

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞU ISIL
PERFORMANSININ YAZ KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melis EKİZCE CAN

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞU ISIL
PERFORMANSININ YAZ KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Melis EKİZCE CAN
(502121509)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Gülten Manioğlu

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502121509 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Melis EKİZCE CAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞU ISIL PERFORMANSININ YAZ KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Y. Doç. Dr. Gülten Manioğlu**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gül Koçlar Oral**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gülay Zorer Gedik
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27 Kasım 2015
Savunma Tarihi : 22 Aralık 2015

Dostluğa ve Barışa,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bana en büyük desteği veren ve yol gösteren değerli hocam Y. Doç. Dr. Gülten Manioğlu'na, her zaman yanımda olan çok sevgili annem Ayşe Ekizce, babam Mustafa Ekizce'ye, çalışma süresince yardımlarını benden esirgemeyen eşim Mehmet Tahsin Can ve sevgili arkadaşım Emre Kara'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2015

Melis Ekizce Can
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Literatür Araştırması	4
1.3 Hipotez	10
2. SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞUNUN ISIL PERFORMANSINI ETKİLEYEN DEĞİŞKENLER	11
2.1 Kullanıcıya İlişkin Değişkenler.....	12
2.1.1 Aktivite (metabolizma) düzeyi.....	12
2.1.2 Giysi türü.....	13
2.1.3 Kullanıcının mekandaki konumu ve duruş şekli.....	13
2.2 İklimle İlişkin Değişkenler.....	13
2.2.1 Dış ıklime ilişkin değişkenler	13
2.2.1.1 Güneş ışınlımı.....	14
2.2.1.2 Dış hava sıcaklığı	14
2.2.1.3 Rüzgar	15
2.2.1.4 Dış hava nemliliği	15
2.2.2 İç ıklime ilişkin değişkenler.....	15
2.2.2.1 İç hava sıcaklığı.....	15
2.2.2.2 İç yüzey sıcaklığı.....	16
2.2.2.3 İç hava nemliliği.....	16
2.2.2.4 İç hava hareketi	16
2.3 Binaya İlişkin Değişkenler	17
2.3.1 Binanın bulunduğu yer.....	17
2.3.2 Binanın yönlendiriliş durumu	17
2.3.3 Binanın diğer binalara göre konumu.....	18
2.3.4 Bina formu	19
2.3.5 Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri	19
2.3.5.1 Bina kabuğunun optik özellikleri	20
2.3.5.2 Bina kabuğunun termofiziksel özellikleri	21
2.3.6 Doğal havalandırma	28
3. SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞUNUN ISIL PERFORMANSINI HESAPLAMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	31
3.1 Statik hesap yöntemi ve TS 825	32
3.2 Yarı Dinamik Hesap Yöntemleri.....	35

3.2.1 CIBSE Isıl Girişimlilik Yöntemi ve TS EN ISO 13786	35
3.2.2 Basit Saatlik Hesaplama Yöntemi ve TS EN ISO 13790.....	39
3.3 Dinamik Hesap Yöntemleri	40
3.3.1 TETD/TA yöntemi	40
3.3.2 Transfer fonksiyonu yöntemi (TFM)	41
3.3.3 CLTD/SCL/CLF yöntemi	42
3.3.4 Isıl denge yöntemi (HB).....	43
3.3.5 Işınım zaman serisi yöntemi (RTS).....	46
4. SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞU ISIL PERFORMANSININ YAZ KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA	49
4.1 Dış Çevreye Ait İklim Verilerinin Belirlenmesi	49
4.2 İç Çevreye Ait İklim Verilerinin Belirlenmesi	50
4.3 Binaya İlişkin Soğutma Enerjisi Harcamalarını Etkileyen Yapma Çevre Değişkenlerinin Belirlenmesi	50
4.3.1 Binanın yeri ve diğer binalara göre konumunun belirlenmesi	50
4.3.2 Binanın formunun ve yönlendiriliş durumunun belirlenmesi	50
4.3.3 Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi	51
4.3.4 Doğal havalandırmaya ilişkin değişkenlerin belirlenmesi	57
4.4 Bina Kabuğu Alternatifleri için Dinamik Isıl Özelliklerin (Zaman Geciktirmesi, Genlik Küçültme Faktörü, Isıl Girişimlilik Değeri, Alansal Isı Kapasitesi ve Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi) Hesaplanması	57
4.5 Bina Kabuğu Alternatifleri için Soğutma Enerjisi Harcamalarının Hesaplanması.....	64
4.6 Bina Kabuğu Alternatifleri İçin Hesaplanan Soğutma Enerjisi Harcamalarının Bina Kabuklarının Isıl Dinamik Özellikleri (Zaman Geciktirmesi, Genlik Küçültme Faktörü, Isıl Girişimlilik Değeri ve Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi) Açısından Karşılaştırmalı Değerlendirmesi	69
4.7 Bina Kabuğu Alternatifleri için Günlük ve Haftalık İç Hava - İç Yüzey Sıcaklık Değerlerinin Hesaplanması	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	103

KISALTMALAR

AL	: Alker
BA	: Bazalt
BEP-TR	: Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi
BR	: Briket
BM	: Bimsblok
DET	: Delikli Tuğla
DOT	: Dolu Tuğla
EN	: European Norms
G	: Gazbeton
HAB	: Hafif Agregalı Beton
HPB	: Hazır Panel Beton
ISO	: International Organization for Standardization
KE	: Kerpiç
Kİ	: Kireçtaşı
KU	: Kumtaşı
MA	: Mardintaşı
NAB	: Normal Agregalı Beton
TS	: Türk Standardı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Bazı aktivite düzeylerine ilişkin tasarım verileri	12
Çizelge 2.2: Hava sıcaklığına ve nem oranına göre konfor koşulları	16
Çizelge 4.1: Çalışmada kullanılan malzemelerinin termofiziksel özellikleri	52
Çizelge 4.2: TS 825'te bölgelere göre verilmiş U değerleri	53
Çizelge 4.3: Tüm kabuk alternatiflerinin termofiziksel özellikleri	54
Çizelge 4.4: Çatı ve zemine oturan döşeme detayları	57
Çizelge 4.5: Kabuk alternatiflerinin termodinamik özellikleri	59
Çizelge 4.6: Soğutma Enerjisi harcamalarına göre tüm kabuk alternatifleri	64
Çizelge 4.7: Maksimum iç hava sıcaklıklarına göre tüm kabuk alternatifleri	76
Çizelge A.1: Zaman geciktirmesi değerine göre tüm kabuk alternatifleri	91
Çizelge A.2: Genlik küçültme faktörüne göre tüm kabuk alternatifleri	91
Çizelge A.3: Isıl girişimlilik değerine göre tüm kabuk alternatifleri	92
Çizelge A.4: Alansal ısı kapasitesine göre tüm kabuk alternatifleri	92
Çizelge A.5: Eşdeğer alansal ısı kapasitesine göre tüm kabuk alternatifleri	93
Çizelge B.1: Bimsblok kabuk alternatifleri sonuç tablosu	94
Çizelge B.2: Briket kabuk alternatifleri sonuç tablosu	95
Çizelge B.3: Delikli tuğla kabuk alternatifleri sonuç tablosu	96
Çizelge B.4: Dolu tuğla kabuk alternatifleri sonuç tablosu	97
Çizelge B.5: Gazbeton kabuk alternatifleri sonuç tablosu	98
Çizelge B.6: Hafif agregalı beton kabuk alternatifleri sonuç tablosu	99
Çizelge B.7: Hazır panel beton kabuk alternatifleri sonuç tablosu	100
Çizelge B.8: Normal agregalı beton kabuk alternatifleri sonuç tablosu	101
Çizelge B.9: Geleneksel kabuk alternatifleri sonuç tablosu	102

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Merkezi kriter olarak insan.....	11
Şekil 2.2: Kullanıcının ısı dengesi.....	12
Şekil 2.3: Bina aralıklarına göre hava hareketliliği.....	19
Şekil 2.4: Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörünün kabuk kalınlığına bağlı değişimi.....	23
Şekil 2.5: İç-dış yüzey sıcaklıklarının sinüzoidal değişimi.....	23
Şekil 2.6: Efektif kalınlık yöntemi.....	27
Şekil 2.7: Baca etkisi.....	29
Şekil 2.8: Çapraz havalandırma.....	30
Şekil 3.1: Anlık ısı kazancı ile anlık soğutma yükü miktarları arasındaki farkın kaynağı.....	32
Şekil 3.2: TS 825'in hesaplama akış şeması.....	34
Şekil 3.3: CIBSE ısı girişimlilik yönteminin hesaplama akış şeması.....	39
Şekil 3.4: ASHRAE ısı denge yöntemi akış şeması.....	44
Şekil 3.5: Isı denge denklemi elemanları.....	45
Şekil 3.6: Işınım zaman serisi yöntemi akış şeması.....	46
Şekil 4.1: Ele alınan binanın boyutları ve yönlendiriliş durumu.....	51
Şekil 4.2: Bimsblok kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	60
Şekil 4.3: Briket kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	60
Şekil 4.4: Delikli tuğla kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	60
Şekil 4.5: Dolu tuğla kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	60
Şekil 4.6: Gazbeton kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	60
Şekil 4.7: Hafif agregalı beton kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	61
Şekil 4.8: Hazır panel beton kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	61
Şekil 4.9: Normal agregalı beton kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	61
Şekil 4.10: Geleneksel kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.....	61
Şekil 4.11: Bimsblok kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	65
Şekil 4.12: Briket kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	65
Şekil 4.13: Delikli tuğla kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	65
Şekil 4.14: Dolu tuğla kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	65
Şekil 4.15: Gazbeton kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	65
Şekil 4.16: Hafif agregalı beton kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	65
Şekil 4.17: Hazır panel beton kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	66
Şekil 4.18: Normal agregalı beton kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	66
Şekil 4.19: Kireç harçlı sıva için soğutma enerjisi harcamaları.....	66
Şekil 4.20: Alçı sıva için soğutma enerjisi harcamaları.....	66
Şekil 4.21: Alçı plak için soğutma enerjisi harcamaları.....	66

Şekil 4.22: Ahşap kaplama için soğutma enerjisi harcamaları.....	66
Şekil 4.23: Doğal taş kaplama için soğutma enerjisi harcamaları.....	66
Şekil 4.24: Geleneksel kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	67
Şekil 4.25: Tüm kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.....	68
Şekil 4.26: Bimsblok kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	69
Şekil 4.27: Briket kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	69
Şekil 4.28: Delikli tuğla kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	70
Şekil 4.29: Dolu tuğla kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	70
Şekil 4.30: Gazbeton kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	70
Şekil 4.31: Hafif agregalı beton kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	70
Şekil 4.32: Hazır panel beton kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	71
Şekil 4.33: Normal agregalı beton kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	71
Şekil 4.34: Geleneksel kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	72
Şekil 4.35: Çağdaş kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.....	72
Şekil 4.36: Tüm kabuk alternatifleri için 20-21 Temmuz iç – dış hava sıcaklığı değişimi.....	74
Şekil 4.37: Tüm kabuk alternatifleri için 20-21 Temmuz iç – dış yüzey sıcaklığı değişimi.....	75
Şekil 4.38: Tüm kabuk alternatifleri için haftalık iç – dış hava sıcaklığı değişimi.....	77
Şekil 4.39: Tüm kabuk alternatifleri için haftalık iç – dış yüzey sıcaklığı değişimi.....	78

SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞU ISIL PERFORMANSININ YAZ KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA

ÖZET

Günümüzde artan enerji harcamaları sonucu; dünyada doğal kaynaklar azalmış ve bu durum enerji maliyetlerinin artmasına neden olmuştur. Fosil enerji kaynaklarına dayalı aşırı tüketim sonucu ortaya çıkan sera gazları, hava kirliliğine ve yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının yansdıktan sonra atmosferden çıkamamasına neden olmaktadır. Bu durum iklim değişikliğinin başlıca nedenlerinden biridir.

Enerji harcamalarının önemli bir kısmı, binalarda ısı konfor koşullarını sağlamak amacıyla ısıtma ve soğutma sistemleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Dünyada, çeşitli yönetmelik ve standartlarla, binalarda tüketilen enerjiyi azaltma çalışmaları hızla artmaktadır. Bu doğrultuda Türkiye’de 2009 yılında yürürlüğe girmiş “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”, tasarım aşamasında bina kabuğunun ısı performansıyla ilgili kriterler için TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’nı referans göstermektedir. Ancak TS 825’e uygun bir binanın, kış şartları için yeterli olmasına rağmen yaz şartlarında aşırı ısınması ve ısı konfor şartlarının sağlanamadığı için mekanik soğutmaya ihtiyaç duyabilmesi söz konusudur.

Son yıllarda, tüm dünya ülkelerinde etkisi hissedilmeye başlanan iklim değişikliğinin yanı sıra, aşırı yapılaşma ve yanlış kentleşme sonucu şehirlerin birer ısı adasına dönüşmesi, soğutma enerjisi harcamalarının sadece sıcak iklimlerde değil, ılımlı iklimlerde de artmasına neden olmuştur.

Dünyada yapılan çalışmalarda, ısıtmanın istenmediği dönemin uzun ve gece gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu sıcak iklim bölgelerinde; özellikle bina kabuğuna ilişkin alınabilecek önlemlere önem verildiği görülmektedir. Enerji etkin tasarımda bina içi ve bina dışı çevreyi ayıran, bina cephesinde gerçekleşen ısı geçişini kontrol ederek enerji harcamalarını da belirleyen bina kabuğunun, kontrol edilmesi esastır. Soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak için bina cephesinde güneş kontrol elemanı

kullanarak ısıtmanın istenmediği dönemde güneş ışınlamından korunmak, bina kabuğunda en çok uygulanan yöntemlerden biridir. Bir diğer yöntem ise; dinamik ısı özelliklerinin kontrol edilmesi ile, bina kabuğunun yaz konfor koşulları için performansının artırılması ve minimum soğutma enerjisi harcamasını gerçekleştiren bina kabuğunun tasarlanmasıdır.

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır şehrinde yer alan bir binada soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak amacıyla yaz konfor koşullarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak bina kabuğunun dinamik ısı özelliklerinin hesaplanmasında, EN ISO 13786 ve EN ISO 13790 standartlarında belirtilen hesap yöntemlerine göre yazılmış “Dynamic Thermal Properties Calculator” programı kullanılmıştır. Yaz dönemi soğutma enerjisi harcamaları ve iç hava ve iç yüzey sıcaklıkları değerlerinin hesaplamalarında ise tam dinamik ısı denge hesap yöntemini kullanan EnergyPlus yazılımına ait bir arayüz olan DesignBuilder programı kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda, geliştirilen bina kabukları için gerçekleşen yıllık soğutma enerjisi harcamaları ile günlük ve haftalık iç hava - iç yüzey sıcaklığı değişim değerleri; bina kabuklarının dinamik ısı özellikleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma 5 bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, öncelikle dünyadaki yüksek enerji harcamalarına, bu harcamaların nedenleri ve sonuçlarına, binaların enerji harcamaları üzerindeki rolüne ve binalarda enerji verimliliğinin sağlanması için dünya genelinde yapılan uygulamalara değinilmiş, daha sonra çalışmanın amacı, literatür araştırması ve hipotez anlatılmıştır.

İkinci bölümde, binalardaki enerji harcamalarının, kullanıcının fiziksel ve zihinsel performansının istenen düzeyde olması için uygun konfor koşullarını oluşturma gereksiniminden kaynaklandığına değinilmiştir. Sıcak kuru iklim bölgelerinde bina kabuğunun ısı performansını etkileyen; kullanıcıya, iklime ve binaya ilişkin değişkenler anlatılmış, bina kabuğunun dinamik ısı özelliklerine ilişkin bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, özellikle soğutma enerjisi harcamalarının çok daha fazla olduğu sıcak kuru iklim bölgelerinde bina kabuğunun ısı performansını belirlemek için kullanılan statik, yarı-dinamik ve tam dinamik hesap yöntemleri ve bu yöntemler

kullanılarak geliştirilmiş yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir. Soğutma enerjisi harcamalarını hesaplamadaki karmaşık yapıyı çözebilmek için ortamda gerçekleşen ısı transfer sürecini doğru analiz etmek gerekir. Bu süreçte önemli rol oynayan ısıl kütle etkisinin miktarı ve çalışma prensibi, farklı hesap yöntemleri tarafından ele alınışı kapsamında incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, Türkiye'nin sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır şehrinde yer alan bir binada soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak amacıyla yaz konfor koşullarının değerlendirilmesine yönelik bir uygulama çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında çağdaş ve geleneksel malzemeler kullanılarak aynı U değerine sahip farklı bina kabuğu alternatifleri oluşturulmuş ve tüm kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özellikler hesaplanmıştır. Daha sonra bu kabuk alternatifleriyle oluşturulmuş örnek bir bina için yıllık soğutma enerjisi harcamaları hesaplanmış, aynı toplam ısı geçirme katsayısına sahip bina kabuğu alternatifleri için, farklı ana duvar malzemeleri ve iç yüzey malzemeleri kullanımının, soğutma enerjisi harcamaları üzerindeki etkileri; kabuk alternatiflerinin özellikle iç yüzey malzemelerinin etkisinin gözlemlendiği dinamik ısıl özellikleri ile birlikte ele alınarak analiz edilmiştir. Çalışmanın son adımında; her ana duvar malzemesi grubundan hesaplamalar sonucunda en düşük soğutma enerjisi harcamalarını gerçekleştiren kabuk alternatifleri için iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklığı değişim eğrileri oluşturularak, binada oluşan iç konfor koşulları değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde, yapılan çalışmanın sonuçları anlatılmış ve sıcak kuru iklimdeki binalarda soğutma enerjisi harcamalarının düşürülmesine yönelik öneriler ortaya koyulmuştur. Gelecekte yapılacak çalışmalar için referans oluşturabilecek konulara değinilmiştir.

Ekler bölümünde, çalışma kapsamında oluşturulan bina kabuğu alternatifleri için, hesaplanan tüm dinamik ısıl özellikler ve yaz dönemi soğutma enerjisi harcamaları, çizelgeler halinde verilmiştir.

Bu çalışmanın; iklim değişikliği ve yol açtığı olumsuz sonuçlara karşı mimar ve mühendislerin enerji etkin tasarım yaklaşımını, meslek anlayışlarının merkezine koymalarına önayak olması amaçlanmıştır.

A STUDY FOR THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF BUILDING ENVELOPE IN TERMS OF SUMMER COMFORT CONDITIONS IN HOT - DRY CLIMATE

SUMMARY

Increased energy consumption has led to reduction of natural resources; therefore, cost of energy has increased. Greenhouse gases, as a result of excessive consumption based on fossil energy resources, causes air pollution and absorbs sun light in the atmosphere after the reflection on earth and this is one of the main reasons of climate change.

Major part of energy consumption arises from the heating and cooling systems of buildings to provide thermal comfort conditions. There have been many global studies to reduce energy consumption in buildings via various regulations and standardizations. “Regulation of Energy Performance in Buildings”, started in Turkey in 2009, references TS 825 Thermal Insulation Requirements for Buildings. However, a building that is suitable for TS 825 criteria, may still need a mechanical cooling system as it might face with overheating problems in summer and therefore violate thermal comfort conditions.

Impact of climate change has been observed all around the world recently. Besides, cities transformed into heat islands as a result of excessive construction and unplanned urbanization. Therefore, cooling energy consumption has increased not only in hot climates, but also in mild climates.

Many global researches show that it is important to focus precautions related to building envelope, during the undesired heating period, when day & night temperature difference is high. In an energy efficient design, it is important to control building envelope that separates indoor and outdoor environment and determines energy expenditures by controlling heat transmission. Using sun light control mechanism in facade prevents sun light when heating is not desired and this is one of the mostly used methods in building envelope to reduce cooling energy consumption. Another precaution is increasing the performance of building envelope for summer

comfort conditions and designing the building envelope for minimum cooling energy consumption by controlling its dynamic thermal conditions.

In this study, it is aimed to evaluate summer comfort conditions to reduce cooling energy consumption in a building in Diyarbakır, the representative city of hot-dry climatic zone in Turkey. “Dynamic Thermal Properties Calculator” software, which is suitable for calculation methodologies in “EN ISO 13786” and “EN ISO 13790” standards, is used to calculate dynamic thermal properties of building envelope. In order to calculate summertime cooling load, air temperature and inside surface temperature values, Design Builder software is used. This software is an interface of EnergyPlus, which utilizes heat balance method algorithms. Based on calculations, annual cooling loads, and daily/weekly inside air – inside surface temperature changes are compared for different building envelopes in terms of dynamic thermal properties of building envelopes. This study consists of five sections:

In the first section, reasons and consequences of high-energy consumption, its effects on energy consumptions in buildings, and worldwide energy efficiency strategies are examined. In addition, objectives of this study, literature review, and initial hypothesis are presented.

In the second section, energy consumption in buildings depends on the desire of the users for suitable comfort conditions to maintain their physical and mental performance is discussed. Energy efficient design parameters, which affected thermal performance of the building envelope in hot–dry climates, are defined in terms of user, climate and the building, and dynamic thermal properties of building envelope are explained.

In the third section, steady state, semi-dynamic and full dynamic cooling load calculation methods in hot–dry climates, where cooling energy consumption is much higher, are explained in order to define thermal performance of building envelope. Softwares developed by using these methods are introduced. As it is so important to analyze heat transfer process in order to understand complex structure in cooling energy consumption calculations, amount of thermal mass effect and its working principle within the scope of different calculation methods are examined.

Fourth section contains a case study to evaluate the summer comfort conditions for reducing cooling load in a building in Diyarbakır, the representative city of hot-dry

climatic zone in Turkey. In this case study, different modern and traditional building envelope alternatives with the same U value are developed and dynamic thermal properties are calculated for all envelope alternatives. Then, annual cooling energy consumptions are calculated for the model building. Utilization of different main materials and internal covering materials for walls, which designed by the same heat transmission coefficient, has an effect on annual cooling energy consumptions. This effect is contextualized with dynamic thermal properties of the building envelope. At the final phase of the case study, building envelope alternatives which have the lowest cooling energy consumption results, are chosen from each material group and thermal comfort conditions are evaluated with internal air temperature and inside surface temperature graphics.

In the fifth section, overall results of this study and the recommendations to reduce cooling energy consumption for buildings in hot-dry climate are presented. Subjects and proposals are referred for the future studies.

All backup calculations and results for summertime cooling loads and dynamic thermal properties of building envelope combinations developed in this study are given in tables in the appendix section.

As a result of this study, it is aimed to take architects and engineers' attention on energy efficient design approaches, against the climate change and its negative consequences.

1. GİRİŞ

İki asır önce Avrupa’da başlayan ve tüm dünyaya yayılan sanayileşme, hızlı bir nüfus artışı ve kentleşmeyi beraberinde getirmiştir. Bu süreçle ortaya çıkan ve modern hayatın gereği olan teknolojik gereksinimlerle birlikte günümüze dek artarak devam eden enerji harcamaları sonucu, dünyada enerji kaynakları azalmış ve bu durum da enerji maliyetlerinin artmasına neden olmuştur. Özellikle fosil enerji kaynaklarının yüksek bir yüzdeyle tüketilmesi, tüketim sonucu ortaya çıkan sera gazlarının hava kirliliğine ve yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının yansdıktan sonra atmosferden çıkamamasına neden olmaktadır. Bu durum insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkileyerek çevre problemlerinin yoğun olarak yaşanmasına ve enerji konusunun ülkelerin gündeminde sürekli olarak yer almasına yol açmaktadır.

Enerji harcamalarının önemli bir yüzdesi, binalarda iklimsel konfor koşullarını sağlamak amacıyla binanın ısıtılması ve soğutulması için harcanmaktadır. Enerji etkin tasarımda bina içi ve bina dışı çevreyi ayıran, bina cephesinde gerçekleşen ısı geçişini kontrol ederek enerji harcamalarını da belirleyen bina kabuğunun, kontrol edilmesi esastır. Bu açıdan bina kabuğunda alınacak önlemler büyük önem taşımaktadır. Geçmiş yıllarda dünyada ve Türkiye’de ısıtma enerjisi giderleri öncelikli öneme sahipken, binaların enerji etkin tasarlanması veya yenilenmesi için bina kabuğunda en çok uygulanan yöntemlerin; bina kabuğunun yalıtım özelliklerini geliştirmek, dış cephede enerji etkin saydam bileşen kullanmak, saydamlık oranını güneş ışıınımı kazancı ve ısı kayıpları açısından optimum değerde seçmek ve enerji etkin mekanik sistemler kullanmak olduğu görülmektedir.

Ancak özellikle son yıllarda, tüm dünya ülkelerinde etkisi hissedilmeye başlanan küresel ısınma gibi çevresel problemlerin yanı sıra, aşırı yapılaşma ve yanlış kentleşme sonucu şehirlerin birer ısı adasına dönüşmesi, soğutma enerjisi harcamalarının sadece sıcak iklimlerde değil, ılımlı iklimlerde de artmasına neden olmuştur. Soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak için bina cephesinde güneş kontrol elemanı kullanarak ısıtmanın istenmediği dönemde güneş ışıınımından korunmak, bina kabuğunda en çok uygulanan yöntemlerden biridir. İklimsel konfor

koşullarının minimum soğutma enerjisi harcaması ile gerçekleşmesine yönelik dünyada yapılan çalışmalarda ise, ısıtmanın istenmediği dönemin uzun, ve gece gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu sıcak iklim bölgelerinde, özellikle bina kabuğunun ısıl özelliklerine ilişkin alınabilecek önlemlere önem verildiği görülmektedir.

Dünyada, bina enerji standartlarını yükselterek ve tüketim değerlerine kısıtlamalar getirerek binalarda tüketilen enerjiyi azaltma çalışmaları hızla artmaktadır. (Negrao,1995) Avrupa Birliği, “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”ni (EPBD) 2002/91/EC uygulamaya koymuş ve her üye ülkenin binalarda enerji performansının hesaplanmasına yönelik bir yöntem geliştirmesi gerekliliğini belirtmiştir. Bu doğrultuda Türkiye’de Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği 2009 yılında yürürlüğe girmiş ve binalarda enerji kimlik sınıflarının ulusal hesaplama yöntemi olarak sunulan BEP-TR ile 2017’ye kadar belirlenmesini şart koşturmuştur. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, tasarım aşamasında bina kabuğunun ısıl performansı ile ilgili kriterler için TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’nı referans göstermektedir. Ancak bu standartta, bina kabuğunun toplam ısı geçirme katsayısı için sınır performans değerleri belirlenirken yalnızca ısıtmanın istendiği dönem esas alınmakta, aynı kabuğun, soğutmanın istendiği dönemde yol açabileceği enerji harcamalarına ilişkin önlemler yer almamaktadır.

TS 825, binalarda ısıtma amaçlı enerji ihtiyacının hesaplanması ve sınırlandırılmasına yöneliktir. Ancak TS 825’e uygun bir binanın, kış şartları için yeterli olmasına rağmen yaz şartlarında aşırı ısınması ve ısıl konfor şartlarının sağlanamadığı için mekanik soğutmaya ihtiyaç duyabilmesi söz konusudur. (Dilmaç ve Kesen, 2003) Kış ve yaz şartlarında meydana gelen ısı iletim rejimleri, ilgili hesap metotları ve konfor şartları üzerindeki etkili malzeme ve kesit özellikleri farklıdır. Binalarda kış konforu ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda, hesap kolaylığı açısından ve sonuçları kabul edilebilir sapmalar içinde kaldığı düşünülerek, ısı iletimi ile ilgili büyüklükler sabit rejim şartlarında hesaplanmaktadır. (TS 825, 2008; ISO 9164, 1998; EN 832, 1998) Sabit rejim şartlarında sadece elemanın ısı iletimine karşı gösterebildiği ısıl direnç önemlidir. Bu direnç, elemanı oluşturan katmanlardaki malzemelerin ısıl iletkenliği (λ) ve katmanın kalınlıklarından (d) faydalanılarak bulunur. Kış konforu için binalarda ısı yalıtımı uygulayarak ısı kaybının azaltılması ve iç yüzey sıcaklıklarının yükseltilmesi, genel anlamda yeterli olmaktadır. (Özşahin

ve diğ, 2013) Yaz konforu için ise sabit rejim şartlarının kullanılması, bu mevsimde yapı elemanlarını büyük ölçüde etkileyen güneş ışınlarının yoğun enerjisi ve bu enerjinin 24 saatlik periyotlarla değişmesi sebebiyle mümkün değildir. (Cihan ve Dilmaç, 2008)

Yaz mevsiminde hem hava sıcaklığı ve hem de bina kabuğunun dış yüzey sıcaklığı, gündüz ve gece vakitleri arasında büyük değişim göstermektedir. Binalarda yaz dönemi konfor koşullarının sağlanabilmesi ile ilgili hesaplamalar konusundaki Türk Standartları “TS EN ISO 13786 Bina Bileşenlerinin Isıl Performansı – Dinamik Isıl Özellikler – Hesaplama Metotları” ve “TS EN ISO 13792 Binalarda Isıl Performans – Yazın Mekanik Soğutma Olmaksızın Bir Oda İçindeki Sıcaklığın Hesaplanması – Basitleştirilmiş Metotlar”dır. Yaz şartları ile ilgili hesaplamalarda kullanılan bu standartlara göre; bina kabuğunun ısı özellikleri ve bu bileşenin ayırdığı iç ve dış ortamdaki sıcaklık ve ısı akısının periyodik değişiminin belirlenmesi ile olanaklıdır. ISO 13786’de bina kabuğunun periyodik rejim şartlarında performansını değerlendirebilmek için, periyodik ısıl geçirgenliği, ısıl girişimlilik değeri, ısı kapasitesi, genlik küçültme faktörü ve zaman geciktirmesi gibi dinamik ısı özellikleri hesaplanmaktadır. Böylece bina kabuğunun bir yüzeyindeki sıcaklık ve ısı iletiminin karmaşık genliklerinin bilinmesi ile diğer yüzeydeki sıcaklık ve ısı iletiminin karmaşık genlikleri hesaplanabilmektedir. (Cihan ve Dilmaç, 2008) Dinamik ısı özelliklerinin belirlenmesi ile, bina kabuğunun yaz konfor koşulları için performansının değerlendirilmesi ve minimum soğutma enerjisi harcamasını gerçekleştiren bina kabuğunun tasarlanması olanaklıdır.

Bu çalışma, yaz konfor koşullarında minimum soğutma enerjisi harcamasının gerçekleştiği bina kabuğu alternatifinin belirlenmesi amacıyla farklı bina kabuğu alternatiflerinin performanslarının değerlendirilmesini kapsamaktadır. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’nca belirlenmiş olan, toplam ısı geçirme katsayısı sınır değerleri esas alınarak oluşturulmuş farklı bina kabuğu alternatiflerinin, dinamik ısı özellikleri de hesaplanarak yaz koşulları altındaki davranışları incelenmiştir. Çalışmada, üretilen bina kabuğu alternatiflerinin gerçekleştirdiği soğutma enerjisi harcamaları ve iç konfor koşulları, dinamik bir simülasyon yazılımı yardımıyla hesaplanmış ve tüm sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Gece gündüz sıcaklık farkının yüksek olduğu sıcak-kuru iklim bölgelerinde, bina kabuğunun ısıl kütlesinden faydalanılarak soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak olanaklıdır. Çünkü bina kabuğunun ısıl kütlesinin bir fonksiyonu olan zaman geciktirmesi yardımıyla, gün içinde dış ortamda gerçekleşen yüksek sıcaklıklar, bina kabuğu içinden iç ortama transfer olana kadar geçen zaman içinde, dış hava sıcaklıkları düşmektedir ve gece havalandırmasıyla, ısıyı depolamış olan kabuk, pasif olarak soğutulabilmektedir. (MPA, 2006) Bu şekilde iç konfor koşulları, dış ortamdaki yüksek sıcaklıklardan gün boyunca fazla etkilenmemekte, soğutma enerjisi harcamaları düşmektedir.

Çalışma kapsamında, sıcak-kuru iklim bölgesinde, enerji harcamaları ve konfor koşulları açısından en yüksek performans gösteren kabuk alternatifini belirleyebilmek için;

- Geleneksel ve çağdaş bina kabuğu alternatiflerinin hesaplanmış dinamik ısıl özelliklerinin, soğutma enerjisi harcamaları ve iç konfor koşulları üzerindeki etkisinin belirlenmesi,
- Sıcak-kuru iklim bölgesinde tasarlanacak bir bina kabuğunun ısıl performansının değerlendirilmesi için TS 825'te belirtilen sınır U değerlerinin yanı sıra, bina kabuğunun dinamik ısıl özelliklerinin de göz önünde bulundurulmasının gerekliliğinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Binalarda enerji harcamalarına neden olan faktörlerin başında, ısıl konfor ihtiyacı gelmektedir. Isıl konfor kavramı, ilk olarak 19. yy başlarında Avrupa'da sanayileşme ve yapılaşmada reform hareketlerinin gerçekleştiği süreçte, yüksek ısı ve nem baskısı altında gerçekleşen kazaların ve hastalıkların yaygın olduğu, madencilik, metal ve tekstil endüstrilerinde çalışan işçiler için ortaya konulmuştur. (Koenigsberger ve diğ., 1973) Takip eden süreçte, mekanik sistemlerin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla, binalarda ısıl konfor koşulları yapay yollardan sağlanmaya devam edilmiştir. İlk enerji krizinin ortaya çıktığında 1973 yılında, mimaride yaygın olan "Less is more" anlayışıyla ortaya konulan, modernizm tabanlı "Uluslararası Fonksiyonalizm" ile birlikte iklimsel veriler hesaba katılmadan, binalarda yönere göre farklılık

göstermeyen geniş giydirmeye cam cepheler yaygınlaşmıştı ve konfor koşullarının yalnızca mekanik sistemlerle sağlanması, yüksek enerji harcamalarını beraberinde getirmişti. (Utkutuğ, 2001) Olgyay 1963'te ilk kez, mimaride "Biyoklimatik Yaklaşım" kavramını ortaya koydu ve enerji krizi sonrasında, iklime dayalı tasarımlarla binaların ısı performansının iyileştirilmesi fikri, geniş çevrelerde yankı bulmaya başladı. (Maciel, 2007) Günümüzde, binalarda enerji harcamalarının azaltılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir ve bu çalışmalar tasarım aşamasında binaların ısı performansını doğru analiz edebilmenin önemini ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında, binalardaki enerji harcamalarını hesaplamaya yönelik yapılan çalışmalar geçmişten günümüze kadar sırasıyla incelenmiş ve en güncel hesap yöntemlerinin kullanım alanları, avantajları - dezavantajları üzerine detaylı okumalar yapılmıştır. Aşağıda bu çalışmalarla ilgili özet bilgiler sunulmuştur.

Danter (1960); dış koşullardaki sinüzoidal değişim sonucu bina kabuğunda gerçekleşen ısı geçişine ilişkin bir yöntem geliştirmiştir. Loudon (1968), bu yöntemle iç ortam koşullarını da dahil edip onu geliştirerek, ilk ısı girişimlilik yaklaşımını ortaya koymuştur. Sonraki yıllarda Millbank (1974) ve Davies (1994) tarafından yapılan çalışmalarla bu yaklaşım geliştirilmeye devam edilmiştir.

Binalardaki soğutma enerjisi harcamalarının hesaplanması için İngiltere'de CIBSE tarafından ısı girişimlilik yöntemi geliştirilirken, Amerika'da ASHRAE tarafından, 1967 yılında TETD/TA yöntemi, 1972 yılında transfer fonksiyonu yöntemi ve 1977 yılında CLTD /CLF (Soğutma yükü sıcaklık farkı / Soğutma yükü çarpanı) yöntemi yayınlanmıştır.

Spitler vd. (1993), CLTD /CLF (Soğutma yükü sıcaklık farkı / Soğutma yükü çarpanı) yönteminin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yaparak, cephedeki saydam kısımlar nedeniyle oluşan güneş ısı kazancının doğru hesaplanabilmesi için yöntemle SCL (Güneş Soğutma Yükü) katsayılarını eklemiştir.

Devam eden süreçte Pedersen (1997) tarafından yapılan çalışmayla, Kusuda (1967) tarafından ilk haliyle ortaya konulan ısı denge yöntemi geliştirilerek ASHRAE tarafından soğutma enerjisi harcamalarının hesaplanması için en kapsamlı yöntem olarak 2001 yılında yayınlanmıştır.

Rees vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada, İngiltere ve Amerika tarafından geliştirilen soğutma enerjisi harcamalarını hesaplamada kullanılan bu yöntemler karşılaştırmalı olarak incelenmiş, farklılıklar ortaya konulmuştur.

Aktacir vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada, bir iklimlendirme sisteminde cihaz seçimini doğrudan etkileyen soğutma enerjisi harcamalarını hesaplama yöntemleri incelenmiş, ASHRAE tarafından önerilen en son soğutma yükü hesap yöntemlerinden birisi olan RTS (ışınım zaman serisi) yöntemi ile daha eski ve basit bir yöntem olarak bilinen CLTD/SCL/CLF yöntemi kullanılarak Adana'da yer alan 1628 m² kullanım alanına sahip bir okulun soğutma enerjisi harcamaları hesaplanmıştır. RTS yöntemiyle bulunan toplam soğutma yükü, CLTD/SCL/CLF yöntemiyle bulunan değerden, 12.00-15.00 saatleri arasında yaklaşık %10 daha fazla iken diğer saatlerde, özellikle 8.00-16.00 saatleri dışında kalan zamanda, %10 daha düşük bulunmuştur.

Bulut vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, ASHRAE tarafından yayınlanan TETD/TA yöntemi, CLTD /CLF/ SCL yöntemi ve RTS yöntemi, Alman VDI tarafından yayınlanan yöntem ve piyasada kullanılan basit yöntemler örnek bir binaya uygulanarak, soğutma yükleri analiz edilmiştir. Değişik yöntemlerle hesaplanan soğutma enerjisi harcamaları arasında %5 – 45 arasında fark olduğu gözlemlenmiştir.

Cihan ve Dilmaç (2008) tarafından yapılan çalışmada, yaz konforu ile ilgili kavramlar, periyodik rejim şartlarında yapı elemanlarının ısı performanslarının değerlendirilmesi ile ilgili açıklamalar, temel bilgilerden başlayarak TS EN ISO 13786'da açıklanan hesap metoduna kadar geniş bir çerçeve içinde özetlenmiştir.

Yaman ve Gökçen (2009) tarafından yapılan çalışmada, binalarda enerji performansı belirleme yöntemleri tanıtılmış ve 2006 yılından bu yana enerji tüketimi, iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerleri ile meteorolojik verilerin izlendiği İYTE- İzmir'de bulunan İdari Bina'nın enerji performansı, statik ve dinamik yöntemler ile hesaplanmıştır. Belirlenen dinamik yöntemler ile İdari Bina simüle edilmiş, elde edilen sonuçlar halen devam etmekte olan enerji tüketim ölçümleri ve statik hesap yöntemiyle karşılaştırılmıştır. TS 825'te verilen statik hesap yöntemi, sürekli ısıtma ve tek zon kabulü yapması nedenleriyle enerji tüketim değerlerini ölçüm değerlerine göre %62 daha yüksek tahmin etmektedir. CIBSE Isıl Girişkenlik Yöntemi'nin

(Ecotect) ise ASHRAE Isıl Denge Yöntemi'ne (EnergyPlus) göre ısıtma tüketimlerini düşük, soğutma tüketimlerini yüksek tahmin ettiği görülmüştür.

Aktacir vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, genel olarak bina enerji yazılımları değerlendirilerek, TUBİTAK-MAG tarafından desteklenen “Türkiye’deki Binalara Yönelik Soğutma Yüğü Hesabı için Web Tabanlı Yazılım Geliştirilmesi” projesinde elde edilen WebRTS programı tanıtılmıştır. WebRTS, ısıtım zaman serisi yöntemine dayalı olarak soğutma yüğü hesabı için yapılmış web tabanlı bir enerji analiz yazılımıdır. WebRTS’nin kullanılabilmesi için bilgisayara kurulum gerekmemekte ve bütün işlemler web üzerinden yapılmaktadır. Bu program ile kullanıcılar tasarım aşamasında ve iyileştirme aşamasında olan mahal için soğutma yüğü hesabı yapabilmektedir.

Kalfa ve Yaşar (2015) tarafından yapılan çalışmada, binaların soğutma yüklerini hesaplayan yöntemlerden yaygın olarak kullanılan TEDT/TA, HB, TFM, CLTD/SCL/CLF ve RTS yöntemleri; kullandıkları veriler, katsayılar ve hesap prosedürlerine göre karşılaştırılmıştır. Yöntemler arasındaki sayısal farkların karşılaştırılmasının yapılabilmesi için İstanbul’da konumlanan bir ilköğretim binası ele alınmış ve bu binanın 21 Temmuz tasarım günü için soğutma yükleri TEDT/TA, TFM, CLTD/SCL/CLF ve RTS yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bina kullanım saatlerine göre %5 ile %25 arasında farklı çıkmıştır.

Binalardaki enerji harcamalarını hesaplamaya yönelik yapılan araştırmaların yanı sıra, bina kabuğunun ısı performansını üzerinde etkili olan ısı kütle ve dinamik ısı özellikleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalar da incelenmiştir.

Balaras (1996) tarafından yapılan çalışmada, ısı kütle performansını etkileyen faktörler incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Isı kütle performansını enerji korunumu için faydalı bir alternatif olduğunu gösteren literatür çalışmaları anlatılmıştır. Binadaki iç hava sıcaklığı ve soğutma enerjisi harcamalarını ısı kütle performansını etkisini göz önünde bulundurarak hesaplamada kullanılan bilgisayar yazılımları tanıtılmış ve sınıflandırılmıştır. Hesap yöntemleri, girdileri çıktıları ve sınırlandırmaları açısından ısı kütle performansını doğrulukla tahmin etme derecelerine göre kategorize edilmişlerdir.

Shaviv ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada, ısı kütle ve gece havalandırmasının yaz dönemi maksimum iç hava sıcaklığı üzerindeki etkisi

hesaplanmış, İsrail'deki sıcak iklim bölgesindeki farklı yerleşimler için elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Maksimum iç hava sıcaklığının, gece gündüz sıcaklık farkının miktarıyla ilgili olduğu anlatılmış ve ısı kütlesi ile gece havalandırmasına bağlı olarak maksimum iç hava sıcaklığının düşürülebileceği gösterilmiştir. Pasif soğutma stratejisi olarak ısı kütlesinin miktarı ve gece havalandırmasının oranının artırılmasının basit bir yöntem olarak, tasarım sürecinin ilk safhalarında saatlik simülasyon modeli kullanmadan, iç hava sıcaklıklarının düşürülmesi için kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Göksal ve Özbalt (2001) tarafından yapılan çalışmada, yalıtım içermeyen tuğla duvar kuruluşunun ısı davranışı İzmir iklim koşullarında araştırılmıştır. Deney düzeneği, iç ortam koşullarının modellendiği yalıtımlı test odası ile yüzey alanı 10m x 10m olan test duvarından oluşmuştur. Deneysel çalışmada yatay yüzeye gelen toplam güneş ışıması, dış ve iç hava sıcaklıkları, iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile ara yüzey sıcaklıkları sürekli olarak ölçülmüştür. Test duvarı içindeki sıcaklık dağılımı, zaman gecikmesi ve sönüm oranı elde edilmiş, bina kabuğundaki zaman ve konuma bağlı sıcaklık değişimi analiz edilmiştir.

Özbalt ve Özbalt (2012) tarafından yapılan çalışmada, 3 farklı dış duvar kuruluşu için optimum yalıtım kalınlığı, yıllık enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Çalışmada bir boyutlu, zamana bağlı ısı iletim denklemi sonlu farklar yöntemi ile katmanların termofiziksel özellikleri de dikkate alınarak çözülmüştür. Isı kütlesinin etkin olarak kullanılabilmesi için ısı yalıtımının duvar dış yüzeyinde konumlanması gereği tespit edilmiştir.

Özşahin vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, dünyada geniş bir kullanım alanı olan, Türkiye'de de yakın zamanda uygulanmaya başlanan Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi'ni oluşturan duvar elemanlarının ısı performansı incelenmiştir. Çalışma kapsamında duvar sisteminin özellikleri kısaca tanıtıldıktan sonra kış ve yaz konforu kavramları özetlenmiştir. EPS YKDBT duvar sistemini oluşturan duvar elemanı kesitleri ile geleneksel yapı sistemlerinde kullanılan duvar elemanı kesitlerinin (dışarıdan yalıtımlı, içeriden yalıtımlı, çift duvar arası yalıtımlı) ısı performansları, yaz ve kış şartları için hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Marletta (2013) tarafından yapılan çalışmada, binaların özellikle yaz dönemindeki ısı davranışını tanımlamak için kullanılan ısı girişimlilik, genlik küçültme faktörü gibi dinamik ısı özelliklerinin yanı sıra standartlara sonradan dahil edilen yüzey faktörü değeriyle ilgili tanım ve formüller anlatılmıştır. Daha sonra, bu dinamik ısı özelliklere bağlı olarak periyodik rejim şartları altında bir mekandaki sıcaklık salınımlarının tahmini için kullanılan geniş kapsamlı bir hesaplama yöntemi tanıtılmış, bu yöntemin güvenilirliği, EN ISO 13791 ve EN ISO 13792'deki prosedürlere göre test edilmiştir.

Mohammad ve Shea (2013) tarafından yapılan çalışmada, Tahran'daki konut binalarında sıklıkla kullanılan delikli tuğla, gazbeton ve genişletilmiş kil – hafif agregalı beton karışımı (LECA) malzemeleriyle oluşturulmuş çağdaş duvar kurgularının, geleneksel yapılarda kullanılan fırınlanmamış toprak ve tuğla duvarlara göre performansları değerlendirilmiştir. Çağdaş ve geleneksel duvar kurguları, statik ve dinamik ısı özellikleri ile birlikte tanıtılmış, yaz ve kış dönemlerinde enerjinin korunumu açısından Tahran ikliminde hangi malzemelerin kullanımının daha uygun olduğu ortaya konulmuştur.

Son olarak, ülkemizde bina kabuğu tasarımı için referans olarak alınan TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'nın, enerji korunumu açısından değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Dilmaç (1999) tarafından yapılan çalışmada, uluslararası hesap yöntemlerindeki gelişime paralel olarak, TS 825'de önerilen hesap yöntem, değerlendirilmiştir. Havalandırma ile ısı kayıplarının, ısı köprülerinin ve güneş enerjisi kazançlarının dikkate alınması gibi olumlu yönlerinin yanında, yoğuşma tahkiki sonuçlarının değerlendirilememiş olması veya hesaplamalarda eksik noktaların bulunması gibi düzeltilmesi gereken hususlar da belirtilmiştir.

Oral ve Akşit (2001) tarafından yapılan çalışmada, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'nın enerji korunumunu hedefleyen konut tasarımı ve yapımındaki rolünün irdelenmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle İstanbul Ataşehir Toplu Konutlarında seçilen bloklar için yıllık ısıtma enerjisi hesaplan TS 825'in önerdiği yöntem ve yöresel meteorolojik veriler ile güneş ışıması verilerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar yöresel meteorolojik veriler ile güneş ışıması değerleri dikkate alınarak yapıldığında, TS 825'e göre %22 oranında enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

Aksoy ve Ekici (2013) tarafından bina düşey yüzeyleri üzerine gelen güneş ışıını şiddetlerinin doğru olarak tespit edilebilmesi ve TS 825 EK-C tablosu ve dış sıcaklık verilerinin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için gerçekleştirilen çalışmada, bulundukları derece gün bölgelerini temsil edecek dört adet il seçilmiştir. Çalışma kapsamında yatay düzlem ve dört ana yöne bakan düşey yüzeyler için aylık ortalama saatlik güneş ışıını şiddeti değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar TS 825 EK-C’de aynı yönler için verilen tablo değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bina enerji ihtiyacı hesaplamalarında TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’nda önerilen iklimsel veriler, seçilen illerin hiçbirisi için uygun olmamakla birlikte oldukça yüksek oranda hatalara neden olduğu görülmüştür.

Araştırmalar sonucu çalışma kapsamında seçilen güncel hesap yöntemlerini, Türkiye’de sıcak-kuru iklim bölgesinde ele alınan bir bina üzerinde denemek ve sonuçları analiz etmek için uygun yazılımlar seçilerek, ele alınan bina kabuğu alternatiflerinin performansları; soğutma enerjisi harcamaları ve sağladıkları iç konfor koşulları açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

1.3 Hipotez

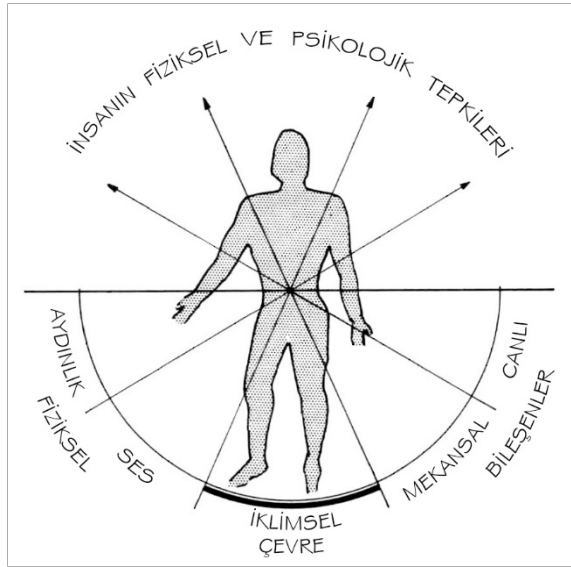
Günümüz yönetmelikleri ve atıfta bulunulan standartlarında, bina kabuğunun yaz konfor koşullarında ısı performansını hesaplamak için öne sürülen statik ve yarı dinamik yöntemler, soğutma enerjisi harcamalarını hesaplamak için yetersiz kalmaktadır. Bina kabuğundaki ısı iletimi, dış iklim elemanlarının periyodik etkisi altında, statik değil dinamik rejimde gerçekleşmektedir. Dinamik hesaplama yöntemiyle yapılan hesaplamalar sonucu, bina kabuğunun dinamik ısı özelliklerinin, soğutma enerjisi harcamaları ve iç konfor koşullarını üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve dolayısıyla en uygun bina kabuğunun tasarlanması olanaklıdır.

2. SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞUNUN ISIL PERFORMANSINI ETKİLEYEN DEĞİŞKENLER

Binalar, insanların barınma ve korunma temel gereksinimleri sonucu ortaya çıkmış; günümüz toplumunda, bu temel gereksinimlerin yanı sıra kullanıcıların biyolojik, sosyolojik ve kültürel ihtiyaçlarını da uygun düzeyde karşılaması gereken yapma çevrelerdir. Bu nedenle bina tasarımında, kullanıcı gereksinimlerine bağlı olarak sağlanacak konfor koşulları önemli rol oynar. Bunlar,

- Isıl konfor koşulları
- Görsel konfor koşulları
- İşitsel konfor koşulları olarak ifade edilebilir.

Olgay (1973), insanı ve onun konfor ihtiyaçlarını, yapma çevre tasarımının merkezindeki kriter olarak tanımlamıştır. (Şekil 2.1)



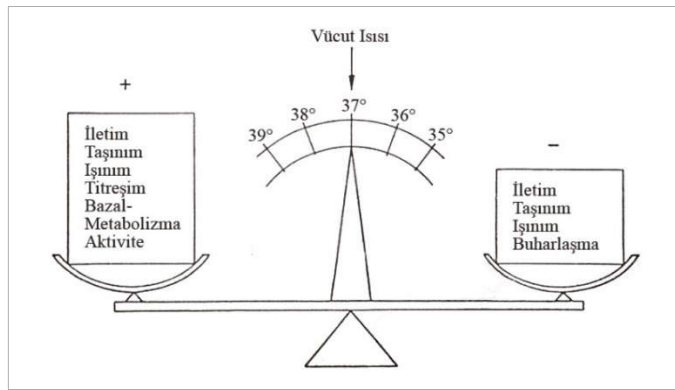
Şekil 2.1 : Merkezi kriter olarak insan. (Olgay, 1973)

Binalarda enerji harcamaları, kullanıcının gereksinimlerine bağlı olarak fiziksel ve zihinsel performansının istenen düzeyde olması için uygun ısı, görsel ve işitsel konfor koşullarını oluşturma çabasıyla kaynaklanmaktadır. (Göçer, 2006)

Bu bölümde sıcak - kuru iklim bölgelerinde binaların ısı performansını etkileyen iklime, kullanıcıya ve binaya ilişkin değişkenler anlatılmıştır.

2.1 Kullanıcıya İlişkin Değişkenler

Kullanıcı ile binanın ısı performansı arasında etken ve edilgen bir ilişki vardır. Kullanıcının kendisi de ısı konfor sürecinde dinamik bir değişkendir. İklimlendirme için harcanan enerji açısından değerlendirildiğinde, kullanıcının yapma çevreyle arasında kurmaya çalıştığı ısı denge durumu, ortamda iç ısı kayıp-kazançlarına neden olmaktadır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 : Kullanıcının ısı dengesi. (Koenigsberger ve diğ, 1973)

Binaların ısı performansını etkileyen kullanıcıya ilişkin değişkenler; aktivite düzeyi, giysi türü ile kullanıcının mekandaki konumu ve duruş şeklidir.

2.1.1 Aktivite (metabolizma) düzeyi

Aktivite düzeyi, insan vücudunun yiyecekleri yakarak elde ettiği enerjinin, ısı ve metabolik işe dönüşümünün miktarını tarif eder (Manioğlu,2002) ve yapma çevre tasarımı aşamasında kullanıcıdan kaynaklanan iç ısı kazancının bilinmesi açısından önemli bir veridir. Bazı aktivite düzeylerine ilişkin tasarım verileri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Bazı aktivite düzeylerine ilişkin tasarım verileri. (ASHRAE 55, 2013)

Aktivite Düzeyi	Isı Kazancı (W)
Oturma	115
Ayakta Durma	130
Yürüme	145
Dans Etme	250
Ağır Makina İş Yapan	470
Atletizm	525

2.1.2 Giysi türü

Giysi türü, insanla çevresi arasındaki ısı geçişi miktarını etkilediğinden iklimsel konfor koşullarının belirlenmesinde önemlidir. Giysilerin yalıtım direnci “Clo” birimi ile ifade edilir ve giysinin türüne göre yalıtım dirençleri farklılık gösterir. (Manioğlu,2002)

2.1.3 Kullanıcının mekandaki konumu ve duruş şekli

Kişi ve onu çevreleyen yüzeyler arasındaki açı faktörleri, kullanıcının hacim içindeki konumunun bir fonksiyonudur ve kapalı hacimdeki bir insanın iklimsel konforunu önemli ölçüde etkileyecek bir değişkendir. Kullanıcının mekandaki konumu ve duruş şekli, ısı yalıtım yoluyla yaptığı ısı alışverişi üzerinde etkilidir. (Manioğlu,2002)

2.2 İklima İlişkin Değişkenler

İklimsel konfor, kullanıcıların yaşamlarını sağlıklı bir şekilde devam ettirebilmeleri ve yapma çevre içinde bulundukları aktiviteyi verimli bir şekilde sürdürebilmeleri için karşılanması gereken bir ihtiyaçtır. (Manioğlu, 2002) Bu ihtiyacın karşılanması, insanın fizyolojik ve psikolojik açıdan çevre ile uyumu için gereklidir.

Mevcut dış iklimsel koşullar yardımıyla, istenilen ısı konfor koşullarını sağlayabilmek için tasarım parametrelerine ilişkin bir takım önlemler alınmalıdır. Bu nedenle tasarımın dayandırıldığı karakteristik gün veya dönemler için, bina kabuğunun ısı performansında doğrudan etkili olan, güneş ışıması, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, ve rüzgar gibi dış iklim elemanlarına ait değerler ve bina kabuğunun etkisiyle iç ortamda oluşan iç iklim elemanlarının kabul edilen sınır değerleri belirlenmelidir. (Manioğlu ve Koçlar Oral, 2010)

Bu bölümde iklima ilişkin değişkenler, dış ve iç iklima ilişkin değişkenler olarak iki alt başlıkta incelenmiştir.

2.2.1 Dış iklima ilişkin değişkenler

Dış iklima ilişkin değişkenler; güneş ışıması, dış hava sıcaklığı, rüzgar ve dış hava nemliliğidir.

2.2.1.1 Güneş ışıınımı

Bir hacmin opak bileşeninin dış yüzeyi güneş ışıınımı etkisinde kaldığında mevcut koşullarda yeni bir denge oluşana kadar duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımında değişiklik gözlenir. Denge oluşana kadar geçen süreç zamana bağlıdır. Işıınım absorpsiyonu başlamadan önce duvar içindeki sıcaklık dağılımı denge koşullarındadır ve doğrusal bir değişim gösterir. Opak bileşenin yüzeyine güneş ışıınımı gelince, duvardaki sıcaklık dağılımı yeni denge oluşana kadar doğrusal olmayan farklı aşamalardan geçer. Yeni dengeye ulaşıldığında sıcaklık dağılımı tekrar doğrusal bir görünüm kazanır. Yeni denge oluştuğunda sıcaklık dağılımı sınır koşulları ve gelen güneş ışıınımına bağlıdır. Bu nedenle iç mekanda oluşan konfor koşulları opak bileşenin yüzeyine gelen güneş ışıınımının bir sonucudur. (Göksal Özbalta ve Özbalta, 2012) Güneş ışıınları yapı yüzeylerine; direkt, yaygın ve yansımış güneş ışıınımı olarak üç farklı şekilde ulaşmaktadır.

Direkt güneş ışıınımı

Kendi doğrultusunda atmosferden geçerek yapı yüzeyine ve bina kabuğunun özelliklerine bağlı olarak bina iç ortamına ulaşan kısa dalga ışıınlarıdır. Yüzeyin aldığı direkt güneş ışıınımı yöreye zamana ve yönle göre değişir.

Yaygın güneş ışıınımı

Atmosferdeki toz, hava ve su moleküllerine çarparak saçılan ve atmosferde yaygın durumda doğrultusu belirsiz olarak yapı yüzeylerine etkileyen güneş ışıınımı bileşenidir.

Yansıma güneş ışıınımı

Çevre yüzeylerden ve yer yüzünden yansımış olarak yapı yüzeylerine etkileyen güneş ışıınımı bileşenidir. (Yılmaz, 1983)

2.2.1.2 Dış hava sıcaklığı

Bir yerin zemin niteliği, yüksekliği, güneş ışıınım şiddeti, hava hareketleri ve deniz akıntılarının yönü gibi değişkenlerin etkisiyle farklılaşan ve güneşin geliş açısına ve atmosfer koşullarına bağlı olarak değişen, kuru termometrenin belirlediği değerdir. Bina kabuğunun ayırdığı dış ve iç ortam arasında gerçekleşen ısı geçişine ilişkin, dış ve iç yüzeylerdeki taşınım sınır şartları ve başlangıç şartlarının oluşumunda önemli bir rol oynayan bina kabuğu dış yüzey sıcaklığı, dış hava sıcaklığının bir sonucudur.

Bu nedenle binaya ait ek yapma sistemlerin belirlenmesinde etkili olur. Ayrıca dış hava sıcaklığı bina kabuğunun bazı periyodik ısı özelliklerinin (zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü) belirlenmesinde etkindir.

2.2.1.3 Rüzgar

Atmosferik basınç farklılıklarından kaynaklanan bir hava akımıdır. Rüzgar yönü basınç merkezlerinin yerine göre değişmektedir. Hakim rüzgar yönü ve şiddeti binaların binaların tasarlanması ve yerleşim yerlerinin yönlendirilmesi bakımından önemli bir iklimsel konfor elemanıdır. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde gece saatlerinde rüzgarın soğutucu etkisi yardımıyla bina soğutulmuş soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak olanaklıdır. Hava hareketinin hızı, insanla çevresi arasında oluşan ısı transferi miktarını etkileyen önemli bir değişkendir. (Manioğlu, 2002)

2.2.1.4 Dış hava nemliliği

Belli bir sıcaklıktaki havanın içerisindeki su miktarının buhar basıncı olarak ifade edilmesidir. Su buharı miktarı; sıcaklık, rüzgar, hava basıncı gibi etmenlerle değişmektedir. Dış hava nemliliği, yerleşim yerlerinin nemden korunması veya faydalanması gerekliliği yönünden tasarım aşamasında üzerinde durulması gereken bir değişkendir. (Manioğlu, 2002)

2.2.2 İç iklimle ilişkin değişkenler

İç iklimle ilişkin değişkenler; iç hava sıcaklığı, iç yüzey sıcaklığı, iç hava nemliliği ve iç hava hareketidir. Bu değişkenler binalardaki iklimsel konforun belirleyicileridir.

2.2.2.1 İç hava sıcaklığı

İç ortamın kuru termometre sıcaklığıdır ve insan ile çevresi arasında taşınım yolu ile yapılan ısı alışveriş miktarını belirleyen değişkendir. Kullanıcı ile çevresindeki ısı taşınımı vücut yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı dengeleninceye kadar devam eder. Kapalı bir hacmi çevreleyen yüzeyler ile hacim içi çevre arasında radyasyon yolu ile ısı alışverişi olduğundan bu yüzeylerin sıcaklıklarının bir fonksiyonu olan iç hava sıcaklığı iklimsel konforu etkileyen en önemli değişkenlerden biridir. (Manioğlu, 2002) Bu nedenle hacimleri çevreleyen yüzeylerdeki saydamlık oranları ve hacimlerin yönlendiriliş durumları iç hava sıcaklığının oluşumunda etkindir. İç hava sıcaklığıyla sağlanan vücut yüzey sıcaklığı, kullanıcının iklimsel açıdan konforu açısından önemli bir göstergedir. (Manioğlu, 1995)

2.2.2.2 İç yüzey sıcaklığı

Dış hava sıcaklığı ve güneş ışınlamalarının birleşik etkisi sonucu bina kabuğunda gerçekleşen ısı geçişiyle birlikte bina kabuğunun iç yüzeyinde oluşan ve iç hava sıcaklığının oluşumunda etken olan sıcaklıktır. Bina kabuğunun yüzey sıcaklığı, hacmi çevreleyen diğer yüzeylerin yüzey sıcaklıklarına göre, içinden geçen ısı miktarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu konuda daha önce yapılmış çalışmalarda olduğu gibi, iç hava sıcaklığı ile ortalama ışınlımsal sıcaklık arasındaki sınır fark değerinin (ϵ), iç hava sıcaklığı ile kabuk iç yüzey sıcaklığı arasındaki sınır fark değeri olarak alınabileceği varsayılarak, kabuk iç yüzey sıcaklığının, iklimsel konfor açısından izin verilebilen sınır değeri (t_{iy}),

$$t_{iy} = t_i \pm \epsilon \quad (2.1)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada;

t_i = iç hava sıcaklığı, °C

ϵ = $\pm 3^\circ\text{C}$

olarak ifade edilmektedir. (Manioğlu, 1995).

2.2.2.3 İç hava nemliliği

Kullanıcının cildinden su buharı difüzyonu ile cildin yüzeyinden terin buharlaşması ile vücuttan kaybedilen ısı miktarını etkileyen bir değişkendir. (Manioğlu, 2002)

2.2.2.4 İç hava hareketi

Bir yüzeyle hava arasındaki ısı taşınımını etkiler. İç ortamdaki hava hareketliliğinin hızı, ortamdaki taşınım ile ısı transferi miktarını etkilemektedir. (Manioğlu, 2002)

Çizelge 2.2' de binalarda ısı konfor koşulları açısından iç hava nemliliğine bağlı olarak sağlanması gereken iç hava sıcaklığının en düşük ve en yüksek değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Hava sıcaklığına ve nem oranına göre konfor koşulları. (ASHRAE Standard 55, 1992)

	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem Oranı (kg/kg)
Yaz	19.6/23.9	0.012
	26.3/21.7	0
Kış	23.6/26.8	0.012
	28.3/25.1	0

2.3 Binaya ilişkin Değişkenler

Kullanıcıların ısı konfor ihtiyaçlarını minimum enerji harcayarak karşılayabilecek şekilde tasarlanmış bina, enerji etkinliği açısından en uygun binadır. Bina, dış çevre iklim koşullarının etkisini hafifleterek bina içi çevreye aktarma görevini üstlenir (Manioğlu, 2002). Bina dışı çevredeki iklim elemanlarının etkilerine bağlı olarak herhangi bir bina kabuğunun çevrelediği iç mekan içerisinde iklimsel konforun ek yapma enerji sistemlerine en az gereksinim duyularak gerçekleştirilebilmesi için, tasarımcının denetiminde olan tasarım değişkenlerinin, uygun değerlere sahip olmaları gerekmektedir. Dış iklim koşullarına bağlı olarak, bina iç ikliminin oluşmasında; Binaların ısı performansını etkileyen ve soğutma enerjisi harcamaları üzerinde büyük etkisi olan binaya ilişkin tasarım değişkenleri:

- Binanın yeri,
- Binanın yönlendiriliş durumu,
- Binanın diğer binalara göre konumu,
- Binanın formu,
- Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri ve
- Doğal havalandırma olarak sıralanabilir.

2.3.1 Binanın bulunduğu yer

Binanın bulunduğu yer, iklimin ve buna bağlı olarak ısı konforun kontrolünde etkili olan bir değişkendir. Yerey parçasının eğimi, konumu, baktığı yönler ve bitki örtüsü gibi özellikleri bu değişkenin bileşenleri olarak tanımlanabilir. (Koçlar Oral ve Manioğlu, 2005). Farklı iklim bölgelerine göre fayda faktörü değişken olan, bina yeri, tasarımcının kontrolü dahilinde seçilebildiği taktirde, projenin ilk aşamasında enerji harcamalarının minimize edilmesine büyük ölçüde imkan sağlar. Ancak, topografik düzene bağlı olarak iklimsel elemanların etkinlik dereceleri değişim gösterebilmektedir.. İklimle dengeli tasarım sürecinde öncelikle iklim bölgeleri için, iklimsel karakterlere göre iklimsel etkilerden optimum yararlanacak biçimde iklimsel gereksinmeye cevap verebilecek yerey parçaları seçilmelidir. (Zeren ve diğ, 1987)

2.3.2 Binanın yönlendiriliş durumu

Bina içi hacimlerde ısı konforu etkileyen en önemli yapma çevre değişkenlerinden biri binanın yönlendiriliş durumudur. Güneş ışınlamı ve rüzgar yöne göre değişim

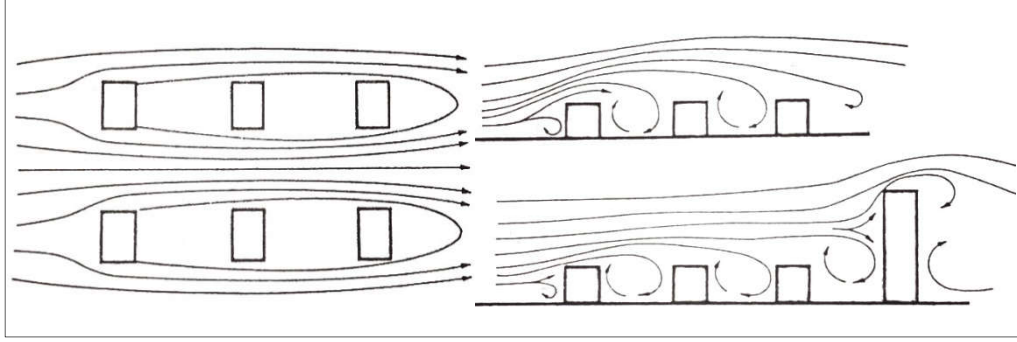
gösteren iklim elemanları olduğundan güneş ışıınının ısıtıcı ve rüzgarın serinletici etkisi binanın yönlendiriliş durumuna göre değişmektedir. Yapının yönlendiriliş durumuna göre, iklime bağılı olarak, güneş ışıınının etkilerinden maksimum derecede faydalanılabilir ya da korunulabilir. Ayrıca binanın yönlendiriliş durumuna bağılı olarak, bina kabuğunun dış yüzeyindeki güneş ışıını yeğlinliğı ve dolayısıyla kabuğun birim alanından geçen ısı miktarı değışkenlik göstermektedir. (Manioğlu, 2002) Dolayısıyla yapılarda iklimsel konfor koşullarının sağlanmasında yönlendiriliş durumu önemli bir parametredir.

2.3.3 Binanın diğeri binalara göre konumu

Binaların aralarındaki mesafeler, birbirlerine göre konumları ve yükseklikleri, dış iklim elemalarından olan güneş ışıını ve rüzgar açısından birbirleri için birer engel teşkil etmelerine yol açabilirler. Güneş ışıını bir engele, örneğın çevredeki bir binaya çarptığında, gün boyunca güneşin geliş açısına bağılı olarak, bu engelin yaratacağı gölgelenmiş alanda boyutsal değışimler olacaktır (Berköz ve diğ, 1995).

Güneş ışıınından korunmak ya da yararlanmak ihtiyacı, binanın diğeri binalara göre konumu üzerinde belirleyicidir. Güneş ışıınından korunmak isteniyorsa binalar birbirlerine gölge sağlayacak şekilde konumlandırılmalı; yararlanılmak isteniyorsa komşu binalar ve engellerle arasındaki mesafe en uzun gölge boyuna eşit veya büyük olmalıdır. Gölge alanlarda direkt güneş ışıınından elde edilen ısı kazancı düşük olacağından, binanın bu alanları yalnızca yaygın güneş ışıınından etkilenecek ve dolayısıyla binanın iç hava sıcaklığı, cepheleri hiç gölgelenmemiş bir binadaki iç hava sıcaklığı değeriğine göre daha az hissedilecektir. (Manioğlu, 2002)

Bina aralıklarının hakim rüzgar doğrultusundaki değışimi, bina cephelerini etkileyen rüzgarın hızını da etkiler. (Yılmaz ve diğ, 2000) Bu nedenle bina aralıkları belirlenirken, meydana gelecek hava hareketliliğinin bina üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 : Bina aralıklarına göre hava hareketliliği. (Koenigsberger ve diğ, 1973)

2.3.4 Bina formu

Bina formu ; biçim faktörü, bina yüksekliği, çatı türü, çatı eğimi, cephe eğimi gibi geometrik değişkenlere bağlı olarak tanımlanabilir. (Berköz ve diğ, 1995)

Bina kabuğundan gerçekleşen ısı geçişi, binayı çevreleyen elemanların ve dolayısıyla kabuk elemanının yüzey alanına, yani hacmin yatay ve dikey doğrultudaki boyutlarına ve bunun bir fonksiyonu olan bina formuna bağlıdır. (Manioğlu, 2002) Herhangi bir yaşama alanını örten ve onu dış çevreden ayıran bina kabuğunun formuna bağlı olarak, yapının toplam dış yüzey alanı, farklı yönlerde bakan ve farklı eğimlerdeki cephe ve çatı yüzeyleri alanları ve cephe ve çatı yüzeyleri arasındaki oranlar değişim gösterir. (Manioğlu ve Koçlar Oral, 2010) Binaların, dış cephe yüzey alanları, bir başka deyişle bina formları değiştikçe bu binalarda gerçekleşecek olan ısı geçişleri de farklı olacaktır. Bu nedenle bina formu, bina kabuğunda gerçekleşen ısı kazanç ve kayıplarının belirlenmesinde en önemli değişkenlerden biridir.

2.3.5 Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri

Bir binanın çevresiyle yaptığı ısı alışverişi, bina kabuğu yoluyla gerçekleşir. Bina kabuğu, iç ve dış ortamı birbirinden ayıran saydam ve opak bileşenlerden oluşur.

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri opak ve saydam bileşenlerden geçen ısı miktarının ve hacimde gerçekleşen iç hava sıcaklığının dolayısıyla ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarının belirleyicileridir. (Manioğlu, 2002)

Bina kabuğunun optik özellikleri ;

- Güneş ışınımına karşı yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik katsayıları,

Bina kabuğunun termofiziksel özellikleri ise;

- Saydamlık oranı,

- Toplam ısı geçirme katsayısı,
- Zaman geciktirmesi,
- Genlik küçülme faktörü,
- Isı yayılım katsayısı,
- Yüzey faktörü,
- Isıl girişimlilik değeri,
- Alansal ısı kapasitesi,
- Eşdeğer alansal ısı kapasitesi olarak sıralanabilir.

2.3.5.1 Bina kabuğunun optik özellikleri

Bina kabuğunun opak bileşeni için yutuculuk (a), ve yansıtıcılık (r), ve saydam bileşeni için de yutuculuk (a), ve yansıtıcılık (r) ve geçirgenlik (τ) gibi optik özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler birim alandan geçen güneş ışıınımı ile kazanılan ısı miktarını etkiler. Yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik katsayıları, kabuğun opak ve saydam bileşenleri tarafından yutulan, geçirilen ve yansıtılan güneş ışıınımı miktarının, opak ve saydam bileşenlerin dış yüzeylerine gelen güneş ışıınımına oranıdır. (Berköz ve diğ, 1995)

Saydam bileşenler için;

$$a_c + r_c + \tau_c = 1 \quad (2.2)$$

Opak bileşenler için;

$$a_o + r_o = 1 \quad (2.3)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada;

τ : geçirgenlik katsayısı

a : yutuculuk katsayısı

r : yansıtıcılık katsayısı

olarak verilmektedir. (Berköz ve diğ, 1995).

Opak bileşenin yutuculuk ve yansıtıcılık özellikleri yüzey rengine bağlı olarak değişir. Koyu renklerin yutuculuk oranları büyük, yansıtma oranları ise küçüktür ve ısıtmanın öncelikli olduğu iklim bölgelerinde ısıtma enerjisi harcamalarını azaltırlar. Açık renklerde ise tersi bir durum söz konusudur. Bu durum da özellikle sıcak iklim bölgelerinde güneş ışıınımının ısıtıcı etkisinin dolayısıyla soğutma enerjisi

harcamalarının azaltılmasında oldukça etkindir. Malzeme yüzeyinin pürüzlülüğü de yutuculuk özelliğini artırıcı bir etken olarak önem taşır. (Göksal ve Özbalta, 2002)

2.3.5.2 Bina kabuğunun termofiziksel özellikleri

Saydamlık oranı

Saydamlık oranı (SO), saydam ve opak bileşenlerden oluşmuş bir bina kabuğunda, saydam bileşen alanının, toplam bina kabuğu alanına oranıdır. (Berköz ve diğ, 1995) Özellikle sıcak iklim bölgelerinde, bina kabuğundaki saydam bileşen alanları, ısı geçirgenliklerinin yüksek olması nedeniyle güneş ışıınımı kazancının artmasına dolayısıyla soğutma yüklerinin artmasına sebep olduklarından saydamlık oranı kabuktan geçen toplam ısı miktarını etkileyen önemli bir değişkendir. Bu nedenle bina kabuğunun saydamlık oranının dış iklimsel faktörlere uygun olarak seçilmesi önemlidir.

Toplam ısı geçirme katsayısı

Toplam ısı geçirme katsayısı (U), bina kabuğunun iç ve dış tarafında etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark 1°C iken, 1 m² alandan, bu alana dik doğrultuda bir saatte geçen toplam ısı miktarıdır. (Berköz ve diğ, 1995)

$$U_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d}} \quad (2.4)$$

bağlantısıyla hesaplanır. Bu bağlantıda;

U_0 : opak bileşenin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

α_i, α_d : İç ve dış yüzeysel yüzeysel ısı iletkenlik hesap değerleri (W/m²K)

$d_1, d_2, \dots, d_n$: Opak bileşeni oluşturan malzemelerin kalınlıkları (m)

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$: Opak bileşeni oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik hesap değerlerini (W/m.K) ifade eder. (Manioğlu, 2002).

Zaman geciktirmesi

Zaman geciktirmesi (ϕ) ; gün içinde kabuk bileşenini etkileyen maksimum dış yüzey sıcaklığının, bileşenin iç yüzünde maksimum iç yüzey sıcaklığını oluşturuncaya kadar geçen süre olarak tanımlanır. Bir başka deyişle dış yüzey sıcaklığının iç ortamı etkilemesi için geçen süre olarak da hesaplanabilir.

$$\varphi = t_{d(max)} - t_{i(max)} \quad (2.5)$$

φ : zaman geciktirmesi (h)

$t_{d(max)}$: dış yüzeyin maksimum yüzey sıcaklığına ulaştığı zaman (h)

$t_{i(max)}$: iç yüzeyin maksimum yüzey sıcaklığına ulaştığı zaman (h)

Zaman geciktirme bileşenin katmanlarını oluşturan malzemelerin ısı depolama ve yalıtım kapasitesini ifade eden; ısı iletkenlik katsayısı (λ), özgül ısı (c) , yoğunluk (ρ) ve dolayısıyla ısı kapasitelerinin (ρc) bir fonksiyonudur. (Manioğlu, 1995)

Bina kabuğunun zaman geciktirmesinin yüksek olması, gece ve gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu sıcak – kuru iklim bölgesindeki binalarda, ısı konfor koşullarının pasif olarak sağlanabilmesi açısından istenilen bir durumdur. Çünkü dış yüzey sıcaklığının, iç ortamı etkilemesi için geçen süre içinde, dış hava sıcaklıkları düşer ve gece saatlerinde doğal havalandırmanın da yardımıyla, iç ortamın ısı konforu korunmuş olur. (MPA, 2012) Özşahin ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışma göstermiştir ki, zaman geciktirmesi; yalıtım sistemi ve yalıtım kalınlığından etkilenmekte olup, yalıtım kalınlığının artışı ile önce belli bir düzeyde artış gösterdikten sonra yalıtım kalınlığının daha da artmasıyla düşmektedir.

Genlik küçültme faktörü

Genlik küçültme faktörü (f), gün içinde ele alınan bileşene ilişkin, iç yüzeydeki sıcaklık genliğinin, dış yüzeydeki sıcaklık genliğine oranı olarak tanımlanır.

$$f = \frac{T_{i(max)} - T_{i(ort)}}{T_{d(max)} - T_{d(ort)}} \quad (2.6)$$

Eşitliğiyle ifade edilir. Burada;

f : genlik küçültme faktörü (boyutsuz)

$T_{i(max)}$: Maksimum iç yüzey sıcaklığı (°C)

$T_{i(ort)}$: Ortalama iç yüzey sıcaklığı (°C)

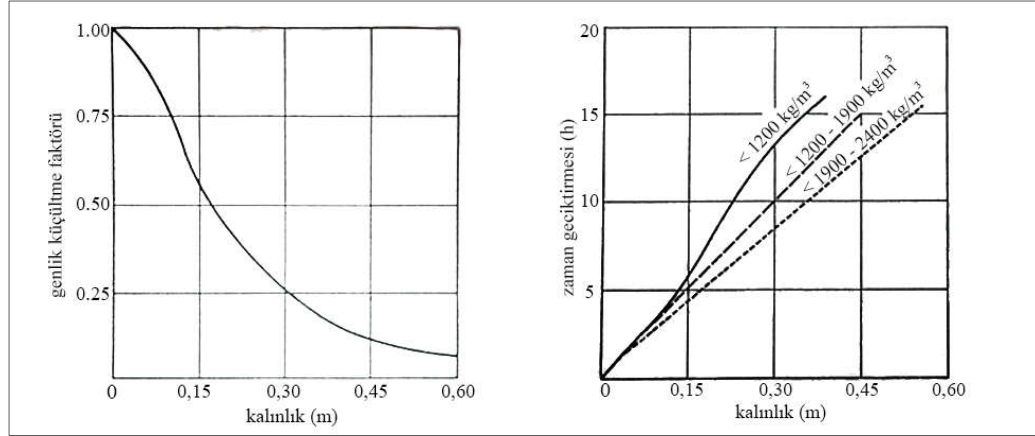
$T_{d(max)}$: Maksimum dış yüzey sıcaklığı (°C)

$T_{d(ort)}$: Ortalama dış yüzey sıcaklığı (°C)

Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü bina kabuğunun ısı kapasitesinin fonksiyonları olan dinamik ısı özellikleridir. Çok katmanlı duvar kuruluşunda, her

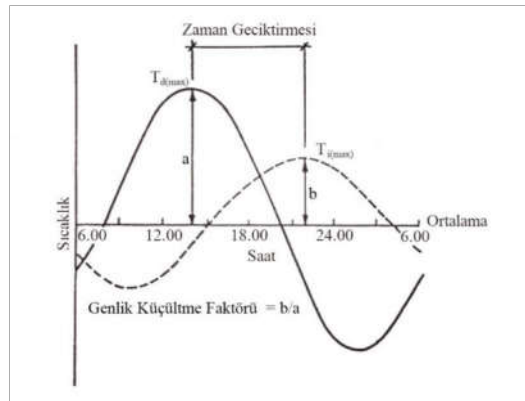
katmanın yeri ve kalınlığının, zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü üzerinde etkisi vardır. (Göksal Özbalta ve Özbalta, 2012)

Bina kabuğunun kalınlığı arttıkça; zaman geciktirmesi artar, genlik küçültme faktörü azalır. Kabuğun birim hacim kütlesi arttıkça, zaman geciktirmesinin kabuk kalınlığına bağlı olarak artışı azalır. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 : Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörünün kabuk kalınlığına bağlı değişimi. (Koenigsberger ve diğ, 1973)

Periyodik rejim şartları altında bina kabuğunun iç ve dış yüzeyindeki sıcaklıklar sinüzoidal olarak değişir. Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörünün periyodik rejim şartları altında gerçekleşen iç ve dış yüzey sıcaklık değişimleriyle ilişkisi Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 : İç-dış yüzey sıcaklıklarının sinüzoidal değişimi. (Koenigsberger ve diğ, 1973)

Buna göre, ısıl kapasitesi yüksek olan bina kabuklarında, zaman geciktirmesi yüksek, genlik küçültme faktörü düşük olur. Buna bağlı olarak iç hava sıcaklıkları, dış hava sıcaklığındaki yüksek salınımdan etkilenmez. Isıl kapasitesi düşük olan bina kabuklarında ise kabuğun düşük zaman geciktirmesi ve yüksek genlik küçültme

faktörü özellikleri nedeniyle iç ortam, gün içinde dış hava sıcaklıklarında gerçekleşen değişimlerden etkilenir.

Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü, bina kabuğunun içerisinde ısı depolayabilen opak bileşeni için geçerli olup, saydam bileşenlerin ısıyı depolama kabiliyetleri ihmal edilecek düzeyde olduğundan bu bileşenler için geçerli değildir. (Kartal, 2009)

Isı yayılım katsayısı

Isı yayılım katsayısı (α); bina kabuğunu oluşturan malzemeler için önemli bir termofiziksel özelliktir ve zamana bağlı ısı iletiminin incelenmesinde etken bir değişkendir. Bu değer, malzeme bünyesinde iletimle transfer edilen ısıнын malzemenin birim hacminde depolanan ısıya oranı olarak tanımlanabilir. (Göksal ve Özbalta, 2002) Isı yayılım katsayısı, aşağıdaki formülle ifade edilmektedir.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (2.7)$$

α : Isı yayılım katsayısı (m^2/s')

λ : ısı iletkenlik hesap değeri (W/m.K)

ρ : birim hacim kütlesi (kg/m^3)

c : özgül ısı (J/kgK)

Isı yayılım katsayısı büyük olan bir malzemede, iletimle transfer edilen ısı, depolanan ısıya göre daha fazladır. Buna karşın ısı yayılım katsayısı küçük olan malzemelerde ısıнын önemli bir bölümü malzeme tarafından yutulur ve küçük bir bölümü iletimle transfer edilir (Göksal ve Özbalta, 2002)

Isı yayılım katsayısının küçük olması zaman geciktirmesinin artmasına, genlik küçültme faktörünün ise düşmesine neden olur. (Göksal Özbalta ve Özbalta, 2012) Bu durum, sıcak-kuru iklimde bina kabuğunun ısı ı performansı açısından istenen bir durumdur.

Yüzey faktörü

Yüzey faktörü (F_s), opak maddelerin iç yüzeylerinde ışı ınımla gerçekleşen ısı akılarından oluşan termal tepkimeyi tarif eden bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Millbank ve diğerlerinin (1974) tanımına göre; yüzey faktörü, bina kabuğunun iki tarafındaki hava sıcaklığı eşit olduğu anda kabuğun iç yüzeyini etkileyen her birim

ısı kazancı ile kabuktan iç ortama yayılan ısı akısının birbirlerine oranını ifade eder. (Marletta, 2013) Yüzey faktörü,

$$F_s = \frac{Q_{ab}}{Q_i} \quad (2.8)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Burada,

F_s : yüzey faktörü (boyutsuz)

Q_{ab} : iç yüzeyde absorbe edilen ısı akısı (W/m^2)

Q_i : iç yüzeyden iç ortama gerçekleşen ısı salınımını (W/m^2) ifade etmektedir. (MPA, 2010)

Yüzey faktörünün tüm kabuğun zaman geciktirmesinden bağımsız olarak, kendine ait bir zaman geciktirmesi vardır ve yüzey faktörü ile yüzey faktörünün zaman geciktirmesinin genliği, iç yüzey malzemesinin ısı iletkenlik hesap değeri (λ) büyüdükçe artış gösterir. Yüzey malzemesi belli bir kalınlığa ulaştıktan sonra, yüzey faktörü değişim göstermemeye başlar ve hemen hemen sabit hale gelir. (CIBSE, 2006)

Isıl girişimlilik değeri

Isıl girişimlilik değeri (Y); malzemenin zamanla ortamdaki ısıyı absorbe etmesi veya ortama ısı yayması kabiliyetiyle ilgili kabuğun ısı kütlesine bağlı dinamik bir büyüklüktür. Isıl girişimlilik değeri, dış hava sıcaklığı sabitken, iç hava sıcaklıklarının ortalama değerinden her bir derece sapma için, yapının iç yüzeylerinin, iç ortamla arasındaki ısı akısının oranını ifade eder. Tek katmanlı homojen bir kabuk elemanı için basit olarak;

$$Y = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c \cdot \omega} \quad (2.9)$$

eşitliğiyle ifade edilir. (Szokolay, 2004) Burada,

Y : Isıl girişimlilik değeri (W/m^2K)

λ : ısı iletkenlik hesap değeri ($W/m.K$)

ρ : birim hacim kütlesi (kg/m^3)

c : özgül ısı (J/kgK)

ω : açısal frekansı (rad/s) ifade eder.

Çok katmanlı bir bina kabuğunun ısı girişimlilik değeri ise

$$Y = \frac{q_i}{\theta_i} \quad (2.10)$$

eşitliğiyle bulunur. Burada;

Y: Isıl girişimlilik değeri (W/m²K)

q_i : İç yüzeyden iç ortama gerçekleşen ısı akısının genliği (W/m²)

θ_i : İç ortamdaki sıcaklık değişiminin genliğini (K) ifade eder. (ISO 13786)

Tek katmandan oluşan ince kabuklar için ısıl girişimlilik değerinin genliği, U değerine eşittir. Çok katmanlı kabuklar için, ısıl girişimlilik değeri esas olarak yapının iç yüzeyine yakın tabakalarının malzeme özelliklerine göre belirlenir.

Isıl girişimlilik değerinin belirlenmesinde kilit rol oynayan değişkenler, yoğunluk (ρ), özgül ısı (c) , ısıl iletkenlik hesap değeri (λ), yüzey direnci ve zaman geciktirmesidir. Isıl girişimlilik değeri çoğunlukla 24 saatlik bir periyod üzerinden hesaplanır. (MPA, 2012)

Bina kabuğunun iç yüzeyinden ilk 10 cm'den sonra absorbe edilen ısı genliği sınır değerine ulaştığı için bina kabuğunun dış yüzeyine yakın yalıtım katmanının ısıl girişimlilik değeri üzerinde bir etkisi yoktur. (CIBSE, 2006)

Isıl girişimlilik değerinin birimi, U değerinin birimiyle aynıdır. Fakat U değeri sabit rejim koşulları altında hesaplanırken, ısıl girişimlilik değeri, periyodik rejim koşullarında tanımlıdır ve ısıl konfor açısından U değeriyle ters olarak, bina kabuğunun yüksek ısıl girişimlilik değerine sahip olması beklenir. (MPA, 2012)

Alansal ısı kapasitesi

Alansal ısı kapasitesi (κ); ISO 13786'da anlatılan efektif kalınlık yöntemine göre hesaplanan bina kabuğunun iç yüzeyinden başlayan belirli bir kalınlık için tanımlı birim alanının ısı kapasitesidir. Bina kabuğunun ısıyı depolayabilme kabiliyetine karşılık gelen dinamik ısı özelliğidir. Alansal ısı kapasitesi;

- 20 cm'den ince olan bina kabuğunun, toplam kalınlığının yarısında (Şekil 2.6.a),
- 20 cm'den kalın bina kabuğunun ilk 10 cm'inde (Şekil 2.6.b) veya
- Bina kabuğundaki yalıtım katmanı gibi yüksek ısıl direnç gösteren katmana kadar (Şekil 2.6.c),

$$\kappa = \sum \rho \cdot c \cdot d \quad (2.11)$$

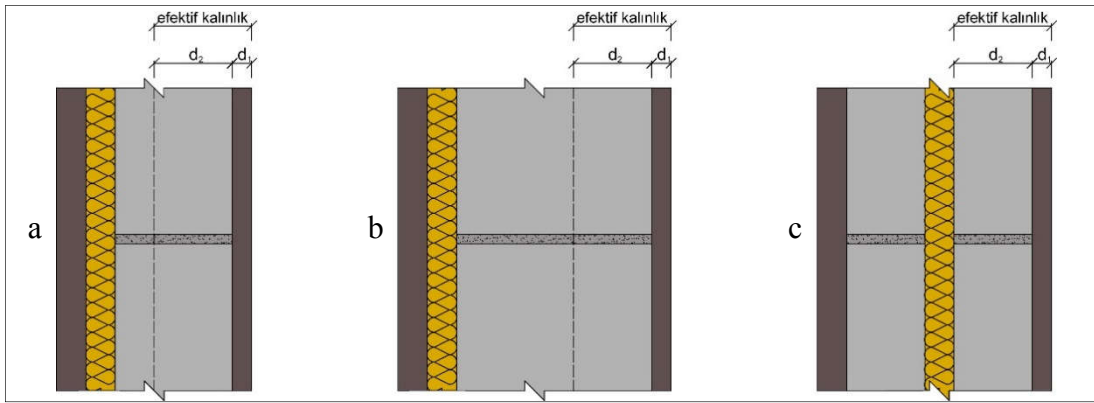
formülüyle hesaplanır. (ISO 13786) Burada;

κ : alansal ısı kapasitesi $J/(m^2 \cdot K)$

ρ : birim hacim kütlesi (kg/m^3)

c : özgül ısı (J/kgK)

d : malzeme kalınlığını (m) ifade eder.



Şekil 2.6 : Efektif kalınlık yöntemi.

Eşitlik 2.11’de görüldüğü üzere, alansal ısı kapasitesi; bina kabuğunu oluşturan malzemelerin kabuk içindeki konumu, kalınlığı (d), özgül ısı (c) ve yoğunluğuna (ρ) göre değişim gösterir. Yalıtım katmanının iç yüzeye yakın olması, efektif kalınlığı düşüreceği için, kabuğun alansal ısı kapasitesi küçülecektir. Dolayısıyla kabuğun ısı kütlesinden maksimum ölçüde faydalanabilmek için yalıtım katmanının, bina kabuğunun dış yüzeyine yakın uygulanması gerekir. (Göksal Özbalta ve Özbalta,2012)

Alansal ısı kapasitesi, yüzey direncini hesaba katmadığı için, bazı iç yüzey malzemeleri için bina kabuklarının ısı performansları hakkında, hassas sonuçlar vermeyebilir. (MPA, 2010)

Eşdeğer alansal ısı kapasitesi

Eşdeğer alansal ısı kapasitesi (κ'); alansal ısı kapasitesi değerinin yüzey direnciyle birlikte ele alınarak hesaplanan bir türevidir. Bu nedenle, bina kabuğunun ısı performansı hakkında hassas bir sonuç verir. Alansal ısı kapasitesinden farklı olarak, ISO 13786’da, ısı girişimliliğin periyodik ısı geçirgenliğe farkının, açısal frekansa

bölümüyle elde edilir ve periyodik rejim şartları için bina kabuğunun ısıyı depolama kabiliyetini tanımlar.

$$\kappa' = \frac{1}{\omega} \cdot |Y - Y'| \quad (2.12)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

κ' : eşdeğer alansal ısı kapasitesi J/(m²·K)

ω : açısal frekans (rad/s)

Y : ısıl girişimlilik değeri (W/m²K)

Y': periyodik ısıl geçirgenlik değerini (W/m²K) ifade eder. (ISO 13786)

Periyodik ısıl geçirgenlik değeri (Y'); ısıl girişimlilik değerinin bir türevidir. İç hava sıcaklığı sabitken, dış hava sıcaklıklarının ortalama değerinden her bir derece sapma için, yapının iç yüzeylerinin, iç ortamla arasındaki ısı akısının oranını ifade eder.

$$Y' = \frac{q_i}{\theta_d} \quad (2.13)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Burada;

Y': Periyodik ısıl geçirgenlik değeri (W/m²K)

q_i : İç yüzeyden iç ortama gerçekleşen ısı akısının genliği (W/m²)

θ_d : Dış ortamdaki sıcaklık değişiminin genliğini (K) ifade eder. (ISO 13786)

Eşdeğer alansal ısı kapasitesi, birim alan için hesaplandığından bina kabuğunun kesit özelliğini tanımlamaktadır ve kabuk katmanlaşması aynı olan her bina için sabit olacaktır. Bu nedenle, eşdeğer alansal ısı kapasitesi değerlerine bakılarak bina kabuğu alternatifleri tasarım aşamasında ısıl performansları açısından karşılaştırılabilir. (Özşahin ve diğ, 2013)

2.3.6 Doğal havalandırma

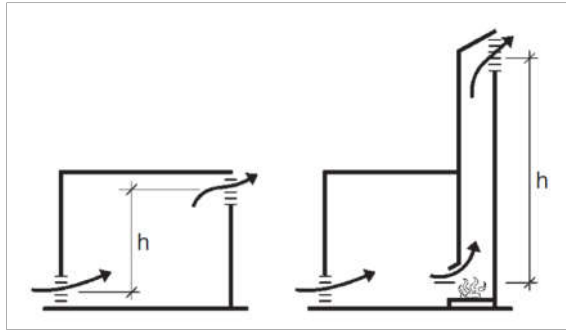
Doğal havalandırma; temiz hava ihtiyacı ve ısıl konfor koşulları nedeniyle iç ortamda istenen taze hava hareketinin, bina kabuğunda düzenlenen açıklıklar ile pasif olarak gerçekleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Bir hacmin doğal havalandırmadan optimum faydalanabilme koşulu, bina kabuğundaki açıklıkların büyüklüğü ve birbirlerine göre konumları ile doğrudan ilişkilidir. Hava akımı, soğuk havanın bulunduğu yüksek

basınç bölgesinden, sıcak havanın bulunduğu alçak basınç bölgesine doğru gerçekleşir ve

- hız (v) m/s,
- kütle akış hızı ($m\dot{r}$) kg/s,
- debi (v_r) m³/s birimleriyle ifade edilir. (Szokolay, 2004)

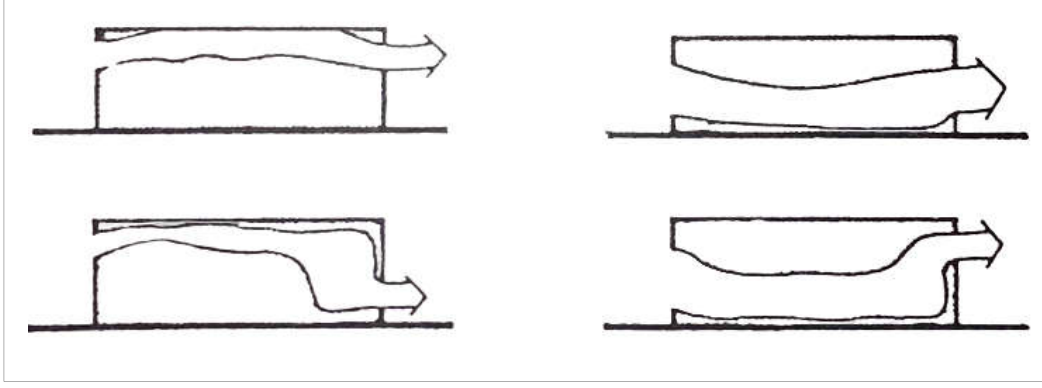
Hava akımına neden olan basınç farkları iki şekilde meydana gelir;

- Baca etkisi; iç hava sıcaklığının dış hava sıcaklığından yüksek olduğu durumda, ısınan havanın yükselmesi prensibiyle, bina kabuğunun üst kotlarında bırakılan açıklığa doğru hareket eden sıcak havanın, alt kotta bırakılmış başka bir açıklıktan taze havayı içeri çekmesine verilen isimdir. Az katlı binalarda, baca etkisi de azdır fakat çok katlı binaların özellikle merdiven kovalarında, baca etkisine bağlı şiddetli hava akımları gerçekleşebilir. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7 : Baca etkisi. (Szokolay, 2004)

- Çapraz havalandırmayla; hakim rüzgar yönünde tasarlanmış karşılıklı açıklıklardan gerçekleşen güçlü hava akımları elde edilebilir. Çapraz havalandırmayla kazanılan hava akımı, baca etkisinden daha güçlüdür. (Szokolay, 2004) Karşılıklı açıklıklar etrafındaki kontrol elemanları ve açıklıkların birbirleriyle konumu, hacmin doğal havalandırmadan faydalanabilme oranı üzerinde etkilidir. (Şekil 2.8)



Şekil 2.8 : Çapraz havalandırma. (Koenigsberger ve diğ, 1973)

Sıcak-kuru iklim bölgelerinde, gündüz vakti, dış hava sıcaklığı iç hava sıcaklığından yüksek olduğu için pencereler kapalı tutulmalı, bu şekilde hava yoluyla gerçekleşecek ısı kazançlarının önüne geçilmelidir. Gece gündüz sıcaklık farkının yüksek olduğu bu iklim tipinde, gün boyu yüksek dış yüzey sıcaklığına maruz kalan bina kabuğu, ısıtılmasına bağlı olarak tüm gün depoladığı ısıyı, zaman geciktirmesi özelliğine bağlı olarak akşam veya gece saatlerine doğru iç ortama transfer etmeye başlar. Bu süreçte tüm gün kapalı olan pencerelerin açılıp gece havalandırmasının yapılması, soğuyan dış havanın bina kabuğunu içerden soğutması ve ısı konfor koşullarının pasif olarak sağlanması açısından önemlidir. (MPA,2012)

3. SICAK - KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞUNUN ISIL PERFORMANSINI HESAPLAMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

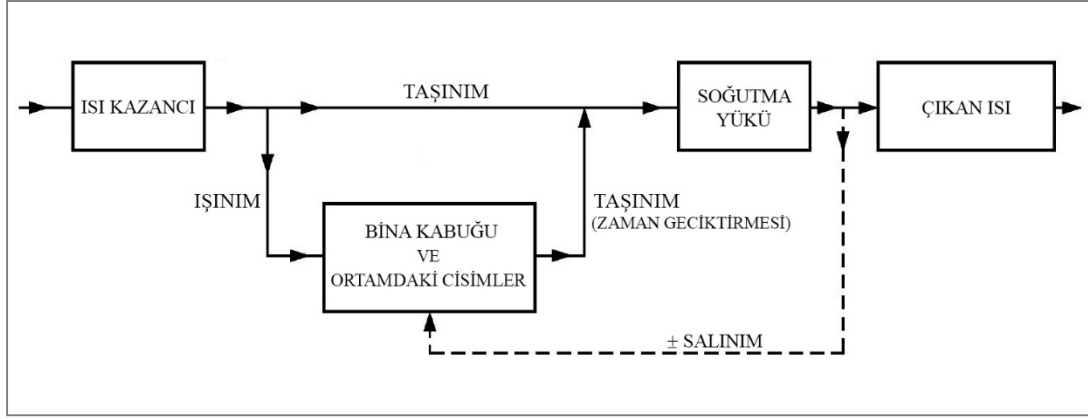
Ülkemizde ortaya konulan inşaat sektörü odaklı ekonomik yaklaşımlar ve buna bağlı olarak hızla büyüyen sektör, bina kullanıcılarını hızlı bir üretim ve tüketim döngüsü içinde bırakmaktadır. Bu süreçte üretilen bina stoğunun pasif olarak konfor koşullarını sağlamadaki kabiliyeti yeterince göz önünde bulundurulmamakta ve bu durum yapay iklimlendirme sistemlerinin kullanımını her geçen gün daha da arttırmaktadır. Buna bağlı olarak harcanılan enerjinin miktarı da artmaktadır. İklimlendirilecek yapma çevrenin ısı yüklerinin güvenilir olarak hesaplanması, enerjinin etkin bir şekilde kullanılması açısından önemlidir. Enerji etkin bina tasarımında, 2. Bölümde anlatılan ısı performansı etkileyen değişkenler, ısı performans hesaplamalarında en doğru şekilde ele alınmalıdır. Pasif ve aktif iklimlendirme sistemlerinin birlikte verimli kullanılması, enerjinin korunumu için gereklidir. Dış iklime ait değişkenlerin ve iklimlendirmenin en önemli pasif bileşeni olan bina kabuğunun, ısı karakteristiğinin doğru bir şekilde ele alınmaması, aktif sistemlerin tasarımında cihaz kapasitelerinin yanlış tayin edilmesine ve enerjinin etkin olmayan bir şekilde kullanılmasına neden olacaktır.

Günümüzde soğutma enerjisi harcamaları, artan iç kazançlar gibi sebeplerle en az ısıtma enerjisi harcamaları kadar önemli hale gelmiştir. Özellikle soğutma enerjisi harcamalarının çok daha fazla olduğu sıcak kuru iklim bölgelerinde bu harcamaları analiz edebilmek için yeni yöntemler geliştirilmekte ve bu yöntemlere dayalı enerji analiz yazılımlarının sayısı giderek artmaktadır.

Soğutma enerjisi harcamalarını hesaplamadaki karmaşık yapıyı çözebilmek için ortamda gerçekleşen ısı transfer sürecini doğru analiz etmek gerekir. Ortamın, taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kazançları anlık olarak soğutma yüküne dönüşürken, ışıınım ile gerçekleşen ısı kazançları hemen soğutma yüküne dönüşmez. Işıınım

enerjisi önce bina kabuğu ile ortamda bulunan cisimler tarafından yutulur. Bina kabuğu ve ortamdaki cisimlerin ısı depolama kapasitelerine göre, yüzey sıcaklıkları ortam sıcaklığından büyük olduğu andan itibaren ortama ısı yayılmaya başlar ve

soğutma enerjisi miktarı etkilenir. Hesaplama gerçeğe değerlere varmak açısından önemli olan, kabuk ve cisimler üzerinde depo edilen ısı enerjisinin tespit edilmesidir. (Aktacir ve diğ, 2003). Isıl kütle etkisi, bir ortamdaki anlık ısı kazancı ve o andaki soğutma yükü miktarları arasındaki farkın kaynağıdır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 : Anlık ısı kazancı ile anlık soğutma yükü miktarları arasındaki farkın kaynağı. (ASHRAE, 2009)

Tasarım mühendisleri, ısıl kütle etkisinin miktarı ve çalışma prensibini önceden kestirerek, gerçekçi soğutma enerjisi harcaması tahminleri yapmak için uzun yıllar boyunca çeşitli hesap yöntemleri üzerinde çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu yöntemlerin geliştirilmesinde ve standartlaşmasında ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) ve CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) önemli bir rol oynamıştır. (Aktacir ve diğ, 2012)

Bu bölümde, sıcak – kuru iklim bölgelerinde bina kabuğunun ısıl performansını tayin etmek için kullanılan statik, yarı-dinamik ve tam dinamik hesap yöntemleri ve bu yöntemler kullanılarak geliştirilmiş yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir.

3.1 Statik Hesap Yöntemi ve TS 825

Statik hesap yöntemi, binalarda enerji ihtiyacının sabit rejim şartları altında gerçekleştiğini kabul eder. Sabit rejim, sabit sıcaklıklar etkisinde meydana gelen ısı iletimidir; herhangi iki eşit zaman aralığında iletilen ısı enerjisi miktarı aynıdır. Sabit rejim şartlarında sadece elemanın ısı iletimine karşı gösterebildiği ısıl direnç önemlidir. Bu direnç, elemanı oluşturan katmanlardaki malzemelerin ısıl iletkenlik hesap değerleri (λ) ve katman kalınlıklarından (d) faydalanılarak bulunur. Her katmanın ısıl geçirgenlik direnci

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3.1)$$

ile hesaplanır ve bunların toplamı elemanın sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki toplam ısı geçirgenlik direncini verir. Katmanların sıralanmasının, elemanın ısı davranışı üzerine bir etkisi yoktur. Bu rejimde, sadece elemandan iletilen ısı enerjisi miktarı ve kesit sıcaklıkları hesaplanır.

Isı iletim kanununa (Fourier kanunu) göre x yönüne doğru birim alandan geçen ısı akısı (q):

$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.2)$$

formülüyle hesaplanır. (-) işareti ısı akısının yönünü belirler. Örneğin x yönü dış ortamdan iç ortama doğru tanımlı ise, sıcaklık farkı $T = (T_{iç} - T_{dış})$ negatif olduğu durumda, ısı akısı pozitif değer alır, yani ısı geçişi dış ortamdan iç ortama doğru gerçekleşir. Bina kabuğunda d kalınlığındaki homojen bir katman için ısı akısı:

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.3)$$

eşitliği ile hesaplanır. Çok tabakalı bir katman için ise:

$$q = U \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır. (Cihan ve Dilmaç, 2008)

U değeri (ısı geçirme katsayısı) ile ilgili tanımlar ve eşitlikler Bölüm 2.3.5.2’de verilmiştir.

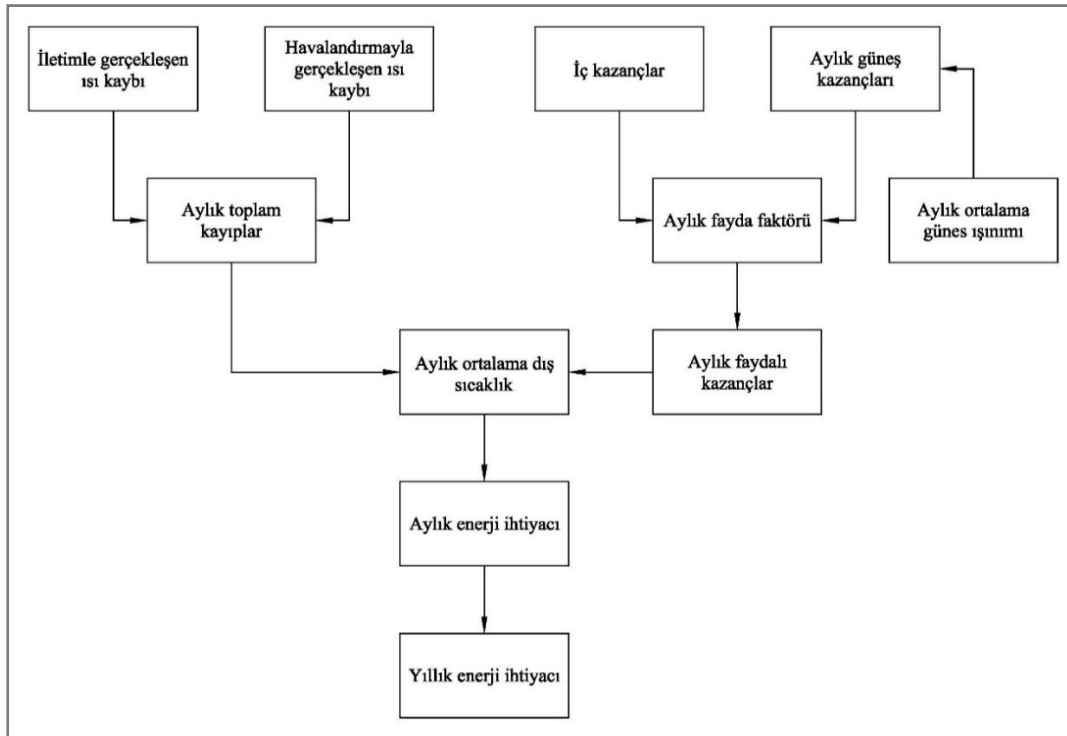
Tüm bu eşitliklerde yapı elemanını ısı olarak ifade eden tek büyüklük ısı iletkenlik hesap değeri (λ) olmaktadır ve sonuçta elde edilen büyüklük iletilen ısı enerjisinin miktarıdır (q). Halbuki binalardaki ısı konfor açısından ısı iletim hızı ve iç ortamda meydana gelen sıcaklık değişimlerinin genliği de çok önemlidir. (Dilmaç, 1999) Statik hesap yönteminde, bina kabuğunun zaman geciktirmesi ile genlik küçültme faktörünün ve buna bağlı olarak da ısı kütlesinin, enerji harcamaları üzerindeki etkisi hesaba katılmaz.

Ülkemizde kullanılmakta olan ve binalarda enerji ihtiyacını statik hesap yöntemine göre hesaplayan TS 825 standardı, ilk olarak 2000 yılında yürürlüğe girmiştir. Sonrasında binalarda izin verilebilir en yüksek yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerleri düşürülerek, 2008 ve 2013 yıllarında yenilenmiştir. TS 825 standardı hesaplama yöntemine göre yıllık ısıtma enerjisi gereksinimi, ısıtma dönemini oluşturan aylık ısıtma enerjisi gereksinimlerinin toplamı olarak ifade edilir. (Özşahin ve diğ, 2013)

Standartta sunulan yöntem Türkiye’yi 5 iklim bölgesine ayırmaktadır. İletim ve sızdırma ile gerçekleşen ısı kayıplarının belirlenmesinde kullanılan aylık ortalama dış sıcaklık değerleri, binanın bulunduğu konumun ait olduğu iklim bölgesinin ortalama değerleridir. İç kazançlar ve güneş ışıınımı kazançları ise fayda faktörü düzeltmesi ile aylık olarak hesaplamalara katılmaktadır. (Yaman ve Gökçen, 2009)

TS 825’te binanın ısıtma enerjisi ihtiyacına göre kabuk tasarımı ve bina için gerekli yalıtım hesaplamaları yapılmaktadır. Ancak aynı kabuk, yaz şartlarında binanın aşırı ısınmasına, ısıl konfor şartlarının sağlanamamasına ve dolayısıyla soğutma enerjisi harcamalarının artmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle bu hesaplama yöntemi binanın yıllık toplam enerji harcamalarının belirlenmesinde yeterli değildir.

TS 825’in hesaplama akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : TS 825’in hesaplama akış şeması. (Yaman ve Gökçen, 2009)

Aynı iklim bölgesinde yer alan fakat farklı coğrafi faktörlere sahip, farklı enlem ve yüksekliklerde yer alan iller için, aynı değerleri öngören aylık ortalama meteorolojik verilerle yapılan hesaplamalar sonucu oluşturulan bina kabuğu, özellikle yaz aylarında aşırı ısınmalara yol açarak, kullanıcılar açısından büyük sıkıntılara neden olmaktadır. (Aksoy ve Ekici, 2013)

Koçlar Oral ve Akşit (2001) tarafından yapılan çalışma göstermiştir ki TS 825 standardındaki meteorolojik veriler ile yöresel meteorolojik veriler ve güneş ışıını değerlerine bağlı olarak yapılmış hesaplamalar karşılaştırıldığında, yöresel meteorolojik veriler dikkate alınarak yapılan hesaplamalar, %22 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır. Bu da yönetmelikteki güncellenmiş iklimsel verilerin gerçekliği yansıtmadığını göstermektedir.

Hesaplama yapılırken sürekli ısıtma rejimi uygulanması , ısıl kütlenin ihmal edilmesi ve kullanılan aylık ortalama meteorolojik değerlerler için yapılan kabullerin gerçekliği yansıtmaması gibi nedenlerle, TS 825 ve uyguladığı hesap yöntemi özellikle sıcak iklim bölgelerinde, enerji harcamaları tahmini için uygun değildir.

3.2 Yarı Dinamik Hesap Yöntemleri

Yarı dinamik hesap yöntemleri, kabuğun ısıl kütlesini çeşitli kabullerle hesaplamaya dahil ettikleri için, enerji harcamalarının hesaplanmasında, statik hesap yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedirler. Fakat hesaplama sırasında iç kazançlar, dış iklimsel veriler ve bina kabuğunun ısıl kütlesi hakkında yapılan bazı kabuller, sonuçların hassasiyetini azaltmaktadır.

3.2.1 CIBSE ısıl girişimlilik yöntemi ve TS EN ISO 13786

İngiltere’de 1950’lerde, II. Dünya Savaşı sonrasındaki yeni mimari anlayışla birlikte, cephelerde büyük oranda cam kullanılmaya başlanmış ve iç konfor koşullarının sağlamak için mekanik sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştı. Bu da çağdaş binalardaki konfor koşullarını analiz edebilmek için yeni yaklaşımlar bulunmasını zorunlu kılmıştır. Isıl girişimlilik yaklaşımı, ilk olarak yapay ya da doğal yollardan havalandırılan bu binalarda gerçekleşen en yüksek iç hava sıcaklık değerlerini belirleyebilme gereksinimi sonucu geliştirilmiştir. (Rees, ve diğ, 2000)

CIBSE'nin (Chartered Institution of Building Services Engineers) amacı, ısı kütlenin iç hava sıcaklık değişimi üzerindeki rolünü ortaya koymaktır. Danter (1960); dış koşullardaki sinüzoidal değişim sonucu bina kabuğunda gerçekleşen ısı geçişine ilişkin bir yöntem ortaya koydu. Dış hava sıcaklığındaki bir birim değişim sonucu iç mekana iletilen ısı akısını (q) aşağıdaki eşitlikle ifade etmiştir.

$$q = f \cdot U \quad (3.5)$$

f = genlik küçültme faktörü (boyutsuz)

U = ısı geçirgenlik katsayısı (W/m².K)

Bu yöntem kabuğun zaman geciktirmesini hesaba katmaktaydı.

Loudon (1968), bu yöntemle iç ortam koşullarını da dahil edip onu geliştirerek, ilk ısı girişimlilik yaklaşımını ortaya koydu. Loudon, iç ortamdaki sıcaklık değişimleri ve iç ısı kazançlarını ifade edebilmek için genlik küçültme faktörüne ek olarak, yine içerisinde kabuğun zaman geciktirmesi özelliğini barındıran iki yeni kavram “ısı girişimlilik değeri (admittance)” ve “yüzey faktörünü (surface factor)” türetti. (Rees, ve diğ. 2000) Bu yöntemle adını veren ısı girişimlilik değeri ve yüzey faktörü, Bölüm 2.3.5.2’de detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Sonraki yıllarda Millbank (1974) ve Davies (1994) tarafından geliştirilmeye devam edilen bu yaklaşım, günümüzde TS EN ISO 13792 “Binalarda Isıl Performans – Yazın Mekanik Soğutma Olmaksızın Bir Oda İçindeki Sıcaklığın Hesaplanması – Basitleştirilmiş Metotlar” adıyla CEN tarafından standartlaştırılmıştır. Isı girişimlilik yaklaşımının temeli olan, bina bileşenlerinin dinamik ısı özellikleri ise TS EN ISO 13786 “Bina Bileşenlerinin Isıl Performansı-Dinamik Isı Özellikler-Hesaplama Yöntemleri” standardıyla hesaplanmaktadır.

TS-EN-ISO 13786’da, sıcaklık ve ısı akısının değişimi sinüzoidal kabul edilmekte ve hesaplar sinüzoidal değişim gösteren periyodik rejim şartları için gerçekleştirilmektedir. Kabuğun ısı davranışı üzerinde, katmanların sıralanışı etkilidir. Periyodik rejimde, sabit rejimden farklı olarak herhangi iki eşit zaman aralığında iletilen ısı enerjisi miktarı farklıdır ve bu rejimde kabuğun ısı geçirgenlik direncinin yanında, kabuğun alansal ısı kapasitesi (κ) ve kabuğu oluşturan katmanların ısı yayılım katsayısı (α) da önemlidir. (Bkz. Bölüm 2.3.5.2)

Periyodik rejimde, d kalınlığındaki homojen bir kabukta x yönüne doğru ısı iletiminin zamana bağlı davranışı;

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \alpha \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir. (Cihan ve Dilmaç, 2008)

Sabit rejimden farklı olarak, kesit içinde herhangi bir noktanın sıcaklığın bilinmesi için, o noktanın yüzeye olan x mesafesi ile birlikte, zamanın ve zamana bağlı sıcaklık değişimi fonksiyonunun da tanımlı olması gerekmektedir. Eşitlik 3.6'da yapı elemanını ısı olarak ifade eden büyüklük ısı yayılım katsayısı (α) dır. Dolayısıyla sabit rejimden farklı olarak malzemenin ısı iletkenliğiyle (λ) birlikte yoğunluğu (ρ) ve özgül ısı (c) da sonuçları etkilemektedir. (Dilmaç, 1999)

Isıl girişimlilik yönteminin öngördüğü kabuller:

- Sol – air sıcaklık yaklaşımı: Bu yaklaşımda binayı etkileyen sıcaklık, sadece bina dışı hava sıcaklığı değildir. Gündüz saatleri için söz konusu olan güneş ışıınımı etkileri de dış hava sıcaklığı ile birlikte ele alınarak, binanın dış yüzeyine etki eden sıcaklık, sol-air sıcaklık olarak tanımlanır. Güneş ışıınımı şiddetinin yöne göre değişim göstermesi nedeniyle, kabuk bileşenlerini etkileyen sol-air sıcaklıklar da, bileşenin yönlendiriliş durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sol-air sıcaklık değerleri, kabuk bileşeninin optik özelliklerine ve bileşenin saydam olması durumunda ısı geçirgenlik katsayısına bağlıdır. (Koçlar Oral ve Akşit, 2001)

Opak bir bileşeni etkileyen sol-air sıcaklığı,

$$t_{co} = t_d + (IT \cdot a_0 / a_d) \quad (3.7)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada,

t_{co} : opak bileşeni herhangi bir anda etkileyen sol-air sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$),

t_d : dış hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$),

IT : opak bileşenin dış yüzeyini etkileyen toplam güneş ışıınımı şiddetini (W/m^2),

a_0 : opak bileşenin güneş ışıınımına karşı yutuculuğunu (boyutsuz),

a_d : dış yüzeysel ısı iletim katsayısını ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$) ifade etmektedir.

- Çevresel sıcaklık yaklaşımı: Isıl girişimlilik yönteminde ısı akısı hesabı için; saatlik iç hava sıcaklığı (t_{ai}) ve iç yüzey sıcaklıkları ortalamasının (t_{ri}) orantısal bir toplamı olan “çevresel sıcaklık (t_{ei})“ kavramı ortaya atılmıştır. Bu şekilde kabuk iç yüzeylerinden ışıınım ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı akısını gerçeğe daha yakın hesaplanması amaçlanmıştır. (Çelik, 1975)

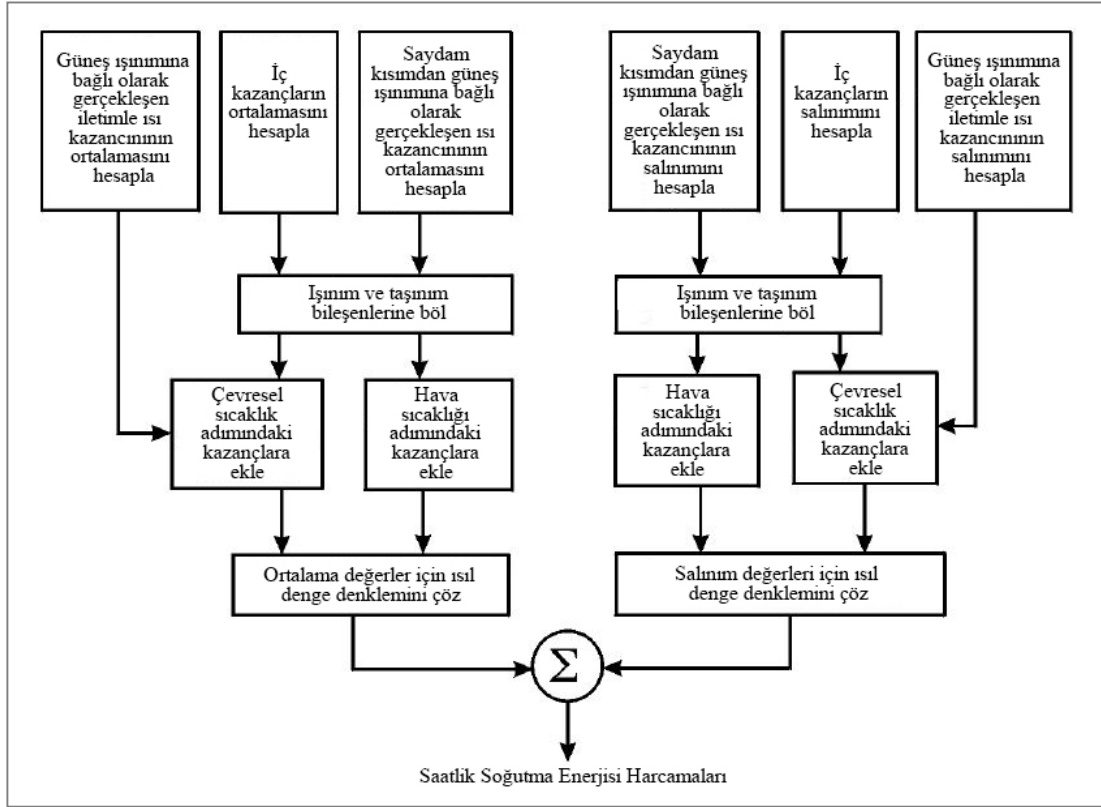
$$t_{ei} = 1/3 t_{ai} + 2/3 t_{ri} \quad (3.8)$$

- İç kazançların radyasyon - taşınım bileşenlerine ayrılması (2/3 radyasyon, 1/3 taşınım). (Yaman ve Gökçen, 2009)
- Enerji harcamalarının statik ve dinamik olmak üzere iki aşamada yapılması: Günün belirli bir saati için ilk aşamada ortalama yükler statik olarak, toplam ısı geçirme katsayısı (U) yardımıyla hesaplanır, ikinci aşamada ise günlük ortalama dış sıcaklık, iç kazançlar ve havalandırma gibi değişkenlerin ısı kayıp-kazancına etkisinin hesaplanmasında, U değeri yerine ısıl girişimlilik değeri (Y) kullanılır. Isıl girişimlilik değeri, periyodik rejimde gerçekleşen ısı iletimine (Eşitlik 3.6), dolayısıyla kabuğu oluşturan katmanların ısı yayılım katsayısına (α) bağlı olarak değiştiği için, bu aşamada ısıl kütlelenin etkisi hesaba katılmaktadır. Yapılan hesaplama saatliktir. Günün her saatindeki farklı sıcaklık ve iç ısı kazançları için işlemler tekrarlanarak günlük enerji harcamasına ulaşılabilir. (Rees ve diğ., 2000)

Bu yöntemin avantajları, bilgisayar yardımı olmadan kullanılabilmesi ve mimara detaylı hesaplara girmeden binasının ısıl performansını gösterebilmesidir. (Çelik, 1975) Bunun yanısıra piyasada hesap yöntemi olarak ısıl girişimlilik yöntemini kullanan enerji simülasyon programları ve çeşitli yazılımlar da mevcuttur. Örnek olarak Autodesk Ecotect Analysis simülasyon programı (Marsh, 2005) ve Dynamic Thermal Properties Calculator yazılımı (MPA, 2010) gösterilebilir.

Yarı dinamik ısıl girişimlilik yöntemi, tasarım aşamasında bina kabuğunun ısıl davranışı hakkında karşılaştırmalı analizlerin doğru şekilde yapılmasına olanak sağlar. Dinamik hesap yöntemi kullanan bir bilgisayar yazılımına ulaşamadığı durumlarda, farklı malzemelerle oluşturulan bina kabuğu alternatifleri, ısıl girişimlilik değerlerine bakılarak ısıl performanslarına göre karşılaştırılabilir. (Mohammad ve Shea, 2013)

Isıl girişimlilik yönteminin akış şeması Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 : CIBSE Isıl Girişimlilik Yöntemi’nin hesaplama akış şeması. (Rees ve diğ., 2000)

Yöntemin enerji harcamaları için yaptığı tahminler, karşılaştırmalı olarak doğrudur. Fakat miktar olarak dinamik hesap yöntemleri kadar gerçeğe yaklaşılamamaktadır. Çünkü değişken olan iç hava ve iç yüzey sıcaklığı hakkında sabit bir kabulde bulunmakta (çevresel sıcaklık) ve iç ortam şartlarını tam dinamik yöntem kadar kapsamlı bir şekilde simüle edememektedir. (Marsh, 2005).

3.2.2 Basit saatlik hesaplama yöntemi ve TS EN ISO 13790

Bu yöntem, TS EN ISO 13790’da belirtilen üç farklı hesap yönteminden biri olup, saatlik iklim verileri ve işletim zaman çizelgelerini kullanarak, Enerji Performans Direktifleri uyarınca belirtilen ısı ve görsel konfor ile iç hava kalitesi koşullarını farklı bina tipolojilerine göre gerçekleştirecek net enerjiyi hesaplar. Direnç-kapasite modeli ile binanın saatlik ısı davranışını yansıtabilen yarı dinamik bir hesaplama yöntemidir. (Yılmaz, 2010)

Basit saatlik yöntemin ısı kütlesi ile ilişkisini gösteren ifade, iletim yoluyla aktarılan ısı hesaplanmasında kullanılan ve bina kabuğunun iç yüzeyi için tanımlı olan “iç

ısı kapasitesi (C_m)’dir. Basit saatlik metot için, bina bölgesinin joule/kelvin cinsinden ifade edilen iç ısı kapasitesi, değerlendirilmekte olan bölgenin iç havası ile doğrudan ısı temas halinde olan bütün bina elemanlarının ısı kapasitelerini toplayarak;

$$C_m = \sum \kappa \cdot A \quad (3.9)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada

A: kabuğun yüzey alanı (m^2),

κ : alansal ısı kapasitesidir. (J/m^2K) (TS EN ISO 13790)

ISO 13786’de anlatılan efektif kalınlık yöntemine göre belirlenen “alansal ısı kapasitesi” (Eşitlik 2.11), etkin kalınlık içinde kalan ana duvar malzemesinin ısı kütle karakteristiğini kabaca ortaya koyar. Fakat bu değer, kabuğun zaman geciktirmesi üzerinde etkisi olan ısı iletkenlik hesap değerini (λ) ve ısı kütle karakteristiği üzerinde etkisi olan yüzey faktörünü (F_s) hesaba katmadığı için ısı kütlelerinin konfor koşulları üzerindeki etkisini göstermekte, ısı girişimlilik yöntemine göre yetersiz kalmaktadır. (MPA, 2010)

TS EN 13790’te önerilen basit saatlik hesap yönteminin, yöresel iklim verilerini saatlik kullanması, iç kazançları detaylıca tanımlaması ve malzemenin özgül ısının hesaba katmasıyla, statik hesap yöntemine göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vereceği açıktır. Fakat (yarı dinamik) ısı girişimlilik ve dinamik hesap yöntemleriyle karşılaştırıldığında, sıcak-kuru iklim bölgesindeki binalarda enerji harcamaları için elde edilen sonuçların gerçeğe daha az yakınsayacağı gözlemlenmektedir.

Bu hesap yöntemini kullanan yazılımlara örnek olarak ülkemiz için geliştirilmiş ulusal hesap modeli olan BEP-TR (Binalarda Enerji Performansı Hesap Yöntemi) verilebilir.

3.3 Dinamik Hesap Yöntemleri (ASHRAE)

3.3.1 TETD/TA yöntemi

Toplam eşdeğer sıcaklık farkı / Zamana bağlı ortalama yöntemi (The total equivalent temperature differential method with time averaging) olarak Türkçe’ye çevirilmiştir. Bu yöntem 1967 yılında Handbook of Fundamentals kitabında ASHRAE tarafından yayınlanmış ve o dönemden itibaren kabule dayalı hesaplamalar için son derece güvenilir bir yöntem olmuştur. İlk yayınlandığında elde hesaplama yöntemi olarak

ortaya atılsa da daha sonra yalnızca bilgisayar uygulaması olarak kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır. Çünkü ışınlama gelen ısıyı depolayan bina elemanları için zaman geciktirmesiyle birlikte ortama verdikleri ısı miktarlarının saatlik ortalamalarını almak ve bunları soğutma yüküne çevirmek uzun süren hesaplamalara neden olmaktadır. Bu yöntemde ele alınan binanın ısı depolama karakteristiği neredeyse her zaman kabule dayalıdır. Bu nedenle gerçeğe uygun kabullerde bulunmak ve sonuçları yorumlayabilmek için yöntemin deneyimli mühendislerce kullanması önerilmektedir. (ASHRAE, 2009)

Bu yöntem ülkemizde en fazla bilinen ve kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde yapılan en önemli kabul, taşınım ile gelen ısı kazançları hesaplanırken, dış ortam ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı değeri yerine, belirli özellikler referans alınarak oluşturulan tablolardan alınan eşdeğer sıcaklık farkı değerinin kullanılmasıdır. Eşdeğer sıcaklık farkı tablosundan alınan değerler “düzeltilmiş eşdeğer sıcaklık farkı” değerlerine dönüştürülerek kullanılır. (Bulut ve diğ., 2006)

$$\Delta T_{\text{eş-düzeltilme}} = \Delta T_{\text{eş-tablo}} + 0,5 (11 - \Delta T_{\text{gece-gündüz}}) + \Delta T_{\text{dış-iç}} \quad (3.10)$$

eşitliğiyle gösterilir.

Toplam eşdeğer sıcaklık farkı (TETD) değerleri ile anlık ısı kazançları bulunur, kazançlar zamana göre ortalama (TA) tekniği ile anlık soğutma enerjisi harcamalarına dönüştürülür. Bu yöntemde, hesap edilen zaman adımıdaki ısı kazançlarının ışınlama değerleri, bir önceki zaman adımıdaki değerler ile ortalaması alınarak hesaplamalara dahil edilir. (Aktacir ve diğ., 2003) Direkt güneş ışınlama yanında, iletim ve taşınım yoluyla gelen ısı kazançları da camlardan kaynaklanan soğutma enerjisi harcamaları hesabında dikkate alınır. (Bulut ve diğ., 2006)

3.3.2 Transfer fonksiyonu yöntemi (TFM)

1972 yılında ASHRAE tarafından bulunan bu yöntem isminden de anlaşılacağı gibi tablolar halinde verilen transfer fonksiyonu katsayılarının kullanımına dayanmaktadır. Isı kazancına yol açan her bina elemanı için 4 adet ısı kazancı katsayısı (v) ve 3 adet soğutma yükü katsayısı (w) tablolar halinde verilmektedir. (Rees ve diğ., 2000) Yöntem tasarlanırken, performans analizlerinin günlük, aylık ve yıllık enerji kullanımı üzerine yapılması amaçlanmıştır. Dolayısıyla maksimum tasarım yükleri yerine saatlik ortalama soğutma yüklerine daha fazla odaklanmıştır.

(ASHRAE, 2009) Enerji analizinde kullanılan ortalama soğutma yükü hesabi için uygun olan yöntem, birçok hesaplama adımı gerektirmekte ve bu nedenle bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır. (Aktacir ve diğ, 2003)

3.3.3 CLTD/SCL/CLF yöntemi

Soğutma yükü sıcaklık farkı / Soğutma yükü çarpanı (Cooling load temperature difference / Cooling load factor) yöntemi olarak Türkçe'ye çevrilmiştir. TFM yönteminin pratikte kullanımının zor olması nedeniyle, 1977 yılında ASHRAE tarafından yayınlanan CLTD /CLF yöntemi , TFM yöntemi ile elde edilen verilerden türetilmiştir. Daha sonra bu yöntem cephedeki saydam kısımlar nedeniyle oluşan güneş ısı kazancının doğru hesaplanabilmesi için Splitler ve McQuiston (1993) tarafından SCL (Solar Cooling loads-Güneş Soğutma Yüğü) katsayıları eklenmiştir.

Hesaplamaların iyileştirebilmesi için iki önemli kabul üzerinde durulmuştur;

- Bir kaynak için ışınlama ile oluşan ısı kazancı, o kaynaktan iklimlendirme sistemine yansıyan soğutma yüküne eşit değildir. Isıl kütle etkisinden kaynaklanan bu fark SCL, CLF katsayıları hesaba katılarak ortadan kaldırılmıştır.
- Tüm yük bileşenleri, soğutma yükünü sürekli olarak ve hep birlikte etkileyebilir. Uygun kullanım çarpanları ile bu fark ortadan kaldırılmıştır. (Bulut ve diğ, 2006)

Yapı için uygun CLTD/SCL/CLF tablo değerleri mevcut ise, bulunan sonuçlar TFM yöntemi ile uyum sağlayacaktır. Ayrıca, CLTD/SCL/CLF yönteminde, tablolar kullanılırken doğru yapı elemanının belirlenmesi büyük öneme sahiptir. Bu sebeple çeşitli kriterlere göre birbirinin devamı olarak kullanılan tablolardan en uygun olanının seçilerek kullanılması gerekmektedir. Bu da tablolarda kullanım zorluğu ortaya çıkarmaktadır. (Aktacir ve diğ, 2003)

SCL/CLF tablolarındaki değerler, tek katlı binalar için seçilen yüzey kaplaması , duvar tipi, ışık ve pencere tipi, vb. kriterlere göre %19 ile %-1; kullanıcılar ve cihazlar için ise %10 ile %-10 arasında hata payına sahiptir. (Splitler ve diğ, 1993)

SCL katsayılarının sağladığı bu kolaylıklarla, soğutma yükünün elle hesaplanması mümkün hale gelmiştir. Bu yöntemin bir eksikliği ise, CLTD katsayılarının, açık

renkli yüzeyler için verilmemiş olmasıdır. CLTD katsayıları yalnızca koyu renkli yüzeyler için bulunmaktadır. (Aktacir ve diğ, 2003)

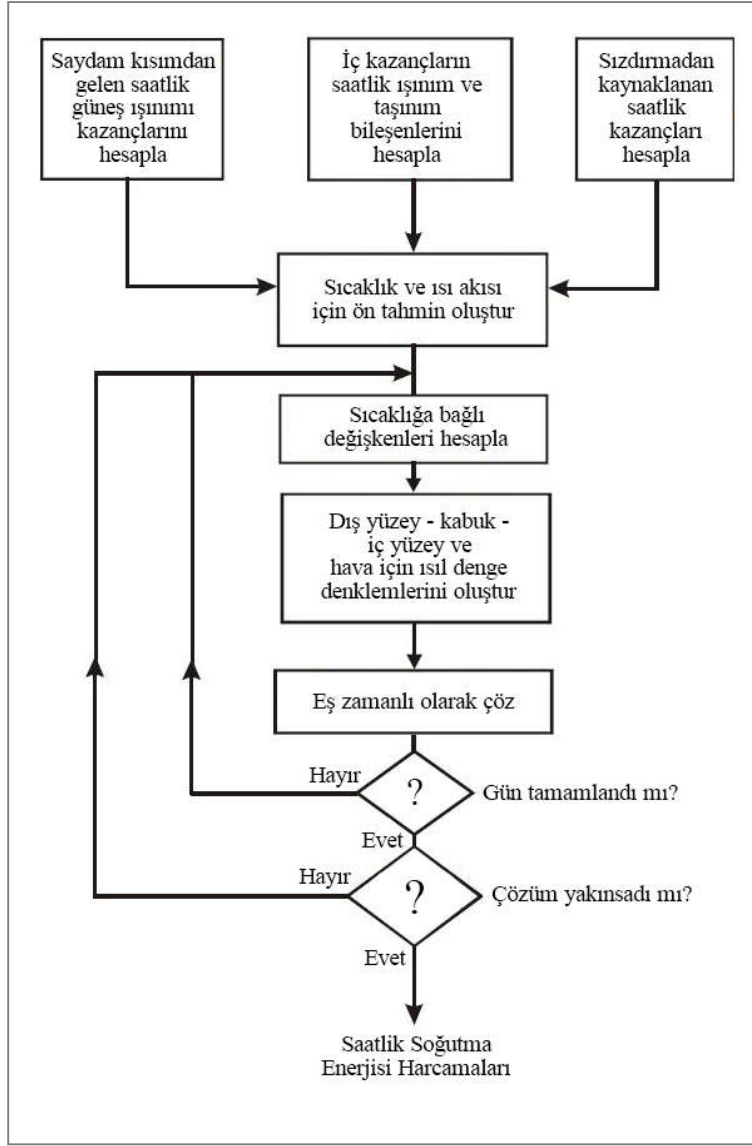
3.3.4 Isıl denge yöntemi (Heat balance - HB)

Son olarak soğutma enerjisi harcamaları hesabı için, ısı denge (Heat Balance-HB) ve ışıyım zaman serisi (Radiant Time Series) yöntemleri ASHRAE tarafından Fundamentals Handbook 2001’de yayınlanmıştır. Ancak ısı denge yaklaşımı yeni değildir. İlk haliyle Kusuda (1967) tarafından ortaya konulmuş, daha sonra BLAST (University of Illinois, 1986) ve TARP (Walton, 1983) enerji analizi programlarında uygulanmıştır. İlerleyen süreçte, Pedersen (1997) tarafından araştırma projesi olarak detaylıca çalışılarak geliştirilmiş ve 2001 yılında ASHRAE tarafından yayınlanmıştır.

Isı denge metodu, detaylı oluşu ve saatlik-dinamik girdileri ile kabullerin azaltıldığı ve fiziksel duruma en yakın sonuçların elde edilebildiği, gerçeğe en yakın sonuçları veren yöntemdir. Güneş kazançları ve iç kazançlar detaylı şekilde hesaplanarak, iç yüzey sıcaklıkları her bir yüzey için ayrı tanımlanarak, doğal havalandırma, gölgeleme, ısı kütle, HVAC ekipmanları dahil edilerek ısı denge metodu oluşturulmuştur. (Yaman ve Gökçen, 2009)

Bugüne kadar önerilen soğutma enerjisi harcamaları hesap yöntemlerinin temeli olan ve gerçeğe en yakın sonucun elde edilebildiği ısı denge yöntemi karmaşık olup, bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

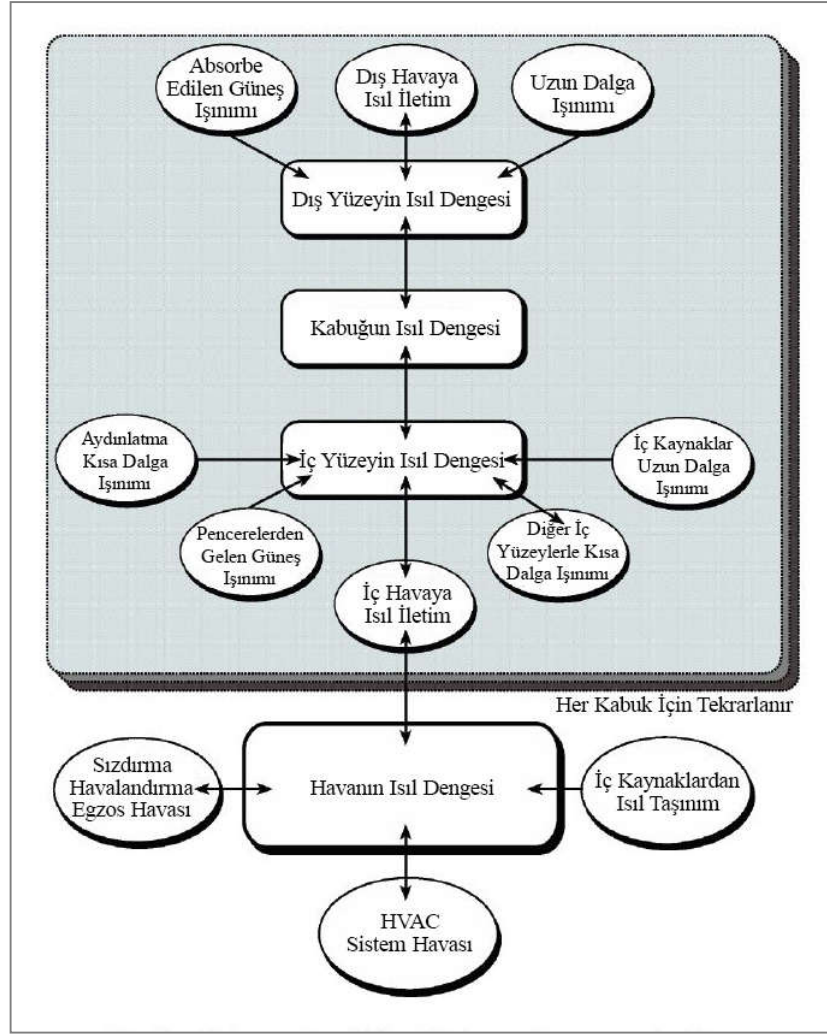
Bu metoda ait akış şeması Şekil 3.4’de görülmektedir.



Şekil 3.4 : ASHRAE ısıl denge yöntemi akış şeması. (Rees ve diğ, 2000)

Isıl denge yönteminde belirli kabullerde bulunmaktadır:

- Bir mekandaki iç hava sıcaklığı mekanın her yerinde homojendir.
- Kabuk iç yüzeyleri; düzgün yüzey sıcaklıklarına, düzgün uzun dalga ve kısa dalga ışıınımına, yaygın ışıınım yüzeylerine ve tek boyutlu ısı iletimine sahiptir.
- Isıl denge, dört süreçte ele alınır: (Şekil 3.5)
 1. Kabuk-dış yüzey ısıl dengesi
 2. Kabuk ısıl dengesi
 3. Kabuk-iç yüzey ısıl dengesi
 4. Hava için ısıl denge. (ASHRAE, 2009)



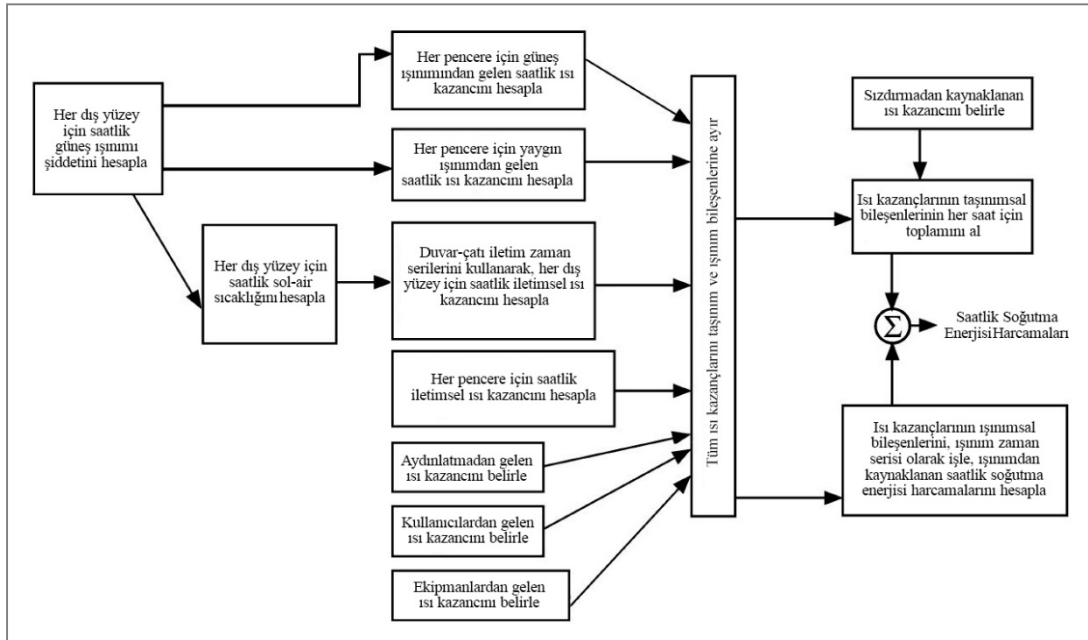
Şekil 3.5 : Isıl denge denklemleri elemanları. (Pedersen ve diğ,1997)

Şekil 3.5'te her bir opak yüzey için ısı denge süreçlerinin ilişkisi görülmektedir. Diyagramın üst kısmındaki kutucukta yer alan aşamalar ayrı ayrı her bir yüzey için gerçekleşmektedir. Saydam yüzeyler için de süreç benzerdir fakat iletim sürecinde güneş kazancı yalnızca dış yüzeyden değil; hem iç hem dış yüzeyden gerçekleşmektedir. Her bir opak ve saydam bileşen, ısı denge denklemlerine ayrı ayrı değerlendirilerek katılmaktadır. (ASHRAE, 2009)

Bu yöntemde ele alınan dört ısı denge süreci, iletim ve taşınım parametreleri açısından birbirleriyle bağlantılıdır. Saatlik verilerin dahil edilmesi ve detaylı hesaplama yaklaşımı, yöntemin uygulanmasında bilgisayar yazılımı kullanımını gerekli kılmaktadır. Isı denge yöntemi için EnergyPlus yazılımı kullanılmaktadır. (Yaman ve Gökçen, 2009)

3.3.5 Işınım zaman serisi yöntemi (Radiant time series - RTS)

Işınım zaman serisi yöntemi, ısıl denge yönteminden türetilmiş, soğutma yükü hesaplamaları için kullanılan basitleştirilmiş bir yöntemdir. Isıl denge hariç, tüm diğer basitleştirilmiş yöntemlerin (TFM,CLTD/CLF,TETD/TA) yerini almıştır. Güvenilir, çok fazla işlem gerektirmeyen ve her bileşenin toplam soğutma yüküne etkisini hesaba katan bu yöntem, farklı yapı ve alan tiplerinin soğutma yükü üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve karşılaştırılması için imkan sağlamaktadır. Maksimum tasarım yükü hesaplamaları için uygun olsa da, kendine özgü sınırlayıcı varsayımları nedeniyle yıllık enerji simülasyonlarında kullanılmamalıdır.(ASHRAE, 2009) Bu yönteme ait akış şeması Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6 : Işınım zaman serisi yöntemi akış şeması. (ASHRAE, 2009)

RTS yönteminin öngördüğü kabuller:

- Isı kazancı, ışıını ve taşınım olarak ayrılır.
- Işınım kazançlarına uygun ışıını zaman serisi uygulanır.
- Taşınım ısı kazanımları ile geciktirilmiş ışıını kazanımları toplanarak soğutma enerjisi harcamaları hesaplanır.

Bu yöntemde kullanılan tablolar, CLTD/SCL/CLF metodundan daha az ve kullanımı daha kolaydır. RTS yöntemiyle soğutma yükü öncelikle ısı kazançları hesaplanarak bulunur. CLTD/SCL/CLF metodunda ise direkt olarak soğutma enerjisi harcamaları hesaplanmaktadır. (Bulut ve diğ, 2006)

RTS yöntemiyle ısı depolama özelliklerinin belirlenebilmesi ile birlikte, bina için uygun yapı elemanlarının seçilmesinde çok büyük kolaylık sağlanmıştır. RTS yöntemi, yaptığı detaylı hesaplarla CLTD/SCL/CLF yönteminden daha güvenilirdir. (Aktacir ve diğ, 2003)

Isıl denge (HB) ve ısıtım zaman serisinden (RTS) önceki hesap yöntemleri, günümüzde deneyimli tasarımcılar tarafından kullanılmaya devam etmektedir.

TETD/TA yönteminde zamana bağlı ortalama için uygun periyodun seçilmesi, TFM yönteminde yuvarlanan sonuca uygun bir güvenlik faktörünün seçilmesi, CLTD/CLF yönteminde, kullanılacak faktörlerin tablodan seçilmesi gibi adımlar, tasarımcının kabullerine bağlı olarak hesaplamanın sonucunu etkileyen parametrelerdir. (ASHRAE, 2009)

Isıl denge (HB) ve ısıtım zaman serisi (RTS) yöntemleri, bu kabullere olan bağılılığı azaltmıştır. Ancak tüm soğutma enerjisi harcaması hesaplamalarında gerçeğe yakınlık; doğru verilerin kullanılmasına ve tasarımcının sonuçları analiz etme deneyimine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Isıl denge yöntemi, soğutma enerjisi harcamalarını hesaplarken, bina kabuğunun termofiziksel özelliklerini, ortamdaki ısı kazançlarını ve dış iklimsel verileri diğer yöntemlere göre daha kapsamlı olarak ele almakta ve tablolara dayalı kabuller yerine, gerçek verileri kullanmaktadır. Bu nedenle soğutma enerjisi harcamaları hesaplamalarında ısı denge yönteminin kullanılması, diğer yöntemlere göre gerçeğe en yakın sonuçları vermektedir.

4. SICAK KURU İKLİM BÖLGELERİNDE BİNA KABUĞU ISIL PERFORMANSININ YAZ KONFOR KOŞULLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA

Bu bölümde Türkiye'nin sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır şehrinde yer alan bir binada soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak amacıyla yaz konfor koşullarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak bina kabuğunun dinamik ısı özelliklerinin (zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü, ısı girişimlilik değeri, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi) hesaplamalarında EN ISO 13786 ve EN ISO 13790 standartlarında belirtilen hesap yöntemlerine göre yazılmış “Dynamic Thermal Properties Calculator” programı; yaz dönemi soğutma enerjisi harcamaları, iç hava, iç yüzey ve dış hava sıcaklığı değişim eğrileri hesaplamalarında ise ısı denge hesap yöntemini kullanan “EnergyPlus” yazılımının kullanıcı dostu arayüzü ve dinamik ısı bir simülasyon programı olan “Design Builder” programı; kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda, geliştirilen bina kabukları için gerçekleşen yıllık soğutma enerjisi harcamaları ile günlük ve haftalık iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklığı değişim değerleri; bina kabuklarının dinamik ısı özellikleri (zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü, ısı girişimlilik değeri, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi) açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Uygulama çalışmasında yapılan kabuller ve izlenen yol aşağıdaki gibidir.

4.1 Dış Çevreye Ait İklim Verilerinin Belirlenmesi

Türkiye’de sıcak-kuru iklim bölgesinin özelliklerini karakteristik olarak temsil eden Diyarbakır ili, yapılacak çalışma için dış çevre olarak seçilmiştir.

Simülasyonlarda ele alınan Diyarbakır iline ait .epw (energy plus weather) formatındaki hava sıcaklığı, güneş ışınımı, hava hareketi ve nemlilik gibi dış iklimsel veriler Design Builder simülasyon programında hesaplamalar için kullanılmıştır.

4.2 İç Çevreye Ait İklim Verilerinin Belirlenmesi

Soğutma sistemi olarak seçilen elektrikli sistemin hafta içi akşam 18:00 sabah 08:30 arası, haftasonları da tüm gün boyunca devreye gireceği kabul edilmiştir.

İç hava sıcaklığı konfor değeri soğutmanın istendiği dönem için 26°C olarak belirlenmiştir. Soğutma enerjisi harcamalarının belirlenmesinde iç hava sıcaklığı konfor değerinin üst sınır değeri ise 29°C olarak kabul edilmiştir.

4.3 Binaya İlişkin Soğutma Enerjisi Harcamalarını Etkileyen Yapma Çevre Değişkenlerinin Belirlenmesi

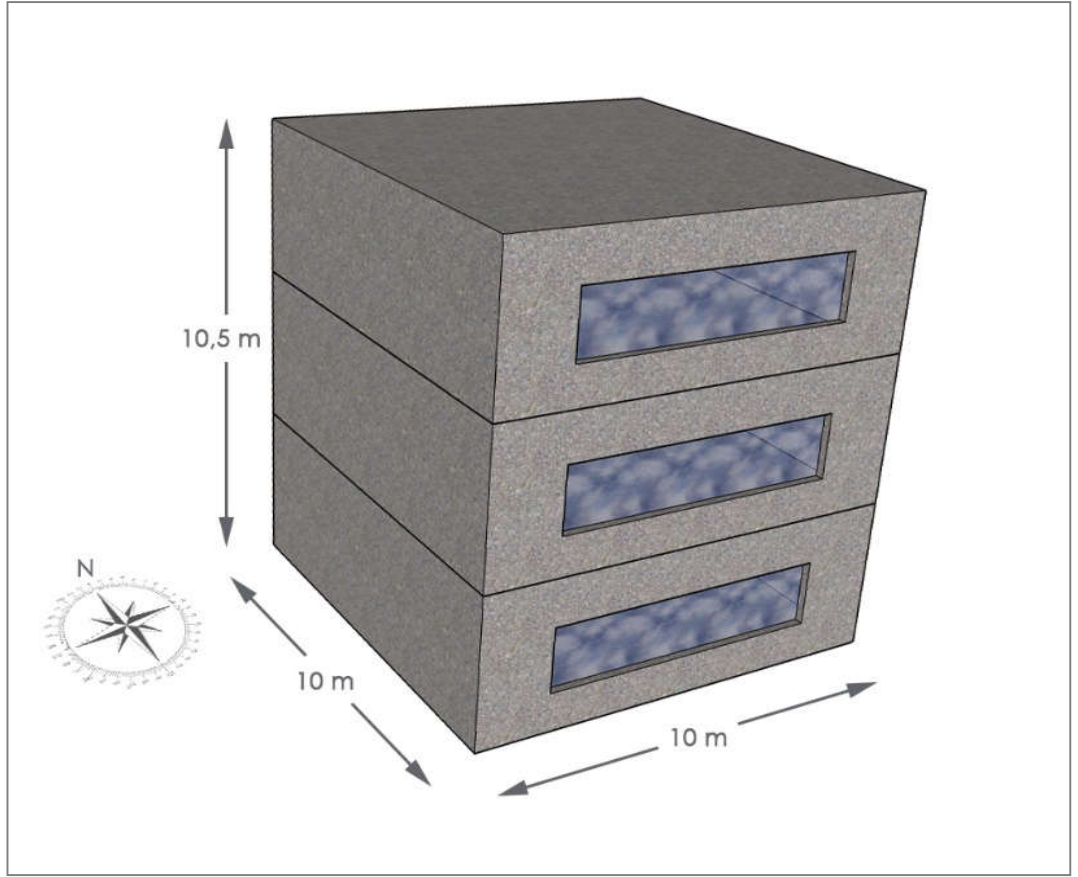
Binalarda soğutma enerjisi harcamalarının belirlenebilmesi için bina kabuğundan ısı geçişinde doğrudan etkili olan binaya ilişkin yapma çevre değişkenlerine ait değerler belirlenmelidir.

4.3.1 Binanın yeri ve diğer binalara göre konumunun belirlenmesi

Ele alınan bina soğutma enerjisi harcamalarının, ısıtma enerjisi harcamalarına göre daha öncelikli olduğu, sıcak-kuru iklim bölgesinde bulunan Diyarbakır ilinde yer almaktadır. Diyarbakır, Türkiye'nin güney doğusunda, Güney Dogu Anadolu bölgesinde 37° 55' kuzey enlemi ve 40° 12' doğu boylamında yer almaktadır. Çalışmanın eğimsiz bir arazide gerçekleştiği ve ele alınan binanın diğer binalar tarafından gölgelenmediği varsayılmıştır.

4.3.2 Binanın formunun ve yönlendiriliş durumunun belirlenmesi

Uygulamada ele alınan bina taban alanı 100 m² (10x10 m) olan 3 katlı bir binadır. Hesaplamalarda tüm mekanlarda iç hava sıcaklığının eşit olduğu ve binaya ait iç duvar ve döşemelerinin tümü kaldırılarak binaların tek bir hacimden oluştuğu kabul edilmiş ve binanın ısı kayıp ve kazanç hesaplamalarında tüm hacmi esas alınmıştır. Binanın Design Builder programıyla modellenmiş 3 boyutlu görseli ve yönlendiriliş durumu Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Ele alınan binanın boyutları ve yönlendiriliş durumu.

4.3.3 Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Tüm hesaplamalar için binanın güney cephesinde % 30, kuzey cephesinde ise %10 saydamlık oranına sahip olduğu kabul edilmiştir. Ele alınan binada kullanılan ahşap doğramalı hava boşluklu low-e çift cam pencerenin toplam ısı geçirme katsayısı $U=1,772 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak alınmıştır.

Opak bileşeni oluşturan malzemeler TS 825 kapsamındaki çağdaş malzemeler ve Türkiye'nin sıcak-kuru iklim bölgesinde sıkça kullanılan geleneksel malzemelerden seçilmiştir. Opak kabuk alternatifleri oluşturmak için kullanılan malzemeler ve termofiziksel özellikleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Çalışmada kullanılan malzemelerinin termofiziksel özellikleri. (Adin, 2007; ASHRAE, 2009; Cabeza, 2010; CIBSE , 2006; Dilmaç, 1989; Günerhan,2004; Ilgaz,1979; Incropera,1990; Kakaç,1998; Özel, 2011; Szokolay, 2004; Yücesoy, 1984).

MALZEME LİSTESİ	Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayımlı Katsayısı
	λ W/m-K	c J/Kg-K	ρ Kg/m ³	α m ² /sec
Çağdaş Ana Duvar Malzemeleri				
Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07
Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07
Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07
Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07
Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07
Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07
Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07
Briket	0,92	840	1600	6,85E-07
Geleneksel Ana Duvar Malzemeleri				
Alker	0,64	720	1808	4,92E-07
Bazalt	1,51	1500	2800	3,60E-07
Kumtaşı	1,85	712	2235	1,16E-06
Kireçtaşı	1,26	908	2483	5,59E-07
Mardin Taşı	0,8	988	1580	5,12E-07
Kerpiç	1,25	1000	2050	6,10E-07
Toprak	0,52	1842	2050	1,38E-07
Sıva ve Kaplama Malzemeleri				
Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07
Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07
Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07
Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07
Ahşap Kaplama (Akçağaç, Meşe)	0,16	1255	720	1,77E-07
Doğal Taş Kaplama (Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06
Yapıştırma Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06
Döşeme Malzemeleri				
Beton	1,13	1000	2000	5,65E-07
Tesviye Şapı	0,41	840	1200	4,07E-07
Cüruf Betonu	0,58	960	1400	4,32E-07
Granit	1,73	816	2643	8,02E-07
Çakıl	0,36	840	1840	2,33E-07
Yalıtım Malzemesi				
Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07

Seçilen malzemelere göre elde edilen bina kabuğu (duvar, döşeme ve tavan) bileşenlerinin toplam ısı geçirme katsayıları, TS 825'te belirtilen sınır değerler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Buna göre Diyarbakır 2. Bölge'de duvar ve zemin katmanlaşması için toplam ısı geçirme katsayısı $U=0,57$ W/m²K, tavan katmanlaşmasının ısı geçirme katsayısı $U=0,38$ W/m²K olarak tanımlanmıştır. (Çizelge 4.2)

Çizelge 4.2 : TS 825’te bölgelere göre verilmiş U değerleri.

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	U_p (W/m ² K)
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

Çağdaş malzemelerden oluşan bina kabuğu alternatiflerinin belirlenmesinde, farklı ana duvar malzemesi ve farklı iç yüzey kaplama malzemeleri kullanılmış, dış kaplama ve yalıtım malzemeleri değiştirilmemiştir.

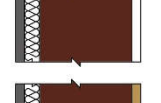
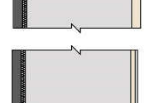
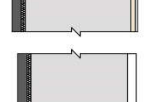
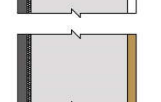
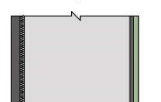
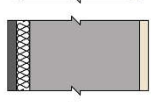
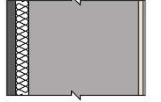
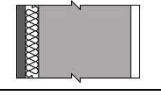
TS. 825’deki $U=0,57$ W/m²K sınır değerinin sağlayan kabuk alternatifleri oluşturulurken, 8 farklı ana duvar malzemesi ve 5 farklı iç yüzey kaplama malzemesi değiştirilerek 40 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Bu katmanlara ek olarak doğal taşlar ve diğer yığma geleneksel duvar malzemeleri kullanılarak, $U= 0,57$ W/m²K değerini sağlayan 6 farklı kabuk alternatifi oluşturularak toplamda 46 farklı kabuk alternatifi türetilmiştir. (Çizelge 4.3)

Kabuk alternatiflerinin karşılıklı analizinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için tüm ele alınan binalarda döşeme ve tavanlar için sabit katmanlaşma detayları kullanılmıştır. (Çizelge 4.4)

Çizelge 4.3 : TS 825'te bölgelere göre verilmiş U değerleri.

Kabuk Alternatifleri			Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayınlım Katsayısı	Kalınlık	Toplam Isı Geçirime Katsayısı
			λ	c	ρ	α	d	U
			W/m-K	J/Kg-K	Kg/m³	m²/sec	cm	W/m²-K
BM1		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5	
		3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	23,7	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
BM2		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5	
		3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	23,6	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5	
BM3		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5	
		3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	21,3	
		4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
BM4		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5	
		3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	21,4	
		4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
BM5		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5	
		3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	24,1	
		4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
		5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
BR1		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6	
		3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	28,3	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
BR2		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6	
		3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	27,7	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	1,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
BR3		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6	
		3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	20,0	
		4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
BR4		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6	
		3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	20,5	
		4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
BR5		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6	
		3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	29,5	
		4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
		5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
DET1		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
		3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	22,5	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
DET2		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
		3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	25,4	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5	
DET3		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
		3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	21,7	
		4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
DET4		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
		3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	21,9	
		4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	

Çizelge 4.3 (devam): TS 825'te bölgelere göre verilmiş U değerleri.

Kabuk Alternatifleri			Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayımlım Katsayısı	Kalınlık	Toplam Isı Geçirme Katsayısı
			λ	c	ρ	α	d	U
			W/m-K	J/Kg-K	Kg/m ³	m ² /sec	cm	W/m ² -K
DET5		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	
		3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	26,2	
		4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
		5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
DOT1		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
		3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	28,8	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
DOT2		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
		3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	28,6	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	1,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
DOT3		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
		3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	20,7	
		4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
DOT4		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
		3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	21,1	
		4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
		5 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
DOT5		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	
		3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	30,0	
		4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
		5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
G1		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0	
		3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	24,1	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
G2		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0	
		3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	24,0	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	1,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
G3		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0	
		3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	22,0	
		4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
G4		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0	
		3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	22,0	
		4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
		5 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
G5		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0	
		3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	24,3	
		4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
		5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
HAB1		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9	
		3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	25,8	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
HAB2		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9	
		3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	25,4	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	1,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
HAB3		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9	
		3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	20,8	
		4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	

Çizelge 4.3 (devam): TS 825'te bölgelere göre verilmiş U değerleri.

Kabuk Alternatifleri			Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayınlam Katsayısı	Kalınlık	Toplam Isı Geçirime Katsayısı
			λ	c	ρ	α	d	U
			W/m-K	J/Kg-K	Kg/m ³	m ² /scc	cm	W/m ² -K
HAB4		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9	
		3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	21,0	
		4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
HAB5		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9	
		3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	26,5	
		4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
		5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
HPB1		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,0	
		3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	26,0	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
HPB2		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,0	
		3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	25,5	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	1,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
HPB3		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,8	
		3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	20,8	
		4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
HPB4		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,8	
		3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	21,3	
		4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
HPB5		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,8	
		3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	28,4	
		4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
		5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	
NAB1		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1	
		3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	28,3	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0	
NAB2		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1	
		3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	27,1	
		4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	1,0	
		5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,92E-07	0,5	
NAB3		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,9	
		3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	20,8	
		4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	
NAB4		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,9	
		3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	21,4	
		4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	
NAB5		1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1	
		3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	31,0	
		4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	
		5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2	

Çizelge 4.3 (devam): TS 825'te bölgelere göre verilmiş U değerleri.

Kabuk Alternatifleri			Isı İletkenlik Katsayısı λ W/m-K	Özgül Isı c J/Kg-K	Yoğunluk ρ Kg/m ³	Isıl Yayımlı Katsayısı α m ² /sec	Kalınlık d cm	Toplam Isı Geçirimi Katsayısı U W/m ² -K
AL		1 Alker	0,64	720	1808	4,92E-07	10,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	
		3 Alker	0,64	720	1808	4,92E-07	23,0	
BA		1 Bazalt	1,51	1500	2800	3,60E-07	10,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	
		3 Bazalt	1,51	1500	2800	3,60E-07	68,0	
KE		1 Kerpiç	1,25	1000	2050	6,10E-07	10,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	
		3 Kerpiç	1,25	1000	2050	6,10E-07	54,5	
Kİ		1 Kireçtaşı	1,26	908	2483	5,59E-07	10,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	
		3 Kireçtaşı	1,26	908	2483	5,59E-07	55,0	
KU		1 Kumtaşı	1,85	712	2235	1,16E-06	10,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	
		3 Kumtaşı	1,85	712	2235	1,16E-06	85,5	
MA		1 Mardin Taşı	0,8	988	1580	5,12E-07	10,0	0,57
		2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	
		3 Mardin Taşı	0,8	988	1580	5,12E-07	31,3	

Çizelge 4.4 : Çatı ve zemine oturan döşeme detayları.

	U _D (W/m ² K)	U _T (W/m ² K)	U _t (W/m ² K)	U _p (W/m ² K)
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

4.3.4 Doğal havalandırmaya ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Gün içinde özellikle güney cephesinde yoğun güneş ışınımına maruz kalan bina kabuğunun gün boyunca depoladığı ısı enerjisini akşam saatlerinden itibaren iç mekana salması durumunda, yükselecek olan iç hava sıcaklığını doğal havalandırma ile dengelenmesi amaçlanmıştır. Bu durumda, ele alınan binaya ilişkin soğutma enerjisi harcamaları ve iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklıkları hesaplamalarında, doğal havalandırmanın gece 00.00 – sabah 06.00 arası aktif olacağı kabul edilmiştir. Doğal havalandırmanın aktif olduğu saatlerde yapma soğutma sistemi de devrededir.

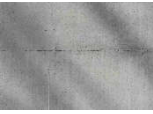
4.4 Bina Kabuğu Alternatifleri için Dinamik Isıl Özelliklerin (Zaman Geciktirmesi, Genlik Küçültme Faktörü, Isıl Girişimlilik Değeri, Alansal Isı Kapasitesi ve Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi) Hesaplanması

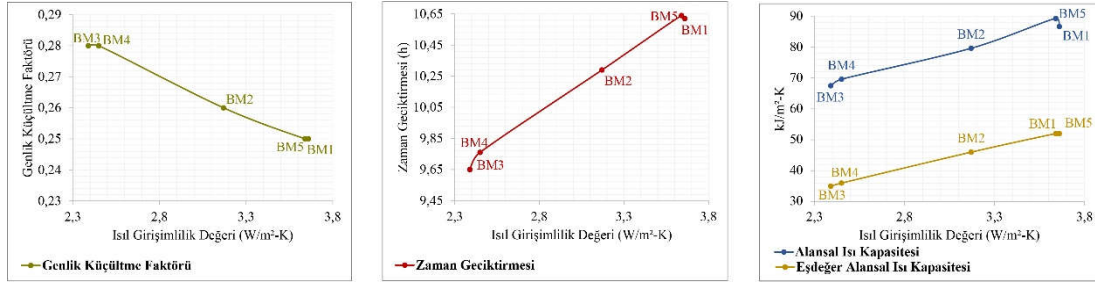
Çalışma kapsamında oluşturulan bina kabuklarının ısı performanslarının yaz konfor koşulları açısından değerlendirilebilmesi için ısı geçişinde doğrudan etkili olan dinamik ısı özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle zaman

geciktirmesi, genlik küçültme faktörü, ısı girişimlilik değeri, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi gibi dinamik ısı özelliklerini hesaplamak için EN ISO 13786 ve EN ISO 13790 standartlarında belirtilen hesap metodlarına göre yazılmış “Dynamic Thermal Properties Calculator” programı kullanılmıştır. Bina kabuğunun dinamik ısı özellikleri, binadan bağımsız olarak, sadece kabuğun birim alanında gerçekleşen ısı davranışına ilişkin özelliklerdir. Hesaplamalar 24 saatlik periyotlar için gerçekleştirilmiştir. Hesaplama sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

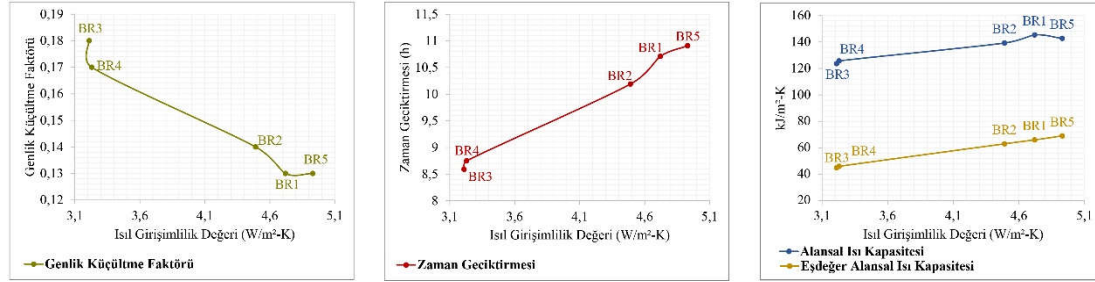
Bina kabuğunun ısı davranışı, ayırdığı ortamlardaki değişimden ziyade yüzeylerindeki değişimlerle ifade edildiğinden (Cihan ve Dilmaç, 2008); oluşturulan her bir bina kabuğu alternatifi için genlik küçültme faktörü, zaman geciktirmesi, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi gibi dinamik ısı değerlere ait değişim, bina kabuğunun iç yüzeyinden efektif bir derinliğe kadar hesaplanan ısı girişimlilik değerine bağlı olarak, Şekil 4.2-4.10’da grafiklerle ifade edilmiştir.

Çizelge 4.5 : Kabuk alternatiflerinin termodinamik özellikleri.

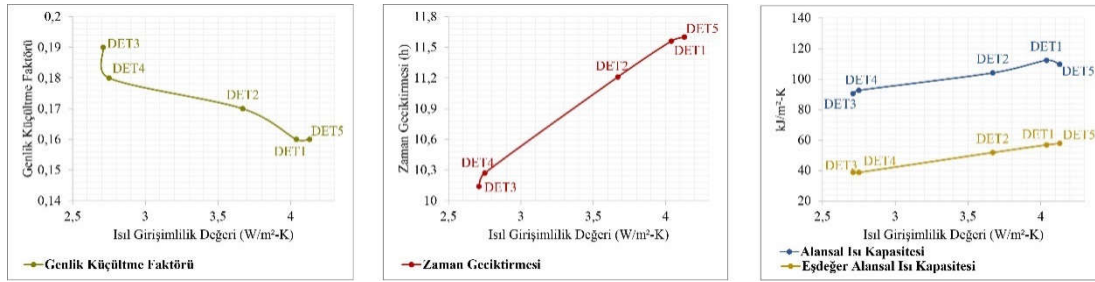
KABUK ALTERNATİFLERİ		Toplam Isı Geçirime Katsayısı	Isıl Girişimlilik Değeri	Zaman Geciktirmesi	Genlik Küçültme Faktörü	Alansal Isı Kapasitesi	Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi
		U	Y	ϕ	μ	K	K'
		W/m ² -K	W/m ² -K	h	boyutsuz	kJ/m ² -K	kJ/m ² -K
	BM1	0,57	3,64	10,64	0,25	89,23	52
	BM2	0,57	3,17	10,29	0,26	79,55	46
	BM3	0,57	2,39	9,65	0,28	67,39	35
	BM4	0,57	2,45	9,76	0,28	69,5	36
	BM5	0,57	3,66	10,62	0,25	86,58	52
	BR1	0,57	4,72	10,71	0,13	145,32	66
	BR2	0,57	4,49	10,19	0,14	139,14	63
	BR3	0,57	3,21	8,59	0,18	123,48	45
	BR4	0,57	3,23	8,75	0,17	125,59	46
	BR5	0,57	4,93	10,91	0,13	142,67	69
	DET1	0,57	4,04	11,56	0,16	112,2	57
	DET2	0,57	3,67	11,21	0,17	103,95	52
	DET3	0,57	2,71	10,14	0,19	90,36	39
	DET4	0,57	2,75	10,27	0,18	92,47	39
	DET5	0,57	4,13	11,6	0,16	109,55	58
	DOT1	0,57	4,76	12,83	0,08	177,8	66
	DOT2	0,57	4,52	12,58	0,08	173,65	63
	DOT3	0,57	3,18	10,13	0,12	155,96	45
	DOT4	0,57	3,2	10,33	0,11	158,07	45
	DOT5	0,57	4,98	13,12	0,07	175,15	70
	G1	0,57	3,38	8,25	0,46	66,69	50
	G2	0,57	2,83	7,92	0,48	55,6	43
	G3	0,57	2,14	7,46	0,49	44,85	33
	G4	0,57	2,21	7,56	0,49	46,96	34
	G5	0,57	3,35	8,17	0,47	64,04	50
	HAB1	0,57	4,29	11,98	0,12	133,8	60
	HAB2	0,57	3,97	11,62	0,13	126,9	56
	HAB3	0,57	2,89	10,22	0,16	111,96	41
	HAB4	0,57	2,92	10,32	0,15	114,07	41
	HAB5	0,57	4,42	12,1	0,12	131,15	62
	HPB1	0,57	5,24	10,1	0,11	205,8	73
	HPB2	0,57	5,07	9,83	0,12	203,4	71
	HPB3	0,57	3,45	8,89	0,12	183,96	48
	HPB4	0,57	3,46	9,04	0,12	186,07	48
	HPB5	0,57	5,53	10,62	0,1	203,15	77
	NAB1	0,57	5,42	10,07	0,1	222,12	75
	NAB2	0,57	5,27	9,66	0,11	220,74	73
	NAB3	0,57	3,55	8,5	0,11	200,28	50
	NAB4	0,57	3,56	8,66	0,11	202,39	50
	NAB5	0,57	5,75	10,6	0,09	219,47	80
	AL	0,57	4,22	12,24	0,15	130,17	59
	BA	0,57	6,02	9,47	0	420	83
	KE	0,57	5,29	21,44	0,01	205	73
	Kİ	0,57	5,38	22,59	0,01	225,45	74
	KU	0,57	5,41	22,69	0,01	159,13	74
	MA	0,57	4,59	15,04	0,07	156,1	63



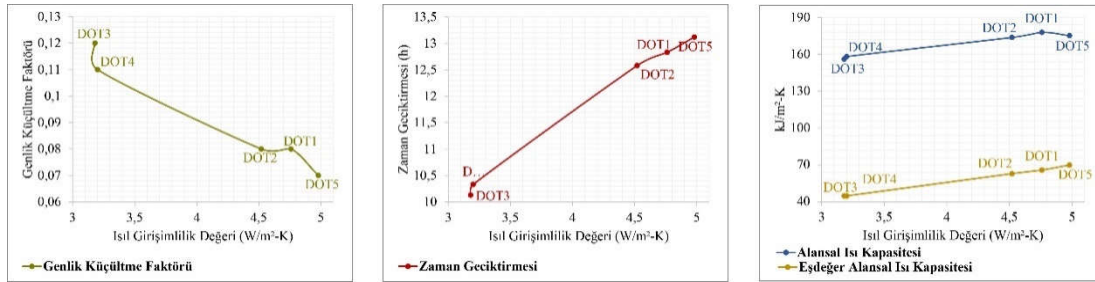
Şekil 4.2 : Bimsblok kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.



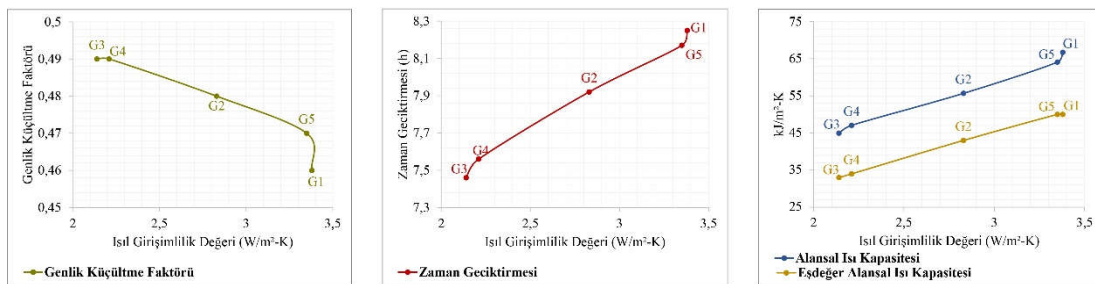
Şekil 4.3 : Briket kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.



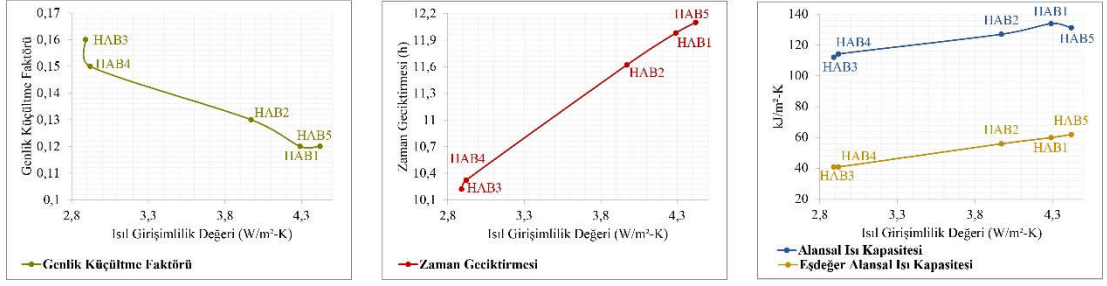
Şekil 4.4 : Delikli tuğla kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.



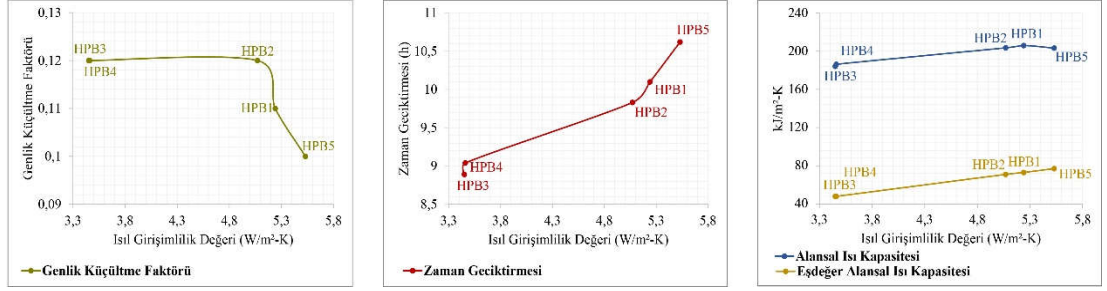
Şekil 4.5 : Dolu tuğla kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.



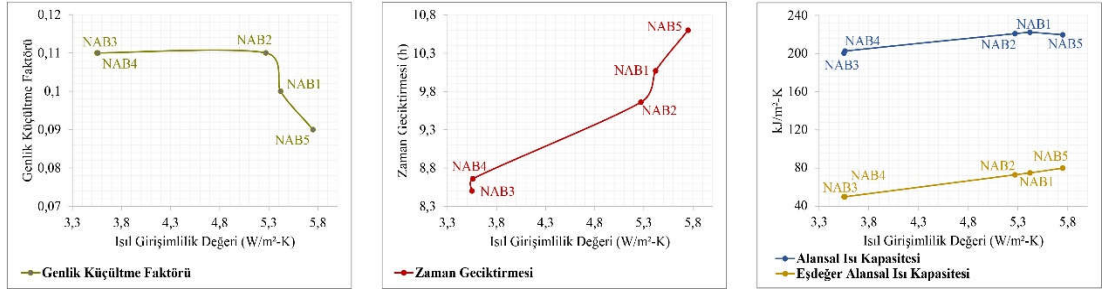
Şekil 4.6 : Gazbeton kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.



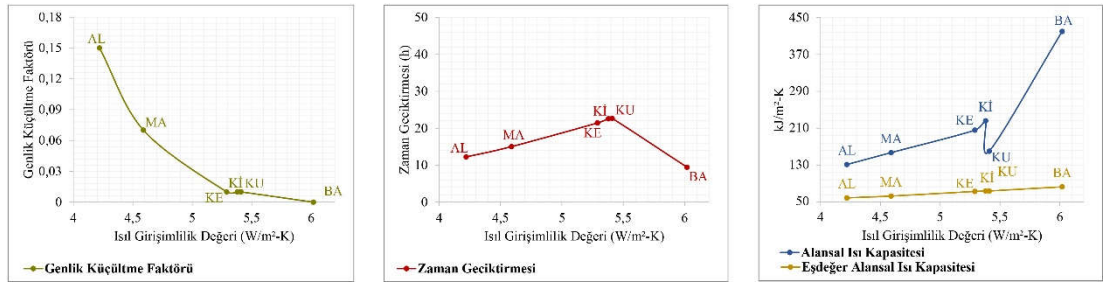
Şekil 4.7 : Hafif agregalı beton kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.



Şekil 4.8 : Hazır panel beton kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.



Şekil 4.9 : Normal agregalı beton kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.



Şekil 4.10 : Geleneksel kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özellikleri.

Hesaplama sonuçları, Bölüm 2.3.5'te açıklanmış olan aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir:

- Zaman geciktirmesi, dış ortamdaki sıcaklık veya ısı akısı değişiminin iç ortamdaki sıcaklık veya ısı akısı değişimini etkilemesi için geçen süre olarak kabul edildiğinden, bu değer büyüdükçe dış ortam iç ortamı daha geç etkileyeceğinden yaz konforu için olumlu görülmektedir. (Özşahin vd,2013)

Bina kabuğunda zaman geciktirme değerinin artması genlik küçültme değerini düşürecektir.

- Buna ek olarak zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü binanın ısı kapasitesi üzerinde belirleyici rol oynar. Alansal ve eşdeğer alansal ısı kapasitesinin yüksek olması, zaman geciktirme değerinin artmasına genlik küçültme faktörünün ise azalmasına yol açacaktır. Zaman geciktirmesinin büyük, genlik küçültme değerinin küçük olması iç mekan konforu açısından istenen bir durumdur. (Özbalta ve Özbalta, 2012)
- Periyodik bir sıcaklık değişimi altında iç ortamdaki ısı akısı değişim genliğinin iç ortamdaki sıcaklık değişim genliğine oranı olarak ifade edilen ısı girişimlilik değeri, bina bileşeninin günlük devre içinde enerji depolama ve ortama verme yeteneğinin bir ölçüsüdür. (Çelik,1975) Bu nedenle bu değerin büyük olması, iç mekan konforu açısından istenen bir durumdur. (Özşahin vd, 2013) (MPA, 2012)

Hesaplamalar sonucunda zaman geciktirme değerlerine bakıldığında; geleneksel kabuk alternatiflerinden kumtaşının (KU) 22,69 saat ile tüm kabuk alternatifleri içerisinde en yüksek sonucu verdiği görülmüştür. Çağdaş kabuk malzemelerinde ise en yüksek zaman geciktirme değeri 13,12 saat ile dolu tuğlada (DOT5), en düşük zaman geciktirmesi ise 7,46 saat ile gazbeton (G3) kabuk alternatifinde görülmüştür.

Genlik küçülme faktörü değerlerine göre kabuk alternatifleri sıralandığında, bazaltın (BA) “0”a yaklaşarak tüm alternatifler içerisinde en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Çağdaş kabuk alternatifleri içerisinde ise “0,09” değeriyle normal agregalı beton (NAB6) en düşük genlik küçültme faktörüne sahip olmuştur. En yüksek genlik küçülme faktörü ise “0,49” değeri ile gazbetona (G3) aittir.

Kabuk alternatifleri ısı girişimlilik değerlerine göre sıralandığında bazaltın (BA) “6,02 W/m²-K” ile tüm alternatifler içerisinde en yüksek ısı girişimlilik değerine sahip olduğu görülmektedir. Çağdaş kabuk alternatifleri içerisinde ise “5,75 W/m²-K” değeriyle normal agregalı beton (NAB5), en yüksek ısı girişimlilik değerine sahip olmuştur. En düşük ısı girişimlilik değerine sahip kabuk alternatifi ise 2,14 W/m²-K” değeri ile (G3) gazbetondur.

Alansal ve eşdeğer alansal ısı kapasiteleri incelendiğinde, yine bazaltın (BA) tüm alternatifler içerisinde en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun

yanısıra normal agregalı beton (NAB1) alternatifi en yüksek alansal ısı kapasitesi değerine, (NAB5) alternatifi de en yüksek eşdeğer alansal ısı kapasitesi değerine sahip olmuştur. En düşük ısı kapasitesi değerleri ise gazbeton (G3) kabukta görülmüştür.

Ana duvar malzemelerinin farklı iç yüzey kaplamaları ile oluşturulmuş olan kabuk alternatifleri için yapılan değerlendirmede; ısıl girişimlilik değerinin zaman geciktirmesi, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi değerleri ile doğru orantılı ancak genlik küçültme faktörü değeri ile ters orantılı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tüm kabuk alternatifleri için, bina kabuğunun iç yüzey direncinin de hesaba katıldığı; eşdeğer alansal ısı kapasitesi (K'); ısıl girişimlilik ve zaman geciktirmesiyle doğru, genlik küçültme faktörüyle ters orantılı olarak değişim göstermiştir. Alansal ısı kapasitesi (K) değeri ise, kabuğun iç yüzey direncinden bağımsız olarak sadece özgül ısı, yoğunluk ve efektif derinliğe bağlı olarak değişim gösteren bir değer olduğundan, eşdeğer alansal ısı akısı eğilimine göre küçük sapmaların olduğu durumlar da oluşmuştur. Bu nedenle çalışmanın devamında, iç yüzey faktörünün de hesaba katıldığı, eşdeğer alansal ısı kapasitesi değeri kullanılacaktır.

Tüm kabuk alternatifleri ele alındığında, geleneksel kabukların hesaplanan ısıl dinamik değerler açısından en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Çağdaş kabuk alternatiflerinde ise; gazbeton ana duvar malzemesi dışında tüm ana duvar malzemeleri için 5 nolu - doğal taş kaplamalı- kabuk alternatifleri, hesaplanan dinamik ısıl özellikler yönünden en iyi sonuçları verirken; 3 ve 4 nolu kabuk alternatiflerine bakıldığında; iç yüzeydeki alçı plak ve ahşap kaplamanın, bina kabuğunun dinamik ısıl özelliklerini olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Tüm kabuk alternatifleri için hesaplanan dinamik ısıl özelliklerin sayısal değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmış şekilde EK.A'da verilmiştir.

4.5 Bina Kabuğu Alternatifleri için Soğutma Enerjisi Harcamalarının Hesaplanması

Bu çalışmada farklı kabuk alternatiflerinin yaz dönemi soğutma enerjisi harcamalarını hesaplamak için, tam dinamik hesap yöntemi olan ASHRAE Isıl Denge Metodu'nu kullanan EnergyPlus yazılımına ait bir arayüz olan DesignBuilder programı kullanılmıştır. Bu hesap metoduyla ilgili detaylı bilgi 3. bölümde verilmiştir.

Yaz simülasyonu için Nisan-Ekim ayları arasındaki 6 aylık dönem seçilmiştir. Hesaplama sonucu ele alınan binada kullanılan tüm katmanlaşma alternatifleri için elde edilen soğutma enerjisi harcamaları Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çalışma kapsamında oluşturulan tüm bina kabuğu alternatifleri için katmanlaşma malzemelerinin termofiziksel özellikleri, bina kabuğunun dinamik ısı özellikleri ve ele alınan binada gerçekleşen soğutma enerjisi harcamaları, EK B'de çizelgeler yardımıyla gösterilmiştir.

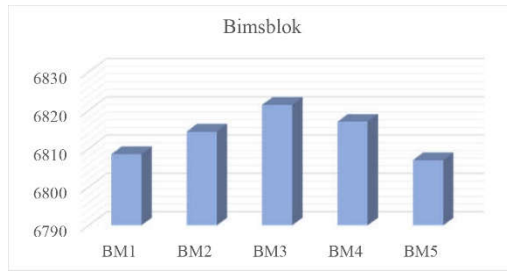
Çizelge 4.6 : Soğutma enerjisi harcamalarına göre tüm kabuk alternatifleri.

Soğutma Yüklerine (kWh) Göre Tüm Kabuk Alternatifleri ($U=0,57 \text{ W/m}^2\text{-K}$)		Kireç harçlı sıvalı	Alçı sıvalı	Alçı plaklı	Ahşap Kaplama	Doğal taş kaplamalı	İç Kaplama Yok
		1	2	3	4	5	6
Normal Agregalı Beton	NAB	6675,46	6685,1	6715,74	6710,78	6663,17	
Hazır Panel Beton	HPB	6699,84	6703,51	6723,74	6719,72	6687,68	
Dolu Tuğla	DOT	6709,39	6713,51	6740,48	6734,13	6704,33	
Briket	BR	6731,96	6737,16	6766,98	6761,19	6729,24	
Hafif Agregalı Beton	HAB	6748,43	6753,05	6767,24	6764,42	6745,39	
Delikli Tuğla	DET	6769,01	6774,28	6785,01	6779,51	6767,7	
Bimsblok	BM	6808,58	6814,47	6821,42	6817,05	6807,01	
Gazbeton	G	6876,01	6884,04	6899,04	6893,46	6878,89	
Bazalt	BA						6399,84
Kumtaşı	KU						6675,92
Kireçtaşı	Kİ						6752,21
Kerpiç	KE						6764,2
Mardin Taşı	MA						6838,56
Alker	AL						6852

Buna göre Bazalt (BA) ana duvar malzemesi ile oluşturulan binanın “6399,84 kWh” ile tüm alternatifler içerisinde en düşük soğutma enerjisi harcamasını gerçekleştirdiği görülmektedir. En yüksek soğutma enerjisi harcaması ise “6899,04 kWh” ile gazbeton (G3) ana duvar malzemesi ile oluşturulan binaya aittir.

Ele alınan kabuk alternatifleri tarafından gerçekleştirilen soğutma enerjisi harcamaları karşılaştırıldığında, Tüm kabuk alternatifleri içinde en yüksek soğutma enerjisi harcamalarını gerçekleştiren gazbetonun (G3), en düşük soğutma enerjisi harcamalarını gerçekleştiren bazalta (BA) göre %7,8 fazla enerji harcadığı görülmüştür.

Çağdaş ana duvar malzemelerinin farklı iç yüzey kaplamaları ile oluşturulmuş olan kabuk kombinasyonları incelendiğinde; gazbeton hariç her ana duvar malzeme grubu için, iç yüzeyi doğal taş kaplamalı -5 nolu- kabuk alternatifleriyle oluşturulmuş binaların soğutma enerjisi harcamalarının , diğer iç yüzey kaplamalı alternatiflerden daha düşük; gazbeton dahil her ana duvar malzeme grubu için, iç yüzeyi alçıplak kaplama olan -3 nolu- kabuk alternatifleriyle oluşturulmuş binaların soğutma enerjisi harcamalarının ise tüm diğer kabuk alternatifleri içerisinde en yüksek olduğu görülmektedir. (Şekil 4.11–4.18)



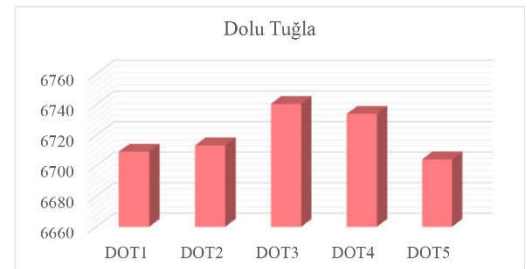
Şekil 4.11: Bimsblok kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.



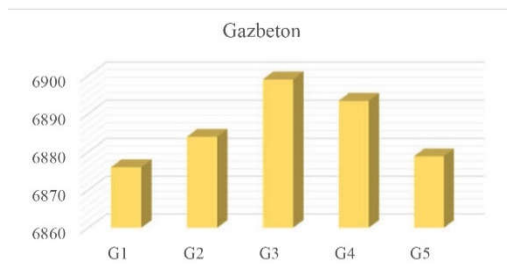
Şekil 4.12: Briket kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.



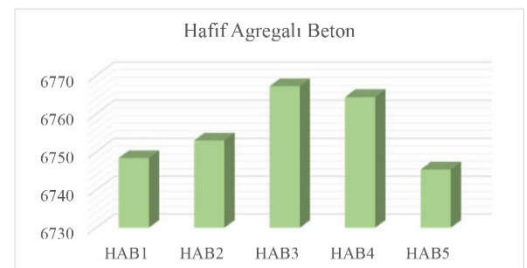
Şekil 4.13: Delikli tuğla kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.



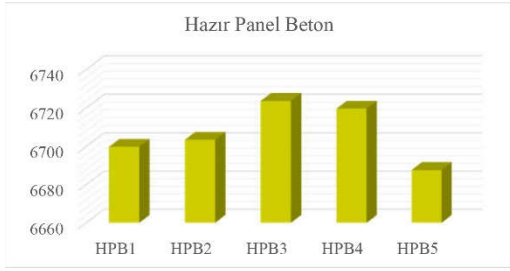
Şekil 4.14: Dolu tuğla kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.



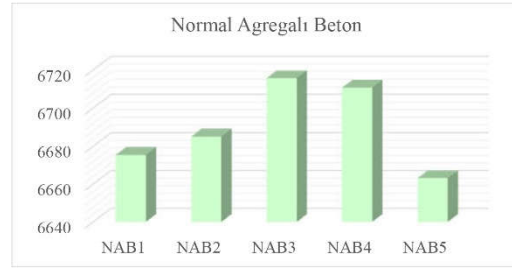
Şekil 4.15: Gazbeton kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.



Şekil 4.16: Hafif agregalı beton kabuk alt. için soğutma enerjisi harcamaları.



Şekil 4.17: Hazır panel beton kabuk alt. için soğutma enerjisi harcamaları.

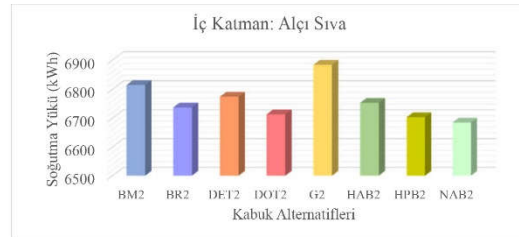


Şekil 4.18: Normal agregalı beton kabuk alt. için soğutma enerjisi harcamaları.

İç yüzey kaplama malzemelerinin farklı çağdaş ana duvar malzemeleri ile kombinasyonları sonucu gerçekleşen soğutma enerjisi harcamaları Şekil 4.19-4.23’de incelenmiştir. Buna göre sıcak – kuru iklimde gazbeton (G) ana duvar malzemesinin kullanımı, her koşulda en yüksek soğutma enerjisi harcamalarına neden olurken, normal agregalı beton (NAB) ana duvar malzemesi ile oluşturulan binalarda en düşük soğutma enerjisi harcamalarının gerçekleştiği görülmüştür.



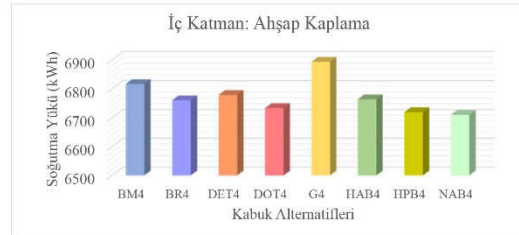
Şekil 4.19: Kireç harçlı sıva için soğutma enerjisi harcamaları.



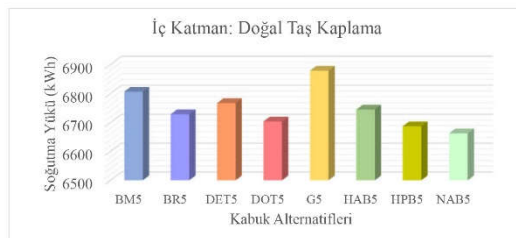
Şekil 4.20: Alçı sıva için soğutma enerjisi harcamaları.



Şekil 4.21: Alçı plak için soğutma enerjisi harcamaları.

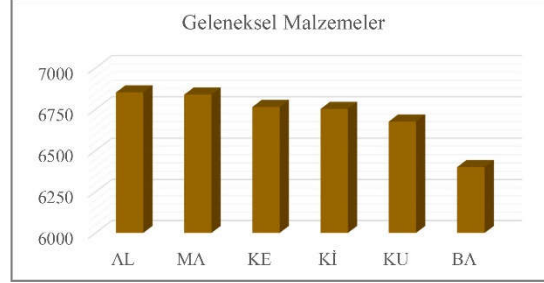


Şekil 4.22: Ahşap kaplama için soğutma enerjisi harcamaları.



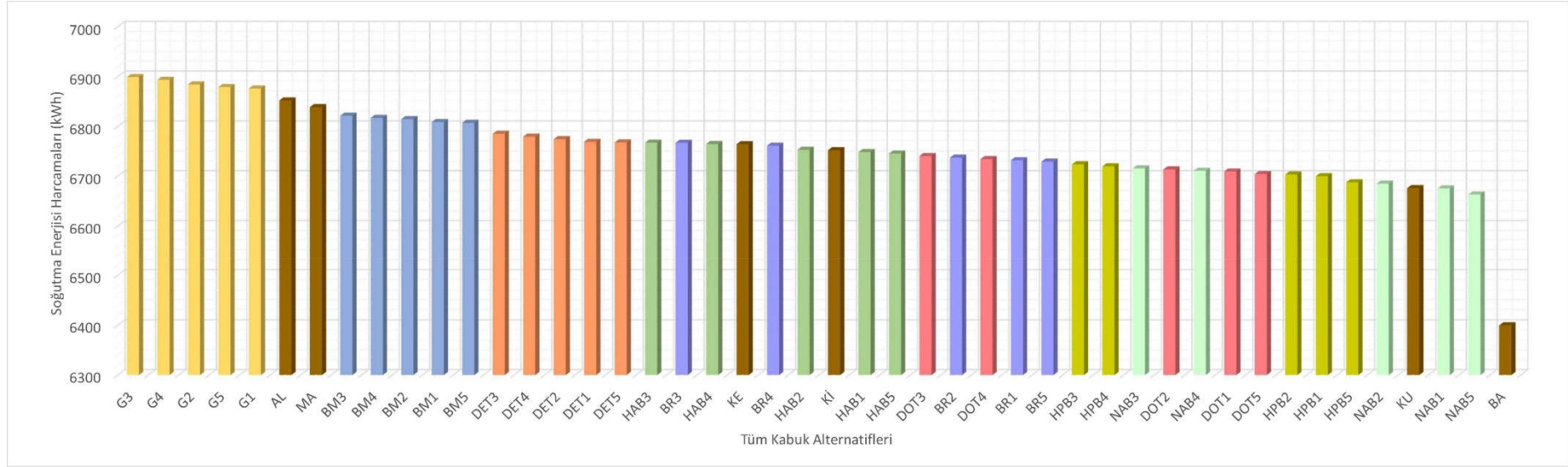
Şekil 4.23: Doğal taş kaplama için soğutma enerjisi harcamaları.

Geleneksel kabuk alternatifleri ile oluşturulan binalarda gerçekleşen soğutma enerjisi harcamaları incelendiğinde en düşük sonuçlar bazalt (BA), en yüksek sonuçlar Alker (AL) kabuk alternatiflerinin neden oldukları gözlemlenmiştir. (Şekil 4.24)



Şekil 4.24: Geleneksel kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.

Çalışma kapsamında ele alınan tüm kabuk alternatifleri için hesaplanmış soğutma enerjisi harcamaları büyükten küçüğe doğru, Şekil 4.25’ te sıralanmıştır. Buna göre en düşük soğutma enerjisi harcamaları, tüm bina kabuğu alternatifleri içinde, geleneksel bir malzeme olan bazalt (BA) ile çağdaş kabuk alternatifleri içinde normal agregalı beton (NAB5) tarafından; en yüksek soğutma enerjisi harcamaları ise tüm bina kabuğu alternatifleri içinde gazbeton (G) ile oluşturulan kabuk alternatiflerinde gerçekleşmiştir.

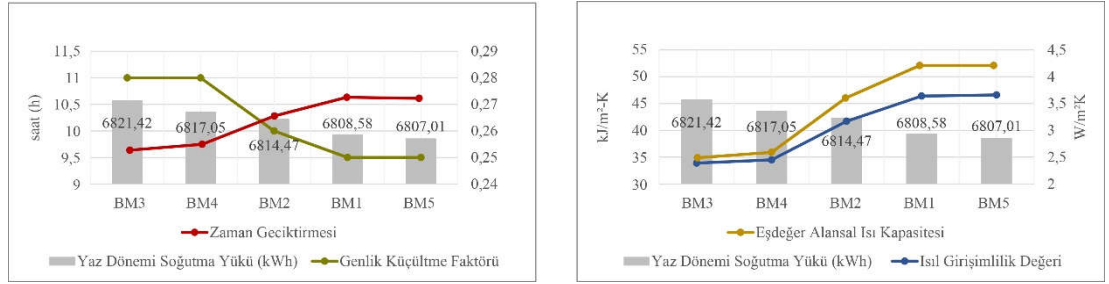


Şekil 4.25: Tüm kabuk alternatifleri için soğutma enerjisi harcamaları.

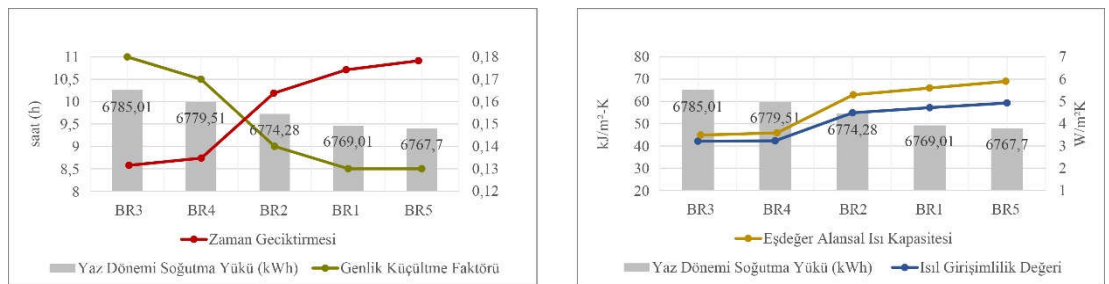
4.6 Bina Kabuğu Alternatifleri İçin Hesaplanan Soğutma Enerjisi Harcamalarının Bina Kabuklarının Isıl Dinamik Özellikleri (Zaman Geciktirmesi, Genlik Küçültme Faktörü, Isıl Girişimlilik Değeri ve Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi) Açısından Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında aynı toplam ısı geçirme katsayısına (U) sahip bina kabuğu alternatiflerinin, farklı ana duvar malzemeleri ve iç yüzey malzemeleri kullanımının, soğutma enerjisi harcamaları üzerindeki etkileri; kabuk alternatiflerinin özellikle iç yüzey malzemelerinin etkisinin gözlemlendiği zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü, ısıl girişimlilik değeri ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi değerleri ile birlikte ele alınarak analiz edilmiştir.

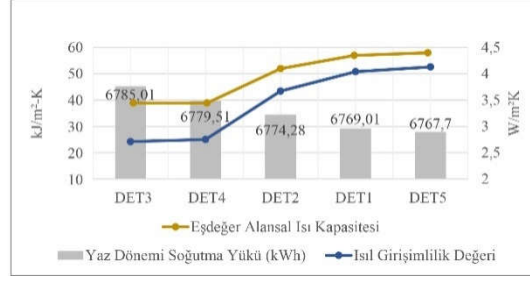
Çağdaş ana duvar malzemelerinin farklı iç yüzey kaplamaları ile oluşturulmuş olan kabuk kalternatifleri incelendiğinde; soğutma yüklerinin, genlik küçültme faktörüyle doğru, zaman geciktirmesi, ısıl girişimlilik değeri ve eşdeğer alansal ısı kapasitesiyle ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 4.26-4.33)



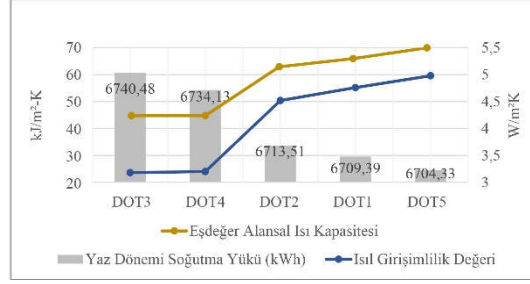
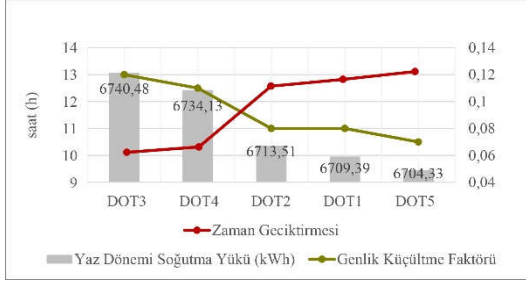
Şekil 4.26: Bimsblok kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.



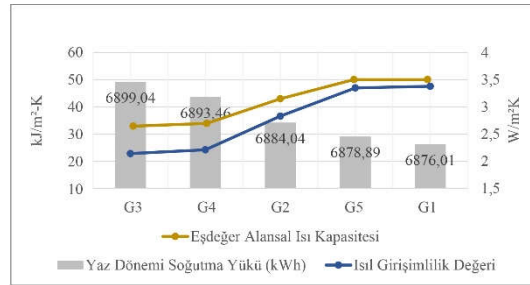
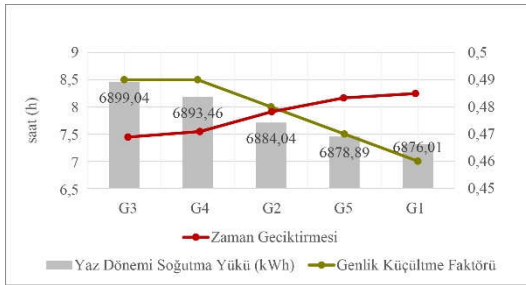
Şekil 4.27: Briket kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.



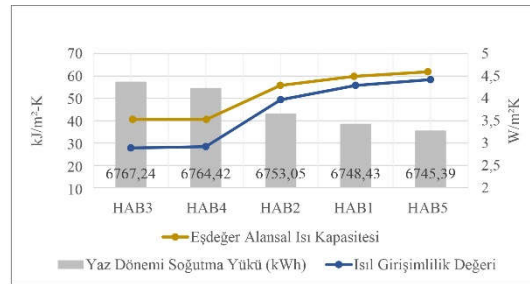
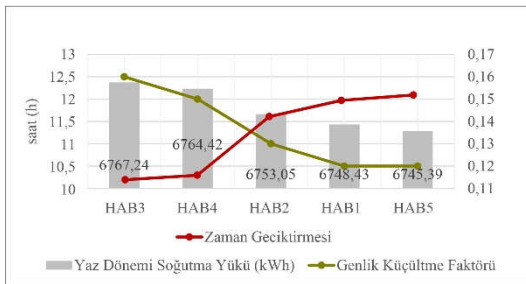
Şekil 4.28: Delikli tuğla kabuk alternatifleri için dinamik ısı özelliklerine göre soğutma enerjisi harcamaları.



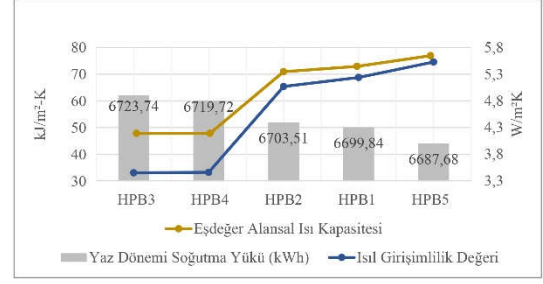
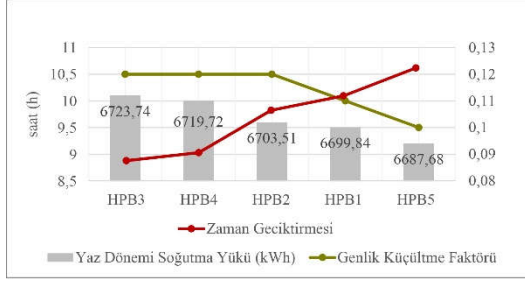
Şekil 4.29: Dolu tuğla kabuk alternatifleri için dinamik ısı özelliklerine göre soğutma enerjisi harcamaları.



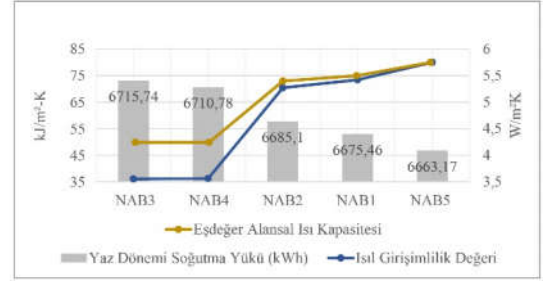
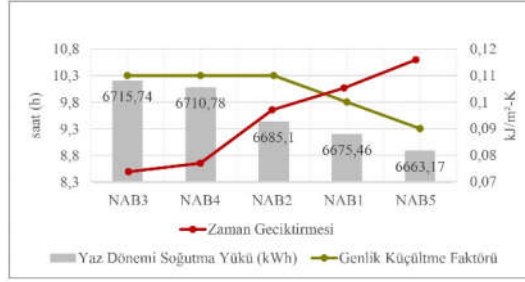
Şekil 4.30: Gazbeton kabuk alternatifleri için dinamik ısı özelliklerine göre soğutma enerjisi harcamaları.



Şekil 4.31: Hafif agregalı beton kabuk alternatifler için dinamik ısı özelliklerine göre soğutma enerjisi harcamaları.



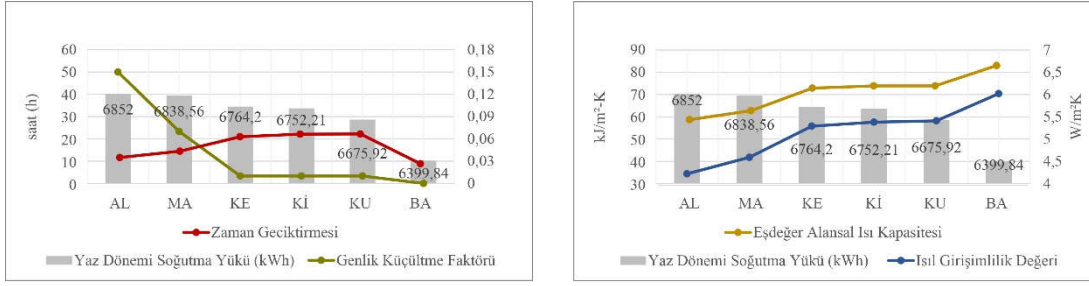
Şekil 4.32: Hazır panel beton kabuk alternatifler için dinamik ısı özelliklerine göre soğutma enerjisi harcamaları.



Şekil 4.33: Normal agregalı beton kabuk alternatifler için dinamik ısı özelliklerine göre soğutma enerjisi harcamaları.

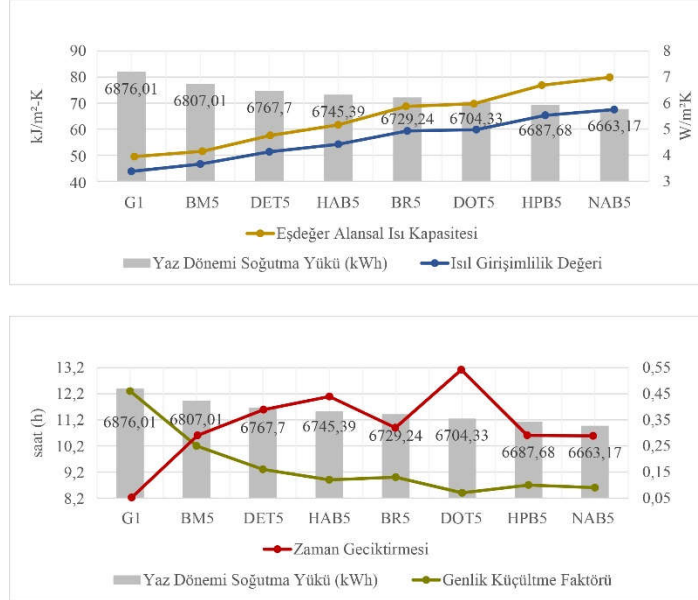
Her ana duvar malzemesi için farklı iç yüzey malzemeleri kullanılarak oluşturulan çağdaş kabuk alternatifleri kendi grupları içerisinde incelendiğinde, yüksek ısıl girişimlilik değeri ve eşdeğer ısı kapasitesine sahip olan doğal taş kaplama ve kireç harçlı sıvalı alternatiflerin, soğutma enerjisi harcamaları açısından, diğer kabuk alternatiflerine göre olumlu sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Buna karşın alçıplak ve ahşap kaplamalı alternatiflerin, ısıl girişimlilik değeri ve eşdeğer ısı kapasitelerinin düşük olduğu ve buna bağlı olarak soğutma enerjisi harcamaları açısından olumsuz sonuçlar verdikleri görülmektedir.

Geleneksel kabuk alternatiflerinin karşılaştırmalı değerlendirmesine bakıldığında; soğutma enerjisi harcamalarının, genlik küçültme faktörüyle doğru, ısıl girişimlilik değeri ve eşdeğer alansal ısı kapasitesiyle ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma enerjisi harcamalarının, bazalt hariç diğer malzemelerde zaman geciktirmesi değerleriyle ters orantılı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Sadece bina kabuğunun değil, tüm binanın hesaplamalara dahil edildiği, yıllık toplam soğutma enerjisi harcamaları değerlendirilirken, 4.4 adımında düşük zaman geciktirmesi değerlerine sahip olan BA kabuk alternatifinin en düşük sonuçları vermesi; kabuk kesitinde (81 cm.) gerçekleşen sıcaklık değişim döngüsünün 24 saatlik periyottan daha uzun bir periyotta ele alınması ile açıklanabilir. (Şekil 4.34)



Şekil 4.34: Geleneksel kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.

Çağdaş kabuk alternatiflerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi için, her ana duvar malzemesi grubundan, hesaplamalar sonucunda en düşük soğutma enerjisi harcamalarının gerçekleştiği kabuk alternatifleri karşılaştırıldığında; en yüksek ısıl girişimlilik değeri, eşdeğer alansal ısı kapasitesi ve en düşük genlik küçültme faktörü değerini sağlayan normal agregalı beton (NAB5) kabuk alternatifinin, en düşük soğutma enerjisi harcamasını gerçekleştirdiği görülmektedir. Gazbeton (G1) kabuk alternatifinin ise, sahip olduğu en düşük ısıl girişimlilik değeri, eşdeğer alansal ısı kapasitesi ve en yüksek genlik küçültme faktörü sonucu, en yüksek soğutma enerjisi harcamasını gerçekleştirdiği görülmektedir. (Şekil 4.35)



Şekil 4.35: Çağdaş kabuk alternatifleri için dinamik ısıl özelliklere göre soğutma enerjisi harcamaları.

Bölüm 2.3.5'te de anlatıldığı gibi farklı yalıtım kalınlıklarına sahip bu kabuk alternatiflerinde, zaman geciktirmesi değerinin eğiliminde, soğutma enerjisi harcamaları ve diğer dinamik ısıl özelliklerin verdiği sonuçlara göre sapmalar gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

4.7 Bina Kabuğu Alternatifleri için Günlük ve Haftalık İç Hava - İç Yüzey Sıcaklık Değerlerinin Hesaplanması

Çalışmanın son adımında; her ana duvar malzemesi grubundan hesaplamalar sonucunda en düşük soğutma enerjisi harcamalarını gerçekleştiren kabuk alternatifleri için iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklığı değişim eğrileri oluşturularak, binada oluşan iç konfor koşulları değerlendirilmiştir.

Kabuk alternatiflerinin herhangi bir yapma sistem etkisi altında kalmaksızın pasif performanslarının değerlendirilebilmesi için yapma soğutma sistemi devre dışı bırakılmıştır. Farklı kabuk alternatifleri için günlük iç hava ve iç yüzey sıcaklık değerlerini hesaplamak amacıyla, soğutma dönemini temsil eden 21 Temmuz günü seçilmiştir. Ancak sıcaklık salınımının 21 Temmuz'daki etkisini tam olarak anlayabilmek için iç yüzey ve iç hava sıcaklığı saatlik değerlerine ilişkin hesaplamalar 1 gün öncesinden başlatılarak önce 48 saat için yapılmıştır. Daha sonra binalarda en yüksek iç hava ve iç yüzey sıcaklıklarının, sıcak, bulutsuz ve güneşli günlerin arka arkaya sıralandığı sıcaklık dalgalarında görülmesi nedeniyle hesaplamalar, sıcaklık salınımının uzun süreli etkisini görebilmek için 21 Temmuz'un da içinde olduğu 1 haftalık bir süre için tekrarlanmıştır. (Çelik, 1975)

21 Temmuz gününe ait iç yüzey ve iç hava sıcaklığı değerleri aynı gün dış hava sıcaklığının maksimum olduğu saat için karşılaştırılmıştır. (Şekil 4.36-4.37) Aynı karşılaştırma 20-26 Temmuz tarihleri için tekrarlanmıştır (Şekil 4.38-4.39) Hesaplamalar için Design Builder programı kullanılmıştır.

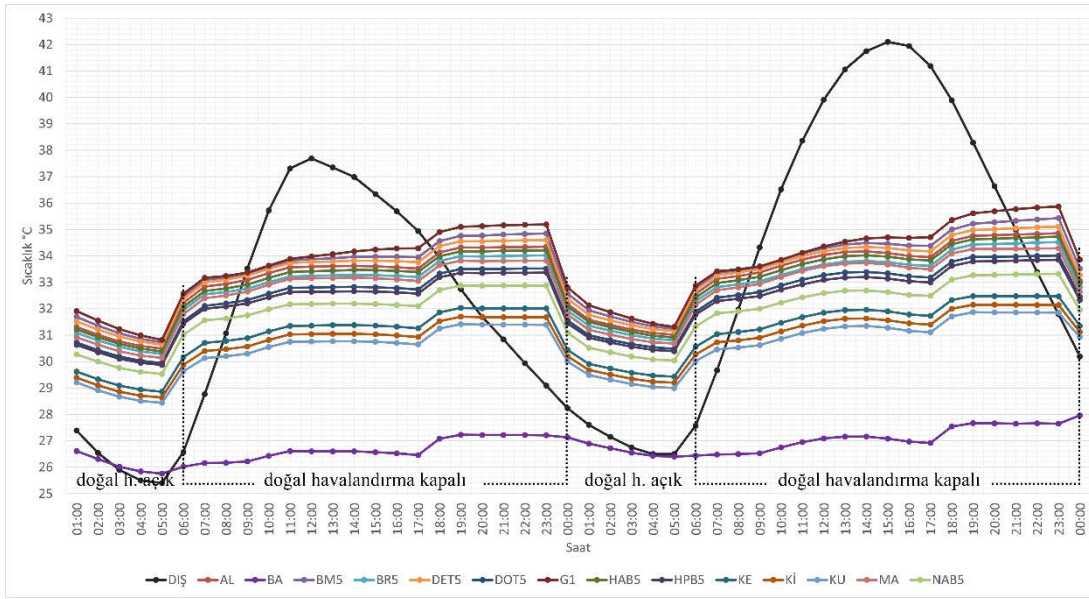
21 Temmuz için, dış hava sıcaklığının en yüksek $42,1^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığı saat 15:00'te;

En yüksek iç hava sıcaklığı $34,7^{\circ}\text{C}$ ile, en düşük ısıl girişimlilik değeri, eşdeğer alansal ısı kapasitesi ve en yüksek genlik küçültme faktörüne sahip olan gazbetonda (G1) gerçekleşmiştir. En düşük iç hava sıcaklığı ise $27,08^{\circ}\text{C}$ ile, en yüksek ısıl girişimlilik değeri, eşdeğer alansal ısı kapasitesi ve en düşük genlik küçültme faktörüne sahip olan bazaltta (BA) gerçekleşmiştir. Çağdaş kabuk alternatifleri içerisinde ise normal agregalı beton (NAB5) $32,63^{\circ}\text{C}$ ile, en düşük iç hava sıcaklığının gerçekleştiği kabuk alternatifi olmuştur. (Şekil 4.36)

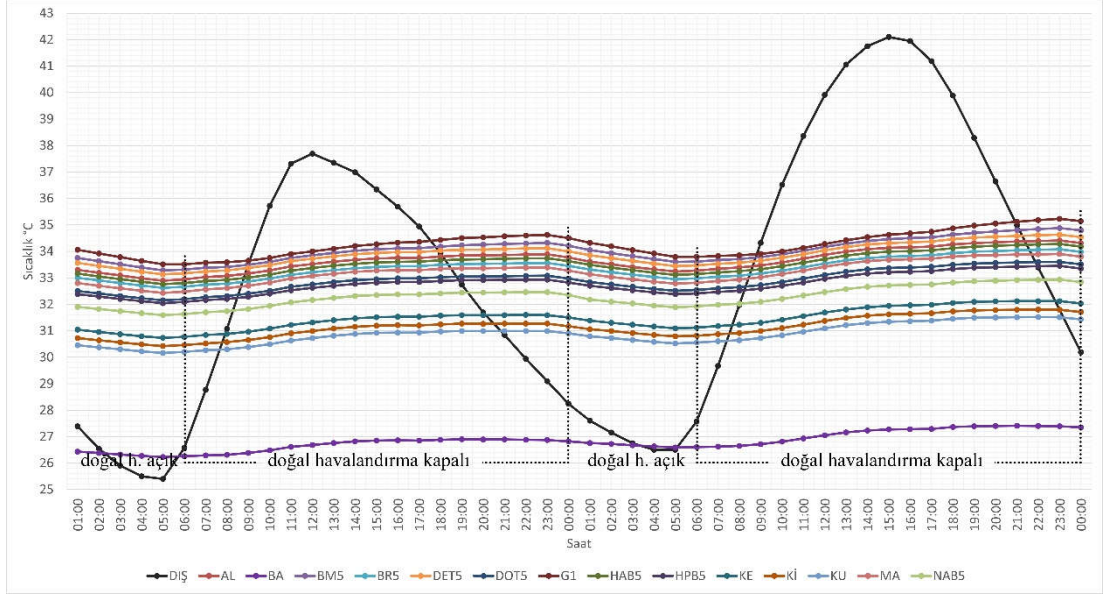
İç hava sıcaklıkları ile iç yüzey sıcaklıkları karşılaştırıldığında, dış hava sıcaklığının maksimum olduğu saatte, kabuktan iç ortama taşınım yoluyla ısı transferinin devam

etmesi sonucu iç yüzey sıcaklıklarının iç hava sıcaklıklarına göre daima daha yüksek olduğu görülmüştür.

Doğal havalandırmanın kapalı olduğu 06:00 – 00:00 saatleri arasında iç hava sıcaklığı, kabuk alternatiflerinin dinamik ısı özelliklerine bağlı olarak farklı oranlarda artarken gece 00:00 da doğal havalandırmanın aktif olmasıyla dışarıdaki serin havanın içeriye dolması ve ısı taşınımını tersine döndürmesiyle birlikte tüm kabuk alternatifleri için iç hava sıcaklığı ani bir düşüş göstermiştir. Ancak iç yüzey sıcaklıklarında bu ani düşüş görülmemektedir. Bu durum akşam saatlerinde dış hava sıcaklığının düşmesine rağmen; bina kabuğunun, ısıl kütlesine bağlı olarak gün boyu depoladığı ısıyı, iç yüzeyinde taşınım yoluyla iç ortama transfer etmeye devam etmesi sonucu, iç hava sıcaklıklarının denge noktasına ulaşması için geçen süreyle açıklanabilir.



Şekil 4.36: Tüm kabuk alternatifleri için 20-21 Temmuz iç – dış hava sıcaklığı değişimi.



Şekil 4.37: Tüm kabuk alternatifleri için 20-21 Temmuz iç – dış yüzey sıcaklığı değişimi.

20-26 Temmuz tarihleri arasındaki haftalık iç – dış hava sıcaklık değişim eğrileri (Şekil 4.38) incelendiğinde, dış hava sıcaklığının en yüksek olduğu 21 Temmuz gününde iç hava sıcaklıklarının, kabuk alternatiflerinin zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörüne bağlı olarak farklı oranlarda artış göstermeye başladığı görülmektedir.

Sahip olduğu en düşük ısıl girişimlilik değeri, eşdeğer alansal ısı kapasitesi ve en yüksek genlik küçültme faktörüne bağlı olarak gazbeton (G1) kabuk alternatifinde, dış hava sıcaklıklarının en yüksek olduğu 21 Temmuz günü iç hava sıcaklıkları artmış, devam eden iki gün boyunca artmaya devam etmiş ve 24 Temmuz'dan itibaren düşüşe geçmiştir. Yine de iç hava sıcaklıkları gazbetonda (G1) hafta boyunca en yüksektir. Fakat çağdaş kabuk alternatiflerinden normal agregalı beton (NAB5) ve geleneksel kabuk alternatiflerinden bazaltta (BA), yüksek ısıl girişimlilik değeri, eşdeğer alansal ısı kapasitesi ve düşük genlik küçültme faktörüne bağlı olarak, sıcaklık artışı tüm hafta devam etmesine rağmen, diğer kabuk alternatiflerine kıyasla iç hava sıcaklıkları hafta boyunca düşük gerçekleşmiştir.

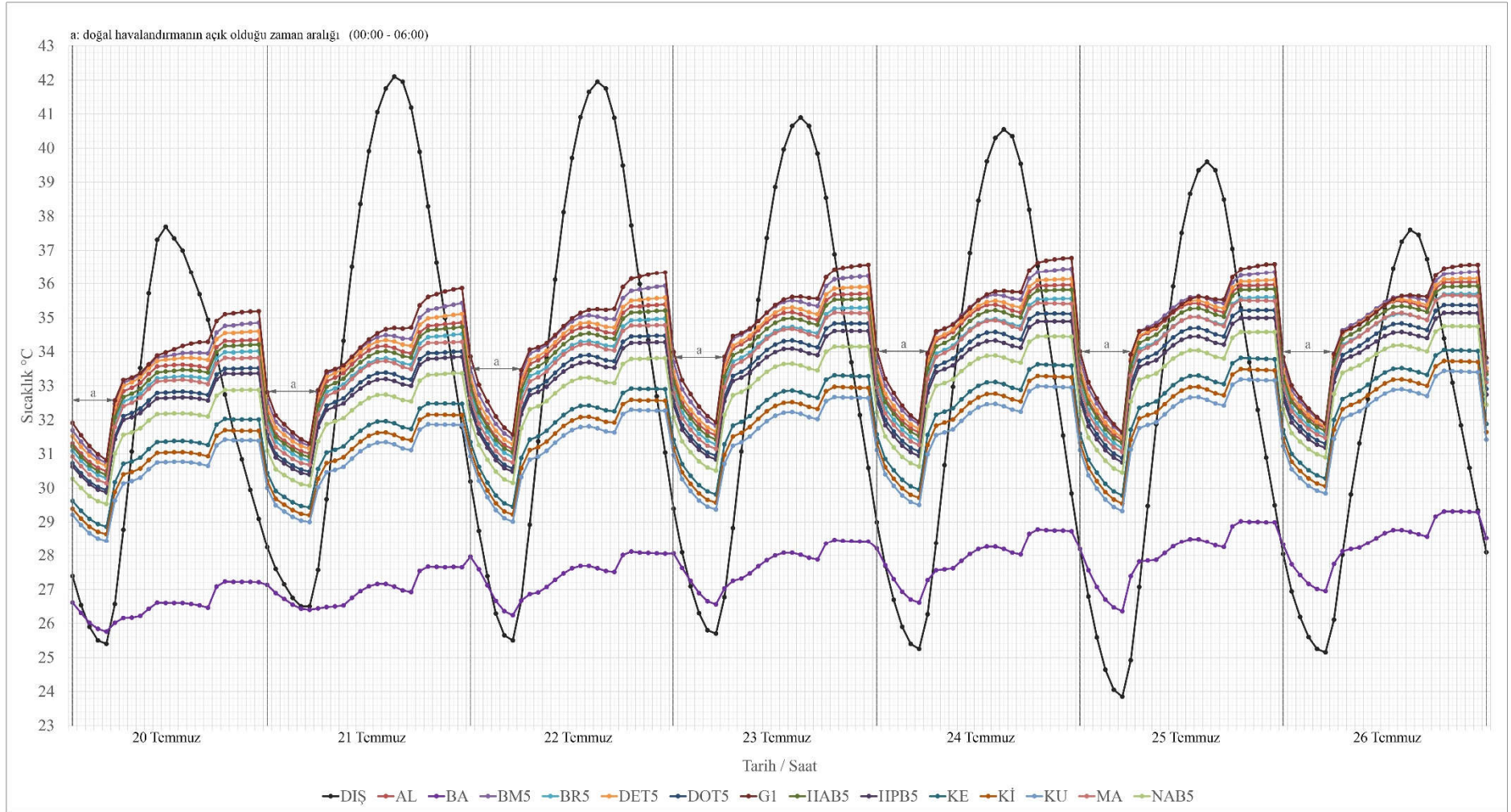
Çizelge 4.7'de tüm bina kabuğu alternatiflerinin maksimum iç hava sıcaklıklarına ait değerler ve bu değerlerin gerçekleştiği saatler haftalık olarak verilmiştir. En sıcak günü temsil eden 21 Temmuz verileri incelendiğinde, çağdaş malzemeler karşılaştırıldığında, en yüksek iç hava sıcaklık değerini veren gazbeton ile en düşük iç hava sıcaklığı değerini veren normal agregalı beton arasında 2,5°C, çağdaş ve

geleneksel malzemeler karşılaştırıldığında ise en yüksek iç hava sıcaklığı değerini veren gazbeton ile en düşük iç hava sıcaklığı değerini veren bazalt arasında 8,2 °C fark olduğu gözlemlenmiştir. (Çizelge 4.7)

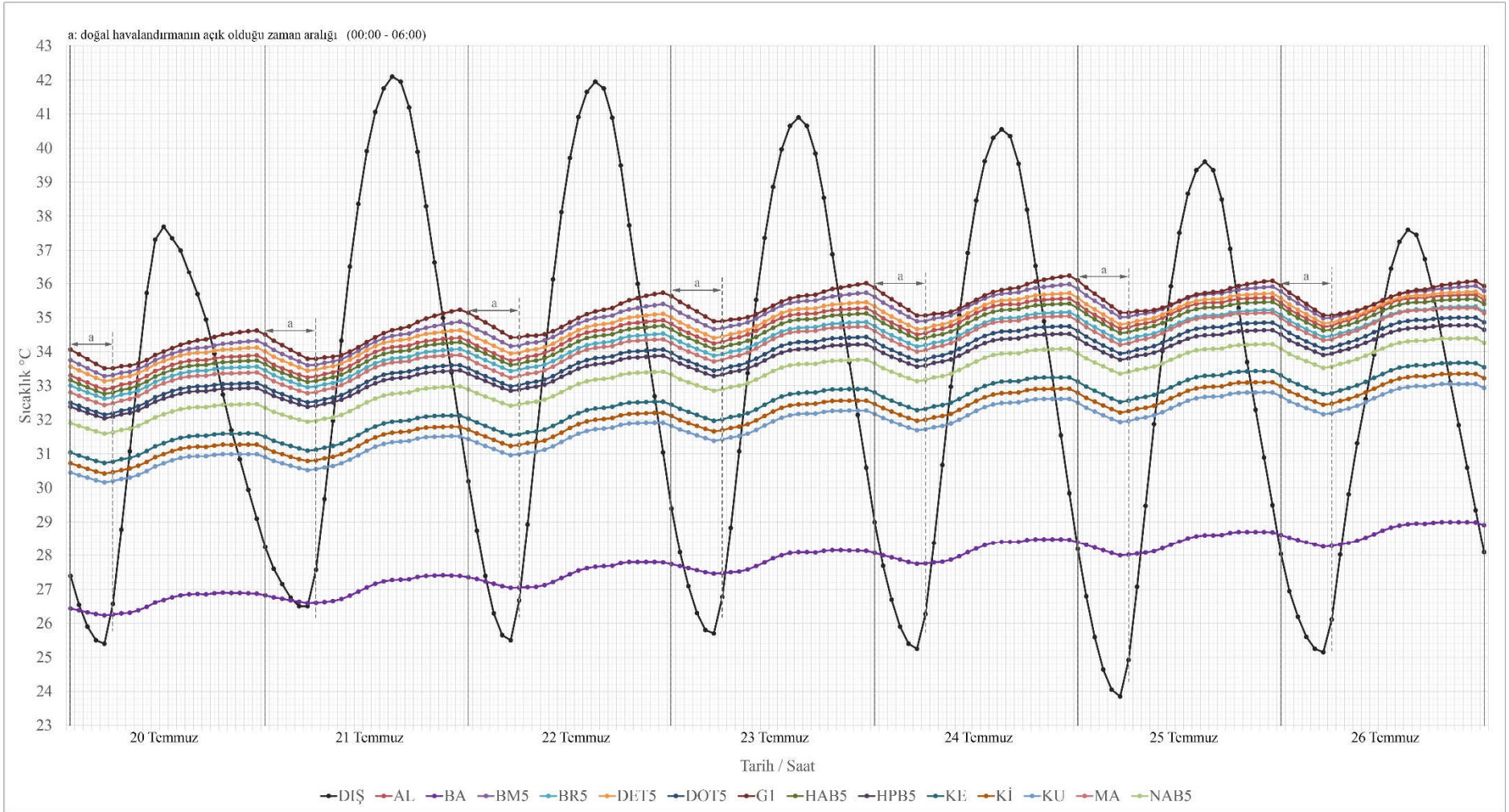
Çizelge 4.7 : Maksimum iç hava sıcaklıklarına göre tüm kabuk alternatifleri.

Maksimum İç Hava Sıcaklıklarına Göre Tüm Kabuk Alternatifleri (U=0,57 W/m ² -K)		20 Temmuz		21 Temmuz		22 Temmuz		23 Temmuz		24 Temmuz		25 Temmuz		26 Temmuz	
		Saat	°C	Saat	°C	Saat	°C	Saat	°C	Saat	°C	Saat	°C	Saat	°C
Normal Agregalı Beton	NAB5	23:00	32,88	22:00	33,37	22:00	33,81	19:00	34,15	19:00	34,45	19:00	34,58	19:00	34,75
Hazır Panel Beton	HPB5	23:00	33,37	23:00	33,85	23:00	34,28	19:00	34,61	19:00	34,89	19:00	34,99	19:00	35,14
Dolu Tuğla	DOT5	23:00	33,52	23:00	34,01	22:00	34,47	19:00	34,83	22:00	35,12	19:00	35,22	19:00	35,37
Briket	BR5	23:00	34,02	23:00	34,52	23:00	34,97	23:00	35,3	22:00	35,56	23:00	35,6	20:00	35,7
Hafif Agregalı Beton	HAB5	23:00	34,21	23:00	34,73	23:00	35,21	23:00	35,56	22:00	35,82	22:00	35,84	22:00	35,93
Delikli Tuğla	DET5	23:00	34,6	23:00	35,11	23:00	35,59	23:00	35,91	23:00	36,14	23:00	36,11	23:00	36,16
Bimsblok	BM5	23:00	34,85	23:00	35,43	23:00	35,94	23:00	36,23	23:00	36,45	23:00	36,35	23:00	36,36
Gazbeton	G1	23:00	35,19	23:00	35,87	23:00	36,34	23:00	36,57	22:00	36,76	23:00	36,59	22:00	36,57
Bazalt	BA	19:00	27,23	19:00	27,67	19:00	28,11	19:00	28,47	22:00	28,75	19:00	29,02	19:00	29,31
Kumtaşı	KU	19:00	31,42	19:00	31,87	19:00	32,3	19:00	32,67	19:00	32,99	19:00	33,19	19:00	33,44
Kireçtaşı	Kİ	19:00	31,7	19:00	32,15	19:00	32,59	19:00	32,97	19:00	33,29	19:00	33,49	19:00	33,73
Kerpiç	KE	19:00	32,03	19:00	32,48	19:00	32,92	19:00	33,31	19:00	33,63	19:00	33,82	19:00	34,05
Mardin Taşı	MA	19:00	33,82	23:00	34,29	22:00	34,78	19:00	35,15	19:00	35,43	19:00	35,52	19:00	35,66
Alker	AL	23:00	34,35	23:00	34,86	23:00	35,39	23:00	35,71	22:00	35,96	23:00	35,97	21:00	36,05

Tüm haftanın iç hava ve iç yüzey sıcaklık değişimi eğrileri incelendiğinde “a” ile belirtilen sabah 6:00 – gece 00:00 saatleri arasında, gece havalandırmasının iç hava ve iç yüzey sıcaklıkları üzerindeki azaltıcı etkisi açıkça görülebilmektedir. (Şekil 4.38 - 4.39)



Şekil 4.38: Tüm kabuk alternatifleri için haftalık iç hava sıcaklık değişimi eğrileri.



Şekil 4.39: Tüm kabuk alternatifleri için haftalık iç yüzey sıcaklık değişimi eğrileri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Binalarda iklimsel konfor ve enerji korunumunu sağlayabilmek, tasarım aşamasında, binaya ilişkin tasarım parametreleri için doğru kararlar alınmasıyla olanaklıdır. İklim değişikliği, küresel ısınma vb. nedenlerle, binalarda ısıtma enerjisi harcamalarının yanı sıra soğutma enerjisi harcamalarının da oranı giderek artmaktadır. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde enerjinin büyük bir bölümü iklimsel konfor koşullarının sağlanabilmesi amacıyla soğutma sistemleri için kullanılmaktadır. Soğutma enerjisi harcamalarını azaltmanın temel yollarından birisi, binada ısı geçişinin gerçekleştiği bina kabuğuna ilişkin doğru kararlar almak ve kabukta gerçekleşen ısı geçişini kontrol edebilmektir. Soğutmanın istendiği dönemde, bina kabuğundaki ısı geçişi miktarı ve iç ortamda oluşan iç yüzey ve iç hava sıcaklıkları değerleri; zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü, ısıl girişimlilik değeri ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi gibi, kabuğun dinamik ısı özelliklerinin birer sonuçlarıdır. Dolayısıyla bina kabuğunun dinamik ısı değerlerinin kontrol altında tutulmasıyla soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak ve iç yüzey ve iç hava sıcaklık değerlerini düşürmek olanaklıdır.

Bu çalışmada, ilk olarak sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır şehrinde yer alan bir binada soğutma enerjisi harcamalarını azaltmak amacıyla oluşturulan 40 farklı çağdaş ve 6 farklı geleneksel bina kabuğu alternatifinin zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü, ısıl girişimlilik değeri, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi gibi dinamik ısı özellikleri hesaplanmıştır. Daha sonra, her kabuk alternatifi için yaz dönemi soğutma enerjisi harcamaları ve 48 saatlik ve haftalık iç hava ve iç yüzey sıcaklıkları ayrı ayrı hesaplanmış ve tüm sonuçlar, kabukların sahip oldukları dinamik ısı özellikler esas alınarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Bina kabuğu alternatifleri için zaman geciktirmesi, ısıl girişimlilik değeri, alansal ısı kapasitesi ve eşdeğer alansal ısı kapasitesine gibi dinamik ısıl özelliklere ilişkin değerler büyüdükçe genlik küçültme faktörü küçülme ve soğutma enerjisi harcamaları ve iç yüzey ve iç hava sıcaklıkları değerleri düşmektedir.
- Farklı yalıtım kalınlıklarına sahip kabuk alternatifleri ısıl performanslarına göre karşılaştırılırken, zaman geciktirmesi değerinde, diğer dinamik ısıl özelliklere göre sapmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Bina kabuğunun yüzey malzemesinin direncini hesaba katan ısıl girişimlilik değeri (Y) ve bu değer periyodik rejim şartlarında açısal frekansla işleme alınmış bir türevi olan ve bina kabuğunun ısıyı depolama kabiliyetine yönelik hassas bir hesap değeri olarak ele alınan eşdeğer alansal ısı kapasitesi (κ'),
- Yaz konfor koşullarında bina kabuğunun soğutma enerjisi harcamaları ve iç konfor koşulları üzerinde doğrudan etkilidir.
- Aynı toplam ısı geçirme katsayısı değerine sahip bina kabuğu alternatifleri, karşılaştırıldığında minimum ve maksimum soğutma enerjisi harcamaları arasında %7,8 ' lik fark olduğu görülmüştür. Aynı şekilde, yılın en sıcak günü için iç konfor koşulları karşılaştırıldığında, iç sıcaklık değerlerinde 2,5-8,2 °C lik farklar olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, aynı toplam ısı geçirme katsayısına (U değeri) sahip bina kabuğu alternatiflerinin, kabuğun ısıl dinamik özelliklerine bağlı olarak farklı iç konfor koşullarına neden olduğu görülmektedir.
- Bina kabuğunun yüzey malzemesinin direncinin kabuğun gerçekleştirdiği soğutma yükleri ve iç konfor koşulları üzerinde etken olması özellikle iç hava sıcaklıkları hesaplamalarında, bina kabuğunu oluşturan katmanların sıralanışının da sonuçları değiştirdiğini göstermektedir.
- Ana duvar malzemesinin yanı sıra, ısıl girişimlilik ve eşdeğer alansal ısı kapasitesi üzerinde doğrudan etkili olan iç yüzey kaplama malzemesinin de bina kabuğunun ısıl performansı üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

- TSE 825 (sabit rejim) esas alınarak tasarlanan bir bina kabuğu yaz dönemi konfor koşulları açısından farklı performans gösterebilmektedir. Dolayısıyla, binaların tüm yıl boyunca konfor koşullarını sağlaması, hem kış hem yaz koşullarının birlikte düşünülmesiyle olanaklıdır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- Soğutma enerjisi harcamalarının kritik öneme sahip olduğu sıcak iklim bölgelerinde, bina kabuğunun performansı dinamik rejim şartlarında değerlendirilmelidir.
- Bina kabuğu tasarlanırken, TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” nda verilen ve sadece ısıtma dönemi kabuk performansını esas alan bina kabuğu toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri) sınır değerlerinin yanı sıra binanın dinamik ısı özelliklerini niteleyen sınır değerler de yönetmeliklere eklenmelidir.

Bu tez kapsamında, sadece sıcak – kuru iklim bölgesi ele alınarak, belli sayıda türetilmiş bina kabuğu alternatifleri performansları açısından değerlendirilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, kabuk alternatiflerinin sayısı artırılıp, hesaplamalar ve karşılaştırmalar her iklim bölgesi için kapsamlı bir şekilde tekrarlanarak, her iklim bölgesi için yaz ve kış koşullarının gereksinimlerini minimum enerji harcamasıyla gerçekleştiren bina kabuğu alternatiflerini türetebilmek olanaklı olacaktır.

Bu tür çalışmaların; iklim değişikliği ve yol açtığı olumsuz sonuçlara karşı mimar ve mühendislerin enerji etkin tasarım yaklaşımını, meslek anlayışlarının merkezine koymalarına önayak olacağı açıktır.

KAYNAKLAR

- Adin, H.** (2007). Mardin ve Midyat'ta Kullanılan Bina Yapı Taşlarının Bazı Fiziksel Özellikleri, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Cilt : 48, Sayı: 570, ss. 13-17 TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Aksoy, U. T., Ekici, B. B.** (2013). TS 825 İklimsel Verilerinin Farklı Derece Gün Bölgeleri İçin Uygunluğunun Değerlendirilmesi, *METU Journal of the Faculty of Architecture*, Vol: 30, No:2 ss. 163-179
- Aktacir, M. A., Büyükalaca, O., Yılmaz, T.** (2003). Soğutma Yüğü Hesabında Kullanılan Yöntemler, *14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniğı Kongresi Bildiri Kitapçığı*, ss 64-69, Isparta.
- Aktacir, M. A., Büyükalaca, O., Yılmaz, T.** (2012). Bina Enerji Yazılımları ve Soğutma Yüğü Hesabı İçin Web Tabanlı Bir Yazılım, *1. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu*, Balıkesir.
- Asan, H., Sancaktar, Y. S.** (1997). Duvarların Termofiziksel Özelliklerinin Faz Kayması ve Sonum Oranına Etkisinin incelenmesi, *11 Ulusal Isı Bilimi ve Tekniğı Kongresi Bildiri Kitapçığı*, ss 105-114, Edirne.
- ASHRAE Handbook of Fundamentals**, (2009). *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, Atlanta, USA.
- ASHRAE Standard 55-2013** (2013), Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy, *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, Atlanta, USA.
- Balaras, C.A.** (1996). The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods, *Energy and Buildings* 24, s 1-10.
- Berköz, B., Yılmaz, Z., Koçlar Oral, G. ve diğ.** (1995). Enerji Etkin Konut Ve Yerleşme Tasarımı, *Tübitak-Intag, Proje No:201 Araştırma Raporu*, İ.T.Ü., İstanbul
- Bulut, H., Aktacir, M. A., Durmaz, F. A.,** (2006). İklimlendirme Sistemleri İçin Soğutma Yüğü Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneğı, VII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu*, İstanbul
- Cabeza, L. F., Castell, A. Medrano, M., ve diğ.** (2010). Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction, *Energy and Buildings* vol:42, ss. 630–636

- CIBSE** (2006) Enviromental Design, Guide A, 7th edition. *The Chartered Institution of Building Services Engineers*, London.
- Cihan, M. T. Ve Dilmaç, Ş.** (2008). Yaz Konforu İle İlgili Kavramlar ve Standard Hesap Metodu, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 13, Sayı 1*, Bursa.
- Çelik, P. A.** (1975). Yaz Sıcaklıklarının Binaya Etkilerinin İncelenmesinde Admittance Yönteminin Türkiye’ye Uygulanması. *Tübitak YAE, Yayın No: a22*, Ankara.
- Davies M. G.** (1994). The Thermal Response of an Enclosure to Periodic Excitation: The CIBSE Approach, *Building and Environment*, 29(2), ss 217-235.
- Dilmaç, Ş.** (1989). Yapı Malzemelerinin Güneş Enerjisi Karşısındaki Termodinamik Davranışı, Doktora Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Dilmaç, Ş.** (1999). Yeni TS 825’de Önerilen Hesap Metodunun Değerlendirilmesi, 4. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, ss. 107,116, İzmir.
- Dilmaç, Ş. ve Kesen, N.** (2003). A Comparision of New Turkish Thermal Insulation Standard (TS 825), ISO 9164, EN 832 and German Regulation, *Energy and Buildings*, vol: 35, ss 161-174.
- Erdim, B.** (2010). Binalarda Enerji Korunumu Açısından Isı Pompalarının Farklı İklim Bölgelerinde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gazioğlu, A.** (2012). Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Harcamalarını Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Göçer, Ö.** (2006). Atrium Tipi Binalarda Enerji Tüketiminin Azaltılması ve Kullanıcı Konforunun Sağlanmasında Uygun Camlama ve Denetim Sistemi Modeli, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Göksal Özbalta, T., Özbalta, N.** (2012). Dış Duvarı Isıl Davranışların Mekan Konforuna Etkisi, *Tesisat Mühendisliği, Sayı 127*, ss. 36-46.
- Göksal, T., Özbalta N.** (2002). Enerji Korunumunda ‘Düşük Enerjili Bina’ Tasarımları, *Mühendis ve Makina, Sayı:506 (43)*, ss. 26-32, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Günerhan, H.** (2004). Duyulur Isı Depolama ve Bazalt Taşı, *Mühendis ve Makina Dergisi*, , vol.530, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- İlgaz, T.** (1979). Yapı Düşey Dış Kabuklarının Isı Etkilerinden Korunması, T.C. Bayındırlık Bakanlığı ve KTÜ.

- Incropera F.P. and Dewitt, D.P.** (1990). Fundamentals of heat and mass transfer. 3rd edition, John Wiley, New York.
- Kartal, S.** (2009). Güneş Mimarisi Elemanlarının Isıl Verimlerinin Türkiye İklim Şartları Ve Yapı Konstrüksiyonları İçin Hesaplanması, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Kakaç, S.** (1998). Örneklerle Isı Transferi, Tıp & Teknik Yayınları, Ankara
- Koenigsberger, O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A., Szokolay, S.V.** (1973). Manual of Tropical Housing and Building: Climatic Design. Longman Inc., New York.
- Maciel, A. A.** (2007). Bioclimatic Integration into the Architectural Design, Doktora Tezi, University of Nottingham, UK.
- Manioğlu, G.** (1995). İklimsel Konfor ve Enerji Ekonomisi Açısından Isıtma Sisteminin İşletme Şekline Bağlı Olarak Bina Kabuğunun Isıl Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Manioğlu, G.** (2002). Isıtma Enerjisi Ekonomisi ve Yaşam Dönemi Maliyeti Açısından Uygun Bina Kabuğu ve İşletme Biçimi Seçeneğinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Manioğlu, G., Oral, G. K.** (2010). Ekolojik Yaklaşımda İklimle Dengeli Cephe Tasarımı, 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, ss.257-266, İzmir.
- Marletta, L., Evola, G., Giuga, M., Sicurella, F.** (2013). The admittance method for calculating the internal temperature swings in free running buildings, *1st IBPSA Italy conference, Bozen-Bolzano University Press* ss. 59-68.
- Marsh, A.** (2005). Thermal Analysis And The Admittance Method, *Natural Frequency Journal ISSN: 1833-7570. Issue No. 100*, Cardiff University Square One Project, UK.
- Mohammad, S., Shea, A.** (2013). Performance Evaluation of Modern Building Thermal Envelope Designs in the Semi-Arid Continental Climate of Tehran, *Buildings, vol.3*, s 674-688, MDPI AG, Switzerland.
- MPA.** (2006). Thermal Mass for Housing, The Concrete Centre.
- MPA.** (2010). Dynamic Thermal Properties Calculator, The Concrete Centre.
- MPA.** (2012). Thermal Mass Explained, The Concrete Centre.

- NEGRAO, C. O. R.** (1995) Conflation of Computational Fluid Dynamics and Building Thermal Simulation, PhD Thesis, University of Strathclyde, Glasgow.
- Olgyay, V.** (1963). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Princeton University Press, Princeton, NJ: 14-32
- Oral G. K., Akşit, F.** (2001). TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'nin Konutlarda Isı Korunumu Açısından Değerlendirilmesi, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi*, ss. 140-144, Eskişehir.
- Oral, G. K., Manioğlu, G.** (2005), İklimle Dengeli Tasarım: Mardin, Antakya Örnekleri, *Tasarım, Sayı.157*, ss. 136-142.
- Özel, M.** (2011). Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials, *Applied Thermal Engineering vol:31, Elsevier*, ss 3854-3863.
- Özşahin, B., Cihan, M. T., Mihlayanlar, E.** (2013). EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi İle Geleneksel Yapım Sistemlerinde Kullanılan Duvarların Isıl Performanslarının Karşılaştırılması, *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 14(2), ss. 105-114.
- Pedersen, C.O., Fisher, D.E., Liesen, R.J.** (1997). Development of a Heat Balance Procedure for Calculating Cooling Loads, *ASHRAE Transactions, Vol. 103, Pt. 2*, pp. 459-468.
- Rees, S.J., Spitler, J.D., Davies M.G., Haves, P.** (2000). Qualitative comparison of North American and U.K. cooling load calculation methods, *International Journal of HVAC&R Research*, vol. 6, no. 1, pp. 75-99.
- Saltı, S.** (2015). Binalarda Isı Pay Ölçer Uygulamasının Isıtma Enerjisi Harcamalarının Dengeli Bir Biçimde Paylaştırılması Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Spitler J.D., Fisher D.E., Pedersen C.O.** (1997). The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Procedure, *ASHRAE Transactions 103 (2)*, pp. 503-515.
- Spitler, J.D., McQuiston, F.C., Lindsey, K.** (1993). The CLTD/SCL/CLF Cooling Load Calculation Method, *ASHRAE Transactions. 99(1)*, pp. 183-192.
- Szokolay, S.V.** (2004). Introduction to architectural science: the basis of sustainable design, Architectural Press, Oxford.
- TSE 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları**, 2013. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 13786**, Bina Bileşenlerinin Isıl Performansı-Dinamik Isıl Özellikler-Hesaplama Metotları, 2009. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN ISO 13790**, Binaların enerji performansı - Mekân ısıtılması ve soğutulması için enerji kullanımının hesaplanması, 2013. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 13792**, Binalarda ısı performans-Yazın mekanik soğutma olmaksızın bir oda içindeki sıcaklığın hesaplanması-Basitleştirilmiş metotlar, 2012. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Utkutuğ S. G.** (2001). Yeni Yüzyıla Girerken Bina Tasarımı Ekoloji/ Enerji Etkin/Akıllı Bina ,*Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi Yayın No: 14*, Ankara
- Yaman M. C., Gökçen G.** (2009). Statik Ve Dinamik Hesaplama Metodları İle Binalarda Enerji Performans Değerlendirmesi, Ölçüm Değerleri İle Karşılaştırılması, *9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, ss. 509-525, İzmir.
- Yılmaz, Z.** (1983). İklimsel Konfor Sağlanması ve Yoğuşma Kontrolünde Optimum Performans Gösteren Yapı Kabuğunun Hacim Konumuna ve Boyutlarına Bağlı Olarak Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Yılmaz Z.** (2010). EN 13790 ve BEP-TR ile Net Enerji Hesaplama, *TSE Dergisi*.
- Yılmaz Z., Oral, G. K., Manioğlu, G.** (2000). Isıtma Enerjisi Tasarrufu Açısından Bina Kabuğu Isı Yalıtım Değerinin Bina Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi, Proje No: 985 Sonuç Raporu, İ.T.Ü., İstanbul.
- Yücesoy, L.** (1984). Yapılarda Isı ve Buhar Etkisi. İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul
- Zeren, L., Berköz, E., Küçükdoğu, M. ve diğerleri,** (1987). Türkiye’de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeline İlişkin Çalışma, Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi, İ.T.Ü., İstanbul.

EKLER

EK.A: Soğutma Enerjisi Harcamalarının, Kabuk Alternatiflerinin Genlik Küçültme Faktörü Ve Isıl Girişimlilik Değerlerine Göre Karşılaştırılması.

EK.B: Tüm Kabuk Alternatifleri için Hesap Sonuçlarının Toplam Tablosu.

EK A: Hesaplanan Termofiziksel Özelliklerin, Kabuğun Isıl Kütlesine Göre Büyükten Küçüğe Sıralanışı

Çizelge A.1: Zaman geciktirmesi değerine göre tüm kabuk alternatifleri.

Zaman Geciktirmelerine (Saat) Göre Tüm Kabuk Alternatifleri (U=0,57 W/m ² -K)		Kireç harçlı sıvalı	Alçı sıvalı	Alçı plaklı	Ahşap Kaplamalı	Doğal taş kaplamalı	İç Kaplama Yok
		1	2	3	4	5	6
Dolu Tuğla	DOT	12,83	12,58	10,13	10,33	13,12	
Hafif Agregalı Beton	HAB	11,98	11,62	10,22	10,32	12,1	
Delikli Tuğla	DET	11,56	11,21	10,14	10,27	11,6	
Briket	BR	10,71	10,19	8,59	8,75	10,91	
Hazır Panel Beton	HPB	10,1	9,83	8,89	9,04	10,62	
Normal Agregalı Beton	NAB	10,07	9,66	8,5	8,66	10,6	
Bimsblok	BM	10,64	10,29	9,65	9,76	10,62	
Gazbeton	G	8,25	7,92	7,46	7,56	8,17	
Kumtaşı	KU						22,69
Kireçtaşı	Kİ						22,59
Kerpiç	KE						21,44
Mardin Taşı	MA						15,04
Alker	AL						12,24
Bazalt	BA						9,47

Çizelge A.2: Genlik küçültme faktörüne göre tüm kabuk alternatifleri.

Genlik Küçültme Faktörlerine (boyutsuz) Göre Tüm Kabuk Alternatifleri (U=0,57 W/m ² -K)		Kireç harçlı sıvalı	Alçı sıvalı	Alçı plaklı	Ahşap Kaplamalı	Doğal taş kaplamalı	İç Kaplama Yok
		1	2	3	4	5	6
Dolu Tuğla	DOT	0,08	0,08	0,12	0,11	0,07	
Normal Agregalı Beton	NAB	0,1	0,11	0,11	0,11	0,09	
Hazır Panel Beton	HPB	0,11	0,12	0,12	0,12	0,1	
Hafif Agregalı Beton	HAB	0,12	0,13	0,16	0,15	0,12	
Briket	BR	0,13	0,14	0,18	0,17	0,13	
Delikli Tuğla	DET	0,16	0,17	0,19	0,18	0,16	
Bimsblok	BM	0,25	0,26	0,28	0,28	0,25	
Gazbeton	G	0,46	0,48	0,49	0,49	0,47	
Bazalt	BA						0
Kumtaşı	KU						0,01
Kireçtaşı	Kİ						0,01
Kerpiç	KE						0,01
Mardin Taşı	MA						0,07
Alker	AL						0,15

Çizelge A.3: Isıl girişimlilik değerine göre tüm kabuk alternatifleri.

Isıl Girişimlilik Değerlerine (W/m ² -K) Göre Tüm Kabuk Alternatifleri (U=0,57 W/m ² -K)		Kireç harçlı sıvalı	Alçı sıvalı	Alçı plaklı	Ahşap Kaplama	Doğal taş kaplama	İç Kaplama Yok
		1	2	3	4	5	6
Normal Agregalı Beton	NAB	5,42	5,27	3,55	3,56	5,75	
Hazır Panel Beton	HPB	5,24	5,07	3,45	3,46	5,53	
Dolu Tuğla	DOT	4,76	4,52	3,18	3,2	4,98	
Briket	BR	4,72	4,49	3,21	3,23	4,93	
Hafif Agregalı Beton	HAB	4,29	3,97	2,89	2,92	4,42	
Delikli Tuğla	DET	4,04	3,67	2,71	2,75	4,13	
Bimsblok	BM	3,64	3,17	2,39	2,45	3,66	
Gazbeton	G	3,38	2,83	2,14	2,21	3,35	
Bazalt	BA						6,02
Kumtaşı	KU						5,41
Kireçtaşı	Kİ						5,38
Kerpiç	KE						5,29
Mardin Taşı	MA						4,59
Alker	AL						4,22

Çizelge A.4: Alansal ısı kapasitesine göre tüm kabuk alternatifleri.

Isıl Girişimlilik Değerlerine (W/m ² -K) Göre Tüm Kabuk Alternatifleri (U=0,57 W/m ² -K)		Kireç harçlı sıvalı	Alçı sıvalı	Alçı plaklı	Ahşap Kaplama	Doğal taş kaplama	İç Kaplama Yok
		1	2	3	4	5	6
Normal Agregalı Beton	NAB	5,42	5,27	3,55	3,56	5,75	
Hazır Panel Beton	HPB	5,24	5,07	3,45	3,46	5,53	
Dolu Tuğla	DOT	4,76	4,52	3,18	3,2	4,98	
Briket	BR	4,72	4,49	3,21	3,23	4,93	
Hafif Agregalı Beton	HAB	4,29	3,97	2,89	2,92	4,42	
Delikli Tuğla	DET	4,04	3,67	2,71	2,75	4,13	
Bimsblok	BM	3,64	3,17	2,39	2,45	3,66	
Gazbeton	G	3,38	2,83	2,14	2,21	3,35	
Bazalt	BA						6,02
Kumtaşı	KU						5,41
Kireçtaşı	Kİ						5,38
Kerpiç	KE						5,29
Mardin Taşı	MA						4,59
Alker	AL						4,22

Çizelge A.5: Eşdeğer alansal ısı kapasitesine göre tüm kabuk alternatifleri.

Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesine (kJ/m ² -K) Göre Tüm Kabuk Alternatifleri (U=0,57 W/m ² -K)		Kireç harçlı sıvalı	Alçı sıvalı	Alçı plaklı	Ahşap Kaplama	Doğal taş kaplama	İç Kaplama Yok
		1	2	3	4	5	6
Normal Agregalı Beton	NAB	75	73	50	50	80	
Hazır Panel Beton	HPB	73	71	48	48	77	
Dolu Tuğla	DOT	66	63	45	45	70	
Briket	BR	66	63	45	46	69	
Hafif Agregalı Beton	HAB	60	56	41	41	62	
Delikli Tuğla	DET	57	52	39	39	58	
Bimsblok	BM	52	46	35	36	52	
Gazbeton	G	50	43	33	34	50	
Bazalt	BA						83
Kumtaşı	KU						74
Kireçtaşı	Kİ						74
Kerpiç	KE						73
Mardin Taşı	MA						63
Alker	AL						59

EK A: Hesaplanan Termofiziksel Özelliklerin, Kabuğun Isıl Kütlesine Göre Büyükten Küçüğe Sıralanışı

Çizelge B.1: Bimsblok kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Bimsblok)		Isı İletkenlik Katsayısı λ W/m-K	Özgül Isı c J/Kg-K	Yoğunluk ρ Kg/m ³	Isıl Yayımlı Katsayısı α m ² /sec	Kalınlık d cm	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U W/m ² -K	Isıl Girişimlilik Değeri Y W/m ² -K	Zaman Geciktirmesi ϕ h	Genlik Küçültme Faktörü μ boyutsuz	Alansal Isı Kapasitesi K kJ/m ² -K	Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi K' kJ/m ² -K	Yaz Dönemi Soğutma Yüğü 1 Nisan-30 Eylül kWh
BM1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57	3,64	10,64	0,25	89,23	52	6808,58
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5							
	3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	23,7							
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0							
BM2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0	0,57	3,17	10,29	0,26	79,55	46	6814,47
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5							
	3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	23,6							
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0							
BM3	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5	0,57	2,39	9,65	0,28	67,39	35	6821,42
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5							
	3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	21,3							
BM4	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0	0,57	2,45	9,76	0,28	69,5	36	6817,05
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5							
	3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	21,4							
BM5	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0	0,57	3,66	10,62	0,25	86,58	52	6807,01
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,5							
	3 Bimsblok	0,23	835	770	3,58E-07	24,1							
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8	2,77						
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2							

Çizelge B.2: Briket kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Briket)		Isı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl	Kalınlık	Toplam Isı	Isıl	Zaman	Genlik	Alansal Isı	Eşdeğer Alansal	Yaz Dönemi
		İletkenlik			Yayınım		Geçirme	Girişimlilik	Geciktirmesi	Küçültme	Kapasitesi	Isı Kapasitesi	Soğutma Yüğü
		λ	c	ρ	α	d	U	Y	ϕ	μ	K	K'	1 Nisan-30 Eylül
		W/m-K	J/Kg-K	Kg/m ³	m ² /sec	cm	W/m ² -K	W/m ² -K	h	boyutsuz	kJ/m ² -K	kJ/m ² -K	kWh
BR1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6							
	3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	28,3	0,57	4,72	10,71	0,13	145,32	66	6731,96
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0							
BR2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6							
	3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	27,7	0,57	4,49	10,19	0,14	139,14	63	6737,16
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0							
BR3	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6	0,57	3,21	8,59	0,18	123,48	45	6766,98
	3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	20,0							
BR4	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6	0,57	3,23	8,75	0,17	125,59	46	6761,19
	3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	20,5							
BR5	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,6							
	3 Briket	0,92	840	1600	6,85E-07	29,5	0,57	4,93	10,91	0,13	142,67	69	6729,24
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8							
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2							

Çizelge B.3: Delikli tuğla kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Delikli Tuğla)		Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayınım Katsayısı	Kalınlık	Toplam Isı Geçirme Katsayısı	Isıl Girişimlilik Değeri	Zaman Geciktirmesi	Genlik Küçültme Faktörü	Alansal Isı Kapasitesi	Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi	Yaz Dönemi Soğutma Yüğü
		λ	c	ρ	α	d	U	Y	ϕ	μ	K	K'	1 Nisan-30 Eylül kWh
DET1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5							
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	22,5	0,57	4,04	11,56	0,16	112,2	57	6769,01
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0							
DET2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5							
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	25,4	0,57	3,67	11,21	0,17	103,95	52	6774,28
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0							
DET3	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	0,57	2,71	10,14	0,19	90,36	39	6785,01
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	21,7							
DET4	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5	0,57	2,75	10,27	0,18	92,47	39	6779,51
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	21,9							
DET5	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,5							
	3 Delikli Tuğla	0,375	1000	930	4,03E-07	26,2	0,57	4,13	11,6	0,16	109,55	58	6767,7
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8							
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2							

Çizelge B.4: Dolu tuğla kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Dolu Tuğla)		Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayınım Katsayısı	Kalınlık	Toplam Isı Geçirme Katsayısı	Isıl Girişimlilik Değeri	Zaman Geciktirmesi	Genlik Küçültme Faktörü	Alansal Isı Kapasitesi	Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi	Yaz Dönemi Soğutma Yüğü
		λ	c	ρ	α	d	U	Y	ϕ	μ	K	K'	1 Nisan-30 Eylül kWh
DOT1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4							
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	28,8	0,57	4,76	12,83	0,08	177,8	66	6709,39
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0							
DOT2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4							
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	28,6	0,57	4,52	12,58	0,08	173,65	63	6713,51
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0							
	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5							
DOT3	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	0,57	3,18	10,13	0,12	155,96	45	6740,48
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	20,7							
	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0							
DOT4	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4	0,57	3,2	10,33	0,11	158,07	45	6734,13
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	21,1							
	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0							
DOT5	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,4							
	3 Dolu Tuğla	0,77	1000	1750	4,40E-07	30,0	0,57	4,98	13,12	0,07	175,15	70	6704,33
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8							
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2							

Çizelge B.5: Gazbeton kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Gazbeton)		Isı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl	Kalınlık	Toplam Isı	Isıl	Zaman	Genlik	Alansal Isı	Eşdeğer Alansal	Yaz Dönemi
		İletkenlik			Yayınım		Geçirme	Girişimlilik	Geciktirmesi	Küçültme	Kapasitesi	Isı Kapasitesi	Soğutma Yüğü
		λ	c	ρ	α	d	U	Y	ϕ	μ	K	K'	1 Nisan-30 Eylül
		W/m-K	J/Kg-K	Kg/m ³	m ² /sec	cm	W/m ² -K	W/m ² -K	h	boyutsuz	kJ/m ² -K	kJ/m ² -K	kWh
G1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0							
	3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	24,1	0,57	3,38	8,25	0,46	66,69	50	6876,01
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0							
G2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0							
	3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	24,0	0,57	2,83	7,92	0,48	55,6	43	6884,04
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0							
G3	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0	0,57	2,14	7,46	0,49	44,85	33	6899,04
	3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	22,0							
G4	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0	0,57	2,21	7,56	0,49	46,96	34	6893,46
	3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	22,0							
G5	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	1,0							
	3 Gazbeton	0,2	840	430	5,54E-07	24,3	0,57	3,35	8,17	0,47	64,04	50	6878,89
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8							
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2							

Çizelge B.6: Hafif agregalı beton kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Hafif Agregalı Beton)		Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayınım Katsayısı	Kalınlık	Toplam Isı Geçirme Katsayısı	Isıl Girişimlilik Değeri	Zaman Geciktirmesi	Genlik Küçültme Faktörü	Alansal Isı Kapasitesi	Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi	Yaz Dönemi Soğutma Yükü
		λ	c	ρ	α	d	U	Y	ϕ	μ	K	K'	1 Nisan-30 Eylül kWh
		W/m-K	J/Kg-K	Kg/m ³	m ² /sec	cm	W/m ² -K	W/m ² -K	h	boyutsuz	kJ/m ² -K	kJ/m ² -K	
HAB1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9							
	3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	25,8	0,57	4,29	11,98	0,12	133,8	60	6748,43
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0							
HAB2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9							
	3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	25,4	0,57	3,97	11,62	0,13	126,9	56	6753,05
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0							
	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5							
HAB3	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9							
	3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	20,8	0,57	2,89	10,22	0,16	111,96	41	6767,24
	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0							
HAB4	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9							
	3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	21,0	0,57	2,92	10,32	0,15	114,07	41	6764,42
	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0							
HAB5	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	2,9							
	3 Hafif Agregalı Beton	0,47	1000	1200	3,92E-07	26,5	0,57	4,42	12,1	0,12	131,15	62	6745,39
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8							
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2							

Çizelge B.7: Hazır panel beton kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Hazır Panel Beton)		Isı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl	Kalınlık	Toplam Isı	Isıl	Zaman	Genlik	Alansal Isı	Eşdeğer Alansal	Yaz Dönemi
		İletkenlik			Yayınım		Geçirme	Girişimlilik	Geciktirmesi	Küçültme	Kapasitesi	Isı Kapasitesi	Soğutma Yüğü
		λ	c	ρ	α	d	U	Y	ϕ	μ	K	K'	1 Nisan-30 Eylül
		W/m-K	J/Kg-K	Kg/m ³	m ² /sec	cm	W/m ² -K	W/m ² -K	h	boyutsuz	kJ/m ² -K	kJ/m ² -K	kWh
HPB1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,0							
	3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	26,0	0,57	5,24	10,1	0,11	205,8	73	6699,84
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0							
HPB2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,0							
	3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	25,5	0,57	5,07	9,83	0,12	203,4	71	6703,51
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0							
	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5							
HPB3	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,8	0,57	3,45	8,89	0,12	183,96	48	6723,74
	3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	20,8							
	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0							
HPB4	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,8	0,57	3,46	9,04	0,12	186,07	48	6719,72
	3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	21,3							
	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0							
HPB5	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,8							
	3 Hazır Panel Beton	1,56	1000	2100	7,43E-07	28,4	0,57	5,53	10,62	0,1	203,15	77	6687,68
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8							
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2							

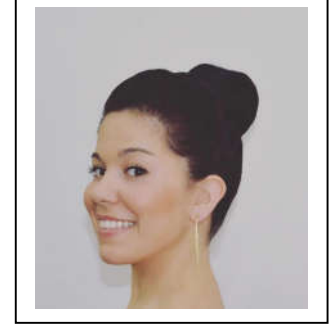
Çizelge B.8: Normal agregalı beton kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Normal Agregalı Beton)		Isı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl	Kalınlık	Toplam Isı	Isıl	Zaman	Genlik	Alansal Isı	Eşdeğer Alansal	Yaz Dönemi
		İletkenlik			Yayınım		Geçirme	Girişimlilik	Geciktirmesi	Küçültme	Kapasitesi	Isı Kapasitesi	Soğutma Yüğü
		λ	c	ρ	α	d	U	Y	ϕ	μ	K	K'	1 Nisan-30 Eylül
		W/m-K	J/Kg-K	Kg/m ³	m ² /sec	cm	W/m ² -K	W/m ² -K	h	boyutsuz	kJ/m ² -K	kJ/m ² -K	kWh
NAB1	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1							
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	28,3	0,57	5,42	10,07	0,1	222,12	75	6675,46
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,60E-07	2,0							
NAB2	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1							
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	27,1	0,57	5,27	9,66	0,11	220,74	73	6685,1
	4 Kireç harçlı sıva	0,87	1050	1800	4,603E-07	1,0							
NAB3	5 Alçı sıva	0,35	1000	1200	2,917E-07	0,5							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,9	0,57	3,55	8,5	0,11	200,28	50	6715,74
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	20,8							
NAB4	4 Alçı plak	0,16	840	950	2,01E-07	2,0							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,9	0,57	3,56	8,66	0,11	202,39	50	6710,78
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	21,4							
NAB5	4 Ahşap Kaplama	0,16	1255	720	1,77E-07	2,0							
	1 Çimento harçlı sıva	1,4	1050	2100	6,35E-07	2,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	4,1							
	3 Normal Agregalı Beton	2,1	960	2400	9,11E-07	31,0	0,57	5,75	10,6	0,09	219,47	80	6663,17
	4 Yapış. Harcı (Çimento)	1,4	650	2100	1,03E-06	0,8							
	5 Doğal taş kap.(Mermer)	2,77	808	2499	1,37E-06	1,2							

Çizelge B.9: Geleneksel kabuk alternatifleri sonuç tablosu.

Kabuk Alternatifleri (Geleneksel Malzemeler)		Isı İletkenlik Katsayısı	Özgül Isı	Yoğunluk	Isıl Yayınım Katsayısı	Kalınlık	Toplam Isı Geçirme Katsayısı	Isıl Girişimlilik Değeri	Zaman Geciktirmesi	Genlik Küçültme Faktörü	Alansal Isı Kapasitesi	Eşdeğer Alansal Isı Kapasitesi	Yaz Dönemi Soğutma Yükü
		λ	c	ρ	α	d	U	Y	ϕ	μ	K	K'	1 Nisan-30 Eylül
		W/m-K	J/Kg-K	Kg/m ³	m ² /sec	cm	W/m ² -K	W/m ² -K	h	boyutsuz	kJ/m ² -K	kJ/m ² -K	kWh
AL	1 Alker	0,64	720	1808	4,92E-07	10,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	0,57	4,22	12,24	0,15	130,17	59	6852
	3 Alker	0,64	720	1808	4,92E-07	23,0							
BA	1 Bazalt	1,51	1500	2800	3,60E-07	10,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	0,57	6,02	9,47	0	420	83	6399,84
	3 Bazalt	1,51	1500	2800	3,60E-07	68,0							
KE	1 Kerpiç	1,25	1000	2050	6,10E-07	10,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	0,57	5,29	21,44	0,01	205	73	6764,2
	3 Kerpiç	1,25	1000	2050	6,10E-07	54,5							
Kİ	1 Kireçtaşı	1,26	908	2483	5,59E-07	10,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	0,57	5,38	22,59	0,01	225,45	74	6752,21
	3 Kireçtaşı	1,26	908	2483	5,59E-07	55,0							
KU	1 Kumtaşı	1,85	712	2235	1,16E-06	10,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	0,57	5,41	22,69	0,01	159,13	74	6675,92
	3 Kumtaşı	1,85	712	2235	1,16E-06	85,5							
MA	1 Mardin Taşı	0,8	988	1580	5,12E-07	10,0							
	2 Ekstrüde polistren	0,029	1213	35	6,83E-07	3,1	0,57	4,59	15,04	0,07	156,1	63	6838,56
	3 Mardin Taşı	0,8	988	1580	5,12E-07	31,3							

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Melis EKİZCE CAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 27.07.1989 - İzmir

E-posta : ekizce@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2007, Denizli Fen Lisesi
- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi,
Mimarlık Bölümü