

HİGROTERMAL PERFORMANS AÇISINDAN DUVAR KONSTRÜKSİYONU TASARIMINDA BİLGİSAYAR MODELLERİNİN KULLANIMI

Asiye PEHLEVAN
Yalçın YAŞAR
Sibel MAÇKA

ÖZET

Higrotermal performans açısından bir duvar konstrüksiyonunun tasarımında konstrüksiyonu oluşturan katmanların her birinin iç ve dış fiziksel etkenlere karşı duvarı ne oranda koruduğu ve diğer katmanların performansını nasıl etkilediği, duvar konstrüksiyonunun değişen iklimsel koşullara karşı verdiği tepki ve uzun dönem boyunca gösterdiği çalışma performansı bilinmesi gerekli önemli kriterlerdir. Bu kriterlerin belirlenmesi için tasarlanan duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansının ısı ve buhar akımı yöntemi ile ortaya konulması gerekmektedir. Bir duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansı deneysel test yöntemi, analitik ve grafik yöntemler kullanılarak belirlenebilir. Bu amaç için, geliştirilen bilgisayar modelleri de kullanılabilir. Ancak günümüzde deneysel test yöntemlerinin çok daha fazla para, zaman ve efor gerektirmesi, analitik ve grafik yöntemlerde genellikle bazı hataların yapılması ve bu hataların fark edilememesi duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performansının belirlenmesinde bilgisayar modelleri kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

Bu bildiri; duvar konstrüksiyonunu oluşturan katmanlar ve işlevleri, duvar konstrüksiyonu tasarımında dikkate alınması gerekli kriterler açıklanacak, duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performansının belirlenmesinde dünyada yaygın olarak kullanılan WUFİ ve MOİST 3 bilgisayar modelleri tanıtılacaktır. Örnek uygulama olarak yukarıda belirtilen bilgisayar modelleri kullanılarak seçilen bir duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansı belirlenecek ve bilgisayar model sonuçları karşılaştırılacaktır. Bu bildiri sonucunda, kullanılan bilgisayar modellerinin Türkiye'nin iklimsel koşulları ile ilişkili olarak oluşturulan duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performansının belirlenmesinde uygunluğu tartışılacak ve önerilerde bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Duvar konstrüksiyonu, higrotermal performans, bilgisayar modeli, WUFİ, MOİST 3

ABSTRACT

In terms of hygrothermal performance, in the wall construction design, criteria should be known that which level each layer of the wall construction protects wall against indoor and outdoor physical factors and how it effect performance of other layers, response of wall construction against variable climate conditions and its working performance during long period. To determined of these criteria, hygrothermal performance of the designed wall construction should be executed by method of heat and vapour flow. Hygrothermal performance of the wall construction can be determined using experimental test method, analitical and graphical methods. For this aim, developed computer models can be also used. However, nowadays, for experimental test methods are need to more money, time and efort, also analitical and graphical methods lead to errors and because of unaware these errors, computer models have been used as common when determined of hygrothermal performance of wall constructions.

In this study; layers of the wall construction and their functions, criteria that need to be considered in the wall construction design will be explained, WUFI and MOIST 3 computer models using as common worldwide will be introduced in the determined of hygrothermal performance of the wall construction. As a sample study, hygrothermal performance of selected wall construction will be determined and results of computer models will be compared using computer softwares mentioned above. In result of this study, using computer models will be discussed suitable and have proposals in determined of hygrothermal performance of wall constructions composed in related to climate conditions of Turkey.

Key Words: Wall construction, hygrothermal performance, computer model, WUFI, MOIST 3

1. GİRİŞ

19. yy'ın ikinci yarısından itibaren nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak yapı sayısında ciddi bir artış yaşanmış, yoğun yapılaşmadan kaynaklı olarak kentlerdeki arsa fiyatları artmıştır. Arsaların değerlerinin artması, mevcut yapı alanından maksimum düzeyde yararlanma düşüncesini gündeme getirmiştir. Bu düşüncenin bir sonucu olarak duvar konstrüksiyon kesitlerinin incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmış, betonarmenin yapı sektöründe yerini alması ve bina dış duvarlarında kullanılmasıyla bu gereklilik karşılanabilir hale gelmiştir [1].

Kalın dış duvar konstrüksiyonları ile ısı, su ve nemle ilgili sorunlar kolaylıkla giderilirken duvar konstrüksiyon kesitlerinin incelenmesiyle bu gibi sorunlar için özel önlemler alınması gerekliliği doğmuştur. Özellikle batıda 1940'lı yıllardan itibaren bu gibi önlemler için çözümler üretilmeye başlanırken, ülkemizde ancak 1970'li yıllarda bu konu üzerine çalışmalara başlanılmış, bu sorunları çözebilecek yeni malzeme ve teknoloji araştırmaları hız kazanmıştır. Yapı dış duvarlarında ısı, nem ve sudan kaynaklı sorunlarla karşılaşıldıkça dış duvar konstrüksiyonunun bir bütün olarak ele alınması ve tasarlanmasının gerektiği anlaşılmıştır [2].

Tasarım sürecinde, iç ortam ve dış ortamı birbirinden ayıran düşey yapı elemanı duvarların değişen dış ortam iklimsel koşullarından etkilenmeden kullanıcılara sağlıklı bir şekilde yaşayabilecekleri iç ortam konfor koşullarını sağlaması dikkate alınması gereken en önemli kriterlerden birisidir [3]. İç ortam konfor koşullarını sağlamak için bu yapı elemanlarının iç ortam bağıl nemini kontrol ederken iç ortama yağmur ve kar girişini engellemesi, yapıda meydana gelecek ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmak için kışın güneşten ısı kazancı sağlarken, yazın ısı kazançlarını minimize etmesi gerekmektedir [4]. Başka bir ifadeyle dış duvar konstrüksiyonu tasarımında duvar konstrüksiyonunun ısı, nem ve su akışı ile ilgili higrotermal performansının yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Bir dış duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansı konstrüksiyonu oluşturan su, su buharı, ısı ve hava bariyeri veya kesici olarak görev gören her bir katmanın performansına bağlıdır. Herbir katmanın diğer katmanların performansını nasıl etkilediği, duvar konstrüksiyonunun mevsimsel ve 24 saat boyunca değişen iklimsel koşullara göre nasıl davranış gösterdiği ve uzun dönem boyunca duvarın nasıl bir fonksiyon üstlendiği duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansı açısından önemlidir [5].

Bu çalışmada duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performanslarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bilgisayar modelleri vasıtasıyla örnek bir duvar konstrüksiyon kesitinin higrotermal performansı belirlenecek, bilgisayar modelleri sonuçlarının Türkiye için uygunluğu tartışılacaktır.

2. DIŞ DUVAR KONSTRÜKSİYONUNU OLUŞTURAN KATMANLAR

Dış duvar konstrüksiyonları genel olarak iç bitim katmanı, duvar gövdesi ve dış bitim katmanı olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. Bu konstrüksiyonlarda ısı yalıtımı görevini gövdeye ek uygun bir konstrüksiyonla yerleştirilen ısı yalıtım malzemeleri üstlenirken, su ve nem yalıtımı işlevini dış bitim katmanları, buhar kesicilik görevini ise daha çok iç bitim katmanları üstlenmektedir [1]. Tablo 1'de dış duvar konstrüksiyonunu oluşturan katmanlar ve işlevleri verilmiştir.

Tablo 1. Dış Duvar Konstrüksiyonu Katmanları ve İşlevleri [5]

Duvar Katmanları	Temel İşlev	İkincil İşlev
İç ortam bitim katmanı, estetik Boya Duvar kaplamaları (kağıt,seramik vb.)	Kaplama	Buhar kesici Buhar kesici
İç ortam bitim katmanı, strüktürel Alçı levha		Yansıtıcı yüzey
Isı yalıtımı Yalıtım şiltesi Dolgu (dökme) olarak kullanılan yalıtım malzemeleri Harca katılarak kullanılan yalıtım malzemeleri Rijit levha yalıtım Püskürtme poliüretan köpük İnert gaz içerikli hava boşluğu	Yalıtım	Yansıtıcı yüzey Hava bariyeri Hava bariyeri Hava, su bariyeri, buhar kesici, yansıtıcı yüzey Hava bariyeri, buhar kesici
Yansıtıcı ve düşük emicili yüzeyler Folyo Boya Cam üzerine kaplama	Işınım bariyeri	Buhar kesici Buhar kesici
Su buharı kesici Buhar kesici boya Polietilen Geçirimsiz duvar kaplamaları	Buhar kesici	Işınım bariyeri Hava bariyeri
Hava bariyeri Sızdırmaz, şerit polietilen Şerit, geçirimsiz membran örtü Hava geçirimsiz kuru duvar yaklaşımı Basit mastik ve astar Tabaka ve akışkan halde uygulanan membranlar	Hava bariyeri Hava bariyeri Hava bariyeri Hava bariyeri Su bariyeri	Buhar kesici Su bariyeri Hava bariyeri
Dış ortam bitim katmanı, strüktürel Yonga levha Kontraplak Alçı kaplama	Kaplama	Buhar kesici Buhar kesici
Su bariyeri Kraft kağıt ve keçe Deliksiz membran örtüsü Tabaka membranlar Akışkan halde uygulanan güçlendirilmiş membranlar	Su bariyeri	Hava bariyeri Hava bariyeri, buhar kesici Hava bariyeri, buhar kesici
Dış ortam bitim katmanı, estetik ve temel hava bariyeri Kaplama sistemleri Boya, astar ve kaplamalar	Kaplama	Su bariyeri, buhar kesici Su bariyeri, buhar kesici

3. HİGROTERMAL PERFORMANS AÇISINDAN DIŞ DUVAR KONSTRÜKSİYONU TASARIMINA ETKİ EDEN ETKENLER

Dış duvar konstrüksiyonu tasarımına etki eden etkenler genel olarak mekanik, fiziksel, kimyasal, biyolojik, teknolojik, kullanıcı gereksinimleri, yasalar ve yönetmelikler, ve mimari anlayış olarak sekiz gruba ayrılmaktadır [1]. Ancak bu çalışma duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performansı üzerine

odaklandığı için burada higrotermal performans açısından duvar konstrüksiyonu tasarımına etki eden fiziksel etkenler açıklanacaktır. Bu etkenler; ısı, su ve buhar ile ilgili etkenlerdir.

3.1. Isı ile İlgili Etkenler

İç ortam konfor koşullarının sağlanması açısından yapıların yaz soğutulması ve kış ısıtılması gerekmektedir. Soğutma ve ısıtmadan kaynaklı enerji giderlerinin azaltılması açısından duvar konstrüksiyonlarının ısı geçirgenlik direnci değerlerinin yönetmeliklerde belirtildiği gibi olması gereklidir. Örneğin Türkiye’de geçerli yönetmelik olan TS 825’te belirtilen ısı geçirgenlik dirençlerine sahip olmayan duvar konstrüksiyonlarında konstrüksiyona ek bir ısı yalıtım malzemesi eklenerek bu değer sağlanmaya çalışılır [6]. Bu ısı yalıtım katmanı duvara içten ya da dıştan yerleştirilebilir. Isı yalıtım malzemesinin konumu duvarın toplam ısı geçirgenlik direncini değiştirmez ancak içten yerleştirilmesi durumunda duvarın ısı genleşmesi kontrol edilememekte, duvarın ısı biriktirme kapasitesi azalmaktadır. Isı yalıtım malzemesinin dıştan yerleştirilmesi halinde duvarın ısı genleşmesi kontrol edilebilmekte ve ısı biriktirme kapasitesi artmaktadır. Bir duvar konstrüksiyonunun kesit tasarımında higrotermal performans açısından konstrüksiyonun ısı geçirgenlik direncini artıracak önlemler almak ve ısı yalıtımının konumunun doğru seçilmesi gereklidir. Isı geçirgenlik direnci, konstrüksiyonu oluşturan katmanların kalınlıklarının artırılması ve katmanları oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik değerleri yüksek olan malzemelerden seçilmesi ile birlikte artırılabilir [3].

3.2. Su ile İlgili Etkenler

Dış duvar konstrüksiyonları dış ortamdan yağışlar yoluyla gelen sudan, zeminden kapilerite yoluyla gelen sudan ve iç ortamdan dış ortama hareket eden su buharının yoğuşması sonucu oluşan sudan etkilenmektedir. Bu suların dış duvar konstrüksiyonlarında meydana getirdiği zararları asgari düzeyde tutmak için; duvar konstrüksiyonlarında drenaj katmanı veya drenaj boşluğu düzenlenmesi, kapileriteye olanak vermeyecek gözeneklilikte malzeme kullanılması, elektroforez yöntemiyle duvarın kurutulması, suyun yükselmemesi için duvarı yarıp kurşun bir levha yerleştirilmesi, suyun yükselmesine engel olunması için, duvara belirli aralıklarla açılan deliklere yerleştirilen şişelerden akan ve gözenekleri dolduran polimer esaslı kimyasal bir maddenin duvardaki suyla birleşerek jelleşmesi gerekir [7].

3.3. Buhar ile İlgili Etkenler

Buhar yüksek basınçtan alçak basınca doğru hareket eder ve bu hareket esnasında duvar konstrüksiyonunu oluşturan malzemelerin tümü buhar geçişine izin verecek gözeneklere sahip olduğu sürece duvar konstrüksiyonunda buhardan kaynaklı zararlar meydana gelmez. Şayet duvar konstrüksiyonlarında kullanılan malzemeler buhar geçişine izin vermeyecek özellikte gözeneksiz ise duvarın sıcak yüzünden su buharının duvara girmesini önleyecek önlemlerin alınması ve duvar konstrüksiyonu katmanlarının su buharının yoğuşmadan geçebileceği şekilde düzenlenmesi gereklidir. [8]. Dış duvar konstrüksiyonuna iç ortamdan giren su buharının dış ortama kolaylıkla atılabilmesi için konstrüksiyonu oluşturan katmanların buhar difüzyon direnç faktörleri içten dışa doğru giderek azalmalıdır. Bu durumda ısı yalıtım katmanı dış tarafta kullanılarak duvar gövdesi sıcak kalacak ve buhar yönünden bir yoğuşma sorunu ortaya çıkmayacaktır. Isı yalıtım katmanının iç tarafta kullanıldığı ve küçük buhar difüzyon direncine sahip olması durumunda, ısı yalıtım katmanı ve duvar gövdesi arasında yoğuşma oluşacaktır. Isı yalıtım katmanı iç tarafta kullanıldığında bu katmanın iç yüzüne bir buhar kesici katman uygulanması yararlı olacaktır. Duvar konstrüksiyonunda ısı yalıtım katmanı ve dış kaplama arasında bir havalandırma boşluğu bırakılması da yoğuşmanın engellenmesi için alınabilecek bir önlemdir [1].

4. DUVAR KONSTRÜKSİYONLARININ HİGROTHERMAL PERFORMANSININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN BİLGİSAYAR MODELLERİ

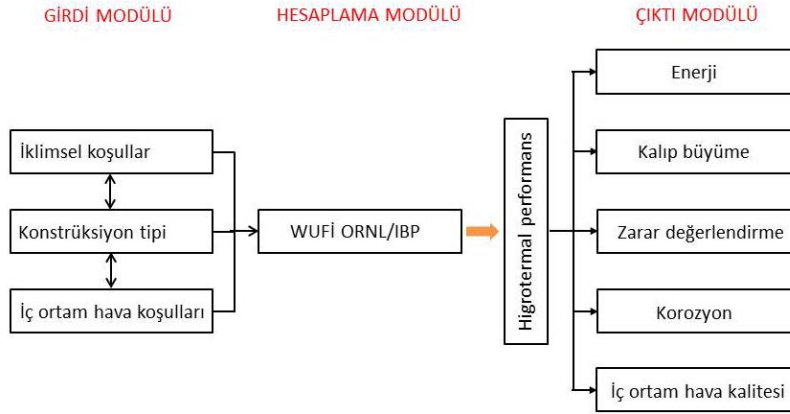
Günümüzde, duvar konstrüksiyonlarının ve katmanlarının zamana bağlı ısı, su ve nem akışı ile ilgili gerekli verileri kullanıcıya sağlayan çok sayıda bilgisayar modeli geliştirilmiştir. CHMC (Canada Mortgage and Housing Corporation)'nin yaptığı bir araştırmada bu amaç için geliştirilen 45 bilgisayar modeli incelenmiş ve bu modellerden üçü gerekli kriterleri karşılaması açısından, farklı duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performansının değerlendirilmesinde uygun bulunmuştur. Bu bilgisayar modelleri; MATCH, WUFİ ve MOİST'tir. Bu modeller duvar konstrüksiyonu içerisindeki ısı, su ve nem akışını tek boyutlu olarak hesaplamaktadır. MATCH, Danimarka'da geliştirilmiş bir modeldir ve bu modelin elde edilmesi ve kullanımı ücretlidir. WUFİ ve MOİST modelleri ise sırasıyla Almanya ve Amerika'da geliştirilmiş ve elde edilmesi kolaydır ve kullanımı ücretsizdir. Bundan dolayı; bu çalışmada WUFİ ve MOİST bilgisayar modelleri tanıtılacak ve bu modeller kullanılarak örnek bir çalışma gerçekleştirilecektir [5].

4.1. WUFİ-ORNL/IBP

WUFİ-ORNL/IBP bilgisayar modeli ilk olarak 1994'te Avrupa'da geliştirilmiş ve günümüze kadar Avrupa'da yapı kabuğu tasarımcıları, mimarlar ve yapı fizikçileri tarafından kullanılmaktadır. WUFİ-ORNL/IBP'nin geliştirilmesindeki amaç, tasarım aşamasında yapı kabuğunun ısı, su ve nem performansının optimize edilmesini sağlamaktır. Kullanımı kolay ve modüller yardımıyla çalışan bilgisayar modeli farklı bina kabuğu sistemleri için su ve suyun zararlarına karşı çözümler üretir. İklimsel ve malzeme veritabanları ile birlikte çalışır ve modüler bir yapıya sahiptir. WUFİ-ORNL/IBP'nin ana modülü sayısal eşitliklerin çözümünü yaparken diğer modüller iklim, konstrüksiyon ve iç ortam iklimsel koşulların detaylarının üretilmesini sağlar. Modüllerin her biri birbiriyle ilişkili olarak çalışır. Hesap sonuçları WUFİ-FİLM sekmesiyle görselleştirilebilir. Bu sekme ile duvar konstrüksiyonu katmanlarındaki su miktarı, bağıl nem ve sıcaklık değerlerindeki değişim günlük ve yıllık olarak gösterilebilir. Simülasyon sonucunda incelenen duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansı enerji, küflenme, zarar değerlendirme, korozyon ve iç ortam hava kalitesi modülleri ile belirlenir [9].

WUFİ-ORNL/IBP, yapı fiziğinin önemli uygulamaları için tasarlanmış bir bilgisayar modelidir ancak bu modelin kabul ettiği bazı sınırlamalar vardır. Bu sınırlamalar; ısı ve nem akışını tek boyutlu olarak hesaplaması, konstrüksiyon katmanlarındaki hava akışı, hidrostatik basınç altındaki zemin suyunun hareketi ve yerçekimi etkisinden kaynaklı oluşabilecek ısı ve nem akışını dikkate almamasıdır. Ayrıca bu bilgisayar modeli zamana bağlı olarak malzemelerin higrotermal özelliklerindeki değişimi dikkate almaz [10].

WUFİ-ORNL/IBP toplam 3 ana modüle sahiptir. Bunlar; girdi, hesaplama ve çıktı modülleridir. Girdi modülünde, konstrüksiyonu oluşturan katman malzemeleri ve boyutsal özellikleri, yönelme, eğim ve yapı yüksekliği, iç ve dış yüzey ısı transfer katsayıları, başlangıç bağıl nemi ve iç ortam hava sıcaklığı, iklimsel koşullar ve simülasyonun yapılacağı zaman aralığı belirlenir. Kullanıcı, girdi menüsünde gerekli verileri girdikten sonra hesaplama modülünü kullanarak simülasyonu başlatır. Simülasyon sonucunda, duvar konstrüksiyonunun ve katmanlarının her birinin zamana bağlı olarak değişen su miktarları, konstrüksiyonun iç ve dış yüzeylerindeki bağıl nemi ve ısı akışının zamana bağlı olarak değişimi ve katmanlardaki yüzey sıcaklıkları grafik ve sayısal olarak çıktı modülünde gösterilir. Şekil 1'de WUFİ-ORNL/IBP bilgisayar modelinin çalışma şeması verilmiştir [9].



Şekil 1. WUFİ-ORNL/IBP Çalışma Şeması [9].

4.2. MOİST

MOİST bilgisayar modeli 1998'te Ulusal Teknoloji ve Standartlar Enstitüsü (NIST) tarafından geliştirilmiştir. Kullanıcı etkin olarak tasarlanan bilgisayar modeli duvar konstrüksiyonlarındaki ısı ve nem akışını tek boyutlu olarak hesaplar, yılın zamanına bağlı olarak duvar konstrüksiyonunun iç ve dış sınırlarındaki nem ve ısı akışlarının yanında konstrüksiyonun katmanlarının yüzeylerindeki bağıl nemi veya konstrüksiyon katmanlarının herbirinin sıcaklık ve nem içeriği bilgilerini kullanıcıya sunar. Bu model iç ortam bağıl nemindeki yıllık değişimlerin tahmin edilmesinde de kullanılır. MOİST ile;

- Duvar konstrüksiyonlarında ahşaptan kaynaklı çürümenin yol açacağı nem içeriğindeki artış potansiyelinin tahmini,
- Buhar kesici kullanımının gerekli olup olmadığı, gerekliyse nereye yerleştirileceği,
- Yüksek nem içerikli konstrüksiyon malzemelerinin kuruma oranları,
- Konstrüksiyon katmanlarındaki yüzey nemi tahmini ve böylece küflenme potansiyeli,
- Isıl direnç üzerine nemin etkileri,
- Duvar nem içeriği üzerine yapı geçirimsizliğinin etkisinin analizi,
- Duvar nem performansı üzerine farklı duvar konstrüksiyon malzemeleri veya tasarımının etkilerinin değerlendirilmesi,
- İç ortam bağıl nemi üzerine farklı iç ortam nem miktarının, mekanik havalandırmanın veya iklimsel koşulların etkilerinin araştırılması

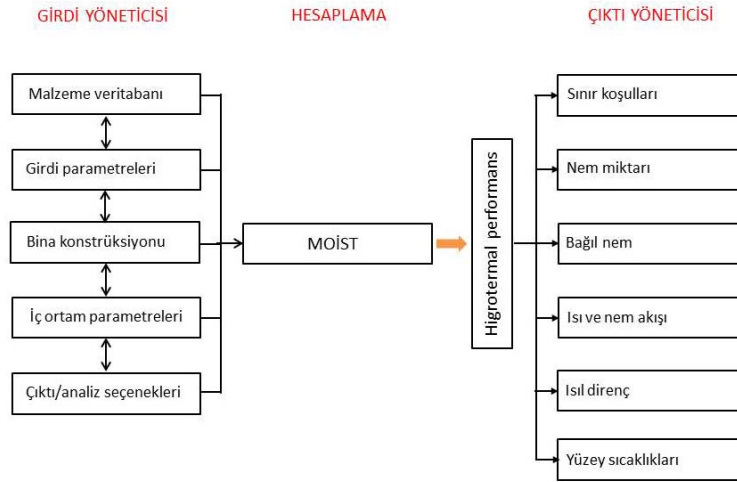
gerçekleştirilebilir [11].

Bu modelin en önemli sınırlaması duvar konstrüksiyonu katmanlarındaki ısı ve nem akışlarını tek boyutlu olarak hesaplamasıdır. Hesaplamalarda, duvar konstrüksiyonundaki nemin düşey hareketi gibi iki ve üç boyutlu etkileri ve çerçeve elemanlarının etkilerini dikkate almadığı gibi hava hareketinden kaynaklı ısı ve nem akışlarını da dikkate almaz, incelenen konstrüksiyonu hava geçirimsiz olarak kabul eder. Bu gibi kısıtlamaların önemli olduğu uygulamalarda yapı uygulayıcıları duvar konstrüksiyonunun nem performansının araştırılmasında LATENITE gibi daha gelişmiş modellerin veya laboratuvar deneylerinin kullanılmasını önerir [9].

MOİST bilgisayar modeli ASHRAE çığleşme noktası yöntemlerinden daha doğru nem analizi tahminleri yapar. Hesaplamalarında Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın 24 numaralı prosedüründeki teorik yaklaşımı kullanır [11].

Modüler ve kullanıcı etkin bir bilgisayar modeli olan MOİST toplam 3 ana modüle sahiptir. Bunlar, girdi yöneticisi, hesaplama ve çıktı yöneticisi modülleridir. Girdi yöneticisi modülü; malzeme veritabanı, bina konstrüksiyonu, girdi parametreleri, iç ortam parametreleri ve çıktı/analiz seçenekleri alt modülleri ile ilişkili olarak çalışır. Bu ana modülde kullanıcı duvar konstrüksiyonu tipini belirler, katman malzemeleri seçimini yapar, iklimsel koşulları belirler, simülasyonun yapılacağı zaman aralığını ve iç ortam iklim

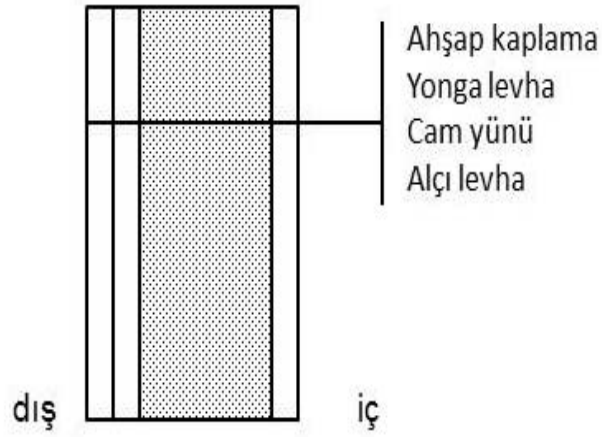
koşulları girdilerini girer ve çıktı sonuçlarının neler olacağına karar verir. Kullanıcı girdi yöneticisi modülünde gerekli verileri girdikten sonra hesaplama modülünü kullanarak simülasyonu başlatır. Simülasyon sonucunda, sınır koşulları parametreleri, konstrüksiyon katmanlarının nem içeriği, katman yüzeylerindeki bağıl nem, iç ve dış ortam sınırlarındaki ısı ve nem akışı, tüm duvarın ısı direnci ve katmanlardaki yüzey sıcaklıkları grafik ve sayısal olarak çıktı yöneticisi modülünde gösterilir. Şekil 2'de MOİST bilgisayar modelinin çalışma şeması verilmiştir [9].



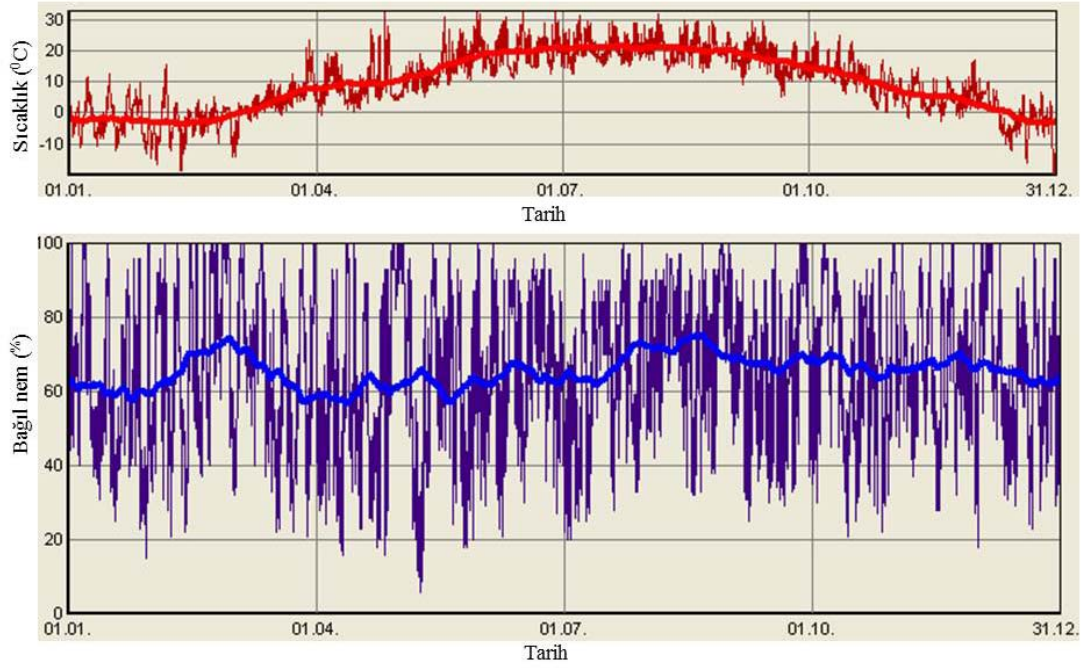
Şekil 2. MOİST Çalışma Şeması [9].

5. YAPILAN ÇALIŞMA

Örnek çalışma için WUFİ-ORNL/IBP ve MOİST bilgisayar modellerinde kullanılmak üzere 4 katmanlı havalandırmasız, yalıtımlı, ahşap çerçeve boşluklu hafif bir duvar konstrüksiyonu seçilmiştir. Şekil 3'te seçilen duvar konstrüksiyonunun yapısı görülmektedir. Bu duvar konstrüksiyonunun soğuk iklim bölgesinde olduğu ve güneğe yönlendiği varsayılmıştır. Simülasyon için her iki bilgisayar modelinin iklimsel veritabanında kayıtlı olan yurt dışından soğuk bir iklim bölgesi seçilmiştir. Her iki modelde de Türkiye illeri için iklimsel veri dosyaları bulunmamaktadır. Ancak Türkiye illeri içinde iklimsel veri dosyaları oluşturulup bu modellerle entegre çalıştırılabilir. Eldeki verilerin yetersizliğinden kaynaklı olarak modellerde yer alan ortak iklimsel veriler kullanılarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyonun gerçekleştirildiği bölgenin iklimsel özellikleri Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Başlangıç bağıl nemi %50, iç ortam hava sıcaklık değeri ise 21°C olarak alınmıştır. Simülasyon 01/01/2010 - 01/01/2011 arasında 1 yıllık bir süreç için yapılmıştır. Tablo 2'de incelenen duvar konstrüksiyonu katmanları ve hesaplamalarda kullanılan özellikleri verilmiştir. Ahşap çerçeve boşluklu hafif duvar konstrüksiyonu simülasyon uygulamalarında en çok kullanılan konstrüksiyon tipi olduğu için seçilmiştir [9]. MOİST bilgisayar modelinde, duvar konstrüksiyonunda yer alan ısı yalıtım katmanı üzerinde çok az nem toplaması ve bina konstrüksiyonunun nem performansı üzerine çok az etki yapmasından kaynaklı olarak depolayıcı olmayan eleman olarak simülasyona dahil edilmiş, grafiklerde bu katmanın etkisi gösterilmemiştir. WUFİ-ORNL/IBP bilgisayar modelinde ise ısı yalıtım katmanının duvar konstrüksiyonunun ve katmanlarının nem ve ısı akışına etkisi elde edilen grafiklerde gösterilmiştir [11].



Şekil 3. WUFİ-ORNL/IBP ve MOİST Bilgisayar Modellerinde İncelenen Duvar Konstrüksiyonu

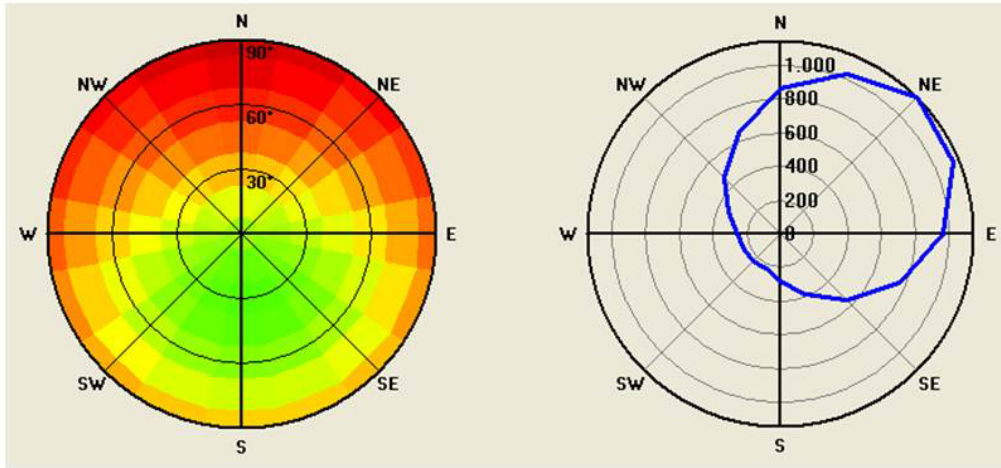


Şekil 4. Simülasyonun Gerçekleştirildiği Bölgenin Sıcaklık ve Bağıl Nem Değerlerindeki Yıllık Değişimler

Boylam	71.03 Batı
Enlem	42. 37 Kuzey
Deniz seviyesinden yükseklik (m)	5
Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C)	9.7
Maksimum Sıcaklık (°C)	32.8
Minimum Sıcaklık (°C)	-20.0
Yıllık Ortalama Bağıl Nem (%)	65
Maksimum Bağıl Nem (%)	100
Minimum Bağıl Nem (%)	6
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm/a)	1108

Güneş ışınım şiddeti toplamı (kWh/m²a)

Toplam yağış miktarı (mm/a)



Şekil 5. Simülasyonun Gerçekleştirildiği Bölgenin Konumsal Bilgileri, Güneş Işınım Şiddeti ve Toplam Yağış Miktarlarındaki Değişimlerin Grafikselsel Analizi [12].

Tablo 2. İncelenen Duvar Konstrüksiyonu Katmanları ve Özellikleri [12,13].

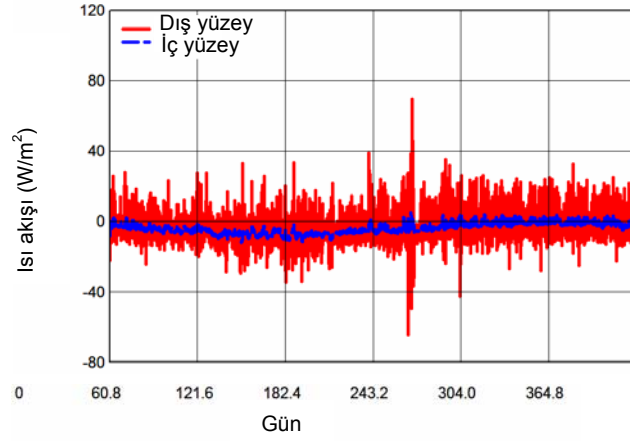
Katman adı	Kalınlık- m	Yoğunluk- kg/m ²	Gözeneklilik- m ³ /m ³	Özgül ısı kapasitesi- J/kg.K	Isıl iletkenlik- W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü
Ahşap kaplama	0.0127	740	0.666	1880	0.094	53.1
Yonga levha	0.0127	264.5	0.95	1880	0.049	6.8
Cam yünü	0.089	30	0.99	840	0.035	1.3
Alçı levha	0.0127	850	0.65	870	0.163	6.0

5.1. WUFİ-ORNL/IBP ve MOİST Bilgisayar Modelleri Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

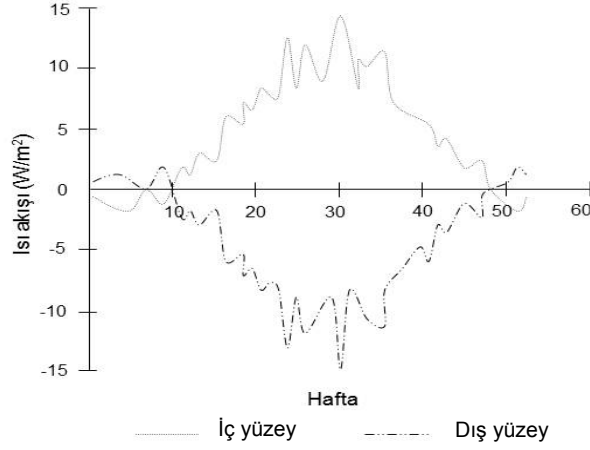
Bu bölümde örnek duvar konstrüksiyonu iki bilgisayar modeli kullanılarak simüle edilmiş, duvar konstrüksiyonundan ve katmanlarından gerçekleşen ısı, nem ve su akışı ile ilgili elde edilen sonuç grafikler karşılaştırılmıştır.

5.1.1. Isı Akışı İle İlgili Elde Edilen Sonuçlar

WUFİ-ORNL/IBP ve MOİST bilgisayar modelleri duvar konstrüksiyonunun iç ve dış yüzeyindeki ısı akışlarını zamana bağlı olarak hesaplamaktadır. Şekil 6'da incelenen duvar konstrüksiyonunun iç ve dış yüzeyindeki ısı akış miktarlarının zamana bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 6 (a)'dan görüldüğü gibi WUFİ-ORNL/IBP ısı akışlarını günlük olarak hesap ederken, MOİST (Şekil 6 (b)) haftalık olarak hesap etmektedir.



a)WUFİ-ORNL/IBP Bilgisayar Modeli Sonuçları [12]



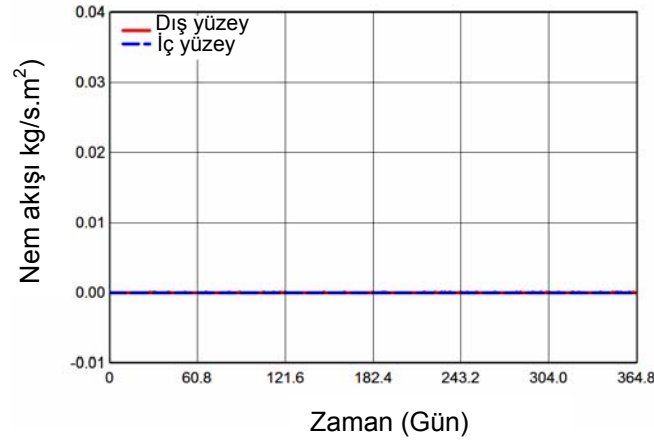
b)MOİST 3 Bilgisayar Modeli Sonuçları [13]

Şekil 6. Duvar Konstrüksiyonun İç ve Dış Yüzeyindeki Isı Akış Miktarları

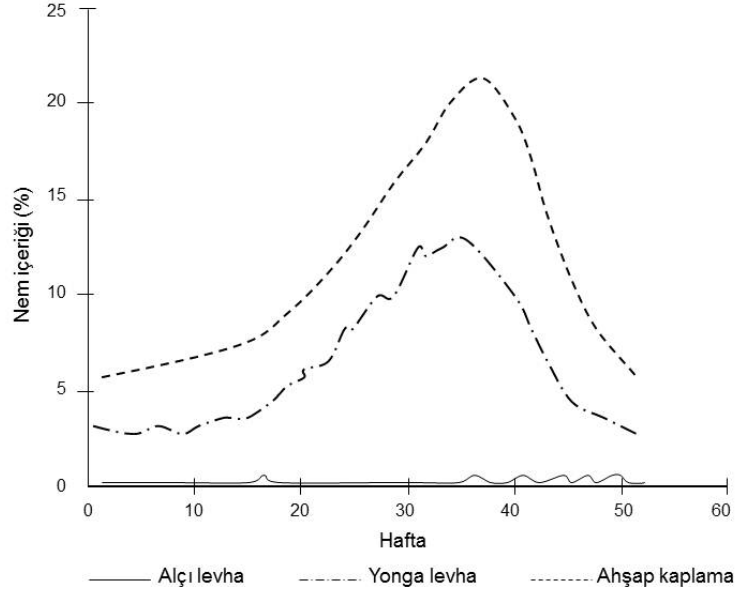
Bilgisayar modellerinden birinin günlük değerinin ise haftalık hesap yapması ısı akış eğrisinde farklılıklara neden olmaktadır.

5.1.2. Nem Akışı ile İlgili Elde Edilen Sonuçlar

WUFİ-ORNL/IBP bilgisayar modeli duvar konstrüksiyonunun iç ve dış yüzeyindeki nem akışlarını zamana bağlı olarak hesaplarken, MOİST bilgisayar modeli iç ve dış yüzeydeki nem akışının yanında duvar konstrüksiyonu katmanlarının zamana bağlı olarak değişen nem içeriklerini de hesaplamaktadır. Şekil 7'de WUFİ-ORNL/IBP ve MOİST ile hesap edilen duvar konstrüksiyonunun iç ve dış yüzeyindeki nem akışları gösterilirken, Şekil 8'de MOİST ile hesap edilen duvar konstrüksiyon katmanlarının herbirinin iç ve dış yüzeylerindeki nem içeriklerinin ortalamasının zamana bağlı değişimleri görülmektedir.

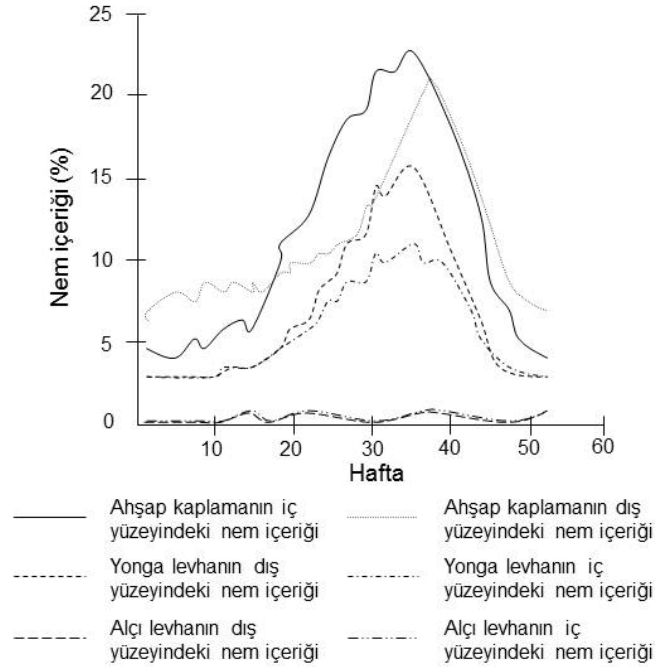


Şekil 7. WUFİ-ORNL/IBP ile Hesaplanan Duvar Konstrüksiyonunun İç ve Dış Yüzeyindeki Nem Akışı [12].



Şekil 8. MOİST ile Hesap Edilen Duvar Konstrüksiyonu Katmanlarının Nem İçerikleri[13].

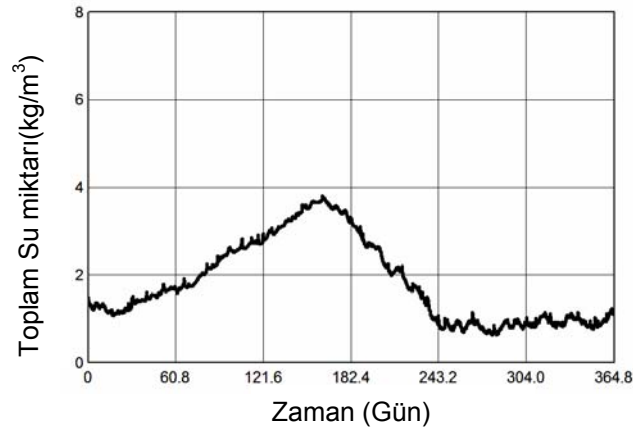
Şekil 8 incelendiğinde yıl boyunca dış yüzey üzerindeki ahşap kaplamanın içerdiği nemin diğer katmanlara göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. İç yüzey üzerindeki alçı levha su buharını geçirgen özeliğinden kaynaklı nem tutmamakta ve bundan kaynaklı olarak nem içeriği diğer katmanlara göre oldukça az olmaktadır. Bu grafik, konstrüksiyonun dış kaplamanasının içerdiği nemin azaltılması için neler yapılabileceği konusunda kullanıcıya bilgiler vermektedir. Örneğin dış kaplamanın iç yüzeyine veya nem içeriğinin fazla olduğu başka bir katman üzerine bir buhar kesici uygulanmasının gerekli olup olmadığı bu grafik yardımıyla bulunabilir. Şekil 9'da ise MOİST ile hesap edilen katmanların iç ve dış yüzeylerinin nem içerikleri görülmektedir.



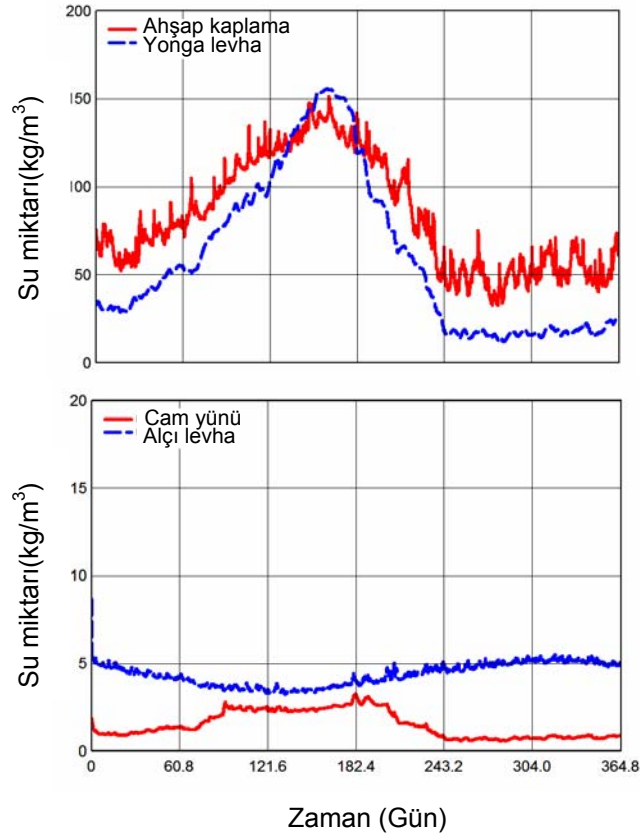
Şekil 9. MOİST ile Hesap Edilen Duvar Konstrüksiyonu Katmanlarının İç ve Dış Yüzeylerinin Nem İçerikleri[13].

5.1.3. Su Akışı ile İlgili Elde Edilen Sonuçlar

WUFI-ORNL/IBP bilgisayar modeli duvar konstrüksiyonunun zamana bağlı olarak değişen su miktarını hesaplarken, duvar konstrüksiyon katmanlarındaki zamana bağlı olarak değişen su miktarlarını da hesap etmektedir. Şekil 10 ve Şekil 11’de sırasıyla duvar konstrüksiyonunun toplam su miktarı ve duvar konstrüksiyonu katmanlarındaki su miktarı değerleri görülmektedir. MOİST programı konstrüksiyondaki ve katmanlarındaki su miktarı değerlerini hesaplamamaktadır. WUFI-ORNL/IBP bilgisayar modelinin su miktarı değerlerini hesaplaması sayesinde kullanıcı kullanacağı duvar konstrüksiyonunun hangi katmanlarında su bariyeri kullanması gerektiğini belirleyebilir.

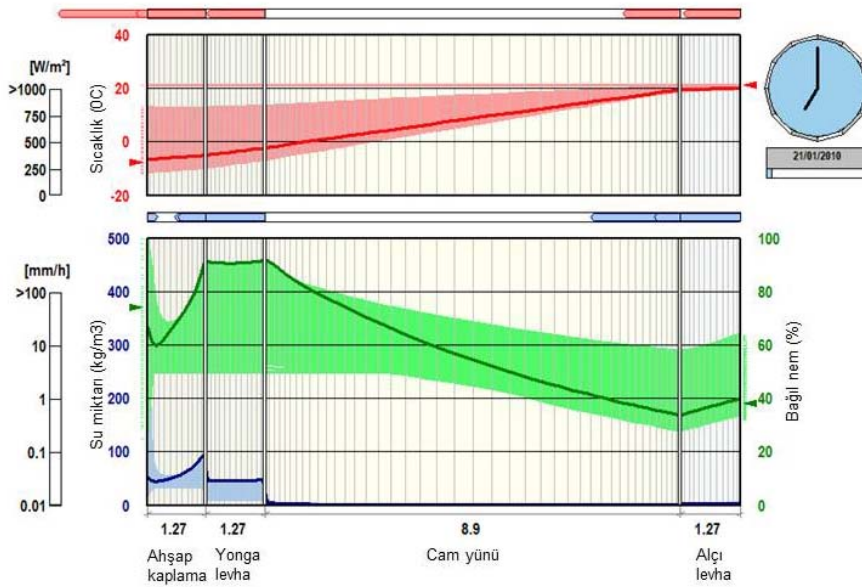


Şekil 10. WUFI-ORNL/IBP ile Hesap Edilen Duvar Konstrüksiyonunun Su Miktarı[12].



Şekil 11. WUFİ-ORNL/IBP ile Hesap Edilen Duvar Konstrüksiyonu Katmanlarındaki Su Miktarı[12].

WUFİ-ORNL/IBP bilgisayar modeli, yılın her gününe ait duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansı ile ilgili hesap sonuçlarının zamana bağlı değişimini bir animasyon arayüzü vasıtasıyla kullanıcıya sunmaktadır. Kullanıcı bu animasyon arayüzü sayesinde 1 yıl boyunca günlük değişimleri kolayca takip edebilecek ve duvar konstrüksiyon kesitinde higrotermal performans açısından olması gereken önlemlere kolaylıkla karar verebilecektir. Şekil 12'de yılın en soğuk günü olan 21 Ocak'ta duvar konstrüksiyonunun higrotermal performansını gösteren animasyon ekranı görülmektedir.



Şekil 12. Duvar Konstrüksiyonunun 21 Ocak'taki Higrotermal Performansı[12].

6. BULGULAR VE İRDELEME

Yapılan bu çalışmaya göre, duvar konstrüksiyonunun ısı, nem ve su akışı ile ilgili higrotermal performansını belirlemede WUFI-ORNL/IBP ve MOİST bilgisayar modellerinin kullanımı uygundur. Ancak iki modelin de birbirine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Örneğin kullanıcı duvar konstrüksiyonunda özellikle suya karşı bir önlem almak istiyorsa o zaman konstrüksiyondaki ve katmanlarındaki su miktarının zamana bağlı değişimlerini hesaplayan WUFI-ORNL/IBP bilgisayar modelini, neme karşı önlem almak istiyorsa konstrüksiyondaki ve katmanlarındaki nem içeriklerinin zamana bağlı değişimlerini hesaplayan MOİST bilgisayar modelini kullanmalıdır. Başka bir ifadeyle kullanıcı WUFI-ORNL/IBP sayesinde yıl boyunca duvar konstrüksiyonuna girebilecek su miktarını azaltmak için konstrüksiyonda farklı konumlarda çeşitli su bariyerlerini kullanıp etkisini test edebilmekte ve en etkin su bariyerine ve konumuna karar verebilmekte iken MOİST sayesinde de konstrüksiyonda buhar kesici kullanılıp kullanılmayacağına, tipine ve konumuna kolaylıkla ve kısa sürede karar verebilmektedir. WUFI-ORNL/IBP bilgisayar modelinin kullanımı daha kolay ve veritabanında bulunan malzeme sayısı daha fazladır. MOİST programı veri girdisinin çok oluşu ve anlaşılma güçlüğü, hesaplamalarını gün yerine haftalara göre yapmasından kaynaklı kullanıcıyı zorlamaktadır. WUFI-ORNL/IBP bilgisayar modelinin kullanıcıya sunduğu grafikler görsel yönden daha başarılı ve daha anlaşılır bulunmuştur.

SONUÇ

Higrotermal performans açısından, bina kabuğunun dış ortam ile direkt temas halinde elemanı olan duvar konstrüksiyonu kesiti iç ortam konfor koşullarının sürekliliği ve konstrüksiyonu oluşturan malzemelerden yüksek ve uzun ömürlü verim elde edilmesi için doğru şekilde yapılmalıdır. Duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performanslarının belirlenmesinde bilgisayar modelleri kullanılarak etkin sonuçlar elde edilmektedir. Dünyada çeşitli ülkelerde bilgisayar modelleri üzerine çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Türkiye’de ise henüz böyle bir çalışma mevcut değildir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye’de geliştirilen bilgisayar modellerinin kullanılabilmesi için, iklimsel veri dosyalarının oluşturulup bilgisayar modellerinin veritabanlarına yüklenmesi ve duvar konstrüksiyonu katmanlarını oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenip modellerde kullanılması gereklidir. Bu çalışma ile tasarımcı, duvar konstrüksiyonlarının higrotermal performanslarını belirlemede yardımcı olan Türkiye’de kullanımı henüz yaygınlaşmamış bilgisayar modelleri hakkında bilgilendirilmiştir. Bu sayede tasarımcı bu modelleri kullanarak tasarımın erken aşamalarında duvar konstrüksiyonlarından uzun süreçte higrotermal performans açısından yüksek verim elde edilmesini zaman, para ve efor kaybetmeden sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] TOYDEMİR, N., GÜRDAL, E. Ve TANAÇAN, L., ‘Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme’, Literatür Yayınları, İstanbul, Türkiye, 2000.
- [2] GÜRDAL, E., ‘Dış Duvarların Tasarımında Isı ve Rutubet Faktörlerinin Etkisi’, Yapı Endüstri Merkezi, İç ve Dış Duvar Malzemeleri ve Kaplamaları Semineri, İstanbul, Türkiye, 1986.
- [3] SCHAUPP, W., ‘External Walls, Cladding, thermal insulation, damp-proofing’, Crosby Lockwood & Son Press, London, England, 1967.
- [4] LANG, H.K., ‘Facade Construction Manual’, Birkhauser Press, Munich, Germany, 2004.
- [5] BROCK, L., ‘Designing The Exterior Wall’, Wiley Press, New Jersey, USA, 2005.
- [6] TS 825 ‘Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’, Ankara, Türkiye, 2008.
- [7] BROOKES, A.J., ‘Cladding of Buildings’, E&FN Spon Press, New York, USA, 1998.
- [8] OXLEY, T.A. and GOBERT, E.G., ‘Dampness in Buildings’, Butterworth Heineman Press, Oxford, England, 1983.
- [9] TRECHSEL, H.R., ‘Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes’, ASTM, MNL 40, Philadelphia, USA, 2001.

- [10] KUNZEL, H.M., HOLM, A., ZİRKEBACH, D. And KARAGIOZIS, A.N., 'Simulation of Indoor Temperature and Humidity Conditions Including Hygrothermal Interactions with the Building Envelope, Solar Energy, 78:554–561, 2005.
- [11] BURCH, D.M. and CHİ, J., 'MOIST, A PC Program for Predicting Heat and Moisture Transfer ,n Building Envelope', User Guideline Manual, NIST Special Publication 917, 1997.
- [12] WUFI-ORNL/IBP, Download: http://www.ornl.gov/sci/btc/apps/moisture/ibpe_sof161.htm.
- [13] MOIST 3, Download: <http://www.bfrl.nist.gov/863/moist.html>.

ÖZGEÇMİŞ

Yalçın YAŞAR

Bursa doğumludur. KTÜ İnşaat Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden 1980 yılında Y.Mimar olarak mezun olmuştur. 1989 yılında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü'nde doktorasını tamamlayarak, 1990 yılında Mimarlık Bölümü Yapı Anabilim Dalı'na Y.Doçent olarak atanmıştır. 1995'de Doçent olan Yaşar, 2005 yılında Profesör olmuştur. Yapı malzemesi üretimi ve uygulaması, yapı elemanları tasarım ve uygulamaları- detay tasarımı, yapı elemanlarında ısı, nem kontrolü ve yapıda yalıtım sorunları konularında çalışmaktadır.

Tübitak Hüsamettin Tuğaç Araştırma Ödülü 1996 yılı üçüncülüğü ve 1999 yılında TC. Türk Patent Enstitüsü'nden alınan 20 yıl süreli Isı Korunumlu Briket Patenti sahibidir.

Asiye PEHLEVAN

Vakıfkebir (Trabzon) doğumludur. 1978 yılında KTÜ İnşaat Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden Y.Mimar ünvanı ile mezun olmuştur. 1978 yılında aynı üniversitenin Mimarlık Bölümü Yapı Anabilim Dalı'na asistan olarak atanmıştır. 1987 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nden Doktor ünvanı almıştır. 1988 yılında yardımcı doçent, 1994 yılında doçent, 2005 yılında profesör olmuştur. Halen KTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda görev yapmaktadır. Yapı malzemesi üretimi ve uygulaması, yapı elemanları tasarım ve uygulamaları- detay tasarımı, yapı elemanlarında ısı, nem kontrolü ve yapıda yalıtım sorunları konularında çalışmaktadır.

Tübitak Hüsamettin Tuğaç Araştırma Ödülü 1996 yılı üçüncülüğü ve 1999 yılında TC. Türk Patent Enstitüsü'nden alınan 20 yıl süreli Isı Korunumlu Briket Patenti sahibidir.

Sibel MAÇKA

Trabzon doğumludur. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden Yüksek Mimar ünvanı alarak mezun olmuştur. 2007 yılında aynı üniversitenin Mimarlık Bölümü Yapı Anabilim Dalı'na asistan olarak atanmıştır. 2008 yılından itibaren doktora çalışmalarını Prof. Dr: Yalçın YAŞAR danışmanlığında devam ettirmektedir. Enerji etkin yapılar ve enerji simülasyon modelleri, ısı korunumu, iklimsel yapı tasarımı, yapıların ekonomik analizi ve ısı korunumu konularında çalışmaktadır.