleri; ahşap iskelet ve masif ahşap duvar tipleri, bileşenleri ve katmanlaşma modelleri; ısı ve nemsel performans değerlendirme parametreleri ve karşılaştırmalı benzetim sonuçları alt başlıkları ile Çizelge 4.1’de kısaca özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : Benzetim çalışmalarının kapsamı.

B E N Z E T İ M Ç A L I Ş M A S I	
1. W U F I - 2 D	
1.1. Benzetim Girdilerinin Tanımlanması Geometri ve Sayısal ağ modelleme Malzemeler Başlangıç koşulları Sınır koşulları İç ve Dış ortam (iklim) koşulları Benzetim süresi	1.2. Benzetim Çıktıları Bağlı Nem/Zaman Su içeriği/Zaman Sıcaklık/Zaman
2. A Ğ A Ç T Ü R L E R İ v e Ö Z E L L İ K L E R İ	
2.1. Ağaç Türü: Çam Kırmızı Sedir Meşe Dişbudak	2.2. Ağaç Lif Yönlenmesi: Boyuna Radyal Teğetsel 
3. D U V A R T İ P L E R İ v e K A T M A N L A Ş M A M O D E L L E R İ	
3.1. Ahşap İskeletli Duvar 	3.2. Masif Ahşap Duvar Kütük (yığma) ahşap duvar 140 mm kalınlıkta meşe ağacı   CLT 5 katmanlı masif CLT duvar 3 katmanlı dıştan yalıtımlı duvar 5 katmanlı dıştan yalıtımlı duvar
Kaplamalar: Dış duvar kaplaması: Yatay kaplama İç duvar kaplaması: Masif ahşap panel	Kaplamalar: Dış duvar kaplaması: Yatay kaplama İç duvar kaplaması: CLT katman
Havalandırma: (boyut, saat başına hava değişim sayısı) 20mm (mevcut) ve 40mm (önerilen) 0, 6, 25, 50	Havalandırma: (boyut, saat başına hava değişim sayısı) 5mm (mevcut), 20mm (mevcut) ve 40mm (önerilen) 0, 6, 25, 50
Yalıtım katmanı: Ahşap yünü	Yalıtım katmanı: Ahşap yünü ve Taş yünü
Örtüler: Hava kesici örtü Buhar kesici örtü	
Yüzey Koruyucular: Boya katmanı Emprenye uygulaması	
4. D E Ğ E R L E N D İ R M E P A R A M E T R E L E R İ v e K A R Ş I L A Ş T I R M A	
4.1. Ahşap dış duvar kaplama malzemesinin özelliklerine bağlı olarak değerlendirme 4.1.1. <i>ağaç türüne göre</i> 4.1.2. <i>ağaç lif yönlenmesine göre</i> 4.1.3. <i>yüzey işlem ve boya kullanım durumuna göre</i> 4.2. <i>Hava tabakası olup olmasına göre</i> değerlendirme 4.3. <i>Bağıl nem oranı yüksek iç ortam şartlarında</i> değerlendirme 4.4. Çapraz tabakalı ahşap panelin tabakaları arasındaki <i>yapıştırıcı kullanımına göre</i> değerlendirme 4.5. <i>Hava kesici ve buhar kesici kullanımına göre</i> değerlendirme	

4.2.1 Ahşap duvar tiplerinin belirlenmesi

Alan çalışmasında gözlemlenen farklı tip ahşap duvar sistemleri sırasıyla; Tip1 yalnız 5 katmanlı masif CLT duvar, Tip2 dıştan yalıtımlı 5 katmanlı masif CLT duvar, Tip3 dıştan yalıtımlı 3 katmanlı masif CLT duvar, Tip4 140mm dikmeli iskelet ahşap duvar, Tip5 yalnız kütük ahşap duvardır. Beş tip ahşap duvara ait katmanlaşma modellerinin bileşen malzemeleri ve boyutları ile birlikte plan, kesit ve 3 boyutlu çizimleri sırasıyla Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Ahşap duvar tipleri, Tip1 ve Tip2.

	Tip1: yalnız 5 katmanlı masif CLT duvar	Tip2: dıştan yalıtımlı 5 katmanlı CLT duvar
Plan		
Kesit		
3B model		

Çizelge 4.3 : Ahşap duvar tipleri, Tip3 ve Tip4.

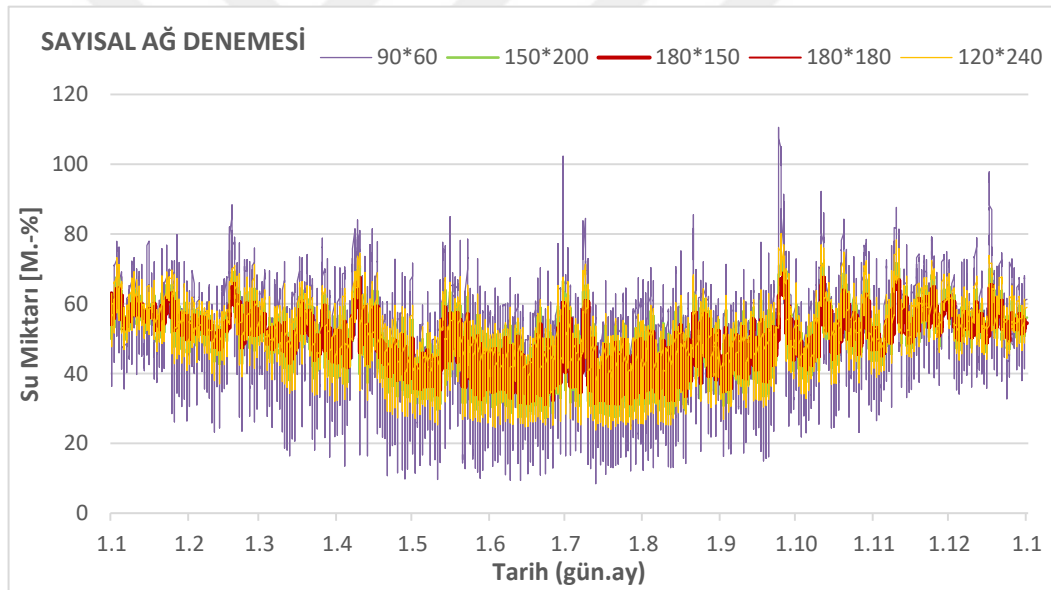
	Tip3: dıştan yalıtımlı 3 katmanlı CLT duvar	Tip4: 140 mm dikmeli iskelet duvar
Plan	Karaçam ahşap kaplama (25mm) Hava boşluğu (5mm) Hava bariyeri Taş yünü (30mm) Buhar bariyeri 3 katmanlı CLT paneli (60 mm) Dış Ortam İç Ortam	Avrupa çamı ahşap kaplama (25mm) Hava boşluğu (20mm) Hava bariyeri Boardex alçı levha/OSB Taş yünü (30mm) Buhar bariyeri Boardex alçı levha/OSB SWP paneli (20 mm) Dış Ortam İç Ortam
Kesit	Dış Ortam İç Ortam CLT Duvar (60mm) Taş yünü (30mm) Hava bariyeri Karaçam Ahşap kaplama (25mm) Buhar bariyeri	Dış Ortam İç Ortam Ahşap çerçeve duvar (140mm) Preslenmiş ahşap lif levha (30mm) Hava bariyeri Avrupa çamı kontrplak (25mm) Boardex alçı levha/OSB levha Buhar bariyeri Boardex alçı levha/OSB levha SWP (20mm)
3B		

Çizelge 4.4 : Ahşap duvar tipi, Tip 5.

	Tip5: yalın kütük ahşap
Plan	Dış Ortam İç Ortam
Kesit	Dış Ortam İç Ortam Kütük duvar (140mm)
3B	

4.2.2 Ağ sayısının belirlenmesi

Benzetimde modellenen duvar katmanlaşmasının farklılaşması ve sayısal ağ hesaplamasında x- ve y- eksenleri boyunca ağ sayılarının değişimi benzetim süresini ve sonuçlarını etkilemektedir. Benzetime başlamadan önce kontrol amaçlı denemeler ile, y-ekseni sabit iken x-ekseni 90'dan aşamalı olarak 180'e arttırılarak; x-ekseni sabit iken y-ekseni 60'dan aşamalı olarak 240'a arttırılarak farklı duvar tipleri için ağ sayısı optimizasyon çalışması yapılmıştır. Ağ sayısına göre yapılan denemelerde benzetim sürelerinin 6dk ile 60dk arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca, ağ sayısına bağlı olarak hesaplamaların doğrulaması sonucu her bir duvar tipi için WUFI kullanım kılavuzundaki örnekten daha sık bir ağ sayısına karar verilerek hassasiyet arttırılmıştır. Şekil 4.6'da deneme çalışmalarından verilen örnek bir grafikte de görüldüğü gibi, ağ sayısına bağlı olarak benzetim sonuçlarında önemli farklılıklar çıkabilmektedir.



Şekil 4.6 : Ağ sayısı deneme grafiklerinden bir örnek.

4.2.3 Ahşap duvar sistemlerindeki malzeme bileşenlerinin seçimi

Tip duvarlardaki katmanlaşmalar için öngörülen malzemelerin yazılım programının mevcut kütüphanesindeki özellikleri, ahşap firmaların ve ilişkili diğer yapı malzemesi firmalarının teknik kataloglarından ve kaynak kitaplardan gerçek veriler ile birlikte denemeler yapılarak karşılaştırmalı değerlendirilmiş ve en doğru ve en uygun şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Benzetim veritabanından seçilen malzemelerin özellikleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. WUFI benzetim aracının malzeme sekmesinde anizotropik

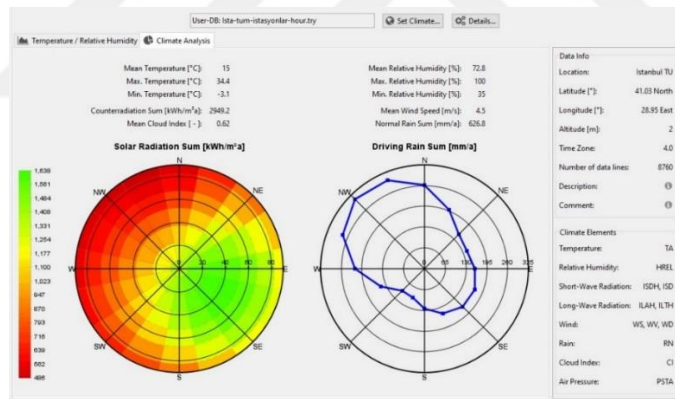
özellikteki ahşap malzemelerin x- ve y-eksenlerine göre farklı özellikleri her bir eksen için ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Masif CLT duvar gövdesi için farklı lif yönlenme durumları çam ağacı türüne bağlı olarak radyal, teğetsel ve boyuna olarak seçilmiştir. Ahşap dış kaplamayı oluşturan ağaç türü Tip1, Tip3, Tip4 ve Tip5 duvarlarında çam ağacı; Tip2 duvarında kırmızı sedir ağacıdır. Ahşap dikmeli duvar gövdesinin kaplama malzemesi OSB yonga levhadır. Isı yalıtım katmanı, incelenen farklı duvar tipleri için taş yünü ve ahşap yünüdür. Tip2 duvarında 40mm kalınlıkta ahşap yünü, Tip4 duvarında 140mm kalınlıkta ahşap yünü, Tip3 duvarında 30mm kalınlıkta taş yünü ısı yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Dikmeli ahşap duvarların iç katman malzemesi (SWP) masif ahşap kaplamadır. Hava ve buhar kesici örtü malzemelerin özellikleri firma kataloglarından alınılanarak benzetime elle girilmiştir.

Çizelge 4.5 : Benzetim veritabanından seçilen malzemeler ve özgün özellikleri (Url-8).

Malzeme Özellikleri		Yoğunluk (kg/m ³)	Gözeneklilik (m ³ /m ³)	Özgül ısı kapasitesi C (J/kgK)	Isı iletkenlik katsayısı λ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnci faktörü μ (-)
CLT duvar gövdesi	CLT ürün 1	454	0,56	2500	0,12	203
	CLT ürün 2	423	0,70	1500	0,12	300
	CLT ürün 3	410	0,74	1300	0,098	500
Duvar kaplama malzeme özellikleri	Çam yoğunluk 400 kg/m ³	400	0,9	1880	0,086	552
	Çam boyuna	455	0,73	1500	0,23	4,3
	Çam teğetsel	430	0,73	1600	0,14	83,3
	Çam radyal	455	0,73	1500	0,03	130
	Çam yoğunluk 600 kg/m ³	600	0,20	2000	0,16	132,62
	Meşe radyal	685	0,72	1400	0,13	140
	Meşe boyuna	685	0,72	1400	0,3	8
	Kırmızı sedir	350	0,8	1880	0,084	1963
	Dişbudak	500	0,47	1400	0,13	200
	Kontrplak kaplama	600	0,50	1600	0,13	210
	Kompozit ahşap kaplama	740	0,666	1880	0,094	53,1
	OSB kaplama	615	0,90	1400	0,13	175
	Yangına dayanıklı alçı levha kaplama	675	0,71	850	0,2	16
Yalıtım katmanı	Ahşap yünü	155	0,981	1400	0,042	3
	Taş yünü	60	0,95	850	0,04	1,3
Örtü	Hava kesici	130	0,001	1500	3	170
	Buhar kesici	130	0,001	2300	2,3	50000

4.2.4 Dış ortam ve iç ortam koşullarının belirlenmesi

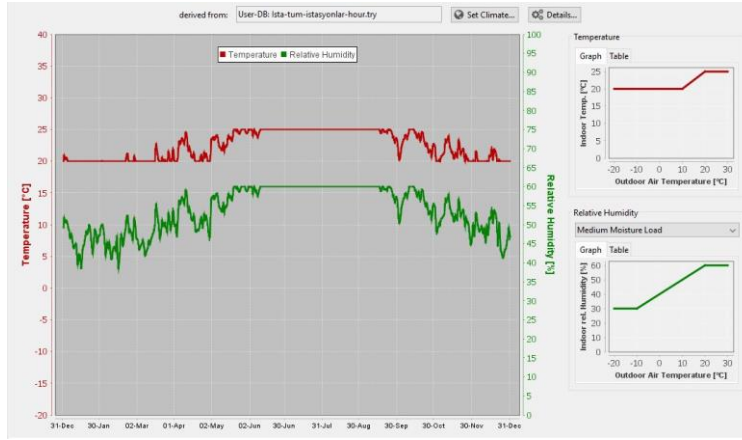
Benzetim modeli oluşturulurken duvar bileşeninin bulunduğu ortam koşullarının bilinmesi gerekir; (i) duvar elemanının atmosferik dış çevre ile etkileşimi, (ii) duvar bileşeninin iç çevre ile etkileşimi; (iii) elemanlar arasındaki (ısı ve nem değişimine karşı geçirimsiz) adiyabatik sınırlar. Benzetim çalışmalarında duvar kesitleri için İstanbul iklim verileri kullanılmıştır. Son 10 yılda en az yağışın 2008 ve 2013 yıllarında, en fazla yağışın ise 2009 ve 2010 yıllarında gerçekleştiği görülmektedir (Url-6). Duvarın dış yüzeyinde her on yılda bir meydana gelebilecek en ağır hava koşullarını temsilen referans yıl olarak 2010 yılı seçilmiştir. En olumsuz sonuçların elde edilmesi için yönlenme durumu olarak İstanbul genelinde rüzgarla itilen yağmur miktarının en yüksek olduğu (NW) kuzeybatı yönü (Şekil 4.7) alınmıştır. İklim verilerinde İstanbul'a ait hava sıcaklıklarının yanında bağıl nem, bulutluluk oranı, hakim rüzgar yönü, rüzgar hızı, hava basıncına ait bilgiler de yer almaktadır. Benzetim aracından el ile girilmesi gereken değerler ayrıca, ısı transfer katsayısı, uzun ve kısa dalga ışıınımları, yağmur suyu emme katsayısı değerleri vb'dir.



Şekil 4.7 : WUFI veritabanına aktarılan İstanbul iklim verileri (Url-5).

Benzetim programında iç ortam koşulları EN15026 standardı esas alınarak hesaplanmaktadır. Şekil 4.8'de iç ortam ve dış ortam hava sıcaklıkları ve bağıl nem oranlarının ilişkileri grafik olarak verilmiştir. Dış ortam hava sıcaklığı 20C° değerinin üzerine çıktığında iç ortam hava sıcaklığı değeri 23C° ve ortalama değerlerde bağıl nem oranı %60 alınmaktadır. Dış ortam hava sıcaklığı 10C° değerinin altına düştüğünde iç ortamdaki hava sıcaklık değeri 20C°'de sabit kalmakta ve bağıl nem oranı %30'a kadar azalış göstermektedir. İç ortamın kullanım amacı, örneğin; mutfak veya ıslak hacim olduğunda, ortamın yüksek bağıl nemlilik ve sıcaklık değişimleri

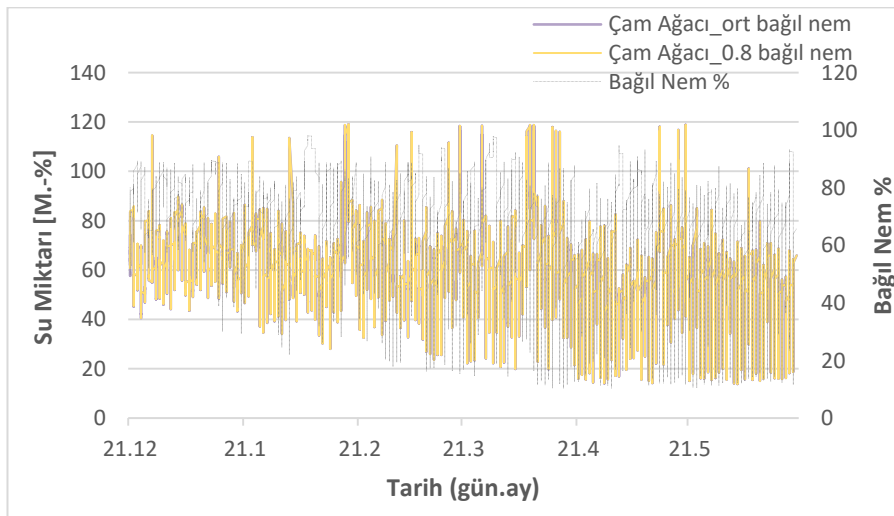
duvarların ısı ve nemsel performansını belirleyici rol oynar. Bu konuyla ilgili yapılan ayrıntılı çalışmaya bölüm 4.3.3’de yer verilmiştir.



Şekil 4.8 : WUFI veritabanında esas alınan iç ortam koşulları.

4.2.5 Başlangıç koşullarının belirlenmesi

Benzetimde, WUFI veri tabanından seçilen malzemeler için kılavuzda önerilmiş ve literatürdeki ahşap duvar çalışmalarında kullanılmış olan (21 C°) sıcaklık ve (%80) bağıl nem başlangıç koşulu değerleri kabul edilmiştir. Şekil 4.9’da referans yılın kış dönemi aylarının ağır şartları altında çam ağacından ahşap malzemenin başlangıç bağıl nem oranının ortalama bir değer ile yüksek bir değer (%80) alınması durumunda etkisi karşılaştırıldığında malzemedeki su miktarlarında hemen hiç fark görülmemektedir. Benzetim çalışmalarında, şiddetli durumlarda higroskopik yapıdaki ahşabın ortam ile denge durumunda olacağı düşünülerek, başlangıç bağıl nem oranı yüksek değerlerde kabul edilmiştir.



Şekil 4.9 : Başlangıç koşullarına göre % su içeriği.

4.2.6 Benzetim süreci

Bu adımda hesaplama değişkenleri; tekrar sayısı, hesaplama zaman aralığı gibi hesaplamanın nasıl yapılacağına ilişkin değişkenlerden benzetim başlangıç tarihi 1 Ocak 2010 seçilmiş ve bir yıllık (8760 saat) süre için benzetim yapılmıştır. Bu benzetim seçeneklerinden elde edilen su içeriği, bağıl nem ve sıcaklık sonuçları Excel’de düzenlenen grafikler ile değerlendirilmiştir. Bazı grafiklerde, okunaklı olması amacıyla Y-eksenindeki ölçek aralığının kısmen alınıp özellikle büyük tutulduğuna dikkat edilmelidir.

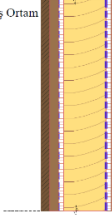
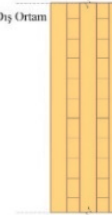
4.3 Ahşap Dış Duvar Sistem Bileşenlerinin Belirlenmesi ve Doğrulanması

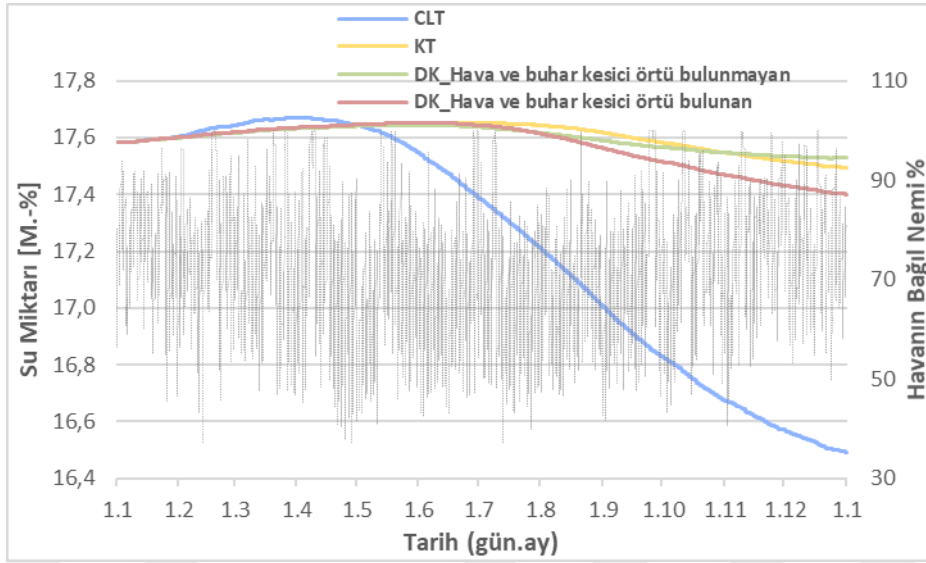
Tip duvar sistemlerinin bileşenlerinin tanımlanması ve doğrulanması için benzetimle modelleme çalışmaları yapılmıştır.

4.3.1 Ahşap iskeletli dış duvar sistem bileşenleri

Ahşap iskeletli dış duvar sisteminin öncelikle ahşap gövde bileşenlerinin ısı ve nemsel performansa etkileri incelenmiştir. Çizelge 4.6’da benzetimi yapılan ahşap elemanlardan geçen sistem kesitleri görülmektedir. Bu benzetimin amacı, kütük ve CLT masif ahşap dış duvarların kesitlerinde ve ahşap iskelet duvarın ahşap kısmından (dikmeden) geçen kesitte (hava ve buhar kesici örtüler ile birlikte OSB levhaların etkisi dikkate alınarak) nemsel davranışı karşılaştırmaktır. Bu çalışmanın Şekil 4.10’daki sonuçlarına baktığımızda, benzetimin son 6 ayında kütük ahşap duvar %17,5 ve CLT duvar %16,5 su içeriği değerleri ile %1’lik bir fark göstermektedir. Bu farka CLT panelin çapraz tabakalı yapısının etkisi olduğu ve başlangıç neminin kış aylarından sonra yaz döneminde kuruyarak belirli bir miktar azaldığı söylenebilir. Dikmeden geçen kesitler için hava ve buhar kesici örtülerin kullanma ve kullanmama durumları karşılaştırıldığında örtünün etkisi gözardı edilecek kadar azdır.

Çizelge 4.6 : 140mm kalınlıkta ahşap dış duvar sistemlerinin ahşap kesitleri.

	Dikmeden geçen kesit	Kütükten geçen kesit	CLT duvardan geçen kesit
Bileşen kısaltması	DK	KT	CLT
Bileşen kesiti			

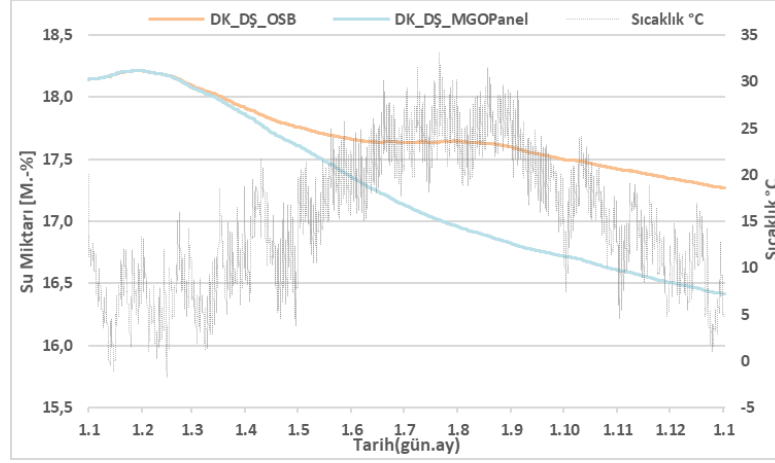


Şekil 4.10 : Çam ağacı (radyal yönde) kullanılan ahşap duvarlarda % su içeriği.

Çizelge 4.7’de ahşap iskelet duvar gövdesinin her iki yüzeyinin OSB ve magnezyum oksit esaslı alçı panel levha kaplandığı duvar tiplerinin katmanlaşma modeli ve bileşenlerinin özellikleri verilmiştir. Karşılaştırma amaçlı yapılan benzetim sonucunda (Şekil 4.11) benzetimin ilk 3 ayında birbirine yakın değer aralıklarında olan su içeriklerinde daha sonraki süreçte kurumaya bağlı olarak magnezyum oksitli alçı levha kaplamalı duvarda OSB kaplamalı olana göre yaklaşık %1’lik azalma olmuştur.

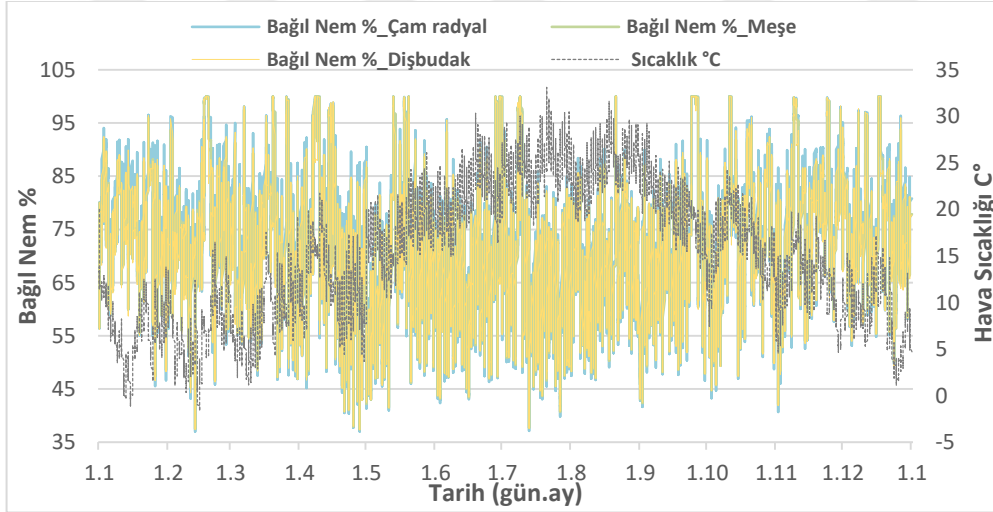
Çizelge 4.7 : Ahşap iskelet duvarın dikmeden geçen kesitlerinin özellikleri.

Ağaç türü	Dişbudak
Bileşen kısaltması	DK-DŞ-OSB
Bileşen katmanları	(DIŞ) Dişbudak ağacı kaplama (20mm) Dişbudak ağacı çıta Hava kesici örtü OSB levha kaplama Dişbudak ağacı-Dikme Buhar kesici örtü OSB levha kaplama SWP Dişbudak ağacı panel kaplama (İÇ)
Bileşen kısaltması	DK-DŞ-MGOPANEL
Bileşen katmanları	(DIŞ) Dişbudak ağacı kaplama (20mm) Dişbudak ağacı çıta Hava kesici örtü Yangına dayanıklı magnezyum oksitli alçı levha kaplama Dişbudak ağacı-Dikme Buhar kesici örtü Yangına dayanıklı magnezyum oksitli alçı levha kaplama SWP Dişbudak ağacı panel kaplama (İÇ)



Şekil 4.11 : İskelet ahşap duvarın farklı kaplama malzemelerine göre % su içerikleri.

Şekil 4.12’de verilen grafikte masif ahşap duvarlarda ağaç türlerine göre bağıl nem oranları görülmektedir. Meşe, çam ve dişbudak ağaçlarının kullanıldığı ahşap duvarların bağıl nem oranları dış hava sıcaklığı ile ters orantılı olarak yaklaşık %45 ve %95 arasında birbirine yakın aralıklarda değişmektedir. Benzetim sonuçlarında önemli farklılıklar görülmemekle birlikte, çam (radyal) türünün bağıl nem oranları bazı dönemlerde meşe ve dişbudak ağaç türlerine göre az bir oranda yükselmektedir.



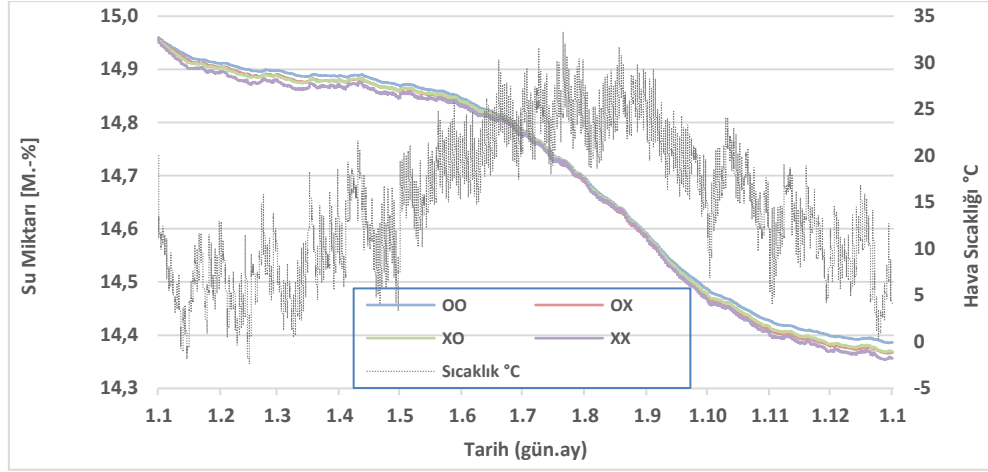
Şekil 4.12 : Masif ahşap duvarlarda ağaç türlerine göre bağıl nem oranları.

Çam ağacı (ÇM) ahşabından dış yüzey kaplamalı ve OSB levha gövde kaplamalı ahşap iskelet duvarın benzetiminde, dikmeden (DK), dikmeler arası boşluktan (DAB) ve payandadan (PY) geçen farklı kesitler alınarak analiz edilmiştir. Çizelge 4.8’de kesitlerde incelenen noktaların duvarda konumları görülmektedir. Hava kesici örtünün arkasında 1. nokta; DK veya PY’den geçen kesitler için masif ahşabın ortasında ve

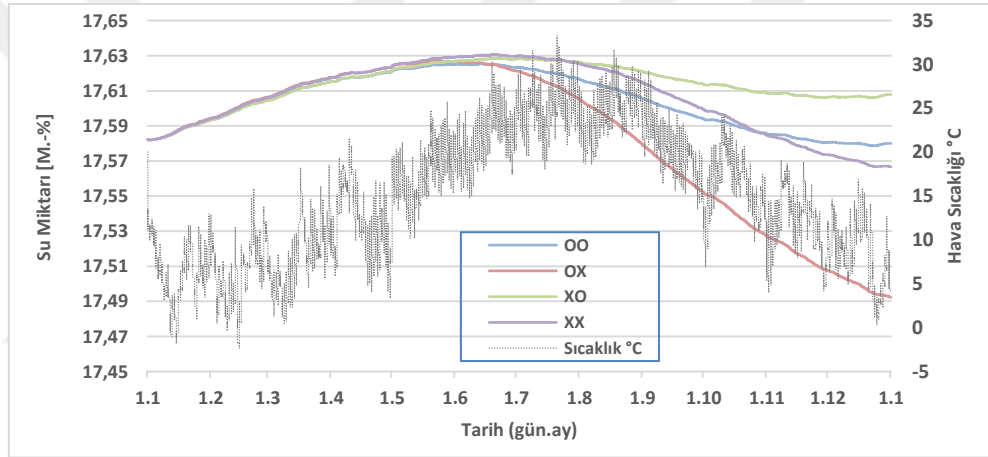
DAB'den geçen kesit için yalıtım katmanının ortasında 2. nokta; buhar kesici örtünün arkasında 3. nokta alınarak tanımlanmıştır. Ahşap duvar sistemlerinde olası hava ve su buharı akışını önlemek için ısı yalıtım katmanının yüzeylerinde hava ve buhar kesici örtülerin kullanım durumları 4 grupta sınıflandırılmıştır. O/O: hava kesici ve buhar kesici örtünün olduğu, O/X: dış tarafta hava kesici örtü olan iç tarafta buhar kesici örtü bulunmadığı, X/O: dış tarafta hava kesici örtü olmayan iç tarafta buhar kesici örtü olan ve X/X: hava ve buhar kesici örtü katmanları hiç olmayan durumları temsil etmektedir.

Çizelge 4.8 : Benzetimi yapılan ahşap iskeletli duvarların çalışılan sistem kesitleri.

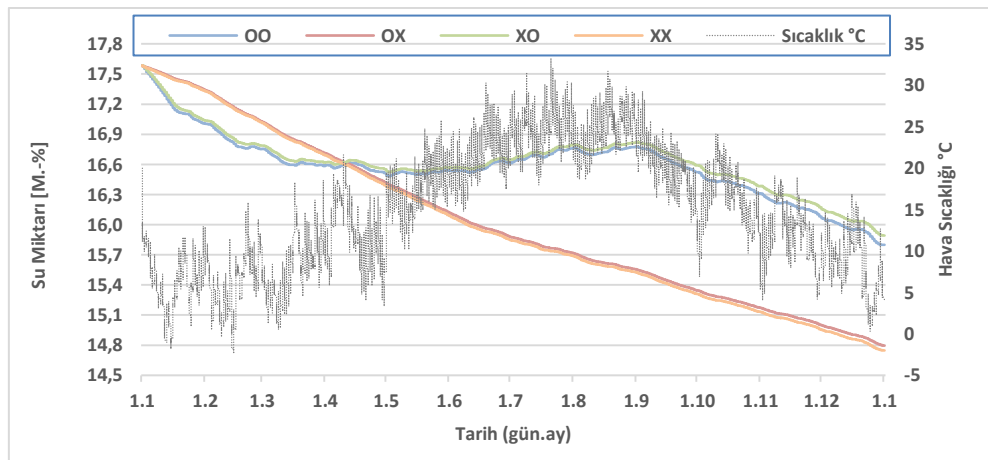
Mevcut Durum	Dikmeden geçen	Payandadan geçen	Dikmeler arası boşluktan geçen	
Bileşen kısaltması	DK-ÇM-OSB	PY-ÇM-OSB	DAB-ÇM-OSB	
Bileşen katmanları	(DIŞ) Çam ahşap kaplama (20mm) Çam ağacı çıta (20mm) Hava koruyucu örtü OSB levha kaplama (12mm) Çam ağacı-Dikme (140mm) Buhar koruyucu örtü OSB levha kaplama (12mm) SWP panel kaplama (20mm) (İÇ)	(DIŞ) Çam ahşap kaplama (20mm) Hava katmanı (20mm) Hava koruyucu örtü OSB levha kaplama (12mm) Çam ağacı-Payanda (100mm) 40 mm ahşap lif levha yalıtım katmanı Buhar koruyucu örtü OSB levha kaplama (12mm) SWP panel kaplama (20mm) (İÇ)	(DIŞ) Çam ahşap kaplama (20mm) Hava katmanı (20mm) Hava koruyucu örtü OSB levha kaplama (12mm) 140 mm ahşap lif levha yalıtım katmanı Buhar koruyucu örtü OSB levha kaplama (12mm) SWP panel kaplama (20mm) (İÇ)	
Bileşen kesiti				
Bileşen planı				
Benzetim hesaplama noktaları				
Hava ve buhar kesici durumu	O/O	O/X	X/O	X/X



Şekil 4.13 : Ahşap dikmeden geçen kesit (DK-ÇM-OSB) % su içeriği
1. nokta (hava kesici örtü arkası).



Şekil 4.14 : Ahşap dikmeden geçen kesit (DK-ÇM-OSB) % su içeriği
2. nokta (dikmenin ortası).



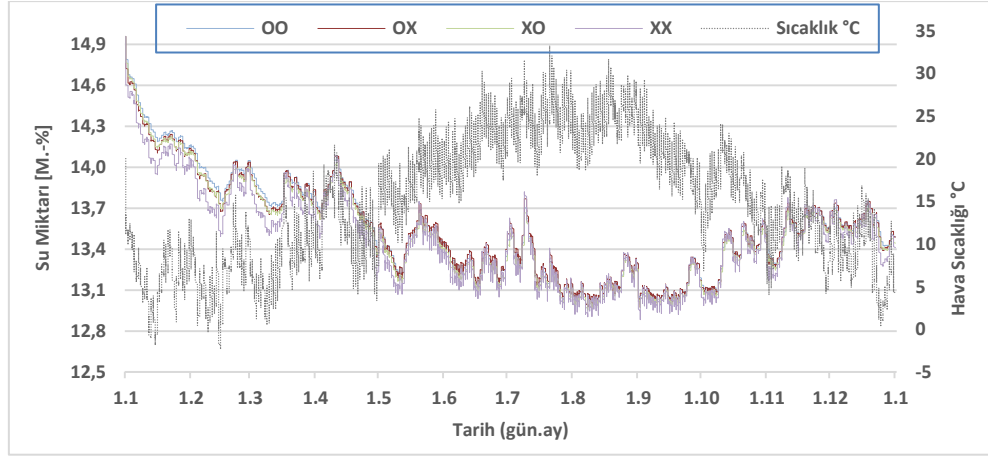
Şekil 4.15 : Ahşap dikmeden geçen kesit (DK-ÇM-OSB) % su içeriği
3. nokta (buhar kesici örtünün arkası).

Dikmeden (DK) geçen kesitte, dikmelerin dış ortama yakın yüzeylerinde (1. nokta) yapılan analiz sonuçları Şekil 4.13’de verilmektedir. Referans yıl olan 2010’daki iklim şartlarında yıl boyunca tüm alternatiflerin su içeriklerinin, kış dönemi boyunca daha yüksek, yaz dönemi boyunca daha düşük değerlerde olmak üzere, yaklaşık %15,9-%14,3 aralığında seyrettiği ve birbirine çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durumda, örtülerin dış ortama yakın yerlerde pek etkili olmadığı söylenebilir.

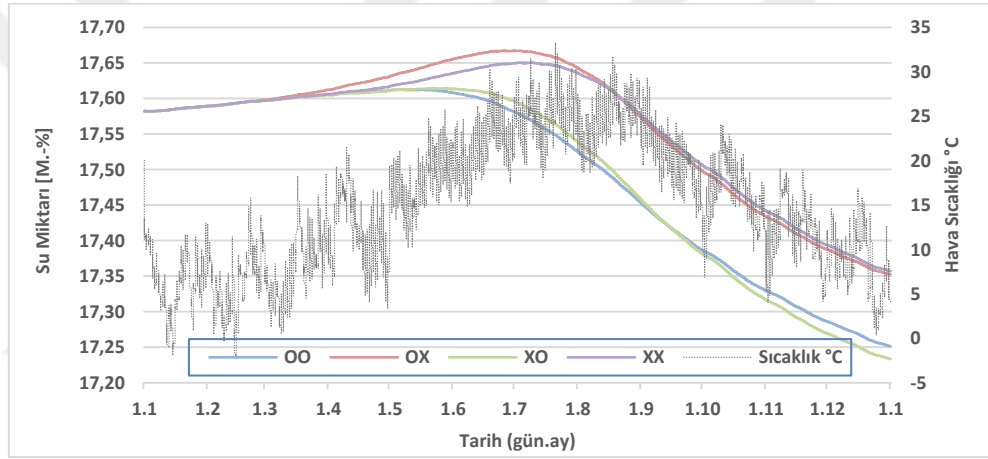
Dikmeden (DK) geçen kesitte 2. noktaya ait sonuçlar (Şekil 4.14) incelendiğinde, nem içeriklerinin %17,58 olan başlangıç koşullarında kış dönemi boyunca %17,63’e yavaşça arttığı, tüm duvar alternatiflerinin ilk beş ayda birbirine çok yakın değerlerde olduğu görülürken, yaz döneminde başlayan son altı ayda hava kesici örtü uygulanmış, buhar kesici örtü uygulanmamış OX durumunun su içeriği değerinin kuruma sonucu diğer alternatiflere göre belirgin şekilde %17,49’a azaldığı görülmektedir. İçte buhar kesicinin olduğu ve dışta hava kesici örtünün olmadığı XO durumunda ise göreceli olarak nem içeriğinde pek fazla azalma olmamıştır. Bu durum duvar kesitinin içinin yeterince kuruyamadığını göstermektedir.

Dikmeden (DK) geçen kesitte, dikmelerin iç ortama yakın yüzeylerinde (3. nokta) yapılan analiz sonuçları Şekil 4.15’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde, OX (hava kesici örtü uygulanmış, buhar kesici örtü uygulanmamış) ve XX (hava kesici ve buhar kesici örtü uygulanmamış) durumlarda nem içerikleri, kış dönemi yüksek başlangıç koşullarından bir yıllık süre içinde %17,5’tan %14,8’e kadar doğrusal bir şekilde azalan benzer bir davranış sergilemişlerdir. Bu katmanlaşma modelinde ve referans alınan iklim koşullarında hava kesici örtünün nemsel performans etkisinin olmadığı görülmektedir. Her iki duvar sistemi yüksek başlangıç değerlerinden giderek azalan bir kuruma eğilimi göstermiştir. Hava kesici ve buhar kesici örtü uygulanmış (OO) ve hava kesici örtü uygulanmamış ve buhar kesici örtü uygulanmış (XO) alternatif duvarlar yıl boyunca benzer davranış göstererek, başlangıç koşullarındaki yüksek nem içerikleri önce bir kuruma eğilimindeyken yaz döneminde sabit kalarak hatta az bir miktar yükselerek, ardından kış dönemine doğru tekrar bir kuruma süreci ile %17,5’tan ancak %15,8’lere inebilmiştir.

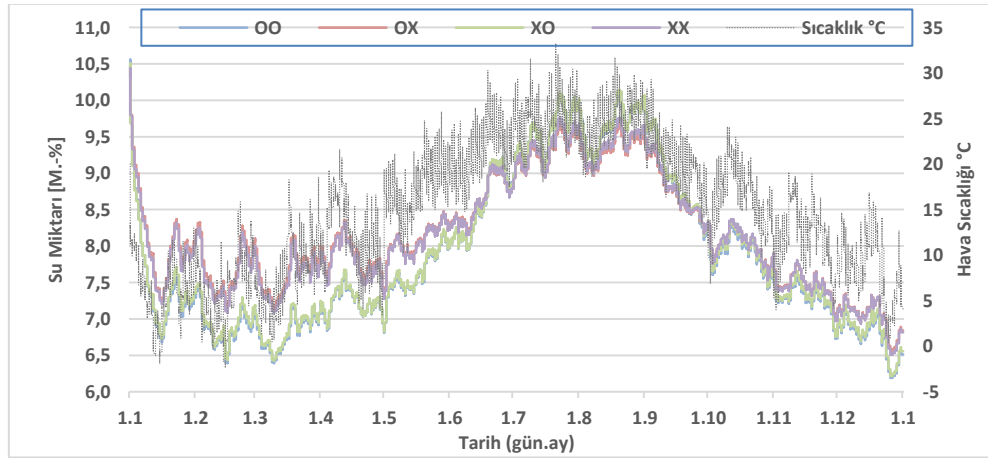
Aynı duvar alternatiflerinin (Çizelge 4.8) payandadan (PY) geçen kesitlerinde analiz edilen 1., 2. ve 3. noktalarında benzetim sonuçları sırasıyla Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.16 : Payandadan geçen kesit (PY-ÇM-OSB) % su içeriği
1. nokta (hava kesici örtü arkası).



Şekil 4.17 : Payandadan geçen kesit (PY-ÇM-OSB) % su içeriği
2. nokta (payandanın ortası).



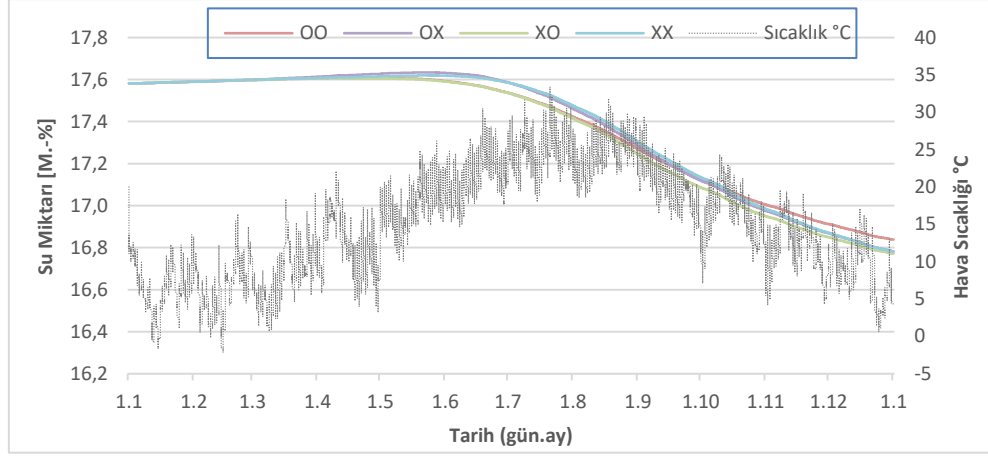
Şekil 4.18 : Payandadan geçen kesit (PY-ÇM-OSB) % su içeriği
3. nokta (buhar kesici örtü arkası).

Payandadan (PY) geçen kesitte, payandaların dış ortama yakın yüzeylerinde (1. nokta) yapılan analizlerde (Şekil 4.16) dört duvar alternatifinin de benzer davranış sergilediği ve birbirine çok yakın nem içeriği değerleri taşıdığı görülmektedir. Bu durum, örtülerin dış ortama yakın bölgeler için pek etkili olmadığını göstermektedir. Referans 2010 yılındaki iklim şartlarında yıl boyunca tüm alternatiflerin su içeriklerinin, kış döneminde yaklaşık %14,9 olan daha yüksek başlangıç değerlerinden yaz döneminde kuruyarak giderek azalan değerlerle %13'e kadar düştüğü, ardından kış dönemine doğru tekrar yükselmeye başlayarak %13,7 düzeyine kadar nem aldıkları görülmektedir. Ayrıca, yağış durumlarına ve günlük sıcaklık ve bağıl nem değişimlerine bağlı olarak duvarların iniş çıkışlı nemsel bir davranış sergilemesi, ahşap payanda ve iç kaplama arasında kısmen ısı yalıtımı bulunması ile açıklanabilir.

Payandadan (PY) geçen 2. noktaya ait sonuçlar (Şekil 4.17) yaklaşık ilk üç ay boyunca tüm duvar alternatiflerinin aynı davranışı sergilediğini göstermektedir. Sonraki aylarda yaz ortalarına kadar çok hafif yükselme eğilimi gösteren OX (hava kesici örtü uygulanmış ve buhar kesici örtü uygulanmamış) ve XX (hava ve buhar kesici örtü uygulanmamış) durumları ile kısmen sabit değerlerde kalan OO (hava kesici örtü ve buhar kesici örtü uygulanmış) ve XO (hava kesici örtü uygulanmamış ve buhar kesici örtü uygulanmış) durumları kış dönemine doğru birbirlerinden az bir farkla yaklaşık %17,65'lerden %17,35 değerlerine çok yavaş ve yakın bir kuruma seyri izlemişlerdir.

Payandadan (PY) geçen, iç kaplama arkasındaki 3. noktada yapılan analiz sonuçları Şekil 4.18'de görülmektedir. Yaklaşık %8,5-9,5 aralığındaki başlangıç nem içeriklerinden ilk üç ay içinde önce azalan ve sonra sabit kalan değerler, dördüncü aydan itibaren yaklaşık 8. ve 9. aylara kadar %10'lara yükselmiş, ardından kış döneminde tekrar yaklaşık %6,5-7 değerlerine kadar düşmüştür. Dönem dönem aynı değerlerde hareket eden tüm duvar alternatifleri, bazı zamanlarda %1'e kadar farklılıklar göstermiştir. Genel olarak, payandadan geçen iç ortama yakın 3. noktada nem içerikleri diğer sonuçlarla karşılaştırıldığında oldukça düşük değerlerde bulunmuştur.

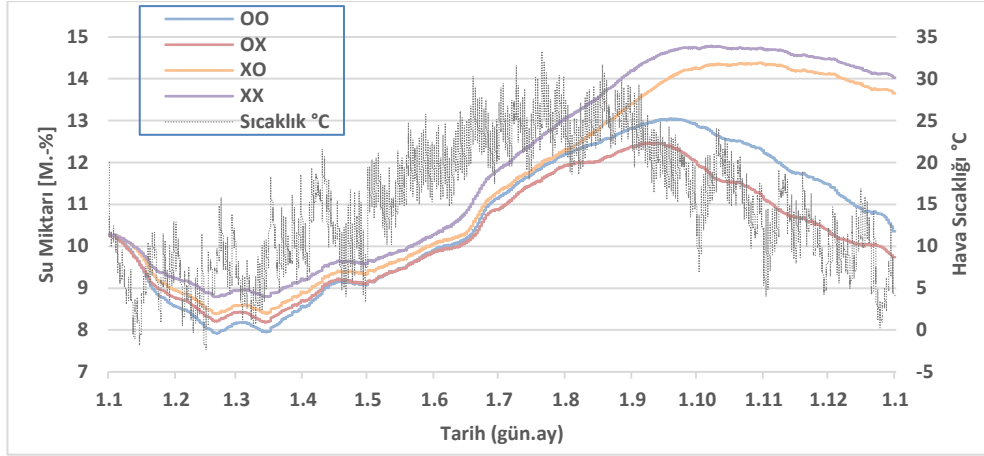
Aynı duvar alternatiflerinin (Çizelge 4.8) dikmeler arasındaki boşluktan (DAB), daha doğru bir ifade ile boşluktaki ısı yalıtımından geçen kesitlerde analiz edilen 1., 2. ve 3. noktalarında benzetim sonuçları sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.19 : Dikmeler arası boşluktan geçen kesit (DAB-ÇM-OSB) % su içeriği
1. nokta (hava kesici örtü arkası).

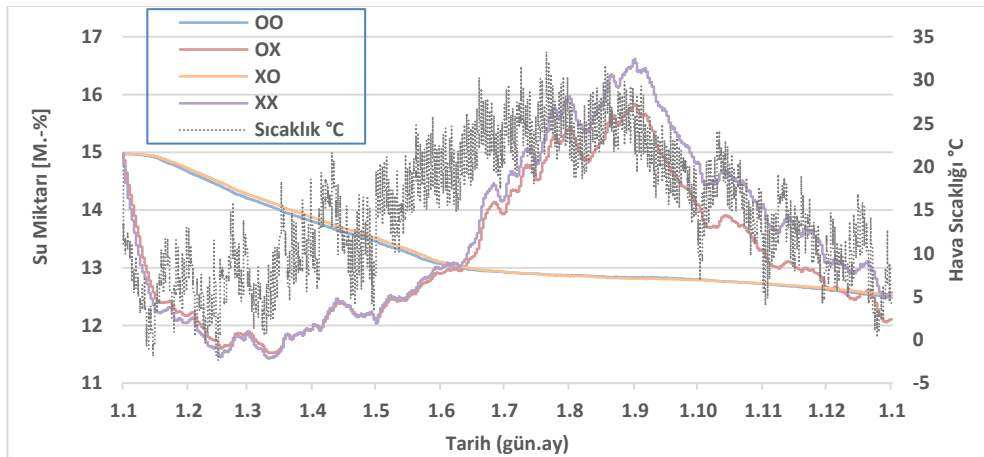
Dikmeler arası boşluktan geçen kesitte, dış ortama yakın 1. noktanın nemsel analizinde (Şekil 4.19) her dört duvar alternatifi %17,6 başlangıç nem içerikleriyle ilk altı ayda sabit kalmış, son altı ayda %16,8'e kadar sürekli azalan bir kuruma eğilimi göstermiş ve yıl boyunca birbirine çok yakın değerlerde çok benzer bir davranış sergilemiştir. Bu noktada hava ve buhar kesici örtülerin hemen hiç etkisi görülmemiştir.

Dikmeler arası boşluktan (DAB) geçen kesitte, boşluğun ortasında ve ısı yalıtımının içinde konumlanan 2. noktanın nemsel analiz sonuçları Şekil 4.20'de verilmiştir. Her dört duvar alternatifleri, kış döneminden başlayarak 7. ve 8. aylara kadar olan sürede, yaklaşık %10'lardan önce ilk iki ayda %8-9 aralığına düşen, ardından %12-13'lere kadar yükselen benzer bir davranış sergilemiştir. XX (hava ve buhar kesici örtü uygulanmamış) ve XO (hava kesici örtü uygulanmamış ve buhar kesici örtü uygulanmış) durumları son 4-5 ayda yükselmeye devam ederek %14-15 nem içeriği değerlerine ulaşmıştır. OO (hava kesici örtü ve buhar kesici örtü uygulanmış) ve OX (hava kesici örtü uygulanmış ve buhar kesici örtü uygulanmamış) durumlar ise aynı son dönemlerde aralarındaki %1'lik bir fark ile %10-11 nem içeriklerine doğru bir düşüş sergilemiştir. Benzer davranış sergileyen çiftler XX ve XO ile OO ve OX durumları arasında yıl sonundaki fark yaklaşık %3-4 aralığında gerçekleşmiştir.



Şekil 4.20 : Dikmeler arası boşluktan geçen kesit (DAB-ÇM-OSB) % su içeriği
2. nokta (yalıtım katmanının ortası).

Dikmeler arası boşluktan (DAB) ve ısı yalıtım katmanının ortasından geçen kesitte iç ortama yakın 3. noktaya ait benzetim sonuçları Şekil 4.21’de verilmiştir. Bir yıllık benzetim süresi boyunca XO (hava kesici örtü uygulanmamış ve buhar kesici örtü uygulanmış) ve OO (hava kesici örtü ve buhar kesici örtü uygulanmış) durumları kış döneminde %15 başlangıç nem içeriğinden başlayarak ilk beş ayda önce daha hızlı, sonraki aylarda daha yavaş bir kuruma hızı ile yıl sonunda yaklaşık %12,5 nem miktarına düşmüştür. XX (hava ve buhar kesici örtü uygulanmamış) ve OX (hava kesici örtü uygulanmış ve buhar kesici örtü uygulanmamış) durumlarında nem içerikleri ilk 2-3 ayda %11,5’a düşmüş ve ardından yaz dönemi boyunca %15,5-16,5 aralığına yükselmiş ve kış dönemine doğru tekrar %12-13'lere düşmüştür.



Şekil 4.21 : Dikmeler arası boşluktan geçen kesit (DAB-ÇM-OSB) % su içeriği
3. nokta (buhar kesici örtü arkası).

Genel olarak; ahşap iskeletli dış duvarlarda hava kesici ve buhar kesici örtülerin kullanım durumlarına göre belirlenen alternatif sistemlerin (i) dikmeden, (ii) payandadan, (iii) dikmeler arasındaki boşluk içindeki yalıtımdan geçen tüm kesitlerde ve analiz edilen (1., 2. ve 3.) tüm noktalarda su içeriği %20'nin altında kalmıştır.

4.3.2 Çapraz tabakalı ahşap dış duvar sistem bileşenleri

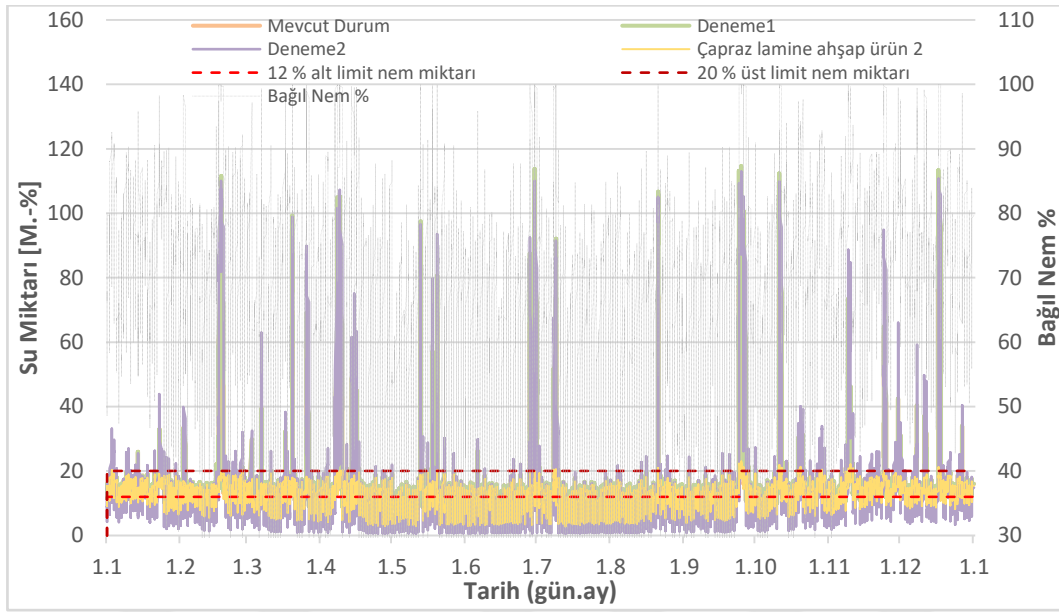
Çapraz tabakalı ahşap duvarların ısı ve nemsel performans analizleri öncesi deneme benzetim çalışmaları ile katmanlaşmada kullanılan malzemelerin özelliklerinin etkileri araştırılmıştır. Çizelge 4.9'da bu bileşen malzemelerinin etkinlikleri araştırılan özgün özelliklerine yer verilmiştir. WUFI kütüphanesinden seçilen malzeme özelliklerinin karşılaştırılabilmesi için Çizelge 4.9'da buhar difüzyon direnç faktörü ve porozite dışındaki malzeme özellikleri sabit tutulmuştur. 3 katmanlı CLT-mevcut durum WUFI kütüphanesinden alınan değerleri, Deneme1 kodlu malzeme buhar difüzyon direnç faktörünün arttırıldığı, Deneme2 kodlu malzeme porozite oranının arttırıldığı ve CLT ürün 2 porozite oranı ile birlikte buhar difüzyon direnç faktörünün arttırıldığı durumları göstermektedir.

Çizelge 4.9 : 3 katmanlı CLT (duvar gövdesi) malzeme özellikleri.

	Hacim yoğunluğu (kg/m ³)	Gözeneklilik/ porozite (m ³ /m ³)	Özgül ısı kapasitesi C (J/kgK)	Isı iletkenlik katsayısı λ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ (-)
3 katmanlı CLT - mevcut	454	0,56	1400	0,12	203
Deneme1	454	0,56	1400	0,12	500
Deneme2	454	0,74	1400	0,12	203
CLT ürün 2 – stora enso	454	0,74	1400	0,12	500

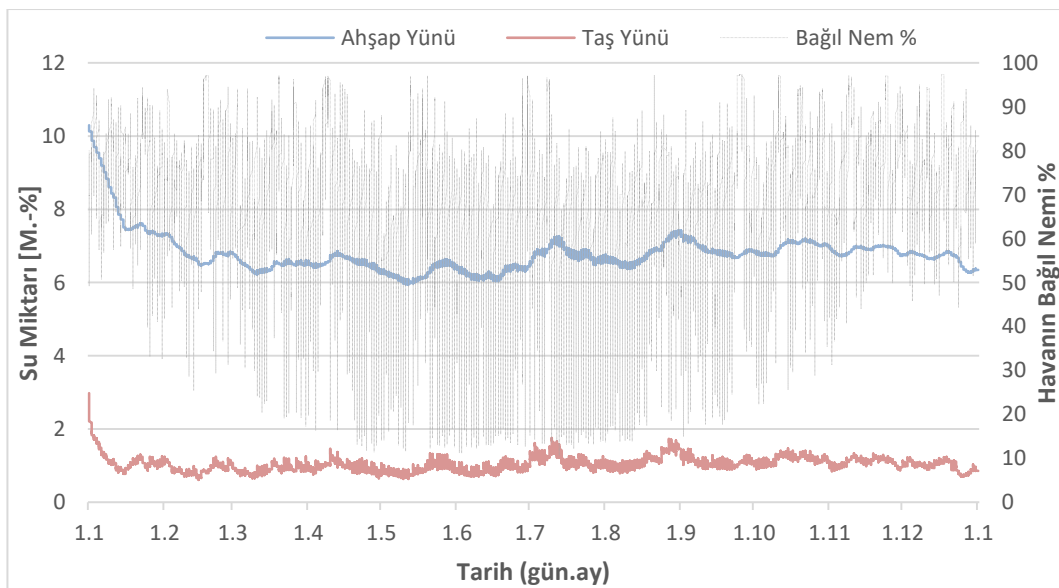
Şekil 4.22'deki grafik Çizelge 4.9'da tanımlanan malzemelerin benzetim ile hesaplanan nem içeriklerini göstermektedir. Nem içerikleri mevcut durum ve Deneme1 için karşılaştırıldığında %80 en üst değerlerden buhar difüzyon direnci yükseltilmiş üründe %110'lara çıkabilmektedir. CLT ürün 2 isimli malzemeye emprenye işlemi ile yüzey koruyucu uygulandığından su içeriği sadece %12-20 aralığında değişkenlik göstermektedir (Stora Enso, 2015). 3 katmanlı CLT (mevcut durum) WUFI veritabanında bulunan Oak Ridge National Laboratory (ORNL)/Fraunhofer IBP kurumları tarafından ölçümleri yapılan üründür. Bu ürünün su içeriği anlık yağış durumlarına bağlı olarak pik değerlere yükselmektedir. Bu durum, herhangi bir yüzey işlemi yapılmamış olmasına bağlanabilir. Malzemenin su içeriğinin kısa sürelerle iniş çıkış yapması, yağmur suyundan etkilenecek şekilde çabuk ıslanıp

kuruması ile açıklanabilir.

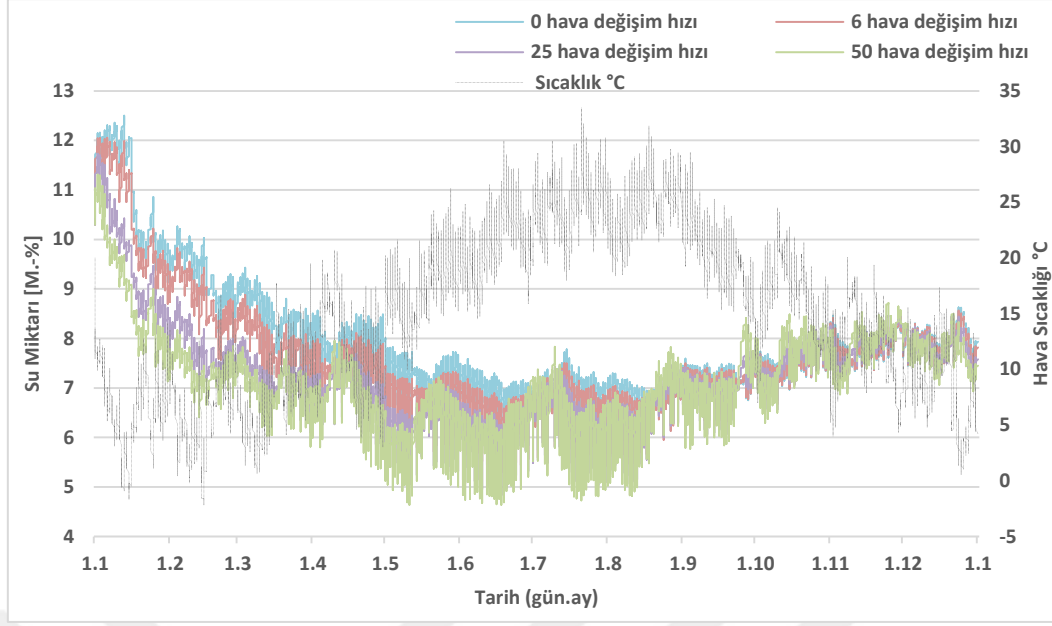


Şekil 4.22 : CLT duvar kesitinin malzeme özelliklerine göre % su içeriği.

CLT duvar tiplerinde iki farklı yalıtım malzemesi için benzetim hesaplaması yapılmıştır. Ahşap yün malzemenin yoğunluğu 155kg/m^3 ve buhar difüzyon direnç faktörü 3 iken, taş yünü malzemenin yoğunluğu 60kg/m^3 ve buhar difüzyon direnç faktörü 1,3'dür. Şekil 4.23'de taş yününde yaklaşık su içeriği % 1, ahşap yünüde ise %6-7 aralığında değişmektedir. Ahşap yününün yoğunluğunun ve su buharı difüzyon direncinin taş yününe göre yüksek olması su içeriğinin yüksek olmasını açıklamak için yeterli bir durum değildir. Taş yünü malzemede bir su itici kullanılmış olabilir.

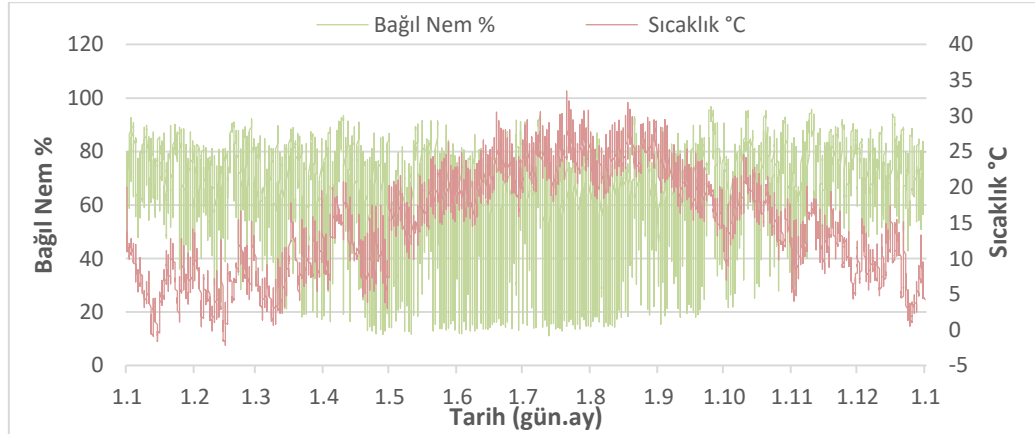


Şekil 4.23 : CLT duvarında farklı yalıtım katmanına göre % su içeriği.

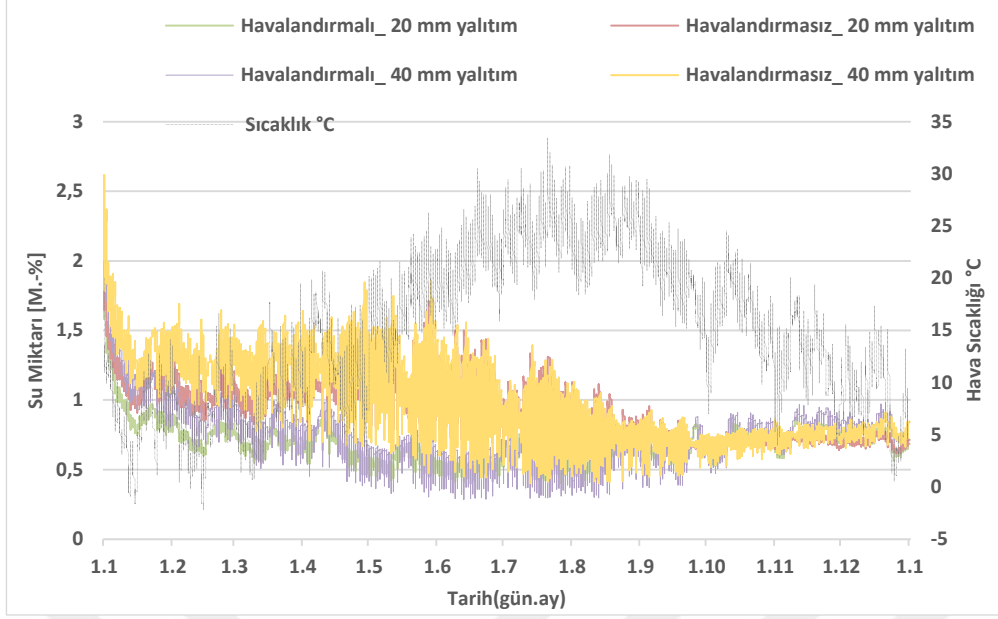


Şekil 4.24 : Hava tabakalı ahşap duvar kesitinde hava değişim hızına göre ahşap yün yalıtım katmanı için (hava kesici örtünün arkası) % su içeriği.

Şekil 4.24’de mevcut duvar örneklerinden Tip3 20mm hava tabakası kalınlıkta duvar kesitinin hava değişim hızının etkisinin ısı ve nemsel performans değerlendirmesi yapılmıştır. Hava tabakası ve hava değişim hızı konu başlığında yapılan kapsamlı benzetim çalışmaları tezin 4.3.2 bölümündedir. Grafik sonuçları incelendiğinde hava tabakasından geçen hava değişim hızı 0 değerinde olduğunda su içeriği oranı en fazladır. Bir yıllık benzetim süresinin ilk 6 ayında hava değişim hız oranı arttıkça % su içeriği oranı artmakta ve son 6 aylık süreçte hava değişim hızları birbirine yaklaşan değer aralıklarında grafik boyunca devam etmektedir. Şekil 4.25’de gösterilen hava tabakalı duvar kesiti için bağıl nem sıcaklık değerleri yıl boyunca min %10 en fazla %95 oranında değişim göstermektedir.



Şekil 4.25 : Hava tabakalı ahşap duvar kesitlerinde % bağıl nem oranı.



Şekil 4.26 : Hava tabakalı ahşap duvar kesitinde taş yünü yalıtım katmanına göre % su içeriği.

Tip2 duvar tiplerinin havalandırılmalı ve havalandırmasız durumları için ısı yalıtım malzemesinin kalınlığının değişmesine göre yapılan 1 yıllık benzetim sonucu Şekil 4.26'daki grafikte görülmektedir. Ocak-Mart ayları arasında 40mm kalınlığındaki taş yünü yalıtım katmanının havalandırmasız halinin su içeriğinde diğer durumlara göre %1'lik oranda bir artış görülmektedir. Hava değişim hızı ve yalıtım katmanının kalınlığı artıkça su içeriği oranı azalmaktadır.

4.4 Benzetim Sonuçları ve Değerlendirme

Çalışmanın bu bölümünde seçilen ahşap dış duvar tiplerinin ısı ve nemsel performans sonuçları incelenmektedir. Alan çalışması kapsamında İstanbul Riva bölgesinde bulunan ahşap duvar tiplerinden masif ahşap duvar sistemlerinden CLT ve kütük ahşap duvar tipleri ile ahşap iskeletli dış duvar tipleri için ısı ve nemsel performans üzerindeki etkileri benzetim yöntemiyle hesaplanmaktadır. Bu hesaplama yönteminde dış duvar kaplamalarının mevcut durumlarının (i) ağaç türüne göre, (ii) ağaç lif yönlenmesine göre, (iii) yüzey işlem ve boya kullanım durumuna göre değerlendirme, hava tabakasına olup olmamasına göre, bağıl nemi yüksek iç ortam şartlarında değerlendirme, çapraz tabakalı ahşap panelin tabakaları arasında yapıştırıcı

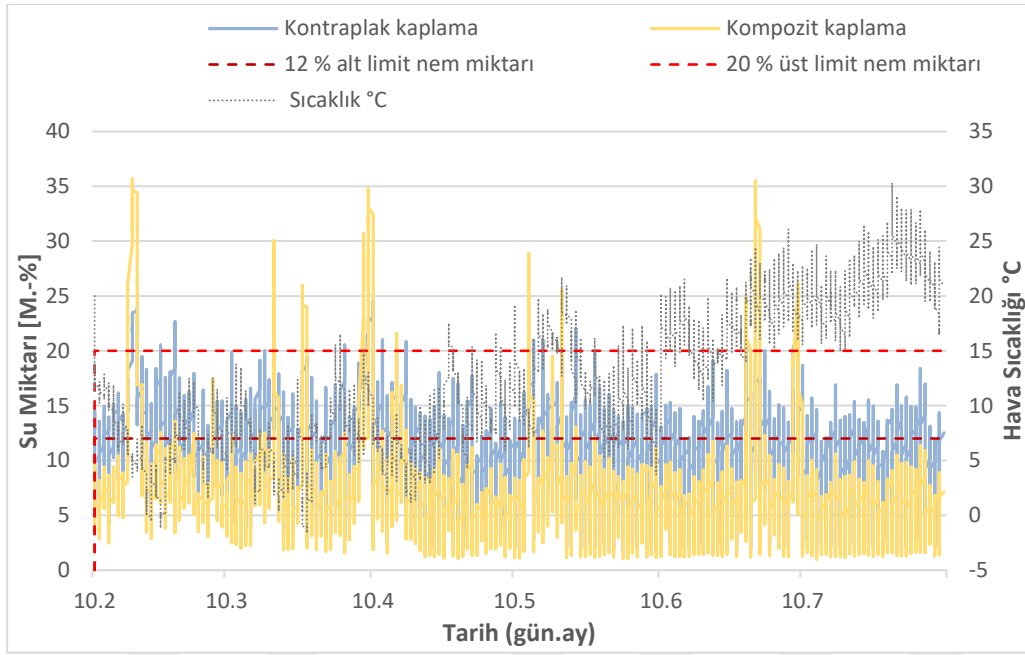
kullanımına göre ve ahşap dış duvarlarda hava kesici ve buhar kesici örtü kullanımına göre ısı ve nemsel performans değerlendirme yapılmaktadır.

4.4.1 Dış duvar kaplamalarının mevcut durumlarının ısı ve nemsel performansının değerlendirilmesi

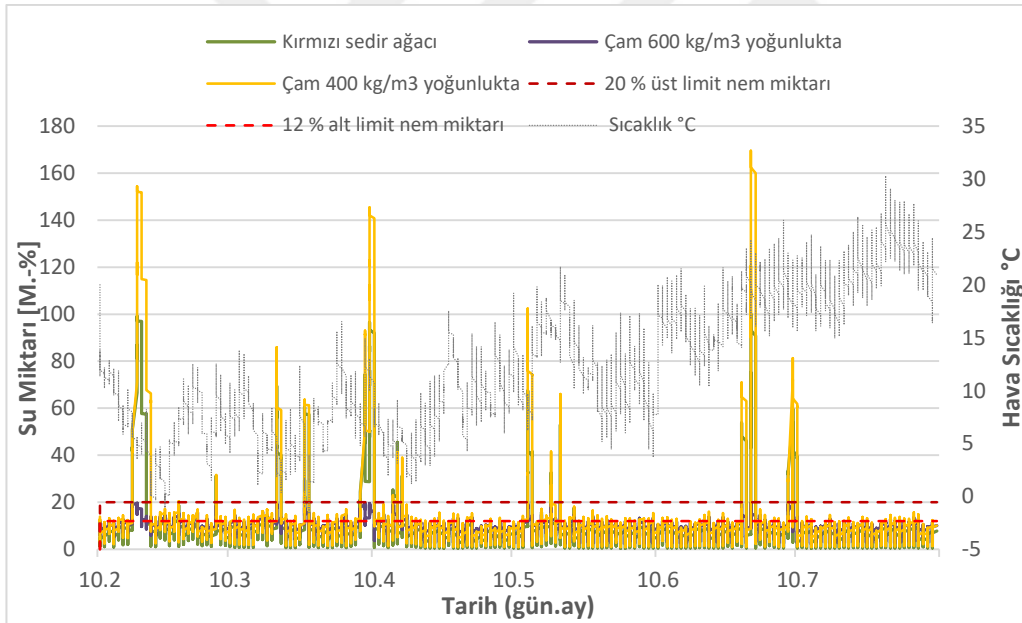
Dış duvar kaplama yüzeyi atmosferik etkenlere maruz kaldığı için ısı ve nemsel performans değerlendirmesi özellikle ahşap malzeme ve özellikleri açısından önemli bir konudur. Ahşap dış duvar kaplamaların farklı ağaç türüne göre, ahşap lif yönlenme durumuna göre, ahşap yüzey koruyucu kullanma ve kullanmama durumuna göre bu bölümde mevcut durumlarının benzetim çalışması ile değerlendirmeler yapılmıştır.

4.4.1.1 Dış duvar kaplamalarının ağaç türüne göre değerlendirme

Bu bölümde, farklı ağaç türlerine göre ısı ve nemsel performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çizelge 4.5’de mevcut dış duvar kaplamalarının ağaç türlerinin malzeme özellikleri verilmiştir. Kontrplak ahşap kaplama ve kompozit ahşap kaplamanın Şubat-Ağustos ayları arasındaki su miktarları Şekil 4.27’deki grafikte görülmektedir. Kontrplak kaplamanın yoğunluk değeri 600kg/m^3 , buhar difüzyon direnç faktörü 210 iken kompozit ahşabın yoğunluk değeri 740kg/m^3 , buhar difüzyon direnç faktör değeri 53,1 olduğundan malzeme özelliklerindeki farklılıklar sıcaklığa bağlı % su içeriği oranında değişimlere neden olmaktadır. Kompozit kaplamanın yoğunluk değeri yüksek su buharı direnç faktörü kontrplak ahşaba göre az miktardadır. Şekil 4.27’deki grafikte kompozit ahşap kaplamanın ve kontrplak ahşap kaplamanın 6 aylık benzetim süresinde, kontrplak ahşap kaplamanın su içeriğinde kompozit ahşap kaplamaya göre %10’a yakın değişimler olduğu görülmektedir. Su içeriğine bakıldığında ise kompozit ahşap kaplamanın su içeriği en fazla %37 değerlerinde iken, kontrplak ahşap kaplamanın su içeriğinin en fazla %23 değerlerine çıktığı gözlemlenmektedir. Duvar kesitinin sıcaklık değerlerinin 6 aylık süre boyunca $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında sürekli değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.27 : Dış duvar kaplama türlerine göre % su içeriği.

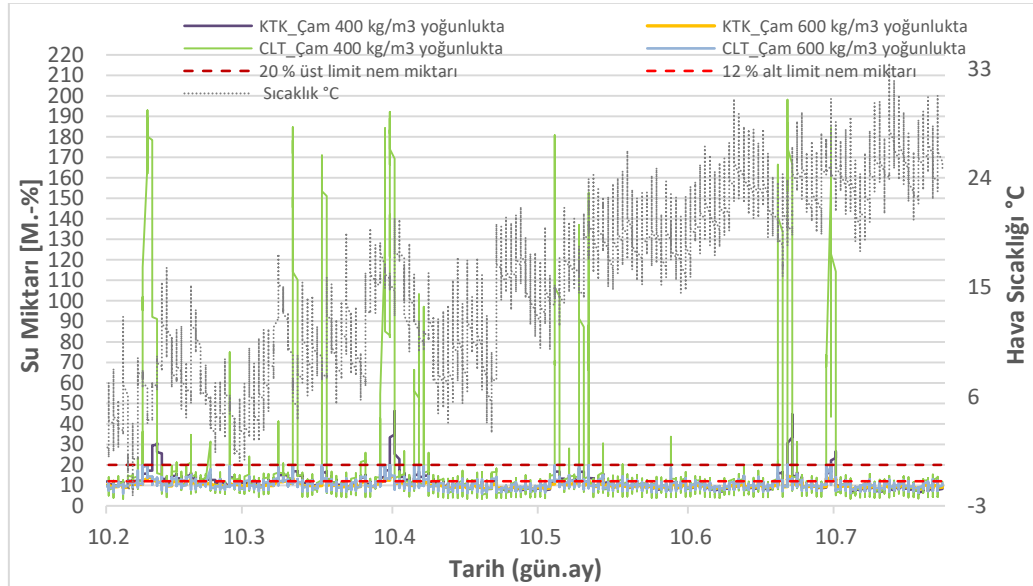


Şekil 4.28 : Ağaç türü ve ağaç yoğunluğuna göre % su içeriği.

Çapraz tabakalı ahşap projelerin mevcut dış duvar kaplamalarında Tip1 ile Tip3 duvar kesitlerinde çam ağacı ve Tip2 duvar kesitinde ise kırmızı sedir ağacının ısı ve nemsel performans durumuna Şekil 4.28’de incelenmiştir. Duvar kesitinin sıcaklık değerleri 3C° ile 33C° aralığında 6 aylık sürede sürekli değiştiği görülmektedir. Kırmızı sedir kaplamanın yoğunluğu 350 kg/m³, porozite 0,8, buhar difüzyon direnç faktörü 1963 , 400kg/m³ yoğunluğa sahip çam ağacının porozite 0,9, buhar difüzyon direnç faktörü

552 iken 600kg/m^3 yoğunluğa sahip çam ağacı kaplamanın porozite 0,2, buhar difüzyon direnç faktör değeri 132,62 değerindedir. Kırmızı sedir ağacının çam ağacına göre buhar difüzyon katsayısı fazla iken yoğunluk değeri düşüktür. Yoğunluğu 400kg/m^3 çam ağacının yoğunluğu düşük buhar difüzyon değeri yüksektir. Çam 400 yoğunluklu ağaç ve kırmızı sedir ağacı ortam şartlarına bağlı olarak pik değerleri zamanla yükselmektedir. Kırmızı sedir ağacı en fazla %165, çam ağacı 600kg/m^3 en fazla %100 değerinde iken çam ağacı 400kg/m^3 en fazla %20 değer aralığındadır.

Mevcut duvar tiplerinden olan Tip1 ve Tip5'in su içeriğinin Şubat-Ağustos ayları arasındaki değişimi Şekil 4.29'daki grafikte görülmektedir. CLT ve kütük duvar tiplerinde tercih edilen farklı yoğunluk değerine sahip ağaç türleri için 400kg/m^3 düşük yoğunluk değerindeki ağacın su içeriği oranı daha fazladır. Kırmızı sedir ağacı en fazla %165, çam ağacı 400kg/m^3 en fazla %200 değerinde iken çam ağacı 600kg/m^3 en fazla %20 değer aralığındadır. Bunun nedeni düşük geçirgenliğe sahip ağaç türleri, suyun bünyesine girmesiyle hafif ve bölgesel bir ıslanırken; geçirgenliği yüksek ağaçlarda (yumuşak ahşaplarda) nem dağılımı hızlı ve oldukça fazla olmaktadır. CLT duvar kütük duvara göre katman kalınlığı artışı için ısı iletkenlik direnci ve buhar difüzyon direnci artmaktadır.



Şekil 4.29 : Masif ahşap duvar tiplerinde ağaç yoğunluğuna göre % su içeriği.

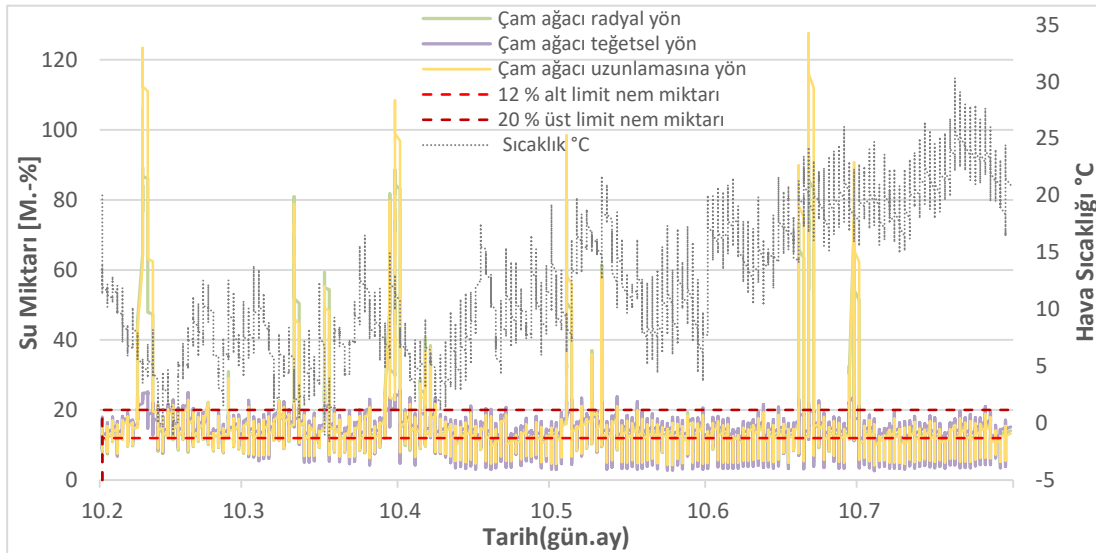
İncelenen ağaç türlerinden kırmızı sedir ağacı, 600kg/m^3 yoğunluklu çam ağacı türü bir yıllık benzetim sürecinde ani yağışa bağlı olarak pik değerlere çıkmaktadır. Bunun

nedeni geçirgenlik değerlerinin ve buhar difüzyon direnç faktör değerlerinin çam dişbudak ve meşe türüne göre daha yüksek değerlere sahip olmasından dolayıdır. Yoğunluğa bağlı ahşap malzeme için yapılan denemelerde ise nem içeriğine ve ahşabın çalışmasına bağlı olarak ağaç türlerinin düşük geçirgenliğe sahip olanları su emme oranı az bir ıslanmaya neden olurken; geçirgenliği yüksek ağaçlarda nem oranı hızlı ve fazla olmaktadır.

4.4.1.2 Dış duvar kaplamalarının ağaç lif yönlenmesine göre değerlendirme

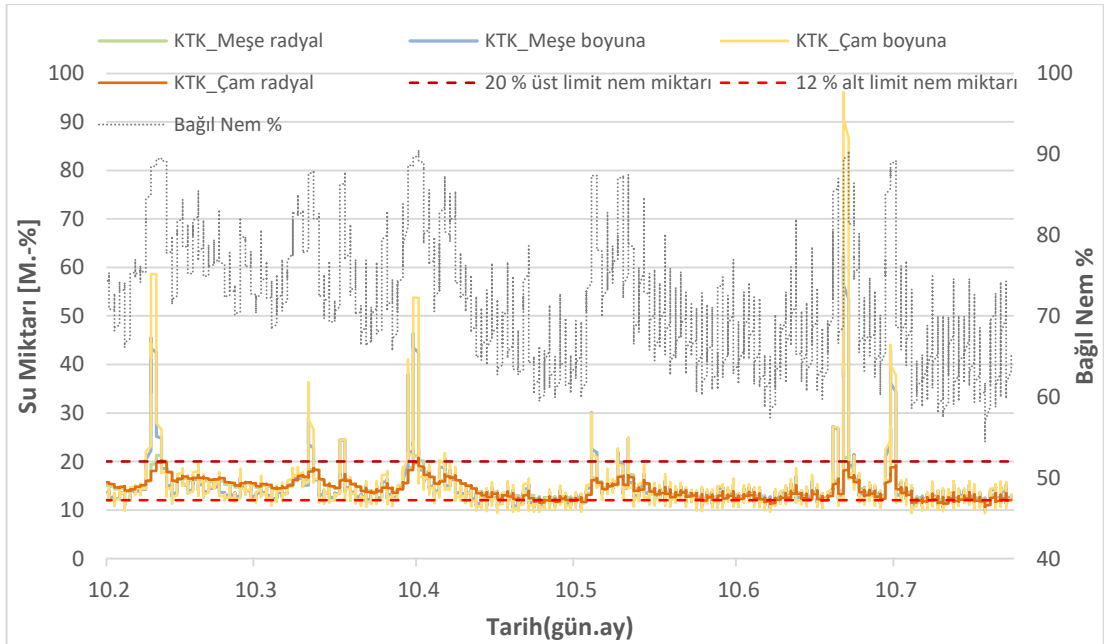
Bu bölümde ,ahşap malzemenin anizotrop yapısı nedeniyle ağaç lif yönleri benzeetim çalışmasında değerlendirilmiştir. Lif yönlenmesi olarak radyal, boyuna ve teğetsel yönleri çam ağacı ve meşe ağacı için çalışılmıştır.

455 kg/m³ yoğunluğa sahip çam ağacının boyuna yönde ,ısıl iletkenlik katsayısı 0,23 W/mK, porozite 0,73, buhar difüzyon direnç faktörü 4,3 iken 455kg/m³ yoğunluğa sahip çam ağacının radyal yönde ,ısıl iletkenlik katsayısı 0,03W/mK, porozite 0,73, buhar difüzyon direnç faktör değeri 130, 430kg/m³ yoğunluğa sahip çam ağacının boyuna yönde ,ısıl iletkenlik katsayısı 0,14W/mK, buhar difüzyon direnç faktörü 83,3 olduğundan malzeme özelliklerindeki farklılıklar sıcaklığa bağlı % su içeriği oranında değişimlere neden olmaktadır.



Şekil 4.30 : Ahşap dış duvar kaplamasında ağaç lif yönleme durumuna göre % su içeriği.

Lif yönlerindeki farklılığa göre su içeriği miktarındaki değişimler Şekil 4.30'daki grafikte görülmektedir. En fazla su içeriği artışı liflere paralel (boyuna) yönde gözlemlenmektedir. Su miktarları radyal yönde en fazla %90, teğet yönde en fazla %30, liflere paralel (boyuna) yönde %130 oranında ani yağışlara bağlı olarak pik değerlere yükselmektedir. Duvar kesitinin sıcaklık değerleri 6 aylık süre boyunca 3°C ile 27°C aralığında sürekli değişmektedir. 685kg/m^3 yoğunluğa sahip meşe ağacının boyuna yönde, ısıl iletkenlik katsayısı $0,3\text{W/mK}$, buhar difüzyon direnç faktörü 8 iken 685kg/m^3 yoğunluğa sahip çam ağacının radyal yönde, ısıl iletkenlik katsayısı $0,13\text{W/mK}$, buhar difüzyon direnç faktör değeri 140'dır. Çam radyal yönde en fazla %25, çam liflere paralel (boyuna) yönde %95 oranında, meşe radyal yönde %30, meşe boyuna yönde %65 ani yağışlara bağlı olarak pik değerlere yükselmektedir. Şekil 4.31'deki grafikte görülmektedir. Duvar kesitinin bağıl nem oranı 6 aylık süre boyunca %55 ile %95 aralığında sürekli değişmektedir. Boyuna yönde buhar difüzyon direnç faktörü değerinin radyal yöne göre az değerde olması yüzde su içeriği oranını etkilemektedir. Yıllık büyüme halkalarının yönünde teğetsel olarak nem direnci yıllık büyüme halkaları boyunca radyal yöne göre daha etkili ve yaklaşık iki katı kadar iken odun lifleri yönünde boyuna ise bu oran çok azdır. Buhar difüzyon direnci düşük olan malzemelerden oluşan katmanlardan nem kolaylıkla geçerken, buhar difüzyon direnci yüksek olan malzemelerden nem duvar katmanları bünyesinde birikebilmektedir.



Şekil 4.31 : Masif ahşap duvar tiplerinde ağaç lif yönleme durumuna göre % su içeriği.

Buhar difüzyonu sonucu oluşan nemliliğin en önemli etkisi yapı kabuğunu oluşturan malzemelerin ısı iletkenliği ve buhar difüzyon direnci üzerindeki etkisidir. Malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı ve buhar difüzyon direnç faktörü dış duvardaki performansını etkilemektedir (Altun,1997).

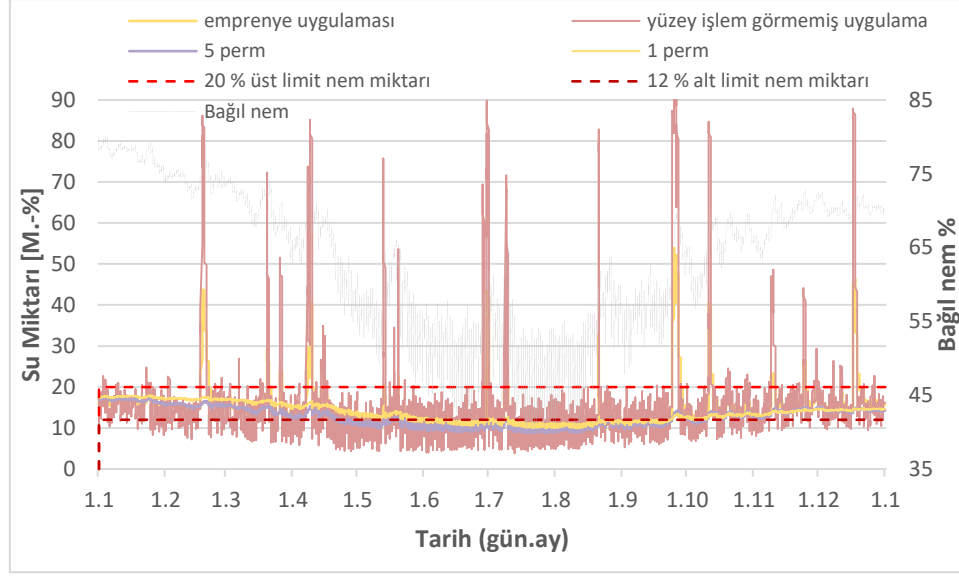
4.4.1.3 Dış duvar kaplamalarının yüzey işlem ve boya kullanım durumuna göre değerlendirme

Bu bölümde, mevcut durumdaki duvar yüzeylerinin dış katmandaki kaplamalarının yüzey işlem ve farklı perm değerindeki boya katmanı uygulanması durumlarına göre benzetim değerlendirmesi yapılmıştır. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) 2013 standardında kullanılan ahşap boyalar için buhar geçirgenlik değerleri incelenmiştir (Ashrae, 2013). Bu denemelerde literatürde yapılmış çalışmalar ve standartlarda kullanılan değerler 5perm ve 1perm değerleriyle benzetim çalışması yapılmıştır. Ahşap koruma yöntemleri ile ilgili literatür kısmı bölüm 2’de anlatılmıştır. Aşağıda Çizelge 4.10’da dış çephede kullanılan boya için tercih edilen malzeme özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.10 : Ahşap dış duvar yüzey koruyucuların malzeme özellikleri.

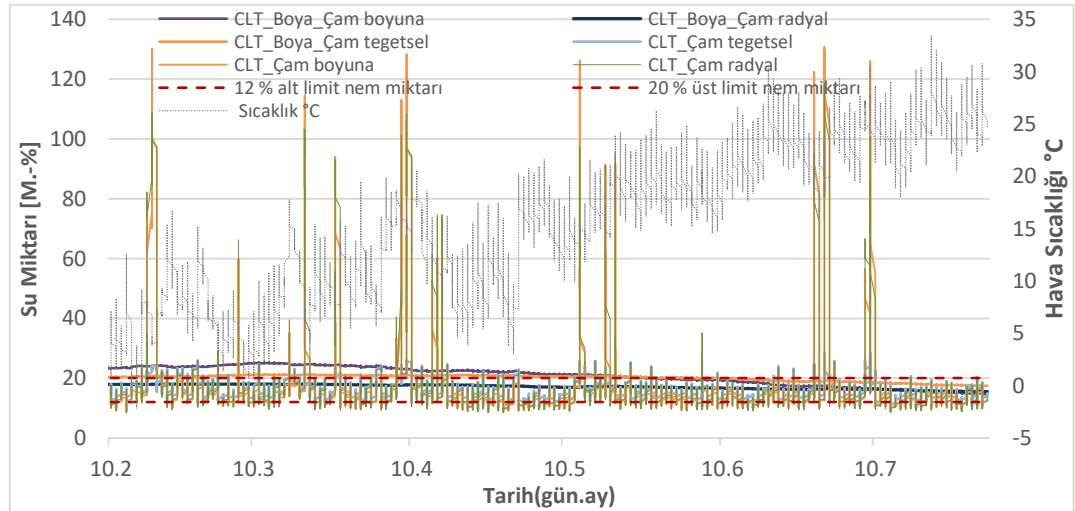
	Malzeme İsimleri	yoğunluk (kg/m ³)	porozite (m ³ /m ³)	özellik ısı kapasitesi C (J/kgK)	Isı iletkenlik katsayısı λ (W/mK)	su buharı difüzyon direnç faktörü μ (-)
İşlem görmemiş durum	Mevcut durum	455	0,73	1500	0,09	130
1.deneme	Emprenye işlemi görmüş	455	0,73	1500	0,09	1000
2.deneme	5 perm boya	130	0,001	2300	2,3	656
3 deneme	1 perm boya	130	0,001	2300	2,3	2050

Benzetim çalışmasına başlarken, dış ahşap cephe paneline boya uygulaması için dış katmanın önüne boya katmanı oluşturulmuştur. Malzeme seçimi olarak radyal yönlenmesi olan çam ağacı malzemesi için buhar difüzyon faktörü 130 iken 1000’e (Nevander ve Elmarrson,1994) çıkartılmıştır ve bununla ilgili değerlendirme grafiği Şekil 4.32’de verilmiştir.

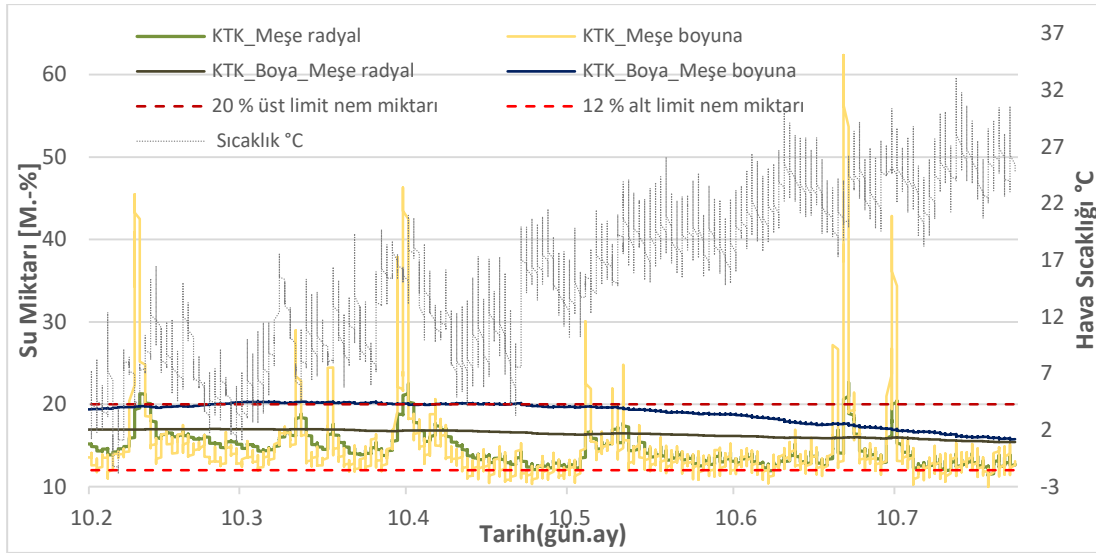


Şekil 4.32 : Ahşap duvar kaplamalarında yüzey koruyucu uygulama durumuna göre % su içeriği.

Benzetim çalışmasında boya uygulaması yapılmayan durumlarda çam radyal en fazla %110, çam boyuna en fazla %130, çam teğetsel en fazla %30 değerdedir. Eğer boya uygulaması yapılırsa çam boyuna yönde en fazla %25, çam radyal %18, çam teğetsel için %21 değerlerindedir. Çam ağacının ahşap lif yönlenme durumuna göre yüzeyine boya katmanı uygulandığı zaman Şekil 4.33'de incelediğimiz ani yağışlara bağlı oluşan su içeriği %90 oranında azalma görülmektedir. Son altı aylık zaman aralığında Eylül ayında her üç yönlenme için % su içeriği değeri en minimum değerdedir. Boyanmamış ahşap CLT duvarda yönlenme durumlarında en fazla nem emen çam boyuna lif yönü doğrultusudur.

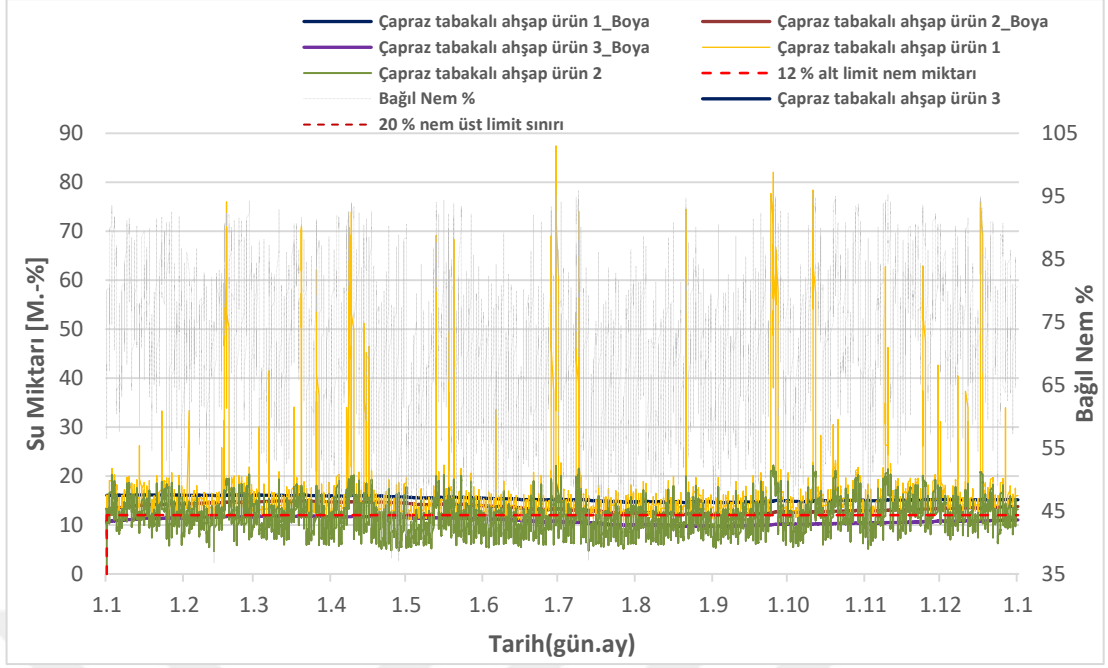


Şekil 4.33 : CLT ahşap duvar kaplamalarında lif yönlenme ve yüzey koruyucu uygulama durumlarına göre % su içeriği.



Şekil 4.34 : Kütük ahşap duvar kaplamalarında lif yönlenme ve yüzey koruyucu uygulama durumlarına göre % su içeriği.

Masif ahşap yapı sistemlerinden Tip5 isimli kütük ahşap duvar için ağaç türü olarak meşe radyal ve meşe boyuna yönlerinin seçildiği ve yüzey işlemi uygulandığı durumların su miktarları Şekil 4.34.'deki grafikte karşılaştırılmaktadır. Bir yıllık sürede duvar kesitinin dış sıcaklık değerinin -2°C ile 33°C aralığında değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.34'deki grafikte yüzeye boya uygulaması yapılmamış meşe ağacında boyuna yönde en fazla su içeriği oranı %60 değerlerinde pikler yapmakta iken, meşe radyal yön doğrultusunda yüzde %30 değerlerini göstermektedir. Yüzey işlem uygulaması yapıldıktan sonra meşe boyuna yönde en fazla %20, meşe radyal yön doğrultusunda en fazla %17 değerlerini göstermektedir. İlk altı ay boyunca hem meşe radyal hemde meşe boyuna yönlerinde nem emme oranlarında küçük artışlar meydana gelmiştir ve Temmuz ayı boyunca birbirine paralel şekilde yakın değer aralıklarında devam etmiştir.



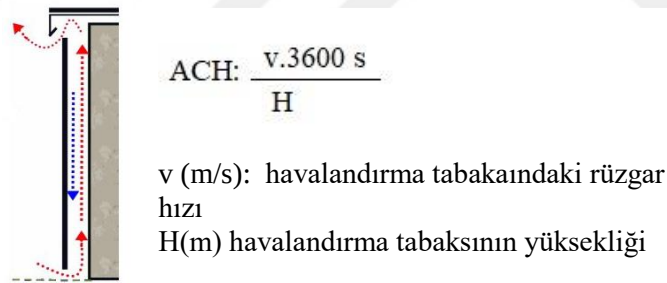
Şekil 4.35 : CLT ahşap duvar kaplamalarında yüzey koruyucu uygulama durumlarına göre % su içeriği.

Çapraz tabakalı ahşap duvar tipleri için WUFI kütüphanesinden seçilen CLT duvar tiplerinin yüzey işlemi uygulanma ve uygulanmama durumlarındaki % su içeriği ve bağıl nem oranları Şekil 4.35’deki grafikte görülmektedir. Çapraz tabakalı ahşap ürün 1 duvar tipinde su içeriği oranı çapraz tabakalı ahşap ürün 2 ve çapraz tabakalı ahşap ürün 3 ‘e göre artış göstermektedir. Çapraz tabakalı ahşap ürün 2 ve çapraz tabakalı ahşap ürün 3 duvar tiplerinde su içeriği oranları %12-%20 aralığında değişim göstermektedir. Çapraz tabakalı ahşap ürün 1 duvar tipinde en fazla %16, çapraz tabakalı ahşap ürün 2 duvar tipinde en fazla %15, çapraz tabakalı ahşap ürün 3 için ise %12 değerindedir. Ayrıca duvar kesitinin yüzde bağıl nem oranı 35 ile 95 aralığında 1 yıllık sürede değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

Tüm bu yüzey işlem denemelerinde gözlemlendiği gibi ahşap yüzey koruyucu boyalar duvar yüzeyinde bir film tabakası oluşturmaktadır. Ahşap için istenilen su içeriği olan %12-20 değer aralıklarında değişim göstermektedir. Ahşap dış duvar yüzeyine boya işlemi tercih yapılacaksa dış cephede nefes alan ahşap boyalar kullanılmalıdır.

4.4.2 Hava tabakasının olup olmamasına göre ısı ve nemsel performansın değerlendirilmesi

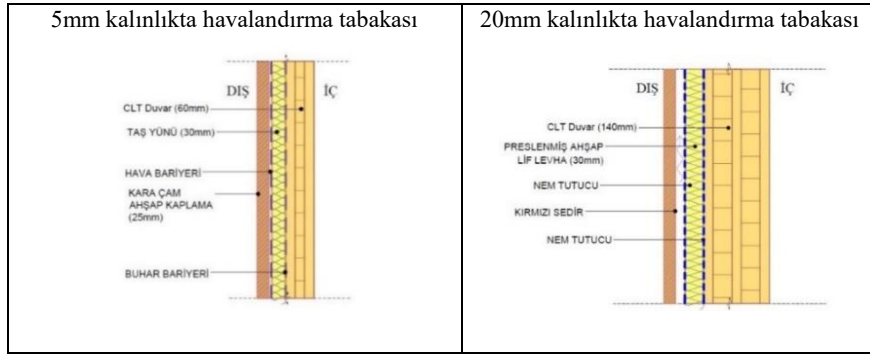
Hava tabakası dış kaplama ile hava kesici arasındaki boşluktur ve yapıların nemi kurutma ve giderme kabiliyeti için önemli bir işlevi vardır. Benzetim çalışmasında önerilen havalandırma kalınlığı 40mm olarak modellenmiştir. Şekil 4.36’da kullanılan hesaplama sonucu İstanbul ikliminde verilerinde rüzgar hızı 4,5m/s’dir. Havalandırılması yapılan duvar yüksekliği 2,70 iken hava değişim hızı değeri 6’dır. Benzetimi çalışılan duvarlar; Tip2 olarak örnek CLT tip duvar 5 katmanlı dıştan yalıtımlı duvar kesitinde dıştan içe doğru kırmızı sedir ahşap kaplama 20mm kalınlığında hava tabakası, hava kesici örtü, ahşap yün yalıtımı, buhar kesici örtü ve 5 katmanlı CLT duvardan oluşmaktadır. Tip3 olarak Riva konteyner CLT ev projesi 3 katmanlı dıştan yalıtımlı CLT duvar kesitinde dıştan içe doğru karaçam ahşap kaplama 5mm kalınlığında hava tabakası, hava kesici örtü,taş yün yalıtımı, buhar kesici örtü ve 3 katmanlı CLT duvardan oluşmaktadır. İki duvar tipinde yalıtım tipleri, CLT duvar gövdesi kalınlıkları ve dış kaplamada kullanılan ağaç türleri farklılık gösterdiği için grafiklerde buna bağlı olarak su içeriği değerlerinde farklılıklar gözlemlenmektedir.



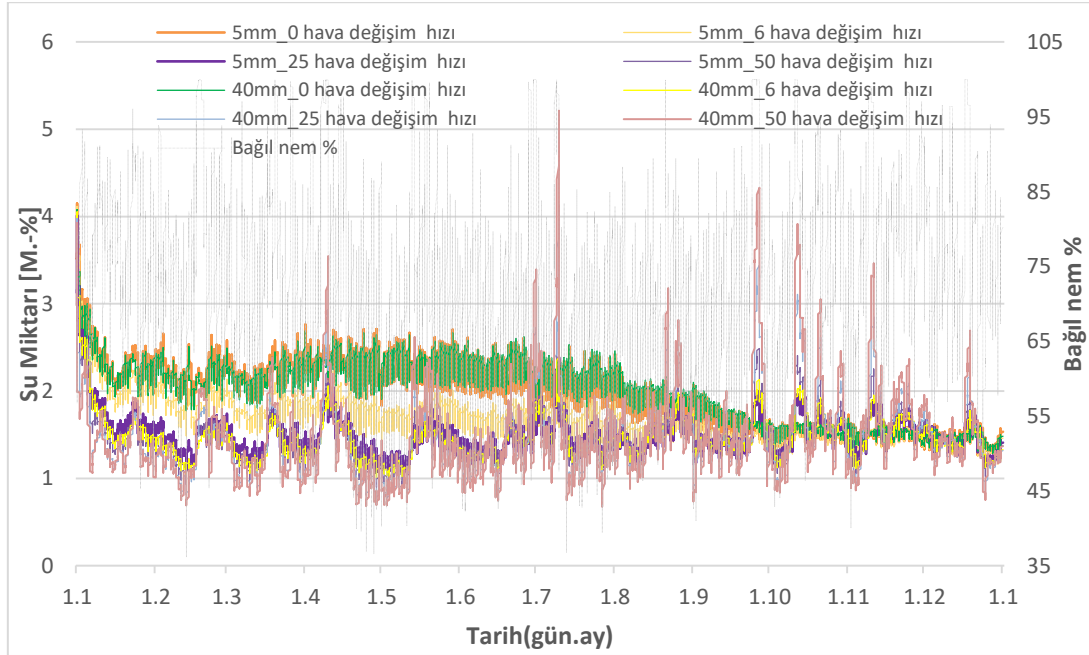
Şekil 4.36 : Havalandırmalı duvar modeli (Url-4).

Aşağıdaki Çizelge 4.11’de mevcut durumda bulunan havalandırmalı CLT ahşap duvar tipleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.11 : Hava tabakalı ahşap duvar tipleri.

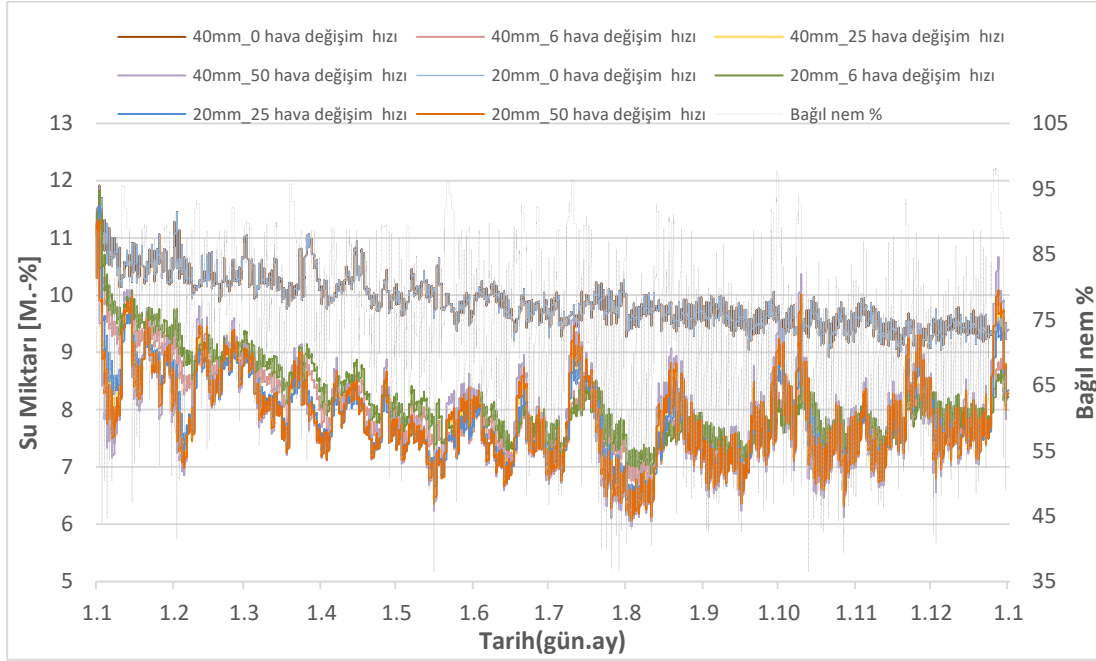


Şekil 4.37’deki grafikte Tip3 duvarının Şekil 4.38’deki grafikte ise Tip2 duvarının havalandırma boşluğundaki havanın hızı ve boşluk kalınlığına göre % su içeriği ve % bağıl nem miktarlarındaki değişimler görülmektedir. Havalandırma tabakasında hava değişim hızı 0 hava değişim hızı, 6 hava değişim hızı, 25 hava değişim hızı, 50 hava değişim hızı değerleri için analiz edilmiştir. Şekil 4.37’deki grafiğe göre yapılan bir yıllık deneme sürecinde kış aylarında hava tabakası 5 mm kalınlıklı CLT duvar tipinde su içeriği oranı %5 oranına yükselmiş ve minimum %0,5 oranlarına düşmüştür. Şekil 4.38’deki grafiğe göre yapılan bir yıllık deneme sürecinde kış aylarında hava tabakası 20mm kalınlıklı CLT duvar tipinde su içeriği oranı %12 oranına yükselmiş ve minimum %6 oranlarına düşmüştür. 20mm kalınlığındaki duvar tipinde veya önerilen duvar kalınlığı 40mm içinde yüzde su içeriği oranı 0 hava değişim hızı için en fazladır.



Şekil 4.37 : Hava tabakalı CLT Tip3 duvarın hava tabakasının kalınlığına ve hava değişim hızına göre % su içeriği.

Çıkan sonuçlardan anlaşıldığı gibi duvarlarda havalandırma önemli bir konudur. Hava katman kalınlığının artması yani önerilen 40mm kalınlık için ve mevcut 5mm kalınlık ve 20mm kalınlık için değerlendirmeye göre; su içeriği oranını azaldığı için olumlu yönde etkilemektedir. Havalandırma tabakasından geçen hava değişim hızı arttıkça su içeriği oranı azalmaktadır fakat hava değişim hızındaki hız oranı, hava katman kalınlığına göre doğru ayarlanmaması belirli zamanlarda duvar bünyesinde yoğuşma etkisi ile su içeriği oranında ani kısa süreli artışa neden olabilmektedir.



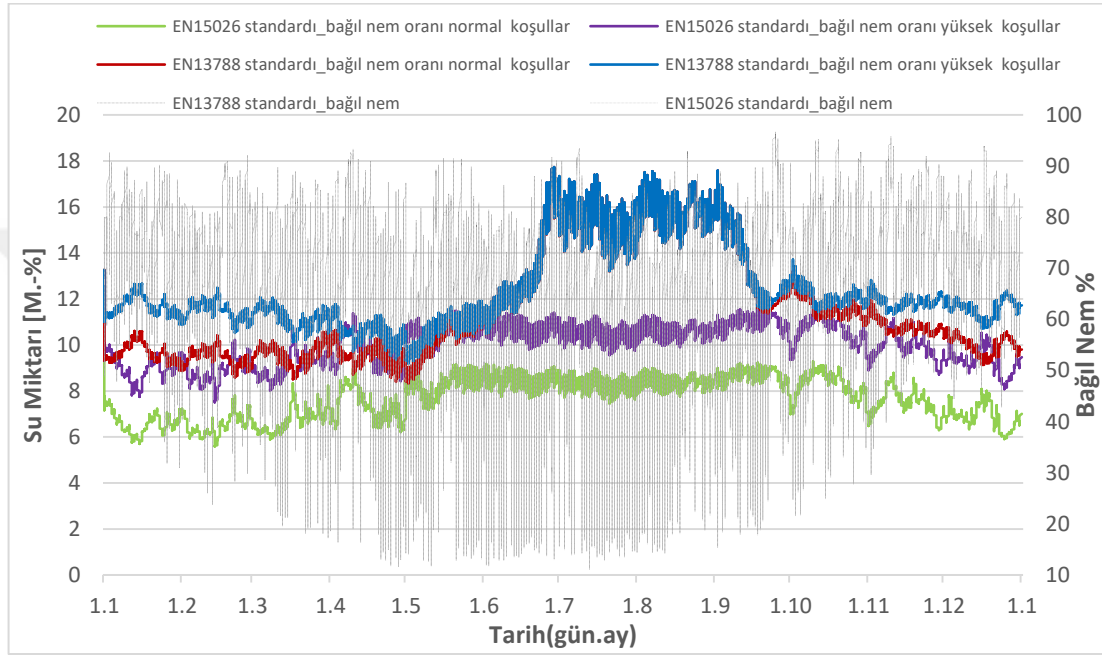
Şekil 4.38 : Hava tabakalı CLT Tip2 ahşap duvar için hava tabakasının kalınlığına ve hava değişim hızına göre % su içeriği.

Yapılan denemeler incelendiğinde hava tabakalı duvarlar yüksek nem performansı sağlayarak, havalandırmasız duvar kesitinde oluşabilecek yoğuşmalara karşı önlemler oluşturmaktadır. Duvar kesitinde oluşabilecek boşlukta nemi atmak ve duvarı korumak amacıyla bu boşluklar havalandırılmalıdır. Havalandırma, nemin toplanmasını engeller ve sıcak havalarda sıcaklığın değişmesini sağlamaktadır.

4.4.3 Bağıl nemi yüksek iç ortam koşullarında duvarların ısı ve nemsel performansının değerlendirilmesi

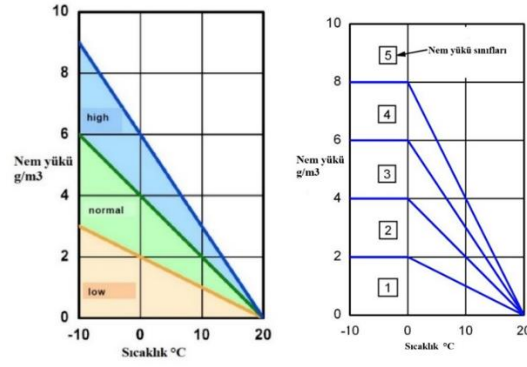
Bu bölümde, mevcut durumdaki duvarların bağıl nemi yüksek iç ortam şartlarında duvarların ısı ve nemsel performans durumlarına göre değerlendirme yapılmıştır. İç ortam koşullarında insan teri, parfümler, mutfak duman ve buharları, banyo ve

amaşırlardan yayılan buhar, endüstriyel ortamlardaki ürünlere bağılı nem ıkışıları, vb. etkenler iç hava neminin sürekli artışına yol açmaktadır. İç mekanda istenilen sıcaklık derecesi sağlanmış olsa da yüksek nem oranı insanları rahatsız edebileceğı gibi, insanların kullandıkları malzemelerin niteliklerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bağılı nemi yüksek iç ortam şartlarındaki mekanlar içinde oluşabilecek küflenme bozulma, çürüme ve buna bağılı meydana gelebilecek yapısal hasarlara karşı önlem alınması için benzetim çalışması yapılmıştır.



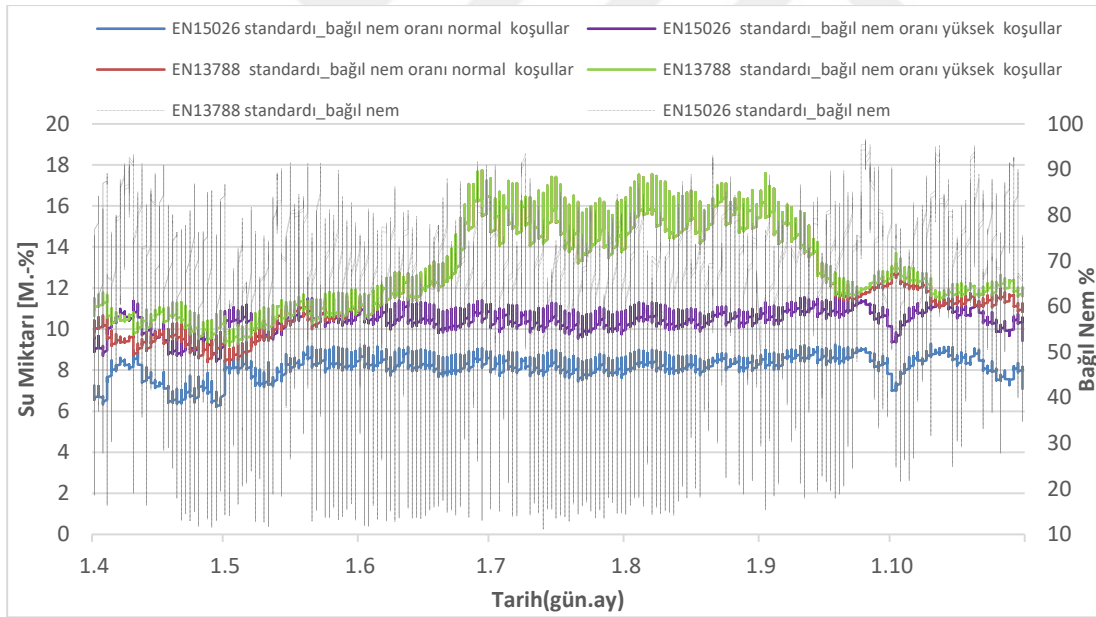
Şekil 4.39 : Bağılı nem oranı yüksek iç ortam koşullarında % su içeriğı.

Şekil 4.39’da gösterildiğı gibi EN13788 ve EN15026 standartların kabullerine göre iç ortam koşullarında bağılı nem oranı yüksek ıslak hacim mekanı veya normal bağılı nem koşullarındaki odanın ısıl ve nemsel performans durumu analiz edilmiştir. Bağılı nem oranı %60’dan %90’lara çıkarılarak karşılaştırılmıştır. Islak hacim mekanlarında örneğın banyo ve mutfaklarda yaz aylarında sıcaklığın ve bağılı nemin artmasına bağılı olarak su içeriğı değeri artmaktadır. Bu deneme çalışması 3 katmanlı ahşap duvar Tip1 için yapılmıştır. Bu duvar tipinde %20 oranları aşılmamaktadır.



Şekil 4.40 : EN13788 iç ortam koşulları.

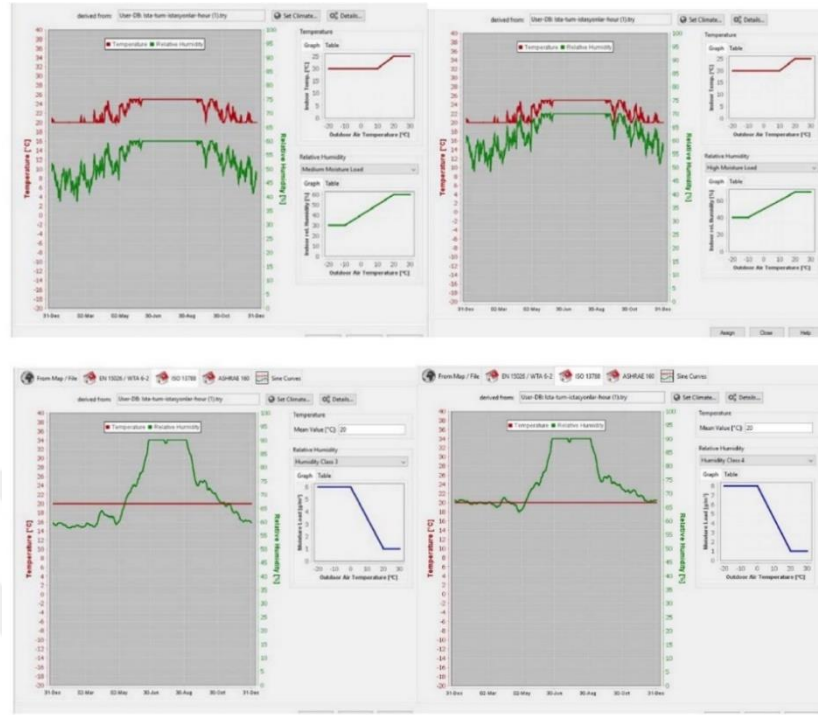
Şekil 4.40’da belirtilen sınıflandırmaya göre Sınıf 1: depolama, Sınıf 2: ofisler, dükkanlar, Sınıf 3: yerleşim yerleri, Sınıf 4: konutlar, spor salonları, mutfaklar, banyolar, kantinler, gazsız ısıtıcılar içeren binalar, Sınıf 5: özel binalar, örneğin. çamaşırhaneler, bira fabrikaları, yüzme havuzları’dır. Şekil 4.41’de Nisan ve Ekim ayları aralığındaki yüzde su içeriği bağıl nem grafiği gösterilmektedir



Şekil 4.41 : Bağıl nem oranı yüksek iç ortam koşullarında % su içeriği.

Şekil 4.42’de iç ortam şartlarının ıslak hacim mekanı veya normal şartlara sahip bir odanın ısı ve nemsel analizi EN13788 ve EN15026 standartların kabullerine göre karşılaştırılmıştır. Islak hacim mekanlarında örneğin banyo ve mutfaklarda yaz aylarında sıcaklığın ve bağıl nemin artmasına bağlı olarak su içeriği değerleri artmaktadır. İnsanların konfor beklentileri değiştikçe ve havalandırma sistemleri

geliştikçe iç ortam havasının nemi önem kazanmaktadır ve iç hava kalitesi nem kontrol kriterleri dikkat edilmesi gereken konu başlıklarından biridir.

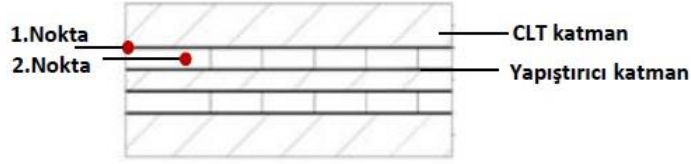


Şekil 4.42 : Benzetimde kullanılan iç ortam koşulları.

4.4.4 Çapraz tabakalı ahşap duvarların yapıştırıcı kullanımında ısı ve nemsel performansın değerlendirilmesi

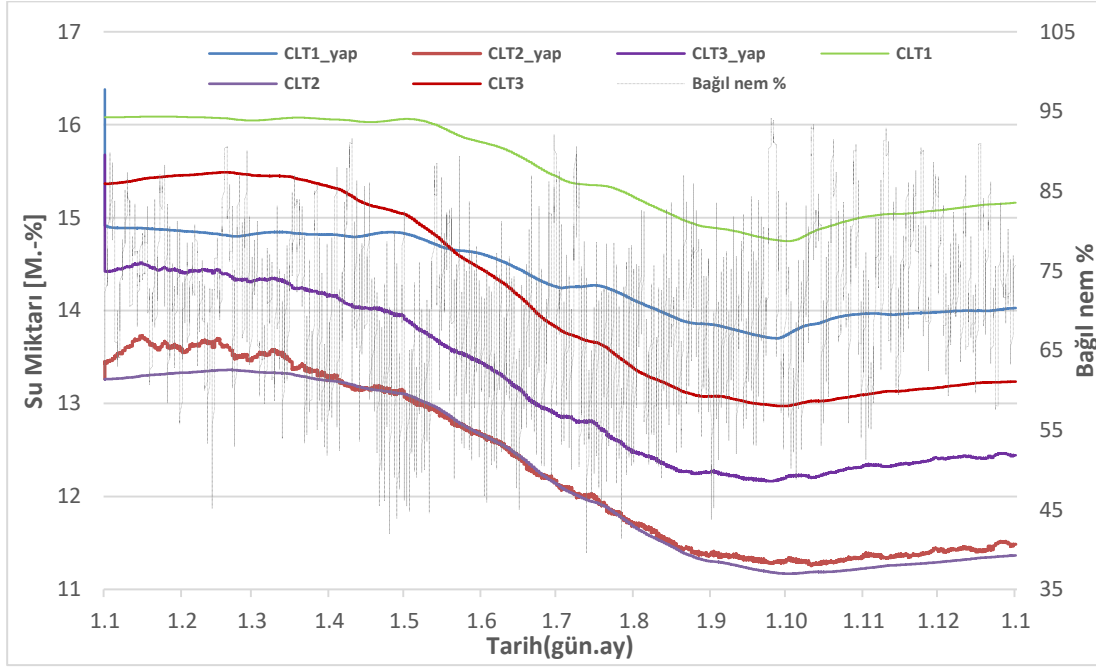
Bu çalışmada benzetimde modelleme yaparken yapıştırıcı kullanma durumunda ısı ve nemsel performans durumuna bakılmaktadır.

Bu tez çalışma kapsamında incelenen Şekil 4.43'deki Tip1 140mm CLT panel duvarı için çapraz tabakalı ahşap paneller ve çok ince bir katman kalınlığında yapıştırıcı için veriler benzetime girilmiştir ve bununla ilgili değerlendirme grafiği Şekil 4.44'de bulunmaktadır. WUFI veritabanında CLT duvar gövdesi için üç farklı tip duvar tercih edilmiştir. Yapıştırıcı malzemenin özellikleri ise, yoğunluk 100kg/m^3 , porozite 0,03, ısı iletkenlik katsayısı $2,3\text{W/mK}$, özgül ısı kapasitesi 2300J/kgK , buhar difüzyon direnç faktörü 2000'dir. (Öberg, ve Wiege, 2018; Wang ve Ge, 2016).

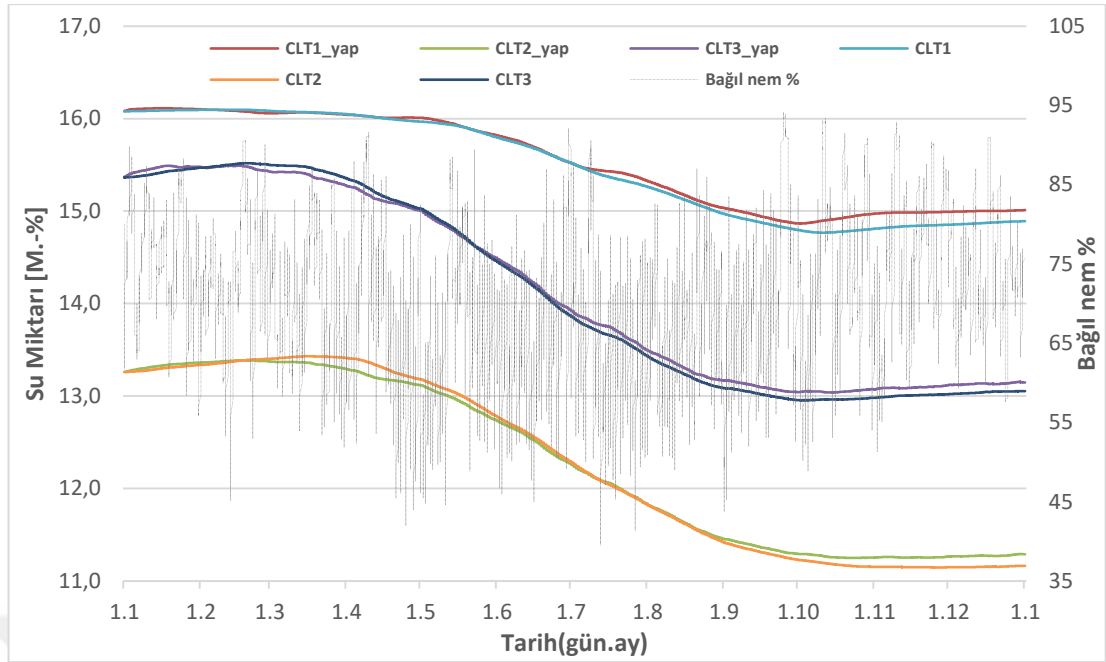


Şekil 4.43 : CLT panel yapıştırıcı kullanımı.

Şekil 4.44’da yapıştırıcı kullandıktan sonra ahşap tabakalı yüzeyde 1.noktada % 1 veya %2’lik bir su içeriği artışı gözlenmektedir. Şekil 4.45’de yapıştırıcı kullandıktan sonra ahşap tabakalı yüzeyin ortasında 2.noktada değer aralıklarında birbirine yakın aralıklardadır.



Şekil 4.44 : Çapraz tabakalı ahşap duvarların yapıştırıcı kullanımında 1.nokta (yapıştırıcı katmanının arkası) % su içeriği.



Şekil 4.45 : Çapraz tabakalı ahşap duvarların yapıştırıcısı kullanımında 2.nokta (CLT ortası) % su içeriği.

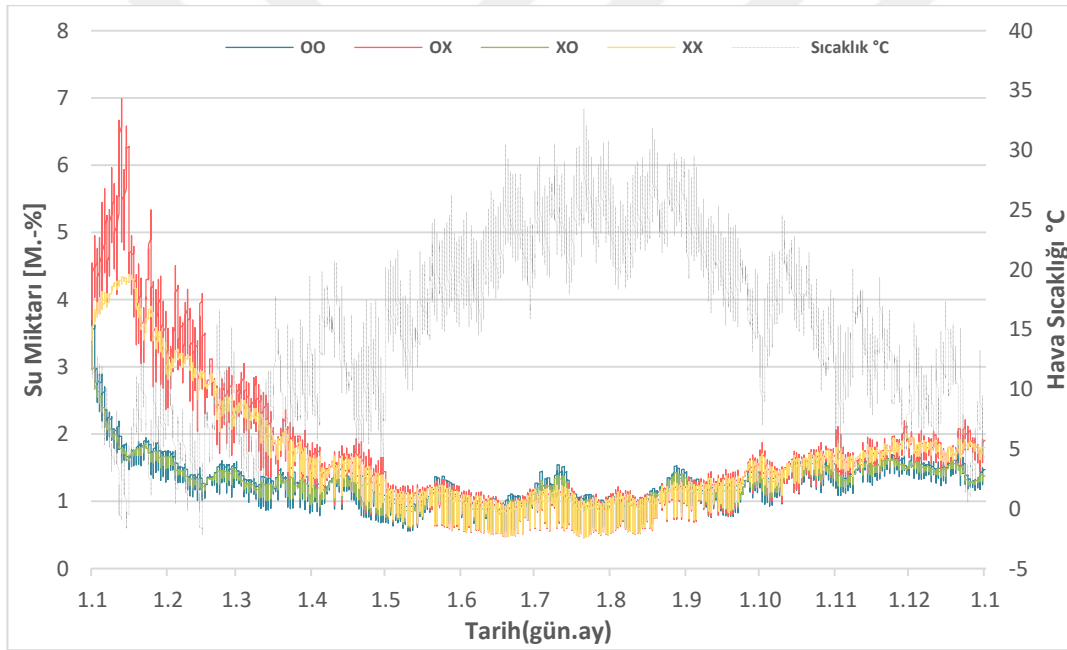
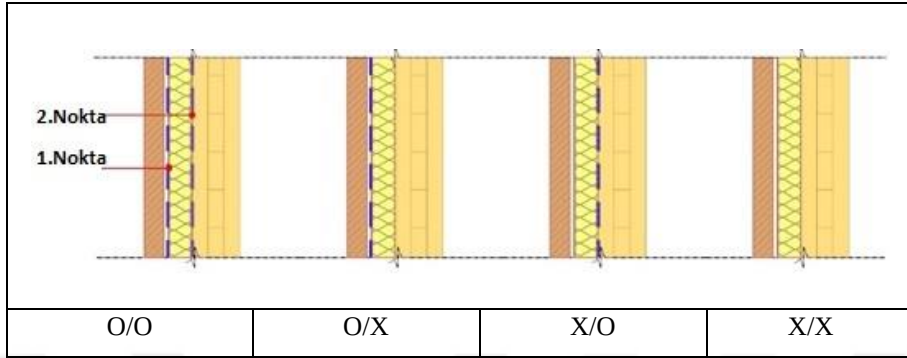
Özetle, yapıştırıcılar sabit bir buhar difüzyon direncine sahip nem bariyerleri olarak modellenmiştir. Bu durum yapışkan tabakaların nem taşıma katsayılarını büyük ölçüde etkilemektedir ve yapıştırıcı uygulaması sonrası tabakalar buhar direnç özelliğindedir. Yüzde su içeriği oranı %20 değerinin altında kalmıştır.

4.4.5 Ahşap dış duvarlarda hava kesici ve buhar kesici örtü kullanımında ısı ve nemsel performansın değerlendirilmesi

Bu bölümde ahşap dış duvarlarda kullanılan hava kesici ve buhar kesici örtülerinin ısı ve nemsel performansı değerlendirilmiştir. Ahşap iskeletli dış duvarlar bileşenleri için bölüm 4.3.2’de daha detaylı denemeler yapılmıştır. Hava kesici örtünün buhar direnç faktörü 170, buhar kesici örtü buhar direnç faktörü 50000’dir. Aşağıdaki Çizelge 4.12’de belirtilen şartlara göre CLT duvar için benzetim çalışması yapılmıştır. Farklı yalıtım malzemeleri kullanılarak hava ve buhar kesici örtü katmanlarının dış veya iç tarafa mı yoksa her iki tarafa mı uygulandığına bağlı olarak dört türe ayrılmıştır. O/O: hava kesici ve buhar kesici örtünün olduğu durum, O/X: dış tarafta hava kesici örtü olan iç tarafta buhar kesici örtü bulunmadığı durum, X/O: dış tarafta hava kesici örtü olmayan iç tarafta buhar kesici örtü olan durum ve X/X: hava ve buhar kesici örtü katmanları olmayan durumdur. Buhar kavramını ve geçiş yollarını iyi analiz etmek adına buhar kesici örtü veya hava kesici örtü kullanma ve kullanmama durumları için

1 yıllık ve detaylı görebilmek adına 3 aylık (Ocak-Şubat-Mart) benzetim modellemesi yapılmıştır.

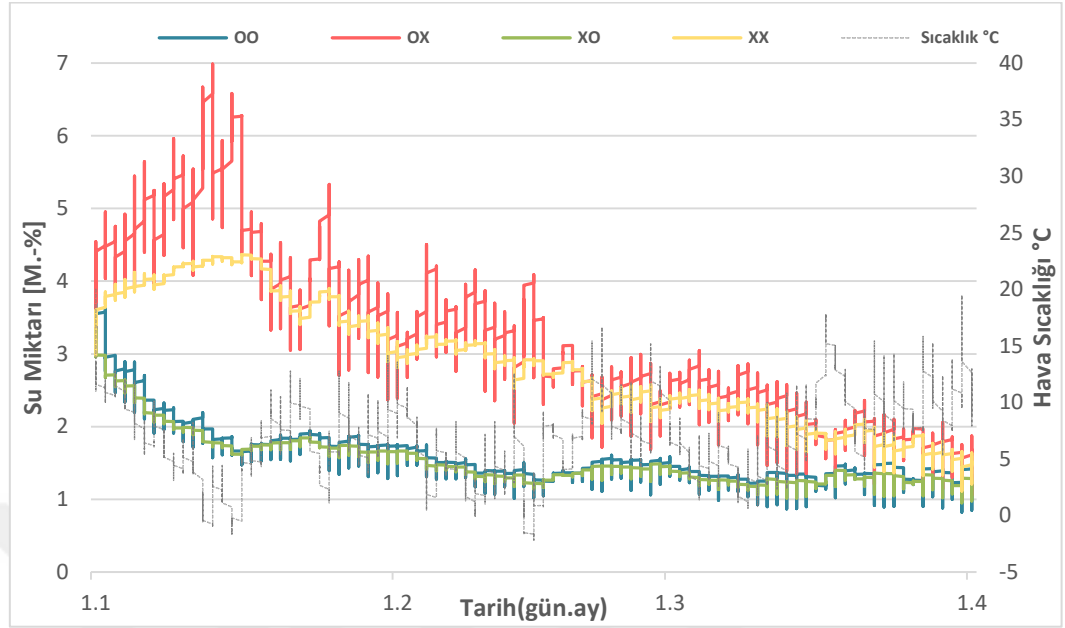
Çizelge 4.12 : Çapraz tabakalı ahşap dış duvarlarda hava kesici ve buhar kesici kullanımı.



Şekil 4.46 : Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda hava ve su kesici örtü kullanımına göre 1.nokta (hava kesici örtünün arkası) % su içeriği.

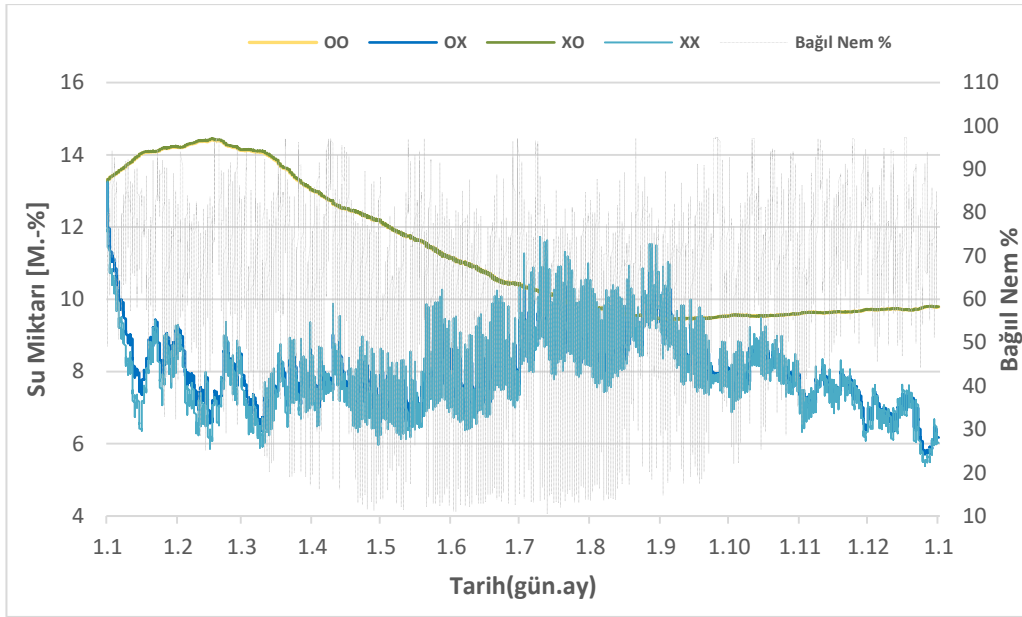
Şekil 4.46'a baktığımızda buhar kesici örtü kullanılmadığı zaman duvar kesitinde su içeriği oranı artmaktadır. Temmuz ve Eylül aylarında sadece buhar kesici örtünün bulunduğu ve her iki örtünün bulunduğu durum için, su içeriği oranı artmaktadır. Şekil 4.47'e baktığımızda buhar kesici olmama durumu hava kesici olmama durumuna göre % su içeriği oranını daha fazla etkilemektedir CLT hava tabakalı duvar tipinde buhar kesici örtünün su buharı difüzyon direnç değeri yüksek olduğu için, iç ortamda meydana gelen nem yoğunlaşarak buhar kesici örtünün arkasında su içeriği oranını

artırmaktadır.

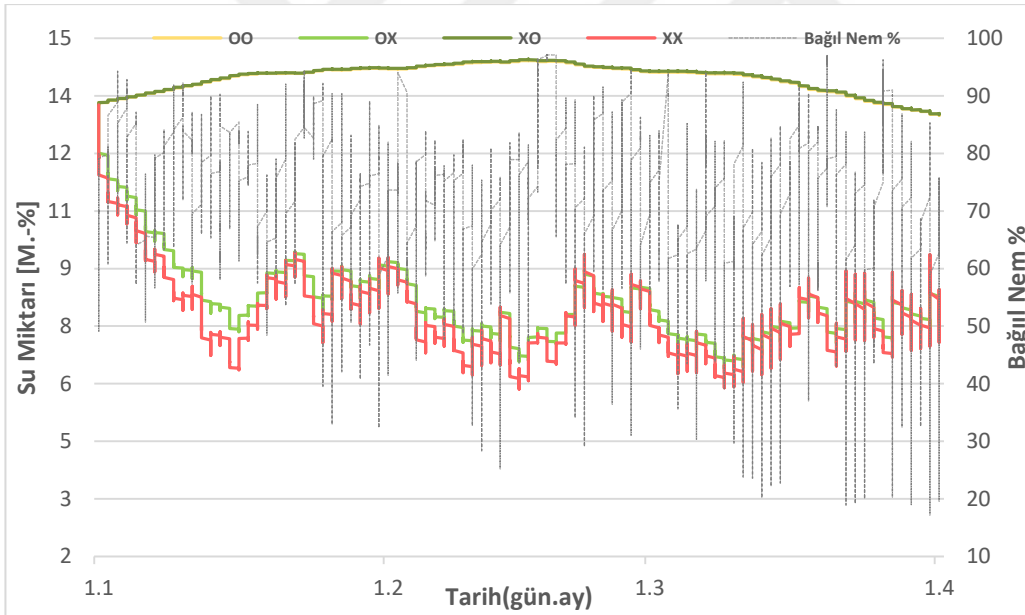


Şekil 4.47 : Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda hava ve su kesici örtü kullanımına göre 1.nokta (hava kesici örtünün arkası) % su içeriği.

Şekil 4.48'de bir yıllık benzetim ve Şekil 4.49'da ise 3 aylık benzetim çalışması yapılmıştır. Buhar kesici örtü kullanmama durumunda yüzde su içeriği oranı iç ortamdan gelen nem etkisine bağlı olarak artmaktadır. Her iki örtünün kullanıldığı durum ile sadece buhar kesici örtünün kullanıldığı durum için kış aylarında su içeriği değeri en fazla %15 değerine yükselmiştir ve daha sonraki zamanlarda birbirine yakın değerlerde azalış göstererek %10 değerine gelmiştir. Temmuz ve Eylül aylarında ise her iki örtünün kullanılmadığı durum ile sadece hava kesici örtünün kullanıldığı durumda su içeriği değeri %12'e yükselmiştir. Hava kesici ve buhar kesici örtünün önemi çıkan grafiksel sonuçlarda görülmektedir. Buhar basıncının yüksek olduğu iç ortamdan dışarıya akış gösteren su buharı, iç ortama yakın nokta olan buhar kesicinin arkasında daha yüksek değerlerdedir.



Şekil 4.48 : Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda hava ve su kesici örtü kullanımına göre 2.nokta (buhar kesici örtünün arkası) % su içeriği.



Şekil 4.49 : Çapraz tabakalı ahşap duvarlarda hava ve su kesici örtü kullanımına göre 2.nokta (buhar kesici örtünün arkası) % su içeriği.

5. GENEL SONUÇLAR

Tez kapsamında ahşap dış duvarların ısı ve nemsel performansının araştırılmasında öncelikle İstanbul Riva bölgesindeki bazı ahşap yapı uygulamalarının dış duvarları yerinde gözlem yöntemiyle tespit edilmiştir. Uygulamalarda genellikle tercih edilen ahşap duvar tipleri olarak, ahşap iskeletli dış duvar, çapraz tabakalı ahşap (CLT) duvar ve (yığma) kütük ahşap duvarların proje çizimlerinden katmanlaşma modelleri belirlenerek, kullanılan tüm malzemeler özgün özellikleri ile araştırılmıştır. Belirlenen 5 ayrı tipteki duvarlar, WUFI 2D benzetim aracı kullanılarak modellenmiş, İstanbul iklim verileri kullanılarak yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar grafikleştirilerek tartışılmıştır.

Ahşap duvar tiplerinin ısı ve nemsel performansının benzetim hesap sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde,

- Masif ahşap duvar sistemlerinin nemsel performansları karşılaştırıldığında, modern CLT panel duvarda lif yönlenmesinin çapraz yerleştirilen tabakalarda farklı doğrultularda olması, tek yönde yatay olarak istiflenen kütüklerin tek doğrultudaki lif yönlenmesinden dolayı farklılıklar görülmüştür. CLT duvar radyal yönde en fazla %90 değerindeyken kütük duvar en fazla %25'dir. CLT duvar boyuna yönde en fazla %130 iken kütük duvar en fazla %95'dir.
- CLT panelin tabakalarının arasındaki yapıştırıcılar (buhar kesici gibi işlev gördüğünden) nem geçişini azaltarak kütük sisteme göre daha farklı davranış sergilemektedir. Yapıştırıcılı tabakalı CLT yapıştırıcısız tabakalı CLT duvara göre %2 oranında nem azalışı sağlamaktadır.
- İskelet ahşap duvarlarda malzemelerin katmanlaşma modeli, özellikle hava bariyeri ve buhar kesici örtülerinin kullanımına ve ayrıca havalandırma

tabakasının varlığına ve boyutlarına bağlı olarak farklı sonuçlar göstermektedir. Havalandırma tabakasının en az 40mm ve hava değişim hızının İstanbul iklimi rüzgar hızına ve duvar kesit yüksekliğine bağlı olarak 6 seçilmesi önerilebilir. Ayrıca, yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ve (yangın direnci yüksek) magnezyum oksit katkılı alçı levha kaplama malzemeleri kullanılması durumları incelendiğinde, (yangın direnci yüksek) magnezyum oksit katkılı alçı levha kaplamasından OSB kaplamaya göre daha düşük nem geçişi olmaktadır.

- Isı ve nemin özellikle dıştan ısı yalıtımı uygulanmamış sistemlerde, iskelet çerçevenin dikme, payanda, alt taban ve üst başlık gibi ahşap elemanlarından doğrudan geçmesi ile dikmeler arası boşluktan ve veya boşluktaki ısı yalıtım malzemesinden geçmesi durumunda farklılıklar gösterdiğinden duvar bütününde performans önemli ölçüde etkilenmektedir. Dikmeden geçen ve payandadan geçen kesitler birbirine benzer sonuçlar vermektedir. Dikmeler arası boşluktan geçen kesitte buhar kesici örtünün önemi iç ortam neminin dış ortama geçerken yüzeydeki birikimi sonucu, yalıtım katmanının ıslanarak ısıl özelliğini yitirmesiyle yoğuşma problemlerine neden olabileceği gözlemlenmiştir.
- Benzetimi yapılan ahşap iskeletli dış duvar tiplerinde (kullanılan İstanbul iklim dosyası verileri için) en şiddetli olduğu zamanlarda bile nem oranlarının %20 değerini geçmediği görülmüştür. İklim verileri referans bir yıla göre hesaplama yapmaktadır ve genellikle saatlik ortalama değerler alındığından en kötü iklim şartları benzetime yansıtılamayabilmektedir. Bu bağlamda, Meteonorm iklim dosyasındaki verilerin gerçek iklim verilerine uyumluluğu, özellikle gerçekteki en kötü hava şartlarının şiddetinin doğru yansıtılmış olması, araştırılması gereken önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Ahşap dış kaplamaya uygulanan yüzey koruyucuların kullanım durumlarına göre yapılan analizlerde, geçirgenlik düzeyi az bir dış kaplama yüzey uygulaması yapıldığında, duvar yüzeyinde yüksek miktarda iç ortam nemi birikerek sıcaklık değişimlerine bağlı olarak yoğuşma riski oluşabileceği görülmektedir. Dış kaplamaya boya uygulaması yapıldığında su içeriği %12-20 aralığında değişim göstermektedir.

- Bağıl nem oranı yüksek iç ortam şartları söz konusu olduğundan CLT panellerinin nem ile ilişkili davranışı incelendiğinde, normal şartlarda %6-10 arasında değişen malzemede ki nem içerikleri yüksek bağıl nem koşullarında %18-20 değerlerine yükselebilmektedir.

Sonuç olarak, ahşap dış duvar tasarımı ve uygulamalarında kullanılmak üzere seçilen malzemelerin önceden benzetim aracı ile ısı ve nemsel performans analizleri yapılarak enerji etkinliği iyileştirilebilir. Restorasyon işlerinde, ahşap yapının yerinde değerlendirilmesinde, yapıda hangi bölgenin hangi parçasının değiştirilmesi gerektiğine karar vermede ahşabın ısı ve nemsel performansının doğru tahmin edilmesi önemli bir rol oynamaktadır. Isı ve nemsel benzetim araçlarının doğru ve etkin kullanılması için hesaplama sonuçlarından elde edilen verilerin doğrulanması yapılmalıdır. Ahşap proje uygulamalarında nem kaynakları ve nemden koruma yöntemleri dikkate alınmalıdır. Ahşap kuru tutulmalı (nem oranı %20'nin altında olmalı), emprenye edilmelidir. Ayrıca, havalandırma tabakasının yeterli kalınlıkta olması ve hava ile buhar kesici örtü uygulamalarının doğru yapılması gerekmektedir. Ahşap malzeme kuru kalırsa ve yeterli havalandırma ortamı oluşursa mantar ve küf oluşum riski azalmaktadır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, WUFI programı ile farklı iklim koşullarında özellikle yağışlı bölgelerde ahşap dış duvarların ısı ve nemsel performansının değerlendirilmesi, ayrıca benzetim sonuçlarının deneysel ölçmelerle karşılaştırılarak doğrulamasının yapılması önemli görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Altun, M. C.,**(1997). Buhar difüzyonunun dış duvarların nem ile ilgili ve ısı performansına etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım. 1997. PhD Thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- APA. 2012.** Standard for Performance Rated CrossLaminated Timber. ANSI/APA PRG 320-2012. APA-The Engineered Wood Association. Tacoma, WA, USA.
- Ashrae. (2013).** 2013 ASHRAE Handbook: Fundamentals. Ashrae.
- Augustin, M.** 2008. Wood Based Panels. In (Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/06/B/F/PP/168007) Handbook 1. Timber Structures: 63-99.
- Berkel, A. A.** (1970). Ağaç Malzeme Teknolojisi.
- Binderholz.**2010. Solid Timber Manual. Retrieved from: http://www.binderholz.com/fileadmin/books/en/MHHB_GB/MHHB_GB/assets/downloads/publication.pdf.
- Binan, M.,** (1986), “Yapı Elemanları”, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Kitap Yayınları No: 9, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bozkurt, A.Y .,** 1980. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi (Cilt I). İ.Ü .Orman Fakültesi Yayını No. 259.
- Bozkurt, A.Y. Göker, Y., Erdin, N.,** 1993. Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi. Orman Fakültesi Yayınları. İ.Ü. Yayın no: 3779. Fakülte Yayın No: 425.
- Bozkurt Y., Erdin N.,** Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İ.Ü. Basımevi ve Film Merkezi, (1997).
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., & Thiel, A.** (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. European Journal of Wood and Wood Products,74(3), 331-351.
- Brock, L.,** ‘Designing The Exterior Wall’, Wiley Press, New Jersey,USA,2005.
- Brookes, A. J., & Meijs, M.** (2008). Cladding of buildings. Taylor & Francis.
- BS EN 15026:2007:** Hygrothermal performance of building components and

building elements: Assessment of moisture transfer by numerical simulation. London, UK: BSI, 2007.

Bulian, F., & Graystone, J. (2009). Wood coatings: Theory and practice. Elsevier.

Burchell, J., Sunter, F.W., (1987), Design and Build in Timber Frame, Longman Scientific & Technical, England.

Can, T. (ed). 2013. Ormanın Kitabı. WWF-Türkiye, İstanbul.).

Capener, Carl-Magnus, Stephen Burke, and Architect Stephan Ott. 2014,"Hygrothermal Performance of TES Energy Façade at two European residential building demonstrations–Comparison between Field Measurements and Simulations."10th.

Cassens, D., and Feist, W.,1991. Exterior wood in South, Selections Applications and Finishes,FPLGTR-69.USA.

Chang, S. J., & Kim, S. (2015). Hygrothermal performance of exterior wall structures using a heat, air and moisture modeling. Energy Procedia, 78, 3434-3439Nordic Symposium on Building Physics. 2014.

Claesson, J. 1993. A few remarks on moisture flow potentials. Internal report, International Energy Agency Annex 24, T1-S-93/01.

Corcoran, L., Duffy, A., & Rouholamin, S. 2013, A hygrothermal analysis of international timber frame wall assemblies tested under temperate maritime climatic conditions.

Cowan, H. J., 1991. Handbook of Architectural Technology, Van Nostrand Reinhold, New York.

Crespell, P., Gagnon, S., (2010) Cross Laminated Timber: a Premier, FPInnovations.

CWC, 2010. Moisture and Wood-Frame Buildings. Canadian Wood Council. http://www.cwc.ca/documents/IBS/IBS1_Moisture_SMC_v2.pdf.

Dangel, U. (2018). "Tall Wood Buildings: Design, Construction, and Performance" by Michael Green and Jim Taggart: Birkhäuser, 2017 176 pages.Technology| Architecture+ Design, 2(2), 254-256.

Deplazes, A. (Ed.). (2005). Constructing architecture: materials, processes, structures. Springer Science & Business Media.

Dickson, M., & Parker, D. (2014). Sustainable timber design. Routledge.

Dinçel, K., Çelebi, N., Şanıvar, N., “Ağaç Teknolojisi”, Devlet Kitapları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1977.

Doğangün, A., Tuluk, Ö., Acar, R., Livaoğlu, R. Geçmişten Günümüze Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Trabzon.

Ecem Edis, Hülya Kuş, "Bina kabuğunun nemsel-ısııl performansının bilgisayar benzetimi ile belirlenmesi (Determination of hygrothermal performance of building envelope by computer simulation)", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi (Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi Un, Vol. 29, No. 2, 06/2014, s. 311-320.

Eldem, Sedat Hakkı Türk Evi, I-II-III Cilt, T.A.Ç. Vakfı, Güzel Sanatlar Matbaası A.Ş., İstanbul 1994.

EN, BS. (2007). 15026: 2007 Hygrothermal performance of building components and building elements—Assessment of moisture transfer by numerical simulation. German version DIN EN, 15026.

Erenman, F. Ö. Doğu Karadeniz yapılarında ahşap konstrüksiyon ve günün bölgesel koşullarında rasyonel kullanım yöntemlerinin araştırılması PhD Thesis.

Eriç, M. (2002). Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, 2. Baskı, İstanbul.

Eriç, M., 1978. Yapı Malzemeleri, Cilt II, Kazmaz Matbaası, İstanbul.

European Committee for Standardization, 2004, “Eurocode 5: Design of Timber Structures, Part 1-1: General - Common Rules and Rules of Building”, CEN, EN 1995-1-1 (E), Brüksel, ss.1-124.

Fedorik, F., & Haapala, A. (2017). Impact of Air-gap Design to Hygro-thermal Properties and Mould Growth Risk Between Concrete Foundation and CLT Frame. Energy Procedia, 132, 117-122.

Fedorik, F., & Illikainen, K. (2013). HAM and mould growth analysis of a wooden wall. International Journal of Sustainable Built Environment, 2(1), 19-26

Feist, W., 1983. Weathering and protection of wood, American Wood-Preserves Association .

Feist, W., 1990. Outdoor wood weathering and protection, American chemical society.

Feist, W., 1992. Natural weathering of wood and its control by water-repellent preservatives, American Painting Contractor, 69.

- Feist, W., Hon, D.**,1983. Chemistry of weathering and protection, The chemistry of solid wood ,chap.11.
- Fengel, D., Wegener, G.**, 1984. Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions, Walter de Gruyter,Berlin. New York.
- Fröbel, J. (Ed.)**. (2004). Att välja trä: trävaror och träprofiler till bygget. Skogsindustrierna.
- Gasparri, E., Brambilla, A., Aitchison, M.** (2018). Hygrothermal analysis of timber-based external walls across different Australian climate zones. World Conference on Timber Engineering, Seoul: National Institute of Forest Science.
- Gedik,E.**, 1987. Ahşap ve Çelik Yapıları. Milli Eğitim Basımevi,İstanbul.
- Glass, Samuel V.; TenWolde, Anton; Zelinka, Samuel L.** 2013. Hygrothermal Simulation: A Tool for Building Envelope Design Analysis. Wood Design Focus, Volume 23, Number 3; Fall Issue 2013; pp 18-25.
- Goetz, K.H., Hoor, D., Moehler, K., Natteree, J.**, (1989), Timber Design & Construction Sourcebook, McGraw-Hill Publishing Company, USA.Ching, F.D.K.
- Güngör, İ.H.**, 1961. Ahşap, Cilt I-II, Çelküt Matbaası,
- Hägerstedt, S. O., & Harderup, L. E.** (2011, April). Control of moisture safety design by comparison between calculations and measurements in passive house walls made of wood. In XII DBMC–International Conference on Durability of Building Materials and Components (pp. 12-15).
- Harris, R.** (2015). Cross laminated timber. In Wood composites (pp. 141-167). Woodhead Publishing.
- Haygreen, J.G., Bowyer, J.L.**, Forest Products and Wood Science, Third Edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA, 1996.
- Hegger, M., Auch-Schwelk, V., Fuchs, M., & Rosenkranz, T.** (2013). Construction materials manual. Walter de Gruyter.
- Hens, H.** 1996. Final Report, Vol. 1, Task 1: Modelling. International Energy Agency Annex 24—Heat, Air and Moisture Transfer Through New and Retrofitted Insulated Envelope Parts (HAMTIE). Leuven, Belgium: Katholieke Universiteit Leuven, Departement Burgerlijke Bouwkunde, Laboratorium Bouwfysica.
- Hens, H. S.** (2016). Applied building physics: ambient conditions, building performance and material properties. John Wiley & Sons.

- Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M., & Winter, W.** (2012). Timber construction manual. Walter de Gruyter.
- Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W.** (2012). Facade construction manual. Walter de Gruyter.
- İlhan, R., 1973.** Türkiye'nin Ekonomik Bakımdan Önemli Bazı Ağaç Türlerinin Emprenyesine Ait Araştırmalar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayını, Yayın No: 56, 363s. Ankara.
- IBP,** 2008. WUFI (Wärme und Feuchte instationär—Transient Heat and Moisture), version 4.2. Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, Holzkirchen, Germany.
- Johnson, R.,** “Waterborne Coatings An Overview of Waterborne Coatings: A Formulator's Perspective”, Journal of Coatings Technology, 69: 117-121 (1997). Josef Kolb, 1st Edition, Systems in Timber Engineering.
- Kantay, R.,** 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama. Ormanlık Eğitim ve Kültür Vakfı, Yayın No: 6, İstanbul.
- Kafescioğlu, R.,** 1955. Kuzey-Batı Anadolu'da Ahşap Ev Yapıları, Doçentlik Tezi, Pulhan Matbaası, İstanbul.
- Kalamees, T., & Vinha, J.** (2003). Hygrothermal calculations and laboratory tests on timber-framed wall structures. Building and Environment, 38(5), 689-697.
- Kang, Y., Chang, S. J., & Kim, S.** (2016). Analysis of hygrothermal performance of wood frame walls according to position of insulation and climate conditions. Journal of the Korean Wood Science and Technology, 44(2), 264-273.
- Karacabeyli, E., & Douglas, B. (Eds.).** (2013). CLT handbook: Cross-laminated timber. FPInnovations.
- Karagiozis A, Künzeli H, and Holm A.** 2001, WUFI ORNL/IBP Hygrothermal Model, Proceeding of the eighth conference on building science and technology, Solutions to Moisture Problems in Building Enclosures, pp158-183. Toronto, 2001.
- Karagiozis, A. N., & Kuenzel, H. M.** (2009). The effect of air cavity convection on the wetting and drying behavior of wood-frame walls using a multi-physics approach. Journal of ASTM International, 6 (10), 1-15.
- Kropf, F.W., Sell, J., Feist, W.,** 1994. Comparative weathering tests of North American and European exterior wood finishes, Forest Products Journal, 44 (10) 33-41 175-183.
- Kocataşkın Ferruh,** 1966. Yapı malzemesi olarak ahşap, İTÜ, İstanbul.

- Kurtoğlu, 2000.** Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri I. Cilt Genel Bilgiler, Ders Kitabı, İ.Ü.Orman Fakültesi Yayın No:463, İstanbul.
- Künzel, H.M. 1995.** Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. Published dissertation. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag.
- Kunzel, H. M., Zirkelbach D., & Schafaczek, B. (2012).** Modelling the Effect of Air Leakage in Hygrothermal Envelope Simulation. Proceedings of the BEST, 3, 2-4.
- Kunzel, H.M., Holm, A., Zirkelbach, D., Karagiozis, A.N., 2005.** Simulation of Indoor Temperature and Humidity Conditions Including Hygrothermal Interactions with the Building Envelope, Solar Energy 78, p. 554-561.
- Kunzel, H.M., 1998.** Effect of Interior and Exterior Insulation on the Hygrothermal Behaviour of Exposed Walls, Materials and Structures, vol.31, p.99-103.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2014).** Façades: principles of construction. Birkhäuser.
- Kurtoğlu, A., 1984,** Hava Kurusu Odunda Rutubet Değişimleri ve Tü rkiye 'de Odunun Muhtemel Denge Rutubeti Miktarlarının Dağılımı. İ.Ü .Orman Fakültesi Yayını No. 3,62
- Kus, H. (2002).**Long-term performance of water repellants on rendered autoclaved aerated concrete (Doctoral dissertation, Bygghvetenskap).
- Kus, H., Özkan, E., Göcer, Ö., & Edis, E. (2013).** Hot box measurements of pumice aggregate concrete hollow block walls. Construction and Building Materials, 38, 837-845.
- Kus, H. (2013).** Practical Aspects of Poor Detailing in Building Performance and Efficiency. Proceedings of 11th Int. Detail Design in Architecture Conference.
- Lstiburek, J., & Carmody, J. (1994).** Moisture control handbook: principles and practices for residential and small commercial buildings. John Wiley & Sons.
- Mallick, P.K.,** Composites Engineering Handbook, Marcel Dekker Inc., Newyork USA, 1997.
- Mayo, J. (2015).** Solid wood: Case studies in mass timber architecture, technology and design. Routledge.
- McClung, R.; Ge, H.; Straube, J.; Wang, J. 2014.** Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: field

measurements and simulations. *Building and Environment* 71:95–110.

Mukhopadhyaya, P., Kumaran, M. K., Tariku, F. & van Reenen, D. 2003. Long-term Performance: Predict the Moisture Management Performance of Wall Systems as a Function of Climate, Material Properties, etc. Through Mathematical Modelling. MEWS Task 7 final report. IRC/NRC, National Research Council Canada, Ottawa.

Niyazi Duman – Sadettin Ökten. Ahşap Yapı Dersleri. 1988. YEM Yayınları, 272 s.

Özçelik, N., 1965, İnşaat Bilgisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No. 102, İstanbul, 358.

Ramos, N.M.M., Delgado, J.M.P.Q., Barreira, E., de Freitas, V.P., “Hygrothermal numerical simulation: Application in moisture damage prevention”, Numerical simulations - examples and applications in computational fluid dynamics, Editör: Angermann, L., InTech, Rijeka, Hırvatistan 97-122, 2010.
Ross, R. J. (2010). Wood handbook: wood as an engineering material. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v., 190.

Salonvaara, M., & Karagiozis, A. (2001). Hygrothermal system-performance of a whole building. *Building and Environment*, 36(6), 779-787.

Sherwood, G. E., & Stroh, R. C. (1989), “Wood-Frame House Construction”, U.S Dept. of Agriculture, Washington.

Sözen, M., Eruzun, C., 1992. Anadolu’da Ev ve İnsan, Creative Yayıncılık, İstanbul.

Stora Enso “Building and Living: Building Solutions” CLT Product Description. Source: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Technical-folder-CLT-EN.-Technical-folder-Stora-Enso-Building-Solutions-CLT.pdf>.

Suchsland, O. and Woodson, G.E. (1986). Fiberboard manufacturing practices in the United States. Agricultural Handbook 640. Department of Agriculture. Washington, D.C.

Şimşek, O., 2003. Yapı Malzemesi II, Beta Basım Yayım, İstanbul.

OBE, J. D. (2002). Timber: its nature and behaviour. CRC Press.

OGM, 2013, Orman Atlası, Orman Genel Müdürlüğü, Bilgi Sistemleri Dairesi Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Şube Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2016. Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Üretim ve Pazarlama Faaliyetleri,

Orman Genel Müdürlüğü İşletme ve Pazarlama Dairesi Başkanlığı, (et:7.11.2016, <http://izmirobm.ogm.gov.tr/SiteAssets/Lists/Duyurular/NewForm/Buradan%20%C4%B0ndiriniz.pdf>).

Öberg, J., & Wiege, E. (2018). Moisture risks with CLT-panels subjected to outdoor climate during construction: focus on mould and wetting processes.

Önel, H., (1975), Ahşap ve Yurdumuzda Yöresel Uygulamaları, Yeterlik Çalışması, İDMMA, İstanbul.

Örs, Y., Keskin, H., “Ağaç Malzeme Bilgisi”, I. Baskı, ISBN: 975-6574-01-1, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2-3 (2001).

Özer, M., (1982), “Yapılarda Isı-Su Yalıtımları”, İstanbul, Özer Yayınları.

Pasztory, Z., Peralta, P. N., Molnar, S., & Peszlen, I. (2012). Modeling the hygrothermal performance of selected North American and comparable European wood-frame house walls. *Energy and Buildings*, 49, 142-147.

Parker, D., & Wood, A. (Eds.). (2013).The tall buildings reference book. Routledge.

Pehlevan, A., Yaşar, Y., Maçka, S., 2011. Higrotermal Performans Açısından Duvar Konstrüksiyonu Tasarımında Bilgisayar Modellerinin Kullanımı, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

Ross, R. J. (2010). Wood handbook: wood as an engineering material. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v., 190.

Rowell, R.M., (2005), Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Schmitt, H. (1977). Hochbaukonstruktion: die Bauteile und das Baugefüge Grundlagen des heutigen Bauens. Springer-Verlag.

Smith, R. E., Griffin, G., & Rice, T. (2015). Solid timber construction: Process, practice, performance. Report sponsored by American Institute of Architects, USDA Forest Products Laboratory and FPI Innovations.

Straube, J.F., and Burnett, E.F.P., 2005. Building Science for Building Enclosure Design, Building Science Press: Westford, MA.

Structurlam.Crosslam®CLT-TechnicalDesignGuide:

<http://www.structurlam.com/>.

Suchland, Otto; Woodson, George E. Fiberboard manufacturing practices in the United States. Agric. Handb. 640. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture: 1986. 263 p.

Teasdale-St-Hilaire, Anik, and Dominique Derome. "Comparison of experimental and numerical results of wood-frame wall assemblies wetted by simulated wind-driven rain infiltration."Energy and Buildings 39.11 (2007): 1131-1139.

TS 647, (1979) “Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.

TS 1617, 1974.Yongalevhaları (Yatık yongalı, yapıda kullanılan), TSE, Ankara.

TS EN 844-3 (Nisan 2000): Yuvarlak ve Biçilmiş Yapacak Odun (Kereste)-Terimler-Bölüm 3: Biçilmiş Yapacak Odun (Kereste) İle İlgili Genel Terimler, T.S.E. Ankara.

TS 1617, Yongalevhaları (Yatık yongalı, yapıda kullanılan), TSE, Ankara, 1974.

TS 93 Yapıştırıcılar Sentetik reçineli TSE, Ankara, 1994.

TS 2128 EN 313-2, Kontrplak - Sınıflandırma ve Terimler, Bölüm 2, Terimler, TSE, Ankara, 2005.

TS 3647 (1981): Binalarda Yeraltı Suyuna Karsı Yapılacak Yalıtımlarda Tasarım ve Yapım Kuralları.

TS 1047 (1972). Kontrtablalar. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.

TS EN 1001-2 Ahşap ve ahşap esaslı mamullerin dayanıklılığı - Terminoloji - Bölüm 2: Terimler sözlüğü.

TenWolde, A. (2008). ASHRAE Standard 160P--criteria for moisture control design analysis in buildings.

Türkçü, Ç., 2000, Yapım, Birsen yayınevi, İstanbul.

Thiis, T. K., Burud, I., Kraniotis, D., & Gobakken, L. R. (2015). The role of transient wetting on mould growth on wooden claddings. Energy Procedia, 78, 249-254.

Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L., Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayınevi, İstanbul, 2004.

- Trechsel, H.R.** (1994) Moisture Control in Buildings, Manual, American Society for Testing and Materials.
- Trechsel, H. R.** (2001). Moisture analysis and condensation control in building envelopes. ASTM.
- TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.** (2013). Türk Standartları Enstitüsü, 18 Aralık 2013.
- TSE.** (1979). Türk Standardı, Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS647.
- Umaroğulları, F. (2011).** Betonarme düşey yapı kabuğunda yalıtımın yerinin ve kalınlığının, nem denetimi açısından deneysel ve sayısal değerlendirmesi.
- Van Vlack, L. H., Van Vlack, L. H., & Safoğlu, R. A.** (1990). Malzeme bilimine giriş. Birsen yayınevi.
- Vydra V. 2007.** Degradation risk assessment of external envelopes: A practical engineering approach Building and Environment 42 (2007) 344-348.) .
- Y. Bozkurt, Y. Göker ve N. Erdin,** 1993. Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No:425, İstanbul, 429 s.
- Yoo, J., Chang, S. J., Lee, J., Wi, S., & Kim, S.** (2019). Numerical analysis of hygrothermal properties and behavior of Korean based cross-laminated timber (CLT) wall system to deduce optimal assemblies. Journal of Cleaner Production, 213, 1217-1227.
- Youngquist, J.A.** (1988). Wood-based composites: The panel and building components of the future. In: Proceedings, IUFRO Division 5, Forest Products subject group 5.03: Wood protection; 1987 May 16–17; Honey Harbour, Canada: 5–22.
- Yönetmeliği, D.** (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 37.
- Yücesoy, L.,2007,** Temeller, Duvarlar, Döşemeler, YEM Yayın, İstanbul.
- Zegarac Leskovar, Vesna, Premrov, Miroslav,** 2013, Energy-Efficient Timber-Glass Houses.
- Zylkowski, S.,** (2001), Introduction to Wood as an Engineering Material.
- Wagner, G.,** (2004), ‘Natürlich Holz, Holzabsatzfonds, Bauen mit Holz’,Bonn, Almanya.
- Wang, L., and Ge, H.** (2016). “Hygrothermal performance of cross-laminated timber wallassemblies: A stochastic approach,” Building and Environment 97, 11-25. DOI:10.1016/j.buildenv.2015.11.034.

Wimmer, R. (2002): Forstnahe Holzforschung: Forschung an der Schnittstelle von Wald und Holz.

Willams, R.S., 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites, CRC Press.

Willams, R.S., Feist, W., 1994. Effects of preweathering, surface roughness and wood species on the performance of paint and stains, FPL, 66 (828).

Willams, R.S., Feist, W., 1999. Selection and application of exterior stains for wood, Tech.Rep. FPLGTR-106, Madison.

Url-1 < <https://www.ahsapkarkas.com>>, erişim tarihi 30.04.2019.

Url-2 < <http://www.teknowood.com.tr> />, erişim tarihi 30.04.2019.

Url-3 < <https://www.ornl.gov> />, erişim tarihi 30.04.2019.

Url-4 < <http://www.wufi.no/workshop-08/SourcesAndSinks>>, erişim tarihi 30.04.2019.

Url-5 <<https://meteonorm.com/>>, erişim tarihi 30.04.2019.

Url-6<<https://mgm.gov.tr/>>, erişim tarihi 30.04.2019.

Url-7 < <https://www.rothoblaas.com/catalogues-rothoblaas/>>, erişim tarihi 30.04.2019.

Url-8<https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/9/2014/09/WUFI2D3_Example.pdf>, erişim tarihi 16.07.2019.

Url-9<<https://www.woodproducts.fi/>>, erişim tarihi 16.07.2019.



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Begüm SAMANCI
Doğum Tarihi ve Yeri : Üsküdar, 23.07.1991
E-posta : begummsamanci@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- 2001-2005 Bahariye İlköğretim Okulu
- 2005-2009 Mustafa Saffet Anadolu Lisesi, İstanbul
- 2009- 2014 Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Lisans, Çevre Mühendisliği
- 2011- 2015 Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Lisans, Mimarlık
- 2016-2019 İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul Yüksek Lisans, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi-Mimarlık Fakültesi

YARIŞMA DENEYİM : Haydarpaşa SOS öğrenci yarışması-Mansiyon

MESLEKİ DENEYİM :

2017- 2019 Sabri Paşayığıt Architects

