



**ENERJİ ETKİN İKLİMLENDİRME:
YEREL ÇÖZÜMLERİ HESAPLAMALI TEKNOLOJİLERLE
YENİDEN DEĞERLENDİRMEK**

Marwa Abdalmutaal YOUSIF

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Marwa Abdalmutaal YOUSIF tarafından hazırlanan “ENERJİ ETKİN İKLİMLENDİRME: YEREL ÇÖZÜMLERİ HESAPLAMALI TEKNOLOJİLERLE YENİDEN DEĞERLENDİRMEK” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetim Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 13/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Marwa Abdalmutaal YOUSIF

13/09/2019

ENERJİ ETKİN İKLİMLENDİRME: YEREL ÇÖZÜMLERİ HESAPLAMALI TEKNOLOJİLERLE YENİDEN DEĞERLENDİRMEK

(Yüksek Lisans Tezi)

Marwa Abdalmutaal YOUSIF

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Sudan'da yaşayanlar, 7 aydan fazla süren kurak bir mevsimde yüksek dış ortam sıcaklığı nedeniyle iç mekan iklim koşullarında büyüyen bir sorunla karşı karşıya bulunmaktadır. En yoğun gün sıcaklığı, yazın kuru mevsiminde ve düşük iç hava akımında 50 °C kadar çıkabilmektedir. Kullanıcıların termal konforunu sağlamak için, klimaların aşırı enerji kullanımına ihtiyaç vardır. Sudan'daki ekonomik durum ve güç kaynağının istikrarsızlığı göz önüne alındığında, enerji tüketimini en aza indirecek sürdürülebilir çevrelerin ve dolayısıyla çevreye zararlı sera etkilerinin araştırılması önemlidir. Bu çalışmada, iç ortam sıcaklığını optimize etmek için enerji bağımlılığını azaltmak amacıyla Sudan'ın iklim bölgesine uygun pasif tasarım stratejilerinin bulunduğu hipoteziyle bir araştırma yürütülmüştür. Yerel mimaride tasarım çözümü arayan geleneksel yaklaşımlar çalışmanın tetikleyicisi olmuştur. Bu nedenle, literatür ve saha analizlerinden elde edilen verilerin elde edilmesinin ardından, evin doğal havalandırma ve soğutma özelliklerini tasarlamak ve simüle etmek amacıyla hesaplamalı teknolojilere başvurulmuştur. Bu amaçla, Hartum'daki geleneksel mimari yaklaşımı ilk olarak mahalle ve bina ölçeklerinde incelenmiş, pasif soğutma teknikleri araştırılmış, iklim bölgesi için uygun yöntemler belirlenmiş ve DesignBuilder simülasyon programı yardımıyla uygun stratejiler geliştirilmiş ve test edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen verilere göre en yüksek soğutma yükünün gerçekleştiği Temmuz ayında toplam soğutma yükünü 140.96 kW/h ile yaklaşık 70.04 kW/h arasında önemli ölçüde azaldığı ve %48 oranında düşürüldüğü saptanmıştır. Geleneksel tekniklerin, Sudan'da inşa edilen modern evler için yenilikçi pasif havalandırma ve soğutma stratejileri için potansiyel sağlayacağı düşünülmektedir.

Bilim Kodu : 80103
Anahtar Kelimeler : Sıcak kuru iklim, Enerji verimliliği, Termal konfor, Simülasyon
Pasif soğutma teknikleri, Sudan
Sayfa Adedi : 89
Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

ENERGY EFFICIENT CLIMATISATION: REVISITING LOCAL SOLUTIONS
THROUGH COMPUTATIONAL TECHNOLOGIES

(M. Sc. Thesis)

Marwa Abdalmutaal YOUSIF

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

People in Sudan are facing a growing problem with indoor thermal comfort conditions because of high outdoor temperature during the dry season that lasts for almost more than 7 months. The peak day temperature can reach up to 50 °C in dry summer in the presence of low indoor airspeed. In order to achieve the thermal comfort of occupants in such harsh climatic conditions, excessive energy use for air-conditioning systems is needed. Moreover, considering the economic situation and instability of power supply in Sudan, it is important to quest sustainable solutions that could minimize energy consumption and thus harmful greenhouse effects on the environment. In this study, it is argued that passive design strategies fitting Sudan's climatic zone could be applied to reduce energy consumption for optimizing the indoor temperature. Therefore, the traditional adaptation methods in the local architecture were the trigger of the study. Based on literature review and on-site analysis, the main objective for this study is to the enforcement of passive cooling techniques across promoting interior thermal comfort to minimize energy consumption in houses in Khartoum city. Also, the study attempts to comprehend the climatic design solutions in vernacular architecture. Energy simulation process established on a comparative dynamic interpretation measured and modelled by DesignBuilder software used to examine the scope of minimizing cooling load after applying the passive cooling techniques. The passive cooling mechanisms had the most effectiveness, minimizing the cooling load from 140.96 kW/h to 70.4 kW/h in July during the peak loading which is 48% of total cooling load. It is stated that traditional techniques are capable of providing great potentials for innovative passive ventilating and cooling strategies for modern houses in Sudan.

Science Code : 80103

Key Words : Hot-dry climate, Energy efficiency, Thermal comfort, Simulation, Passive cooling techniques, Sudan

Page Number : 89

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı tamamlama fırsatını verdiği için üniversiteme teşekkürü bir borç bilirim. Elinizdeki çalışmanın başlangıcından tamamlanmasına kadar olan süreçte benimle birlikte oldukça fazla emek veren insanlara da minnettarım. Bu anlamda, tez çalışmam boyunca bilimsel ve akademik tecrübelerini benimle paylaşarak yeni ufuklar açan ve bana bu yolda ışık tutan danışman hocam Doç. Dr.Semra ARSLAN SELÇUK'a özellikle teşekkür ediyorum. Tüm hayatım boyunca ve özellikle de yüksek lisans eğitimimi tamamladığım bu süreçte bana sağladıkları muazzam destek için aileme en kalbi şükran duygularımı sunuyorum. Onların benzersiz sevgileri ve duaları sayesinde bu projeyi tamamlama şansını yakaladım. Son olarak, benim için özel olan kişiye desteği, tahammülü, sabrı ve sevgisi için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
 1. GİRİŞ	 1
 2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ALTYAPI	 5
2.1. Doğal Havalandırmaya Yönelik Pasif Soğutma Stratejileri	5
2.1.1. Yer seçimi ve ön planlama	7
2.1.2. Binanın konumlandırılması	9
2.1.3. Bina kabuğu	12
2.1.4. Doğal havalandırma	16
2.2. Konutlarda Tasarım Elemanı Doğal Havalandırma Uygulamaları	18
2.2.1. Peyzaj ve bitki örtüsü	19
2.2.2. Binaların avlusu	20
2.2.3. Rüzgâr bacaları	24
2.2.4. Buharlaşma ile soğutma	29
2.2.5. Yapı malzemesi olarak doğal kaynakların kullanılması	31
 3. MATERYAL VE YÖNTEM	 33

	Sayfa
3.1. Araştırmanın Metodolojisi	33
3.2. Bina Simülasyonu	34
3.3. Tasarım Oluşturmada Simülasyon.....	37
3.4. Hartum/Sudan’a Genel Bakış	38
3.5. Osman El-Kheir Konutu	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
4.1. Simülasyon Verilerinin Tanımlanması	47
4.2. Binanın Enerji Tüketimi	51
4.3. Tartışma	55
4.4. Temel Senaryodaki Ev Modelinin Simülasyon Sonuçları	62
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	71
EKLER	79
Ek-1. Yalıtım sızan yanmış tuğla duvar için yıllık soğutma tüketimi	80
Ek-2. Ekstrüde yalıtımlı havalandırılmış tuğla duvar için yıllık soğutma tüketimi	81
Ek-3. Mevcut vaka çalışması yönü için yıllık soğutma tüketimi (Kuzey-Doğu)	82
Ek-4. Önerilen yön için yıllık soğutma tüketimi (Kuzey)	83
Ek-5. Tek cam türü için yıllık soğutma tüketimi	84
Ek-6. Çift cam tipi için yıllık soğutma tüketimi	85
Ek-7. Yalıtımsız tonozlu çatı için yıllık soğutma tüketimi	86
Ek-8. Ekinde yalıtımlı tonozlu lar için yıllık soğutma tüketimi	87
ÖZGEÇMİŞ	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Hartum’da modern evlerin genel özellikleri	49
Çizelge 4.2. Osman El-Kheir evinin genel özellikleri	54
Çizelge 4.3. Simüle edilen ve birbirleriyle kıyaslanan duvar malzeme türleri	56
Çizelge 4.4. Yalıtım malzemelerinin özellikleri	58
Çizelge 4.5. Cam tipleri için fiziksel özellikler	61
Çizelge 4.6. Temel senaryodaki ev modeline ait simülasyon senaryoları ve inşaat verileri.....	64
Çizelge 4.7. Örnek çalışma ile önerilen arasındaki karşılaştırma	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Farklı yerleşim alanlarındaki hava hareketleri	8
Şekil 2.2. Binanın konumlandırılması	11
Şekil 2.3. Pencerelerinin konumuna göre taslağın yönü	12
Şekil 2.4. Doğal havalandırma	17
Şekil 2.5. Yaz ve kış aylarındaki doğal havalandırma	18
Şekil 2.6. Bitki örtüsü gölgelendirme	19
Şekil 2.7. Avluya sahip evlerin genel şeması	22
Şekil 2.8. Avluya plan ve kesiti gösterimi	23
Şekil 2.9. Arap mimarisinde doğal havalandırmaya yönelik rüzgâr bacası	25
Şekil 2.10. Rüzgâr bacası ve toprak arasındaki ilişki	29
Şekil 2.11. Buharlaşmalı soğutma	30
Şekil 3.1. Hartum/Sudan haritası	39
Şekil 3.2. Hartum/Sudan’da ortalama sıcaklıklar	40
Şekil 3.3. Hartum/Sudan’da ortalama yağış	40
Şekil 3.4. Hartum/Sudan’da ortalama nem	41
Şekil 3.5. Binanın yeri	41
Şekil 3.6. Yerleşim planı	42
Şekil 3.7. Bina tesis yerleşimi, rüzgâr bacası ve tonoz çatı kesit gösterimi	46
Şekil 4.1. Hartum’da tipik bir modern konut planı.....	50
Şekil 4.2. Hartumda bulunan tipik konutlar için yıllık soğutma enerjisi tüketimi.....	52
Şekil 4.3. İki boyutlu plan	53
Şekil 4.4. Üç boyutlu modelleme	54

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Örnek çalışmanın yıllık soğutma enerjisi tüketimi	55
Şekil 4.6. Duvar malzemeleri için yıllık soğutma enerjisi tüketimi	57
Şekil 4.7. Bina konumlandırması için yıllık soğutma enerjisi tüketimi.....	58
Şekil 4.8. Duvar yalıtım malzemeleri için yıllık soğutma yükü tüketimi	59
Şekil 4.9. Çatı yalıtım malzemeleri için yıllık soğutma yükü tüketimi	60
Şekil 4.10. Cam tipinin soğutma enerjisi tüketimine etkisi	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Abashar konutu içindeki bitkiler	20
Resim 2.2. Ishkanes Wagdi'nin konutu	24
Resim 2.3. Mustafa nin konutu	24
Resim 2.4. Rüzgâr bacası kullanan Al-Barbari konağı	27
Resim 2.5. Jack Iskanes tarafından tasarlanan Dar Mabruka	31
Resim 3.1. Peyzaj ve ana giriş	42
Resim 3.2. Evin termal yeşil alanı ile iç mekân arasındaki entegrasyonu	43
Resim 3.3. Üç katlı yüksek salon	44
Resim 3.4. Üçüncü kat	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	Santigrat
°F	Fahrenhayt
ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>)
BN	Bağıl Nem
CLO	Giysilerin ısı yalıtım ölçüsünde kullanılır
CO ₂	Karbondiyoksit
DB	DesignBuilder
DHD	Değişken Hava Debisi
DOE	ABD Enerji Bakanlığı
DXF	Drawing Exchange Format
EÇTL	Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik
EPW	Energy Plus Weather
GEÇSİS	Geçici Sistemler
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
IHI	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
k/m ²	kişi/m ²
Kg	Kilogram
KTS	Kuru Termometre Sıcaklığı
KVs	kilovat-saat
MENA	Orta Doğu ve Kuzey Afrika (<i>Middle East and North Africa</i>)
ÖMY	Öngörülen Memnuniyetsizlik Yüzdesi (<i>Predicted Percent Dissatisfied</i>)
SAP	Saatlik Analiz Programı
Y/H	Yüzey/Hacim Oranı

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi, sanayileşmenin ve kentleşmenin hızlanmasına ek olarak günümüzde yaşanan nüfus artışı gibi faktörler, doğal dış sıcaklığın, sıcak kuru iklimlerde yaşayan insanların termal konforunu rahatsız ettiği durumlarda mekanik iklimlendirme sistemlerini kullanmasına yol açmakta, bu ise, enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır (Kanagaraj ve Mahalingam, 2011). Bu bağlamda, enerji etkin doğal havalandırma yaklaşımlarının, binaların iç termal konforunu muhafaza etme konusunda yararlı bir araç olduğu hususu göz önüne alındığında, bina tasarım parametrelerinin enerji tasarrufu üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayınlanan bir rapora göre (Junjie, Cao ve Dai, 2016: 198-213), dünyadaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %50'si binalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Sudan'da, endüstriyel inşaat sektörünün ardından en fazla enerji tüketen sektör %33'lük pay ile inşaat sektörü olmuştur. Söz konusu enerji tüketimi, kullanıcıların konut ve ticari yapıların içerisindeki termal ve görsel konforlarının sağlanması adına ısınma, iklimlendirme ve aydınlatma vasıtaları üzerinden yapılmaktadır. Bu nedenlerle, enerji etkin bina tasarımı, yapılardaki enerjiden tasarruf edilmesi için büyük önem arz etmektedir (Koca, 2006:22).

Gelişmekte olan ülkelerin çoğunda, özellikle de kuru sıcak iklimlerde yaşayan insanlar, bulundukları termal koşullara uyum sağlama noktasında zorluklarla karşılaşmaktadırlar. Bunların bir nedeni de bina tasarımlarının yetersizliği ve standart termal konfor parametrelerini sağlamaktan uzak olmalarıdır. Bu yüzden, binalarda oturan insanların termal konforları, tamamen mimari tasarım ve gerçekleştirilen inşaatın yapısına bağlıdır (Hyde, 2000). Günümüz Sudan insanları, termal konforu sağlamak adına, doğal soğutma/havalandırma ve iç mekân termal konfor kalitesini artıracak olan mimari tasarım özelliklerini göz ardı ederek sadece mekanik iklimlendirme sistemlerine yönelmiş durumdadırlar. Aşırı yüklenmeden dolayı 10 saate kadar varan elektrik kesintilerinin düzenli bir şekilde yaşanmaya başladığı da dikkate alındığında, bu koşullar kuru sıcakların zirveye tırmandığı mevsim şartlarında daha da kötü bir hal almaktadır. Bu noktadan hareketle, bu çalışma, Sudan'ın en sıcak bölgesindeki konutlarda enerji tüketimini azaltabilecek ve bu konutlardaki iç mekân termal konforu artıracak en uygun pasif soğutma ve havalandırma yaklaşımlarını ele almaktadır.

Mimar ve tasarımcıların Hartum şehrinde tasarladıkları binalar, “enerji verimliliği” konusundan uzak görünmektedir. Bir başka ifade ile dünya genelinde, birincil enerji tüketim yerleri %30-40’lık oranlarla binalar olmasına rağmen, Sudan’lı yetkililer bina yapım aşamalarında kullanılmak üzere enerji kodlarını benimsemiş değildir (Sherko, 2018). Hartum’da yer alan mesken konutların birçoğuna bakıldığında, mimar ya da tasarımcıların enerji etkin yapılar tasarlama aşamasında oynadıkları rolün farkında olmadıklarını söylemek mümkündür. Mimarlar, maksimum alan kullanımı, daire/birim başına daha fazla yatak odası ve proje maliyeti olarak yüksek olmayan maliyetlere sahip çok birimli mesken konutlar tasarlama konusunda yüklenici firmaların ya da doğrudan dan müşterilerin sürekli baskısı altında kalmaktadır. Bu nedenle de mimarlar bina tasarımı yaparken, temel olarak bina başına birim/daire büyüklüğüne, daire/birim başına daha fazla yatak odası düşmesine ve mutfak ünitesine (mutfak, mutfak balkonu, kiler vb.) odaklanmak durumunda kalmaktadırlar. Mevcut durumda dairelerin tasarımları, genel olarak, Hartum’un sıcak kuru ikliminin gerekliliklerine cevap verememektedir. Mesken konutlar, aktif enerji kullanımına fazla bağımlı olmadan termal konforun sağlanmasını sağlayabilecek parametreleri göz ardı ederek tasarlanmaya devam etmektedir. Yapay aydınlatma ve havalandırmaya olan bağımlılık hemen hemen tüm evlerde devam etmektedir. Buna ilave olarak, konut sektöründeki enerji tüketimi, yaşam standartlarında görülen iyileşmeler nedeniyle de çarpıcı bir şekilde artmaktadır. Elektrik tüketiminin özellikle sıcak ve nemli dönemlerde mesken konutlardaki artışı, bina sakinlerine termal konfor sunan klimalara olan talebin artmasından kaynaklanmaktadır (Wong ve Li, 2007).

Sıcak kuru iklim bölgelerinde yaşayan insanlar, çevresel iklim koşullarına uyum sağlama noktasında birçok sorunla karşılaşmaktadırlar. Bu sorunları, söz konusu bölge ülkelerinde yaşanan şiddetli iklim şartları ve giderek kötüleşen ekonomik koşullar gibi çeşitli faktörlere bağlamak mümkündür.

Bu bölgelerde geleneksel inşaat teknikleri günümüz şartlarında hala kullanılıyor olsa da, mimarlar bölgedeki kadim öğretilerden geriye kalan pasif soğutma ve havalandırma tekniklerini görmezden gelmekte ve binalarda yaşayan insanları mekanik ve aktif soğutma sistemlerini kullanmaya zorlamaktadırlar. Bu durum ise birçok insanın altından kalkamadığı yüksek miktarlarda faturalar ödemelerine yol açmaktadır. Bir diğer husus ise kullanıcılara ilave baskı yapan enerji arzının dengesizliği konusu olabilir.

Yüksek miktarlardaki enerji tüketiminin çevre üzerindeki etkisinin yanında, ülkelerin birçoğunun, kirlilik seviyesinin artmasına ve ozon tabakasına zararlı gazların salınımına (sera etkisi) yol açan fosil yakıtlara bağımlı olduğu gerçeği de özellikle kuru sıcak bölgeler nezdinde titizlikle ele alınması gereken konulardan biridir.

Dünya genelinde enerji tüketimi anlamında büyük rol oynayan binalar, kullanıcılara uygun fiziksel çevre koşulları sunulurken enerji ihtiyaçlarının azaltmak edilmesi ve çevre dostu adımlar atılması noktasında küresel ölçekte önem kazanmıştır. Bu noktada, bina, çevre ve kullanıcı ile ilgili parametreler tanımlanmalı ve enerji verimliliğini sağlamak için bir takım yaklaşımlar geliştirilmelidir. Bu nedenle, yerel ölçekten başlayarak enerji tasarrufu konusunda somut adımlar atılmalıdır.

Bu çalışmanın amacı Hartum/Sudan'da bulunan konutlarda iç mekân termal konforu iyileştirmenin yollarını bulmaktır. Bu amaçla, bölgede mevcut olan geleneksel yapı malzemeleri ve “geleneksel yaklaşımlar” olarak bilinen teknikler üzerinde çalışılmıştır. Bölgedeki kuru sıcak koşulları ve yaşanan enerji sıkıntılarıyla nedeniyle iklime elverişli pasif teknikler tercih edilmiş, aktif sistemlere olan bağımlılığı azaltmaya yardım edebilecek olan modern bir tasarım geliştirmek amacıyla yapı malzemeleri değerlendirmeye alınmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan tasarım parametrelerinin adım adım uygulanışı diğer tez çalışmalarından farklılık göstermektedir ve bu parametreler, en iyi yerleşim yeri ya da verilerin aksine tasarımı optimize ederek mevcut iklimsel ve coğrafi şartları gerçek imar durumuna göre optimize etmek için tasarlanmıştır. Bu noktadan hareketle, bina tasarımına karar verilmesi aşamasında, enerji performansı ile doğal havalandırmaya yönelik pasif soğutma teknikleri arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak optimum seçenekte karar kılınmıştır.

Hartum şehrine yönelik olarak düşük soğutma enerjili konut tasarımı, geleneksel mimaride kullanılan düşük enerji tekniklerinin çağdaş mimaride kullanılan pasif soğutma teknikleri ile birleştirilmesiyle sağlanabilir.

Bu araştırmanın hedeflerine ulaşmak için cevaplanması gereken sorular şu şekilde belirlenmiştir:

1. Gelişmiş teknoloji ve elektrikli araçları kullanmadan geleneksel mimariye sadık kalarak insanların termal konforunu artırabilmek için üretilebilecek iklim-duyarlı tasarım çözümleri nelerdir?
2. Enerji etkinliği sağlamak için, geleneksel pasif tasarım öğretileri Hartum'da yer alan konutlar ile nasıl bütünleştirilebilir?

Çalışmanın hipotezi ise şu şekilde kurgulanmıştır;

Hartumda doğal soğutma/havalandırma için kullanılmış olan geleneksel yöntemler günümüz şartlarında da kullanılabilir. Bu yöntemle elde edilecek verimlilik ise günümüz hesaplamalı teknolojileri ile değerlendirilerek optimize edilebilir ve elde edilen veriler konut tasarımlarına erken evrelerde entegre edilebilir.

Bu konuya yönelik olarak yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak, bu tezde, Hartum'da bulunan geleneksel evlerde yöre halkı tarafından kullanılan pasif soğutma tekniklerinin açığa çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Osman El-Kheir'in evi, örnek bir vaka analizi kapsamında detaylı olarak incelenmiştir.

Tezin nihai hedefi olarak da, aşağıdaki adımlar takip edilerek, geleneksel yaklaşımların getirdiği tüm değerli özellikleri biraraya getiren yeni bir konut tasarımı geliştirilmesi amaçlanmıştır;

1. Bölgedeki iklim koşullarının araştırılması
2. Yerleşim bölgesindeki geleneksel pasif havalandırma/soğutma tekniklerinin yeniden değerlendirilmesi
3. Geleneksel konutları temsil etmesi adına bir vaka analizi olarak Osman El Kheir'in evinin (Hartum/Sudan) kullanılması
4. En uygun strateji ve tekniklerin seçilmesi
5. Pasif soğutma tekniklerinden, bölgedeki hava ve iklim koşullarından, mevcut ve düşük maliyetli yapı malzemelerinden en iyi şekilde faydalanmayı sağlayabilecek olan bir tasarım yaklaşımının geliştirilmesi
6. Simülasyon tekniklerinin kullanılarak tasarımın incelenmesi
7. Sonuçların değerlendirilmesi

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ALTYAPI

Kuramsal altyapının ilk kısmı, konutlarda doğal havalandırmayı sağlayarak iyi bir iç mekân termal konforu sunan ve bu sayede enerji tüketimini azaltan doğal havalandırmaya yönelik pasif soğutma stratejilerine odaklanmaktadır. Bu bölüm, konutlar özelinde geleneksel yapı teknikleri ve pasif soğutmanın başlıca standartlarını inceleyen çeşitli araştırmaları da ortaya koymaktadır. Kuramsal altyapının ikinci kısmı geleneksel yapı tiplerini ve Hartum şehrinde kullanılan malzemeler ile uygulanan pasif soğutma stratejilerini mercek altına almaktadır.

2.1. Doğal Havalandırmaya Yönelik Pasif Soğutma Stratejileri

Enerji etkin binaların amacı, bina sakinlerinin konfor seviyelerini iyileştirmek ve ısıtma, soğutma ve aydınlatma için harcanan enerji tüketim miktarlarını (elektrik, doğalgaz vb.) düşürmektir. Birleşmiş Milletler (1991) enerji etkin binaları, minimum enerji girişi miktarlarına sahip yapılar olarak tanımlar. Janssen (2004), enerji verimliliğinde yaşanacak bir iyileştirmenin, sağlanan hizmet seviyesini etkilemeden, üretim birimi başına enerji tüketim miktarlarını azaltan ve üretici veya enerji ürünlerini kullanan kişiler tarafından gerçekleştirilen herhangi bir işlem olarak kabul edildiğini öne sürer.

Binalarda enerjinin en fazla tüketildiği konuların başında mekanların ısıtılması ve soğutulması gelmektedir. Her iki konu için de mimari tasarım aşamasında alınabilecek önlemler bulunmaktadır.

Bu tekniklerin içinde “pasif soğutma/havalandırma”, enerji tüketimini azaltırken, iç mekân termal konforunu iyileştirmek için bir binadaki ısı kazancı kontrolü ve ısı kaybı konusuna odaklanan bir bina tasarım tekniğidir (Domi, 2018). Doğal soğutma sadece binanın mimari tasarımına değil, aynı zamanda, ısıyı düşürmek için mekanik sistemlerden ziyade doğal havalandırmadan faydalanan yerleşim alanındaki iklimsel çevrenin enerjisine de bağlıdır. Binaların konumlandırılması, gölgelik kullanılması ve avlu gibi termal konforu artırmaya yardımcı olabilecek farklı stratejiler ve performans artırıcı doğal havalandırma teknikleridir. Bu sayede termal konforlu yaşam şartları sunan evleri finanse etme

noktasında sıkıntı yaşayan düşük gelirli insanların da yaşam kalitelerini artırma yönünde alternatif çözümler geliştirilebilmektedir (Kanagaraj ve Mahalingam, 2011).

Kuru sıcak bölgelere yönelik pasif soğutma teknolojilerinin uygulanabilirliğini araştıran çok sayıda çalışma mevcuttur. Dünya topraklarının %30'undan fazlasının kurak veya yarı kurak olduğu kabul edilir ve dünya nüfusunun yaklaşık %15'i çöllerde yaşamaktadır (Al-Temeemi ve Harris, 2004: 251-260). Ayrıca, konutlar, ısıtma amaçlı kullanıma nazaran soğutma amaçlı kullanımlarda çevresel değişiklikler nedeniyle daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Sonuç olarak, kuru sıcak bölgelerde yer alan binalarda pasif soğutma teknolojilerinin kullanılmasının göz ardı edilmesi kritik bir husus olup, bu gibi yararlı gelişmelerin kullanılmasının mimarlar tarafından ihmal edilmesi de ayrıca tartışılması gereken bir durumdur (Ghaffarian ve Makaremi, 2007: 339-367). Yapılan araştırmalar sonucunda bu konudaki çalışmaların hem akademik hem de uygulama boyutunda eksiklikler bulunmaktadır, dolayısıyla da bu konu irdelenmeye değer mahiyettedir.

Binalar büyük ölçüde enerji tüketen yapılardır ve tüm dünyadaki başlıca kirlilik kaynağıdır. Yaşantımızda kullandığımız enerjinin neredeyse %50'si inşaat sektörü tarafından absorbe edilmektedir (Lombard, Ortiz ve Pout, 2008: 394-398). Tüketilen enerjinin, özellikle de gelişmekte olan ülkeler nezdinde %20-30'unun evler için tahsis edildiğini belirtmek yerinde olacaktır. Örneğin ABD'de tüketilen enerjinin %40'ı binalarda harcanmaktadır (Sadineni, Madala ve Boehm, 2011: 3617-3631). ABD'de yıllık karbondioksit salınımının yarısı ve sülfür oksit salınımının %70'i inşaat sektöründen kaynaklanmaktadır (Wang ve Chen, 2010: 535-539). Konfor sıcaklığını ayarlamak için gereken enerji tüketimi oldukça önemli seviyelerdedir. Özellikle Körfez Arap ülkelerinde tüketilen enerjinin dörtte üçü iklim sorunları dikkate alınmadan tasarlanan iklimlendirme sistemlerine sahip yapılar tarafından kullanılmaktadır (Alnaser ve Flanagan, 2007: 495-506) ve Kuveyt'te tüketilen enerjinin %53'ü sadece klimalara harcanmaktadır (Al-Temeemi ve Harris, 2004: 251-260).

Binalarda kullanılan pasif soğutma sistemleri ekolojik ve termal anlamda öneme sahip olsa da, bu sistemler mimarlar tarafından yeni binalarda sıklıkla kullanılmamaktadır. Kuveyt'te, iklimi dikkate alan mimari projeler, özellikle 1940'lı yıllardan bu yana (Al-temeemi ve Harris, 2004: 251-260), yani petrolün keşfedildiği zamanlardan beri, enerjinin rasyonel kullanımına çağrıda bulunan inşaat terimlerinin gelişmesine rağmen göz ardı edilmiştir.

Benzer şekilde Meksika’da da iklimsel faktörler mimarlar tarafından dikkate alınmamaktadır. Türkiye’deki yapıların da abartılı şekilde enerji tükettikleri gerekçesiyle çevreyle uyumlu olmadıkları öne sürülmektedir (Sözen ve Gedik, 2007: 1810-1816). Binalarda iklimlendirme sistemi kullanarak termal konfor yaratmanın bir tasarım eksikliği anlamına geldiğini belirtmek faydalı olacaktır. Bu nedenle, idealde, enerjiye yönelik çevresel problemler anlamında pasif soğutma sistemleri iklimlendirme sistemlerine nazaran daha etkili bir alternatiftir (Ralegaonkar ve Gupta, 2010). Libya’da bulunan Ghadames kentinde yaşayanlarla yapılan bir anketin sonuçları, geleneksel pasif soğutma sistemlerine sahip eski evlerde yaşayanların, iklimlendirme sistemlerine sahip modern evlerde yaşayanlara kıyasla termal açıdan kendilerini daha rahat hissettiklerini ortaya koymuştur (Ealiwa ve diğerleri, 2001: 231-237). Evler de dâhil olmak üzere binalarda kullanılan enerjinin yaklaşık% 50’si çevresel olarak konforlu termal yaşam seviyeleri sunmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen Hartum şehrinde tüketilen enerjinin en büyük kısmını soğutma sistemleri almaktadır (Domi, 2018).

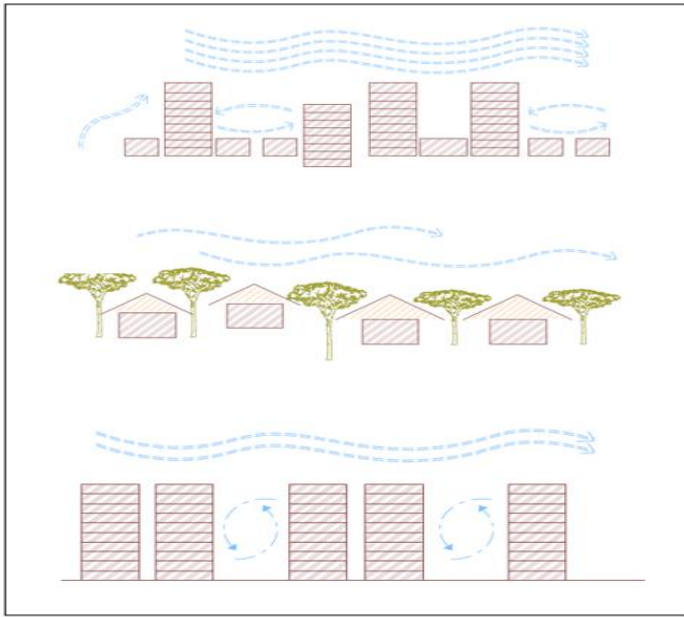
Günümüzde, Hartum’da yer alan konutlardaki enerji etkinliğini artırabilecek temel prensiplere odaklanmak önemlidir. Enerji etkin mesken konutların tasarlanmasına yönelik temel pasif ilkeleri oluşturmak için farklı dergilerden, kitaplardan, araştırmalardan ve ilgili web sitelerinden oluşan kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bahse konu literatür taramasından elde edilen ve Hartum bağlamında enerji etkin mesken konutlarla ilgili hususlar aşağıda açıklanmıştır:

2.1.1. Yer seçimi ve ön planlama

Yerleşim alanının seçimi, keşfi ve hazırlanması pasif tasarım stratejilerinin ilk aşamasıdır. Bununla birlikte, güneş enerjisi, hava hareketleri, sıcaklık farklılıkları ve bitki örtüsü gibi enerji kaynağı olarak kullanılabilecek çeşitli faktörler diğer aşamalardaki inşaat faaliyetlerinde başarıya katkı sağlarlar. Örneğin söz konusu husus enerji tüketimi ve çevrenin korunması olduğunda, doğal hava tahliyesi imkânları, doğal gölgelik (bitki örtüsü), bina yüzeyinin rüzgârla soğutulması ve belirli yaklaşımların kullanılmasındaki kısıtlamalar, tasarımcıların enerji tüketimi ve çevreyi koruma konusunda maksimum verimlilik elde etmelerine yardımcı olabilir (Garde ve diğerleri, 2004: 353-366).

Güneş enerjisi ve rüzgâr/hava hareketi etkileri gibi tasarım kriterleri binaların çevresindeki açık alanlar, aralarındaki mesafe, yükseklik ve birbirlerine göre konumlarına bağlı olarak tasarımında dikkate alınması gereken hususlar olup yapılar birbirleri için güneş enerjisi ve rüzgâr kesici görevi görebilirler (Soysal, 2008). Bu yüzden, pasif soğutma ve güneş enerjisinin etkisiyle ısıtmadaki iklimlendirmenin binalar arasındaki açık alanların sunduğu bir fonksiyon olduğu söylenebilir. Pasif iklimlendirmeden faydalanabilmek için yapılar arasındaki açık alanların, binaların boyutlarına ve optimal konumlarına göre belirlenmeleri gerekmektedir. Bina aralıkları boyutlandırılırken, gün doğumu ve gün batımı dışındaki ara saatler, arazi eğimi, yön ve yerleşim yoğunluğu açısından dikkate alınmalıdır (Özdemir, 2005).

Rüzgâr hızına bağlı olarak, hâkim rüzgârlar yönündeki bina boşlukları, yapının arkasında oluşan izlerin bina yüzeyinde oluşacak ısı kayıpları doğrultusunda dağılımı göz önüne alınarak belirlenmelidir (Soysal, 2008). Yerleşim durumlarına göre farklı yapılarda oluşan hava hareketleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Farklı yerleşim alanlarındaki hava hareketleri (Hillman ve Schreck 1983)

Güneşin cepheye göre açısal konumu gün boyunca değiştiğinden, uygun bina aralıkları bina dizilerinin konumlandırılmasına bağlı olarak değişecektir. Yapılar arasındaki mesafeler belirlenirken yapıların birbirlerinin güneş enerjisi kazanımlarını ve yararlı rüzgâr etkilerine mani olmamasına dikkat edilmelidir. Daha önce de belirtildiği gibi, yapılar,

rüzgârlara karşı engel olduğu gibi güneşe karşı da engel teşkil eder. İstenilen iç rüzgâr hızını sağlamak için gereken dış tasarım rüzgâr hızı, yapı aralıklarına bağlı olarak değişir. Binaların mesafesi azaldıkça, dış tasarım rüzgâr hızları da azalır (Özdemir, 2005).

Yapıların hâkim rüzgâr yönünde kurulması rüzgârdan daha fazla faydalanmaya olanak sağlarken, yapıları birbiri ardına yerleştirmek rüzgârdan korunmaya yardımcı olur. Her bina (boyutuna göre değişmekle birlikte) rüzgârın zıt yönünde yüksekliğinin yaklaşık altı katı kadar koruma sağlar (Utkut ve Soysal 2007).

2.1.2. Binanın konumlandırılması

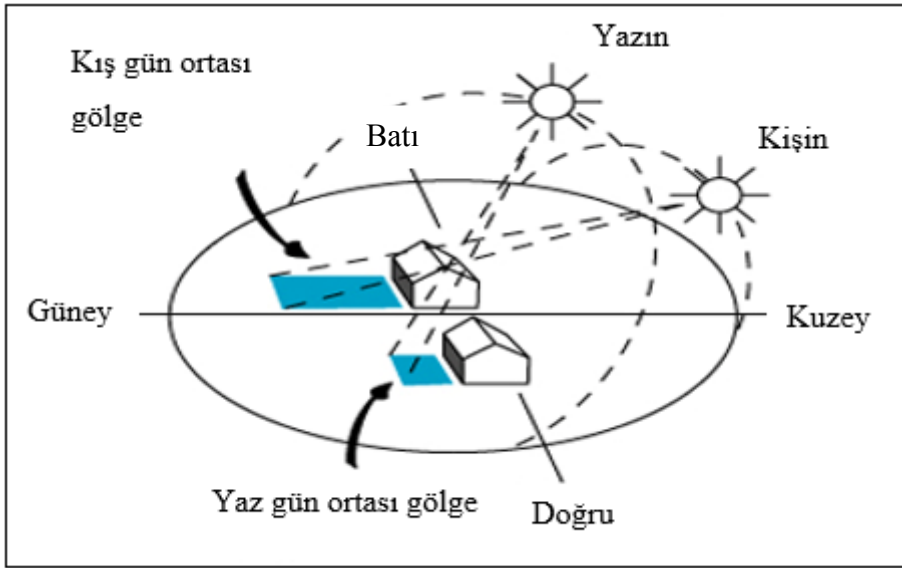
İnşaat yöntemleri açısından dış yüzey ile çevrelenmiş boyutlar arasındaki ilişki en aza indirilmelidir (Markus Morris ve Cooper, 1982: 243-288). Yaz aylarında en düşük ısı kaydının olduğu yön, Doğu-Batı ekseninde, 10-15 derece arasında bir sapma ile doğuya doğru uzanan Doğu-Batı eksenini göstermektedir. Pasif soğutma performansı açısından, Hartum'daki 37 çatı tipi alternatifi arasından en avantajlı alternatifi değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır.

Konumlandırma konusunda bir takım tartışmalı alanlar da bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar, binaların boyuna kullanılmasında Kuzey-Güney ekseninin ideal olduğunu düşünürken, bazıları ise Kuzey Doğu-Güney Batı veya Kuzey Batı-Güney Doğu doğrultusunun ideal bir model olduğunu savunmaktadır (Ali-Toudert, 2006). Ancak binanın boyuna eksenini Kuzey-Güney doğrultusunda olursa, bu defa da bina yolları Doğu-Batı ekseninde olacak ve yol bölgesi termal anlamda konforlu olamayacaktır (Kruger ve diğerleri, 2010).

Sudan'da evlerin doğru şekilde konumlandırılması, hâkim rüzgârlardan faydalanmak ve güneş enerjisinin neden olduğu ısı kazanımını azaltmak için her zaman hükümetin planlamasından farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bina kaplamasından kaynaklanan ısı kazancını en aza indirmek için daha uzun olan eksen Doğu-Batı istikametinde uzanmalıdır (Wong ve Huang, 2004). Hartum'daki konutlarda, bina yönü gibi pasif iklim kontrol yöntemlerinin etkinliğini incelemek adına saha ölçümleri ve hesaplamalı enerji simülasyonları gerçekleştirmiştir. Elde ettikleri sonuçlar, tropikal iklime sahip Hartum'daki bir binanın en iyi konumlandırılma şeklinin binanın uzun ekseninin doğu-batı

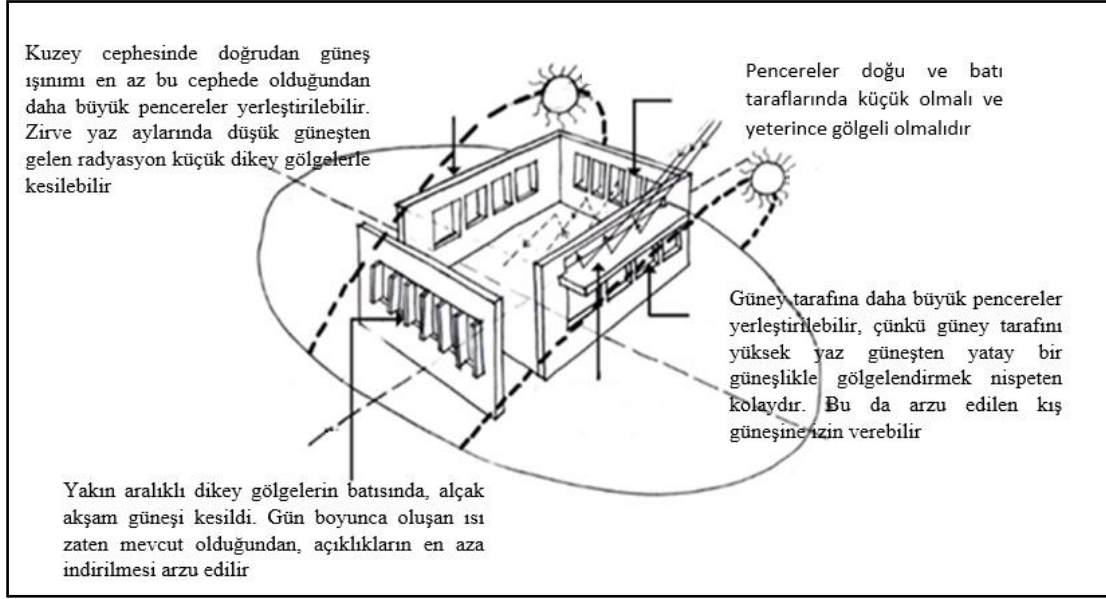
yönünde uzanması gerektiğini göstermektedir. Bu konumlandırma şekli sayesinde mesken bir konut için soğutma yükünün %8 ila %11 oranında düşürülebileceğini bildirmişlerdir (Iyendo ve diğerleri, 2016: 69-81). Bazen bazı kısıtlamalar uzun olan eksenin doğu-batı istikametine konumlandırılmasını zorlaştırabilir, hatta imkânsız hale getirebilir, mimar bu noktada sabah saatlerindeki kullanım alanlarını dikkate almalıdır. Yatak odası ve oturma odası gibi başlıca odaları gün içinde az sayıda insan kullanmaktadır, dolayısıyla bu odalar, insanlar akşam saatlerinde mesaiden döndükleri zaman soğumalarına imkân verecek şekilde Doğu yönüne bakmalıdır, öte yandan, sabah saatlerinde kullanılması muhtemel odalar ise Batı yönünde konumlandırılmalıdır (Oral ve Yılmaz, 2002).

Güneşe doğru ya da rüzgâr yönüne doğru konumlandırmaya ne kadar dikkat edilirse, o derece enerji etkin bir ev inşa edilmiş olur. Kullanım süreleri ve odanın işlevi, evdeki alanın düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Cheung ve Fuller, 2005). Birçok bilim adamı, insanların çoğunluğunun bir iklimlendirme sistemine sahip oldukları bölgelerde daha hızlı soğutma ve daha iyi havalandırma sağlayan çapraz havalandırma yönteminin en yaratıcı yöntem olduğu konusunda görüş birliğine varmışlardır. Binanın her bir bileşeninin konumu, kullanım amacına ve en yoğun kullanım saatlerine göre belirlenebilir. Örneğin, mutfak gibi oturma odaları da genellikle gün içinde kullanılırken, yatak odaları çoğunlukla geceleri kullanılır, bu durum ise oturma odası, mutfak ya da doğal olarak gün içinde kullanılan bir başka bölümün neden Batı yönünde olması gerektiğine açıklık getirir. Bu kısımlar öğleden sonra güneş ışınlarına maruz kalacağından, günün büyük kısmında soğuk kalacaktır ve bu sayede aktif sistem kullanımı minimize edilmiş olacaktır. Bunun tersi durum ise, öğleden sonraları daha serin olacağı için yatak odaları (doğu cephesine bakacak şekilde) için geçerlidir (Hart ve Hart, 2005).



Şekil 2.2. Binanın konumlandırılması (İnternet -1)

İyi bir konumlandırma ısıtma ve soğutmanın desteklenmesi için gereken bağımlılığı düşürür ve bu sayede enerji tüketimi de azalmış olur. Güneş faktörü dikkate alındığında, binaların optimum uzanım hattının Doğu-Batı cephesi olduğu görülmektedir. Binalar boylamasına Doğu-Batı ekseninde, enlemesine ise Kuzey-Güney eksenini boyunca uzanmalıdır. Güney cephesine bakan duvarlar kış aylarında güneş ışınlarını emer, bunun yanında, çok sıcak seyreden yaz aylarında güneşin etkilerini düşürmek için nispeten küçük saçak benzeri gölgelendirme tekniklerinden faydalanılabilir. Doğu ve batı cepheleri yaz aylarında arzu edilmeyen ısıya maruz kalır, bu yüzden bu cephelerin güneş ışınlarına daha az maruz kalacak yüzeylere sahip olması gerekir, hatta bu cephelerin ağaçların ya da çevredeki diğer binaların gölgesinde kalmasının sağlanması da gerekebilir. Hafif Güneybatı cephesinde (tipik olarak 15° Güneybatı) olacak şekilde yapılacak olan konumlandırma daha etkili olacaktır, çünkü bu şekilde evin doğu istikametine bakan cepheleri yaz aylarında daha az güneş ışınına maruz kalmış olacaktır. (Şekil 2.3) Özellikle dış duvarlarda yer alan pencerelerin nispeten küçük olması gerekir ve doğrudan ısıtım ve parlamalardan korunacak şekilde önlem alınmalıdır. Daha geniş olan pencereler Kuzey ve Güney cephelerine bakmalıdır. En kötü konumlandırma biçimi Batı-Doğu cephesi olacak şekilde yapılan konumlandırma ve bu sadece yaşanabilir durumda olmayan yerlerde bir termal bariyer oluşturmak için kullanılabilir.



Şekil 2.3. Pencerelerinin konumu (İnternet -2)

2.1.3. Bina kabuğu

Bina kabuğunun tasarımı, enerji tasarrufu yapmaya ve optimum konfora ulaşmaya yardımcı olabilecek ve yapı formu ile kullanılan malzemelerin bir entegrasyonudur. Isı enerjisi evlere genellikle çatı, duvar, pencere ve zemin gibi yüzeylerden girer ve çıkar, odaların, kapıların ve iç duvarların düzeninden de etkilenebilir. Cheung ve Fuller, 2005 yılında yaptıkları bir çalışmayla, yüksek binalardaki soğutma enerjisini en aza indirmek için geliştirilmiş bir bina kabuğu tasarımı ortaya koymuşlardır (Cheung ve Fuller, 2005). Yaptıkları çalışma, yıllık soğutma miktarının, dış yüzeylerin güneş Emilimi (bir maddeye geçen güneş enerjisi miktarı) ile neredeyse doğrusal bir ilişkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Belirli bir binada güneş ışınlarını yansıtıcı malzemelerin kullanılması enerji tasarrufu anlamında katkı sağlayabilir. “Güneş emilimindeki %30’luk bir azalma, soğutma için gereken yıllık enerji miktarında %12’lik bir tasarruf sağlayabilir.” Dış duvar yüzeyleri için daha düşük emici özelliğe sahip bir malzeme veya daha açık bir renk kullanımı, ısı kazancını azaltmada önemli bir etkiye sahip olabilir (Taleb ve Sharples, 2011).

Bina kaplaması ile başlangıçta, gündüz ve gece sıcaklıkları anlamında büyük farklar yaşatan kurak bölgelerde ısı kazancının ve kaybının kontrol altına alınması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, gün içindeki ısı kazanımını önlemek için termal bir kütleye ihtiyaç duyulur, böyle bir kütle için ağır ve kompozit bir yapı kullanılabilir. Ayrıca, gündüz depolanan

ısının kaybolmasını sağlamak için gece boyunca iç mekânlarda bir havalandırma sistemi uygulanmalıdır (İndraganti, 2010).

Herhangi bir binaya uygulanan kaplama üzerine gelen güneş ışınlarının etkisi noktasında, oluşabilecek ısı kaybı ve kazancı, aşağıdaki verilen şu üç yoldan biri şeklinde gerçekleşebilir;

1. Binadaki boşluklardan gelen ve binanın iç yüzeyi tarafından emilen doğrudan ısı kazancı,
2. Işınımın başlangıçta dış yüzey tarafından emildiği ve ardından iç yüzeye geçtiği ısı transferi süreci (aynı zamanda bir ısı kazanımı),
3. Uzun dalga ışıınımına bağlı ısı kaybı, bu durum, binanın gündüz vakti ısı kazanması ve dış sıcaklığın binaya nispeten daha düşük olduğu gece vakti atmosfere bu ısıyı yayması ile meydana gelir, bu durum genellikle hava sıcaklığının düşük olduğu gece vakitlerinde yaşanır (Kocagil ve Oral, 2016: 39-46).

Bina muhafazaları ve kaplamaları, binaların enerji performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Pek çok muhafaza parametresi olduğundan, aşağıdaki bölümlerde bu parametrelere yönelik kısa bir açıklama ve tanımlama yapmak faydalı olacaktır.

Duvarlar

Duvar, bina kaplamasının ana parçasıdır ve binanın görünümünü etkilemeden bina içindeki ısı ve ses yalıtımını sağlaması arzulanır. Duvarın ısıl direnci (R-değeri), özellikle geniş duvar alanları ve geniş toplam yüzey alanına sahip çok katlı apartmanların enerji tüketimini etkilemede büyük rol oynar. Duvar tipleri genel olarak, yapımında kullanılan malzemelerden hareketle ahşap duvarlar, metal giydirme duvarlar ve taş duvarlar olarak sınıflandırılır (Sharma, 2013).

Cao ve diğerleri (2016:198-213) tarafından da belirtildiği gibi, güneş ısı kazanımına dayanarak pasif bir ısıtma teknolojisi uygulanabilecek olan bazı duvar tipleri vardır. Örneğin, trombe duvarı, tipik olarak güneş enerjisini emebilen ve bir binaya verimli bir şekilde iletilmesini sağlayan pasif bir ısı duvarıdır. Cao ve ekibi bu bağlamda, rulo tipi gölgelendirmeye sahip bir trombe duvarını kullanarak yaptıkları çalışmada, trombe duvarının %42 oranında enerji tasarrufu sağladığını tespit etmişlerdir. Konuyla ilgili bir

başka çalışma ise Omrany ve diğerleri (2016) tarafından yapılmış olup, bu çalışmalarında binalardaki trombe duvar, otoklavlı beton duvar ve çift cidarlı duvar ve yeşilliklerle kaplı duvarları incelemişlerdir. Ormandy ve ekibi yaptıkları çalışmada bu duvar tiplerinin enerji verimliliğine olan katkılarını incelemiş ve şu sonuçlara ulaşmışlardır;

1. Trombe duvarlar enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır.
2. Otoklavlı beton duvar, enerji tüketimini azaltmada umut verici bir çözüm olarak kabul edilmektedir.
3. Çift cidarlı duvar, binalarda enerji tüketiminin azaltılması yönünde umut veren bir çözüm tekniği olarak kabul edilmektedir.

Binalarda yeşil duvarların kullanılması, hem iç ortam sıcaklıklarına, hem de dış çevreye olumlu etki eder. Bir başka ifadeyle, bu duvarlar, binalara giren arzu edilmeyen güneş ışını miktarlarını azaltan bir yalıtım malzemesi olarak kabul edilirler.

Çatılar

Bir başka opak (*ışık geçirmez*) bileşen ise çatılardır; çatılar binaların iç ortam konfor seviyelerine katkıda bulunarak bina sakinlerinin konforuna da olumlu etki yapar. Bunun nedeni çatıların kendi başına güneş ışınlarına ve diğer çevresel faktörlere maruz kalmasıdır. Genel olarak, hava koşullarının ve binanın konumunun dikkate alındığı durumlarda gereken çatı özelliklerini sağlamak için kompozit çatı sistemleri tercih edilir. Çatılar, özellikle tropikal iklimde pasif bir soğutma tekniği olarak önemli ölçüde uygulanabilir (Goia ve Gustavsén, 2015).

Sadineni ve diğerleri (2011:1-100) belirttiği gibi, çatı, bina kaplamasının, bina sakinlerinin iç ortam konforunu etkileyen, güneş ışınlarına ve diğer çevresel faktörlere yüksek oranda maruz kalan önemli bir parçasıdır. Özellikle geniş çatılara sahip binalarda çatılar ısı kaybı ya da kazanımına önemli ölçüde katkıda bulunurlar. Birleşik Krallık yapı yönetmeliklerine göre, 1965, 1976 ve 1985 yıllarındaki düz çatılarda görülen maksimum U-değerleri sırasıyla $1.42\text{W/m}^2\text{K}$, $0.6\text{W/m}^2\text{K}$ and $0.35\text{W/m}^2\text{K}$ olarak tespit edilmiştir. Günümüzde ise Birleşik Krallıktaki tüm yeni binalarda U-değerinin $0.25\text{W/m}^2\text{K}$ ya da daha az olması gerekmektedir. U-değerinin yıllara göre düşüş göstermesi, binaların genel termal performansını arttırmak için çatıların termal performansının ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

Çatı konstrüksiyonunun değiştirilmesi yoluyla bazı pasif soğutma tekniklerini uygulamak mümkün hale gelir. Bu teknikler minimum güneş ışığına maruz kalan kompakt bir hücresel çatı düzenini, kubbeli ve tonozlu çatıları, doğal veya mekanik olarak havalandırılan çatıları ve mikro havalandırılmış çatıları, yüksek çatıları ve çift çatıları kapsar. Güneş ışıının çatı yüzeyindeki etkisini azaltmanın bir diğer yolu da çatı gölgelendirmesidir. Düşük maliyetli çatı gölgelendirmesi için genellikle iç ortam sıcaklığını 6 °C düşürebilen terakota (*pişirilmiş toprak*) kiremit benzeri yerel malzemeler kullanılabilir.

Yalıtım

Genel olarak binalar CO₂ salım yanı sıra birincil enerji tüketiminin de yaklaşık %40'ını gerçekleştirirler. Bina kaplamalarında yalıtım malzemelerinin kullanımı, enerji tüketimini etkili ve önemli ölçüde azaltabilir (Saadatian ve diğerleri, 2016). Ajeel ve Yusof (2016) tarafından belirtildiği gibi, bina yalıtım stratejilerinin enerji aktarım modeli ve enerjinin hareket yönüne ve yoğunluğuna göre dikkatlice değerlendirilmesi gerekir. Bu, gün ve mevsim boyunca değişiklik gösterebilir. Uygun bir kaplama tasarımı seçmek gerekir; bu ise yapı malzemeleri ve tekniklerinin uygun bir kombinasyonu ile mümkündür. Yalıtım malzemeleri, bina elektrik tüketiminin azaltılmasında önemli bir rol oynar, bu da büyük bir maliyet tasarrufu sağlarken, çevre kirliliğine neden olan gaz salınımında önemli bir azalmaya neden olur.

Bina kaplamalarının yalıtımı, binaların enerji tüketimini düşürmek ve bina sektöründe yaşanan olumsuz çevresel etkileri azaltmak için etkili bir yoldur. Ancak, yalıtım malzemelerinin çevre üzerinde olumlu etkileri olduğu kadar, bünyelerinde gömülü enerji nedeniyle olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Genel olarak, yalıtım malzemelerinin etkisi doğrudan etki ve dolaylı etki olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir. Doğrudan etki, yalıtım malzemelerinin gömülü enerjisinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, dolaylı etki ise, binalarda operasyonel enerji kullanımının azaltılması ile ilgilidir (Biswas ve diğerleri, 2016).

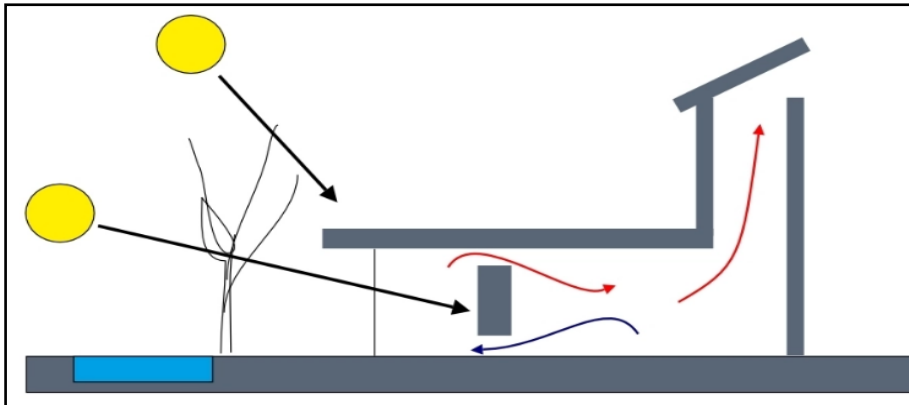
Birçok yalıtım tipi bulunmaktadır, bunlar, selüloz lifler, fiberglas (cam elyafı) veya mineral elyaf tabakalarında seyrek ya da spreyl şeklinde veya köpük yalıtımında kullanılan katı veya spreylardan oluşmaktadır. Katı köpük yalıtımı, ticari yapılarda harici yalıtım malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan bir tekniktir, bunun nedeni ise doğrudan

dökme betona veya blok duvarlara tutturulabilme yeteneğidir. Kimi zaman da, dikmelerin oluşturduğu termal köprü üzerinden geçebildiği için dikmelerin fiber yalıtımlı olduğu ahşap çerçeveli bir binada dış katman olarak da kullanılır. Öte yandan yapı malzemelerine yönelik olarak, genleşmiş polistiren (EPS), ekstrüde polistiren (XPS), ekstrüde poliüretan (PU) ve asbest (RW) benzeri diğer yalıtım malzemeleri de kullanılmaktadır (Harvey, 2007).

Bu kapsamda, hem opak, hem de saydam yalıtımlı bina kaplaması, bina enerji verimliliği için önemli bir strateji olarak görülebilir. Duvarların, çatıların, bodrum katların ve hatta bina temellerinin bile yalıtımı, enerji etkin binaların en önemli özelliklerinden birisidir. Bunların yanında, camın zayıf yalıtımı, şeffaf yapıdaki kaplamalar, pencereler ve tavan pencerelerinin yalıtılması nedeniyle ısı kaybı ve kazancı hem kış, hem de yaz aylarında önemli ölçüde azalır (Kim ve Moon, 2009).

2.1.4. Doğal havalandırma

Doğal havalandırma, dikey ve yatay hava basıncı arasında fark olduğu zamanlarda meydana gelir, basınçlar arasında görülen bu farklar ise rüzgâr ve sıcaklıklar arasında oluşan farklardan kaynaklanır. Gün ortasında ısı çok hızlı bir şekilde yükseldiği için, aşırı sıcak bölgelerde yaşam oldukça zorlaşır, bu nedenle, iyi tasarlanmış bir binanın temel özelliği, dış ortam sıcaklarının altında seyreden bir iç mekân sıcaklığına sahip bir yapıda olmasıdır. Şekil 2.4’de gösterildiği gibi iyi tasarlanmış binalarda, bina sakinleri herhangi bir enerji kullanmadan bile, bina içindeki havayı doğal havalandırma olarak kullanıp konforu elde edebilmelidirler (Raeissi ve Taheri, 1998: 565-570).



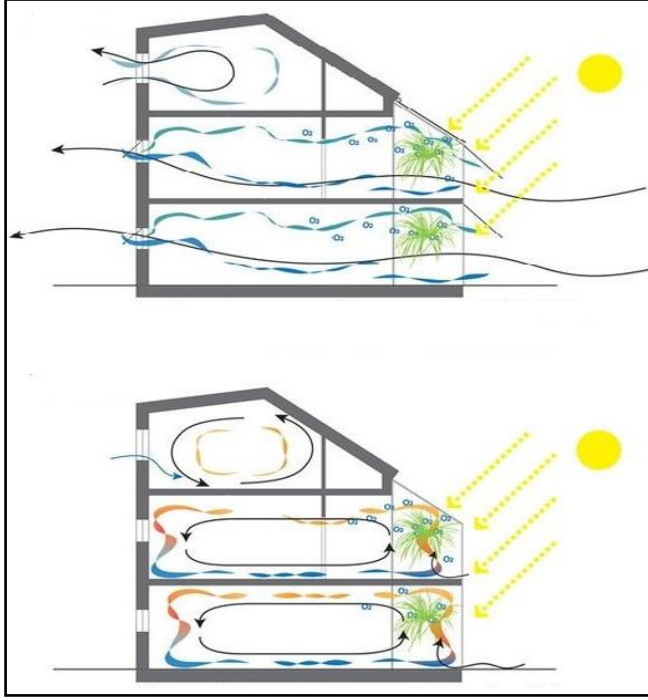
Şekil 2.4. Doğal havalandırma (İnternet -3)

Hartum’da yapılan bir çalışmada, iklimlendirme sistemine sahip odalardaki CO₂ seviyesinin doğal yöntemlerde havalandırılan odalara kıyasla çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İklimlendirme sistemine sahip binalardaki ÖMY (Öngörülen Memnuniyetsizlik Yüzdesi), kimi zaman ortamın klimalar tarafından aşırı soğutulması yüzünden de artmaktadır, öte yandan, doğal havalandırma kullanılan binalarda ısıl konfor sağlamak için sadece vantilatör (pervane) kullanılmasının yeterli olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, doğal havalandırmanın işletme maliyetlerini düşürmek ve havanın kalitesini artırmak gibi birçok faydası da bulunmaktadır (Osman ve diğerleri, 2015).

Binalardaki havalandırma boşluklarına dair bazı hususlar aşağıda açıklanmıştır;

1. Boşluklar, havalandırma ve aydınlatma gibi farklı amaçlar için kullanılmalıdır.
2. Isı artışı azaltmak için havalandırma boşluklarının gündüzleri kapalı kalması, aynı şekilde gün içinde depolanan sıcaklığın da gece vakitlerinde dış atmosfere salınmasını sağlamak için açık tutulmasını sağlayacak kontrol sensörleri yerleştirilmelidir.
3. Boşlukları farklı yüksekliklere yerleştirerek baca etkisinden faydalanmak için dikey havalandırma konsepti tercih edilmelidir.
4. Havalandırma boşlukları, ısı kaybını hızlandırmak için iç yüzeylerdeki hava hareketlerini kullanabilmek adına duvarlara ve çatılara yerleştirilmelidir (Miller, 2007: 15-22).

Şekil 2.5.’de yaz aylarındaki doğal havalandırma çapraz havalandırma üzerine tasarlanmıştır. Basınç farkları, aynı zamanda binaları da soğutan çapraz havalandırmayı tetikler. Kış aylarındaki doğal havalandırma ise kısıtlı miktardaki (genel hava sirkülasyonunun %20’sine kadar) soğuk hava ile ısı geri dönüşümü konusuna eğilmiştir. Buna ilave olarak, iç ortam havasını bir sera planlaması ile arıtmak ve nemlendirmek mümkün olacaktır.



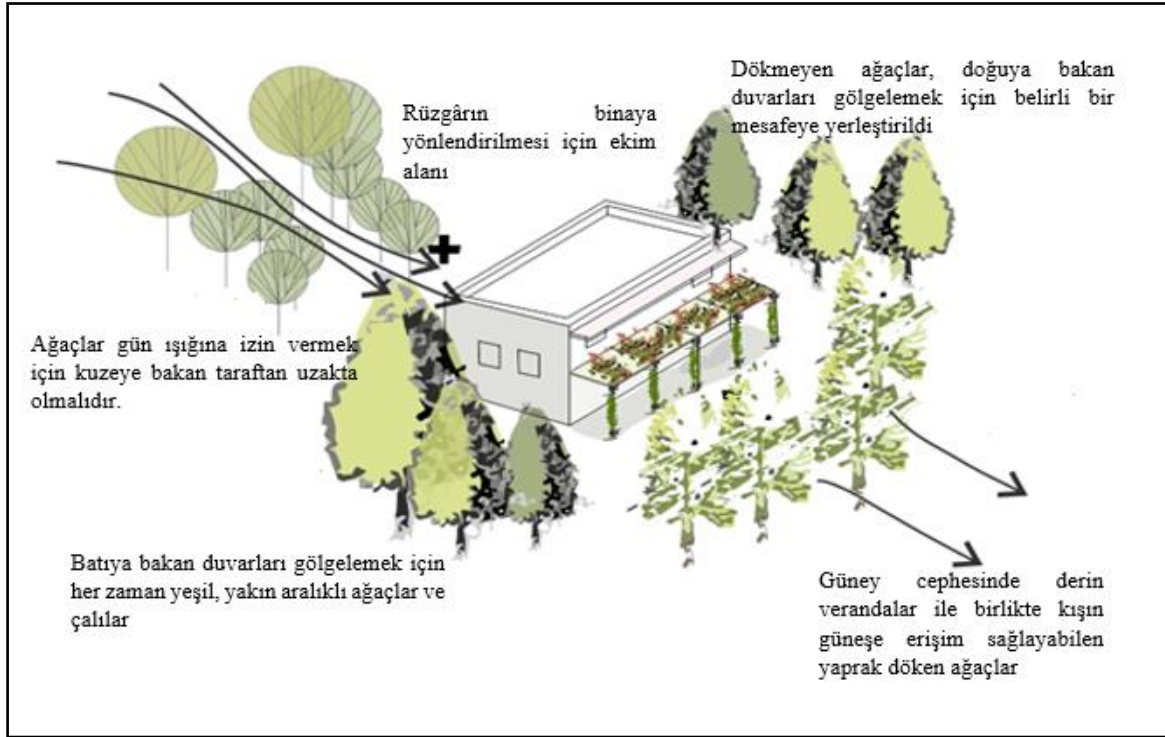
Şekil 2.5. Yaz ve kış aylarındaki doğal havalandırma (İnternet -4)

2.2. Konutlarda Tasarım Elemanı Doğal Havalandırma Uygulamaları

Konutlardaki enerji verimliliğini arttırabilecek temel prensipler üzerinde yoğunlaşmak önemlidir. Enerji etkin konutların tasarlanmasında temel pasif ilkeleri oluşturmak için farklı bültenlerden, kitaplardan, araştırmalardan ve ilgili web sitelerinden oluşan genel bir literatür taraması yapılmıştır. Termal konforun iyileştirilmesi ve gereksinim duyulan enerjinin azaltılması için şu gibi özelliklere ihtiyaç duyulur:

2.2.1. Peyzaj ve bitki örtüsü

Peyzaj düzenlemeleri, konforun iyileştirilmesi ve enerji tüketiminin azaltılmasındaki en düşük maliyetli ve en etkili tekniktir ancak sıklıkla ihmal edilmektedir. Tasarımcılar bitkileri çizdikleri tasarımın bir parçası olarak görebilir ve doğrudan güneş ışığına karşı gölge elde etmek için kullanabilirler. Yapılan araştırmalar, uygun bitki planlaması yapıldığında, kirlilik seviyesinin düşürülmesinin yanısıra tüketilen enerji miktarından %40'a varan oranlarda tasarruf edilebildiğini göstermektedir. Bu aynı zamanda sıcaklık seviyeleri üzerinde önemli bir etki yaratabilir ve bina sakinlerinin ruh halini de olumlu yönde etkileyebilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Bitki örtüsü gölgelendirme (İnternet -5)

Bitkileri tasarımın bir parçası olarak kullanmak enerji tasarrufuna olumlu bir katkı yapabilir, aktif sistemlere olan bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olabilir. Tek dezavantaj olarak ise maksimum faydanın sağlanması adına bina içinde ya da yerleşim yerinin çevresinde özel olarak tayin edilmiş yeşil alanların kullanılması gerekliliği gösterilebilir (Akande, 2010).

Örneğin, Resim 2.1’de görüldüğü gibi, Hartum’da bir evin yüksek sıcaklıkların azaltılması ve nemin geri kazanılmasında büyük etkisi olan tasarımında bitkilerin kullanılmasına vurgu yapmıştır (Bani ve Saeed, 2015). Bununla birlikte, konutun duvarlarında kullanılan malzemeler, iç mekânı ısı ışıınımından izole etme kabiliyetinin yanı sıra yerel maliyet-etkin yöntemler kullanarak modern bir tasarım yaratmanın uygulanabilirliğine bir örnek teşkil etmektedir.



Resim 2.1. Abashar Konutu içindeki bitkiler, Hartum (Bani and Saeed, 2015)

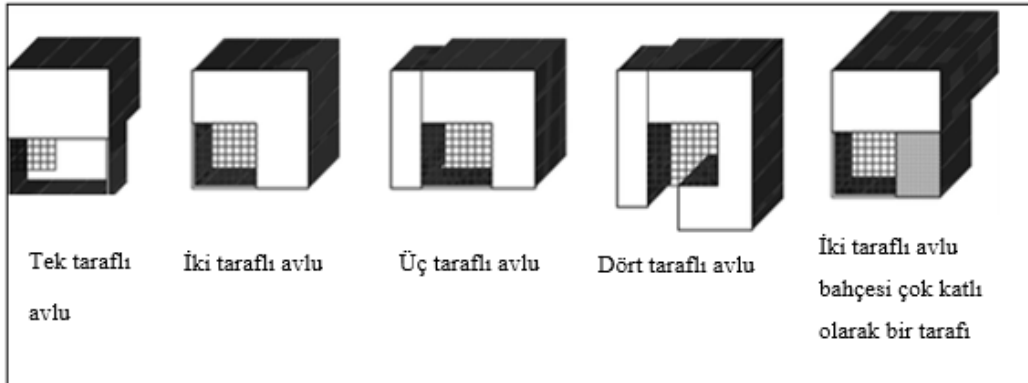
2.2.2. Binaların avlusu

Avlu, etrafı binalarla çevrili ve açık hava imkânı veren bir iç mekân olarak tanımlanabilir. Bu modeli, Kuzey Afrika ve Orta Doğu'daki adliye binalarının tasarımında görmek mümkündür. Böyle bir model sıcak kuru iklimlerin hâkim olduğu bölgelerin çoğunda tercih edilmektedir, çünkü bu özellikteki iklime uygun bir yapı olduğunu ortaya koymuştur. Avlu konsepti, rüzgârlı ve tozlu ortamının yanı sıra yüksek güneş ışınımına maruz kalan sıcak kuru bölgelerdeki bir takım sorunların çözümüne yardımcı olmuştur. Avlular, gölge sağlayan ve güneş ışınlarını engelleyen yüksek duvarları sayesinde adeta bir termal düzenleyici görevi görmektedir. Avluların bir diğer faydası ise binanın etrafındaki havanın hareketlenmesine katkıda bulunarak çevresindeki diğer binaların da ısı kaybetme oranlarını arttırmasıdır (Edwards ve diğerleri, 2006).

Avlu tasarımı, ısı artışını azaltırken ihtiyaç duyulan yeterli gün ışığını da sağlamalıdır, bunun yanında, sıcak havayı ve tozu binanın dışında tutmalı ve yaşam alanının bir parçası olmalıdır. Avlu modeli, tek bir binada veya kentsel ölçekte kullanıldığı zaman çok daha etkili hale gelir ve böylece güneş ışınlarına maruz kalan alanı küçülterek güneş ışınlarının içeri sızma miktarını da azaltır. Dış duvarlardaki boşlukların sayısı havalandırma için gerekli olmadıkça asgari düzeyde tutulmalı, diğer tüm boşluklar avluya bakmalıdır. Öte yandan avlu, çevredeki binaların soğutulmasına yardımcı olan bir dış ortam sağlarken, aynı zamanda bir sığınak ve mahremiyet sağlayan bir yaşam alanı haline de gelmektedir (Foruzanmehr, 2017).

Avlunun bir başka faydası ise baca etkisidir, gün içinde açık alan ısındığında hava hareketi meydana gelir, sonuç olarak da ısınan hava yükselir ve bu sayede açık alandaki soğuk havanın bir esinti yaratmasına imkân verir. Kimi zaman tasarımcılar, soğutma etkisini arttırmak için, hava kanallarının üzerine bitki örtüsü veya bir su kütlesi eklerler. Avlu gece boyunca binanın üzerinden gelen serin havayı kendine çekecektir. Hava yolu ise binadaki avluya açılan boşluklardan geçecektir (Foruzanmehr, 2017).

Tasarımcılar avluyu dizayn ederken dış yüzeylerden birinin her zaman gölgede kalmasına dikkat etmeli, iç yüzeylerin ise sıra sütunlar ya da veranda kullanılarak daima gölgede bırakılmasına özen göstermelidir. Binanın dış pencerelerinin olmaması halinde avlu etrafındaki binalara aydınlık sağlayacaktır, bununla birlikte, açık alanın sıra sütunlar ya da verandalarla çevrili olması halinde ise zeminlerin parlaması kullanılacak olan bitkilerle önlenebilecektir (El Harrouni, 2015). Şekil 2.7.'de verilen diyagramda çeşitli avlu tipleri ve bunların bahçelerle olan ilişkileri sırasıyla gösterilmiştir.

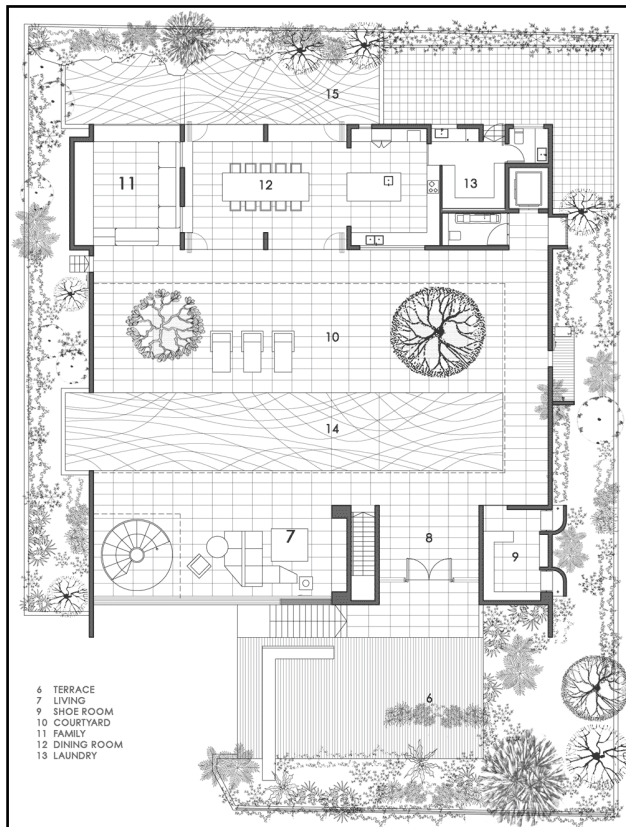


Şekil 2.7. Avluya sahip evlerin genel şeması (İnternet -6)

Avlu, rüzgârın yönüne bakılmaksızın daima serin bir esinti oluşmasını sağlar, avlu ile etrafındaki binaların tepeleri arasındaki sıcaklık farkı sayesinde hava basıncında bir farklılığa neden olur. Ayrıca hava, baca etkisini en üst seviyeye çıkarabilecek bir hava akımının oluşmasına neden olan havalandırma boşluklarına doğru hareket edecektir. Bitkiler ve ağaçlar bilinçli olarak avluya giren rüzgârın giriş istikameti üzerindeki yerlere yerleştirilir ki bu sayede hem serin havadan faydalanılmış olur, hem de bu iklim yapısındaki bölgelerde sıklıkla görülen toz ve toprağa karşı da koruma sağlanmış olur (Rajapaksha ve diğerleri, 2002).

Avlu, gece boyunca en düşük seviyelerine düşen soğuk havanın depolanması görevini de üstlenir. Günün daha sıcak saatlerinde, avluda bulunan daha ferah hava binanın iç kısımlarına doğru yayılır. Bu yüzden nispeten küçük avlular, yüksek ısıdaki termal kütlelerin gece havalandırması yoluyla soğutulması için ideal tekniklerdir (Kandilli ve Ülgen, 2008).

Avlu için gereken alan, bu tip sıcak ve kuru bölgelerdeki termal uyum için her ne kadar elverişli olsa da, bu tekniğin kullanılmasından kaçınmakta başlıca faktör olarak değerlendirilir. Kentsel arazilerin oldukça yüksek fiyatlarda seyretmesi ve çok aileli mesken konutlardan oluşan binalarda aranan mahremiyet özelliği gibi faktörler mimarları bu teknikleri modern binalarda da uygulamaktan alıkoymaktadır. (Şekil 2.8) Öte yandan avlunun konumlandırılması termal performansı pozitif ya da negatif biçimde etkileyebilir (Bourbia ve diğerleri, 2004: 249-262).



- 6- Teras
- 7- Oturma odası
- 8- Ayakkabı odası
- 9- Avlu
- 10- Aile Salonu
- 11- Oturma odası
- 12- Yemek odası
- 13- Çamaşırhane

Şekil 2.8. Avluya plan ve kesiti gösterimi (İnternet -7)



Şekil 2.8. (devam) Avluya plan ve kesiti gösterimi (İnternet -7)

“Sıcak ve kurak bölgelerde derince yapılan avlular (yükseklik/genişlik oranı 10 ve gökyüzü görüş faktörü minimum olacak şekilde) nispeten daha sık tasarlanan avlulardan daha kullanışlıdır” (Jahssenn, 2004). Buna ilave olarak, avluların termal performansı, avlu duvarlarında kullanılan malzemelere de bağlıdır.

Hartum’daki mimarlar yaptıkları tasarımlarında Sudan’da kültürel değeri yüksek olan avluları tercih etmektedirler (Bani ve Saeed, 2015). Buna örnek olarak Resim 2.2’de Ishkane Wagdi Konutu ve Resim 2.3’de Mustafa konutları gösterilebilir.



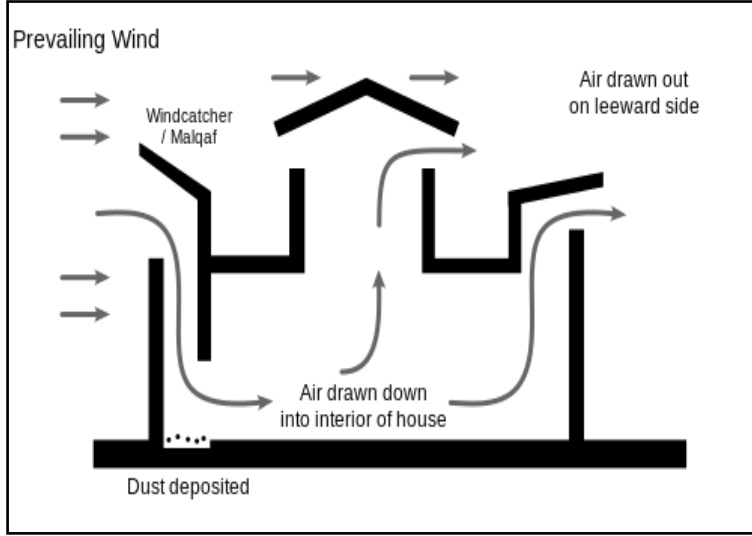
Resim 2.2. Ishkanes Wagdi’nin konutu (Bani ve Saeed, 2015)



Resim 2.3. Mustafa konutu (Bani ve Saeed, 2015)

2.2.3. Rüzgâr bacaları

Rüzgâr bacaları, Körfez Arap ülkelerinin ve İran'ın kuru sıcak bölgelerinde pasif soğutmayı sağlamak ve evleri doğal yollarla havalandırmak için asırlar boyunca kullanılmış olan yapılardır. Doğal havalandırma, rüzgârın ve itme gücünün bir neticesi olarak rüzgâr bacalarından yaşam alanlarına doğru gerçekleşen bir süreçtir. Bu teknik Arap mimarisinin en saygın tekniklerinden biridir ve atalarının yaşadıkları iklimle uyumunu gösteren bir mekanizma niteliğindedir. Rüzgâr bacaları, Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, temel olarak binaların çatılarına monte edilen ve yükseklikleri 5 ila 33 metre arasında değişen bir yapılardır. Bu bacaların geleneksel tasarımları, onları inşa eden kişilerin bireysel deneyimlerinin ve maliklerinin sosyal statülerinin bir yansımasıdır. Rüzgâr bacaları yükseklikleri, hava geçitleri, kulelerinin konumları ve soğutma amacıyla kullanıldıkları binaya göre farklılık gösterirler. Rüzgâr bacalarının bu denli faydalı olmalarının nedenleri arasında doğal olarak pasif olmaları ve binaları havalandırırken herhangi bir enerjiye ihtiyaç duymamaları gösterilebilir (Khan ve diğerleri, 2008).



Şekil 2.9. Arap mimarisinde doğal havalandırmaya yönelik rüzgâr bacası (İnternet -8)

Doğal havalandırma ilkesi rüzgâr bacaları için temel teşkil etmektedir; bu bacalar hem yönlendirilmiş rüzgârı, hem de baca etkisiyle oluşan havalandırmayı kullanırlar. Rüzgâr bacalarının çalışma prensibi temel olarak serin havanın yapının içine doğru yönlendirilmesi, sıcak ve kirli havanın ise dışarı doğru gönderilmesi esasına dayanır. Rüzgârın, rüzgâr bacalarının iç pallerine çarptıktan sonra aşağı doğru yönlendiğini belirtmek mantıklı olur, rüzgâr bacasında yer alan diğer deliklerin rüzgârın rotasını geri çevirmeye yaradığını ve sıcak ve kirli havanın salınımını sağladığını ifade etmek gerekir, dolayısıyla rüzgâr bacası bir anlamda bir havalandırma ve emme makinesi gibi çalışmaktadır. Bu tipteki rüzgâr bacaları rüzgâr bir nesneye çarptığı zaman performans sergiler, rüzgâr yönündeki havanın yoğunluğu daha ağır olduğu için, bu yönde pozitif bir basınç vardır, bununla birlikte aksi yönde ise negatif basınç meydana gelir. Bu nedenle, rüzgâr bacası yönündeki havalandırma açık olduğu zaman negatif basınç üzerinde bir pozitif basınç meydana gelecektir. Bu kurala göre, rüzgâr, bacanın rüzgârı karşılayan taraftaki boşluğundan içeri girecek ve negatif basınçlı girişteki hava rüzgârın arkasındaki boşluktan dışarı çıkacaktır. Bazen, yüzeysel buharlaşmaya göre, rüzgâr bacaları rüzgârı havaya doğru ve soğuk kısma doğru iterek gerekli nemi sağlar (A'zami, 2005).

Şimdiye kadar rüzgâr bacalarının işlevi sıcaklık farkı açısından çok az dikkate alınmıştır. İşin aslı, makul seviyelerde rüzgâr olmadığı zaman rüzgâr bacası buna göre hareket eder. Gün boyunca güneş ışınları rüzgâr bacasının güney cephesine geleceği için bu cephedeki hava ısınır. Verandanın iç kısmından alınan bu hava dengelenir ve verandanın içinde bir

tür nispi vakum görevi görür ve avlunun iç kısmındaki daha soğuk havayı içine çeker, böylece kuzey cephedeki boşlukta bulunan mevcut hava aşağı doğru çekilmiş olur. Buna karşın gece vaktinde dışarıdaki hava soğur ve soğuk hava aşağıya doğru hareket eder. Bu hava ısı ile korunur ve duvarlar üzerinde ısınır ve ardından yukarı doğru hareket eder. Bu süreç dış duvarların sıcaklığı dış hava sıcaklığına eşdeğer hale gelinceye kadar devam eder. Ancak daha ilerlemeden önce gece biter ve rüzgâr bacası bir kez daha yukarıda belirtilen tanımlamadaki fonksiyonunu yerine getirir. Genellikle, çoğu zaman, rüzgâr bacaları şu akış sırasındaki gibi faaliyet gösterirler: çekiş, emiş ve sıcaklık farkının etkisi (A'zami, 2005).

Pratikte rüzgâr bacaları iki tip yapıda kullanılır: su depoları ve evler. Evlerdeki kullanımında rüzgâr bacaları genellikle evlerin yazlık oturma bölgelerinde uygulanır. Rüzgâr bacaları genellikle büyük salonlar, havuzlar ve mahzenlerle ilişkilendirilir. Bu bacalar havanın evin içinde dolaşmasına olanak sağlar. Ayrıca havuzlar, bahçeler, ağaçlar ve bodrum duvarları gibi nemlendirici unsurlarla da ilgilidirler; topraktaki nem eksikliğini giderir ve bu sayede bina sakinleri için kavurucu yaz sıcaklarında yaşamak için serin bir ortam sağlarlar. Bu bacalar daima doğal faktörlere ve böcek saldırılarına dayanıklı kil, tuğla, çamur ve ahşaptan imal edilmiş duvarlardan yapılır. Evin iç ve dış kısımları ve farklı bölümleri arasındaki sıcaklık farkı, netice itibarıyla havanın hareketlenmesine neden olan basınç farklılığına neden olur. Bunu daha iyi vurgulamak adına şu şekilde bir örnek verilebilir: nem çok düşük olduğundan (ortalama nem: %30.33) rüzgâr bacaları sadece hava dolaşımını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda havayı buharlaştırarak bina sakinleri için bir rahatlık imkânı da sunar (Khan ve diğerleri, 2008). Süreç şu şekilde işler: kuru ve ılık rüzgâr çeşmeli küçük taş bir havzadan geçer, buharlaşma süresince hava soğur ve nemlenir, ardından serin ve nemli hava hazne boyunca akar. Bazen bina sakinleri rüzgâr bacalarının boşluklarına keçe ya da suyla serpilen dikenler yerleştirerek nemi ve serin hava seviyesini artırır.

Resim 2.4.'de gösterildiği gibi, Hartum şehrinde yer alan bir rüzgâr bacası örneğinde, hava hareketli bir kanatçık yardımıyla iki farklı yönden alınır, ardından hava odaya gelene kadar bir filtreleme ve nemlendirme işlemine maruz kalır.



Resim 2.4. Rüzgâr bacası kullanan Al-Barbari Konağı, (İnternet -9)

Rüzgâr bacasının her bir ünitesi nihai yapıda kritik öneme sahiptir. Bir rüzgâr bacası (aşağıdan yukarıya doğru) şu bölümlerden meydana gelir:

Baca: baca genellikle tamamlanmamış bir piramit şeklindedir. Bacanın üst kısmındaki farklı oranlar bu bölüm içinde düzenlenmiştir. Bazı modellerinde bacanın yüksekliği bir insanın boyuna eşitken, bazılarında birkaç metre daha da yüksektir.

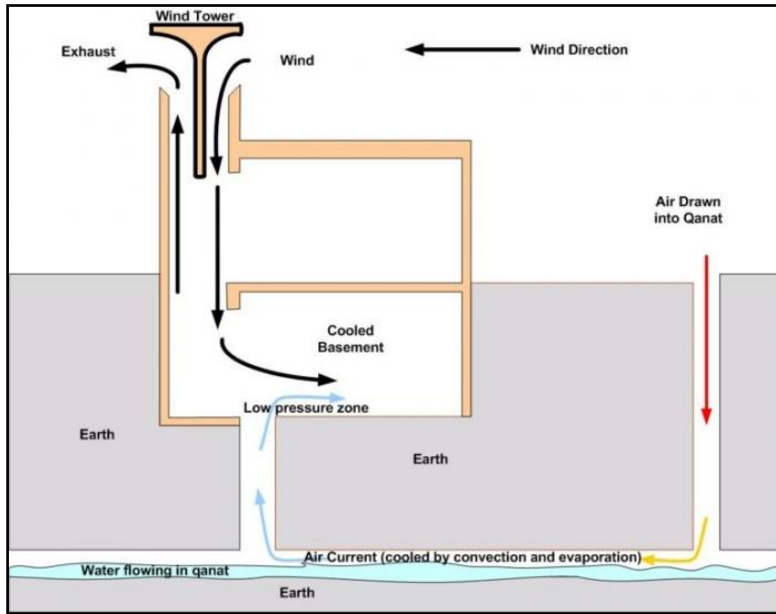
Gövde: bu bölüm pervaz ile oda arasında konumlandırılmıştır, rüzgâr bacası ne kadar yüksek olursa, gövde de o kadar yüksek olmalıdır. İklim koşulları ve rüzgâr bacasının yüksekliğine göre yükseklerde esen rüzgârı uygun şekilde alır, bu ebatlardaki bacaların güzel yanı çoğunlukla dekoratif anlamda hoş bir şekilde inşa edilmeleridir.

Kiriş ve zincir: giriş ve zincir gövde ile pervaz arasına yerleştirilir. Bu bileşenleri tıpkı pervazlarda olduğu gibi, pek çok şekilde üretilebilir.

Pervaz: rüzgâr bacasının baş kısmı olup palleri ve hava kanallarını birleştirir. Yaygın olarak görülen pervaz şekilleri uzatılmış, dikey ve yatay dikdörtgen ve kare şekillerden oluşur. Pervazlar ön cephede açık ya da kapalı olabilir. Bu bileşen rüzgârın esişine göre çalıştırılır, diğer yandan, haznelerin istikametindeki hava geçişi için her bir yolda iki pervaz dikkate alınır. Üst hava katmanlarından gelen serin ve soğuk hava rüzgâr bacası

tarafından tutulur ve soğutulduğu ve nemlendirildiği kule şaftına doğru aşağı doğru hareket eder. Bunun ardından, serin hava binanın iç kısımlarına doğru hareket eder, termal ısı yayımı sayesinde de serinlik sağlar (Bouchahm ve diğerleri, 2011: 898-906).

Rüzgâr kulesi binadaki iç alanın bir kısmını işgal eder, bu nedenle kısıtlı yerleşim alanlarında tercih edilmeyebilir. Her binada böyle bir tekniğin uygulanmasına imkân verebilecek olan rüzgâr şaftları ya da yeterli su kaynakları için özel alanlar tahsis edilmeyebilir. Şaft içinden akan sıcak havanın buharlaşarak soğumasına yardımcı olmak için rüzgâr bacası, su püskürtücülerle hazırlanmalıdır. Bitişikte yer alan binaların uygun özellikte olmayan yükseklikleri, rüzgâr bacasının performansının gerçekleştirilmesi için gereken rüzgâr ivmesinin azalmasına yol açabilir (Santamouris ve diğerleri, 2007: 859-866). Su, rüzgâr bacalarının sıcak ve kurak bölgelerde buharlaşmalı soğutma sistemi sayesinde üreteceği verim için kilit bir faktördür. Rüzgâr şaftının içindeki iç bileşenler rüzgârın hızını 1 m/s'den 1.53 m/s'ye çıkarabilir. Şekil 2.10'da rüzgâr bacası ile toprak-ısı arasındaki ilişki gösterilmiş olup, üretilen hava nemli yüzeye sahip geleneksel rüzgâr bacasından gelen havadan daha soğuktur. Rüzgâr kulesinin yüksekliği ve kesit alanı hidrotermal borularla (uzunluk ve çap) ilişkisi noktasında önem taşımamaktadır (Chavez ve diğerleri, 2014; Benhammou ve diğerleri, 2015: 1-11).

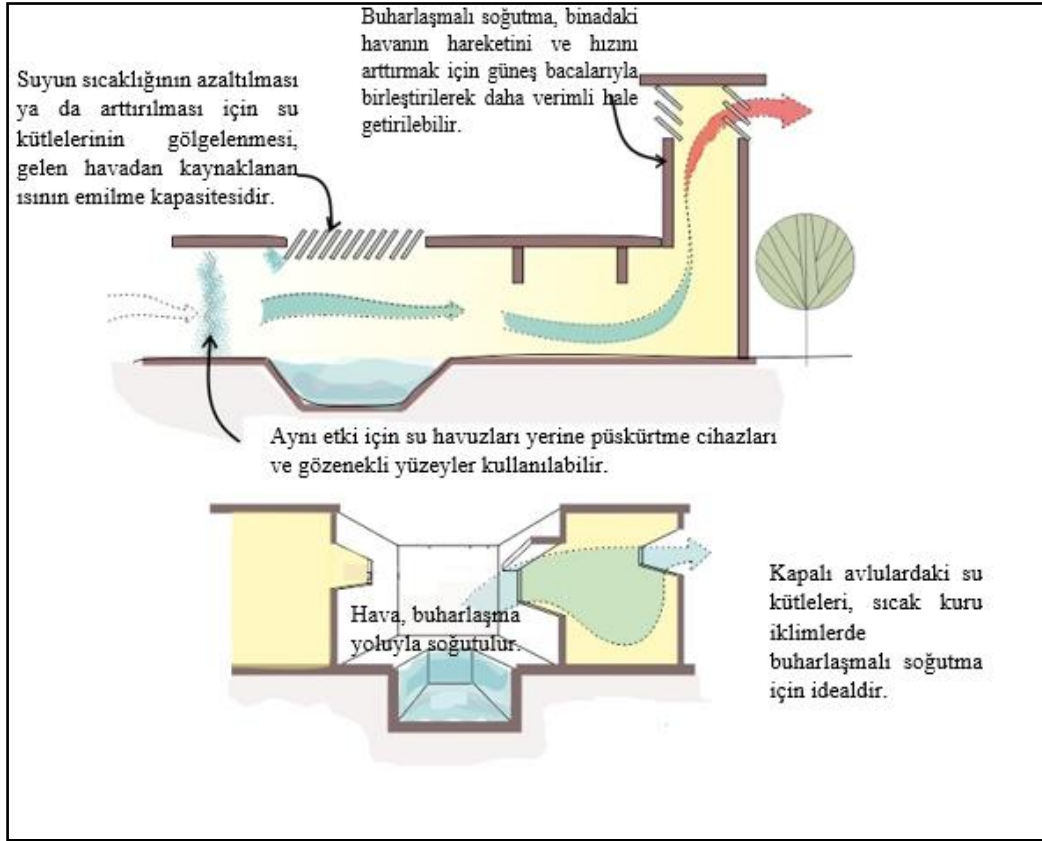


Şekil 2.10. Rüzgâr bacası ve toprak arasındaki ilişki (İnternet -10)

2.2.4. Buharlaşma ile soğutma

Pasif soğutma için kullanılan tekniklerden bir diğeri ise su kütlelerine (gller, havuzlar ve hatta denizler ve fiskiyeler gibi) maruz bırakmaktır. Böyle bir durumda, havadaki herhangi bir aşırı ısı, doğrudan hava sıcaklığındaki bir azalmaya yol açacak şekilde buharlaşmak üzere su tarafından emilecektir, bu tekniğe, hava ve su arasındaki temas alanının bir faktörü olan “buharlaşmalı soğutma” denir.

Bir fiskiye suyla birleştiğinde havayı daha serin ve soğuk hale getirebilir ve buharlaşma havanın sıcaklığını düşürür. Bu yöntemle soğutmadan arzu edilen en iyi sonucu almak için, su ile hava arasındaki etkileşimin mümkün olduğu kadar geniş tutulması gerekir. şayet su iyi bir şekilde dağıtılırsa, bu durumda havanın soğutulması süreci daha verimli olacaktır şekil 2.11’de gösterilmiştir. Suyun havayı sadece soğutmadığını, aynı zamanda arındırdığını da belirtmek faydalı olacaktır (Ealiwa ve diğerleri, 2001: 231-237). Su, havada bulunan toz ve diğer kirletici parçacıkların temizlenmesini sağlar, bu sayede hava yenilenir ve daha serin ve daha ferah bir ortam oluşturulmuş olur. Yapılan son araştırmalar, sıcak ve kuru bölgelerde bulunan binalar için geçerli olan buharlaşmalı soğutma sistemine yönelik yenilikçi tasarımları incelemiş ve bu doğrultuda modellemeler önermiştir. Bu araştırma, tipik bir modelde yaklaşık 20 kg suyun buharlaştığını ortaya koymuş ve tipik bir kuru sıcak iklimdeki ortam havasında 980 kg hacmindeki bir su kütlesinin 28 derece’den 19.2 derece’lik kuru termometre sıcaklığına kadar soğutulması için yaklaşık 26 dakikaya ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, biri konutun n bahçesinde, diğeri de arka bahçesinde bulunan iki eşme kullanılmıştır.



Şekil 2.11. Buharlaşmalı soğutma (İnternet -11)

Buharlaşmalı soğutma işlemi, sıcak ve kuru havanın, nemli ve serin bir havaya değiştirilmesi sürecinde suya ihtiyaç duyar (Ealiwa ve diğerleri, 2001: 231-237). İber yarımadasında bulunan binaların soğutma ihtiyaçlarının değerlendirilmesine yönelik yapılan bir çalışmada, buharlaşmalı soğutmanın, soğutma enerjisini yaklaşık %40 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte buharlaşmalı soğutma iç mekân sıcaklığını 2.5 dereceye kadar düşürebilir (Cruz ve Kruger, 2015: 265-273). Buharlaşmalı soğutma, sıcak ve kurak alanlarda hava sıcaklığını düşürmek için etkili bir tekniktir; ancak bunun yanında, bu bölgelerde yaşanan kuraklık, bu sistem için önemli bir zorluktur. Buharlaşmalı soğutma, farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Yeşillikler kuru havanın yanı sıra havadaki tozlar için de kullanılan buharlaşmalı bir biyo-tekniktir. Buharlaşmalı soğutmanın etkili olması için havanın hızı da önemlidir (Guan ve diğerleri, 2015: 185-194).

2.2.5. Yapı malzemesi olarak doğal kaynakların kullanılması

Modern bir binada mekanik bir havalandırma sisteminin kullanılması, bina malzemesi hava akışını engellediği için hayati öneme sahiptir. Sudan'da genellikle, iç ortam

sıcaklıklarında verimli olan tuğlalar kullanılmaktadır. Doğa, bazıları kimi işlemlere ya da nakliyata ihtiyaç duyan iyi kalitede pek çok inşaat malzemesi sunmuştur. Bu malzemelerden bazıları kayalar gibi bol miktarda bulunabildiği gibi, bazıları da ağaçlar gibi yenilenebilir özelliktedir. Maliyeti ve dış ortamdaki ısıyı transfer ederek iç ortam sıcaklığında verimli olması nedeniyle yapılarda tuğla tercih edilmektedir. Tuğlalar %20 ila 30 oranında kilden, geri kalanında ise kumdan oluşmaktadır. Her iki malzeme de Sudan'da yaygın olarak bulunmaktadır (Lipping ve diğerleri, 2007: 954-961).

Hartum şehri çöl ve kurak topraklarla çevrilidir, bunun bir sonucu olarak ana yerel yapı malzemeleri kum ve beton olacaktır ve her ikisi de binanın dokusunu ve rengini şekillendirmede etkilidir. Resim 2.5'de gösterildiği gibi, Hartum'daki yerleşim bölgelerinde bulunan binaların çoğu, bölgenin iklim şartları nedeniyle açık renklerle boyanmıştır. Bina cephelerinde, güneş ışınları iç kısımlardaki ısıyı arttırdığı için güneş ışınlarının binalara yansımaları azaltmak adına bu parlak renkler uygulanır. Bununla birlikte, inşa sürecinde kullanılan çamur ve çamurdan tuğlalar (güneşte kurutulmuş ya da fırınlanmış) gibi malzemeler Afrika kültüründen gelmekte ve renklerin birliği ile bariz olan çevresel şartlar da bu malzemelerin kullanılmasına zemin hazırlamaktadır (Osman ve diğerleri, 2015).



Resim 2.5. Jack Iskanes tarafından tasarlanan Dar Mabruka (İnternet -12)

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın bu aşamasında araştırma sorusunu yanıtlama ve hipotezi test etmek amacıyla seçilen materya ve yöntem anlatılmaktadır. Bunun yeni sıra örneklem çalışması üzerinden (Osman EL-Kheir'in evi) geniş bir şekilde analiz ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. Ayrıca, sıcak ve kuru bir Hartum ikliminde pasif tasarım ilkeleriyle enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik araştırmaların nasıl yapıldığı da özetlenmektedir.

3.1. Araştırmanın Metodolojisi

Çalışma ilk olarak, doğal havalandırmaya yönelik pasif soğutma tasarımı stratejileri üzerine genel bir teorik altyapı ile başlamaktadır. Ardından, yerel halkın çevresel şartlara nasıl uyum sağladıkları ve şiddetli sıcaklığın üstesinden gelmek için hangi mimari teknikleri kullandıkları araştırılmıştır. Daha sonra simülasyon tekniği kullanılarak geleneksel yöntemlerin termal konfor amacıyla kullanılmasının sonuçları üzerine bir ön analiz yapılmıştır. Dr. Osman El-Khier'in evi, bölgedeki geleneksel pasif teknikleri barındırması açısından örnek bir çalışma olarak seçilmiştir.

Sonraki adımda ise bu amaçla kullanılacak materyaller açıklanmıştır. Bina simülasyonun önemi ve gerekçeleri ve çeşitli simülasyon programları ile birlikte ele alınmış, bu tezde kullanılmak üzere seçilen DesignBuilder programının tercih edilme nedeni açıklanmıştır. Bir enerji simülasyon program yazılımı olarak bu çalışmada araştırmanın hedeflerine ve gereksinimlerine, yazılımın doğruluk, geçerlik ve güncellik gibi hususlara bakılarak DesignBuilder programı tercih edilmiştir. Pasif soğutma teknikleri uygulandıktan sonra bir alan çalışması tasarlanmış ve önerilen etkin iklimlendirmeli ev modeli ile kıyaslanmıştır.

Son bölümde ise önerilen tasarımlar, önerilen ilavelerin/alternatiflerin bina sakinlerinin iç termal konforu üzerine etkisini tespit etmek için simülasyon yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bölgede geleneksel kültürde bina inşa etme tarzını muhafaza ederken, termal konfor ve binadaki doğal havalandırma hususlarındaki gelişme derecesini tespit etmek ve soğutma yükünü azaltmak adına, örnek durum çalışması ile başlangıçtaki veriler karşılaştırılmıştır.

Bu bölümün temel konusunu binaların termal dinamik simülasyon teknikleri oluşturmaktadır. Ayrıca, bina simülasyon prosedürü ve simülasyon için kullanılacak seçili program verilmiş ve değerlendirmiştir. Bina enerji simülasyonu ve modellemesi, enerji tüketimi ile ilgili konulara, iç mekân iklimlendirmesine, kullanım amaçlı sıcak suya ve diğer enerji tüketim maddelerine odaklanan bir bina veya bina grubunun bilgisayar simülasyonu ile işletilen veya kontrol eden bir fonksiyon veya sistem olarak tanımlanabilir. Bunlara ilave olarak, Hartum'daki örnek durum çalışmasında kullanılan binalara yaklaşımların açıklamaları, ölçümler ve veri toplama yöntemleri ve kalibre edilmiş DesignBuilder simülasyon yöntemlerinden oluşur.

3.2. Bina Simülasyonu

Programlar, hem yapıyı, hem de yapının enerjiyi nasıl kullandığını açıklayan karmaşık denklemlerin hesaplamalı bir birleşimidir. Bu programlar yapının bir sistem olarak tasarlanmasını ve gerekli çözümlerin geliştirilmesini sağlar. Planlanan bir yapının tasarım aşamasında enerji standartlarına uygun olup olmayacağını belirlemek ve farklı stratejiler geliştirmek mümkündür. Mevcut binalar için en uygun enerji etkin alternatifleri bulmak da mümkündür. Bu sayede bu ihtiyaçları karşılayan projeler geliştirmek olanak dâhilinde olacaktır. Tüm bina enerji simülasyon programları, mimarlar ve mühendisler arasındaki iletişimi güçlendirdiği gibi, farklı ekiplerin birlikte çalışmasına da yardımcı olur. Bu programlar sadece tasarım ile sınırlı değildir, aynı zamanda enerji tedarik şirketleri, enerji danışmanlık firmaları ve enerji politikaları yürüten araştırmacılar ve kurumlar tarafından da sıklıkla kullanılmaktadır. Dolayısıyla, tasarım ekiplerinin desteğinin yanı sıra, simülasyon yoluyla yeni teknolojilerin ve ürünlerin verimliliğini ve sisteme uygunluğunu belirlemek, çevresel etkileri belirlemek ve bina biliminin gelişimine katkıda bulunmak için de kullanılırlar. Hesaplamalar neticesinde, enerji, çevresel ve ekonomik açılardan binanın enerji ihtiyacı, seçilecek mekanik sistemlerin büyüklüğü, iç mekân hava kalitesi, konfor değerleri ve yapının tüm yaşam süresi belirlenebilecektir. Geleceğin enerji ihtiyaçlarını belirlemek ve bunları en verimli şekilde karşılamak için bina sistemlerinde optimizasyon çalışmaları yapılabilir (Bayraktar ve diğerleri, 2009).

Bilgisayar simülasyon programları;

- Tasarım seçeneklerini değerlendirir ve tasarımın optimizasyonunu sağlar,
- Yeni fikirlerin keşfedilmesini sağlar,

- Binanın ilgili yönetmeliklere uygunluğunu denetler,
- Binanın enerji performansını hesaplar,
- Ekonomik analiz benzeri fonksiyonlara hizmet eder.

Bu programlara kütle şekli, bileşenleri, Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme (IHI) ile ilgili özellikler, dış hava bilgileri benzeri veriler girilmelidir. Bina enerji simülasyon programları, Yeşil Bina Tasarım ve Sertifikalandırma sürecinde de kullanılan önemli araçlardır. Bina enerji simülasyonları ASHRAE 90.1 enerji standardına göre yapılmaktadır.

Bu standarttaki enerji simülasyon programları için minimum gereksinimler şunlardır;

- Yıllık en az 1400 saatlik değişimi hesaplayabilme (yüklerin ve sistem performansının saatlik hesaplamaları),
- En az 10 termal bölge,
- Termal kütle etkisinin dikkate alınması (bina kütlesi belirli bir gecikmeyle ortama enerji salar),
- Kısmi yük performansı,
- Mekanik sistemlerin simülasyonu için düzeltme eğrileri (sıcaklık ve nem gibi parametrelere bağlı olarak),
- Ekonomizör (otomatik kontrollü su ve hava kısmı ekonomizör çevrimi dikkate alınmalıdır),
- İşletme maliyetlerinin ve CO₂ salınımının hesaplanması,
- Tasarım değerlerinin hesaplanabilir olması (örneğin Carrier SHAP, aynı zamanda bir tasarım programıdır) (Pan ve Ekonomizör, 2011).

Günümüzde, tüm bina performansını hesaplamak için kullanılan ve bilimsel olarak kabul gören çok çeşitli simülasyon araçları bulunmaktadır. Bu bölümde, bu simülasyon araçlarından en sık kullanılanları açıklanmıştır.

TRNSYS (*Transient Systems*), termal sistemlerin dinamik performansını hesaplamak için Wisconsin ve Colorado Üniversitesi Güneş Enerjisi Laboratuvarları tarafından geliştirilen bir araçtır. Program, 1975 yılından beri ticari kullanımdadır. Ayrıca bu program termal sistem, bina ve çevresi ve aktif sistemler arasındaki etkileşimi hesaplamak için de kullanılmaktadır. Program modüler bir yapıya sahiptir ve sistemin her bileşeni bir

FORTTRAN alt programı olarak ifade edilir. Bu yönleriyle program esnek bir yapıya sahip olan ve farklı enerji sistemlerini farklı ayrıntılarla tanımlayabilen bir hale gelmektedir. Sistemleri ifade eden FORTTRAN alt programları, bir araya getirildikleri ve birbirleriyle ilişkilendirildikleri grafiksel bir arayüze sahiptir. Program, yapı malzemeleri, yapı modelleri, standart İHİ ekipmanı, yenilenebilir enerji kaynakları ve gelişen yeni teknolojiler anlamında zengin bir kütüphaneye sahiptir. Binaları, basit tek bölge modellerden, yüksek bölge karmaşık modellere kadar geniş bir aralıkta tanımlamak mümkündür. Programı kullanabilmek için alanda belirli bir uzmanlık gerekmektedir (İnternet -13).

ECOTECT, Cardiff Üniversitesi tarafından geliştirilmiş ve hâlihazırda Autodesk himayesindeki ticari bir programdır. Görsel özellikleri iyileştirilmiştir. 3-boyutlu bina modelleme arayüzünü güneş, termal, aydınlatma, akustik ve maliyet analizi fonksiyonları ile birleştirir. Genel olarak mimarlar tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Özellikle, binanın tasarım aşamasında enerji ve çevresel performans açısından bir kavram olarak geliştirilmesine olanak sağlayan özelliklere sahiptir. Aynı zamanda, tasarımcıların düşük enerjili yapılar tasarlamalarına yardımcı olan bütünsel bir yaklaşıma sahiptir. Enerji analiz programları anlamında diğer binalarla işbirliği içinde çalışabilir. Dünya çapında 2000'den fazla lisanslı kullanıcısı bulunmakta olup, Avustralya, ABD ve Birleşik Krallık'taki 60'tan fazla üniversitede eğitim programı kapsamında verilmektedir (İnternet -14).

Energy Plus, Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından 1997'den beri geliştirilen ve desteklenen bir araçtır. Esasında sadece bir simülasyon programı olup, input ve output verileri basit metin dosyalarıdır. Etkileşimli bir kullanıcı arayüzü olmasa da, üçüncü taraf arayüzleri geliştirilmiştir. Çok yüksek bir hesaplama kapasitesine sahiptir ve bir saatten daha kısa bir sürede kesin hesaplamalar yapabilmektedir. Isı dengesine bağlı olarak çok bölge durumları simüle edebilir.

DesingBuilder, EnergyPlus şirketi için kullanımı kolay bir arayüz geliştirmiştir. Bir karışıklık olmadan, Energy Plus DesignBuilder ortamına yalnızca yapının modelini tanımlamak, istenen verileri girmek ve Energy Plus simülasyon motorunun geri kalanını idare etmek için entegre edilmiştir. DesignBuilder, enerji, karbon salınımları, aydınlatma ve konfor açısından performansı ölçmek ve kontrol etmek için tasarlanmış bir Energy Plus tabanlı yazılım aracıdır. Bina simülasyon sürecini basitleştirmek için tasarlanan

DesignBuilder, bina tasarım alternatifleri arasındaki tasarım ve performansa dayalı karşılaştırma sonuçlarını analiz ederek sonuç elde edilmesini hızlı ve ekonomik hale getirmiştir (İnternet -15).

3.3. Tasarım Oluşturma Simülasyon

DesignBuilder, günümüzde yaygın olarak mühendisler ve akademik araştırmacılar tarafından kullanılan bir bilgisayar simülasyon programıdır. DesignBuilder, mimarlara, mühendislere ve tasarımcılara yardımcı olacak ve en iyi ve en verimli enerji tasarım seçeneklerini seçme konusunda rehberlik edecek çok çeşitli tasarım seçeneklerine sahiptir (Hensen ve diğerleri, 2006).

Kullanıcıya programa veri girme ve sonuç elde etmede kolaylık sağlayan DesignBuilder, binayı üç boyutlu olarak modelleyerek enerjiyi hesaplar (Tikir, 2009). Binanın bulunduğu alan, bina tipi ve kullanıcı sayısı, konum tanımlamaları, bina zarfının mat ve şeffaf bileşenlerinin detayları ile ısıtma, soğutma, aydınlatma ve iklimlendirme sistemleri hakkında veriler toplanmalı ve sisteme tanımlanmalıdır (Karaca, 2011). Binaya ilişkin tüm veriler sisteme tanımlandığı zaman, binanın yıllık, aylık ve günlük ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri elde edilebilir.

DesignBuilder saatlik iklim verilerini kullanır, enerji yüklerini bütünsel bir şekilde hesaplar ve hesaplama sonuçlarını tercihe göre saatlik, aylık veya yıllık olarak elde eder (Tikir, 2009). Böylece detaylı hesaplama sonuçları elde edilebilir. Program, arzu edilen herhangi bir gün ya da zamana ait bina üzerindeki gölgelemenin etkisi, enerji maliyetleri, güneş ışınlarının bina cephelerini nasıl etkilediği ve çevreye düşen gölgelerin boyutları gibi veriler sunabilir (Yılmaz, 2009). Malzemelerin fiziksel özelliklerine bağlı olarak, bina kaplaması U-değerlerini ve termal performansı da etkileyebilir.

DesignBuilder programı, Energy Plus yazılımı üzerinden ASHRAE onaylı termal denge yöntemini kullanır. Energy Plus, dış ortam koşullarının zamana bağlı değişimini ve yapı malzemelerinin ısı depolama özelliklerini temel alarak periyodik bir bina enerji performans sistemini hesaplar. Bu simülasyon aracı, ayrıntılı bina enerji performansını tespit etmek için kullanılır ve aynı anda çok bölgeli hesaplamalar yapabilir. Bir başka ifadeyle, farklı

termal bölgelerdeki termal koşullar ve bunların birbiriyle ilişkilerini aynı anda hesaplamak mümkündür.

Çevresel performansı ve bina tasarımını etkileyen parametrelerin bir sonucu olarak, sürdürülebilir enerji programları bina enerji yüklerini belirli sistemler dahilinde gösterebilmektedir (Crawley, 2001; Ozcuahdar, 2007). Enerji etkin bina tasarımında, ilk tasarım aşamasından hizmet ömrünün sonuna kadar uygulanması gereken enerji modelleri, ihtiyaç ve verilere göre şekillendirilmelidir (Ivriz, 2009; Underwood ve Yık, 2004).

Bu program, enerji tasarrufu potansiyelleri, çözümleri ve sonuçlarını enerji verimliliği açısından değerlendirme noktasında yardımcı olmaktadır (Crawley, 2001). Optimum mimari tasarım elde etmek için, simülasyon işleminden önce, bina davranışını ve simülasyon sonucunu etkileyebilecek iklimsel faktörleri tanımlamak gereklidir. Bunun yanında, EPW formatındaki gerçek zamanlı dış ortam hava verileri gibi DesignBuilder programındaki konum ve bölge seçimi, yapı geometrisi ve binanın termal bölümlemesine (termal bir tanımlı ifade etmektedir) ait veriler doğru bir şekilde sisteme girilmelidir.

3.4. Hartum/Sudan’a Genel Bakış

Sudan, 600 yerli kabileden oluşan ve yüzden fazla farklı dilin konuşulduğu bir ülke olup, 2011 yılında Sudan ve Güney Sudan olarak ikiye ayrılmadan önce “Milyon kilometre karelik Topraklar” olarak adlandırılırdı. 1956 yılında İngiltere’den bağımsızlığını kazanan Sudan’da yaşanan bir başka çeşitlilik ise iklimine aittir. Ülkenin kuzeyinde kurak ve sıcak bir iklim görülürken, güneyinde ise yağışlı ve tropik bir iklim hâkimdir. Ülkede yaşam, yaşamın ana kaynağı olan Nil kıyılarında yoğunlaşmıştır (Kamel ve Abdel-Hadi, 2012: 77-89).

Hartum, Sudan’ın başkenti ve en büyük şehridir. Şekil 3.1’te görüldüğü gibi, Victoria Gölü’nün kuzeyine dökülen Beyaz Nil ile Etiyopya’nın batısına doğru akan Mavi Nil’in kesişim noktasında yer almaktadır. Nil nehri ile buluştuğu noktaya “Mogran” denilmektedir. Nil nehrinin ana kolu kuzeye doğru, Mısır ve Doğu Akdeniz’e doğru akmaktadır. Nehirlerle bölünmüş Hartum şehri Hartum, Omdurman ve Bahri arasında bir bağlantı görevi görür (Stephanie, 2013: 39).

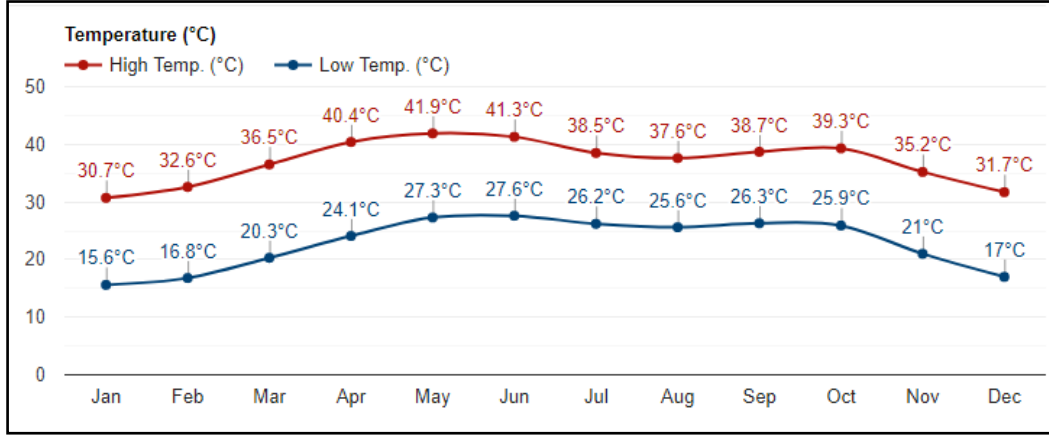
Hartum şehri, Sudan'ın kalabalık bölgelerinin ortasında, ülkenin kuzeydoğusunda, 15-16 derece Kuzey enlemleri ile 31-32 Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Hartum, Beyaz Nil ile Mavi Nil'in kesişimini temsil eder. Hartum, Nil Nehrinin Omdurman'ın kuzeydoğusundan Shendi'ye doğru 364 m rakımda (1194 ft) ve 101 mil (163 km) hızla aktığı, 385 m rakımda (1263 ft) görece düz bir şehirdir.



Şekil 3.1. Hartum/Sudan haritası (İnternet -16)

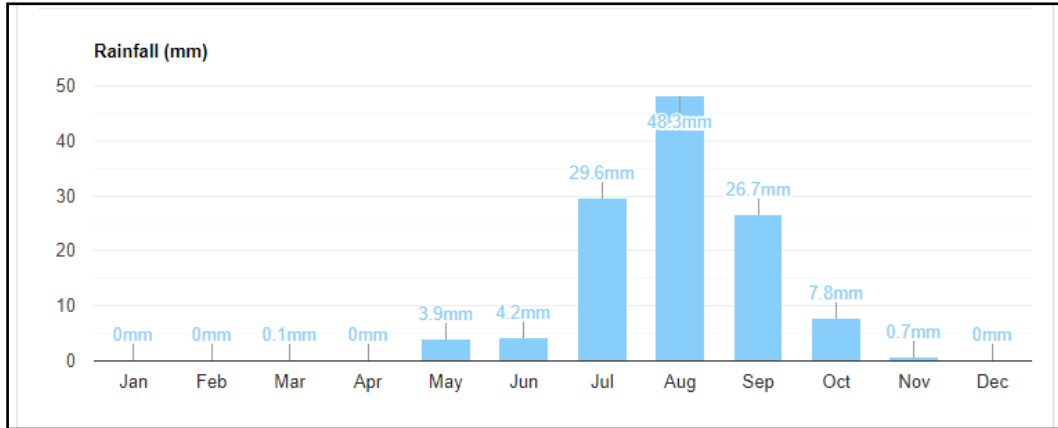
Hartum'un iklimi

Ortalama yıllık sıcaklıklara göre sıcak ve kuru bir iklime sahip olan Hartum şehrinde sıcaklıklar, yaz mevsiminin ortalarında genelde 41.9 °C'yi geçmektedir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, yıllık ortalama en yüksek sıcaklık yılın altı ayı boyunca 37.1 °C iken, aylık ortalama sıcaklıklar 38 °C'nin altına düşmemektedir. Ayrıca, yıl boyunca aylık ortalama sıcaklıklar 27.6 °C'nin altına düşmemektedir. Ocak ve Şubat aylarında gündüz sıcaklıkları çok yüksek seyrederken, ortalama 15 °C'nin altındaki sıcaklıklarla geceleri nispeten soğuktur (Peel ve diğerleri, 2007: 439-473).



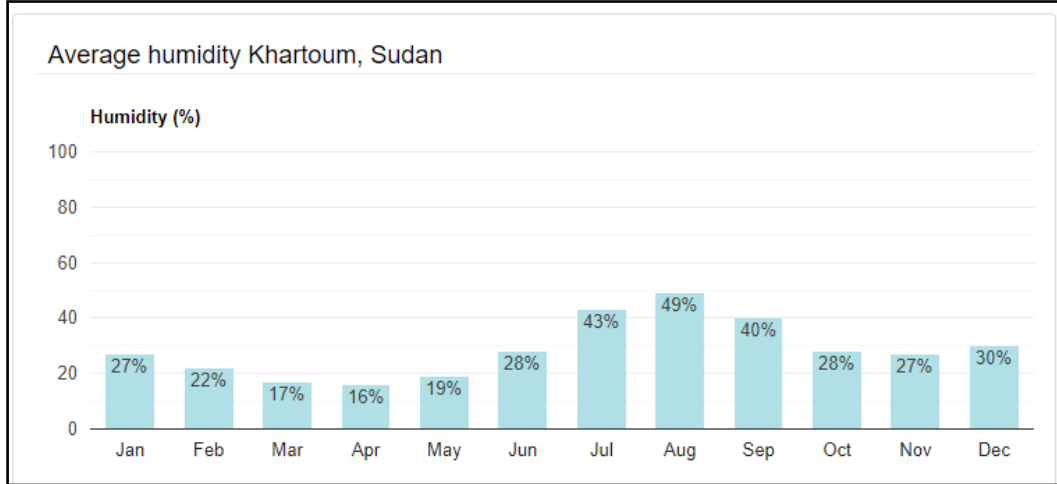
Şekil 3.2. Hartum/Sudan’da ortalama sıcaklıklar (İnternet -17)

Şekil 3.3’te gösterildiği gibi, şehrin yıllık ortalama yağış miktarı 155 mm (6.1 inç)’den fazladır. En nemli ay (en çok yağış görülen ay), 48.3 mm ile Ağustos ayı iken, en kuru aylar, 0 mm ile hiç yağışın görülmediği Ocak, Şubat, Nisan ve Aralık aylarıdır.



Şekil 3.3. Hartum/Sudan’da ortalama yağış (İnternet -17)

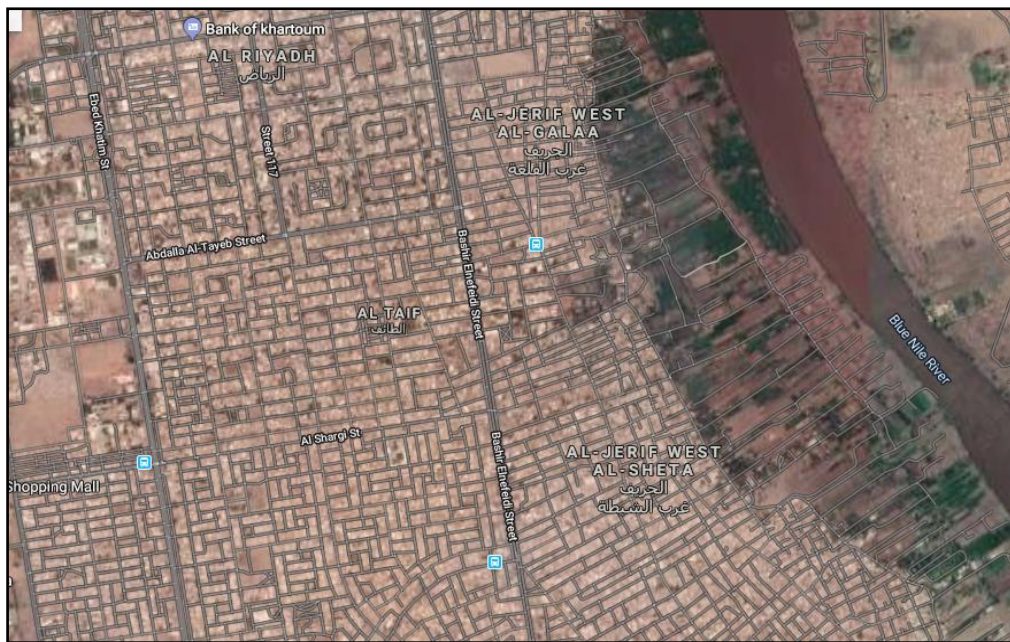
Şekil 3.4’de de görüldüğü gibi, bağıl nem oranının en yüksek olduğu ay %49 ile Ağustos ayı iken, en düşük ay ise %16 ile Nisan ayıdır.



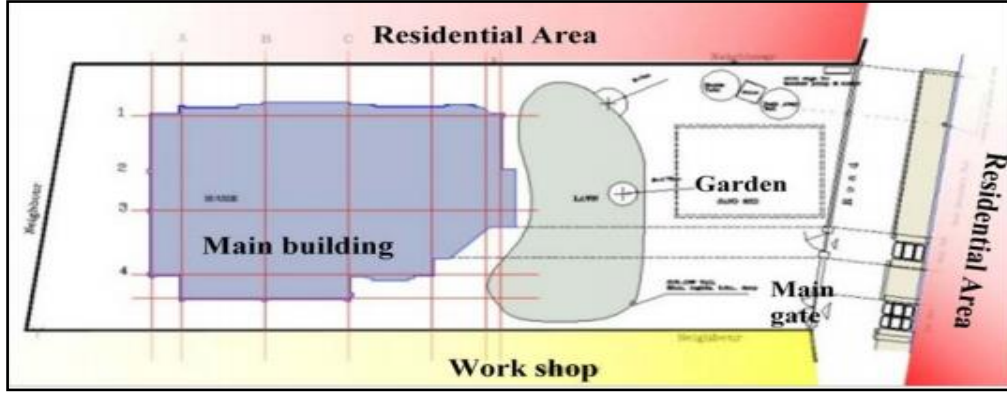
Şekil 3.4. Hartum/Sudan’da ortalama nem (İnternet -17)

3.5. Osman El-Kheir Konutu

İlerleyen bölümlerde detayları verilecek olan ve sıcak ve kurak Hartum bölgesinde yer alan, içinde ve dışındaki bitki örtüsü ve avlu gibi bir takım pasif soğutma tekniklerinin kullanıldığı Osman Elkheir konutu bu çalışmada örnek olay incelemesi olarak seçilmiştir. Örnek olay incelemesi olarak seçilen bu yapı, Şekil 3.5’de görüldüğü gibi Hartum’un merkezindeki Gerrif bölgesinde yer alır ve Şekil 3.6’da görüldüğü gibi yerleşim planına sahiptir.



Şekil 3.5. Binanın yeri (İnternet -18)



Şekil 3.6. Yerleşim planı (El-Kheir, 2001)

Üç katlı bu yapıda bir aile yaşamaktadır. Bahçeye açılan ana giriş evin iç kısımlarıyla ve ağaçlar, çalılar, su yüzeyleri, yarı gölgelik alanlar ve yol boyunca taşlar ile entegre olup, ayrıntılı Resim 3.1’de (a, b ve c) gösterilmiştir.



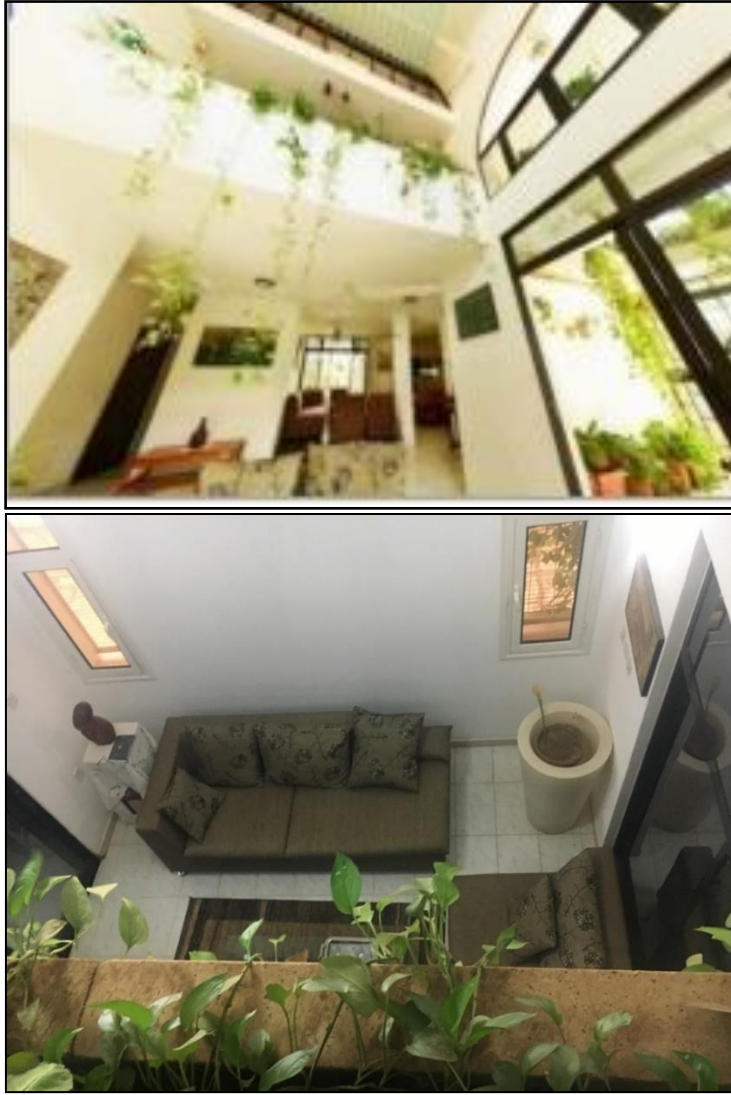
Resim 3.1. Peyzaj ve ana giriş (yazarın arşivi)

Buna ilave olarak, orta alanda üç kat yüksekliğinde ve tırmanıcı sarmaşıkların bulunduğu duvarlar bulunmaktadır, evi serinletme anlamındaki benzersiz etkisi, duvarın bir kenarındaki su fiskiyeleri ve doğal havalandırması ile Osman El-Kheir burası için “evin akciğerleri” tabirini kullanmaktadır. Resim 3.2 (a,b ve c)’de gösterildiği gibi, burada bulunan su fiskiyeleri, yapıyı nemlendirdiği gibi, giriş noktasından eve nüfuz eden havanın serinletilmesi ve bina sakinlerinin psikolojik olarak rahatlaması hususunda önemli bir rol oynar.



Resim 3.2. Evin termal yeşil alanının iç mekân entegrasyonu (El-Kheir, 2001)

Resim 3.3’da gösterildiği gibi, üç kat yüksekliğindeki salon ve duvarlar tonoz tipi çatı ile kapatılmıştır, yüksek seviyedeki pencerelerin eşlik ettiği bina dış kaplamasının bütün şekli, etkili bir doğal havalandırma yöntemi olarak hizmet etmekte, bu sayede sıcak hava ile soğuk hava yer değiştirmektedir. Bu tasarımın zayıf noktası, üniteler arasında herhangi bir ayırım yapılmamış olmaması ve bütün evin, ses yalıtımı problemine yol açan büyük bir alandan ibaret olmasıdır.



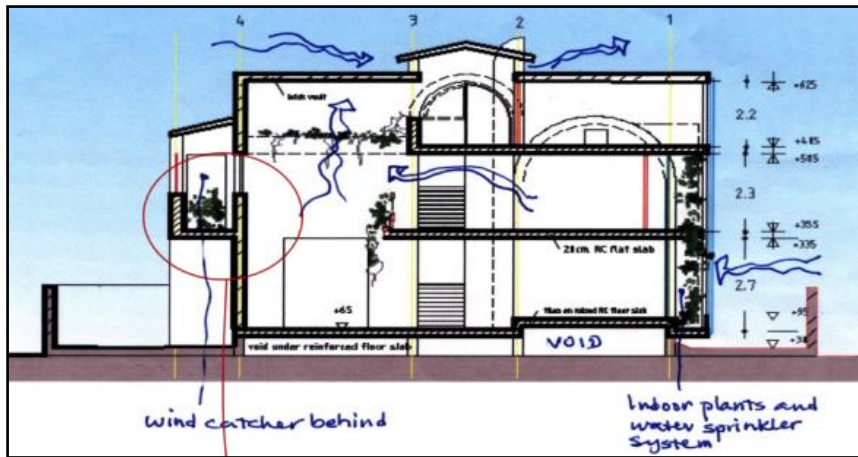
Resim 3.3. Üç katlı yüksek salon (yazarın arşivi)

Resim 3.4’de gösterildiği gibi, üçüncü kat evin sahibi tarafından bir depo gibi kullanılmakta, ilaveten, doğrudan güneş ışınlarından etkilenmelerini önlemek adına klimalar ve su tankları da bu katta yer almaktadır.



Resim 3.4. Üçüncü kat (yazarın arşivi)

Söz konusu bina, her ne kadar yirmi yılı aşkın bir süre önce inşa edilmiş olsa da, sahip olduğu sürdürülebilir özelliklere sahiptir. Düzenli çalışan elektrik aksamının yanında, acil durumlar ve muhtemel kesintilere yönelik, güneş enerjisinden elektrik üreten bir sisteme ve bu elektriği depolayan bataryalara sahiptir. Ayrıca, elektrik kesildiğinde eve sıcak su sağlamak için kullanılan başka bir sisteme sahiptir. Bu binada kullanılan pasif soğutma tekniklerinin bir diğer bileşeni, hareketli bir kapak yardımıyla havayı iki farklı yönden alan bir bileşen olan rüzgâr bacalarıdır, bu sayede hava odaya gelinceye kadar bir filtreleme ve nemlendirme sisteminden geçer. Şekil 3.7’de de gösterildiği gibi, evin akciğerleri olarak tabir edilen üç kat yüksekliğindeki duvarlarında yer alan bitkilerin ve rüzgâr bacalarının konumu hava akış yoluyla etkileşime geçer ve evin geneline yeşil bir dokunuş yapar. Burada, tasarımcı Osman El-Kheir'in eskiz aşamasından bu yana bitkileri tasarımın bir parçası olarak kullanmaya niyetli olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7. Bina tesis yerleşimi, rüzgâr bacası ve tonoz çatı kesit gösterimi (El Kheir, 2001)

Bina, zemin kattaki taşıyıcı duvarları ve diğer katlardaki beton sütunlarla birlikte çerçeve temeline dayanmaktadır.

Yapı malzemesi (tuğla), bir takım nedenlerden dolayı;

1. Evi serin tutar.
2. Düşük maliyetlidir.
3. Hafiftir.
4. Isıyı daha çok emerken, rengine bağlı olarak birçok ışın dalgasını geri yansıtır.

Tonoz Çatının Avantajı: Şekil 3.11’de görüldüğü gibi, tonoz tipte çatı, sıcak havanın yönünü dış tarafa yönlendirir ve ardından binadan uzaklaştırarak binanın ısınmasını engeller.

4. ANALİZ VE SONUÇLAR

Anlaiz bölümünde öncelikli olarak Hartum'da yaygın olarak olarak bir modern konutun iklimlendirme için gerekli elektrik tüketimini görmek için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapının enerji simülasyonuna yönelik olarak DesignBuilder programında izlenen adımlar şu şekilde gerçekleşmiştir: yapının modellenmesi, verinin ve simülasyon programındaki varsayımların tanımlanması ve programını çalıştırarak enerji tüketiminin belirlenmesi. Yapının iki boyutlu çizimleri, DesignBuilder programının çizim ortamında üç boyutlu olarak modellendirilmelidir.

Programda binanın iç mekânına ait bir model oluşturulurken, aynı fonksiyonlar (yatak odaları, salon, oturma odası gibi) bölgeler içinde de çizilir. Bu sayede kullanım saatleri, iç donanım ve her bir bölgenin iç ortam sıcaklığı gibi veriler ayrı ayrı tanımlanabilir.

4.1. Simülasyon Verilerinin Tanımlanması

DesignBuilder programı, mimarlar, mühendisler, inşaat sektörü çalışanları, enerji danışmanları ve üniversitelerin ilgili bölümleri tarafından çok çeşitli şekillerde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir programdır. Tipik kullanım alanlarına yönelik bazı örnekler aşağıda verilmiştir;

1. Aşırı ısınma, enerji tüketimi ve gölgeleme parametreleri açısından cephe seçeneklerinin değerlendirilmesi,
2. Gün ışığının en uygun kullanım şeklinin belirlenmesi,
3. Aydınlatma kontrol sistemlerinin modellenmesi ve ilgili elektrik enerjisindeki tasarruf oranlarının belirlenmesi,
4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği modülünü kullanarak bina içindeki ve çevresindeki sıcaklık, hız ve basınç dağılımlarının hesaplanması,
5. Yerleşim planının ve gölgelendirmenin görsel hale getirilmesi,
6. Doğal havalandırma ile havalandırılan binalar için termal simülasyon,
7. Isıtma ve soğutma ekipmanı kapasitelerinin belirlenmesi de dahil olmak üzere IHI tasarımına yardımcı olmak.

DesignBuilder, bir binanın enerji performansını hesaplamak için Energy Plus simülasyon motorunun en son sürümünü kullanmaktadır. Sonuç olarak elde edilen veriler istenen şekilde filtrelenebilir ve grafik halinde sunulabilir ya da bir çizelge şeklinde, diğer uygulamalarda kullanılmak üzere farklı bir ortama aktarılabilir.

Binaların enerji verimliliğini hesaplamak için, güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış bağıl nem ve toprak sıcaklığı gibi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi için yapılan hesaplamalar, binanın bulunduğu yerdeki meteorolojik verilere dayanarak yapılmaktadır. DesignBuilder programında oluşturulan modelde yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen değişkenlerin yardımı ile yapının termal konforu ve bu konforun iç ortama ve aylara sari dağılımı hesaplanabilir.

Binanın bulunduğu şehrin iklim ve yerleşim özelliklerine ait veriler, kullanım amacı, binanın kullanım düzeyi ve kullanım saatleri, kullanıcı sayısı, malzeme bileşenlerinin katman detayları ve malzeme genişlemeleri ile ısıtma, soğutma ve aydınlatma ile ilgili tüm veriler DesignBuilder programında tanımlanmalıdır. Bu tez kapsamında seçilen referans yapıya ait veriler ve kabuller aşağıda sunulmuştur;

- ASHRAE standartlarına uygun olarak, DesignBuilder programı dünya genelindeki iklim verilerinden yararlanır. Ancak Hartum'un konum bilgisi ve iklim verileri bu programda yer almamaktadır. Bu yüzden bunun yerine benzer iklimsel özelliklere sahip olan Aswan kentinden alınan veriler kullanılmıştır.
- Programda, oda çeşitleri olarak tanımlanan binanın farklı fonksiyonel alanlarına (odalar, mutfak, veranda, merdivenler gibi) yer verilmiştir.
- Uygulama projesinde tanımlanan mobilya kullanımına göre binanın kullanıcı yoğunluğu 0.135 kişi/m^2 olarak hesaplanmıştır. Kullanıcıların aktivite tipi hafif odalar, aktivite seviyesi 0.9-metre, kışlık giysi yalıtım değeri 1.00 CLO ve yazlık giysi yalıtım değeri 0.5 CLO olarak tespit edilmiştir.
- Doğal havalandırma açık ve minimum kontrol sıcaklık değeri 24°C 'dir.
- İç ortam koşulları, ASHRAE 55-2010 standartlarında belirtilen ev değerleri olarak kabul edilmiştir. Isıtma süreleri için, iç ortam sıcaklığı 20°C , geri ısıtma sıcaklığı 10°C , soğutma havası sıcaklığı 26°C ve soğutma ısısı 28°C olarak tanımlanmıştır.

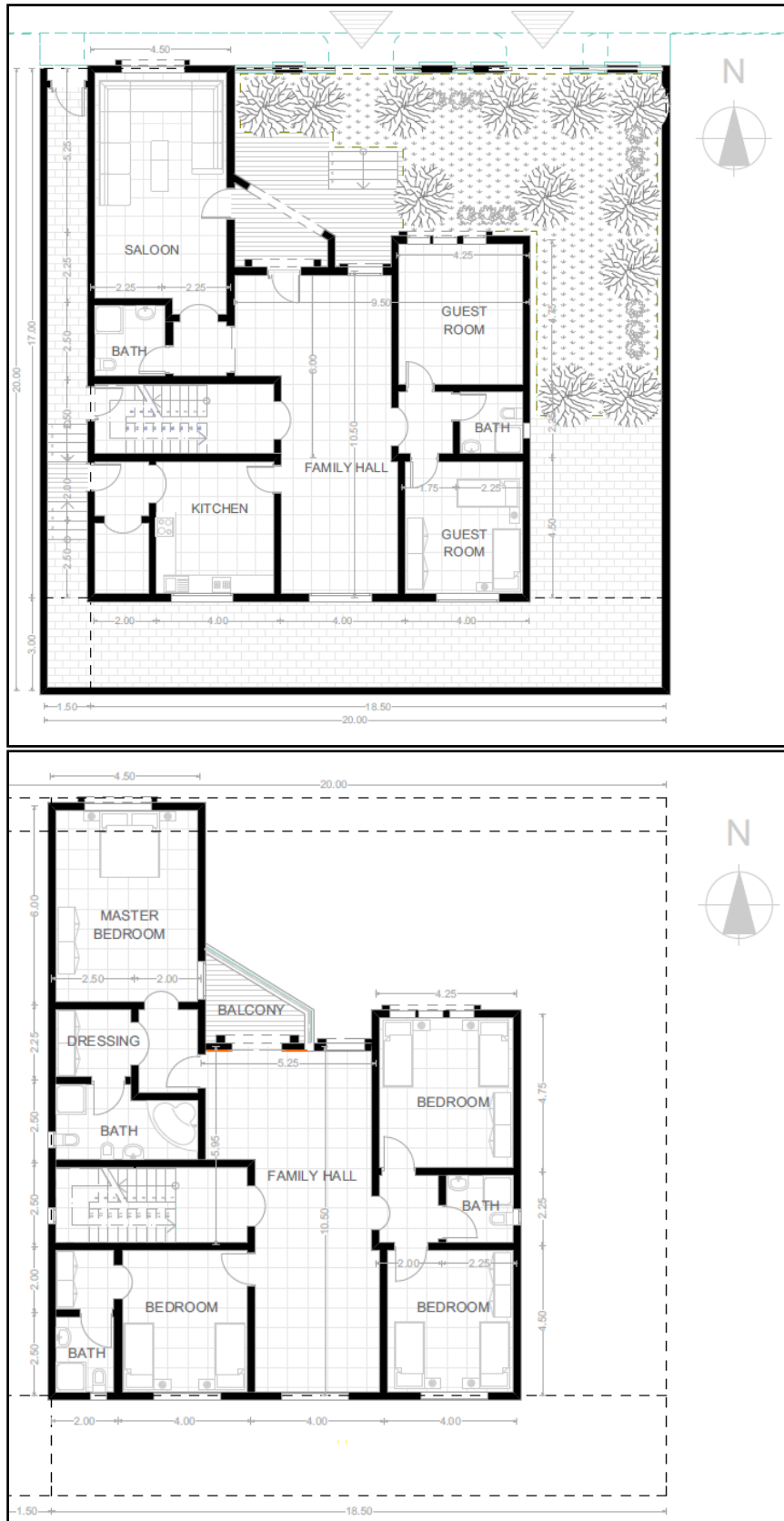
- Evdeki ekipmanlar ve aydınlatma, tüketilen enerji miktarı, iç ortam ısı kazanımı ve kullanıcı yoğunluğu gibi seçenekler enerji tüketimini etkileyen faktörlerdir. Çalışma kapsamında enerji modellemesi için örnek olarak kabul edilen ve Hartum şehrinde bulunan bu evde 8 kişilik aile yaşamaktadır.

Çalışmanın metodolojisi bölümünde daha önce değinildiği gibi, başlangıçta Hartum'da kullanılan inşaat teknikleri bir tasarım dâhilinde açıklanmıştır. Çizelge 4.1'de dış duvarlarda, zemin döşemesinde, pencerelerde ve çatıda kullanılan opak kaplama yapı malzemelerine ait özellikleri göstermektedir.

Çizelge 4.1. Hartum'da modern evlerin genel özellikleri

Ana yapı tarzı	Bina detayları	Açıklama
	Ana yapı	Ağır beton
	Kat yüksekliği	3 metre
	Cam	Tek cam
	Duvar malzemesi	Fırınlanmış tuğla
	Çatı tipi	Düz çatı
	Çatı malzemesi	Betonarme döşeme
	Duvar yalıtımı	Yalıtım kullanmamıştır
	Çatı yalıtımı	Yalıtım kullanmamıştır

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, ArchiCAD programı yardımıyla iki boyutlu bir plan çizilmiş ve üç boyutlu modellemeyi göstermektedir. Bu plan DXF dosyasına dönüştürülmüş ve DesignBuilder programına aktarılmıştır.



Şekil 4.1. Hartum’da tipik bir modern konut planı (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 4.1. (devam) İki boyutlu plan ve üç boyutlu modelleme (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

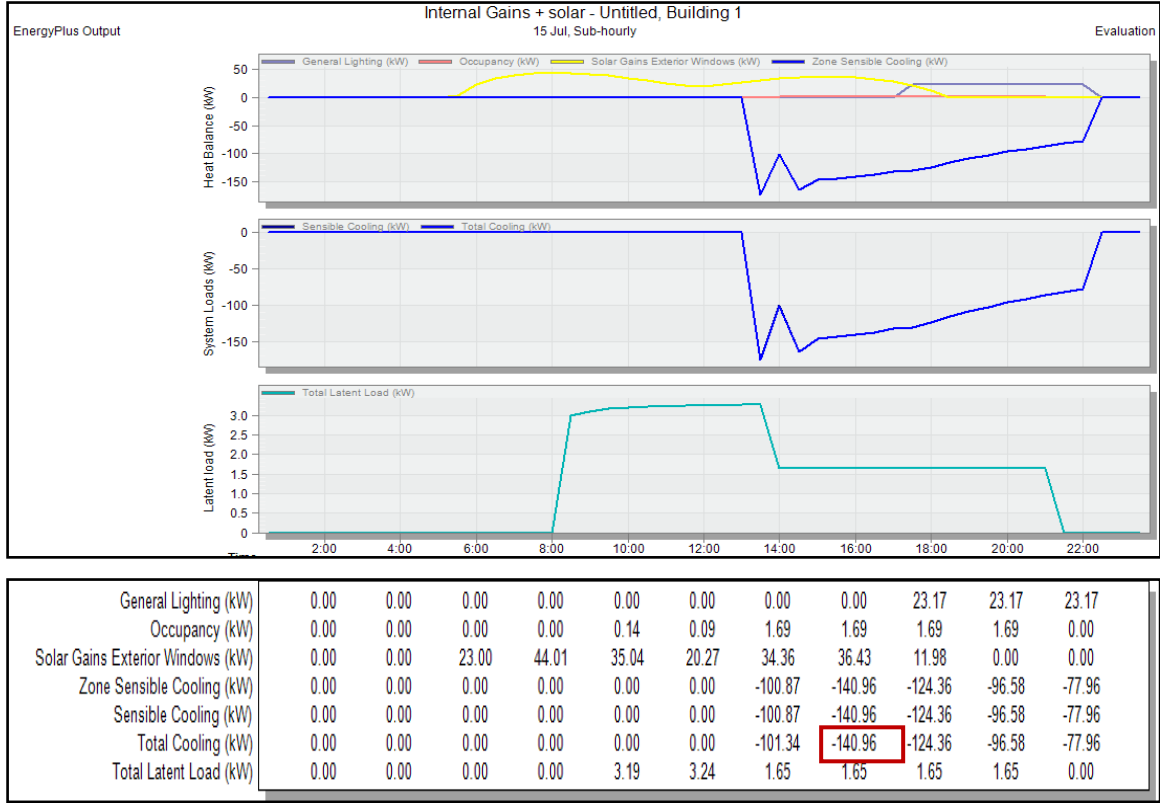
4.2. Binanın Enerji Tüketimi

Sıcak iklim bölgelerinde bulunan binaların maruz kaldıkları güneş ışınlarıyla aşırı ısınması özellikle sıcak yaz aylarında yaşanmaktadır. Sıcak kuru iklimlerde bulunan bir binayı soğutmak için kullanılan ana sistem bir iklimlendirme ünitesidir. Bahse konu iklimlendirme sisteminin kullanımını azaltmak için binanın güneş ışınlarına maruz kalması nedeniyle ısınması problemine bir çözüm geliştirilmelidir. Bu simülasyon çalışmasında, kazanılan bina ısısının azaltılması hususundaki temel bileşen pasif tasarım ilkeleridir.

Referans yapı ile ilgili tüm veriler DesignBuilder programına girilmiş ve bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon neticesinde yıllık toplam enerji yükü, birim alandaki enerji yükü dağılımı (ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su ve dâhili kazançlar) ve karbondioksit salınımı hesaplanmıştır. Referans yapının birim alanı başına ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi dâhili kazançlardan kaynaklanan enerji tüketimi ölçülmüştür.

‘Tasarım soğutma yükü’ terimi, dış tasarım sıcaklığı noktasında en kötü senaryo yaşanması durumunda, evi, iç tasarım sıcaklığında muhafaza etmek için herhangi bir soğutma aracıyla evden tahliye edilen ısı miktarını belirtir. Mesken konutun soğutma yükünü incelemek için bir simülasyon tasarlanmıştır. Şekil 4.2’de, Temmuz ayının en sıcak haftasında

değerlendirmeye alınan maksimum soğutma yükünün yaklaşık 140,96 kW'a ulaştığı görülmektedir.

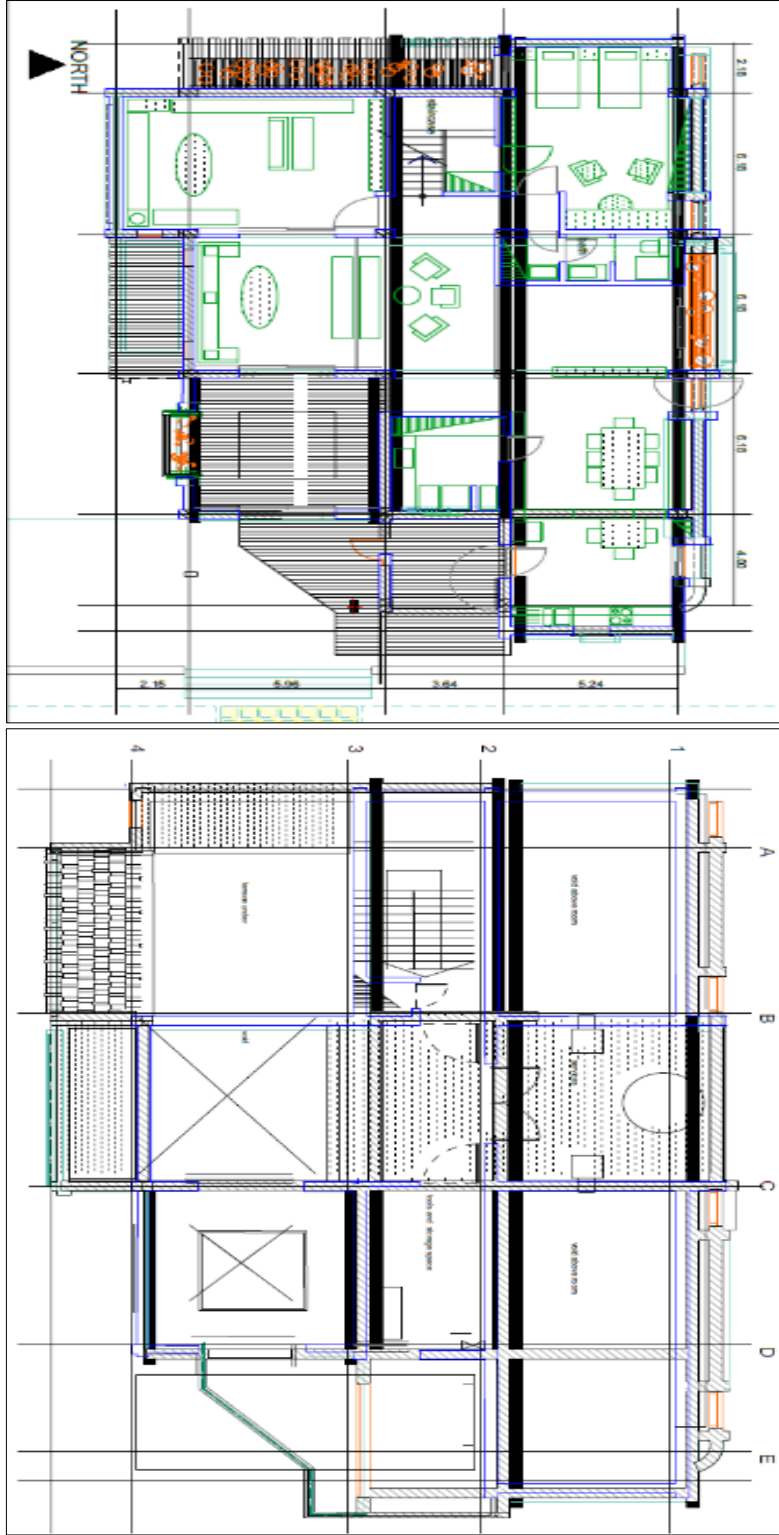


Şekil 4.2. Hartumda bulunan tipik konutlar için yıllık soğutma enerjisi tüketimi

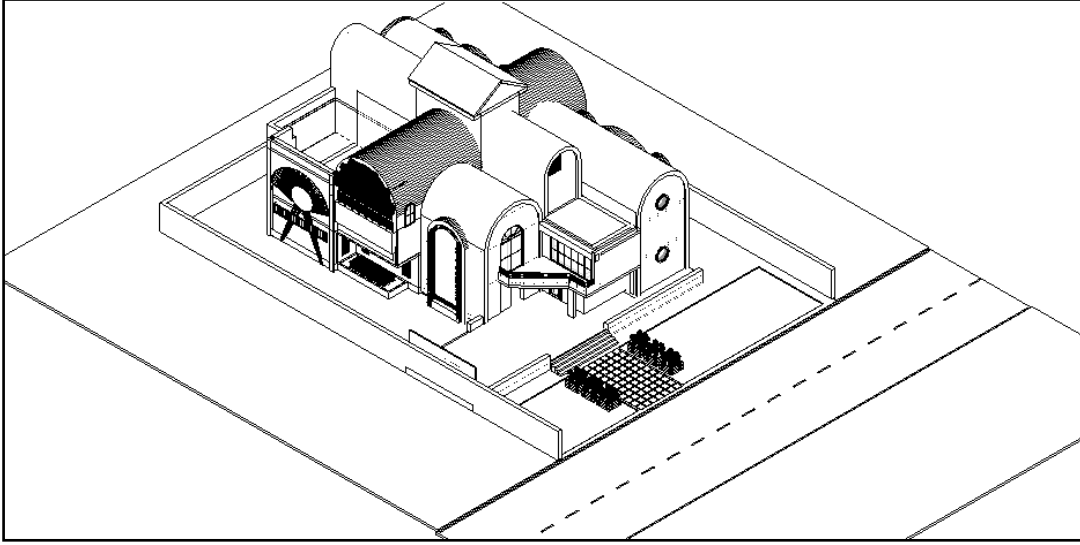
Geleneksel örnek evde (Osman El-Kheir evi) kullanılan mevcut yapı malzemeleri

Hartum şehrinde bulunan yerleşim yerlerinin termal alanlarını temsil eden bu ev, enerji simülasyon sürecinde örnek vaka incelemesi olarak değerlendirilmiştir. Pasif soğutma tekniklerinin uygulanmasının etkilerini değerlendirmek adına, enerji testi modelinde karşılaştırmalı bir simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu ev, pasif soğutma teknikleri uygulanmadan önce ve sonra modellenmiştir. Kapalı işletme sıcaklığı ve soğutma yükleri, teste tabi tutulan evdeki pasif soğutma tekniklerinden önce ve sonra karşılaştırılacak olan enerji simülasyonunun temel parametreleridir.

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, AutoCAD programı yardımıyla iki boyutlu bir plan çizilmiş, bu plan DXF dosyasına dönüştürülmüş ve DesignBuilder programına aktarılmıştır. Şekil 4.4’de ise Revit kullanılarak yapılan üç boyutlu modellemeyi göstermektedir.



Şekil 4.3. İki boyutlu plan (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



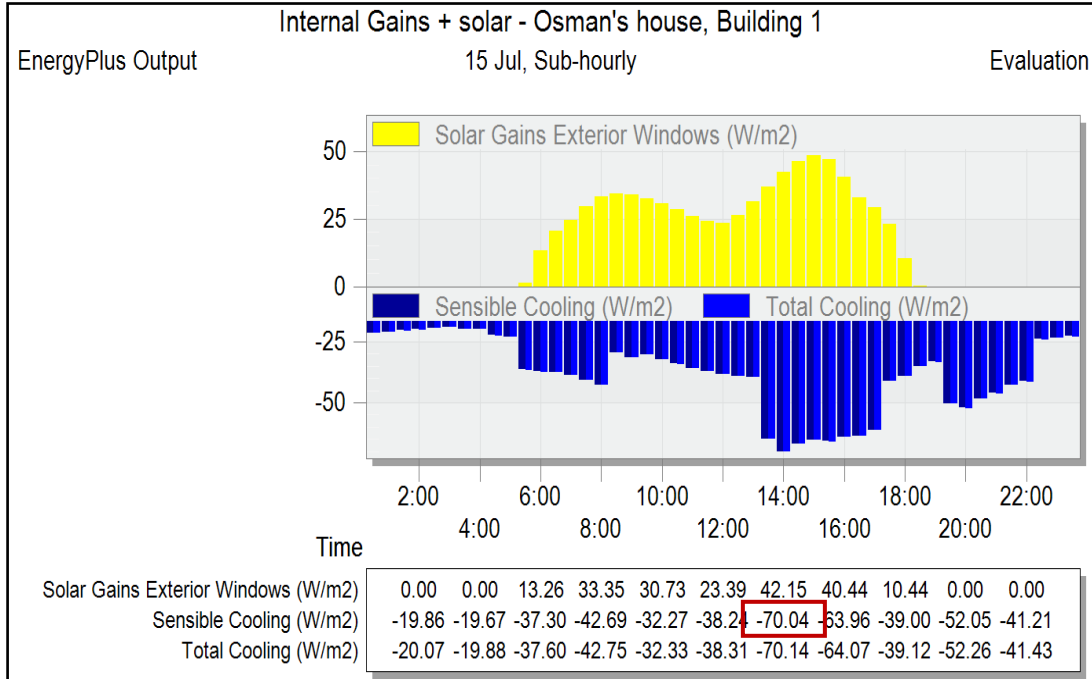
Şekil 4.4. Üç boyutlu modelleme (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Çizelge 4.2’de dış duvarlarda, zemin döşemesinde, pencerelerde ve çatıda kullanılan opak kaplama yapı malzemelerine ait özellikleri göstermektedir.

Çizelge 4.2. Osman El-Kheir evinin genel özellikleri

Ana yapı tipi	Bina detayları	Açıklama
	İnşaat alanı	428 m ²
	Kat yüksekliği	3 m
Zemin kat	Termal bölge	Mutfak, banyo, yatak odası, salon, oturma odası, yemek odası, ana misafir odası
	Dış duvar malzemeleri	Fırınlanmış tuğla
Birinci kat	Termal bölge	İki yatak odası, iki banyo, oturma odası, balkon, ofis odası, orta avlu
	Pencere şekli	Tek pencere, gölgelik yok
	Çatı tipi	Düz çatı ve tonoz çatı
	Birinci kat döşeme malzemesi	Betonarme döşeme
	Dış duvar malzemeleri	Fırınlanmış tuğla
İkinci kat	Çatı tipi	Tonoz çatı
	Çatı malzemesi	Betonarme döşeme
	Termal bölge	Hizmet odası (AC üniteleri ve Su Tankları)
	Dış duvar malzemeleri	Fırınlanmış tuğla

Osman El-Kheir'in evinde kullanılan ve daha önce bahsedilen avlu, rüzgâr bacası, bitkilendirme ve gölgelendirme gibi teknikler binalarda doğal havalandırma sağlanmakta ve bu sayede soğutma yükü de azaltılmaktadır. Veriler DesignBuilder programına girildikten sonra doğal havalandırma, cam gölgelendirme ve rüzgâr bacası seçenekleri ile simüle edilmiştir. Şekil 4.5'de de görüldüğü gibi, maksimum soğutma yükü kabaca 70.04 KVs'ye ulaşmaktadır.



Şekil 4.5. Örnek çalışmanın yıllık soğutma enerjisi tüketimi

Soğutma yükünün azaltılmasına yönelik detaylarda da görüldüğü gibi, Hartum şehrinde bulunan genel yapıdaki evlere kıyasla bu evde soğutma yükünün azaldığına dair veriler elde edilmiştir. Ana binadaki toplam soğutma yükü, yaklaşık yarı oran da, yani 140.96 KVs'ten 70.04 KVs'e gerilemiştir. Bu sonuç, doğal havalandırma tekniklerini kullanırken soğutma yükünü azaltmanın da önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

4.3. Tartışma

Bu çalışmadaki teorik altyapı, enerji etkin bina tasarımında temel yaklaşımların bir listesini oluşturmaktadır. Teorik altyapıda tartışılan çeşitli enerji etkin tasarım özellikleri dışında, sadece bu çalışmanın amacını karşılayabilir ve Hartum örneğinde uygulanabilir özellikler seçilmiştir.

Seçilen özellikler pasif soğutma teknikleri ile ilgilidir, binaların ısı kazancını azaltır ve esas olarak soğutma için enerji kullanımını azaltır. Seçilen özelliklerin soğutma enerjisini azalttığı doğru bir şekilde ileri sürülmelidir.

Soğutma yüklerinden maksimum enerji tasarrufu sağlamak ve bina için doğal havalandırma sağlamak için pasif tasarım stratejileri uygulanmıştır. Osman Bey'in ev binasına duvar, bina yönlendirmesi, yalıtımı ve cam tipi simüle edilip eklenmiştir.

Dış duvar

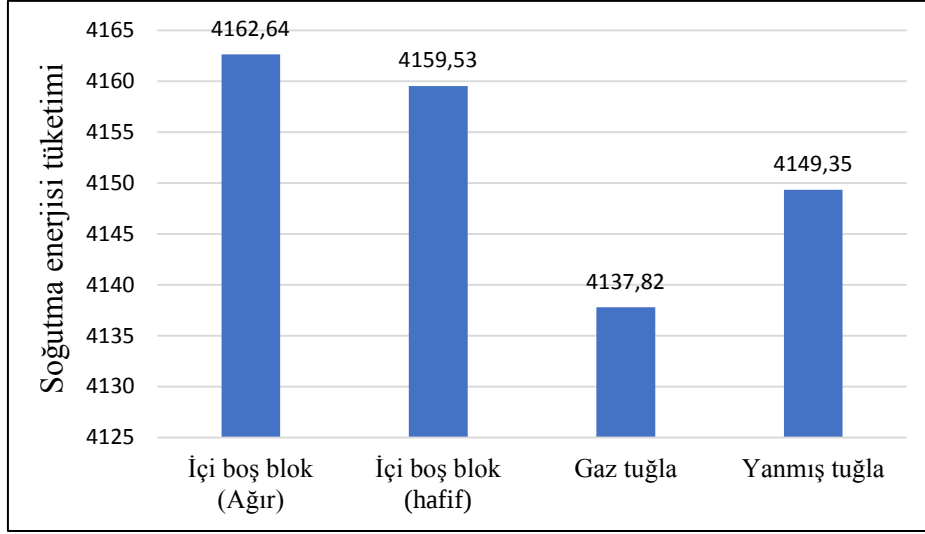
Sudan'da iç ve dış duvar yapımında kullanılan yaygın bir yapı malzemesi, kilden yapılmış bir tuğla türü olan yanmış tuğladır. Yüksek ısı direnci, düşük maliyetli ve iyi akustik özelliklere sahiptir. Fırınlanmış tuğla (U değeri 2.493) kullanılarak çıkarılan model diğer üç malzeme ile Çizelge 4.3'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.3. Simüle edilen ve birbirleriyle kıyaslanan duvar malzeme türleri

Duvar Materyalleri	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m ³)	Termal İletkenlik (w/m k)	U- v değeri (w/m ² . k)
İçi Boş Blok (ağır siklet)	0.2	1220	1.35	2.048
İçi Boş Blok (hafif siklet)	0.2	1400	0.51	1.934
Yanmış Tuğla	0.2	1920	0.72	2.493
Gazbeton Tuğla	0.2	1000	0.3	1.087

Duvar malzemelerinin enerji tüketimindeki etkisi

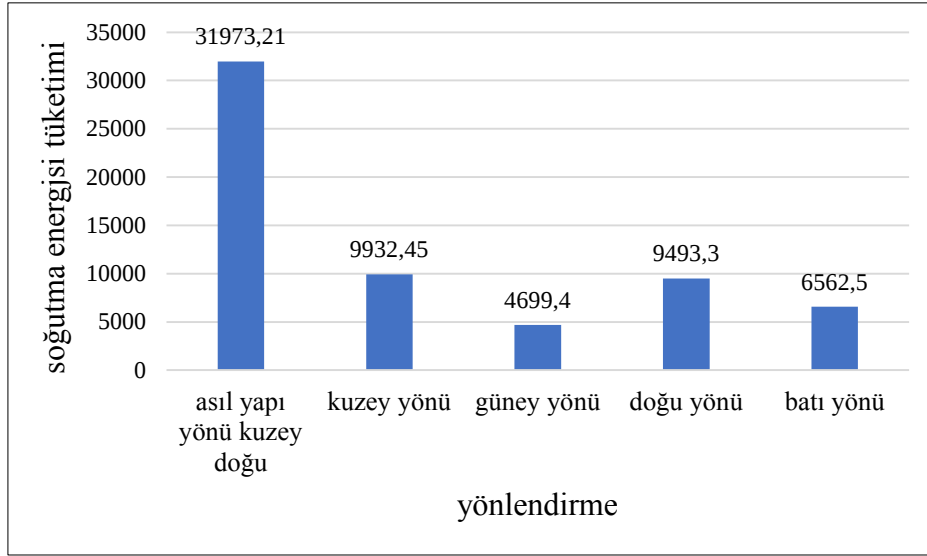
Havalandırılmış tuğla kullanılarak, en düşük enerji tüketimi elde edilir ve yıllık 6892,58 kWh soğutma enerjisi tüketimi elde edilir. Öte yandan, gazbeton (*aerated*) tuğla Şekil 4.6'de gösterildiği gibi, 1.087 kWh en düşük U değerine sahiptir. Bu nedenle, gazbeton tuğla kullanarak 4137.82 kWh enerji tasarrufu sağlanabilir.



Şekil 4.6. Duvar malzemeleri için yıllık soğutma enerjisi tüketimi

Binanın etkili yönü

Bina tasarımının bir parçası olarak, binanın yönelimi göz önünde bulundurulmalıdır. Oryantasyon açısından, bina tasarımı serbest enerji için güneyden alınan güneş radyasyonu etkinleştirmelidir, binanın içine ısı almak, hangi soğuk dönemlerde enerji ve ısıtma enerjisi miktarı azalan sonuçlanır. Farklı yönlerin analiz edilip simüle edildiği vaka çalışmasında, binanın dikey yüzeyinin ısı kazanımları ve kayıpları üzerindeki etkileri de hesaplanmıştır. Sonuçlar, uzun uzunluktaki duvarların güney-kuzey istikametine ve güney yönüne bakan duvarlarda depolanan daha büyük ısı alanının bulunduğu doğu-batı ekseninde binayı tespit ederken, binanın enerji açısından en iyi performansı göstermiştir. Bu tasarım oluşturucu yazılım 0 derecelik yönde bina yerleştirerek elde edilmiştir. Gerçek bina oryantasyonu kuzeybatı yönündedir, bu da binanın yönünün güney yönünden doğuya doğru 15° derece olduğu anlamına gelir. Böylece, hesaplanan optimum yönlendirmenin en iyi karar olup olmadığını kontrol etmek için, tasarım oluşturucu yazılımında hem gerçek hem de optimum yön simüle edilebilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.7'de sunulmuştur.



Şekil 4.7. Bina konumlandırması için yıllık soğutma enerjisi tüketimi

Şekil 4.7.'de gösterildiği gibi, güney yönünü temsil eden 0 derecelik yöndeki bina, gerçek bina oryantasyonuna göre daha az enerji tüketilir ve yıllık 4699,40 (KWh) eşit soğutma enerjisi tasarrufu sağlamakta ve yıllık 1308,44 (Kg) ile eşit CO₂ emisyonu azaltmaktadır. Bu nedenle, uygun ve etkili bir oryantasyon seçmek için, bina güney yönünde, uzun yönde duvarlar güney-kuzey doğrultusunda yerleştirilmelidir. Buna ek olarak, daha büyük sağır duvarlar güney yönünde olmalıdır.

Duvar ve çatı yalıtım malzemeleri

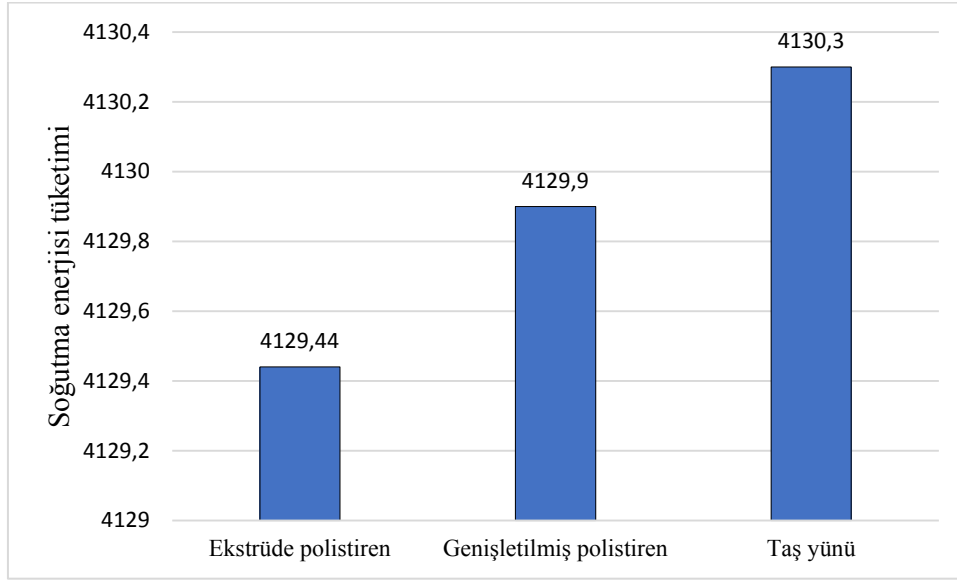
Bu çalışmada Sudan'da kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri ilke ve standartlara göre incelenmiştir. En yaygın yalıtım malzemeleri genişletilmiş polistiren, ekstrüde polistiren ve kaya yünü (RW) olarak belirlenmiştir. Bu malzemeler en iyi olanı seçmek için soğutma enerjisi tüketimi referans ile bina tasarımları için simüle edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Yalıtım malzemelerinin özellikleri

Özellikler	Yoğunluk kg/m ³	Termal iletkenlik, W/m K
Genişletilmiş polistiren	0.04	15
Ekstrüde polistiren	0.034	35
Taşyünü (RW)	0.47	92

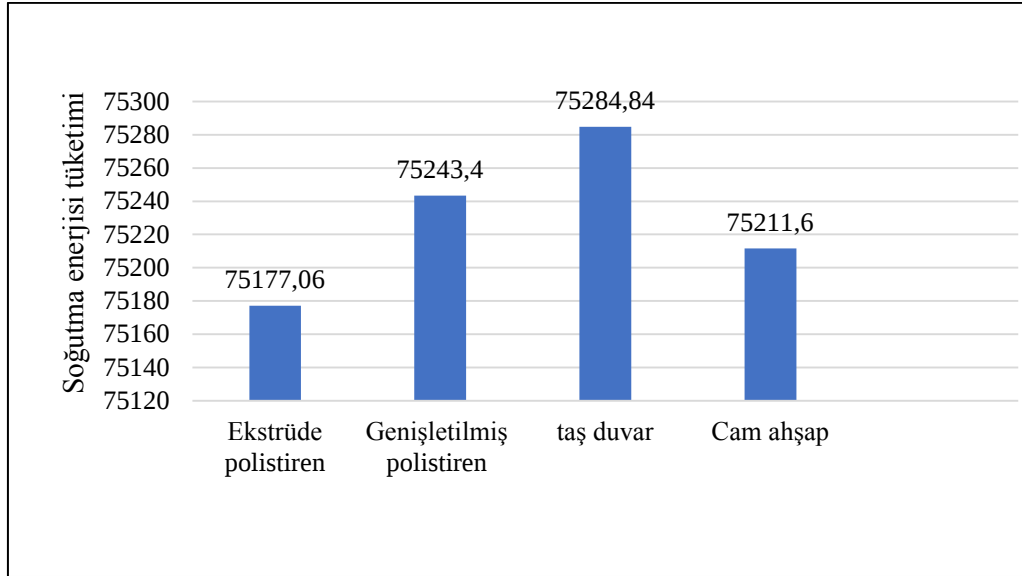
Yalıtımın enerji tüketimindeki etkisi

Şekil 4.8. yalıtım malzemelerinin ısıtma ve soğutma enerji performansını nasıl etkilediğini gösterir. Ekstrüde polistiren yalıtımı yapılırken toplam enerji tüketimi 6892,58 kWh'e (en büyük tasarruf) indirgenirken, genişletilmiş polistirenin enerji tüketimi 4957.24 kWh ve kaya-yünün enerji tüketimi 4129,44 kWh'dir. Bu nedenle, sonuca göre ekstrüde polistiren duvarlar için kullanılacak en iyi yalıtım malzemeleri bulunmuştur.



Şekil 4.8. Duvar yalıtım malzemeleri için yıllık soğutma yükü tüketimi

Şekil 4.9'da yalıtım malzemelerinin soğutma enerji performansını nasıl etkilediğini göstermektedir. Ekstrüde polistiren yalıtımı yapılırken toplam enerji tüketimi 75177.06 kWh'e düşürülürken, genişletilmiş polistirenin enerji tüketimi 75177.06 kWh, cam yünün 75211,6 ve kaya-yünün 75284.84 kWh'dir. Bu nedenle, sonuca göre ekstrüde polistiren çatı için kullanılacak en iyi yalıtım malzemeleri olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.9. Çatı yalıtım malzemeleri için yıllık soğutma yükü tüketimi

Cam

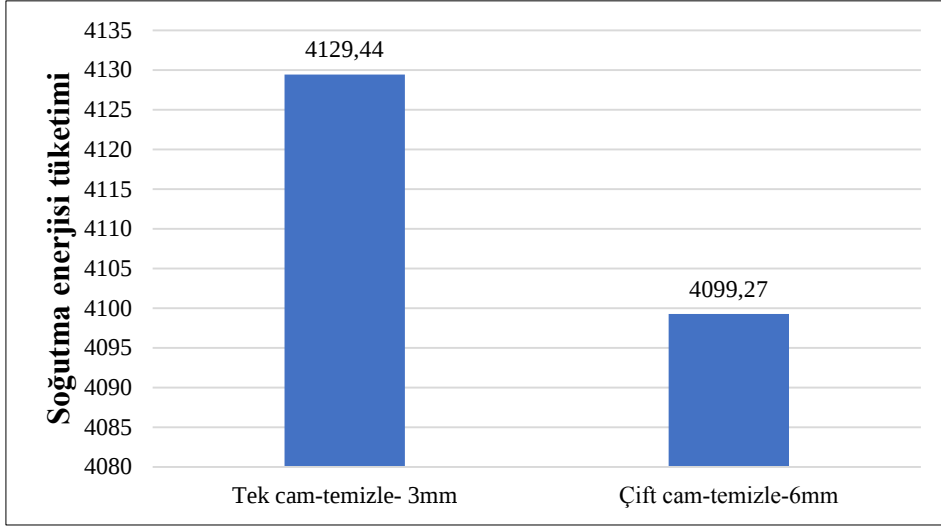
Çizelge 5.4.'de tek, çift ve e-low camların fiziksel özellikleri gösterilmiş ve tek bir açık camlı pencere kullanılan gerçek model ile simüle özellikleri karşılaştırılmıştır. Pencerenin çerçeve tipi alüminyumdur.

Çizelge 4.5. Cam tipleri için fiziksel özellikler

Pencere Türü	Çerçeve Türü	Toplam Güneş İletimi	U-değeri (w/m ² .k)	Şablon
Tek cam 6mm	Alüminyum	0.819	5.778	Edit glazing - Sgl Clr 6mm Glazing Layers Calculated Cost Calculated Values Total solar transmission (SHGC) 0.819 Direct solar transmission 0.775 Light transmission 0.881 U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m²-K) 5.718 U-Value (W/m²-K) 5.778
Çift Cam 6mm\13mm	Alüminyum	0.704	2.511	Edit glazing - Dbl Clr 6mm/13mm Arg Glazing Layers Calculated Cost Calculated Values Total solar transmission (SHGC) 0.704 Direct solar transmission 0.604 Light transmission 0.781 U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m²-K) 2.626 U-Value (W/m²-K) 2.511

Cam tipinin enerji tüketimindeki etkisi

Şekil 4.10.'da ısıtma ve soğutma enerji tüketimi üzerinde cam tipi etkisi gösterilmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi, mevcut ev tek açık cam kullanmakta ve 4129.44 W/m² ısı kazancı bulunmaktadır. Çift renkli cam 4099.27 W/m² ısı kazanımına yol açacaktır. Sonuç olarak, 6 mm çift cam kullanılarak 30.17 W/m² enerji tasarrufuna ulaşılabilir. Simülasyondaki cam türü test edildiğinde, 6 mm - 13 mm çift açık camın en iyi tip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.10. Cam tipinin soğutma enerjisi tüketimine etkisi

Optimum tasarım kararı

Daha önce, bu tasarım parametrelerinin ve alternatiflerin enerji performansı oluşturma üzerindeki etkisini tanımlamak için farklı tasarım parametreleri için çeşitli simülasyonlar yapılmıştır. Böylece, bu bölümde, bina için yapılacak en iyi tasarım kararı olarak tanımlanan simüle tasarım parametrelerinin en iyi karışımı dikkate alınarak, bina enerji performansı üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Bu, erken tasarım aşamasında bu tasarım kararlarını benimseyerek kaydedilebilen enerji miktarını değerlendirmek ve gerçek vaka çalışması tasarım performansı ile karşılaştırmaktır. Bina tasarım parametreleri ile ilgili en iyi uygulamalar aşağıdaki gibidir;

- Bina yönü: uzun uzunlukta duvarlar güney ve kuzey yönünde ve daha büyük sır alanı güneye bakan uzun duvarlarda depolanır.
- Yalıtım: dış duvar ve çatı için ekstrüde polistiren (XPS) kullanarak.
- Dış camlar: çift camlı 6mm/13mm
- Dış duvarlar: aerated tuğla kullanımı

4.4. Osman El-Kheir Evi Modelinin Simülasyon Sonuçları

Geçtiğimiz onlarca yılda, kentsel büyümenin de tetiklediği özellikle konut sektöründe görülen yeni inşaat projeleri nedeniyle, Hartum şehrinde enerji talebinde ciddi bir artış gözlenmektedir. Ancak, mimarlar, mühendisler ve konut inşaat şirketlerinin çoğu yeni konut projelerini yerel iklim koşullarını göz önünde bulundurmadan tasarlamamaktadır.

Söz konusu yeni projelerin birçoğu, doğal havalandırma ve gün ışığı gözetilmeksizin uygun yalıtım, gölgelik ya da geniş camlı boşluklar olmadan inşa edilmektedir. Tüm bu sebeplerle insanlar, iç mekânlarda ferahlatıcı bir ortam sağlamak için, özellikle de kavurucu sıcaklıktaki yaz günlerinde serinletme amaçlı iklimlendirme cihazlarına yoğun şekilde yönelmektedir. Bu sebeple aşırı miktarda enerji tüketilmektedir. Bu tez çalışmasında yer alan enerji simülasyonu, esas olarak, temel durum modeli (Osman El-Kheir evi) ve teklif edilen enerji etkin ev modeli arasındaki termal karşılaştırmalı yöntemle dayanmakta olup, bu simülasyonda farklı senaryolar vasıtasıyla pasif soğutma yöntemleri uygulandıktan sonra, elde edilen yeni termal sonuçlar ve soğutma enerjisi performansı değerlendirilmiştir. Çizelge 4.6’da Osman’nın evi modelinin simülasyonu ve bina yapım verilerini göstermektedir.

Çizelge 4.6. Osman El-kheir evi modeline ait simülasyonu ve inşaat verileri

Birinci Strateji: Isı kazancının azaltılması teknikleri			
Uygulanan Pasif Soğutma Teknikleri	Simülasyon		
1. Gölgeleme	Pencere Gölgelemesi		
2. Pencereler	Temel durum Tek bir saydam cam 6mm	Çift Saydam Cam 6mm/13mm	
İkinci Strateji: Isı kazancı tekniklerinin düzenlenmesi			
Uygulanan Pasif Soğutma Teknikleri	Simülasyon		
	Duvar	Yalıtım Katman	
1. Duvar Termal Kütlesi	- Katı tuğlalı duvar - Delikli tuğlalı duvar - Katı beton blok duvar - Delikli beton blok duvar	Yalıtım yok	Dış yalıtım
2. Çatı Termal Kütlesi	Çatı	Yalıtım Katman	
	Dökme Beton Döşemesi	Yalıtım yok	Dış yalıtım

Bu simülasyon çalışması soğutma yüküyle ilgili olduğundan, yaz aylarındaki (1 Nisan - 30 Eylül arasında) toplam soğutma enerjisi tüketimini belirlemek için simülasyon zamanı olarak yaz ayı profili seçilmelidir. Temel senaryodaki Osman’nın evi modeli pencere, çatı veya duvar gölgesi gibi herhangi bir gölgeleme olmadan simüle edilmiştir. Ayrıca, Hartum

kentindeki modern binaları temsil etmek adına da, bu yapıların çoğunda görülen, dış gölgelendirmesi olmayan tek parça şeffaf cam tipi seçilmiştir. Temel senaryodaki ev modeli, Çizelge 4.5'te gösterilen yapı özellikleri ve inşaat malzemesi özellikleri kullanılarak oluşturulmuştur. Enerji simülasyonu işlemlerinin zorluğu, havalandırma sistem simülasyon kullanım parametrelerini sisteme girerken ortaya çıkmaktadır. Bu parametreler, simüle edilmiş herhangi bir modelin enerji tüketimi kadar, iç mekân işletme sıcaklığı ve genel soğutma yükü ortalaması üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir (Friess ve diğerleri, 2012).

Osman'ın evi modelindeki aile üye sayıları birbiriyle aynıdır (İki aile). Simülasyon işleminin doğruluğunu sağlamak için, temel senaryodaki ev modelinde ve önerilen enerji etkin ev modellerinde IHİ şablonu olmak üzere aynı iklimlendirme havalandırma sistemi seçilmiştir. Simülasyon programında (AC, split klima üniteleri) kullanılmak üzere, yaz aylarında Sudan'da yaygın olarak kullanılan iklimlendirme sistemi ile aynı güçteki sistem seçilmiş ve soğutma sistemi mevsimsel katsayısı faktörü 1.8 olarak bulunmuştur. Osman'ın evi modelinin soğutma enerjisi tüketimine ait çıktı sonuçlarını anlamak ve enerji etkin konut modeli ile karşılaştırmak için soğutma enerjisi performansı 1 Nisan-30 Eylül tarihleri arasındaki yaz aylarında analiz edilmiştir. Ayrıca, yapılan enerji simülasyonları, yaz sıcaklarının en yüksek olduğu dönemlerde harcanan soğutma enerjisi performanslarını ve toplam enerji gereksiniminin düşmesindeki etkisini de vurgulamıştır. Osman'ın evi modelinin yaz aylarındaki soğutma yükü performansını veren Şekil 4.5'deki sonuç grafiğinde de görüldüğü gibi, en yüksek soğutma yükü, 70.04 KVs ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Temmuz ayında kaydedilen bu yüksek soğutma yükü enerji tüketiminin de ciddi oranda artmasına neden olmuş ve yine aynı ay içinde 140.96 KVs ile en yüksek enerji tüketim rakamlarını beraberinde getirmiş olup, sonuçlar Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu noktada, simülasyonda gösterilen toplam enerji tüketim miktarları, aydınlatma ve diğer türdeki cihazların kullanımı için harcanan enerjinin kapsam dışı bırakılması nedeniyle sadece soğutma yükünden oluştuğunu belirtmek gerekir. Netice itibarıyla, her bir ayda yaşanan dış ortam sıcaklık değişimleri farklılık gösterdiği için, her ayın soğutma yükü miktarları da farklı hassasiyetlere sahiptir.

Buna göre, farklı duvar, yalıtım, cam ve bina oryantasyonlarının analizi için her biri için sonuç karşılaştırılmış, bu nedenle minimum soğutma yükü ile sonuçlar seçilmiştir. Enerji simülasyonu esas olarak farklı komut dosyaları ile pasif soğutma yöntemleri uygulandıktan

sonra, ve daha sonra yeni termal sonuç ve soğutma dahili ev ve önerilen enerji tasarruflu ev modeli arasında vaka çalışması karşılaştırmalı yöntemine dayalı enerji performansı Çizelge 4.7'da gösterildiği gibi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.7. Örnek çalışma ile önerilen arasındaki karşılaştırma

	Duvar	Oryantasyon	Cam	Çatı	Toplam
Mevcut vaka çalışması	Yalıtımsız Yanmış Tuğla	Bina kuzey batı yönünde	Tek açık cam	Yalıtımsız tonozlu çatı	
Toplam Soğutma Yüğü KWh	62.87 KWh	49.56 KWh	61.55 KWh	61.55 KWh	235.53 KWh
Önerilen Pasif Soğutma	Ekstrüde polistiren ile havalandırılmış tuğla	Kuzey yönü	Çift Cam 13mm	Ekstrüde polistirenli tonozlu çatı	
Toplam Soğutma Yüğü KWh	48.77 KWh	45 KWh	47.51 KWh	47.65 KWh	188.93KWh
Sonuç Karşılaştırması	Dış duvar ve çatı yalıtımı ile mevcut binada kullanılan farklı duvar malzemesi ve cam tipi kullanılırken soğutma yükünün sırasıyla% 14, % 5, % 15 ve % 14 oranında azalmıştır.				

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, mesken konutlardaki pasif tasarım tekniklerinin harcanan enerjiyi ne ölçüde azalttığı soğutma sistemleri özelinde tespit edilmeye çalışılmıştır. Enerji etkin yapılara yönelik günümüzün yaygın olarak bilinen yaklaşımları birçok yapımcının ve mimarın da ilgisini çekmiş ve bu sayede havalandırma tekniği olarak mekanik soğutma sisteminin kullanılması yerine pasif soğutma stratejilerinin modern bir biçimde kullanılması yoluna yöneltmiştir.

Çalışmada, modern konutlarda uygulanacak olan pasif soğutma stratejilerini yeniden değerlendirmek ve özetlemek için enerji etkin konutlara, düşük enerji yöntemlerine ve yerel pasif soğutma tekniklerine yönelik bir literatür taraması yapılmıştır. Eski Hartum'da yer alan, yüzyıllardır ayakta duran geleneksel evler araştırılmış ve seçilen bir ev analiz edilmiştir. Geleneksel yapıdaki bu konut, iklime duyarlı stratejiler açısından analiz edilmiş ve yeni/modern bir konut tasarımı ile karşılaştırılmıştır. Son olarak, modern konut tasarımında uygulanacak olan pasif soğutma teknik önerilerini değerlendirmek için termal dinamik bir simülasyon yapılmıştır. Enerji simülasyonu, farklı pasif soğutma tekniklerini, soğutma yükü azaltma oranı açısından değerlendirmek için kullanılmıştır. Simülasyon neticesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve Hartum'da yer alan tipik modern konutlarda önerilen pasif soğutma tekniklerinin kullanılması neticesinde görülen soğutma enerjisindeki belirgin azalmanın olacağı tespit edilmiştir.

Soğutma sistemi söz konusu olduğunda çalışmanın amacı, pasif tasarım tekniklerinin konut binasındaki enerji tüketimini nasıl azalttığını kavramaktır. Ancak, modern konut binasında pasif soğutma sisteminin nasıl uygulanabildiği konusundaki yaklaşımları yeniden tahmin etmek ve özetlemek için enerji tasarruflu ve yerel pasif soğutma teknikleri üzerine literatür bilgisi gözden geçirilmiştir. Mevcut enerji sorunları karşısında, binaların verimli bir şekilde tasarlanması giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu durum, mevcut ve yeni binaların enerji verimliliğinin ülkelerin iklim ve fiziki koşullarına göre belirlenmesini gerektirmektedir.

İlk başta, pasif soğutma ısı kazanımlarını azaltarak ve modüle ederek ele alınmıştır. Isı kazancının modifikasyonu, model tasarımında pasif soğutma sürecine ulaşmak için ve bu aşama durumlarının simülasyon sonucu tartışılmıştır. Tasarlanmış yapı bileşenleri ısı depolama önlemek için ısı yalıtımı diğer bina yıkıntıları termal konforu korumak için gereklidir. Ayrıca birçok deneysel çalışma ile pasif soğutma yöntemleri olarak sınıflandırılan ısı önleme stratejilerinden biri olarak kabul edilen ısı yalıtımıdır. Simülasyon işlemleri, inşaat için kullanılan yanmış tuğla, içi boş tuğla, katı beton blok ve eerrated beton blok gibi çoğunlukla yerel duvar malzemeleri ile dört duvar hizalama bir dizi gerçekleştirilmiştir.

Hartum'da yaz aylarında dış hava sıcaklığı genellikle 42 °C den fazla olmaktadır. Bu sebeple bina kabuğu uygun bir şekilde tasarlanmalıdır. Yüksek kaliteli uygulama bina kabukları ile elde edilebilir yaz döneminde ısı kazanımları azaltmak için kabuğun yalıtımı, cephe gölgelemesi ve hava infiltrasyonu yaparken aşağıdaki değişkenler göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmada, duvarların yalıtım katmanları üç farklı türde incelenmiştir. Yalıtım tabakalarının simülasyon sonuçları, termalin iç mekan operatif sıcaklığı üzerindeki etkisi olarak kabul edilmiş ve soğutma yükü, Ekstrüde polistiren yalıtım tabakası uygulanmasının diğer yalıtım katmanlarına göre daha iyi olduğunu göstermiştir. Dış yalıtımlı gaz beton blok duvar, kaydedilen en düşük soğutma enerji tüketim oranına sahiptir.

Bu tez, Hartum'un geleneksel konutlarının termal performansının araştırılması ve yerli halkın genel olarak klima sistemi ve elektrik kullanmadan termal konfor seviyesini nasıl korudukları konularına odaklanmaktadır. Oluşturulan simülasyon modeli soğutma yükünü azaltmak için önemli veriler sağlamıştır. Bu açıdan bakıldığında, çalışma, mühendis ve mimarların konut tasarımının erken aşamalarında pasif soğutma yaklaşımlarını eleştirel olarak düşünmelerine yardımcı olan uygun bir çözüm sunmaktadır.

Tezin ana odağı sıcak-kuru iklimde pasif tasarım ilkeleri kullanılarak enerji verimliliğinin nasıl arttırılabileceği olmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında;

1. Pasif tasarım, yerel iklime yanıt verirken tasarımı hem teknik hem de ekonomik açıdan uygulanabilir tutarak enerji verimliliğini arttırmaya yardımcı olabilir. Enerji verimliliğini arttırmak binanın enerji tüketim maliyetini azaltmak anlamına gelir.

2. Pasif tasarım yaklaşımı, iç mekan iklimi ve kullanıcı konforu için uygun bir ortam yaratır.

Çalışmada seçilen örnek binada analiz edilen tüm özellikler soğutma için enerji kullanımını azaltmıştır. Sonuçlar, evlerin enerji kullanımında soğutma yükünün %48 oranında azaltılabileceğini göstermektedir. Soğutma yükünü azaltmak ve aynı zamanda doğal havalandırmayı geliştirmek için geleneksel pasif yöntemlerin yeniden gözden geçirilmesi önemlidir.

Tasarım özellikleri belirlendikten ve enerji tasarrufu sergilenince ortaya çıkan bir sonraki soru şu: 'Tasarım pratiğinde kim bir değişiklik getirecek? Enerji tasarruflu konutların tasarımından kim sorumlu?' Konutlarda enerji verimliliğinin benimsenmesindeki engeller bölümünden de anlaşıldığı gibi, enerji tasarruflu konutlar tasarlama süreci “tek kişilik bir gösteri” değildir. Enerji tasarruflu konutların tasarlanmasından ve tasarım pratiğinin değiştirilmesinden sorumlu olan salt mimar değildir. İş geliştiriciler, yapımcılar ve kullanıcılar tasarım pratiğinde değişiklik yapabilmek potansiyeline sahip aktörlerdir.

Enerji verimliliğindeki engellerin aşılmasının yanı sıra, binalardaki enerji verimliliğini teşvik etmek ve etkilemek için Hartum Şehir Binası İnşaatı Yasası tarafından bina kodlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Hartum Şehir Binası İnşaat Yasası enerji tasarruflu konut binaları için bina düzenlemeleri formüle edebilirsiniz. Bu düzenlemeler veya bina kodları engelleri aşmak ve Hartum konut binalarında enerji tasarruflu tasarım özelliklerini uygulamak için geliştiriciler, mimarlar ve toprak sahipleri veya müşterilerine baskı olacaktır. Kodların odak noktası, enerji tasarruflu tasarım özelliklerini tasarım aşamasından itibaren birleştirmek olmalıdır. Genel olarak konut binaları tarafından kullanılan önemli miktarda enerji ve Hartum'da hakim enerji krizi göz önüne alındığında, engelleri aşmak ve bu vurgulanan makul basit enerji tasarruflu tasarım özellikleri benimsemek önemlidir. Bu enerji tasarruflu tasarım özelliklerinin kullanımından enerji tasarrufunun yararlarına ek olarak, Hartum'daki konut binalarının enerji verimliliğini artırmak da kullanıcılara daha az enerji maliyeti, elektrik enerjisinin daha iyi tedarikine konut inşaat sektörü tarafından enerji kullanımının azalması sonucu ve nihayet de sera gazı emisyonlarının azaltılmasında rol oynayabilir.

Mimar, artan bilgi ve farkındalığı ile enerji tasarruflu binalar tasarımı ve tasarım pratiğinde yaşanacak değişikliğin başlatıcısı olabilir. Hartum enerji tasarruflu konut binaları tasarımı ancak bu bilgi ve bilincin artması ile mümkün olacaktır.

Gelecekteki çalışmalar için çalışma sınırlaması ve önerisi

Çalışmada boyunca gerek zaman gerekse materyal kısıtlarından dolayı genel olarak pencere, duvar ve yalıtım türü incelenmiştir. Bu nedenle bundan sonraki çalışmalar uygun pencere boyutu, cam, pencere yönlendirmesi gibi konulara yönlenebilir. Çalışma Hartum tek aile için tasarlanmış müstakil, üç katlı bir konut ile sınırlı tutulmuştur. Yüksek binalar gibi sayıları gün geçtikçe artan yapılar bu tür bir çalışmaya eklenebilir. Aynı zamanda bölgedeki güneş enerjisinden faydalanmak için çatılarda kurulacak fotovoltaik panellerin mimariye entegrasyonu da u alana katkı koyacak konuşar arasındadır.

KAYNAKLAR

- Akande, O. K. (2010). Passive design strategies for residential buildings in a hot dry climate in Nigeria. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 128, 61-71.
- Alnaser, N. W., & Flanagan, R. (2007). The need of sustainable buildings construction in the Kingdom of Bahrain. *Building and Environment*, 42(1), 495-506.
- Al-Tameemi, A. A., Harris, D. J. (2004). A Guideline for Assessing the Sustainability of Earth Sheltered Mass-Housing in Hot-Arid Climates. *Energy and Buildings*, 36(3), 251-260.
- A'zami A. (2005) *Badgir in traditional Iranian architecture*. In: International Conference Passive and Low Energy Cooling 1021 for the Built Environment, Santorini, Greece.
- Bahadori M., Mazidi M, and Dehghani R. (2008). Experimental investigation of new designs of wind towers. *Renewable Energy*.
- Bani, M. O., & Saeed, T. A. (2015). *Critical Regionalism: Studies on Contemporary Residential Architecture of Khartoum–Sudan*. University of Khartoum.
- Bayraktar, M., Tobias, S., Yilmaz, Z. (2009). *Building Data Management Model for Energy Simulations in Buildings*, IX. National Installation Engineering Congress, Izmir.
- Bashier, F. (2008) *Modern Architecture in Khartoum 1950-1990*. Working Paper. School of Architecture and Environmental Planning. CSAAR, The Center for Study of Architecture in the Arab Region.
- Benhammou, M., Draoui, B., Zerrouki, M., & Marif, Y. (2015). Performance analysis of an earth-to-air heat exchanger assisted by a wind tower for passive cooling of buildings in arid and hot climate. *Energy conversion and management*, 91, 1-11.
- Biswas, K., Shrestha, S. S., Bhandari, M. S., & Desjarlais, A. O. (2016). Insulation materials for commercial buildings in North America: An assessment of lifetime energy and environmental impacts. *Energy and Buildings*, 112, 256-269.
- Bourbia, F., & Awbi, H. B. (2004). Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate: Part 1: Air and surface temperature measurements. *Renewable energy*, 29(2), 249-262.
- Bouchahm, Y., Bourbia, F., & Belhamri, A. (2011). Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate. *Renewable Energy*, 36(3), 898-906.
- Cantón, M. A., Ganem, C., Barea, G., & Llano, J. F. (2014). Courtyards as a passive strategy in semi dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building. *Renewable energy*, 69, 437-446.

- Chapter, T. C. (2005). *Fundamentals Volume of the ASHRAE Handbook*. ASHRAE. Inc., Atlanta, GA.
- Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and buildings*, 128, 198-213.
- Chávez, J. R. G., & Melchor, F. F. (2014). Application of combined passive cooling and passive heating techniques to achieve thermal comfort in a hot dry climate. *Energy Procedia*, 57, 1669-1676.
- Cheung, C.K. and Fuller, R.J. (2005) Energy-Efficient Envelope Design for High-Rise Apartments. *Energy and Buildings*, 37 (1), 37-48.
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., & Glazer, J. (2001). Energy Plus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and buildings*, 33(4), 319-331.
- Cruz, E. G., & Krüger, E. (2015). Evaluating the potential of an indirect evaporative passive cooling system for Brazilian dwellings. *Building and Environment*, 87, 265-273.
- Dabaieh, M., Wanas, O., Hegazy, M. A., & Johansson, E. (2015). Reducing cooling demands in a hot dry climate: A simulation study for non-insulated passive cool roof thermal performance in residential buildings. *Energy and Buildings*, 89, 142-152.
- Domi, S. (2018). Conceptual Design of Low Energy Consumption House in Khartoum, Sudan, World Academy of Science, *Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering* 12(7).
- Ealiwa, M. A., Taki, A. H., Howarth, A. T., & Seden, M. R. (2001). An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames, Libya. *Building and Environment*, 36(2), 231-237.
- Edwards, B., Sibley, M., Land, P., & Hakmi, M. (Eds.). (2006). *Courtyard housing: past, present and future*. Taylor & Francis.
- El Harrouni, K. (2015). *Thermal comfort in sustainable traditional courtyard house*.
- El Kheir, O. (2001). *Eco design in Sudan - Sensitivity to Local Demand* in D. U. Vestbroed, the role of design and planning professionals for solving the global housing problem, Stockholm.
- Foruzanmehr, A. (2017). *Thermal Comfort in Hot Dry Climates: Traditional Dwellings in Iran*. Routledge.
- Friess, W. A., Rakhshan, K., Hendawi, T. A., & Tajerzadeh, S. (2012). Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency. *Energy and Buildings*, 44, 26-32.

- Garde, F., Adelard, L., Boyer, H., & Rat, C. (2004). Implementation and experimental survey of passive design specifications used in new low-cost housing under tropical climates. *Energy and Buildings*, 36(4), 353-366.
- Ghaffarian Hoseini, A., & Makaremi, N. (2012). The concept of zero energy intelligent buildings (ZEIB): A review of sustainable development for future cities. *International Journal of Environment and Climate Change*, 339-367.
- Goia, F., Time, B., & Gustavsen, A. (2015). Impact of opaque building envelope configuration on the heating and cooling energy need of a single-family house in cold climates. *Energy Procedia*, 78, 2626-2631.
- Guan, L. Bennettü solid foam insulation produced with halocarbon and non-halocarbon blowing agents. *Building and Environment*, 42(8), 2860-2879.
- Hyde, R. (2013). *Climate responsive design: A study of buildings in moderate and hot humid climates*. Taylor & Francis.
- Indraganti, M. (2010). Understanding the climate sensitive architecture of Marikal, a village in Telangana region in Andhra Pradesh, India. *Building and Environment*, 45(12), 2709-2722.
- Internet: URL-1, Binanın Konumlandırılması <https://happho.com/building-orientation-based-climatology-india/> Son Erişim Tarihi: 2018.12.10.
- Internet: URL-2, Pencerelerinin Konumlandırılması https://books.google.com.tr/books?hl=en&lr=&id=3FiQnjYAEKwC&oi=fnd&pg=PA3&dq=CHAPTER+10+DESIGN+STRATEGIES+FOR+HOT+%26+DRY/+COMPOSITE+CLIMATIC+ZONE+OF+RAJASTHAN&ots=8z4vnygeC&sig=2FcT1VNp1k1qbdmUzCUjIfqYXGM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false Son Erişim Tarihi: 2019.02.27
- Internet: URL-3, Doğal Havalandırma https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Natural_ventilation_of_buildings Son Erişim Tarihi: 2019.05.05.
- Internet: URL-4, Yaz ve kış aylarındaki doğal havalandırma http://www.pipetracks.co.uk/eco_house_gallery.html Son Erişim Tarihi: 2019.01.05.
- Internet: URL-5, Bitki örtüsü gölgelendirme <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/vegetation/> Son Erişim Tarihi: 2019.05.13.
- Internet: URL-6, Avluya Sahip Evlerin Genel Şeması https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011055_housing_design/ch04s05.html Son Erişim Tarihi: 2019.02.25.
- Internet: URL-7, Plan and section shown the courtyard <https://www.dezeen.com/2013/08/06/courtyard-house-by-formwerkz-architects/> Son Erişim Tarihi: 2019.06.15.

Internet: URL-8, Arap Mimarisinde Doğal Havalandırmaya Yönelik Rüzgâr Bacası <https://www.wikizero.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lb3J3aWtpcGVkaWEub3JnL3dp2kvRmlsZTpNYWxxYWYuc3Zn>. Son Erişim Tarihi: 2018.12.10.

Internet: URL-9, Rüzgâr Bacası Kullanan Al-Barbari Konağı, Hartum <http://teamarch-sd.com/residential-projects-el-barbari-mansion/> Son Erişim Tarihi: 2019.05.08.

Internet: URL-10, Rüzgâr Bacası ve Toprak Arasındaki İlişki http://www.solaripedia.com/13/205/2085/wind_tower_convection_illustration.html Son Erişim Tarihi: 2019.05.08.

Internet: URL-11, Buharlaşmalı soğutma <http://www.nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/evaporative-cooling/> Son Erişim Tarihi:2019.05.08.

Internet: URL-12, Taha, I. A city in dilemma Retrieved from <https://500wordsmag.com/the-sudans/> Son Erişim Tarihi: 2018.09.27.

Internet: URL-13, <http://www.trnsys.com/> Son Erişim Tarihi: 2019.03.03.

Internet: URL-14, <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ECotect-Analysis-Discontinuation-FAQ.html> Son Erişim Tarihi: 2019.03.03.

Internet: URL-15, <https://www.altensis.com/en/services/designbuilder-software/> Son Erişim Tarihi: 2019.03.03.

Internet:URL-16, Hartum/Sudan Haritası https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.capitalfm.co.ke%2Fnews%2Ffiles%2F2019%2F04%2Ff18d2ad30d517cb0f00e1afb9ba89f8a0a1d4a1f.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.capitalfm.co.ke%2Fnews%2F2019%2F04%2Fsudan-security-forces-tear-gas-protesters-outside-army-hq-witnesses%2F&docid=jGK_AV--Mc1cEM&tbid=1DgGDGYRcHfFUM%3A&vet=10ahUKEwjy6CKuIrkAhVHbFAKHArHCjsQMwiSASgXMBc..i&w=768&h=605&bih=757&biw=1600&q=khartoum%20map&ved=0ahUKEwjy6CKuIrkAhVHbFAKHArHCjsQMwiSASgXMBc&ia ct=mrc&uact=8 Son Erişim Tarihi: 2019.08.05.

Internet: URL-17, Hartum/Sudan'da Ortalama Sıcaklıklar, Yağış ve Nem <https://www.weather-atlas.com/en/sudan/khartoum-climate>. Son Erişim Tarihi: 2019.08.05.

Internet: URL-18, Binanın Yeri <https://www.google.com.tr/maps/place/منزل+%2> Son Erişim Tarihi: 2018.05.08.

İvriz, F. (2009). *Performance Based Business Model Energy Efficient Intelligent Buildings*, İstanbul (Doctoral dissertation).

Iyendo, T. O., Akingbaso, E. A., Alibaba, H. Z., & Özdeniz, M. B. (2016). A relative study of microclimate responsive design approaches to buildings in Cypriot settlements. *ITU A| Z*, 13(1), 69-81.

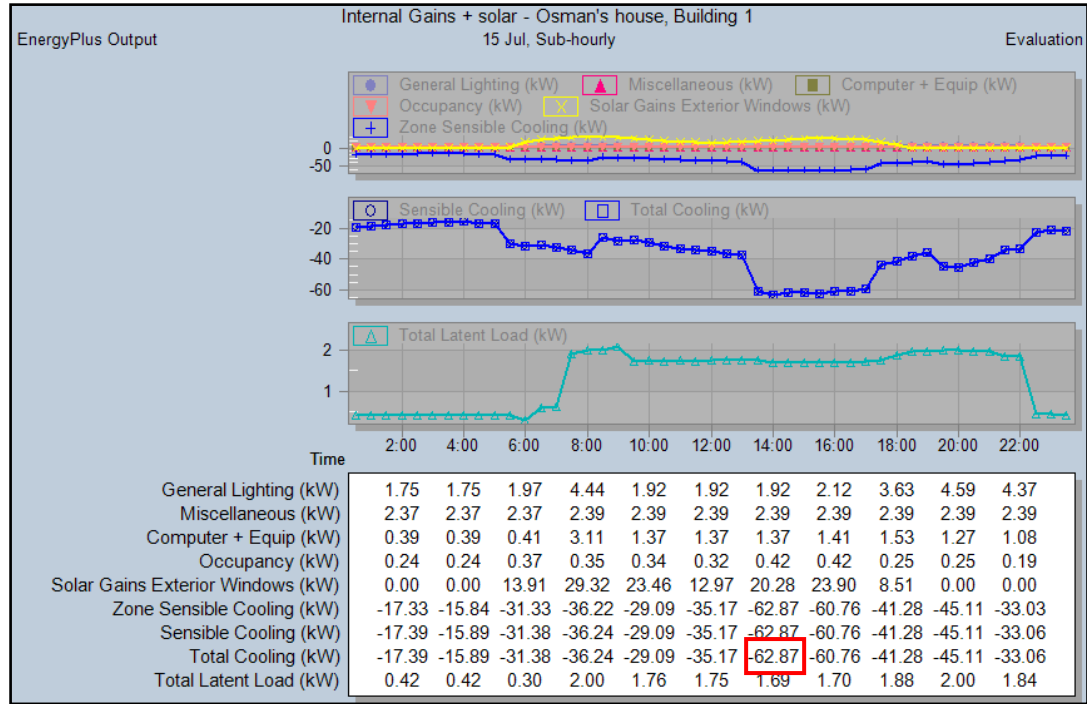
- Janssen, R. (2004). Towards energy efficient buildings in Europe. London: *The European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings*.
- Junjie, L. Cao, X., & Dai, X., (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and buildings*, 128, 198-213.
- Kamel, D., & Abdel-Hadi, A. (2012). Space, Color and Quality of Life in a Nubian Environment. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR*, 6(1), 77-89.
- Kandilli, C., & Ulgen, K. (2008). Solar illumination and estimating daylight availability of global solar irradiance. *Energy Sources, Part A*, 30(12), 1127-1140.
- Kanagaraj, G., & Mahalingam, A. (2011). Designing energy efficient commercial buildings—a systems framework. *Energy and Buildings*, 43(9), 2329 – 2343.
- Karaca, Ö. (2011). Energy Efficient Renewal of an Existing Office in Istanbul, Master Thesis, *Institute of Science and Technology*, Istanbul.
- Khan, N., Su, Y., & Riffat, S. B. (2008). A review on wind driven ventilation techniques. *Energy and Buildings*, 40(8), 1586-1604.
- Kim, J. J., & Moon, J. W. (2009, July). Impact of insulation on building energy consumption. In Eleventh *International IBPSA Conference, Building Simulation*.
- Koca, O. (2006). Approach to the Determination of Energy Efficient Settlement and Building Design Principles in Hot Dry and Hot Damp Climate Regions, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 22.
- Kocagil, İ. E., & Oral, G. K. (2016). The effect of solar heat gain on climate responsive courtyard buildings. *ITU A| Z*, 13(2), 39-46.
- Krüger, E., Pearlmutter, D., & Rasia, F. (2010). Evaluating the impact of canyon geometry and orientation on cooling loads in a high-mass building in a hot dry environment. *Applied energy*, 87(6), 2068-2078.
- Liping, W., Nyuk, H. W., & Li, S. (2007). Facade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore. *Energy and Buildings*, 39(8), 954-961.
- Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 40(3), 394-398.
- Markus, Morris & Cooper, I. (1982). Comfort theory and practice: barriers to the conservation of energy by building occupants. *Applied Energy*, 11(4), 243-288.
- Miller, J. D. (2007). Indoor air quality and occupant health in the residential built environment: future directions. *Proceedings IAQVEC*, 15-22.

- Omran, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Raahemifar, K., & Tookey, J. (2016). Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1252-1269.
- Oral, G. K., & Yilmaz, Z. (2002). The limit U values for building envelope related to building form in temperate and cold climatic zones. *Building and Environment*, 37(11), 1173-1180.
- Osman, O. S., Bahreldin, I. Z., & Osman, A. O. (2015). Architecture in Sudan 1900–2014. An Endeavor Against the Odds. *Fundamentalists and Other Arab Modernisms. Architecture from the Arab*.
- Ozcuahdar, T. (2007). *Investigation of Energy Efficient Design for Sustainable Environment in Life Cycle Process*, Istanbul.
- Ozdemir, B. (2005). *Designing buildings as energy efficient passive systems for sustainable environment*. (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis, Istanbul Technical University Institute of Science and Technology)
- Pan, Y., Zuo, M., & Wu, G. (2011). Whole building energy simulation and energy saving potential analysis of a large public building. *Journal of Building Performance Simulation*, 4(1), 37-47.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions*, 4(2), 439-473.
- Pour, Y. (2012) reinterpretation towards climate responsive architecture: possibility to implement the principles of persian vernacular housing into contemporary architecture.
- Radhi, H. (2008). *A systematic approach for low energy buildings in Bahrain* (Doctoral dissertation, University of Sheffield).
- Raeissi, S., & Taheri, M. (1999). Energy saving by proper tree plantation. *Building and Environment*, 34(5), 565-570.
- Rajapaksha, I., Nagai, H., & Okumiya, M. (2002). Indoor thermal modification of a ventilated courtyard house in the tropics. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1(1), 87-94.
- Ralegaonkar, R. V., & Gupta, R. (2010). Review of intelligent building construction: A passive solar architecture approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2238-2242.
- Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(8), 3617-3631.

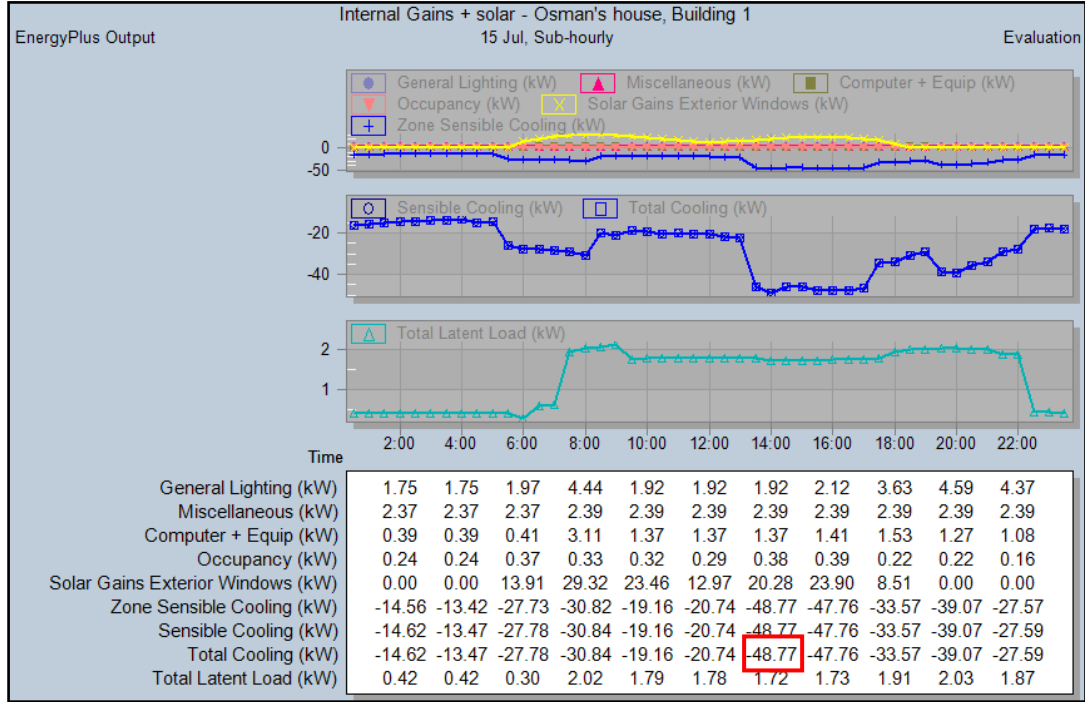
- Saadatian, S. S., Freire, F., & Simões, N. (2016). Comparative Life-Cycle Analysis of Insulation Materials in a Dwelling, Addressing Alternative Heating Systems and Life Spans. *Journal of Clean Energy Technologies*, 40, 1-00.
- Santamouris, M., Pavlou, K., Synnefa, A., Niachou, K., & Kolokotsa, D. (2007). Recent progress on passive cooling techniques: Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy and Buildings*, 39(7), 859-866.
- Schulze, T., & Eicker, U. (2013). Controlled natural ventilation for energy efficient buildings. *Energy and Buildings*, 56, 221-232.
- Sharma, S. K. (2013). Zero energy building envelope components: a review. *Int J Eng Res Appl*, 3(2), 662-675.
- Soysal, S. (2008) The Relationship between Design Parameters and Energy Consumption in Residential Buildings, *Smart Buildings in the Context of Sustainable Architecture, Architecture Magazine*, 154: 81-85.
- Sözen, M. Ş., & Gedik, G. Z. (2007). Evaluation of traditional architecture in terms of building physics: old Diyarbakir houses. *Building and Environment*, 42(4), 1810-1816.
- Stephanie, B. (2013). Sudan's Blood Memory: The Legacy of War, Ethnicity, and Slavery in Early South Sudan. *Northeast African Studies*, 13(2), 39.
- Taleb, H. M., & Sharples, S. (2011). Developing sustainable residential buildings in Saudi Arabia: A case study. *Applied Energy*, 88(1), 383-391.
- Tikir, A. (2009). A Study on the Energy Efficient Renewal and Economic Efficiency of the External Shell of an Existing Residence in Istanbul, Master Thesis, Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Underwood, C. P., & Yik, F. (2004). *Modelling methods for energy in buildings*. Oxford: Blackwell Science.
- Watson, D. (1983). *Climatatic design: Energy efficient building principles and practices*.
- Wong, N. H., & Huang, B. (2004). Comparative study of the indoor air quality of naturally ventilated and air-conditioned bedrooms of residential buildings in Singapore. *Building and Environment*, 39(9), 1115-1123.
- Wong, J., Wang, X., Li, H., & Chan, G. (2014). A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. *Journal of information technology in construction*, 19, 281-291.
- Yilmaz, Y. (2009). A Case Study on Energy Efficient Development of a Primary School Project in Different Climate Regions, Master Thesis, Institute of Science and Technology, Istanbul, 28.

EKLER

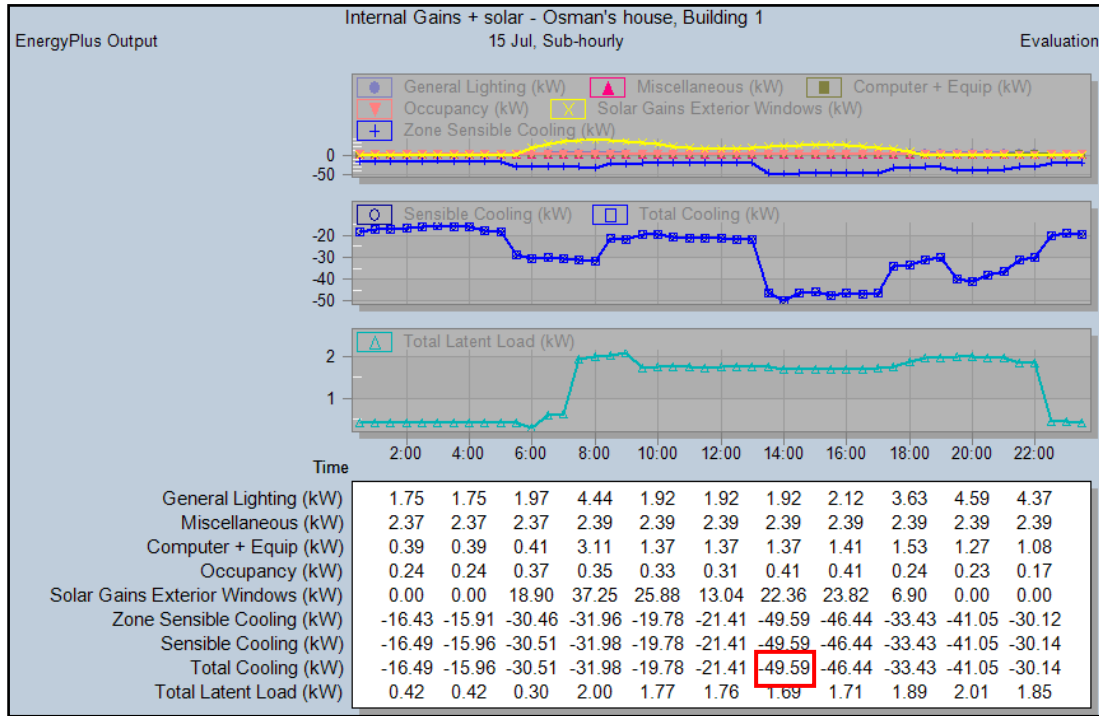
Ek-1. Yalıtım sızan yanmış tuğla duvar için yıllık soğutma tüketimi



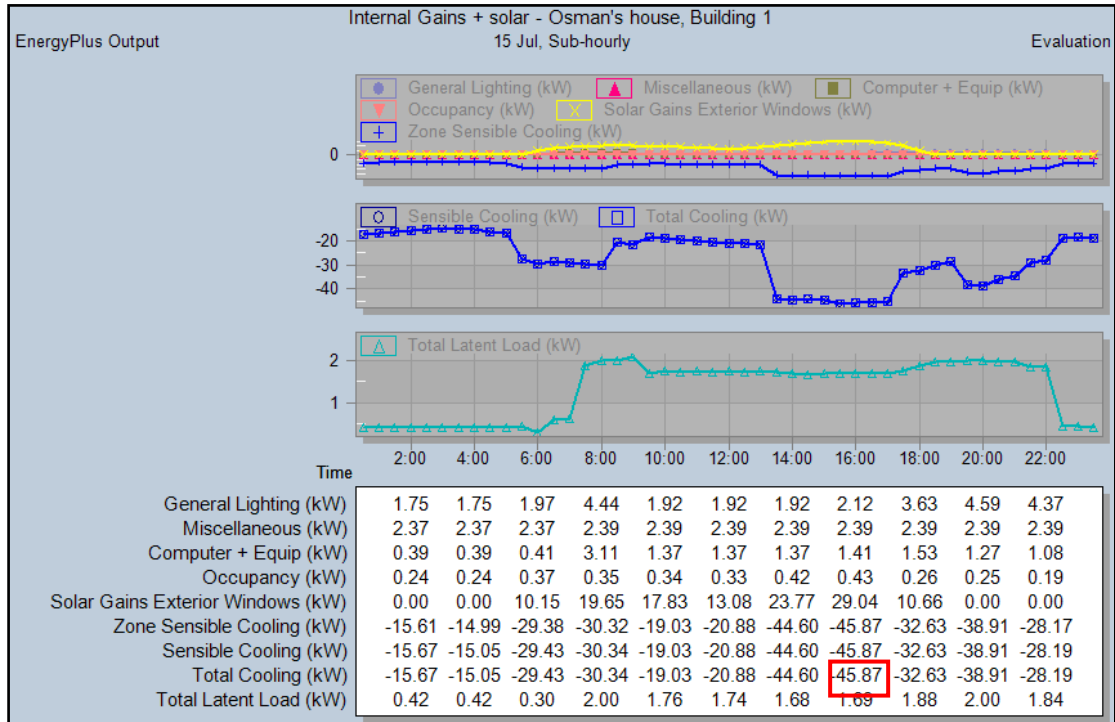
Ek-2. Ekstrüde yalıtımlı havalandırılmış tuğla duvar için yıllık soğutma tüketimi



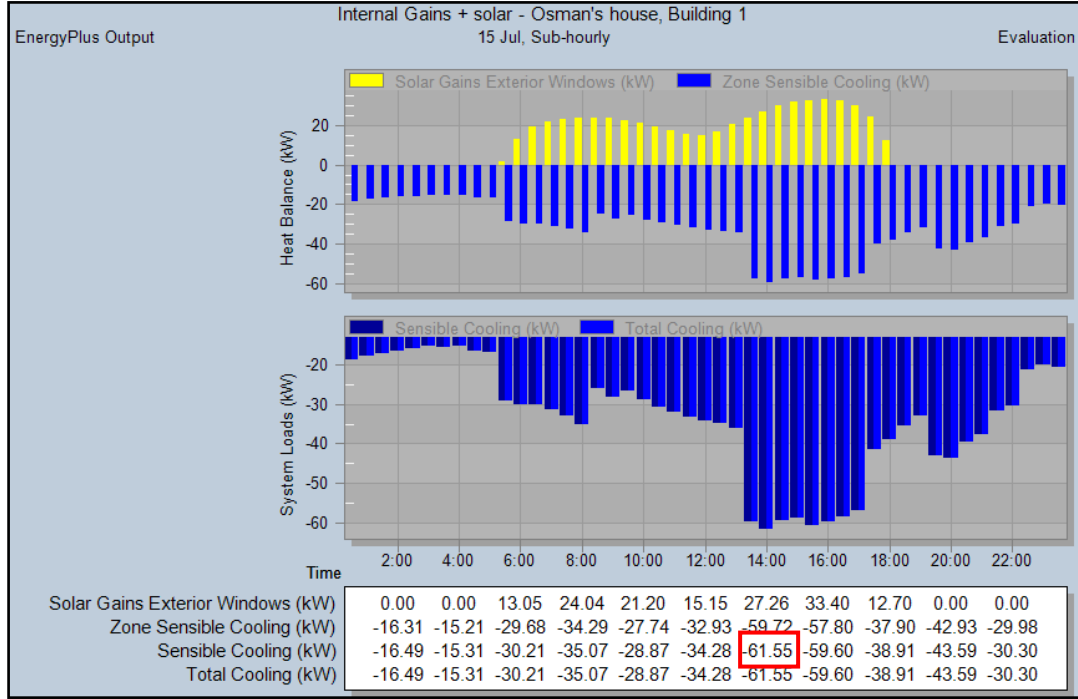
Ek-3. Mevcut vaka çalışması yönü için yıllık soğutma tüketimi (Kuzey-Doğu)



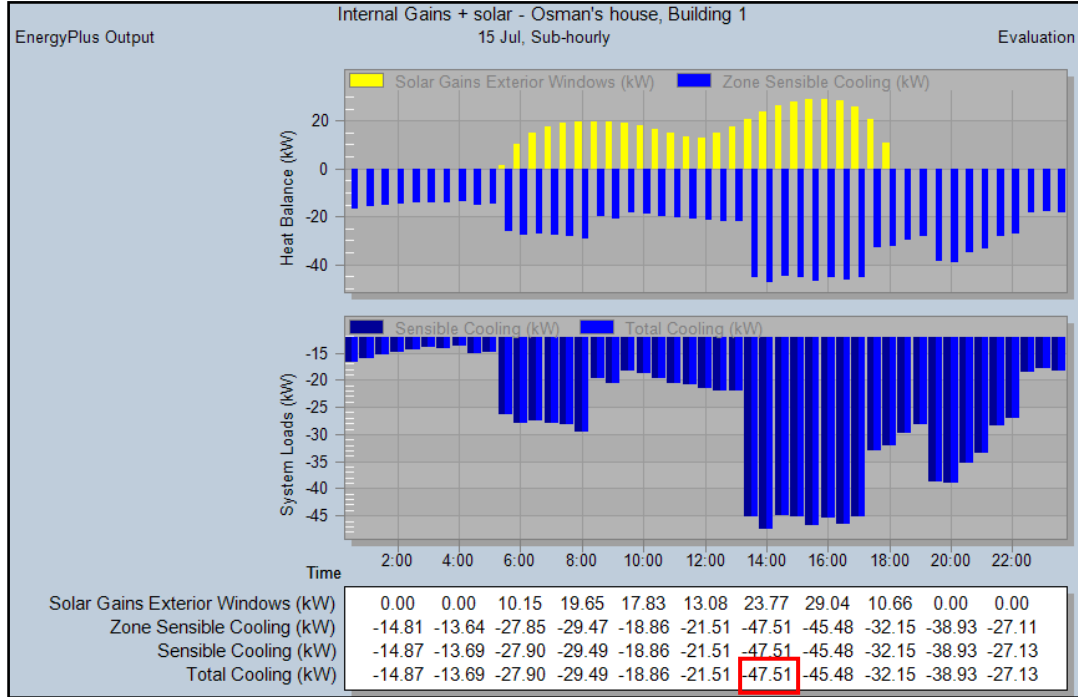
Ek-4. Önerilen yön için yıllık soğutma tüketimi (Kuzey)



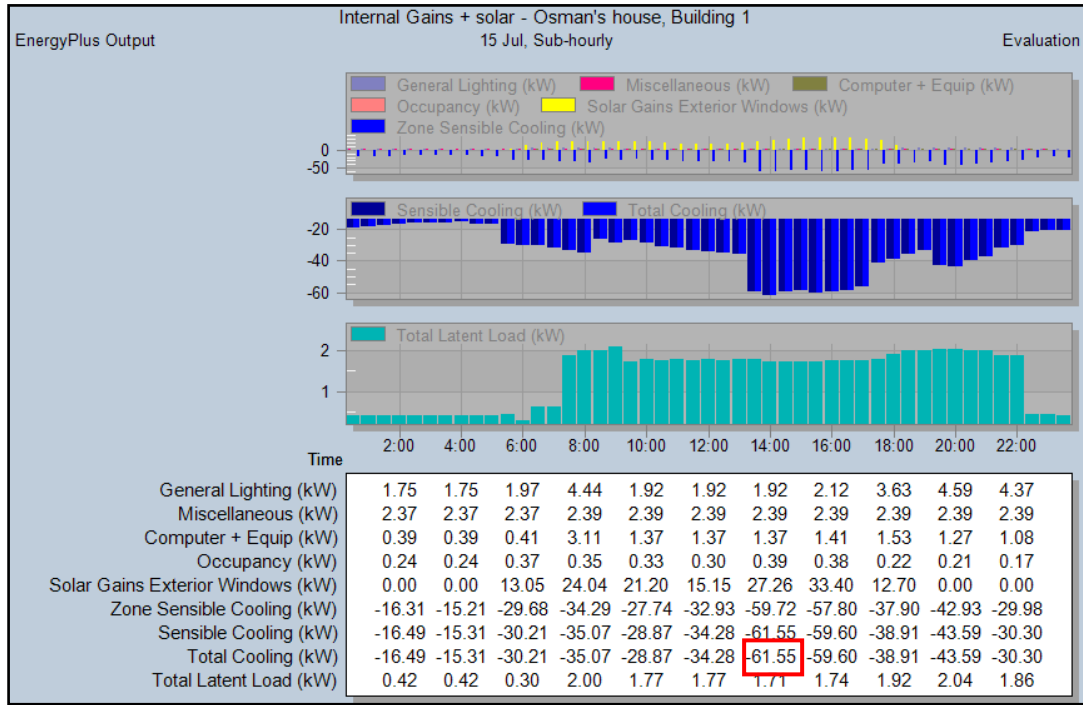
Ek-5. Tek cam türü için yıllık soğutma tüketimi



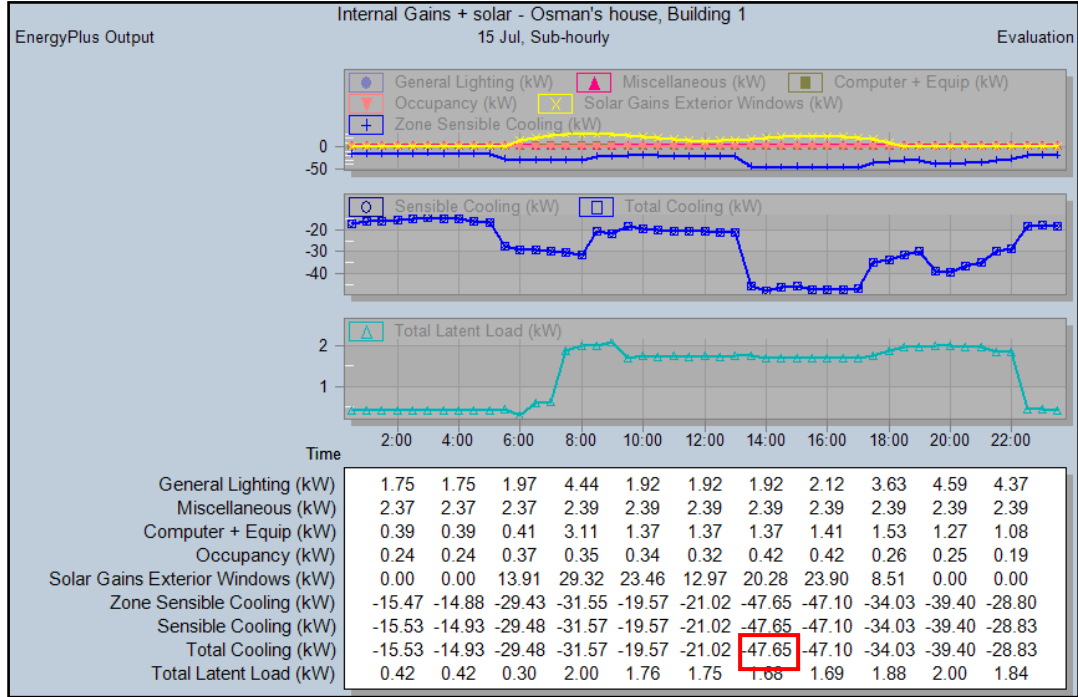
Ek-6. Çift cam tipi için yıllık soğutma tüketimi



Ek-7. Yalıtımsız tonozlu çatı için yıllık soğutma tüketimi



Ek-8. Ekinde yalıtımlı tonozlu lar için yıllık soğutma tüketimi



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Marwa Abdalmutaal YOUSIF
 Uyuğu : SUDAN
 Doğum tarihi ve yeri : SUDAN 13.09.1991
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 536 658 44 14
 e-mail : marwamohammed.ahmed@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Mimarlık Fakültesi	Devam ediyor

Lisans Mimarlık Üniversitesi Sudan Bilim ve Teknoloji 2013

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015	İleri Mühendislik İşleri Ltd	Tasarım Mühendisi
2014	Şehir Planlama Bakanlığı	Planlama Mühendisi
2013	Tosca Mühendislik	Tasarım Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Türkçe

Yayınlar

Mohammed Ahmed, M., Arslan Selçuk, S., (2018) “Passive Cooling Strategies for Buildings in Hot Climates: Re-Visiting Local Solutions in Sudan” 3rd International Conference on Civil Environmental Engineering (ICOCEE-Çeşme) April, 24-27 2018



GAZİ GELECEKTİR..

...